ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม	เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การลดสีในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

Decolorization of Palm Oil Mill Wastewater by Electrocoagulation Process

นามผู้วิจัย นายสนธยา กองเพชร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

(รองศาสตราจารย์บงกชรัตน์ ปิติยนต์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ....

(รองศาสตราจารย์วิทยา ปั้นสุวรรณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา ....

(รองศาสตราจารย์ตุลวิทย์ สถาปนจารุ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ .... **เดือน** .... **พ.ศ.** ....

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดสีในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

Decolorization of Palm Oil Mill Wastewater by Electrocoagulation Process

โดย

นายสนธยา กองเพชร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม)
พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนธยา กองเพชร 2557: การลดสีในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์บงกชรัตน์ ปิติยนต์, Ph.D. 110 หน้า

การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าต่อการลดสีในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ ในถังปฏิกรณ์แบบแบทช์ขนาด 10 ลิตร ซึ่งใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดที่มีระยะห่างระหว่างขั้ว 2 เซนติเมตร โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ความต่างศักย์ ไฟฟ้าที่ 6 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา คือ 5 10 15 30 45 และ 60 นาที ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดจะเพิ่มขึ้นตามความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น สภาวะที่เหมาะสมของการทดลองนี้ คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ทั้งพีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 มีประสิทธิภาพการลดสีในรูปของค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับร้อยละ 90.4 และ 88.9 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 90.2 และ 87.6 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการลดสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 94.2 และ 92.3 ตามลำดับ มีปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดเท่ากับ 1,000 และ 1,130 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ตรวจไม่พบปริมาณเหล็กตกค้างทั้งพีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 การเติมโซเดียมคลอไรด์เป็นสารนำไฟฟ้าไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพ นอกจากนี้การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นที่ 4 5 6 7 8 และ 9 ที่สภาวะเหมาะสม พบว่า ที่พีเอชเริ่มต้น 7 จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ค่าพลังงานไฟฟ้าในการบำบัดที่สภาวะเหมาะสมมีค่าเท่ากับ 6.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าสามารถลดสี ซีโอดี และสารแขวนลอย ในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงสามารถนำเอากระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าไปใช้ในการบำบัดขั้นสุดท้ายเพื่อการลดสี และซีโอดี

________________ ________________________ ___ /___ /___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sontaya Kongpetch 2014: Decolorization of Palm Oil Mill Wastewater by Electrocoagulation Process. Master of Science (Environmental Technology and Management), Major Field: Environmental Technology and Management, Department of Environmental Technology and Management. Thesis Advisor: Associate Professor Bongotrat Pitiyont, Ph.D. 110 pages.

This study investigated the performance of electrocoagulation process in decolorization of palm oil mill wastewater using a 10 – Liter batch reactor. Iron was used as electrodes with a distance 2 cm. The effect of operating parameters including current voltage (6, 12 and 18 volts), reaction time (5, 10, 15, 30, 45 and 60 min) and initial pH 4 and 9 on removal efficiencies were examined to evaluate the optimum condition. The results showed that treatment efficiencies increased with increasing current voltage and reaction time. The optimum conditions at initial pH 4 and 9 were achieved at current voltage of 12 volts, reaction time 30 min. The efficienies of decolorization in term of absorbance were 90.4% and 88.9%, respectively, where as the removal efficiencies for COD were 90.2% and 87.6%, and for TSS were 94.2% and 92.3%, respectively. The total sludge production were 1,000 mg/l and 1,130 mg/l at initial pH 4 and 9, respectively. Furthermore, in these conditions negligible residual iron concentrations were measured from electrocoagulatated water. Sodium chloride addition as electrolyte did not enhance removal efficiencies. In addition, the effect of initial pH (4, 5, 6, 7, 8 and 9) on color and COD removal was further studied at optimum condition. From the results, the maximum removal efficiencies could be obtained at initial pH 7. The energy consumption at the optimum condition was 6.16 baht/m^3. According to the results, the electrocoagulation process effectively treated palm oil mill wastewater. Therefore, electrocoagulation process can be used as a post - treatment step to improve the quality of final discharge in term of color and COD removal.

____________________ ______________________________________ ___ /___ /___

Student’s signature Thesis Advisor’s signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.บงกชรัตน์ ปิติยนต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา และได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย คอยให้คำชี้แนะต่าง ๆ แก้ไข ข้อบกพร่อง และตรวจสอบการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ซึ่งทุกคำชี้แนะล้วนมี ประโยชน์เป็นอย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ ครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.วิทยา ปั้นสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ ความอนุเคราะห์ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่จำเป็นสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งคำเสนอแนะ เพิ่มเติมเพื่อความสมบูรณ์ของงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ดร.เชาวน์ นกอยู่ และ ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ประธาน กรรมการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้ายสำหรับข้อแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการปรับแก้เพื่อความ สมบูรณ์ของการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัทเอเอสที ปาล์มออยล์ สำหรับน้ำเสียตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย และ งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โครงการเลขที่ MRG545S071

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่คอยอบรมสั่งสอน มอบวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย รวมทั้ง คำปรึกษา และคำแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมทั้งเพื่อน ๆ ทุกคน ที่ให้ การสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดตลอดระยะเวลาของการศึกษารวมไปถึงให้ความช่วยเหลือ แม้จะไม่ได้กล่าวมาในที่นี้

สนธยา กองเพชร

มกราคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	56
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	87
ภาคผนวก	94
ภาคผนวก ก อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราปกติ	95
ภาคผนวก ข วิธีวิเคราะห์ และกราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เหล็ก	98
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า	105
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	110

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ลักษณะของน้ำเสียของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันที่ผ่านการบำบัดหลังจากผ่านการบำบัดแบบระบบบ่อบำบัด	22
2	พารามิเตอร์คุณลักษณะน้ำและวิธีการวิเคราะห์	51
3	คุณลักษณะของน้ำเสียจากบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ	56

ตารางผนวกที่

ก1	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราปกติ	96
ก2	อัตราการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TUT)	97
ข1	ช่วงความยาวคลื่นของสีต่าง ๆ ที่ถูกดูดกลืนและสีที่มองเห็น	99
ข2	การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กสำหรับทำกราฟมาตรฐาน	103
ค1	ข้อมูลการบำบัดเบื้องต้นที่พีเอชเริ่มต้น 9	106
ค2	ข้อมูลการบำบัดเบื้องต้นที่พีเอชเริ่มต้น 4	108

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ลักษณะผลของปาล์มน้ำมัน (ก) ดูรา (ข) พิสิเฟอรา และ (ค) เทเนอรา	6
2	การผลิตปาล์มน้ำมันแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน	10
3	การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม	14
4	การแยกส่วนน้ำมันปาล์ม	17
5	โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน	24
6	ชุดทดลองเซลไฟฟ้าแบบง่ายประกอบด้วยอิเล็กโทรดขั้วบวกและขั้วลบอย่างละคู่ และเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	35
7	เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ 6 12 และ 18 โวลต์	46
8	เหล็กอิเล็กโทรดที่ใช้ในกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า	47
9	ถังปฏิกิริยาขนาดบรรจุน้ำตัวอย่าง 10 ลิตร	47
10	ลักษณะของบ่อน้ำทิ้งสุดท้ายจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ	49
11	จุดเก็บตัวอย่างและผังการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบที่ศึกษา	50
12	การจัดตั้งระบบการทดลองของกระบวนการแอคกูเลชั่นด้วยไฟฟ้า	52
13	แผนภาพแสดงกรอบแนวคิด และการทดลองในการวิจัย	55
14	ประสิทธิภาพการบำบัดสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ pH เริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	57
15	สีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่ pH เริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	58
16	ประสิทธิภาพการบำบัดสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ pH เริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	59
17	สีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่ pH เริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	60
18	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่		หน้า
19	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	64
20	ประสิทธิภาพของการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	66
21	ประสิทธิภาพของการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	66
22	ความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	68
23	ความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	68
24	อุณหภูมิของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	69
25	อุณหภูมิของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	70
26	พีเอชของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	71

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	พีเอชของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์	72
28	ประสิทธิภาพของการบำบัดสีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้าที่พี่เอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	73
29	ประสิทธิภาพของการบำบัดสีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้าที่พี่เอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	74
30	ประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้าที่พี่เอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	75
31	ประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้าที่พี่เอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์	75
32	ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงของสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30 นาที	77
33	ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30นาที	78
34	ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30นาที	79
35	ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที	80
36	พีเอชหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที	82

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า

ภาพที่		หน้า
37	อุณหภูมิหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที	82
38	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า	84

ภาพผนวกที่

ข1	ส่วนประกอบของเครื่อง Spectrophotometer	100
ข2	Spectrum ของการดูดกลืนแสงของโมเลกุล	101
ข3	กราฟมาตรฐานที่ใช้การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่ 510 นาโนเมตร	104

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EC	=	กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า
COD	=	Chemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ด้วยวิธีทางเคมี
BOD_5	=	Biochemical Oxygen Demand คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ
Abs	=	ค่าการดูดกลืนแสง
SS	=	Suspended Solids คือ ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำและแขวนลอยอยู่ในน้ำได้
pH	=	ค่าความเป็นกรด – ด่าง
conductivity	=	ค่าการนำไฟฟ้า หน่วย มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร, mS/cm
I	=	กระแสไฟฟ้า หน่วย แอมแปร์ (A)
V	=	ความต่างศักย์ไฟฟ้า หน่วย โวลต์ (V)
P	=	กำลังไฟฟ้า หน่วย วัตต์ (W)
Fe^{2+}, Fe^{3+}	=	เหล็กไอออน
OH^-	=	ไฮดรอกไซด์ไอออน
H^+	=	ไฮโดรเจนไอออน
Cl^-	=	คลอไรด์ไอออน
H_2O_2	=	ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
H_2O	=	น้ำ
O_2	=	ออกซิเจน
O_3	=	โอโซน
Cl_2	=	คลอรีน
$K_2Cr_2O_7$	=	โปแตสเซียมไดโครเมต
H_2SO_4	=	กรดกำมะถันหรือกรดซัลฟูริก
$Fe(OH)_2$	=	เหล็กไฮดรอกไซด์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$Fe(OH)_3$	=	เหล็กไฮดรอกไซด์
λ	=	ความยาวคลื่น
°C	=	องศาเซลเซียส
l	=	ลิตร
g	=	กรัม
m	=	เมตร
cm	=	เซนติเมตร
nm	=	นาโนเมตร
ppm	=	หนึ่งส่วนในล้านส่วน
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร
cm^2	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ml	=	มิลลิลิตร
cm	=	เซนติเมตร
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
g/l	=	กรัมต่อลิตร
kW – Hr	=	กิโลวัตต์ – ชั่วโมง
mS/cm	=	มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การลดสีในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

Decolorization of Palm Oil Mill Wastewater by Electrocoagulation Process

คำนำ

อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่สำคัญของประเทศไทย โดยมีปริมาณการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ 800,000 ตันต่อปี เพื่อใช้ในการบริโภคและใช้เป็นพลังงานทางเลือก หรือไบโอดีเซล อุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมันจึงเป็นที่แพร่หลายมากยิ่งขึ้น ในกระบวนการผลิตปาล์มน้ำมันก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก ซึ่งมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ไขมัน สี และสารแขวนลอยในปริมาณที่สูง ซึ่งเป็นที่มาของปัญหามลพิษทางน้ำและกลิ่น ดังนั้นแต่ละโรงงานจึงต้องหาวิธีการจัดการน้ำเสียที่ไม่ส่งผลกระทบต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม Gobi *et al.* (2011) รายงานว่า 85% ของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มใช้วิธีบำบัดทางชีวภาพ อย่างไรก็ดีคุณภาพของน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมหรือแหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติ ยังมีสารอินทรีย์ สี และสารแขวนลอย ที่เกินค่ามาตรฐาน กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีจึงน่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสมวิธีหนึ่งในการบำบัดน้ำทิ้งหลังการบำบัดสำหรับน้ำเสียปริมาณมากจากกระบวนการผลิตในแต่ละวัน ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียที่ง่าย และมีการลงทุนต่ำ แต่จะเกิดตะกอนหลังการบำบัดในปริมาณที่สูง กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เป็นเทคโนโลยีทางไฟฟ้าเคมีที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเพื่อนำกลับคืนมาขององค์ประกอบทางเคมีต่าง ๆ จากน้ำเสีย สามารถใช้ได้กับ อุตสาหกรรมสิ่งทอ น้ำมันโลหะหนัก และน้ำเสียจากชุมชนได้ นอกจากนั้นกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ายังเป็นกระบวนการที่มีความเรียบง่ายของการดำเนินการ และมีอัตราการกำจัดมลพิษที่รวดเร็ว โดยไม่ต้องมีการเติมสารเคมีลงไปทำให้ผลผลิตของตะกอนที่เกิดขึ้นมีจำนวนน้อย (Andez *et al.,* 2009; Bukhari., 2008; Mouedhen *et al.,* 2008; Tezcan *et al.,* 2006) นอกจากนี้ยังมีก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ช่วยในการผลักดันตะกอนให้ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้ง่ายต่อการจัดการต่อไป ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการนี้ คุณสมบัติเหล่านี้เป็นประโยชน์ของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าซึ่งจะดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทางเคมีแบบเดิม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาประสิทธิภาพของการลดสี รวมทั้งซีโอดีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ โดยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยการจัดสร้างระบบบำบัดแบบแบทช์ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาขยายผลในระดับการทำงานจริงต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมันดิบเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

ขอบเขตการวิจัย

1. น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นน้ำทิ้งจากบ่อพักน้ำบ่อสุดท้ายก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

2. กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าระดับห้องปฏิบัติการ เป็นการทดลองในถังปฏิกรณ์แบบแบทซ์ (batch) ขั้วไฟฟ้าเป็นขั้วเหล็ก มีระยะห่างระหว่างขั้ว 2 เซนติเมตร

3. ปัจจัยที่ศึกษาคือค่าพีเอช ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาบำบัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน (oil palm) หรือน้ำมันปาล์ม (crude palm oil) เป็นชื่อสามัญที่รู้จักกันโดยทั่วไป เรียกย่อว่า CPO ชื่อวิทยาศาสตร์ *Elaeis guineensis* Jacq เป็นพืชตระกูลปาล์ม มีถิ่นกำเนิดมาจากทวีปแอฟริกา แพร่กระจายพันธุ์ปลูกอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งประเทศที่มีพื้นที่การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันหรือเป็นแหล่งผลิตหลัก ๆ ของโลก คือ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย นอกจากนี้แหล่งเพาะปลูกที่สามารถปลูกได้ในปัจจุบัน ได้แก่ ไนจีเรีย โคลัมเบีย อินเดีย ไทย แหล่งปลูกใหม่ของประเทศในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ได้แก่ พม่า กัมพูชา ในประเทศไทยมีการปลูกปาล์มน้ำมันทั้งทางภาคใต้และภาคตะวันออก พันธุ์ปาล์มน้ำมันที่ส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก เป็นปาล์มน้ำมันลูกผสมเทเนอรา โดยเฉพาะที่สามจังหวัดชายแดนภาคใต้ ช่วงปี 2547 - 2550 มีการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่นาร้าง โดยกรมพัฒนาที่ดิน มีการขุดร่องให้ฟรี ให้พันธุ์และปุ๋ย โดยให้เหตุผลในการส่งเสริมการปลูกเนื่องจากเป็นปาล์มที่ให้น้ำมันใช้ได้ทั้งการบริโภคและใช้เป็นไบโอดีเซลได้โดยประเทศที่ปลูกปาล์มนำมันได้แก่ อินโดนีเซีย 50 ล้านไร่ มาเลเซีย 35 ล้านไร่ ส่วนไทย 5.5 ล้านไร่ปัจจุบันภาครัฐของไทยมีเป้าหมายจะปลูกปาล์มให้ได้ทั้งสิ้น 10 ล้านไร่ภายในปี 2572 จากพื้นที่มีศักยภาพทั้งสิ้น 20 ล้านไร่ โดยมีลักษณะทั่วไป (สารานุกรมเสรี, 2556) ดังต่อไปนี้

1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

ลักษณะลำต้นเดี่ยว ขนาดลำต้นประมาณ 12 - 20 นิ้ว เมื่ออายุประมาณ 1 - 3 ปี ลำต้นจะถูกหุ้มด้วยโคนกาบใบ แต่เมื่ออายุมากขึ้นโคนกาบใบจะหลุดร่วงเห็นลำต้นชัดเจน ผิวของลำต้นคล้ายๆ ต้นตาล ลักษณะใบเป็นรูปก้างปลา โคนกาบใบจะมีลักษณะเป็นซี่ คล้ายหนามแต่ไม่คมมาก เมื่อไปถึงกลางใบหนามดังกล่าวจะพัฒนาเป็นใบ การออกดอกเป็นพืชที่แยกเพศ คือต้นที่เป็นเพศผู้ก็จะให้เกษรตัวผู้อย่างเดียวต้นที่ให้เกษรตัวเมียจึงจะติดผล

ลักษณะผลเป็นทะลาย เรียกว่าทะลายสดปาล์มน้ำมัน (fresh fruit bunch: FFB) ผลจะเกาะติดกันแน่นจนไม่สามารถสอดนิ้วมือเข้าไปที่ก้านผลได้ ผลปาล์มจะตั้งอยู่บนทางปาล์ม ดังนั้นในการเก็บผลปาล์มต้องตัดทางปาล์มก่อนแล้วจึงใช้มีดงอ ตัดหรือเกี่ยวที่โคนทะลายปาล์มแล้วดึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ให้ขาด กระบวนการตัดทาง (ใบ) ปาล์มและตัดเอาทะลายปาล์มลง เรียกรวม ๆ ว่า แทงปาล์ม สามารถจำแนกลักษณะของผลออกเป็น 3 แบบ คือ ดูรา (Dura) กะลาหนา 2 - 8 มิลลิเมตร ไม่มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลามีชั้นเปลือกนอกบางร้อยละ 35 – 60 ร้อยละน้ำมันดิบต่ำ ยีนส์ควบคุมเป็นลักษณะเด่น พิสิเฟอรา (Pisifera) ลักษณะผลไม่มีกะลา มีข้อเสียคือ ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมัน ทำให้ผลฝ่อลีบ ทะลายเล็ก เนื่องจากผลไม่พัฒนา ผลผลิตต่ำมากหรือไม่มีผลผลิต ทรงต้นมักจะใหญ่ ไม่ใช้ปลูกเป็นการค้า ยีนส์ควบคุมเป็นลักษณะด้อย และ เทเนอรา (Tenera) ลักษณะผลมีกะลาบาง 0.5 - 4 มิลลิเมตร มีวงเส้นประสีดำอยู่รอบกะลา ชั้นเปลือกนอกหนาร้อยละ 60 – 90 ลักษณะเทเนอราเป็นพันธุ์ทาง (heterozygous) เกิดจากการผสมข้ามระหว่างลักษณะดูรากับพิสิเฟอรา (ภาพที่ 1) ขนาดของทะลายปาล์มสำหรับการเก็บเกี่ยวควรมีน้ำหนักเฉลี่ยมากกว่า 15 กิโลกรัมต่อทะลาย ซึ่งสามารถมีรอบการเก็บเกี่ยว ประมาณ 15 วันต่อครั้ง น้ำมันปาล์มจะได้จาก 2 ส่วน คือ ส่วนเปลือกนอกประมาณร้อยละ 16 – 25 ของน้ำหนักทะลายและส่วนเนื้อในประมาณร้อยละ 3 - 5 ของน้ำหนักทะลาย ปาล์มน้ำมันจากเมล็ดที่หล่นใต้ต้นหรือมีความไม่สมบูรณ์จะทำให้ผลผลิตทะลายสดลดลงร้อยละ 15 – 50 และน้ำมันปาล์มดิบลดลงร้อยละ 35 – 55

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าพืชน้ำมันทุกชนิดสามารถนำมาแปรรูปทำเป็นทั้งในรูปแบบของน้ำมันพืชที่ใช้ในการประกอบอาหาร และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์จากอุตสาหกรรมอาหารต่างๆ มากมาย เช่น ขนมขบเคี้ยว บะหมี่กึ่งสำเร็จรูป นมข้นหวาน ครีมและเนยเทียม และยังสามารถแปรรูปเป็น สบู่ ผงซักฟอก เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์เคมีภัณฑ์ต่างๆ และอาหารสัตว์ ด้วย ใบนำมาบดเป็นอาหารสัตว์ กะลาปาล์มเป็นวัตถุดิบเชื้อเพลิง ทะลายปาล์มใช้เพาะเห็ด นอกจากนี้ในปัจจุบันปาล์มน้ำมันนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานทดแทน ไบโอดีเซลรวมถึงเป็นส่วนผสมเพื่อช่วยลดการใช้น้ำมันดีเซล เพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงานให้กับประเทศ อีกทั้งยังจะช่วยลดปัญหาผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 1 ลักษณะผลของปาล์มน้ำมัน (ก) ดูรา (ข) พิสิเฟอรา และ (ค) เทเนอรา

ที่มา : วิชาการดอทคอม (2550)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. ประเภทของกระบวนการแปรรูปปาล์มน้ำมัน

2.1 โรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน

หลังการเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มน้ำมัน จะมีการขนส่งผลผลิตเข้าสู่โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีกระบวนการสกัดน้ำมัน 2 แบบ คือ แบบมาตรฐาน (หีบน้ำมันแยก) และแบบหีบน้ำมันผสม โดยโรงงานแบบมาตรฐานเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30 - 80 ตันต่อชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเกรดเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม สำหรับโรงงานแบบหีบน้ำมันผสมเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มจากเปลือก และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ในที่นี้จะแสดงวิธีการสกัดน้ำมันแบบที่นิยมใช้เป็นมาตรฐานโดยทั่วไป (ภาพที่ 2) โรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถแยกตามกระบวนการผลิตได้ดังนี้ (จุฑารัตน์, 2546)

2.1.1 โรงงานสกัดปาล์มน้ำมันที่มีกระบวนการผลิตแบบเปียกหรือสกัดแยก เป็นโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันที่ใช้ไอน้ำและความร้อนในการสกัด โดยจะมีการสกัดปาล์มน้ำมันแยกกันระหว่างน้ำมันจากเนื้อเยื่อผลปาล์ม และน้ำมันจากเมล็ด โรงงานประเภทนี้จะมีขนาดใหญ่ มีอัตราการผลิตที่สูง ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณของน้ำเสียในปริมาณที่มากจากกระบวนการผลิตด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ดี

2.1.2 โรงงานสกัดปาล์มน้ำมันที่มีกระบวนการผลิตแบบแห้งหรือสกัดรวม เป็นการสกัดปาล์มน้ำมันที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตต่ำ การสกัดปาล์มน้ำมันจะสกัดจากผลปาล์มและเมล็ด น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพและราคาต่ำกว่าน้ำมันบริสุทธิ์ที่ผลิตจากเนื้อเยื่อผลปาล์มเพียงอย่างเดียว โดยปกติแล้วโรงงานประเภทนี้จะมีขนาดเล็ก และมีการลงทุนที่ต่ำ

2.2 การสกัดน้ำมันปาล์มแบบมาตรฐาน

หลังจากการเก็บเกี่ยวทะลายสดปาล์มน้ำมันเรียกว่า FFB (fresh fruit bunch) ต้องรีบขนส่งมายังโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เพื่อเข้าสู่กระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันดังนี้ (ปริญญา, 2548)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.1 การรับ และการเก็บทะลายสดปาล์มน้ำมันที่โรงงาน

ทะลายสดปาล์มน้ำมันจะถูกขนถ่ายลงบนพื้นที่รองรับ (ramp) และใส่ในตู้ ขนาด 2.5 – 3.0 ตัน ระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงการนึ่งทะลายปาล์มควรสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และไม่ควรเกิน 72 ชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) จากเอนไซม์ที่มีอยู่ในส่วนเปลือก น้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดมีกรดไขมันอิสระประมาณร้อยละ 1 หากทิ้งผลปาล์มไว้นานปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำมันมีปริมาณและคุณภาพลดลง

2.2.2 การอบไอน้ำความดัน (Sterilization)

การอบไอน้ำความดันทะลายสดปาล์มน้ำมันในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มในห้องฆ่าเชื้อที่มีความจุ 20 – 30 ตันทะลายปาล์ม โดยใช้ตู้จำนวน 7 – 9 ตู้ ขึ้นกับขนาดความจุ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 100 องศาเซลเซียส ความดันไอ 2.3-3.4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เวลา 60-70 นาที การอบไอน้ำความดันมีวัตถุประสงค์เพื่อยับยั้งเอนไซม์ซึ่งจะหยุดปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นกรดไขมันอิสระอันจะเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน นอกจากนี้ยังทำให้ขั้วผลปาล์มนิ่มหลุดร่วงจากทะลายปาล์มได้ง่าย และทำให้เนื้อเยื่อของผลปาล์มยุ่ยง่ายต่อการหีบอัดน้ำมัน

2.2.3 การแยกผลปาล์มน้ำมัน (Bunch stripping)

หลังการอบไอน้ำทะลายสดปาล์มน้ำมันจะถูกลำเลียงเข้าเครื่อง stripping เพื่อแยกผลปาล์มและทะลายสดปาล์มน้ำมันออกจากกัน ส่วนทะลายจะนำไปเผา เถ้านำไปใช้เป็นปุ๋ยต่อไป

2.2.4 การย่อยผลปาล์มน้ำมัน (Digestion)

ผลปาล์มน้ำมันจะถูกส่งไปยังเครื่องย่อย (Vertical steam-jacketed drum digesters) ซึ่งมีแผ่นตีผลปาล์มให้แตกเพื่อตีผลปาล์มให้ยุ่ย กระบวนการย่อยต้องใช้ความร้อนประมาณ 95 องศาเซลเซียส ขั้นตอนนี้จะได้ส่วนเปลือก (mesocarp) และส่วนเมล็ด (seed) ซึ่งจะถูกป้อนไปยังขั้นตอนการสกัดน้ำมันต่อไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2.5 การสกัดน้ำมันและการจัดการวัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง

เปลือกของผลปาล์มถูกสกัดด้วยเครื่องหีบแบบเกลียวอัด (screw press) ได้น้ำมันปาล์มดิบ และส่วนที่เป็นของแข็ง (press cake) ประกอบด้วยเมล็ดปาล์มและใย ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนด้วยลมร้อน (135 องศาเซลเซียส) จนแห้ง แล้วแยกออกจากกันโดยใช้ไซโคลน เมล็ดปาล์มที่แยกได้จะถูกนำไปเข้าเครื่องกระเทาะ (centrifuge crackers) เพื่อแยกเมล็ดใน (kernel) และกะลา โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะขายเมล็ดในปาล์มให้โรงงานสกัดน้ำมันเมล็ดใน (palm kernel oil) แล้วนำเส้นใยและกะลาไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อกำเนิดไอน้ำ

2.2.6 การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ การกรองกาก และการกำจัดน้ำ

ขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไปนี้จะอยู่ในส่วนที่เรียกว่าห้องน้ำมัน (oil room)

1) การกรองน้ำมันดิบ

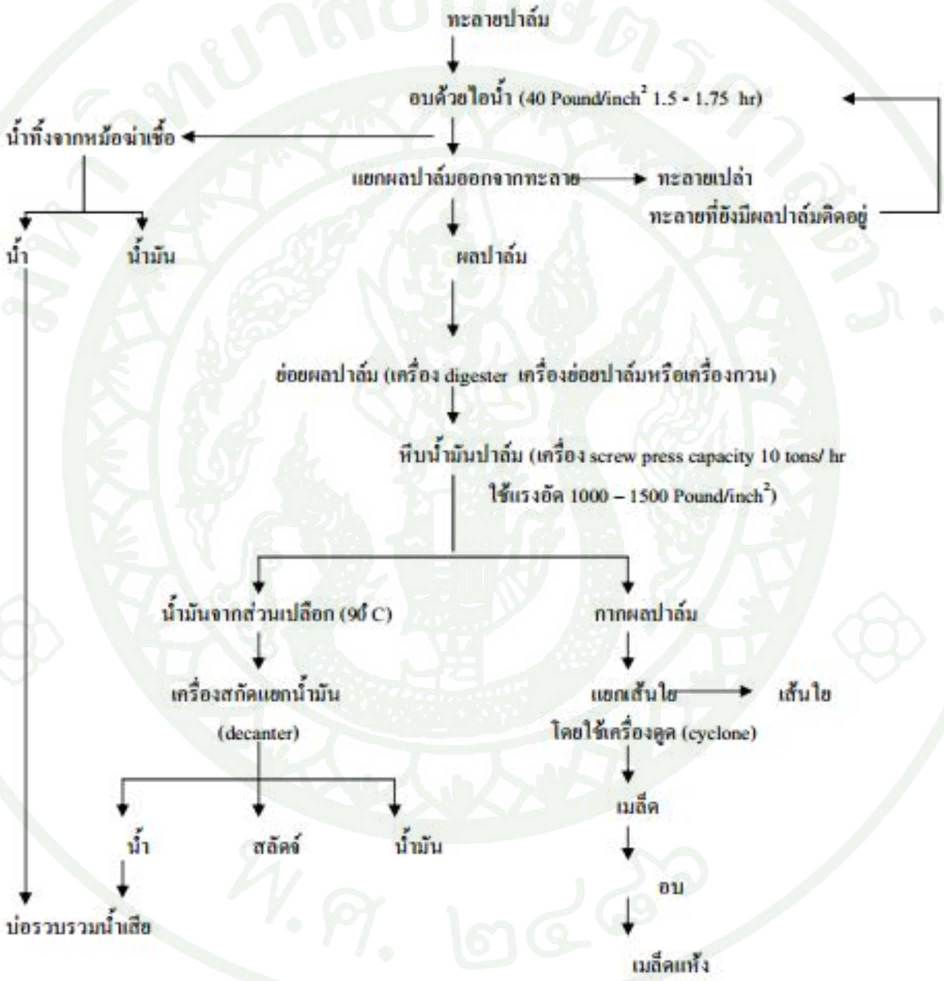
การแยกน้ำมันจากของผสมที่มีน้ำมันอยู่ ต้องเติมน้ำร้อนลงไปในน้ำมันดิบแล้วผ่านตะแกรงสั่น (vibrating screen) เป็นตะแกรงกรองเส้นใยและชิ้นส่วนเล็ก ๆ ของส่วนเปลือกออกจากส่วนที่เป็นน้ำมันดิบ ตะแกรงชนิดนี้มีพื้นที่ผิวมากทำให้มีการสัมผัสของน้ำมันและออกซิเจนซึ่งทำให้คุณภาพน้ำมันลดลง น้ำมันดิบที่ได้หลังการกรองยังมีอนุภาคขนาดเล็กและน้ำปนกันอยู่

2) การแยกน้ำมันในถังตกจม (Clarification or settling tanks)

การแยกน้ำมันและส่วนปนเปื้อน (น้ำและอนุภาคต่าง ๆ) เกิดขึ้นในถังตกจมโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง และมีการให้ความร้อนด้วยไอน้ำโดยตรง หรือให้ความร้อนด้วยไอน้ำที่อยู่ในท่อปิดตลอดจนการเติมน้ำร้อนเพื่อปรับปรุงการแยกน้ำมัน เครื่องมือและวิธีการนี้ให้ประสิทธิภาพการแยกอย่างจำกัดรวมทั้งกลไกในการควบคุม โดยเฉลี่ยสามารถแยกน้ำมันได้เพียงร้อยละ30 ขึ้นกับอัตราภาระบรรทุกพื้นผิว (surface loading rate) และระยะเวลาที่ตั้งทิ้งไว้ น้ำมันที่แยกได้ยังคงมีอนุภาคต่าง ๆ ปนเปื้อน และส่วนผสมที่ปล่อยออกจากถังตกจมยังคงมีน้ำมันปะปนอยู่มาก การเพิ่มระยะเวลาที่อยู่ในถังตกจมและการใช้อุณหภูมิมีผลให้น้ำมันที่ได้มีคุณภาพลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มบางแห่งที่ใช้กระบวนการสกัดแบบมาตรฐานโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยก 3 - phase (decanter) เครื่องนี้ไม่รวมอยู่ในกระบวนการสกัดแบบมาตรฐานที่ใช้ถังตกจมและเครื่องเหวี่ยงแยกแบบseparator น้ำมันที่อยู่ส่วนบนของถังตกจมจะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ ของผสมส่วนล่าง (น้ำสลัดจ์) จะถูกรวบรวมไว้ในถังน้ำสลัดจ์ (sludge tank) และถูกส่งไปแยกน้ำมันโดยเครื่อง separator ต่อไป



ภาพที่ 2 การผลิตปาล์มน้ำมันดิบแบบใช้น้ำที่มีการใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน

ที่มา : อมรภัค (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3) การแยก และการกำจัดอนุภาคขนาดเล็กในน้ำมัน

น้ำมันดิบจากถังตกจม (น้ำมันส่วนบน) จะผสมรวมกับน้ำมันที่แยกได้จากน้ำสลัดจ์ จะได้น้ำมัน163 กิโลกรัมต่อตันทะลายปาล์มสด การทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ในขั้นตอนสุดท้ายใช้วิธีเหวี่ยงแยก วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็งจากการเหวี่ยงแยกมีเพียงเล็กน้อยซึ่งจะถูกแยกออก ขั้นตอนนี้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

4) การกำจัดน้ำออกจากน้ำมัน

แม้ว่าขั้นตอนการแยกหลายขั้นตอนจะลดปริมาณน้ำของน้ำมันดิบ แต่น้ำมันดิบที่ได้ยังคงมีน้ำอยู่จะถูกกำจัดออกด้วยการระเหยภายใต้สุญญากาศ น้ำมันปาล์มดิบที่บริสุทธิ์จะเก็บไว้ในถังเก็บจนกว่าจะส่งไปขายยังโรงกลั่นบริสุทธิ์ขั้นตอนนี้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

2.2.7 การแยกน้ำมันจากน้ำสลัดจ์

จากกระบวนการในขั้นตอนการแยกน้ำมันในถังตกจม น้ำสลัดจ์ที่แยกจากถังตกจมอยู่ในรูปอีมัลชั่นมีปริมาณน้ำมันสูง (ประมาณร้อยละ14) มีสารอินทรีย์ที่ละลายได้ และสารแขวนลอย ในปริมาณสูงเช่นกัน ซึ่งมาจากอนุภาคของแข็งและสารที่ละลายได้ของผลปาล์ม ส่วนที่เป็นน้ำ (watery phase) ยังประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็กและทราย ของผสมนี้จะถูกส่งไปแปรรูปในขั้นตอนต่อไปเพื่อแยกน้ำมันและลดปริมาณสารอินทรีย์

1) การกำจัดกรวดทราย

น้ำสลัดจ์ (จากถังสลัดจ์) จะถูกส่งเข้าเครื่องกำจัดกรวดทราย ซึ่งใช้หลักการไฮโดรไซโคลนในการแยกอนุภาคของแข็งที่เป็นเม็ดทรายก่อนที่จะแยกน้ำมันออกโดยเครื่องเหวี่ยงแยก เพื่อป้องกันการเกิดการอุดตันและการกัดกร่อนในเครื่องเหวี่ยงแยก เครื่องนี้ถูกทำความสะอาดด้วยน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) การเหวี่ยงแยก

ของผสมที่ผ่านเครื่องกำจัดกรวดทรายจะถูกส่งไปเก็บรวบรวมในถัง (buffer tank) จากนั้นจะถูกปั๊มเข้าสู่เครื่องเหวี่ยงแยก (เครื่องseparator) การใช้เครื่องนี้ต้องมีการเติมน้ำเข้าไปผสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแยกให้ได้สูง

2.3 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม (Refine processing)

2.3.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม

โดยทั่วไป น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบดังต่อไปนี้ glycerides ประมาณ 95 % fatty acids ประมาณร้อยละ 3 - 5 minor and trace componenst ประมาณร้อยละ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย phytonutrient ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง และสารอื่น ๆ เช่น carotenoid, tocopherols, tocotrienols, sterols, triterperpene alcohols, phospholipids, glycolipids, terpenic hydrocarbons, waxes และ impurities จากกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมัน สามารถแบ่งน้ำมันปาล์มตามวัตถุดิบที่ใช้สกัดเป็น 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ ซึ่งมีองค์ประกอบกรดไขมันที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวต่อกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในสัดส่วนประมาณ 50:50 และ 82:18 ตามลำดับ

2.3.2 กระบวนการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม

การกลั่นน้ำมันปาล์มดิบให้บริสุทธิ์เป็นกระบวนการทำให้น้ำมันปาล์มดิบ (crude palm oil) และน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบ (crude palm kernel oil) เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์และน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ พร้อมสำหรับการบริโภค กระบวนการกลั่นแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังแสดงในภาพที่ 3

1) การแยกส่วน (Fractionation)

ไขมันและน้ำมันเป็นส่วนผสมของไตรกลีเซอร์ไรด์หลายชนิด ไตรกลีเซอร์ไรด์แต่ละชนิดจะมีจุดหลอมเหลวต่างกัน จึงทำให้ไขมันและน้ำมันมีจุดหลอมเหลวเป็นช่วง ในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดัดแปรด้วยวิธีแยกส่วนจะใช้สมบัตินี้ในการแยกไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่างกัน น้ำมันที่ใช้ในการแยกส่วนคือน้ำมันปาล์มซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาแยกส่วนเพราะมีส่วนของความอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในสัดส่วนใกล้เคียงกัน การแยกส่วนทำโดยหลอมหรือละลายไขมันและน้ำมันให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วลดอุณหภูมิลงจะทำให้ทำให้น้ำมันและไขมันเกิดการตกผลึก หลังจากนั้นนำมากรองแยกส่วนจะได้น้ำมันหรือโอเลอิน และไขมันหรือสเตียริน

2) วิธีทางกายภาพ (Physical or Steam refining)

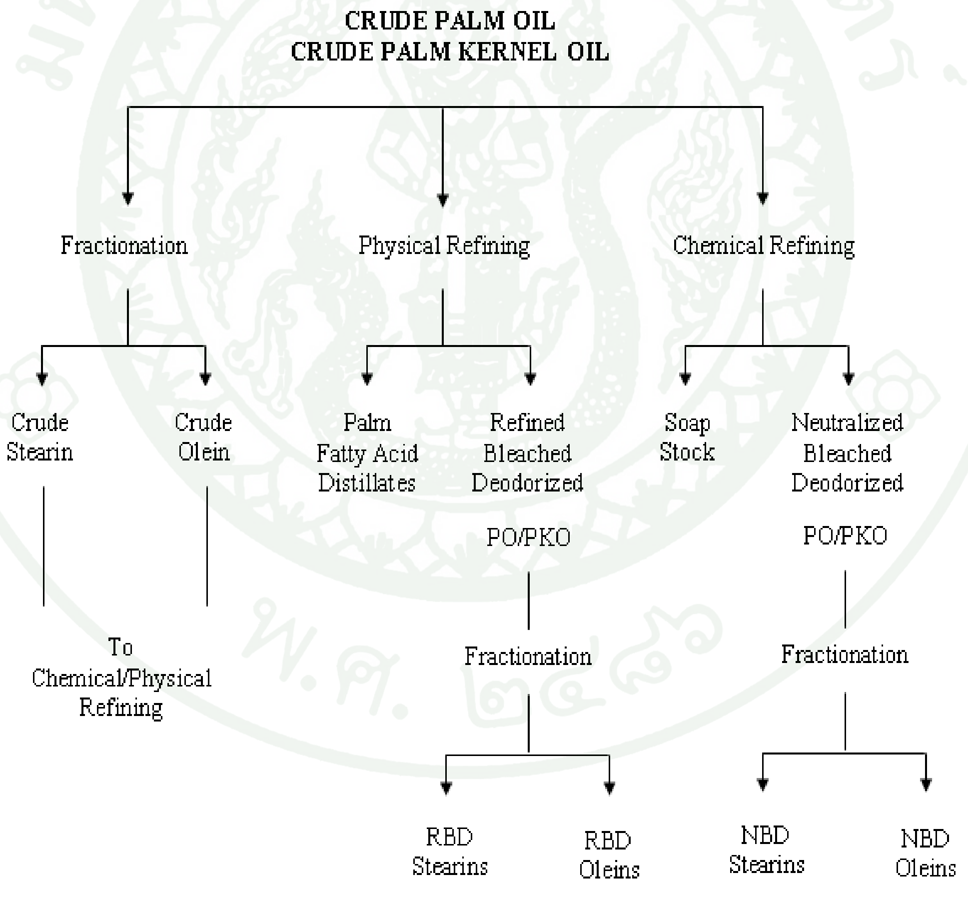
เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยผ่านไอน้ำเข้าไปในน้ำมันร้อน แล้วกลั่นแยกกรดไขมันอิสระและสารที่ให้กลิ่นให้ระเหยออกไป จึงเป็นการกำจัดกลิ่นและทำให้น้ำมันเป็นกลางไปพร้อมกัน การกลั่นน้ำมันปาล์มดิบโดยวิธีทางกายภาพ ทำได้โดยเตรียมน้ำมันปาล์มดิบหรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มดิบที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด โดยกำจัดออกด้วยน้ำ แล้วทำปฏิกิริยาด้วยกรดฟอสฟอริก ความเข้มข้น 80 – 85 % ประมาณ 0.05 – 0.2 % ของน้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 – 30 นาที จากนั้นเติมผงฟอกสี (bleaching earth) ประมาณ 0.8 – 2.0 % ของน้ำมันปาล์มดิบ และฟอกสีภายใต้สภาพสุญญากาศที่อุณหภูมิ 95–100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30–45 นาที จากนั้นนำน้ำมันปาล์มผ่านเข้าเครื่องกรองจะได้น้ำมันที่ไม่มีฟอสโฟลิปิด จึงกลั่นโดยใช้ไอน้ำที่อุณหภูมิน้ำมัน 240 – 270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 2 ชั่วโมง ภายใต้สภาพสุญญากาศ จะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์หรือน้ำมันเมล็ดในปาล์มบริสุทธิ์ ที่เรียกว่า RBD (Refining Bleaching Oil Deodorising)

3) วิธีทางเคมี (Chemical refining)

เป็นกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้สารเคมี ที่นิยมคือ ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต ทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระในน้ำมันให้เกิดเป็นสบู่ จากนั้นแยกสบู่ออกโดยวิธีการหมุนเหวี่ยง ความเข้มข้นของด่างที่ใช้แปรผันตามปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันปาล์ม การกลั่นน้ำมันปาล์มด้วยสารละลายด่าง เริ่มด้วยการให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิ 80 – 90 องศาเซลเซียส แล้วเติมกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 80 – 85 ในปริมาณร้อยละ 0.05 – 0.2 จากนั้นเติมสารละลายด่างซึ่งจะทำให้เกิดสบู่ แยกสบู่ออกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง ล้างไขสบู่ด้วยน้ำ จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันเพื่อไล่น้ำให้ระเหยออก นำน้ำมันมาฟอกสี และกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ จะได้น้ำมันปาล์มที่เรียกว่า Neutralized

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Bleached and Deodorized Palm Oil น้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้ว จะแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนล่างมีลักษณะเป็นไขและส่วนบนเป็นน้ำมันมีสีเหลืองอ่อนถึงเข้ม เนื่องจากน้ำมันที่ได้มีคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการที่ไม่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด จึงได้มีการศึกษาการดัดแปรคุณสมบัติของน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการต่างๆ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายมากขึ้น ผลิตผลพลอยได้ที่สำคัญ จากการกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์ม คือ กรดไขมันปาล์ม หรือ Palm Fatty Acid Distillated (PFAD) ซึ่งนิยมใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสบู่ อาหารสัตว์ ใช้เป็นสารตั้งต้นในการสกัดกรดไขมันชนิดต่าง ๆ หรือการสกัดวิตามินอีในอุตสาหกรรมออริโอเคมิคอล การกลั่นน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์มให้บริสุทธิ์แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การกลั่นบริสุทธิ์น้ำมันปาล์มดิบ และน้ำมันเมล็ดในปาล์ม

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2555)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์มและการดัดแปรไขมันและน้ำมัน (Utilization and Modification of Fats and Oil)

3.1 การใช้ประโยชน์น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันที่มีคุณสมบัติเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างองค์ประกอบของกรดไขมัน ลักษณะทางเคมี กายภาพ และสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชันปริมาณไขมันแข็งตามธรรมชาติซึ่งมีความคงตัวในการเกิดผลึกเบต้าไพรม์ (ß1) ราคาถูก หาได้ง่าย มีการผลิตเพิ่มมากขึ้นในแต่ละปีและมีคุณค่าทางโภชนาการจากคุณสมบัติเหล่านี้ของน้ำมันปาล์ม จึงได้รับการยอมรับจากภาคอุตสาหกรรมในการนำไป ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย ปัจจุบันการแปรรูปน้ำมันปาล์มส่วนใหญ่ยังคงเน้นที่ การแปรรูปเป็นน้ำมันพืชสำหรับบริโภคประมาณ 85 - 87 % โดยระบบการผลิตน้ำมันพืชในประเทศไทยมีการผลิตน้ำมันพืชหลายชนิดด้วยกัน

3.1.1 การใช้แทนน้ำมันดีเซล

น้ำมันปาล์มสามารถใช้ได้ในเครื่องยนต์ที่ผ่านการดัดแปลงสภาพให้มีความเหมาะสมกับน้ำมันปาล์ม จากการทดสอบพบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ มีความสะอาดกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและที่สำคัญคือ ไม่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไนโตรเจนออกไซด์ในไอเสีย นอกจากนั้นยังมีราคาถูก และมีจุดวาบไฟสูง (230 องศเซลเซียส) กว่าน้ำมันดีเซล (52 องศาเซลเซียส) จึงปลอดภัยต่อการขนส่ง

3.1.2 Drilling Mud

เป็นการนำน้ำมันปาล์มไปใช้เป็นโคลนสำหรับเครื่องขุดเจาะ ซึ่งน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติที่ดีคือมีความคงตัวของการเป็นอิมัลชั่นสูงกว่าน้ำมันดีเซลและควบคุมการสูญเสียของเหลวได้ดี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.1.3 ใช้ทำสบู่

สบู่เป็นผลิตภัณฑ์เกลือโซเดียมของกรดไขมัน ได้จากการทำปฏิกิริยา saponification ระหว่างไขมัน น้ำมัน และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (โซดาไฟ) ที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส องค์ประกอบกรดไขมันที่สำคัญในสบู่ประกอบด้วย กรดปาล์มมิติก กรดสเตียริก กรดลอริค และกรดไมริสติก ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความสามารถในการทำความสะอาดและละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติการเป็นฟองตามที่ต้องการ ในสมัยก่อนนิยมใช้ไขวัวและน้ำมันมะพร้าวผลิตสบู่ เนื่องจากมีองค์ประกอบของกรดไขมันดังกล่าว แต่ในปัจจุบันได้มีการนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดในปาล์ม และน้ำมันเมล็ดในปาล์มโอเลอีน มาใช้ในการผลิตสบู่แทน เนื่องจากมีองค์ประกอบกรดไขมันคล้ายไขวัวและน้ำมันมะพร้าว และได้สบู่ที่มีฟอง สี และกลิ่นหอมดีกว่าสบู่ที่ผลิตจากไขวัว

ปริมาณการผลิตและความต้องการใช้น้ำมันปาล์มดิบในประเทศ เพื่อการบริโภคและอุตสาหกรรมต่อเนื่องมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี เนื่องจากน้ำมันปาล์มเป็นพืชที่มีความได้เปรียบทางด้านราคาจำหน่ายเมื่อเปรียบเทียบกับพืชน้ำมันประเภทอื่น เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันรำข้าว น้ำมันทานตะวัน โดยเฉพาะในปีที่มีปริมาณผลผลิตมากและราคาต่ำจะจูงใจให้มีการบริโภคมากขึ้นประกอบกับอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องทำให้มีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง

3.2 การดัดแปรไขมันและน้ำมัน

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของไขมันและน้ำมัน เป็นการปรับปรุงไขมันและน้ำมันให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ หรือดัดแปรเพื่อให้มีคุณสมบัติที่มีประโยชน์หลากหลายเพิ่มขึ้น วิธีการดัดแปรหลักมี 3 วิธี

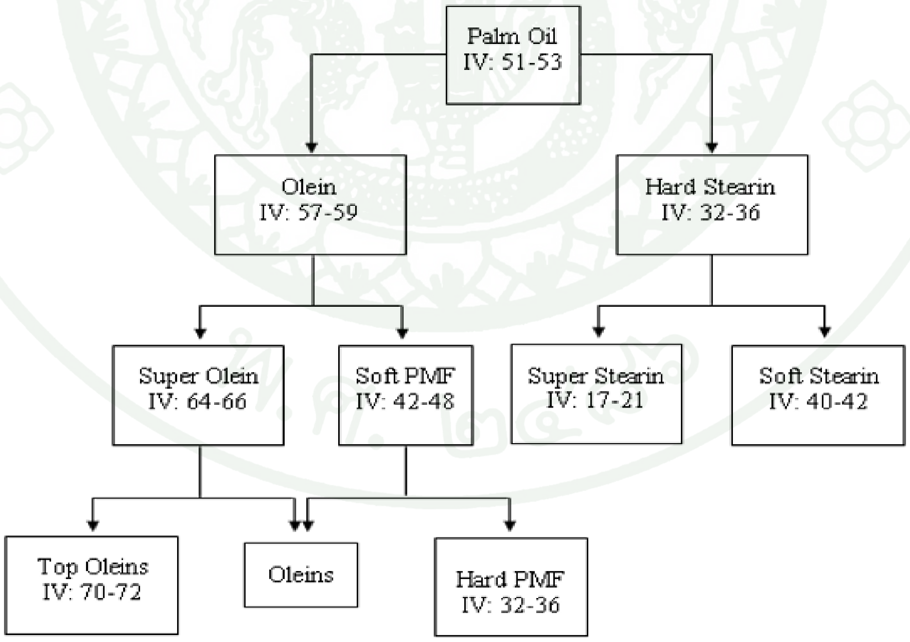
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.1 การแยกส่วน (Fractionation)

วิธีการแยกส่วน แบ่งออกเป็น 3วิธี ได้แก่

1) Dry fractionation

Dry fractionation เป็นวิธีการแยกส่วนโดยให้ความร้อนแก่น้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิประมาณ 75 – 90 องศาเซลเซียส เพื่อให้น้ำมันปาล์มหลอมรวมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำเข้าถังตกผลึกทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 25 – 30 องศาเซลเซียส อย่างช้า ๆ น้ำมันปาล์มจะฟอร์มผลึกสเตียริน แยกผลึกออกโดยใช้เครื่องกรอง (filter press) ซึ่งจะได้โอเลอิน (จุดขุ่น 8 องศาเซลเซียส) 60 % และ สเตียริน 40 % และถ้าต้องการโอเลอีนที่มีคุณภาพสูง (super olein) ต้องแยกส่วนครั้งที่ 2 ซึ่งโอเลอินที่แยกส่วนในครั้งที่ 2 มีจุดขุ่นต่ำลง (4 องศาเซลเซียส) เช่นเดียวกับสเตียริน การแยกส่วนหลายครั้ง จะได้สเตียรินที่มีค่าแตกต่างกันไป ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย สำหรับ PMF (palm mid fraction) สามารถนำไปใช้ในการผลิตโกโก้บัตเตอร์ (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 การแยกส่วนน้ำมันปาล์ม

ที่มา : ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี (2555)

2) Lanza fractionation

ค้นพบโดย Fractelli Lanza เป็นการแยกส่วนโดยการเติมสาร detergents หรือ wetting agents เช่น sodium lauryl sulphate ในน้ำมันพืช เพื่อทำให้พื้นผิวหน้าของผลึกเปียกและตกตะกอน ผลึกที่เปียกจะชอบน้ำและตกตะกอนในส่วนที่มีน้ำ น้ำจะมีส่วนของไขมัน น้ำมันหยดใหญ่จะรวมตัวกันใหญ่ขึ้น และจะเห็นเป็น 2 ชั้น ชั้นน้ำมันประกอบด้วยน้ำมันโอเลอิน และส่วนชั้นน้ำมีน้ำและสเตียริน วิธีการแยกส่วนแบบนี้เป็นวิธีที่แยกผลึกขนาดเล็กออกได้ง่ายกว่า dry fractionationและใช้เวลาในการตกผลึกสั้นกว่า

3) Wet fractionation

วิธีนี้อาศัยความสามารถในการละลายของไขมันและน้ำมันที่แตกต่างกัน การแยกส่วนด้วยตัวทำละลายจะให้การแยกที่ชัดเจนกว่า เพราะไม่ต้องใช้การตกผลึก แต่ใช้การเปลี่ยนอุณหภูมิและปริมาณตัวทำละลาย ทำโดยการผสมตัวทำละลายกับไขมันและปั๊มผ่านไปสู่เครื่องเกิดผลึก ซึ่งทำให้เย็นที่อุณหภูมิที่จะแยกส่วน ผลึกที่เกิดขึ้นจะถูกกรองแยกออกมา จากนั้นระเหยตัวทำละลายจะได้สเตียริน ส่วนโอเลอินและตัวทำละลายจะถูกเก็บทันที หรือปั๊มไปเครื่องเกิดผลึกเพื่อให้ตกผลึกและแยกออกจากตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้คือ เฮกเซน อะซิโตน และ 2-ไนโตร-

โพเพน ตัวทำละลายที่แยกส่วนได้ชัดเจนที่สุดคือ อะซิโตน จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติของปาล์มโอเลอินที่ถูกแยกส่วนด้วยวิธีต่าง ๆ พบว่า การแยกส่วนแบบ Lanza จะให้ผลผลิตสูงที่สุดและมีจุดที่มีของแข็งต่ำที่สุด น้ำมันปาล์มโอเลอินที่ได้มีกรดไขมันอิสระต่ำ และมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

3.2.2 อินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน (Interesterification)

อินเทอร์เอสเทอริฟิเคชัน เป็นปฏิกิริยาของไขมันและน้ำมัน หรือสารที่ประกอบด้วย fatty acid esters กับกรดไขมัน แอลกอฮอล์หรือเอสเทอร์อื่นที่มีการแลกเปลี่ยนกรดไขมัน ทำให้ได้เอสเทอร์ ชนิดใหม่ ผลจากการอินเทอร์เอสเทอริฟายน์ทำให้คุณสมบัติไขมันและน้ำมันเปลี่ยน แปลงไป จะเปลี่ยนแปลงมากน้อยขึ้นกับองค์ประกอบและการจัดเรียงตัวของกรดไขมัน และสภาวะที่เหมาะสม ไขมันและน้ำมันที่ผ่านการอินเทอร์เอสเทอริฟายน์ จะทำให้จุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลอมเหลวของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป โดยมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณของแข็งเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันก่อนการอินเทอร์เอสเทอริฟายน์ ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ ต้องมีการให้ความร้อนไขมันและน้ำมันมากกว่า 250 องศาเซลเซียส ซึ่งทำได้ยาก จึงต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยาเช่น sodium methoxide, sodium ethoxide, sodium metal หรือ sodium-potassium alloy โดยใช้ประมาณ 0.01 – 0.1% และสามารถหยุดปฏิกิริยาได้ด้วยน้ำ วิธีการนี้ใช้ดัดแปรให้ได้ไขมันและน้ำมันที่จะนำไปใช้เฉพาะอย่าง หรือเป็นการปรับสมบัติของน้ำมันให้เหมาะสมมากขึ้น การเลือกวัตถุดิบจึงมีความจำเป็น เพื่อให้ได้องค์ประกอบของกรดไขมันตามที่ต้องการ ไขมันและน้ำมันที่จะทำอินเทอร์เอสเทอริฟายน์ต้องผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ ทำให้เป็นกลางและแห้ง เพื่อหลีกเลี่ยงการยับยั้งสารเร่งปฏิกิริยา และอาจไม่ต้องฟอกสีก็ได้ เพราะน้ำมันจะมีสีเข้มขึ้นเมื่อผ่านการอินเทอร์เอสเทอริฟายน์ จึงควรฟอกสีภายหลังและนำไปกำจัดกลิ่นต่อไป การกำจัดสารเร่งปฏิกิริยาออกเนื่องจากเป็นพิษ หรือมีผลเสียต่ออายุการเก็บ ทำได้โดยการรีไฟน์แต่จะเกิดการสูญเสีย จึงอาจเติมกรดฟอสฟอริกเพื่อทำลายสบู่ แล้วเติมสารช่วยกรองกวนผสมหลังจากนั้นกรองสารเร่งปฏิกิริยาออก

3.2.3 การทำไขมันแข็ง (Hardening)

การทำไขมันแข็งหรือการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) เป็นการเติมไฮโดรเจนที่พันธะคู่ เพื่อทำให้น้ำมันเปลี่ยนเป็นไขมันแข็ง และลดจำนวนพันธะคู่ลง ทำให้น้ำมันที่ได้มีความคงตัวต่อการเหม็นหืน ป้องกันการเกิดกลิ่น เนื่องจากกรดลิโนเลนิก และทำให้น้ำมันมีสีอ่อน การเติมไฮโดรเจนต้องมีสารเร่งปฏิกิริยา ที่นิยมใช้คือ นิกเกิล (nickle) มีลักษณะเป็นของแข็งอยู่กับ supportor ที่มีลักษณะโปร่งเป็นโพรง และคงรูปร่างแข็งแรงถึงจะได้รับความร้อนสูง ปัจจัยที่มีผลต่อการเติมไฮโดรเจนคือ อุณหภูมิ ความดัน การเคลื่อนย้ายมวลสาร หรือ การกวน สารเร่งปฏิกิริยาทั้งชนิด สภาพ และความเข้มข้น เวลา และสารตั้งต้น สภาวะการเติมไฮโดรเจนจะมีผลต่อปริมาณ trans isomer การควบคุมสภาวะเพื่อให้ได้น้ำมันที่มีคุณภาพตามต้องการเป็นสิ่งสำคัญ ถ้ามีน้ำในน้ำมันจะมีผลทำให้ยับยั้งการทำงานของนิกเกิล และทำให้น้ำมันเกิดการแตกตัว ปริมาณกรดไขมันอิสระสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่และสารอื่น ๆ ที่จัดเป็นสารที่มีพิษต่อสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst poison) เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และคลอรีน คุณสมบัติของน้ำมันที่ผ่านการทำไขมันแข็งถ้ามีลักษณะเป็น semiliquid และ soft fat จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนมอบและขนมหวาน soft fat นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการทอดที่ใช้น้ำมันปริมาณมาก (deep frying) คุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันที่ผ่านการทำไขมันแข็งจะมีการย่อยที่ไม่แตกต่างกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

ผลิตภัณฑ์ปาล์มน้ำมันนับว่าเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมหลักแต่ก็ส่งผลให้เกิดน้ำเสียจากโรงงานผลิตปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก

4.1 แหล่งน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

น้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยส่วนมาก หรือเกือบทั้งหมด มาจากการใช้น้ำในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ ในกระบวนการสกัดปาล์มน้ำมันดิบ ทะลาย 1 ตัน จะมีน้ำเสียเกิดขึ้น 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่า ซีโอดี 52,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี ต่อปี 104,000 ตัน มีกรดไขมันอิสระสูง นอกนั้นเป็นไตรกลีเซอร์ไรด์ น้ำเสียมีอัตราการเพิ่มตามอัตราการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการหลัก 5 กระบวนการ (ปาริชาติ, 2547) ดังต่อไปนี้

4.1.1 น้ำจากการนึ่งปาล์ม

หลังการอบทะลายสดปาล์มน้ำมันด้วยไอน้ำ จะมีน้ำเสียเกิดขึ้น น้ำส่วนนี้จะมีน้ำมันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย แต่จะมีสารแขวนลอยในปริมาณที่น้อย และไม่มีสภาพเป็นอิมัลชัน โดยทั่วไปการอบทะลายปาล์ม 25 ตัน จะมีน้ำจากการนึ่งปาล์มเกิดขึ้น 2 – 3 ลูกบาศก์เมตร

4.1.2 น้ำเสียจากการแยกน้ำ กากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน

น้ำเสียจากการแยกน้ำ กากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน เป็นส่วนที่มีปริมาณมากที่สุดและเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณสารแขวนลอยมาก ในกรณีที่ใช้ decanter ในการแยกน้ำเสียจากการแยกน้ำ และกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน จะมีน้ำสลัดจ์ถูกแยกออกประมาณ 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันทะลายปาล์มสด และในกรณีที่ใช้ separation จะมีน้ำสลัดจ์ถูกแยกออกประมาณ 0.65 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันทะลายปาล์มสด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1.3 น้ำเสียจากการทำความสะอาดเครื่องมือ

1) เครื่องแยกกรวด ทราย ต้องทำการล้างทุกครึ่งชั่วโมง ใช้น้ำในการล้าง ประมาณ 0.05 – 0.1 ลูกบาศก์เมตร

2) เครื่องแยกน้ำ และกากสลัดจ์ออกจากน้ำมัน เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งต้องมีการล้างทำความสะอาด ซึ่งจะเกิดน้ำเสียต่อการทำความสะอาด 1 ครั้ง เท่ากับ 0.2 – 0.5 ลูกบาศก์เมตร

3) เครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง ต้องทำการล้างทุก 20 – 30 นาที ในการล้างจะใช้น้ำครั้งละ 0.05 – 0.06 ลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้ยังต้องล้างทำความสะอาดพื้น ถังพัก และภาชนะต่าง ๆ ด้วย

4) น้ำจากการหล่อเย็นหม้อกำเนิดไอน้ำ และการระเหย เป็นน้ำที่มีสารแขวนลอยในปริมาณที่ต่ำมาก และยังสะอาดอยู่ โดยส่วนมากจะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่

5) น้ำสลัดจ์จากเครื่องแยกเหวี่ยงความเร็วสูง จะมีน้ำเสียประมาณ 0.03 – 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อ 1 ตันทะลายปาล์มสด

ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดคิดเป็นร้อยละ 60 ของปริมาณทะลายปาล์ม หรือปริมาณน้ำเสีย 2.50 – 3.50 เท่าของปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (ธนกฤต, 2552) ซึ่งเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นจากกระบวนการาผลิต และการล้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีความสกปรกสูง ไม่ว่าจะเป็นในรูปของ ซีโอดี บีโอดี สารแขวนลอย และ สีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากในน้ำเสียมีสารอินทรีย์ น้ำมันและไขมัน รวมทั้งแร่ธาตุต่าง ๆ ปนอยู่ด้วย (ปรีชา, 2539) ซึ่งค่าโดยประมาณของระบบการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบแบบระบบบ่อบำบัดสามารถแสดงดังในตารางที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำเสียของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันหลังจากผ่านการบำบัดแบบระบบบ่อบำบัด

บ่อบำบัดที่	บีโอดี	ประสิทธิภาพการลดบีโอดี (%)	ซีโอดี	ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (%)	บีโอดี/ซีโอดี
1	30,000	93.00	90,000	81.11	0.33
2	2,100	95.33	17,000	83.44	0.12
3	1,400	97.33	14,900	88.22	0.09
4	800	97.90	10,600	88.33	0.08
5	630	99.03	10,500	93.07	0.06
6	290	99.50	6,240	96.54	0.05
7	150	99.67	3,110	97.79	0.05
น้ำทิ้งสุดท้าย	100	-	2,000	-	0.05

ที่มา : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน (2540)

5. สีของน้ำเสีย

5.1 การแบ่งสีของน้ำ

ปกติสีของน้ำแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ สีแท้ และสีปรากฏ (มั่นสิน, 2542)

สีแท้หรือสีจริง (true color) หมายถึง สีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ ซึ่งเกิดจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากประเภทกรดฮิวมิก (humic acid) และกรดฟูวิก (fuvic acid) ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายพืชต่าง ๆ กรดอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สลายตัวต่อไปอีกแล้ว ดังนั้นการกำจัดสีแท้ออกจากน้ำจึงไม่อาจกระทำได้โดยง่าย

สีปรากฏ (apparent color) หมายถึง สีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีทางกายภาพ เกิดจากการสะท้อนของสิ่งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ หรืออาจเกิดจากการสะท้อนของท้องฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

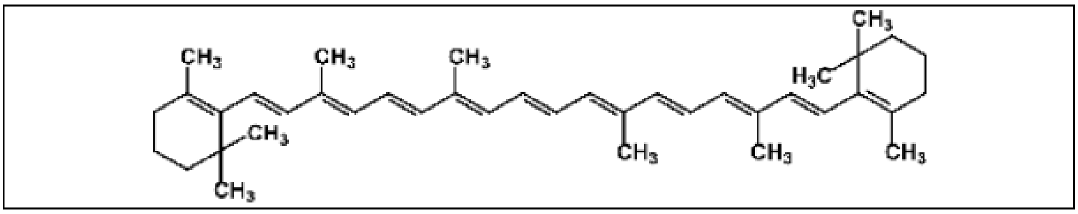
สิ่งที่แขวนลอย ได้แก่ แพลงก์ตอนพืช (phytoplankton) แพลงก์ตอนสัตว์ (zoo plankton) รวมทั้งสิ่งไม่มีชีวิตบางประเภท เช่น เกล็ดของซากพืช ซากสัตว์ ตะกอนของดินและทราย

สีทั้งสองรูปแบบนี้อาจแยกออกจากกันโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยงซึ่งพวกสีปรากฏจะตกตะกอนส่วนสีแท้จะไม่ตกตะกอน (กรรณิการ์, 2522) และเมื่อกำจัดสีปรากฏออกไปจะทำให้เห็นสีแท้ของน้ำ

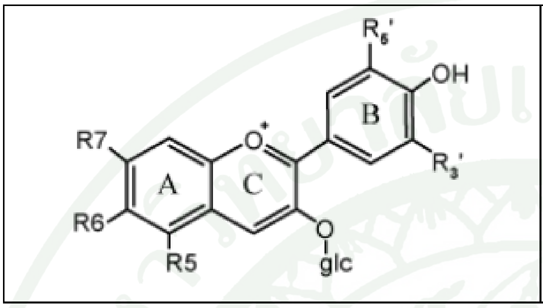
5.2 องค์ประกอบสีของน้ำเสีย

แหล่งน้ำธรรมชาติมักมีสีเหลืองน้ำตาลหรือสีชา เกิดจากการเน่าเปื่อยของพืชหลากหลายชนิด ส่วนประกอบสำคัญอันเป็นที่มาของสีในน้ำธรรมชาติ คือ สารลิกนิน เมื่อพืชเน่าเปื่อย สารลิกนินในธรรมชาติจะถูกย่อยสลายทำให้เกิดสารแทนนิน สารประกอบประเภทฮิวมิก (humic) และฟุลวิก (fuvic) สีในน้ำธรรมชาติซึ่งเกิดจากสารเหล่านี้มีลักษณะสมบัติเป็นอนุภาคคอลลอยด์ที่มีประจุลบ ซึ่งเป็นผลที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชต่าง ๆ (มั่นสิน และ มั่นรักษ์, 2545) สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่มีความคงตัวสูงมาก จนไม่สามารถย่อยสลายตัวได้อีกต่อไปได้โดยง่ายตามธรรมชาติ ดังนั้นการกำจัดสีจริงออกจากน้ำจึงไม่อาจทำได้โดยง่าย โดยทั่วไปความเข้มข้นของสีจะเพิ่มขึ้น เมื่อพีเอชของน้ำเพิ่มขึ้น สำหรับสีในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันเกิดจาก แอนโทไซยานิน แคโรทีน เมลานอยดิน โพลีฟีนอล ลิกนิน และแทนนิน (ธนกฤต, 2552) โครงสร้างทางแคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบแสดงในภาพที่ 5

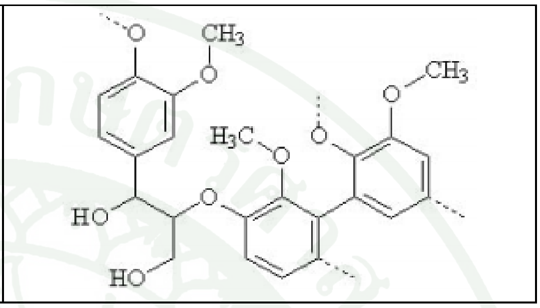
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



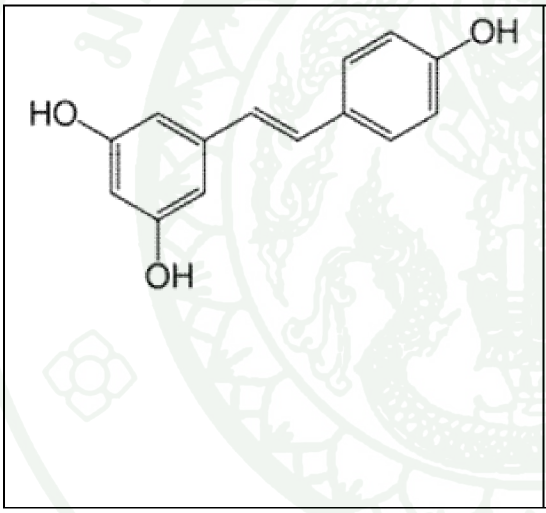
β-carotene



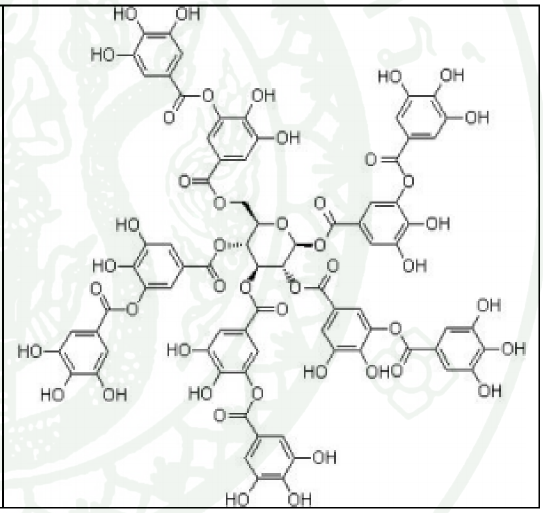
Anthocyanin



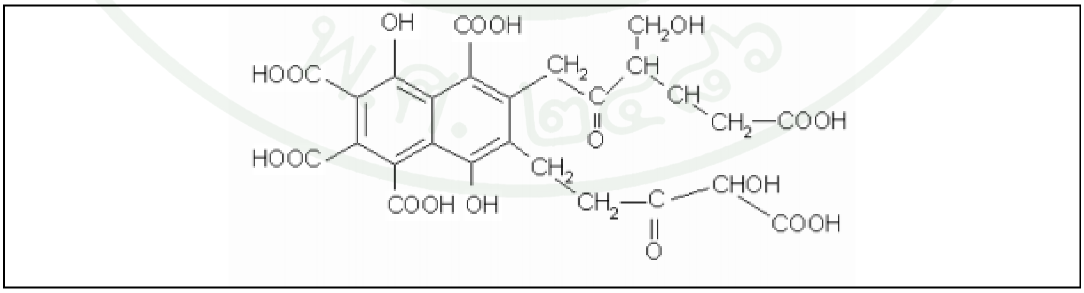
Lignin



Polyphenol



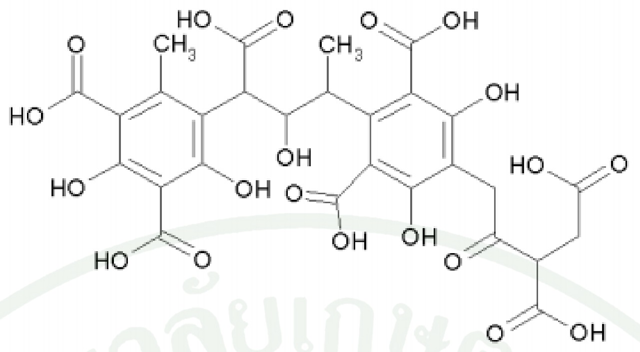
Tannin



Fulvic acid

ภาพที่ 5 โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



Humic acid

ภาพที่ 5 (ต่อ)

ที่มา : ธนกฤต (2552)

6. ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมัน

น้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ มีแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่ง ทำให้น้ำเสียมีมลสารหรือความสกปรกที่แตกต่างกันออกไป จึงต้องแยกมลสารที่มีความสกปรกมาก และน้อยออกจากกัน โดยน้ำเสียที่มีความสกปรกน้อยจะมีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งตามความเหมาะสม ส่วนน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงจะส่งเข้าสู่ระบบบำบัดของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบต่อไป ส่วนมากจะใช้การบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (ปาริชาติ, 2547)

6.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากโรงงานอุตสาหกรรมสกัดปาล์มน้ำมันดิบจะมีอุณหภูมิที่สูง และมีน้ำมันปนอยู่ด้วย ในการบำบัดขั้นต้นจะใช้บ่อดักไขมันซึ่งกักน้ำเสียเอาไว้ ทำให้อุณหภูมิลดลง และทำให้ไขมันลอยตัวขึ้นสู่ผิวบนของบ่อ จากนั้นจะมีการกวาดไขมันออกเป็นระยะ โดยไขมันส่วนนี้จะมีการนำไปใช้ประโยชน์ เช่น การทำสบู่ หรือเทียนไข ต่อไป ในส่วนของสารแขวนลอยก็จะตกตะกอนบริเวณก้นบ่อ ในช่วงบ่อต้นๆ ของระบบบำบัด ซึ่งจะมีการขุดลอกก้นบ่อเพื่อนำไปทำปุ๋ย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2 การบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิ

เนื่องจากองค์ประกอบโดยส่วนใหญ่ของน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบเป็นสารอินทรีย์ และมีสารที่เป็นมลพิษ หรืออันตรายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพน้อย ระบบบำบัดจึงนิยมใช้กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งเป็นระบบบ่อคงตัว stabilization pond หรือ oxidation pond ประกอบด้วยบ่อดิน หรือบ่อกักเก็บน้ำทิ้งจำนวนหลาย ๆ บ่อ เรียงต่อกันแบบอนุกรม ซึ่งต้องการพื้นที่ค่อนข้างมาก แต่มีการออกแบบที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถแยกประเภทของบ่อเหล่านี้ตามระดับของออกซิเจนที่มีอยู่ในบ่อ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

6.2.1 บ่อแอโรบิก (aerobic pond)

บ่อแอโรบิก เป็นบ่อที่มีแบคทีเรีย และสาหร่ายแขวนลอยอยู่ มีออกซิเจนทั่วทั้งบ่อ และมีสภาพเป็นแอโรบิกตลอดทั้งความลึก บ่อแอโรบิกได้รับออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงและการเติมอากาศที่ผิวหน้า บ่อแอโรบิกแบ่งออกเป็น 2 แบบ ตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน

ก) บ่อแอโรบิกแบบผลิตออกซิเจนให้มากที่สุด

บ่อแบบนี้มีความลึกได้ประมาณ 1 – 1.5 เมตร อาจมีการกวนเป็นระยะ เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เครื่องสูบน้ำ หรือเครื่องเติมอากาศแบบผิวหน้า

ข) บ่อแอโรบิกแบบผลิตสาหร่ายให้ได้มากที่สุด หรือบ่อที่มีอัตราการทำงานสูง (High rate ponds)

บ่อแบบนี้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรสูง ความลึกประมาณ 0.2 – 0.6 เมตร ใช้สาหร่ายเปลี่ยนน้ำเสียให้เป็นสาหร่ายให้มากที่สุด สิ่งที่อยู่ในบ่อต้องได้รับการกวนหนึ่งหรือสองครั้งต่อวัน เพื่อให้ตะกอนที่ตกอยู่ลอยขึ้นมา และจำเป็นต้องมีการแยกสาหร่ายจากน้ำทิ้งขั้นสุดท้าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6.2.2 บ่อแฟคัลเททีฟ (facultative ponds)

บ่อแฟคัลเททีฟเป็นบ่อกึ่งแอโรบิคส่วนบนของบ่อจะอยู่ในสภาพแอโรบิกเนื่องจากมีการเติมอากาศที่ผิวหน้า และจากปฏิกิริยาของสาหร่ายซึ่งให้ออกซิเจน ส่วนล่างของบ่อจะอยู่ในสภาพแอนแอโรบิก บ่อแฟคัลเททีฟมีความลึกประมาณ 1 – 2 เมตร น้ำเสียจะถูกกักเป็นเวลาหลายวัน เพื่อให้คงตัว และไม่เป็นที่น่ารังเกียจเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ

6.3.3 บ่อเหม็น หรือบ่อแอนแอโรบิก (anaerobic ponds)

บ่อแอนแอโรบิก ใช้กำจัดสารอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูงมาก จนสาหร่ายและการเติมออกซิเจนที่ผิวหน้าไม่สามารถเติมได้ทัน สภาพภายในบ่อจึงไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ สารอินทรีย์ และของแข็งในน้ำ จะถูกย่อยสลายแบบแอนแอโรบิคภายในบ่อ น้ำในที่ออกจากบ่อจะถูกปล่อยเข้าบ่อแฟคัลเททีฟเพื่อบำบัดต่อไป

6.3.4 บ่อบ่ม (maturation ponds)

บ่อบ่มมีวัตถุประสงค์เพื่อจำกัดเชื้อโรค ก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยสภาพภายในบ่อจะเป็นแบบแอโรบิกทั้งหมด ปกติความลึกของบ่อจะเท่ากับบ่อแฟคัลเททีฟ เนื่องจากระบบบำบัดทางชีวภาพแบบบ่อเปิดต้องการพื้นที่มาก แม้จะใช้เงินลงทุนต่ำและใช้เงินเพื่อขับเคลื่อนระบบน้อย นอกจากนี้กระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศจึงได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากได้ ก๊าซชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานได้อีกด้วย อย่างไรก็ดีน้ำทิ้งที่ได้มักมีสีและสารอินทรีย์เหลืออยู่ ดังนั้นกระบวนการทางเคมี เช่น กระบวนการโคแอคกูเลชัน หรือทางกายภาพเคมี เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยการกรองผ่านเมมเบรน จะถูกพิจารณานำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7. การบำบัดสีในน้ำเสีย

การบำบัดสีในน้ำเสียสามารถบำบัดได้หลายกระบวนการ ซึ่งการเลือกใช้แต่ละกระบวนการนั้นจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่แตกต่างกัน ประกอบกับต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดของแต่ละกระบวนการด้วย โดยกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดสีโดยทั่วไป มีดังนี้ (ธนกฤต, 2552)

7.1 การรวมตะกอนด้วยสารเคมี (chemical coagulation)

กระบวนการกำจัดสีที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ การรวมตะกอนด้วยสารเคมี และสามารถใช้เป็นกระบวนการในการบำบัดขั้นต้น ก่อนการบำบัดทางชีววิทยาสารรวมตะกอนที่นิยมใช้คือ ปูนขาว (CaO) สารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) เฟอร์รัสคลอไรด์ ($FeCl_2$) เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) เป็นต้น การกำจัดสีโดยการรวมตะกอนด้วยสารส้มเป็นผลทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับที่อนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง วิธีการนี้เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ในบางครั้งที่อนุภาคของสีย้อมที่มีขนาดเล็ก ละลายน้ำได้ดี เช่น สีแอซิด (acid dye) สีรีแอคทีฟ (reactive dye) การเกิดตะกอนของสีจึงไม่สามารถทำได้ ต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการรวมตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยการใช้สารเพื่อช่วยให้เกิดการรวมตะกอน เช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ (polyelectrolyte) แต่ต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification)

7.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon)

การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีที่สูง แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักของโมเลกุลของสีที่จะถูกดูดซับต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรมสีต้องมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1,200 ดังนั้นก่อน นอกจากนั้นจะต้องใช้ปูนขาวในปริมาณมากเพื่อปรับพีเอชให้อยู่ในช่วง 10 – 11 ส่งผลให้น้ำทิ้งมีค่าพีเอชสูง ดังนั้นจึงต้องมีการปรับพีเอชของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม กระบวนการกำจัดสีด้วยการดูดซับโดยถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนที่ทำให้โมเลกุลของสีดูดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้นประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์ แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านกัมมันต์ทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.3 เทคโนโลยีเมมเบรน (membrane technology)

เทคโนโลยีเมมเบรน (membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้ (กัลยา, 2547)

7.3.1 ไมโครฟิวเตรชัน (microfiltration)

วิธีการนี้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้างโดยใช้สีประเภท สีดิสเพอร์ส (disperse dye) โพลีเอสเทอร์ (polyester dye) สีซัลเฟอร์ (sulphur dye) แวต (vat dye) อะโซอิก (azoic dye) และวิสคอส (viscose) สีดิสเพอร์ส เมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิวเตรชันแล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

7.3.2 ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis)

กระบวนการนี้เหมาะสำหรับใช้กำจัดไอออนสีย้อม และโมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่ผ่านเยื่อแผ่น 2 ขั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (backish water) และเยื่อออสโมซิสย้อนสกลับที่บรรจุน้ำทะเล (sea water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีแผ่นที่เหลือจะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สองสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตาม สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้ายไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

7.3.3 ไดนามิคเมมเบรน (dynamic membrane)

ไดนามิคเมมเบรนใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่น เหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะครีลิก (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.4 นาโนฟิวเตรชัน (nanofiltration)

นาโนฟิวเตรชันใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทิฟที่ใช้ในการย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทิฟ ต้องใช้สารอิเล็กโทรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โวเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโทรไลต์เหล่านี้ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

7.5 กระบวนการออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation)

โดยทั่วไปโมเลกุลของสีย้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ (chromophore) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์พวกวงแหวนกับพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่ หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีออกซิเดชันทางเคมี เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้สารเคมี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดซ์สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสีย ซึ่งกระบวนการนี้สามารถใช้งานได้หลายจุดประสงค์ เช่น การกำจัดสารเคมีเป็นพิษที่มีความเข้มข้นต่ำในน้ำบาดาล การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงแต่ปริมาณน้อย เพื่อลดความเป็นพิษ การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากให้สามารถถูกย่อยได้ง่ายขึ้น และลดความเป็นพิษของน้ำเสีย นอกจากนั้นยังลดเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยสารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิแดนซ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ โอโซน (O_3) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) คลอรีน (Cl_2) โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนส ($KMnO_4$) สารเคมีเฟนตัน (fenton's reagent) เป็นต้น

ในการเลือกใช้สารเคมีชนิดใดเป็นตัวออกซิแดนซ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียนั้น จะต้องคำนึงถึงชนิด และปริมาณของน้ำเสียที่เกิดขึ้น ชนิดและปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียชนิดนั้น ๆ ประสิทธิภาพของสารเคมีที่ใช้ ความยากง่ายของการใช้สารเคมีนั้นว่ามีความยากง่ายเพียงใด สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยาของสารออกซิแดนซ์นั้น ๆ ความสามารถในการบำบัด ผลผลิตที่ได้จากการออกซิไดซ์ ตลอดจนความปลอดภัยในการใช้สารเคมีนั้น และราคาว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ เพื่อให้ได้การบำบัดน้ำเสียที่ใช้ต้นทุนต่ำแต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (กัณฑมาศ, 2538)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.6 กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC)

7.6.1 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการโคแอคกูเลชัน

อนุภาคขนาดเล็กซึ่งเรียกว่าอนุภาคคอลลอยด์โดยทั่วไปมีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10^{-6} จนถึง 10^{-3} มม. เนื่องจากมีขนาดเล็กจึงไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยน้ำหนักของตัวเองในเวลาจำกัดนอกจากนี้อนุภาคคอลลอยด์เมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุประจำตัวโดยพวกที่ชอบน้ำ (hydrophilic) จะมีประจุบวกเช่นสารอินทรีย์ สบู่หรือสารจำพวก detergent ส่วนพวกที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มักจะมีประจุเป็นลบเช่นอนุภาคของดินเหนียว เนื่องจากอนุภาคดังกล่าวมีประจุทำให้อนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันเกิดแรงผลักกันระหว่างอนุภาคทำให้อนุภาคเหล่านั้นมีเสถียรภาพสูง การใช้สารเคมีในการทำให้อนุภาคต่างๆรวมตัวกันและตกตะกอน จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การทำลายเสถียรภาพ (Destabilization) และ การทำให้เกิดฟล็อคคูเลชัน (Flocculation) (มั่นสิน, 2537)

7.6.2 กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า มีหลักการเดียวกันกับกระบวนการโคแอคกูเลชันโดยใช้สารเคมีในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ แต่ใช้สารโคแอคกูแลนท์ในรูปของไอออนโลหะที่เกิดจากการ ละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วแอโนด (anode) คอลลอยด์จะถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของไอออนโลหะในน้ำ นอกจากนี้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด (cathode) จะช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น และสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำซึ่งกระบวนการนี้นิยมเรียกว่าการทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (electroflotation) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (สมพงษ์, 2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1) ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีและกลไกการเกิดโคแอคกูเลชันที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำได้แก่การนำไฟฟ้า พีเอช ขนาดของอนุภาคและองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดไอออนจะขึ้นกับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ กรณีอิเล็กโทรดเหล็ก ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นดังนี้ (Youri *et al.,* 2010)

(1) กลไกที่ 1

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (anode)

$$4Fe_{(s)} \longrightarrow 4Fe^{2+}_{(aq)} + 8e^{-}$$

$$4Fe_{(s)} + 10H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \longrightarrow 4Fe(OH)_{3(s)} + 8H^{+}$$

ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซออกซิเจน

$$2H_2O_{(l)} \longrightarrow O_{2(g)} + 4H^{+} + 4e^{-}$$

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด (cathode)

$$8H^{+}_{(aq)} + 8e^{-} \longrightarrow 4H_{2(g)}$$

ปฏิกิริยารวม

$$4Fe_{(s)} + 10H_2O_{(l)} + O_{2(g)} \longrightarrow 4Fe(OH)_{3(s)} + 4H_{2(g)}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(2) กลไกที่ 2

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (anode)

$$Fe_{(s)} \longrightarrow Fe^{2+}_{(aq)} + 2e^-$$

$$Fe^{2+}_{(aq)} + 2OH^- + \longrightarrow Fe(OH)_{2\,(s)}$$

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วแคโทด (cathode)

$$2H_2O_{(l)} + 2e^- \longrightarrow H_{2\,(g)} + 2OH^-_{(aq)}$$

ปฏิกิริยารวม

$$Fe_{(s)} + 2H_2O_{(l)} \longrightarrow Fe(OH)_{2\,(s)} + H_{2\,(g)}$$

7.6.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

1) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (current density) และระยะเวลาสัมผัส

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณไอออน ที่ปล่อยจากอิเล็กโทรด ระบบที่ใช้กระแสไฟฟ้ามากต้องการระยะเวลาสัมผัสสั้นทำให้ระบบมีขนาดเล็ก แต่การใช้กระแสไฟฟ้าที่ปริมาณสูงเกินไปจะทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่น้ำและทำให้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลง ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าหรือปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรด จะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียเช่นค่า pH อุณหภูมิและความเข้มข้นของมลสาร เป็นต้น คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะขึ้นกับปริมาณไอออนที่ละลายออกจากอิเล็กโทรดซึ่งเท่ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้และระยะเวลาสัมผัส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) ค่าการนำไฟฟ้า และไอออนของคลอไรด์

ค่าการนำไฟฟ้ามีผลต่อความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด น้ำที่บำบัดด้วยระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าจะต้องมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเพียงพอและนิยมใช้เกลือแกงในการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหรือน้ำเสีย ไอออนของคลอไรด์ช่วยลดผลกระทบจากไอออนประจุลบชนิดอื่น เช่น HCO_3^- และ SO_4^{2-} โดยเฉพาะเมื่อมี Cl^- และ Mg^{2+} มีข้อแนะนำว่าในน้ำหรือน้ำเสียในระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าควรมี Cl^- ประมาณร้อยละ 20 ของประจุลบทั้งหมด เพื่อให้การเดินระบบเป็นปกติ โดยไม่ต้องล้างอิเล็กโทรดบ่อย

3) ค่าพีเอช

ค่าพีเอชของน้ำหรือน้ำเสียมีผลต่อประสิทธิภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าและค่าการละลายน้ำของเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะ ประสิทธิภาพการบำบัดจะขึ้นกับคุณลักษณะของสารที่ต้องการกำจัดและส่วนใหญ่จะถูกกำจัดได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกลาง อย่างไรก็ตามอัตราการใช้พลังงานจะมีค่าสูงสุดที่ค่าพีเอชเป็นกลางแต่ถ้าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงเพียงพอผลกระทบจากค่าพีเอชจะไม่มีความสำคัญ

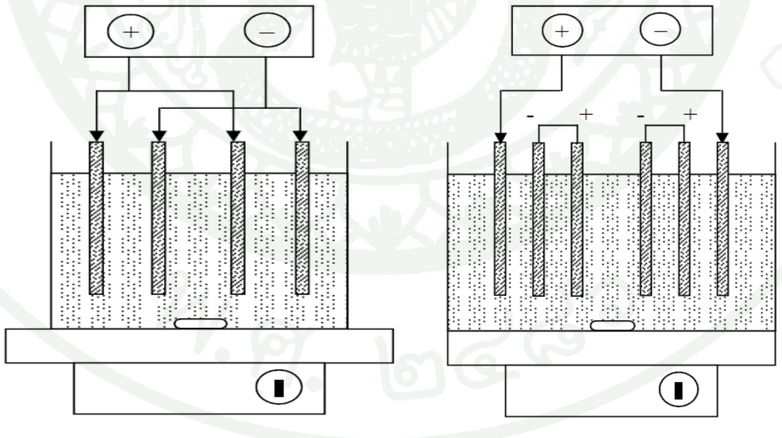
4) ชนิดอิเล็กโทรด

วัสดุที่นิยมใช้ทำอิเล็กโทรด ได้แก่ อะลูมิเนียมหรือเหล็กโดยอาจใช้แผ่นอะลูมิเนียม แผ่นเหล็กซึ่งอาจใช้เศษโลหะทั้งสองชนิดที่เหลือจากงานการตัดหรืองานโลหะอื่นๆ และควรใช้วัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นตัวยึดจับอิเล็กโทรดที่ทำจากเศษโลหะเหล่านี้ในการใช้งานจะต้องระมัดระวังการเกิดตะกอนสะสมระหว่างอิเล็กโทรดและควรทำความสะอาดผิวหน้าของอิเล็กโทรดเป็นประจำและเนื่องจากการกำจัดมลสารจะต้องใช้ไอออนโลหะที่มากเพียงพอกับปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัดดังนั้นจึงนิยมใช้เหล็กสำหรับการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากราคาถูกกว่า อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดจะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียโดยเฉพาะในกรณีที่น้ำเสียมีมลสารมากจะต้องใช้ไอออนโลหะจำนวนมากในการตกตะกอนด้วยเช่นกัน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.6.4 การออกแบบถังปฏิกรณ์

ถังปฏิกรณ์ของระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ทำจากเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบเซลล์อิเล็กโทรลิซิส (electrolysis cell) ที่มีขั้วบวก และขั้วลบเมื่อต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอก ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด (anode) จะทำให้เกิดการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันขณะที่อิเล็กโทรดที่ขั้วแคโทด (cathode) เกิดปฏิกิริยารีดักชันซึ่งจะไม่เกิดการสึกกร่อน สำหรับการใช้ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจะต้องใช้ปริมาณไอออนโลหะที่ละลายออกมาจากอิเล็กโทรดจำนวนมากพอต่อปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด ดังนั้นจึงต้องใช้อิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมากซึ่งสามารถทำได้ด้วยการใช้อิเล็กโทรดขั้วเดียว (monopolar electrodes) ต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนาน (ภาพที่ 6) หรือ อิเล็กโทรดสองขั้ว (bipolar electrodes) ลักษณะการไหลของน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์อาจเป็นการไหลตามแนวนอนหรือไหลตามแนวตั้ง ขึ้นกับลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้การเดินระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าอาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบแบทช์ระบบแบตช์เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณน้อย และจะต้องมีระบบกำจัดตะกอนต่อจากระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยอาจใช้ถังตกตะกอนหรือใช้ระบบตะกอนลอยที่ติดตั้งระบบใบกวาดตะกอน



(ก) (ข)

ภาพที่ 6 ชุดทดลองเซลล์ไฟฟ้าแบบง่ายๆประกอบด้วยอิเล็กโทรดขั้วบวกและขั้วลบอย่างละคู่และเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

(ก) อิเล็กโทรดขั้วเดียวต่อแบบขนาน (ข) อิเล็กโทรดขั้วเดียวต่อแบบอนุกรม

ที่มา: สมพงษ์ (2551)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7.6.5 การใช้ระบบโอแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำประเภทต่างๆ

กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นระบบที่เหมาะสำหรับใช้ในระบบผลิตน้ำประปาสามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถใช้กำจัดสาหร่ายและจุลินทรีย์ในน้ำได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถใช้กำจัดโลหะหนัก เช่น อาเซนิคออกจากน้ำบาดาล (Parga *et al*., 2005) ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ายังเป็นระบบที่ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานผลิตพรม โรงงานผลิตเส้นใย น้ำเสียจากโรงอาหาร น้ำเสียชุมชน น้ำเสียจากการฟอกหนัง สีย้อมเป็นต้น (Yousuf *et al*., 2001) นอกจากนี้ยังสามารถใช้กำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย เช่น แคดเมียมโดยไอออนของเหล็กไฮดรอกไซด์จะรวมตัวกับโลหะหนักเป็นสารประกอบเชิงซ้อนทำให้สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Bazrafshan *et al*., 2006) และสามารถใช้กำจัดโครเมียมในน้ำเสียจากการฟอกหนัง (Babu *et al*., 2007)

7.6.6 ข้อได้เปรียบ และเสียเปรียบของระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

1) ข้อได้เปรียบ

(1) การดำเนินระบบ

โคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นระบบที่ใช้เครื่องมือธรรมดาที่สามารถเดินระบบได้ง่าย

(2) ลักษณะของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าสามารถกำจัดคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กได้ดี น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(3) สลัดจ์ที่ผ่านการบำบัด

สลัดจ์จากระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ามีปริมาณน้อยกว่าการใช้สารเคมีในการตกตะกอน ตกตะกอนได้เร็วและรีดน้ำออกได้ง่าย

(4) ลักษณะตะกอนหรือฟล็อก

ตะกอนหรือฟล็อกที่เกิดขึ้นจากโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับตะกอนที่ได้จากการเติมสารเคมีแต่มีขนาดใหญ่กว่า และคงตัวกว่า ทำให้สามารถกำจัดออกด้วยการกรองได้เร็วกว่า

(5) น้ำทิ้งจากระบบ

น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ามีค่าของแข็งละลายน้ำน้อยกว่าการใช้สารเคมีตกตะกอน ซึ่งทำให้ค่าบำบัดน้ำสำหรับการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ มีค่าต่ำกว่า

(6) การใช้สารเคมี

ระบบโคแอคกูเลชันไม่ต้องใช้สารเคมี จึงไม่มีปัญหาการใช้สารเคมีในการปรับค่าพีเอชเมื่อเกิดปัญหาการเติมสารเคมีที่มากเกินไป

(7) ลักษณะของฟองก๊าซ

ฟองก๊าซขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะเกาะติดกับของแข็งแขวนลอยและลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่าย

(8) การบำรุงรักษา

ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าใช้เครื่องมือแบบธรรมดาที่ไม่มีระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จึงทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่าย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

(9) การประยุกต์ใช้ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

ระบบสามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป แม้ในที่ ๆ ไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยสามารถใช้แผงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับแบตเตอรีและจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ซึ่งอาจเพียงพอสำหรับการดินระบบขนาดเล็กได้

2) ข้อเสียเปรียบ

(1) อิเล็กโทรด

อาจเกิดฟิล์มออกไซด์ของเกลือโลหะบนผิวของอิเล็กโทรด ทำให้ประสิทธิภาพของระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าลดลง ทำให้ต้องทำการล้างอิเล็กโทรดเป็นครั้งคราว นอกจากนี้โลหะจากอิเล็กโทรดละลายลงสู่น้ำเสีย อิเล็กโทรดเกิดการสึกกร่อนจึงทำให้ต้องเปลี่ยนอิเล็กโทรดตามระยะเวลาการใช้งาน

(2) ลักษณะของน้ำเสีย

น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบโคแอคกูเลชันต้องมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเพียงพอ

(3) เกลือไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้น

เกลือไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นในระบบ มีลักษณะเป็นเจลอาจละลายน้ำได้ในบางกรณี

(4) ไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการโคแอคกูเลชัน

เนื่องจากว่าการใช้ไฟฟ้าอาจมีราคาแพงในบางพื้นที่ ดังนั้นระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ซึ่งต้องอาศัยการใช้ไฟฟ้าเป็นหลักจึงอาจทำให้เกิดต้นทุนการใช้ไฟฟ้าที่สูง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akyol (2012) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดของขั้วอิเล็กโทรด (อะลูมิเนียม และเหล็ก) พีเอชเริ่มต้น (2 – 10) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (5 – 10 แอมแปร์ต่อตารางเมตร) และระยะเวลาในการบำบัด (0 – 50 นาที) พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดของค่า ซีโอดี และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดที่ประกอบอยู่ในสารอินทรีย์ มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 93 กับ 88 ตามลำดับ สำหรับขั้วเหล็กอิเล็กโทรด และ ร้อยละ 94 กับ 89 ตามลำดับ สำหรับขั้วอะลูมิเนียม ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 35 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เวลาในการบำบัด 15 นาที และที่พีเอชเริ่มต้น 6.95

Aoudj *et al.* (2010) ศึกษาการกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดสีย้อม Red 81 ในระบบแบทช์ พารามิเตอร์ที่ศึกษาได้แก่ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า พีเอช ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดภายใน ความเข้มข้นของสีเริ่มต้น ชนิดของอิเล็กโทรไลต์ และระยะเวลาในการบำบัด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี คือ พีเอชเท่ากับ 6 ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 1.875 mA/cm^2 ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดภายใน 1.5 เซนติเมตร และใช้ NaCl เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ในสภาวะที่ดีที่สุดสามารถกำจัดสีได้มากกว่าร้อยละ 98

Chafi *et al.* (2011) รายงานการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ของโรงงานสิ่งทอ โดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ในระบบแบทช์ ใช้อะลูมิเนียมและเหล็กอิเล็กโทรดเปรียบเทียบกับกระบวนการโคแอคกูเลชันที่ใช้สารเคมี สีที่ใช้ในการศึกษา คือ Orange II (mono – azo acid dye) พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของสีเริ่มต้น ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ระยะเวลา และคุณลักษณะของน้ำเสีย เช่น พีเอชเริ่มต้น ค่าการนำไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดสี พลังงานที่ใช้ มวลของอิเล็กโทรดที่หายไป และปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น การทดลองแสดงว่าโคแอคกูเลชั่นด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้มากถึงร้อยละ 98 การรวมตะกอนด้วยสารเคมีมีประสิทธิภาพสูงสุดได้เพียงร้อยละ 53 สำหรับระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เหล็กจะเป็นอิเล็กโทรดมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด และต้องการพลังงานที่ใช้น้อย มีปริมาณตะกอนและต้นทุนในการดำเนินการต่ำกว่าการใช้อะลูมิเนียมอิเล็กโทรด ส่วนความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ไม่มีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างการใช้เหล็กกับอะลูมิเนียมอิเล็กโทรด แต่อะลูมิเนียมอิเล็กโทรดต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นเพื่อให้มี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้เท่ากับการใช้เหล็กอิเล็กโทรด ทั้งนี้เนื่องจากกลไกการกำจัดสีต่างกันอะลูมิเนียมอิเล็กโทรดดูเหมือนว่าจะส่งเสริมอิเล็กโทรรีดักชั่นที่พันธะ Azo ของ Orange II ตรงกันข้ามกับเหล็กอิเล็กโทรด

Chavalparit and Ongwandee (2009) รายงานว่าในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลด้วยกระบวนการ transesterification นั้นก่อให้เกิดน้ำเสียปริมาณมากซึ่งน้ำเสียเหล่านี้มีค่าซีโอดีน้ำมันและไขมันในระดับสูง วิธีทั่วไปที่ใช้บำบัดน้ำเสียในขั้นต้นคือ flotation ซึ่งใช้ในการกำจัด น้ำมันและไขมันก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ ในการทดลองนี้ได้พัฒนากระบวนการอีเล็คโทรโคแอคกูเลชันในการบำบัดน้ำเสียจากการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วแอโนดและแกรไฟต์เป็นขั้วแคโทด พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดค่า ซีโอดี น้ำมันและไขมัน และสารแขวนลอย ได้เป็นอย่างดี สภาวะที่เหมาะสมของการศึกษานี้ คือ พีเอช 6.06 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 18.2 โวลต์ และเวลา 23.5 นาที

Fouad (2013) ได้ศึกษาการกำจัดน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่ปนเปื้อนในน้ำโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เดินระบบแบบแบทช์ ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.0009 – 0.02 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน ที่ 200 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้น 3 5 7 9 และ 11 ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ร้อยละ 1.5 3.5 และ 85 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดน้ำมันจะมีค่าดีที่สุดสุดที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง พีเอชเริ่มต้น 7 และการเติมสารนำไฟฟ้าไม่มีผลต่อการกำจัดน้ำมัน แต่การเพิ่มความเข้มข้นของสารนำไฟฟ้าจะช่วยให้การใช้พลังงานน้อยลง

Malakootian *et al.* (2010) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำใช้จากชุมชน และอุตสาหกรรม ในการกำจัดความกระด้างโดยใช้แท่งเหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอช 3 7 และ 10 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6, 12 และ 24 โวลต์ ระยะเวลาของการบำบัดที่ 10 20 และ 30 นาที ผลปรากฏว่า ประสิทธิภาพของการบำบัดสูงสุดที่สภาวะพีเอช 10 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลา 60 นาที ซึ่งสามารถบำบัดแคลเซียม และความกระด้างได้ถึงร้อยละ 98.2 และ 97.4 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Merzouk *et al.* (2009) ศึกษาการดำเนินงานของระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่องในการกำจัดสี และซีโอดี ของน้ำเสียสังเคราะห์โรงงานสิ่งทอ โดยใช้อะลูมิเนียมอิเล็กโทรด พบว่า พารามิเตอร์ที่ศึกษา เพื่อหาสภาวะบำบัดสูงสุด ได้แก่ คุณลักษณะของน้ำเสีย เช่น ค่าการนำไฟฟ้า พีเอช ความเข้มข้นของสี รวมทั้งสภาวะที่ใช้ในการเดินระบบ เช่น ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัด มีผลต่อการบำบัดสี โดยระบบมีประสิทธิภาพในการลดสี และซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 85 และ 80 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียมีค่า ซีโอดีที่ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสีต่ำกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6 – 9 ระยะเวลา 14 นาที

Merzouk *et al.* (2010) ศึกษาผลของการทำงานของพารามิเตอร์ เช่น พีเอช ความเข้มข้นเริ่มต้น ระยะเวลาในการบำบัด ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรด และค่าการนำไฟฟ้า ในบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าแบบแบทช์ สภาวะการทำงานที่เหมาะสมจะนำไปประยุกต์ใช้กับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอ พบว่า เมื่อความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 11.5 mA/cm^2 ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด 1 เซนติเมตร พีเอชเริ่มต้นที่ 7.6 ค่าการนำไฟฟ้า 2.1 mS/cm และระยะเวลาในการบำบัดที่ 10 นาที สามารถบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสิ่งทอโดยมีประสิทธิภาพของการกำจัด สารแขวนลอยร้อยละ 85.5ความขุ่นร้อยละ 76.2 บีโอดีร้อยละ 88.9 ซีโอดีร้อยละ 79.7 และสีมากกว่าร้อยละ 93

Merzouk *et al.* (2011) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีเปรียบเทียบกับกระบวนการการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้อะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด ในกระบวนการตกตะกอนทางเคมีศึกษาผลการใช้สารโคแอคกูแลนท์ 2 ชนิด ได้แก่ เฟอร์ริคคลอไรด์ และอะลูมิเนียมซัลเฟต ผลของพีเอช เริ่มต้น ปริมาณของสารโคแอคกูแลนท์ ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น ความเข้มข้นของไอออน พบว่า อะลูมิเนียมซัลเฟต มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยใช้กระบวนการตกตะกอนทางเคมี มากกว่า เฟอริคคลอไรด์ ประสิทธิภาพของการกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยการใช้ปริมาณของอะลูมิเนียมซัลเฟต 40 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชอยู่ในช่วง 4 – 8 จะมีความสามารถในกำจัดสีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงสุดจนถึง 235 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพของการบำบัดจะสูงถึงร้อยละ 95 เมื่อใช้กระบวนการโคแอคกูเลชั่นด้วยไฟฟ้าที่พีเอช อยู่ในช่วง 6 – 9 แต่ต้นทุนในการใช้จ่ายสูงกว่าในการดำเนินการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Muftah *et al.* (2009) ศึกษากระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมในการกำจัดซัลเฟต และซีโอดี เดินระบบแบบแบทช์ โดยใช้ขั้วอิเล็กโทรด 3 ชนิดได้แก่ อะลูมิเนียม สแตนเลส สตีล และเหล็ก โดยปัจจัยที่ศึกษา คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า การจัดขั้วอิเล็กโทรด ระยะเวลาการบำบัด พีเอชเริ่มต้น และอุณหภูมิ พบว่าประสิทธิภาพของการบำบัดโดยหลัก ๆ ขึ้นอยู่กับ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า และองค์ประกอบของน้ำเสียเริ่มต้น และถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ พีเอช 8 จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุด แต่ทั้งสองพารามิเตอร์นี้ไม่ได้มีผลต่ออัตราการกำจัดอย่างมีนัยสำคัญ

Pajootan *et al.* (2012) ศึกษาระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการกำจัดสีย้อม Acid Black 52 และ Acid Yellow 220 โดยใช้อะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด ในถังปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมีแบบแบทช์ พารามิเตอร์ที่ศึกษา ได้แก่ ค่าการนำไฟฟ้า ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น และพีเอช นอกจากนี้ได้คำนวณพลังงานที่ถูกใช้ไป พบว่าการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าถึง 40 A/m^2 ทำให้ประสิทธิภาพของการกำจัดสีเพิ่มมากขึ้น ช่วงพีเอช ที่เหมาะสมสำหรับระบบคือ 5 การเพิ่มขึ้นของค่าอิเล็กโทรไลต์ตั้งแต่ 0 – 8 กรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการกำจัดสี แต่จะช่วยลดการใช้พลังงานให้น้อยลง และสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสีย

Phalakornkule *et al.* (2010) รายงานการนำกลับคืนของก๊าซไฮโดรเจนจากการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อมด้วยระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าแบบต่อเนื่องโดยมีการเชื่อมต่อระหว่างถังอิเล็กโทรโคแอคกูเลเตอร์ (electrocoagulator tank) ถังแยกก๊าซ และถังตกตะกอน ซึ่งจำนวนของการรวบรวมก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นโดยใช้ถึงแยกก๊าซ ปริมาณแก๊สไฮโดรเจนที่ได้จากการทดลองจะเปรียบเทียบกับปริมาณแก๊สไฮโดรเจนจากการคำนวณทางทฤษฎี ผลการทดลองพบว่า ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของกระบวนการโคแอคกูเลชั่นด้วยไฟฟ้า สำหรับการบำบัดสีย้อม Reactive Blue 140 และ Direct red 23 เท่ากับ 1.42 และ 0.69 kWh_e/m^3 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการลดสี ซีโอดี ของแข็งทั้งหมดได้เท่ากับร้อยละ 99 93 และ 89 ตามลำดับ ในขณะที่ผลผลิตพลังงาน (energy yield) ของก๊าซไฮโดรเจนที่ได้ เท่ากับ 0.2 kWh/m^3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Vepsalainen *et al.* (2011) ได้ศึกษาปัจจัยของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าต่อการกำจัดสารมลพิษจากน้ำทิ้งของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยน้ำยาขัดไม้ และทองแดง หรือกรดเรซินบริสุทธ์ และทดสอบกับน้ำทิ้งจริงด้วย โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอชเริ่มต้น กระแสไฟฟ้า และเวลาในการบำบัด ผลแสดงให้เห็นว่า ควาเป็นพิษต่อสาหร่าย (*Pseudokirchneriella subcapita*) ถูกกำจัดออกไปโดยสมบูรณ์หลังกการบำบัด แต่การลดความเป็นพาต่อแบคทีเรีย *(Vibrio fischeri)* เป็นที่จำกัดมากขึ้น ซึ่งการลดความเป็นพิษออกจากน้ำทิ้งถูกพบว่าเกี่ยวข้องกับการลดสีด้วย

Wei *et al.* (2012) รายงานการบำบัดสีย้อมจำพวก acid black 1 และ reactive blue โดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้ขั้วแคโทดต่างชนิดกัน ได้แก่ สแตนเลส กับฝอยเหล็กและใช้แผ่นเหล็กเป็นขั้วแอโนด ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของเฟอร์ริคในสารละลาย ที่ใช้ฝอยเหล็กเป็นขั้วแคโทดมีความเข้มข้นกว่าสแตนเลสเป็นขั้วแคโทด ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการบำบัดโดยการใช้ฝอยเหล็กเป็นแคโทดมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าการใช้สแตนเลส และใช้แผ่นเหล็กเป็นขั้วแอโนด

จันทรพร (2551) ศึกษากลไกการรวมตะกอนด้วยเทคนิคทางไฟฟ้าเคมี และการพัฒนาเครื่องต้นแบบ ต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีโมเลกุลสีย้อม เพื่อหาสภาวะที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสีและการใช้พลังงานที่ดีที่สุด โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง คือ ความเข้มข้นของผงสี T/Q BLUE M-A และ HIRUS SCALET ที่ 0.1 กรัมต่อลิตร ค่าความปืนกรดด่างอยู่ในช่วง 9.5 – 9.7 ค่าการนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 850 – 870 ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร จากการทดลองพบว่า การใช้ขั้วไฟฟ้าเหล็กระยะห่างระหว่างขั้ว 8 มิลลิเมตร ระดับความเข้มกระแส 40 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ระยะเวลาในการบำบัด 10 นาที มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดร้อยละ 99 และใช้พลังงาน 1.9 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นจัดสร้างเครื่องรวมตะกอนระบบต่อเนื่องแบบไหลขึ้นที่อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าเหล็กจำนวน 25 คู่ พื้นที่ของขั้วที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอนทั้งหมด 0.52 ตารางเมตร ระยะห่างระหว่างขั้ว 8 มิลลิเมตร โดยใช้สภาวะที่เมาะสมจากการทดลองแรก พบว่า ประสิทธิภาพของระบบต่อเนื่องใกล้เคียงกับผลการทดลองในระบบกะที่มีการคนอย่างทั่วถึง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดวงตา (2546) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการไฟฟ้าเคมีในการกำจัดสีรีแอคทีฟของโรงงานฟอกย้อม โดยทำการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ กัน คือ ระดับพีเอชของน้ำเสียก่อนบำบัด 4 5 6 7 และ 8 ปริมาณกระแสไฟฟ้า 0.5 1 และ 1.5 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 20 40 และ 60 นาที และระยะเวลาการตกตะกอน 30 60 และ 90 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาในการตกตะกอน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัด โดยเมื่อระดับกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะเวลาในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัด สี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัด สภาวะที่เหมาะสม คือ เมื่อน้ำเสียมีค่าพีเอช 5 ใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ระยะเวลาในการตกตะกอน 90 นาที สามารถลดค่าสี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้สูงถึง ร้อยละ 92.47 45.90 และ 81.51 ตามลำดับ โดยใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้า 4.28 หน่วย ต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร และใช้ปริมาณกรดกำมะถันในการปรับค่าพีเอช 2.3 ลิตรต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

ดุษฎี (2548) ได้ทำการศึกษาสีรีแอคทิฟจากโรงงานฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมีเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด จากหม้อย้อมโทนสีน้ำเงินและสีแดง โดยทำการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ กัน ได้แก่ ปริมาณกระแสไฟฟ้า 3 4 5 6 7 และ 8 แอมแปร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 20 30 40 50 และ 60 นาที ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้ว 0.5 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร ระดับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด 4 5 6 7 8 และ 9 ระยะเวลาในการตกตะกอน 60 90 และ 120 นาที สำหรับน้ำเสียฟอกย้อมโทนสีน้ำเงิน และ ปริมาณกระแสไฟฟ้า 6 7 8 9 10 และ 11 แอมแปร์ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 90 และ 120 นาที ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้ว 0.5 1 1.5 และ 2 เซนติเมตร ระดับพีเอชของน้ำเสียก่อนการบำบัด 4 5 6 7 8 และ 9 ระยะเวลาในการตกตะกอน 60 90 และ 120 นาที สำหรับน้ำเสียฟอกย้อมโทนสีแดง (เจือจาง 1: 5) ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกริยา และเวลาในการตกตะกอนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสี เพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าใช้ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด และพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสีมีแนวโน้มลดลง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปาริชาติ (2547) ศึกษาการกำจัดสี และซีโอดีจากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นขั้วไฟฟ้า ที่ความต่างศักย์ 8 10 และ 12 โวลต์ ระยะเวลาเก็บกัก 20 30 40 และ 90 นาที แบ่งออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบมผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลากักเก็บ 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และซีโอดี ร้อยละ 91.77 และ 51.84 ตามลำดับ การทดลองที่ 2 เพื่อศึกษาสภาวะเหมาะสมโดยใช้น้ำเสียจากบ่อบำบัดโดยไม่ใช้ออกซิเจนผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ ความต่างศักย์ 12 โวลต์ เวลาเก็บกัก 30 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี และซีโอดี ร้อยละ 85.89 และ 56.88 ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความต่างศักย์ และเวลาในการเก็บกักจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูงขึ้น แต่จะทำให้อุณหภูมิ และพีเอชสูงขึ้น เช่นกัน การทดลองที่ 3 เพื่อเปรียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาจากบ่อบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ผ่าน และไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า พบว่าน้ำเสียที่ไม่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี และบีโอดี เท่ากับร้อยละ 66.22 และ 83.33 ตามลำดับ น้ำเสียที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี และบีโอดี เท่ากับร้อยละ 84.79 และ 93.83 ตามลำดับ

อมรภัคร (2550) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียเริ่มต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี โดยใช้อิเล็กโทรลิติกเซลล์ที่ทำด้วยอะครีลิก ปริมาตรการใช้งาน 1.10 ลิตร ใช้แผ่นอะลูมิเนียมต่ออิเล็กโทรด ซึ่งมีพื้นที่ผิว 29 และ 39 m^2/m^3 มีการจัดเรียงอิเล็กโทรด 3 แบบ คือ แบบขนาน แบบอนุกรม และแบบไบโพลาร์ เดินระบบแบบกะ เวลาในการเดินระบบที่ 10 20 30 และ 60 นาที ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดสารอินทรีย์ สี และของแข็งแขวนลอย ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า เวลาในการทำปฏิกิริยา พื้นที่ผิว และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด โดยการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบขนานมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และสี สูงสุด คือ พื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด 39 และ 29 m^2/m^3 ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด 2.5 และ 3 เซนติเมตร พลังงานไฟฟ้า 14 และ 14.5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร ตามลำดับ เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที มีประสิทธิภาพร้อยละ 43 และ 72 ตามบำดับ ส่วนประสิทธิในการบำบัดของแข็งแขวนลอย คือ การเรียงตัวแบบไบโพลาร์ พื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด 39 m^2/m^3 พลังงานไฟฟ้า 14.5 กิโลวัตต์/ตารางเมตร เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที มีประสิทธิภาพร้อยละ 90

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

1. อุปกรณ์

1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระดับ 6 12 และ 18 โวลต์ แสดงดังภาพที่ 7

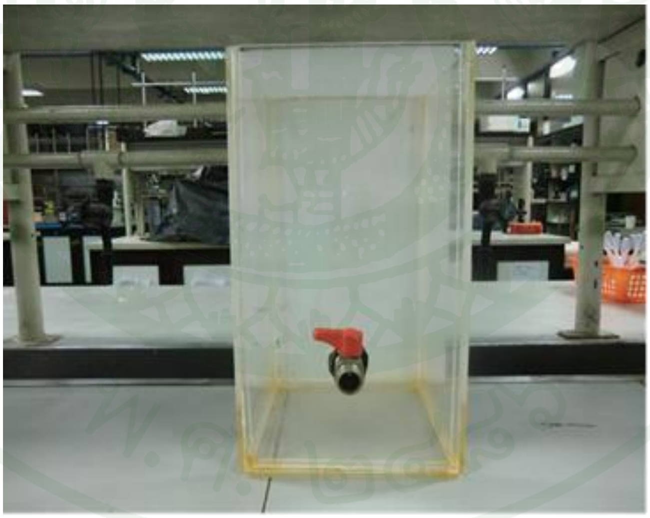
ภาพที่ 7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงที่ปรับเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ 6 12 และ 18 โวลต์

1.2 อิเล็กโทรด (electrode) หรือขั้วไฟฟ้าเป็นแผ่นเหล็กโดยมีช่องว่างระหว่างแผ่น 2 เซนติเมตร และมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา กว้าง 9 เซนติเมตร สูง 9 เซนติเมตร จัดวางห่างกัน 2 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 8 ก่อนการใช้อิเล็กโทรด จะนำมาล้างด้วยน้ำแล้วขัดด้วยแปรงให้สะอาด อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำให้แห้ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาพที่ 8 เหล็กอิเล็กโทรดที่ใช้ในกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

1.3 ถังปฏิกิริยา มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมสูง 35 เซนติเมตร กว้าง 20 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร สามารถบรรจุน้ำตัวอย่างได้ 10 ลิตร แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ถังปฏิกิริยาขนาดบรรจุน้ำตัวอย่าง 10 ลิตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ตู้อบ (oven) ยี่ห้อ memmert รุ่น UNB

1.5 เตาย่อยซีโอดี (COD digester block) ยี่ห้อ HANNA instrument รุ่น HI 839800

1.6 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV – vis spectrophotometer) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Lambda 650

1.7 เครื่องวัดพีเอช อุณหภูมิ และค่าการนำกระแสไฟฟ้า (pH Meter and conductivity meter) ยี่ห้อ Cyberscan รุ่น PC510

1.8 เครื่องชั่งวิเคราะห์ละเอียด 4 ตำแหน่ง (Analytical balance) ยี่ห้อ OHAUS รุ่น PA214

1.9 เครื่องแก้วชนิดต่าง ๆ เช่น หลอดวิเคราะห์ซีโอดีแบบมีฝาเกลียว ขวดรูปชมพู่ บีกเกอร์ ปิเปต เป็นต้น

2. สารเคมี

2.1 แอมโมเนียมเฟอร์รัสซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$)

2.2 1,10 – ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต ($C_{12}H_9N_2.H_2O$)

2.3 ไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($NH_2OH.HCl$)

2.4 โซเดียมอะซิเทต (CH_3COONa)

2.5 กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)

2.6 โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. วิธีการ

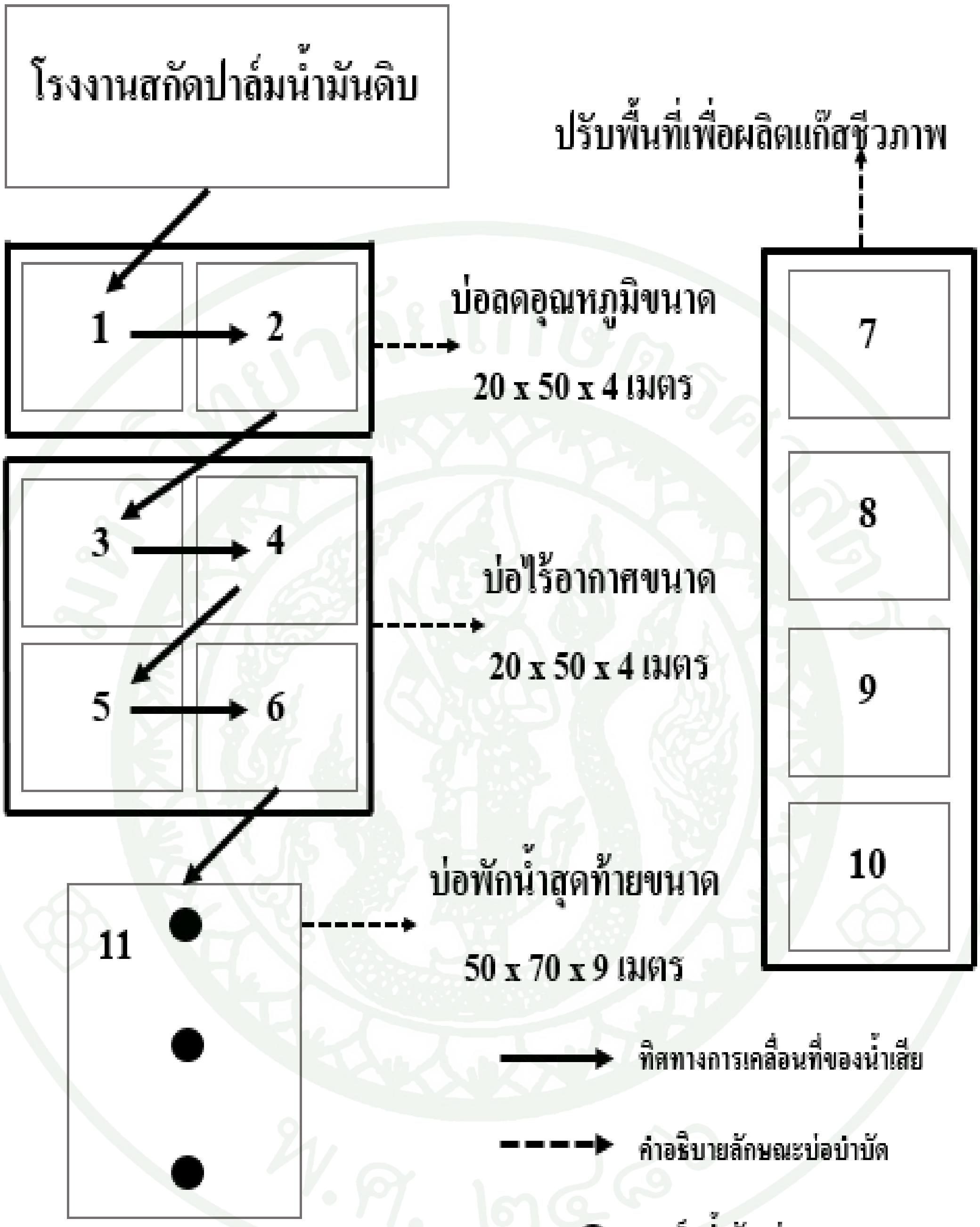
3.1 วิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

3.1.1 ตัวอย่างน้ำที่นำมาศึกษาได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ บริษัท เอเอสที ปาล์มออยล์ อำเภอบางสะพานน้อย จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ตัวอย่างน้ำเป็นน้ำทิ้งบ่อสุดท้าย หลังผ่านกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ และก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 10

ภาพที่ 10 ลักษณะของบ่อน้ำทิ้งสุดท้ายจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

3.1.2 เก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วง (grab sampling) จากบ่อ 11 จำนวน 3 จุด ริมบ่อ 2 จุด กลางบ่อ 1 จุด ที่ระดับความลึก 1 เมตร ดังแสดงในภาพที่ 11 นำมารวมกันที่ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณลักษณะน้ำได้แก่ ค่าการนำกระแสไฟฟ้า พีเอช สี สารแขวนลอย ไขมันและน้ำมัน ซีโอดี ส่วนบีโอดี และ อุณหภูมิของน้ำ เก็บที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ตามวิธีที่กำหนดไว้ใน Standard methods for the examination of water and wastewater ของ APHA, AWWA and WEF (2012) ดังแสดงในตารางที่ 2 เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น ในการออกแบบการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 11 จุดเก็บตัวอย่างและผังการบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบที่ศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์คุณลักษณะน้ำและวิธีการวิเคราะห์

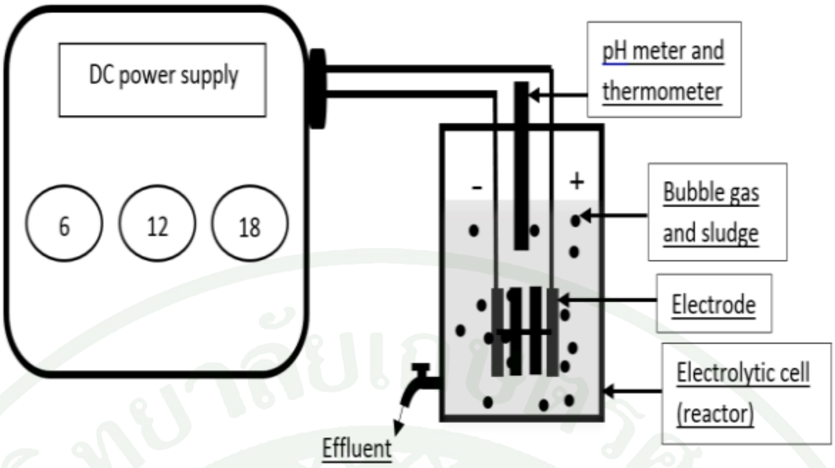
พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
ค่าการดูดกลืนแสง (λ_{max} = 383 nm)	Spectrophotometry
อุณหภูมิ	Thermometer
พีเอช	pH meter
สารแขวนลอย	Total suspended solid dried at 103 – 105 °C
ไขมันและน้ำมัน	Soxhlet extraction
ค่าการนำกระแสไฟฟ้า	Conductivity meter
บีโอดี	Azide modification method
ซีโอดี	Close reflux, Tritimetric method

ที่มา : APHA, AWWA and WEF (2012)

3.2 การติดตั้งระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ดำเนินการทดลองโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.2.1 ดำเนินการจัดสร้าง และติดตั้งระบบการทดลองของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยต่ออิเล็กโทรดเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 12 การทดลองเป็นแบบแบทช์ ใช้น้ำตัวอย่างใส่ลงไปในถังปฏิกรณ์ ในการทดลองแต่ละครั้ง ปริมาตร 7 ลิตร โดยการปรับพีเอชของน้ำตัวอย่างด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.1 โมลาร์ เพื่อหาประสิทธิภาพของกระบวนการบำบัดในสภาวะที่เป็นกรด และเบส และเป็นการศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าต่อการปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งบ่อสุดท้ายจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ เพื่อให้ได้มาของสภาวะที่เหมาะสมของการทดลอง สภาวะการทำงานของระบบคือ ทำการปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 6 12 และ 18 โวลต์ ที่ระยะเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที แล้วจึง เก็บน้ำตัวอย่างที่ช่วงเวลา และความต่างศักย์ต่าง ๆ ไปวิเคราะห์ตามแผนการทดลอง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 การจัดตั้งระบบการทดลองของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ พารามิเตอร์ที่ศึกษาคือ สี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย โดยประสิทธิภาพของการลดสีจะคิดจากประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี ซึ่งปรับเปลี่ยนปัจจัยดังต่อไปนี้

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 6 12 และ 18 โวลต์

ระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที

พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 และ 9

วิธีการทดลองมีขั้นตอนดังนี้ ใส่น้ำตัวอย่างลงไปในถังปฏิกรณ์ ในการทดลองแต่ละครั้ง ปริมาตร 7 ลิตร ปรับค่าพีเอชน้ำเท่ากับ 4 หรือ 9 เปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่กำหนดคือ 6 12 หรือ18 โวลต์ เดินระบบตามเวลาที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดการทดลองปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง วิเคราะห์คุณลักษณะน้ำหลังการบำบัดได้แก่ อุณหภูมิ ค่าการดูดกลืนแสง ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณตะกอน และความเข้มข้นของเหล็ก (แสดงในภาคผนวก ข) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดของกระบวนการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3.2.3 การศึกษาผลของสารนำไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพของกระบวนการในการลดค่าสี และ ซีโอดี ของน้ำตัวอย่างโดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 กรัมต่อลิตร ที่พีเอชเริ่มต้นของน้ำ 4 และ 9 และดำเนินการทดลองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลา เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.2

3.2.4 ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นต่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่สภาวะเหมาะสมจากการทดลองข้อที่ 2.2 โดยปรับพีเอชเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำด้วยกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) 0.1 โมลาร์ ให้เป็น 4 5 6 7 8 และ 9 น้ำหลังการบำบัดนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าการดูดกลืนแสง ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และปริมาณตะกอน

3.2.5 วิธีการคำนวณประสิทธิภาพของการทดลอง

$$\% R = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100$$

เมื่อ R คือ ประสิทธิภาพของการลดองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำตัวอย่าง

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น

C_1 คือ ความเข้มข้นที่เปลี่ยนไปหลังการทดลอง

3.3 วิเคราะห์และประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยกระบวนโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

การประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัด คำนวณค่าใช้จ่ายจากกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการบำบัด ตามหลักการของการไฟฟ้านครหลวง (2541) ซึ่งมีวิธีการคิดดังต่อไปนี้

การใช้ไฟฟ้า 1 หน่วย หรือ 1 ยูนิต คือ เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ที่ใช้งานใน 1 ชั่วโมงหรือใช้สูตรการคำนวณดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิต)} = \frac{P \times N \times H}{1000}$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า

N = จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า

H = จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แนวคิดแผนการทดลองทั้งหมด เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ แสดงในภาพที่ 13

ภาพที่ 13 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิด และการทดลองในการวิจัย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

1. คุณลักษณะของน้ำตัวอย่าง

น้ำตัวอย่างจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ เป็นน้ำทิ้งบ่อบำบัดบ่อสุดท้ายก่อนที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมซึ่งได้ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งลักษณะที่สังเกตุได้ของน้ำตัวอย่างมีลักษณะขุ่น และมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง spectrophotometer ได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุด 383 นาโนเมตร มีค่าเท่ากับ 0.855 คุณลักษณะน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของน้ำตัวอย่างบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ

พารามิเตอร์	คุณลักษณะ
Absorbance (λ_{max} = 383 nm)	0.855
COD (mg/l)	1,414
BOD_5 (mg/l)	133
SS (mg/l)	520
Oil & Grease (mg/l)	0
pH	9.02
Conductivity (mS/cm)	2.894
Temperature ($^{\circ}$C)	30.7

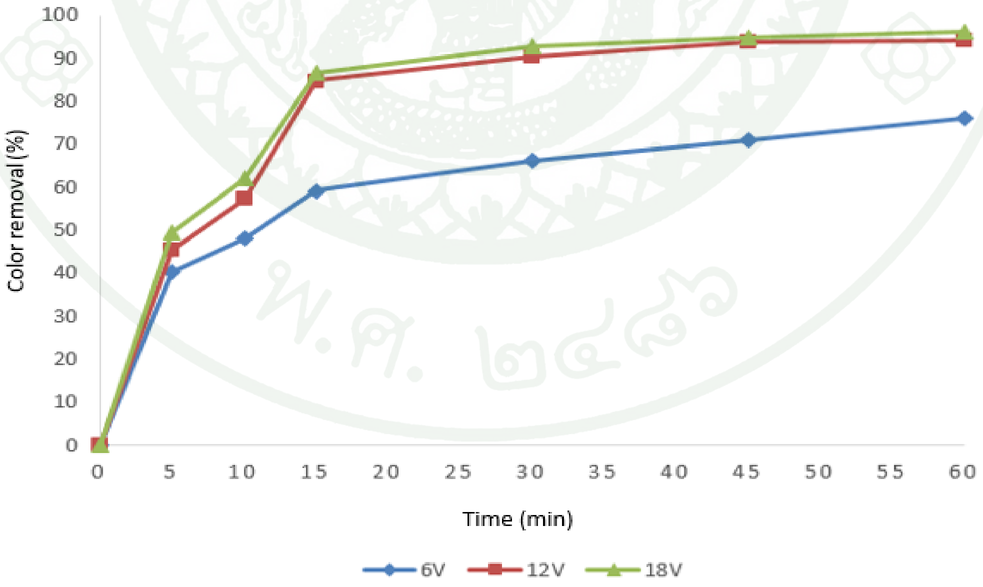
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

2.1 ประสิทธิภาพการลดสี

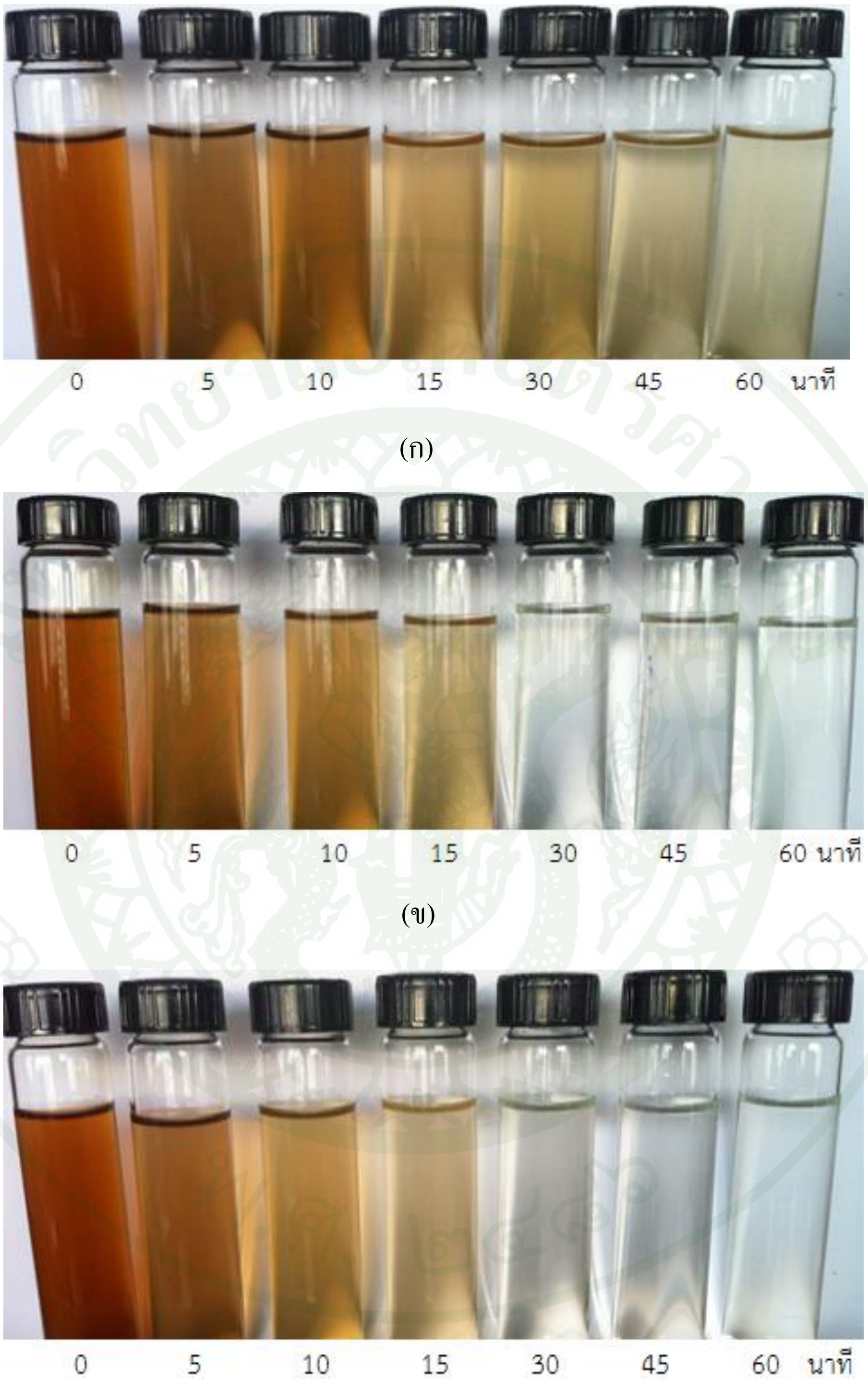
การศึกษาประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการลดสีจากน้ำเสียบ่อสุดท้ายของโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ โดยพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสี ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาที่ 5 10 15 40 45 และ 60 นาที พบว่าประสิทธิภาพของการลดสีเพิ่มขึ้น ตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น แต่จะเริ่มคงที่ที่เวลา 30 นาที แสดงดังภาพที่ 14 – 15

ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที มีประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับร้อยละ 65.9 90.4 และ 92.7 ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 18 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 60 นาที เท่ากับร้อยละ 94 – 95



ภาพที่ 14 ประสิทธิภาพการบำบัดสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ pH เริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

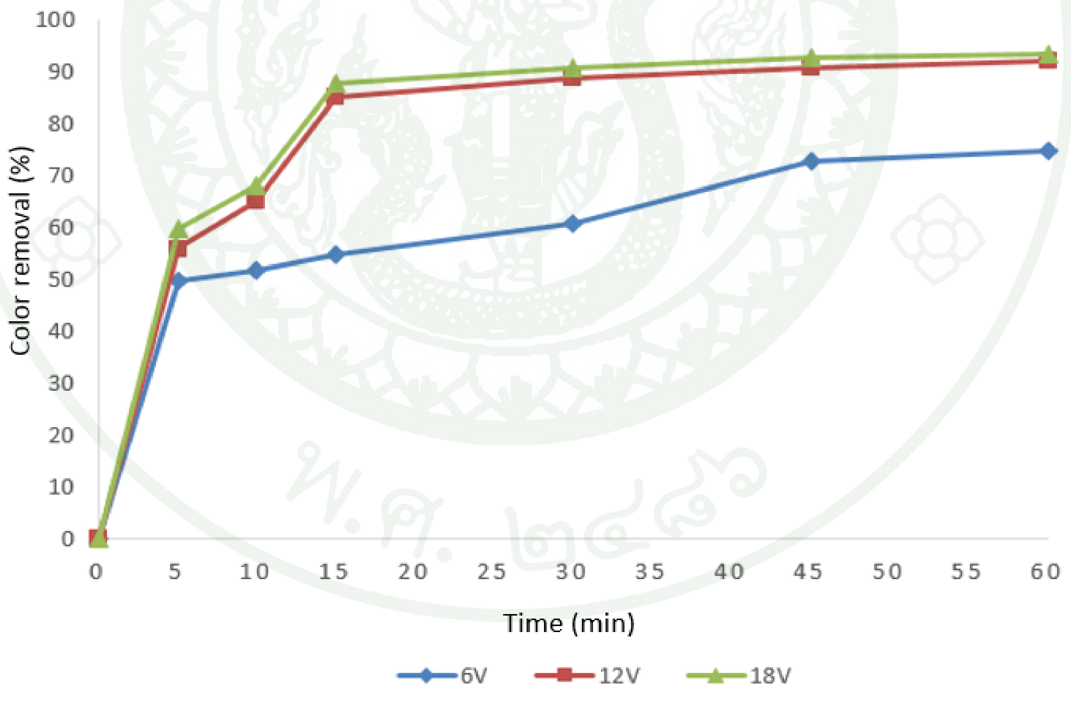


ภาพที่ 15 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่ pH เริ่มต้น 4 (ก) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ (ข) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ (ค) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

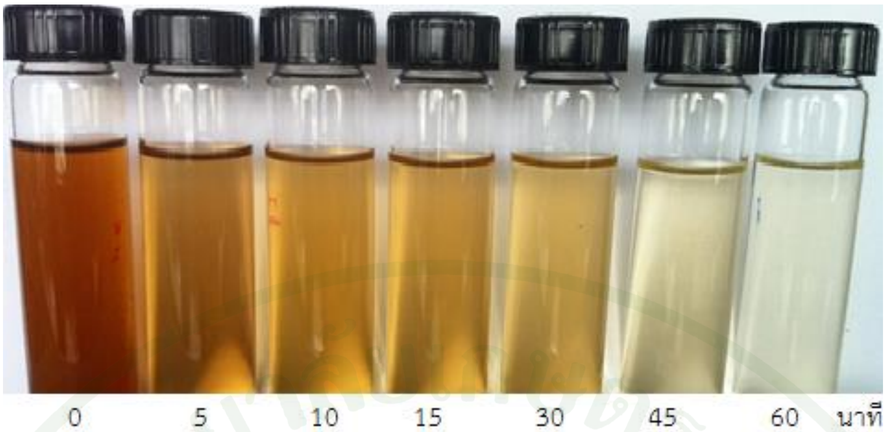
ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 9 พบว่าประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำทิ้งจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับที่พีเอชเริ่มต้น 4 กล่าวคือจะเริ่มคงที่ที่เวลา 30 นาที โดยที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับร้อยละ 60.7 88.9 และ 90.9 ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 16 – 17 การเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดเป็น 45 – 60 นาที ประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงไม่ได้เพิ่มมากนัก โดยที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ เวลาในการบำบัด 60 นาที มีประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด เท่ากับร้อยละ 74.8 แต่ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 12 และ 18 โวลต์ เวลาในการบำบัด 60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดสีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 92.1 และ 93.5 ตามลำดับ

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่าที่เวลา 30 นาที แม้จะไม่ได้เป็นช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด แต่หากจะเดินระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 60 นาที ประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างมากนัก

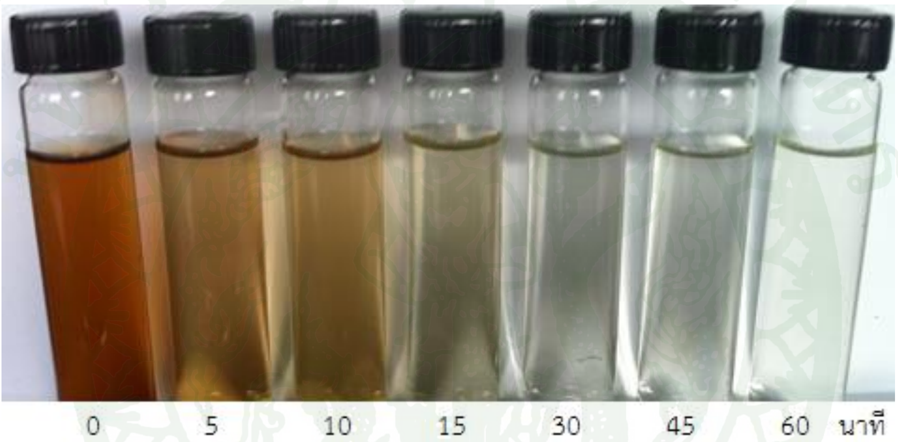


ภาพที่ 16 ประสิทธิภาพการบำบัดสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ pH เริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

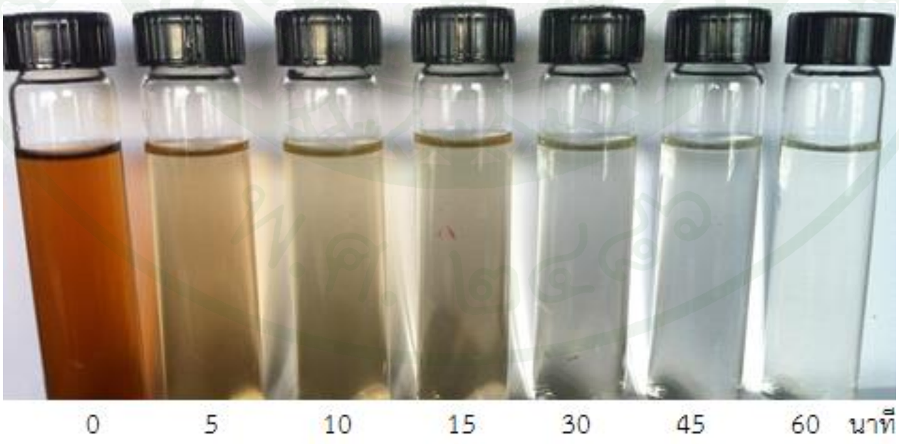
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 17 สีของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่ pH เริ่มต้น 9 (ก) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ (ข) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ (ค) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลไกการบำบัดสีนั้น อมรภัค (2551) รายงานว่าสีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มนั้นดิบส่วนใหญ่เกิดจากสารอินทรีย์ที่มีประจุเป็นลบ ในขณะที่สารที่จะช่วยให้ตกตะกอนนั้นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็กออกไซด์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นสารโคแอคกูแลนท์ทำลายเสถียรภาพของสีในน้ำเสียได้ และเมื่อสัมผัสกันจะทำให้เกิดตะกอนที่ใหญ่ขึ้นทำให้ตก ตะกอนจึงสามารถลดสีในน้ำเสียได้ การเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นจะส่งผลให้ไอออนของเหล็กออกมาเกิดจากขั้วอิเล็กโทรดรวมตัวกับไอออนของไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้นด้วย นอกจากนั้นยังทำให้ความต้านทานในระบบลดน้อยลงไป ทำให้การเคลื่อนที่ของสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์ ไปยังขั้วไฟฟ้ามากยิ่งขึ้น (Ugurlur *et al.*, 2008) และกัณฑมาศ (2539) รายงานว่าเมื่อเหล็กเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจนอยู่ในรูป Fe^{3+} และรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะได้เหล็กไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งเป็นรูปที่มีความเสถียร การละลายน้ำต่ำสามารถดูดซับประจุลบได้ดี จะทำหน้าที่เป็นสารโคแอคกูแลนท์ จับตัวกับโมเลกุลของสีในน้ำเสียและตกตะกอน ทำให้สีในน้ำเสียลดลงได้ นอกจากนั้น สีของน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์ม้ำมันโดยส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ ส่วนเหล็กที่เกิดขึ้นจากขั้วบวกที่ละลายออกมาจากการให้ไฟฟ้ากับระบบซึ่งสารประกอบเหล็กเหล่านี้อาจจะอยู่ในรูปของ $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)_2^{+}$, $Fe(OH)_2^{4+}$, $Fe(H_2O)_2^{+}$, $[Fe(H_2O)_5OH]^{2+}$, $[Fe(H_2O)_4(OH)_2]^{+}$, $[Fe_2(H_2O)_8(OH)_2]^{4+}$ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไฮดรอกซี่คอมเพล็กซ์ของเหล็ก และเกิดฟล็อคของโลหะไฮดรอกไซด์ตกตะกอนลงมาได้ด้วย ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้ (Szpyrkowicz *et al.*, 2000 และ Kobya *et al.*, 2003 อ้างถึงใน ปาริชาติ, 2547)

$$[Fe(H_2O)_2]^{3+} + H_2O \longrightarrow [Fe(H_2O)_5OH]^{2+} + H_3O^{+}$$

$$[Fe(H_2O)_5OH]^{2+} + H_2O \longrightarrow Fe(H_2O)_4(OH)_2]^{+} + H_3O^{+}$$

$$2[Fe(H_2O)_5OH]^{2+} \longrightarrow [Fe_2(H_2O)_8(OH)_2]^{4+} + 2H_2O$$

$$[Fe_2(H_2O)_8(OH)_2]^{4+} + 2H_2O \longrightarrow [Fe_2(H_2O)_7(OH)_3]^{3+} + H_3O^{+}$$

$$[Fe_2(H_2O)_7(OH)_3]^{3+} + [Fe(H_2O)_5OH]^{2+} \longrightarrow [Fe_3(H_2O)_5(OH)_4]^{5+} + 2H_2O$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.2 ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี

น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ พบว่า ยังมีค่าซีโอดีที่สูง เท่ากับ 1,414 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการลดซีโอดีของน้ำตัวอย่างที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 จะมีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสง นั่นคือการลดซีโอดีเพิ่มขึ้นตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้นโดยจะเริ่มคงที่ในเวลา 15 นาที แสดงดังภาพที่ 18 – 19

ที่พีเอชเริ่มต้น 4 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 15 นาที มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 67.9 89.2 และ 91.8 และมีค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 453.6 152.4 และ 116.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่พีเอชเริ่มต้น 9 มีประสิทธิภาพร้อยละ 69.6 83.4 และ 88.6 ตามลำดับ 8 และมีค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 430.3 234.4 และ 176.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

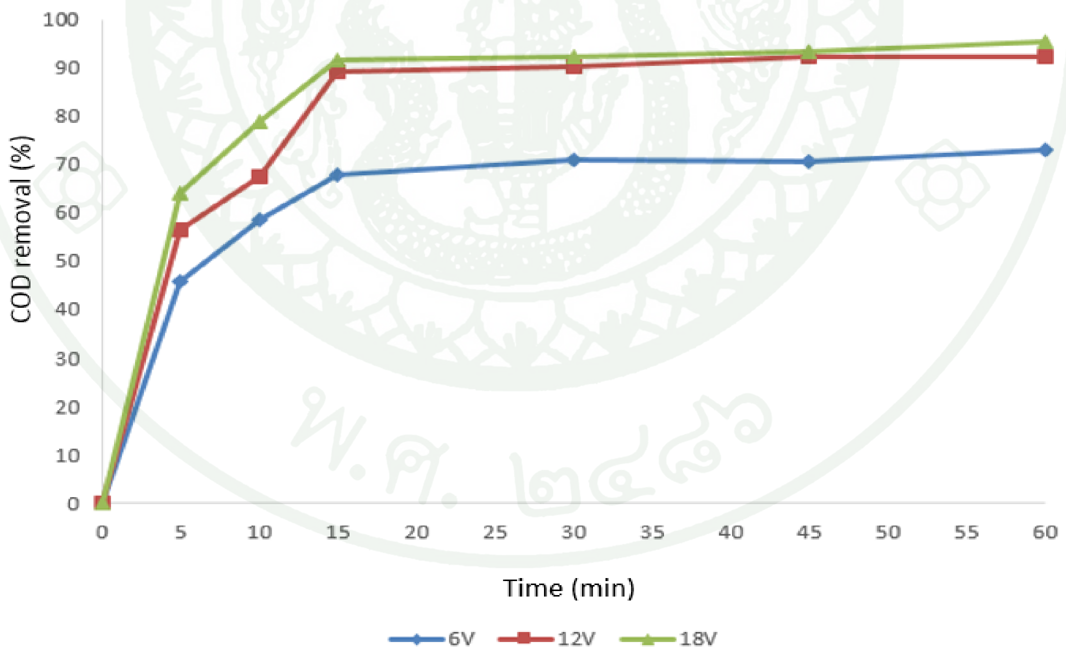
ในขณะที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที ที่พีเอชเริ่มต้น 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 70.9 90.2 และ 92.5 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าซีโอดีที่เหลืออยู่เท่ากับ 410.9 138 และ 106.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่พีเอชเริ่มต้น 9 มีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับร้อยละ 73.1 87.6 และ 88.6 ตามลำดับ มีค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 380.1 176 และ 161.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

อธิบายได้ว่าเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ไอออนของเหล็กถูกปล่อยมาจากขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น เกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ซึ่งเป็นรูปที่มีความเสถียร ละลายน้ำได้ต่ำ สารอินทรีย์ถูกดูดซับและตกตะกอน จะทำให้สีในน้ำเสียลดลงส่งผลต่อการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียให้ลดลงตามสารอินทรีย์ในน้ำที่ลดลงไปด้วย เนื่องจากสีที่เกิดขึ้นในน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันส่วนมากเป็นสารอินทรีย์ (ปาริชาติ, 2547) การเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดเป็น 45 – 60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีไม่ได้เพิ่มมากนัก โดยที่พีเอช 4 และ 9 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 โวลต์ เวลาในการบำบัด 60 นาที มีประสิทธิภาพในการลดซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 72.9 และ 76.8 ตามลำดับ มีค่าซีโอดีที่เหลืออยู่ในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 382.3 และ 328.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นเป็น 12 และ 18 โวลต์ เวลาในการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

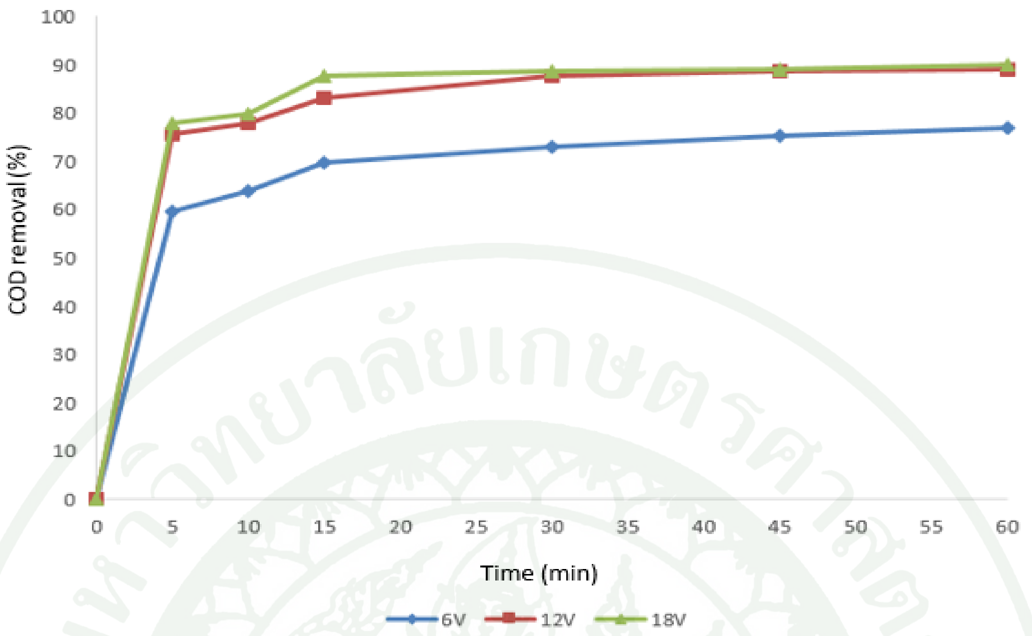
บำบัด 60 นาที ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดที่พีเอช 4 เท่ากับร้อยละ 92.2 และ 95.4 ตามลำดับ มีค่าซีโอดีที่เหลือหลังการบำบัดเท่ากับ 110.9 และ 65.2 ตามลำดับ ซึ่งบำบัดได้ดีกว่าที่พีเอช 9 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดเท่ากับร้อยละ 88.9 และ 89.9 มีค่าซีโอดีที่เหลือหลังการบำบัดเท่ากับ 156.1 และ 142.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ พีเอชเริ่มต้น 4 มีค่าซีโอดีที่เหลือหลังการบำบัดไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) ซึ่งพีเอชเริ่มต้น 9 จะมีค่าซีโอดีที่เหลือหลังการบำบัดที่เกินค่ามาตรฐาน

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่าการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที แม้จะไม่ได้เป็นช่วงเวลาที่มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุด แต่หากจะเดินระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึง 60 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีก็ไม่แตกต่างมากนัก จึงอาจทำให้ไม่คุ้มกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียไปในการดำเนินระบบที่เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป



ภาพที่ 18 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 19 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

2.3 ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย

น้ำทิ้งตัวอย่างจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบมีค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำเท่ากับ 520 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าในการลดของแข็งแขวนลอยจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 และ 9 พบว่า ประสิทธิภาพจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นไปตามความต่างศักย์ไฟฟ้า และเวลาที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับประสิทธิภาพของค่าการดูดกลืนแสง และซีโอดี ที่ลดลง แสดงดังภาพที่ 20 – 21

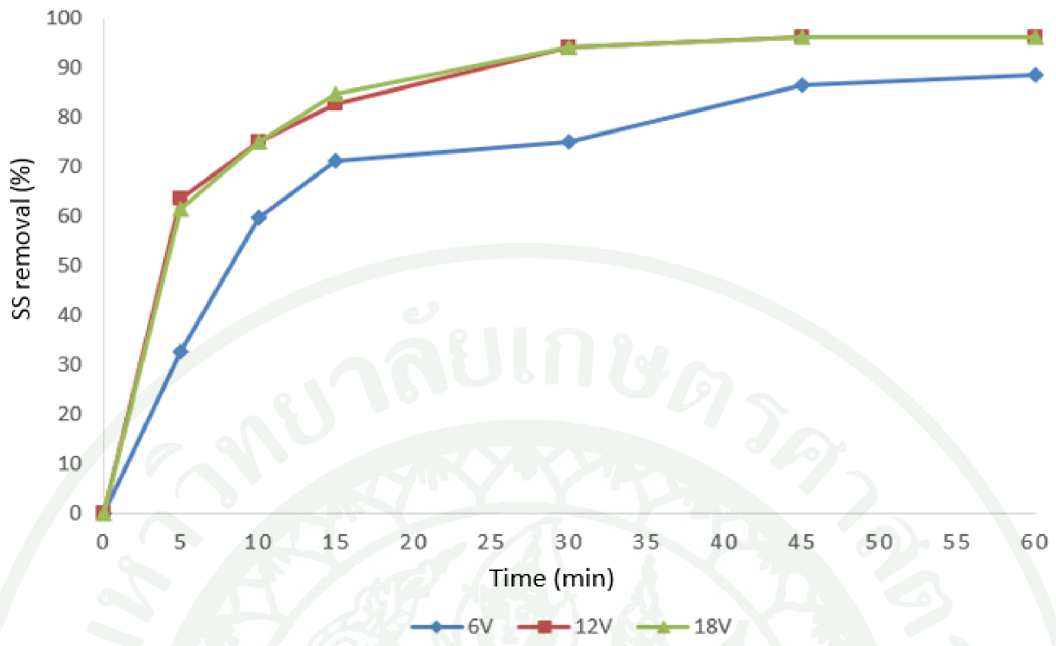
ที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 30 นาที พบว่ามีประสิทธิภาพในการลดสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 75 94.2 และ 94.2 ตามลำดับ มีค่าของแข็งแขวนลอยเหลือในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 130 30 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น 400 1,010 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 9 มีประสิทธิภาพในการลดสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 78.8 92.3 และ 94.2 ตามลำดับ และมีค่าของแข็งแขวนลอยเหลือในน้ำหลังการบำบัดเท่ากับ 110 40 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น 390 1,130 และ 1,160 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

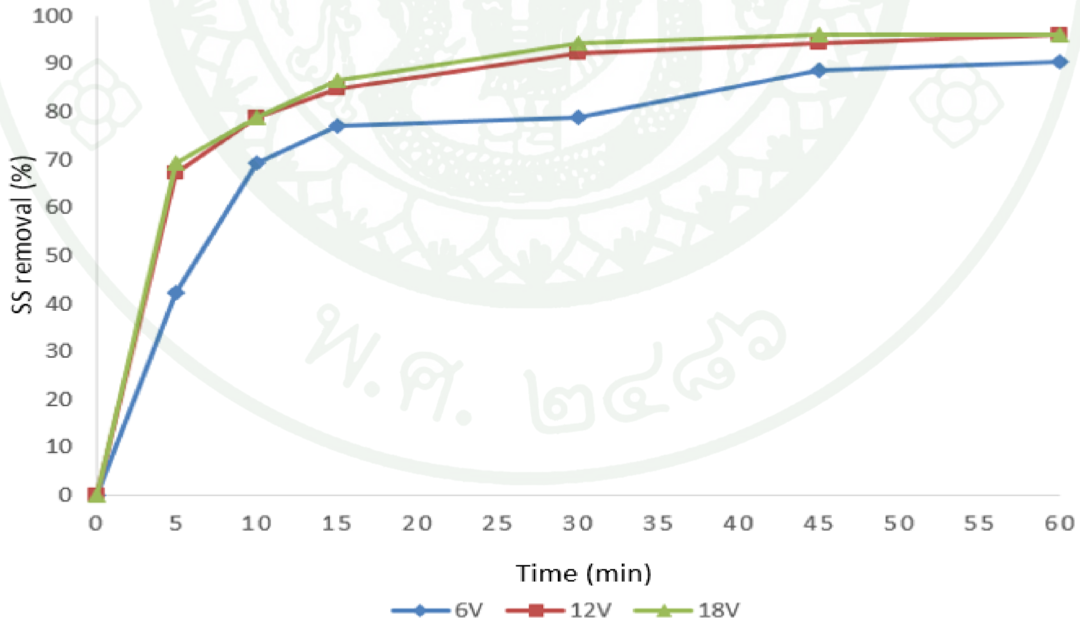
เพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงขึ้นจาก 6 เป็น 12 และ 18 โวลต์ ประสิทธิภาพการลดสารแขวนลอยมากขึ้นแต่เมื่อเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงถึงระดับหนึ่ง (12 และ 18 โวลต์) ก็ไม่ได้ส่งผลต่อการลดค่าของแข็งแขวนลอยให้มีความแตกต่างกันมากหรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งในพีเอชเริ่มต้น 4 มีค่าสารแขวนลอยที่เหลือหลังการบำบัดเท่ากับ 30 ทั้งสองค่าความต่างศักย์ 12 และ 18 โวลต์ ในขณะที่พีเอชเริ่มต้น 9 มีค่าสารแขวนลอยเท่ากับ 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ที่ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2539) ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับค่าพลังงานที่ต้องเสียไปเมื่อเวลาและความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้เกิดภาระค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบมากขึ้นตามไปด้วยนั่นเอง นอกจากนี้จากผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า ปริมาณตะกอนจมตัวที่สามารถวิเคราะห์ได้มีปริมาณน้อย เนื่องจากว่า การดำเนินกระบวนการ โคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ามีแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้น ซึ่งสามารถดันตะกอนให้ลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ และกำจัดออกได้ง่าย ทำให้เกิดปริมาณของตะกอนจมตัวในปริมาณที่น้อย ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการ โคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการตกตะกอนทางเคมี หรือกระบวนการ โคแอคกูเลชันแบบเดิม

ประสิทธิภาพของการลดค่าสี และซีโอดีที่เกิดขึ้นจะเกี่ยวข้องกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าด้วย และมีความเกี่ยวโยงกับประสิทธิภาพของการลดของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย สอดคล้องกับรายงานของอมรภัค (2551) อธิบายว่า เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าต่ำเกินไป จะทำให้ไอออนที่แตกตัวจากขั้วแอโนดมีปริมาณน้อย เมื่อรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออนจะไม่สามารถตกตะกอนได้ทั้งหมด แต่เมื่อถูกกระตุ้นด้วยความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างการทำปฏิกิริยาจะทำให้อนุภาคเหล่านี้เกิดความไม่เสถียร และเคลื่อนที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ประกอบกับในปฏิกิริยามีแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นไม่มาก และขนาดของฟองก๊าซไม่ใหญ่พอที่จะพยุงอนุภาคสารแขวนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ จึงอาจจะทำให้สารแขวนลอยในน้ำเสียเพิ่มขึ้น ตรงกันข้ามเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากพอ หรือความต่างศักย์ที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดฟองก๊าซ และปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นจนทำให้มีลักษณะเป็นโฟม ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการแยกมลสารเพิ่มขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการลดมลสารที่อยู่ในรูปของสารแขวนลอยในน้ำได้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 20 ประสิทธิภาพของการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์



ภาพที่ 21 ประสิทธิภาพของการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

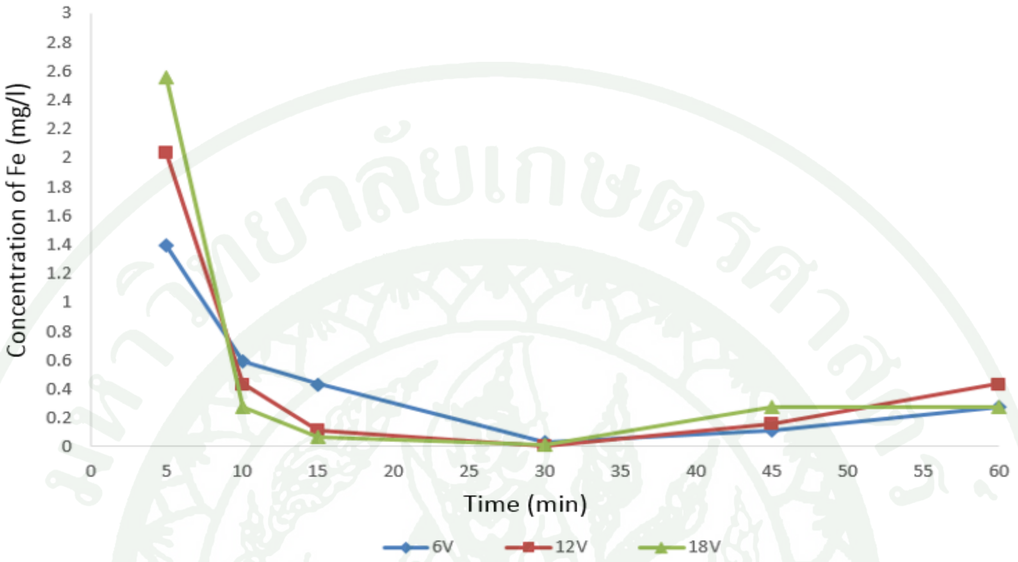
2.4 ปริมาณของเหล็กหลังการบำบัด

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 และ 9 ณ ระยะเวลาในการบำบัดต่าง ๆ พบว่า ในระยะเริ่มต้นการบำบัด การใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่สูงจะให้เหล็กออกมามากขึ้น อย่างไรก็ดีเหล็กในสารละลายจะถูกใช้ไปในกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าและเริ่มมีปริมาณลดลงจนถึงเวลา 30 นาที ซึ่งสีและซีโอดีจะถูกกำจัดไปมากกว่าร้อยละ 70 หลังจากนั้นปริมาณเหล็กจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเริ่มมีเหล็กตกค้างที่ปล่อยออกมาจากเหล็กอิเล็กโทรด ดังแสดงในภาพที่ 22 – 23 จากผลการทดลองที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 4 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ เวลาการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที มีความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดเท่ากับ 0.032 0 และ 0.016 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่พีเอชน้ำเสียเริ่มต้น 9 มีความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดเท่ากับ 0.592 0 และ 0.272 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากว่า เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นจะส่งผลให้ไอออนของเหล็กออกมาจากขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น และรวมตัวกันกับไฮดรอกไซด์ไอออนที่มาจากขั้วแคโทด รวมกันเป็นตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ แต่เมื่อเวลาที่มากขึ้นจนทำให้ปริมาณไอออนของเหล็กยังคงเหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัด เนื่องจากว่า มลสารส่วนใหญ่ได้ถูกกำจัดออกไปแล้ว จึงมีไอออนของโลหะที่เหลือตกค้าง ส่งผลต่อน้ำทิ้งที่จะปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ที่อาจจะมีปริมาณไอออนของโลหะที่เหลือปนเปื้อนอยู่ด้วย และที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 มีปริมาณเหล็กตกค้างที่เหลือมากกว่า 12 และ 18 โวลต์ เนื่องจากว่า เมื่อมีการละลายของโลหะจากขั้วอิเล็กโทรด และการเกิดไฮดรอกไซด์ไอออนน้อยกว่า ทำให้พีเอชมีการเปลี่ยนไปจากเดิมน้อย จึงไม่สามารถตกตะกอนมลสารที่มีอยู่ในน้ำเสียได้หมด ทำให้ยังมีเหล็กตกค้างอยู่มากกว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 และ 18 โวลต์ ในขณะที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 18 โวลต์ มีการละลายของโลหะจากขั้วอิเล็กโทรดที่มากเกินความจำเป็นสำหรับการลดมลสารในน้ำ ทำให้มีเหล็กที่เหลือตกค้างอยู่หลังการบำบัด ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที เป็นช่วงที่มีความเข้มข้นของเหล็กไอออนน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของน้ำทิ้งไม่ปนเปื้อนโลหะ หรือมีการปนเปื้อนที่จะปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย

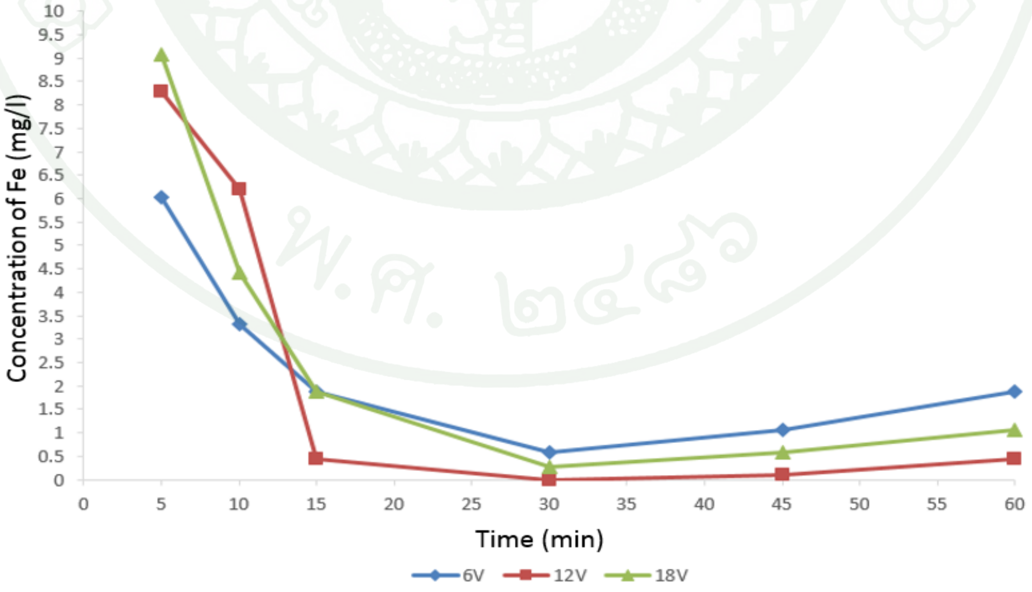
จากผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสีน้ำทิ้ง ซีโอดี สารแขวนลอย และปริมาณเหล็กตกค้าง พบว่าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที เป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมสำหรับการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย เนื่องจากว่าประสิทธิภาพจะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาการบำบัดเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมากตามไปด้วย



ภาพที่ 22 ความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

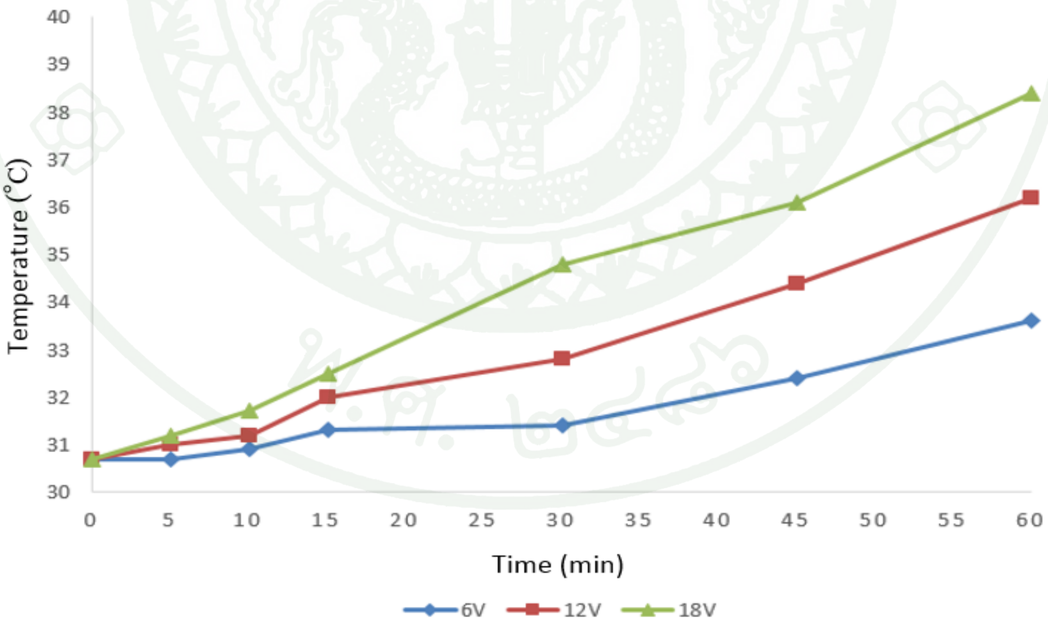


ภาพที่ 23 ความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

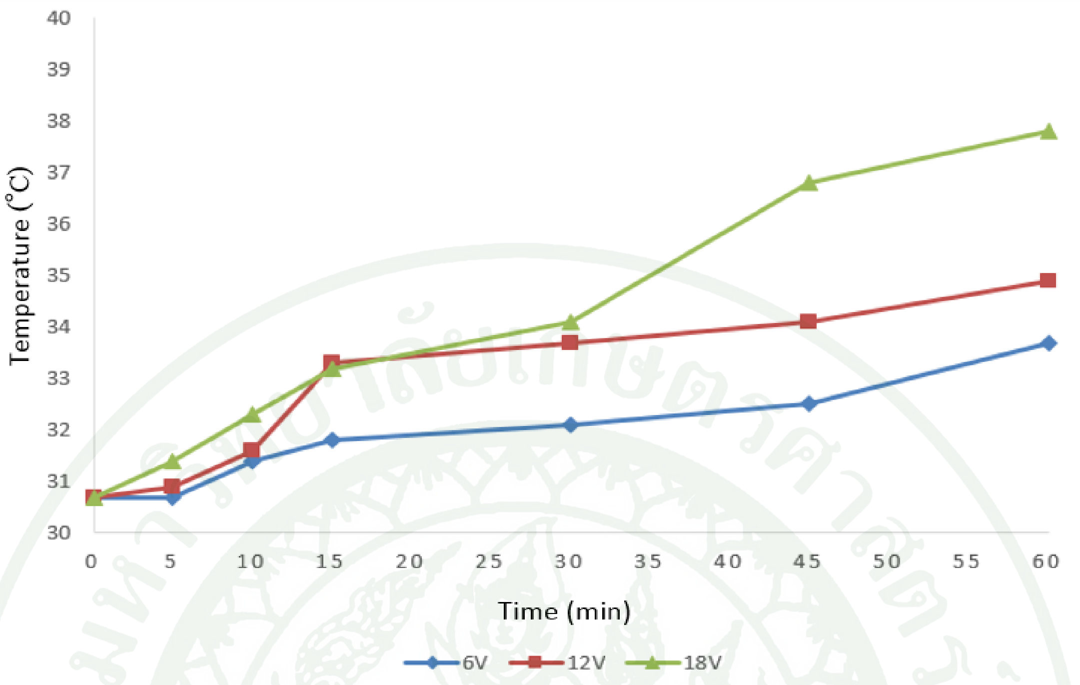
2.5 อุณหภูมิหลังการบำบัด

เมื่อทำการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 6 12 และ 18 โวลต์ และระยะเวลาในการบำบัด 5 10 15 30 45 และ 60 นาที ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้า และเวลาที่มากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นทั้งพีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 ดังแสดงในภาพที่ 24 – 25 ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำทิ้งให้อุณหภูมิสูงตามไปด้วย เนื่องจากว่ากระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเป็นการให้พลังงานไฟฟ้าลงไปในน้ำ และการสร้างตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์เป็นการสร้างพันธะ ทำให้มีการคายพลังงานออกมา ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้น เมื่อทำการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า จึงต้องคำนึงถึงการใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า และเวลาที่มากเกินไปจะทำให้น้ำทิ้งมีอุณหภูมิสูงอาจจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำ ซึ่งความสามารถในการละลายนี้แปรผันตามอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น ความสามารถในการละลายจะลดน้อยลง และจะมีอัตราการละลายที่ดีกว่าเมื่ออุณหภูมิของน้ำต่ำลง แต่กระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ในของสิ่งมีชีวิตในน้ำจะเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการใช้ออกซิเจนสูงตามไปด้วย (เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2556)



ภาพที่ 24 อุณหภูมิของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



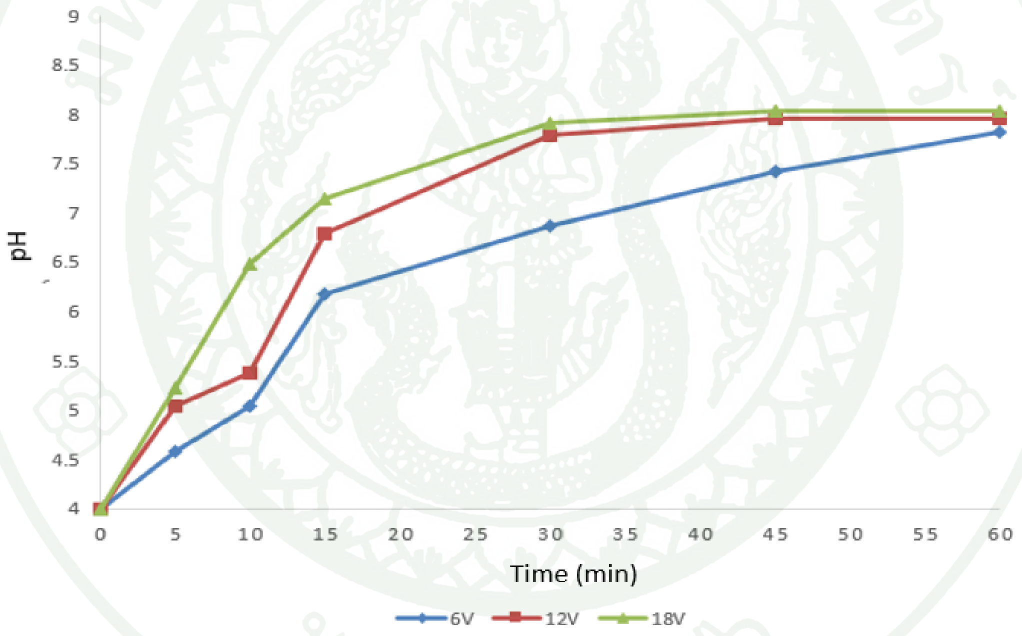
ภาพที่ 25 อุณหภูมิของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

2.6 พีเอชหลังการบำบัด

ผลการวัดพีเอชของน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 นั้น พบว่า พีเอชของน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความต่างศักย์ไฟฟ้า และเวลาที่เพิ่มขึ้นทั้งสองสภาวะ ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณของไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) ที่เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในภาพที่ 26 – 27 นอกจากนั้น ในสภาวะที่พีเอชเริ่มต้น 4 มีการเปลี่ยนแปลงของพีเอชอย่างรวดเร็วไปสู่สภาวะที่เป็นกลางหรือเบสเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ในขณะที่พีเอชเริ่มต้น 9 จะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งสอดคล้องกับ ปาริชาติ (2547) รายงานว่า พีเอชจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้ามากขึ้น ทำให้ขั้วเหล็กสลายออกมามากขึ้น เกิดหมู่ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) และจับเป็นตะกอนกับขั้วเหล็กที่สลายออกมากลายเป็นตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ขึ้นมาในระบบจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเวลาในการบำบัด จึงทำให้พีเอชเพิ่มมากขึ้น และรายงานว่า การทดลองที่ทำให้พีเอชไม่มากเกินมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง (5.5 - 9.0) มีค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 8 – 12 โวลต์ และเวลาในการบำบัดเท่ากับ 20 – 40 นาที

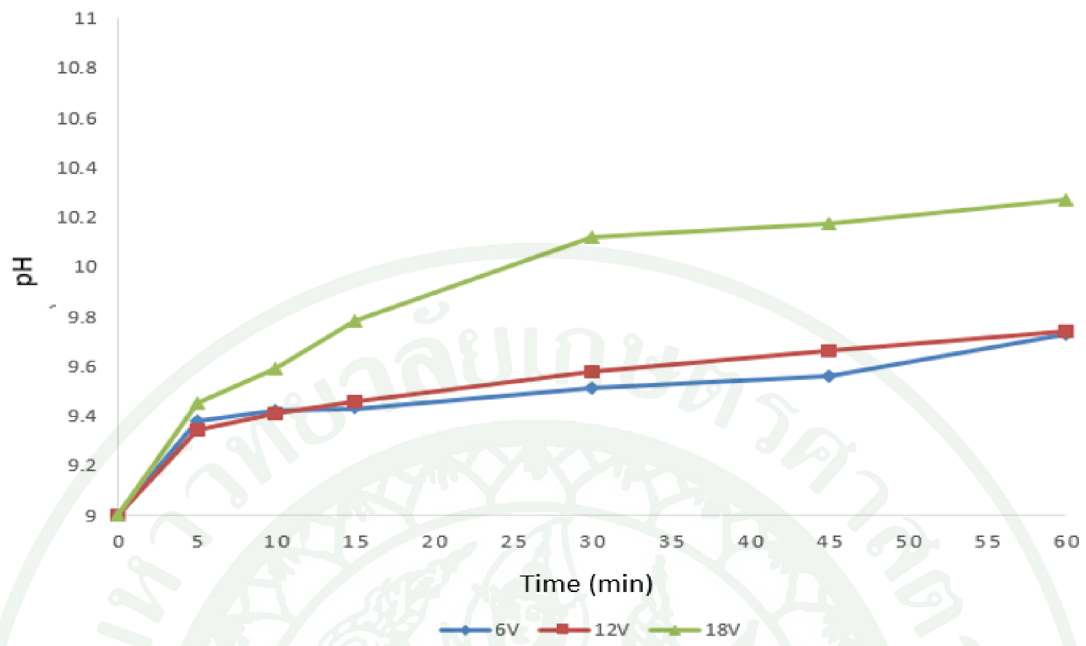
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการทดลองข้างต้น จะเห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง คือ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี ซีโอดี และสารแขวนลอย ไม่ได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาแล้วประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้า และเวลาเพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้น ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที เป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของเหล็กน้อยที่สุด และน้ำที่ผ่านการบำบัดยังมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 33 – 34 องศาเซลเซียส โดยค่าพีเอชหลังการบำบัดของน้ำทิ้งที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 เท่ากับ 7.78 และ 9.58 ตามลำดับ



ภาพที่ 26 พีเอชของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 27 พีเอชของน้ำทิ้งหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

3. ผลของการเติมสารนำไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

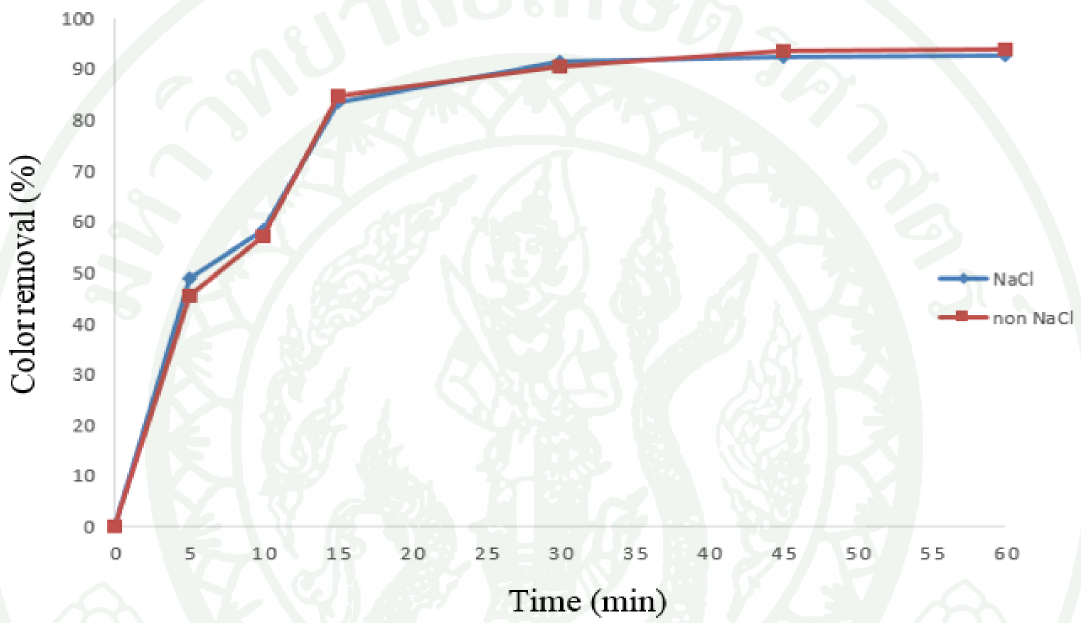
ผลการเติมสารนำไฟฟ้า คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 1 กรัมต่อลิตร เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดสี และซีโอดีของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับน้ำเสียตัวอย่างเริ่มต้นที่ไม่ได้มีการเติมสารนำไฟฟ้า ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลา 5 10 15 30 45 และ 60 นาที มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ประสิทธิภาพการลดค่าดูดกลืนแสงของสี

ประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงของสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เมื่อมีการเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า พบว่าประสิทธิภาพไม่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก คือ ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เมื่อระยะเวลาของการบำบัดผ่านไป 30 นาที ประสิทธิภาพจะเริ่มคงที่ หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องจากว่าเมื่อระยะเวลาของการบำบัดผ่านไป 30 นาที มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำจะถูกบำบัดหรือมีน้อยลงทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดหลัง 30 นาทีมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่น้อย หรือเริ่มคงที่ ซึ่ง

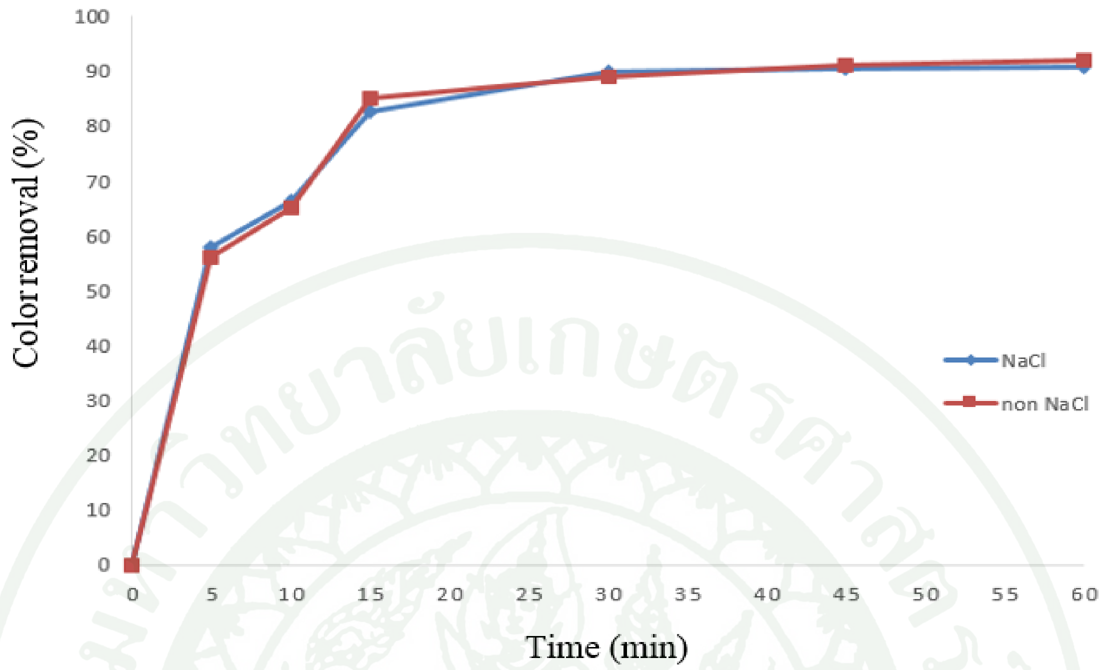
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เป็นไปในทางเดียวกันกับประสิทธิภาพของกระบวนการในสภาวะที่ไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 28 – 29 ประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงของการเติมสารนำไฟฟ้าที่เวลา 30 นาที พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 มีค่าเท่ากับร้อยละ 91.6 และ 89.8 ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการลดค่าดูดกลืนแสงในสภาวะที่ไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า มีค่าเท่ากับร้อยละ 90.4 และ 88.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 28 ประสิทธิภาพของการบำบัดสีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้าที่พี่เอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

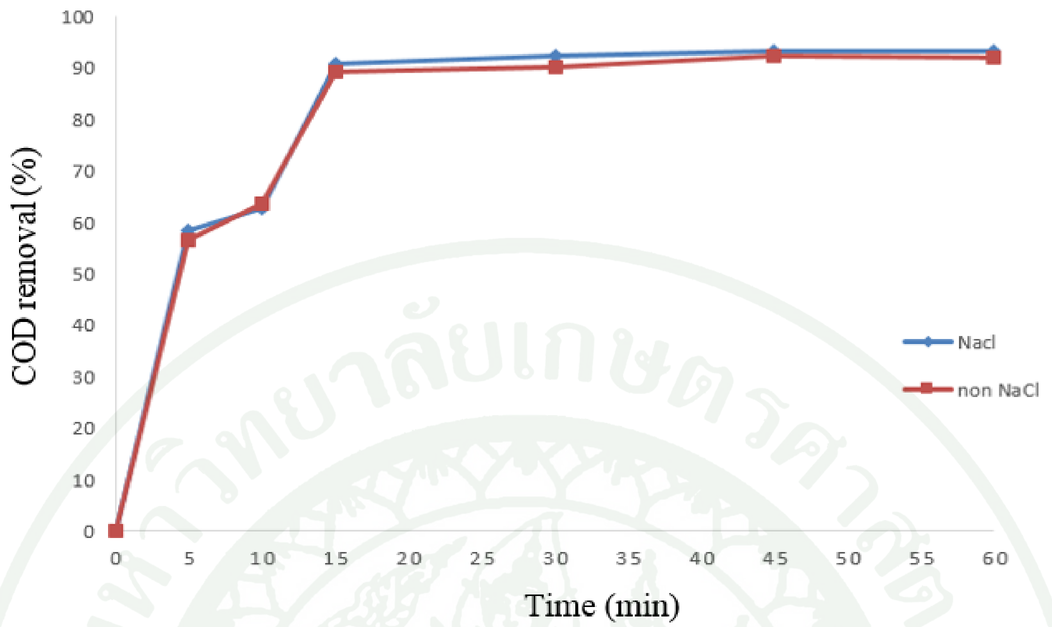


ภาพที่ 29 ประสิทธิภาพของการบำบัดสีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้า ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

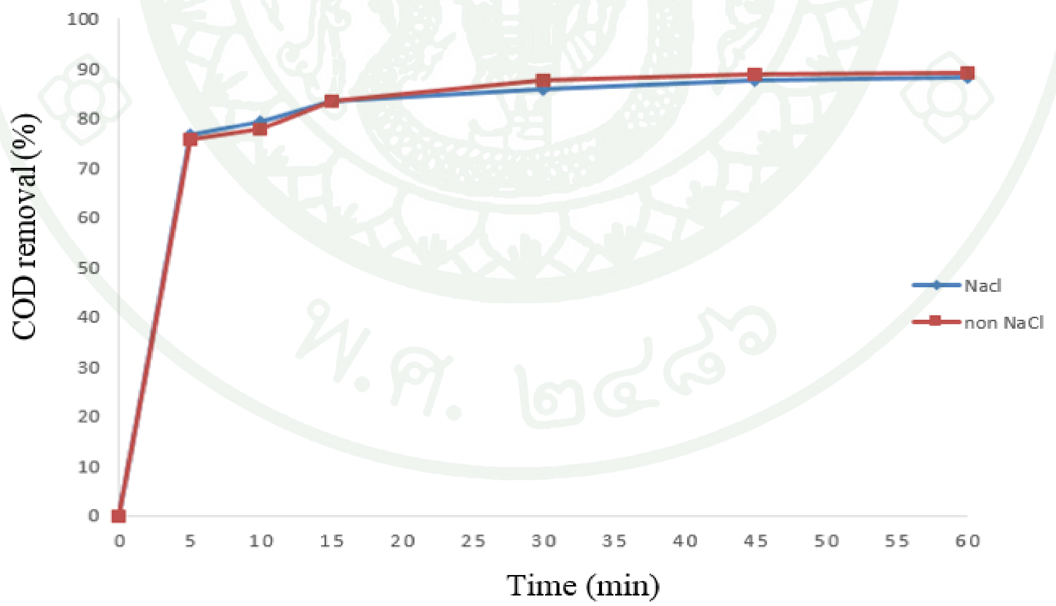
3.2 ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี

ประสิทธิภาพการลดซีโอดีของกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เมื่อมีการเปรียบเทียบระหว่างการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า พบว่า มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสง คือ ประสิทธิภาพของการลดซีโอดี จะเริ่มคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า จะมีความใกล้เคียงกัน ดังแสดงในภาพที่ 30 – 31 เนื่องจากว่า อนุภาคของสีเป็นสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เมื่อสีหรือสารอินทรีย์ถูกกำจัดออกไปในน้ำเสียจะทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการลดค่าซีโอดีในน้ำเสียด้วย โดยประสิทธิภาพของการลดค่าซีโอดีในสภาวะการเติมสารนำไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลา 30 นาที พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 ในสภาวะ มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.3 และ 85.7 ตามลำดับ ในขณะที่ในสภาวะที่ไม่มีการเติมสารนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับร้อยละ 90.2 และ 87.6 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 30 ประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้า ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์



ภาพที่ 31 ประสิทธิภาพของการบำบัดซีโอดีในการเติมสารนำไฟฟ้า และไม่เติมสารนำไฟฟ้า ที่พีเอชเริ่มต้น 9 และความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบสภาวะของการเติมสารนำไฟฟ้า กับสภาวะที่ไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า พบว่า จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ได้มีความแตกต่างกัน อาจเป็นเพราะว่า ในสภาวะน้ำตัวอย่างมีความสามารถในการนำไฟฟ้าอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นจะต้องมีการเติมสารนำไฟฟ้า หรือเมื่อเติมสารนำไฟฟ้าจึงอาจจะไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดเพิ่มมากขึ้นจากในสภาวะที่ไม่มีการเติมสารนำไฟฟ้า โดยสมพงษ์ (2551) รายงานว่า การเติมสารนำไฟฟ้า ไม่ได้ช่วยทำให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้น เพียงแต่ช่วยให้ประหยัดพลังงาน นอกจากนี้จะเกิดผลึกเกลือของอิออนเคลือบเป็นชั้นฉนวนรอบผิวของอิเล็กโทรดในกรณีที่มีเกลือในน้ำมากเกินไป ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปลดประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า จึงมีข้อแนะนำว่าในน้ำควรมีคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ประมาณร้อยละ 20 ของประจุลบทั้งหมด เพื่อให้สามารถเดินระบบได้เป็นปกติ โดยไม่ต้องถอดอิเล็กโทรดออกมาล้างบ่อย นอกจากนี้ การเพิ่มค่าการนำไฟฟ้า โดยการเติมสารนำไฟฟ้ายังส่งผลต่อต้นทุนในการเดินระบบ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมที่จะนำกระบวนการนี้ไปปรับใช้จะทำให้มีภาระค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากต้นทุนในการซื้อสารนำไฟฟ้า

4. ผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วย ไฟฟ้า

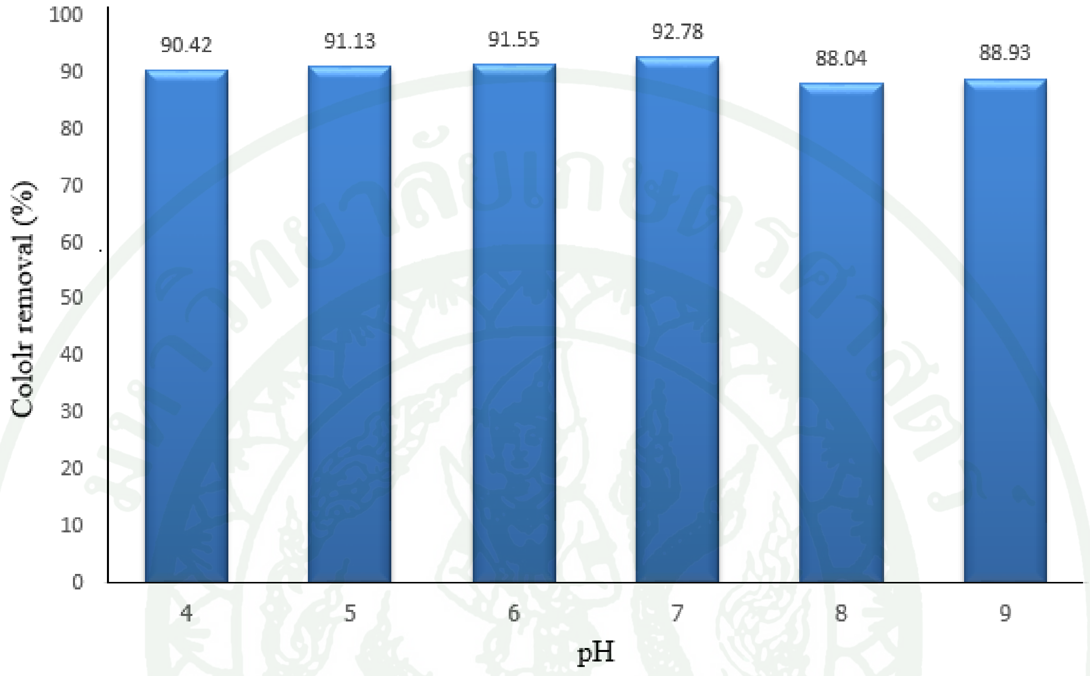
การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น ได้แก่ พีเอช 4 5 6 7 8 และ 9 ต่อประสิทธิการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ โดยใช้สภาวะเหมาะสมที่ได้จากผลการทดลองข้างต้นคือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที

4.1 ประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี

ประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงที่พีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ ได้แก่ 4 5 6 7 8 และ 9 ณ สภาวะเหมาะสมของการทดลอง คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที พบว่า พีเอชเริ่มต้นที่มีความเป็นกลางถึงเบส จะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าในการลดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงแรก แต่เมื่อเวลาผ่านไปพีเอชของน้ำตัวอย่างที่มีความเป็นกรดจะเพิ่มขึ้นเข้าสู่ความเป็นเบส ในขณะที่น้ำเสียที่มีพีเอชเริ่มต้นที่มีความเป็นกลางหรือเบส เมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น โดยประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสงที่พีเอชเริ่มต้น 7 เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดเท่ากับร้อยละ 92.8 ในขณะที่พีเอช

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เริ่มต้นที่เป็นกรดจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัด เท่ากับร้อยละ 90 – 92 ซึ่งสูงกว่าในสภาวะที่เป็นเบสเล็กน้อยโดยจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพียงร้อยละ 88 – 89 แสดงดังภาพที่ 32



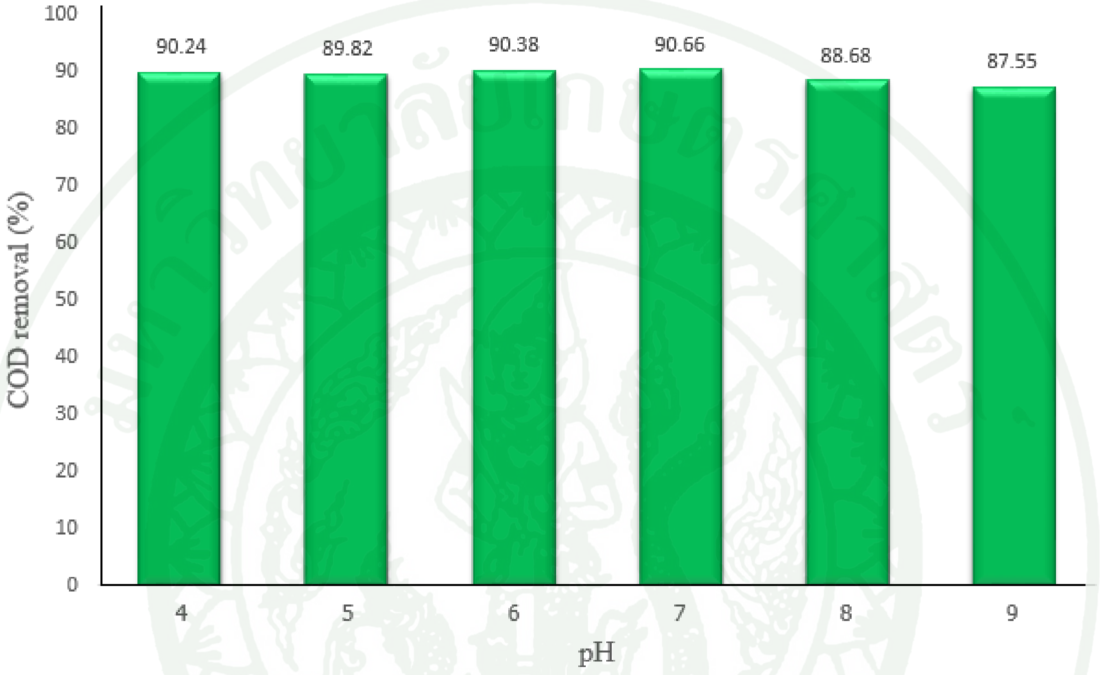
ภาพที่ 32 ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงของสีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30 นาที

4.2 ประสิทธิภาพการลดซีโอดี

ประสิทธิภาพของการลดค่าซีโอดีในน้ำเสีย มีทิศทางเดียวกันกับการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี คือค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำตัวอย่างมีความเป็นกรด ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ในขณะที่ประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ในพีเอชเริ่มต้นที่เป็นกรดจะมีประสิทธิภาพในสการบำบัดสูงกว่า แสดงดังภาพที่ 33 เนื่องจากว่า เมื่อเวลาผ่านไป จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำให้สูงขึ้น ซึ่งเกิดจากไฮดรอกไซด์ไอออนที่เกิดขึ้นเมื่อดำเนินระบบทำให้มีผลต่อพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอน และประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสงได้ได้ ซึ่งอนุภาคสีที่อยู่ในสภาวะคอลลอยด์ในน้ำจะส่งผลต่อค่าซีโอดีในน้ำด้วย เมื่ออนุภาคสีที่เป็นสารอินทรีย์ถูกกำจัดออกไปจึงทำให้ค่าซีโอดีลดลงตามไปด้วย แนวโน้มการลดค่าซีโอดีจึงมีความ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คล้ายคลึงกันกับประสิทธิภาพของการลดค่าการดูดกลืนแสงหรือสีนั่นเอง ซึ่งในพีเอชเริ่มต้น 4 – 7 เมื่อเวลาผ่านไปจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยประมาณร้อยละ 90 ในขณะที่พีเอชเริ่มต้น 8 – 9 จะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 88



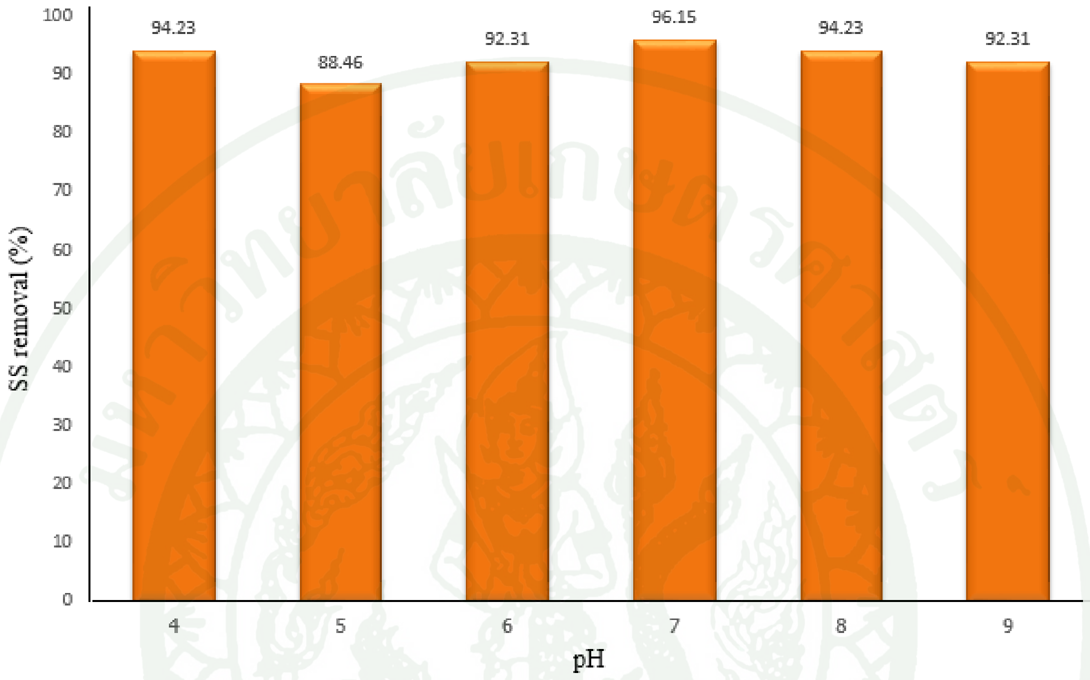
ภาพที่ 33 ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดซีโอดีด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30 นาที

4.3 ประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอย

ประสิทธิภาพการลดค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำ ที่ความต่างศักย์ 12 โวลต์ และระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที มีแนวโน้มเป็นแบบเดียวกันกับการลดค่าการดูดกลืนแสง และซีโอดี โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ใกล้เคียงกันทั้งสองสภาวะเริ่มต้นที่เป็นกรด และเบส ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดจะอยู่ที่พีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 7 มีค่าเท่ากับร้อยละ 96.2 ดังแสดงในภาพที่ 34 สารแขวนลอยในน้ำที่ลดลง เนื่องจากว่า เมื่อเหล็กละลายออกจากขั้วอิเล็กโทรด และเกิดตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ ซึ่งช่วยตกตะกอนอนุภาคของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำได้ นอกจากนั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการยังสามารถช่วยพยุงอนุภาคของสารแขวนลอยเหล่านี้ขึ้นสู่ผิวน้ำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อมีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มากพอจนทำให้เกิดฟองก๊าซ และมีปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มมากขึ้นจนทำให้มีลักษณะเป็นโฟม ทำให้สามารถลดสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำได้ (อมรภัคร, 2551)



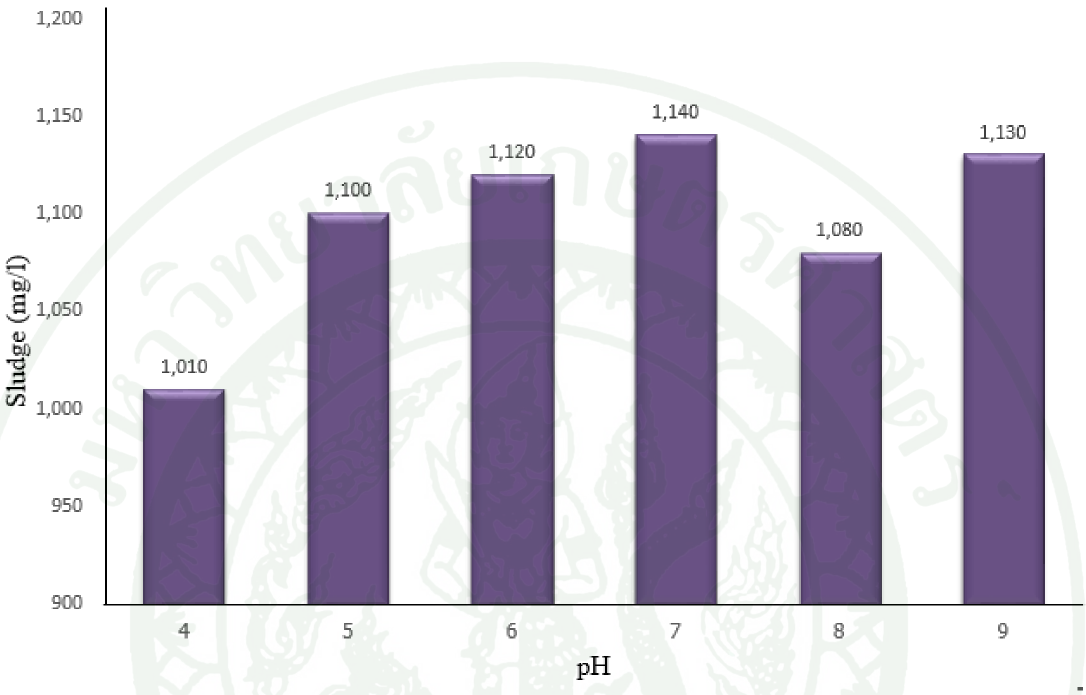
ภาพที่ 34 ผลของพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งต่อประสิทธิภาพการลดของแข็งแขวนลอยด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30นาที

4.4 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้น

ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ พบว่ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาที่ผ่านไป โดยที่ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที ทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นทั้งในสภาวะกรด และเบส มีปริมาณตะกอนเกิดขึ้น โดยประมาณ 1,000 – 1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังภาพที่ 35 เนื่องจากว่าเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้นเป็นการเพิ่มโอกาสของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำให้สัมผัสกับตะกอนของโลหะไฮดรอกไซด์มากขึ้นจะทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการมีมากขึ้น นอกจากนั้นระยะเวลาผ่านไปมีผลทำให้พีเอชของน้ำเปลี่ยนเข้าสู่พีเอชที่มีความเหมาะสมต่อการตกตะกอนมากยิ่งขึ้น ทำให้ปริมาณตะกอนมีมากขึ้น ซึ่งทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นมี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสามารถในการลดค่าการดูดกลืนแสง ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์ และอนุภาคของมลสารที่อยู่ในน้ำ



ภาพที่ 35 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที

4.5 พีเอช และอุณหภูมิ

พีเอช และอุณหภูมิหลังการบำบัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอชเริ่มต้นในสภาวะที่เป็นกรด จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่พีเอชเริ่มต้นในสภาวะที่เป็นเบสจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แสดงดังภาพที่ 36 ทั้งนี้เป็นผลมาจากไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ ทำให้ในสภาวะเริ่มต้นที่เป็นกรดเมื่อเวลาผ่านไป พีเอชจึงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนในสภาวะที่เป็นเบสในน้ำจะมีไฮดรอกไซด์ไอออนอยู่ การเกิดไอดรอกไซด์ไอออนจากกระบวนการจึงมีผลทำให้พีเอชเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ประกอบกับ ไฮดรอกไซด์ที่มีอยู่เกิดตะกอนกับเหล็กที่ละลายออกมาจากขั้วอิเล็กโทรด และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดตะกอนของไฮดรอกไซด์ก็ยิ่งมากขึ้น ทำให้พีเอชของน้ำหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น (ปาริชาติ, 2547) ซึ่งพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียจะมีผลต่อน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดที่เกินมาตรฐาน และระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที พีเอชเริ่มต้น 4 5 6 7 8 และ

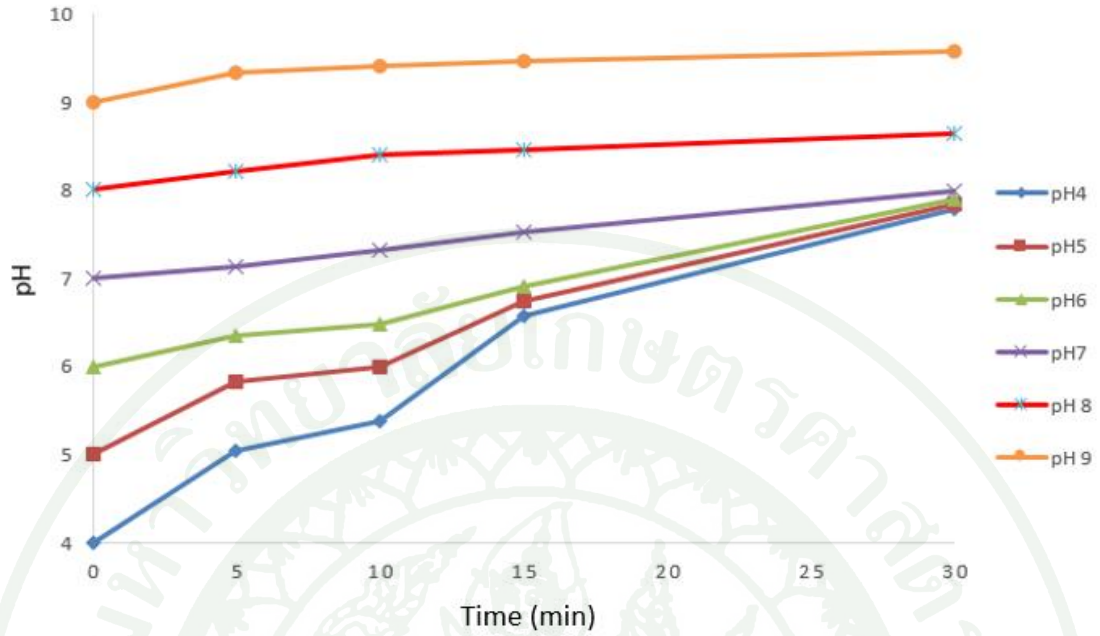
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

9 มีค่าพีเอชเท่ากับ 7.78 7.84 7.9 7.99 8.65 และ 9.58 ตามลำดับ ซึ่งค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งกำหนดไว้ที่ 5.5 – 9

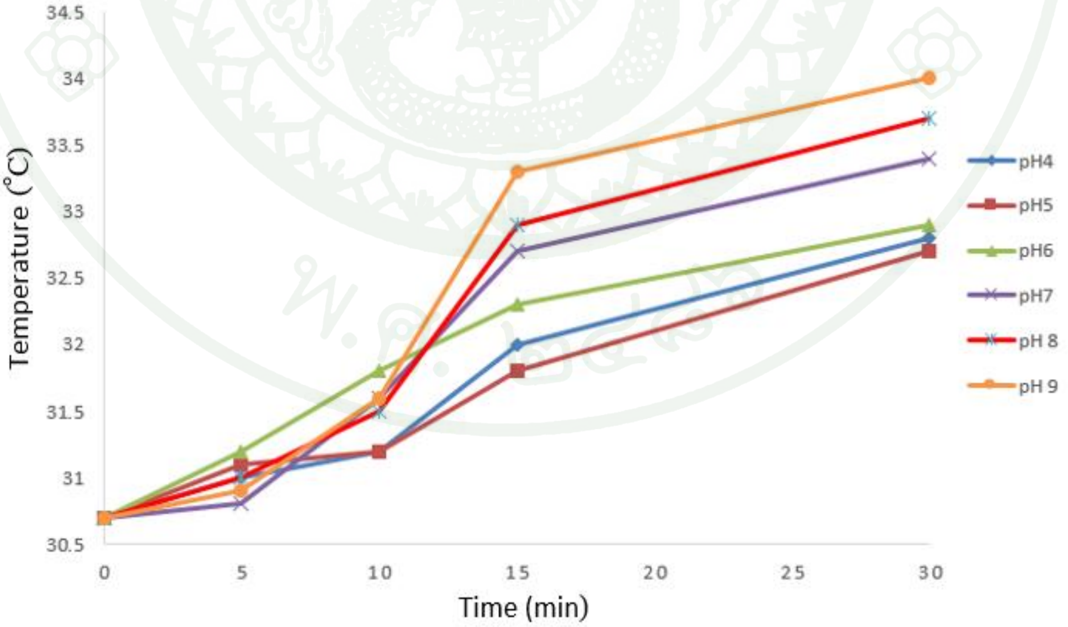
ส่วนอุณหภูมิหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นโดยในช่วงพีเอชเริ่มต้นที่เป็นเบสมีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่สูงกว่าในสภาวะที่เป็นกรด ดังแสดงในภาพที่ 37 เนื่องจากว่า กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าเกิดการละลายของโลหะจากขั้วอิเล็กโทรด และรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน เกิดเป็นตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์ในรูป $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ ซึ่งการสร้างตะกอนเป็นการสร้างพันธะระหว่างโลหะ และไฮดรอกไซด์ไอออน เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งในสภาวะที่เป็นเบสจะมีความสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่าในสภาวะที่เป็นกรด จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำหลังการบำบัดในสภาวะที่เป็นเบสมีค่าสูงกว่า

จากผลการทดลองผลของพีเอชเริ่มต้นต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ แสดงให้เห็นว่า กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรดมีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ทุกช่วงพีเอชเริ่มต้น โดยมีประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสง ซีโอดี และสารแขวนลอย ที่ใกล้เคียงกันทุกช่วงพีเอชเริ่มต้น แต่ในพีเอชเริ่มต้นที่เป็นกรดจะมีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจาก น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า จะมีค่าพีเอช และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อคุณภาพน้ำทิ้งโดยกำหนดอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส และ พีเอชอยู่ในช่วง 5.5 – 9 แต่ในกรณีที่น้ำทิ้งมีค่าพีเอชเริ่มต้นที่เป็นเบส การปรับค่าพีเอชอาจเป็นเติมสารเคมีลงสู่น้ำทิ้ง ซึ่งอาจมีการปนเปื้อนของมลสาร หรือเป็นการเพิ่มภาระในการจัดการต่อไป นอกจากนั้นยังต้องคำนึงถึงภาระค่าใช้จ่ายในการปรับพีเอชด้วย แต่ในกรณีที่ใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า มีประสิทธิภาพในการบำบัดได้ทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นทั้งในสภาวะที่เป็นกรด และเบส การปรับพีเอชให้เหมาะสมก่อนการบำบัดจึงทำได้ง่ายกว่า เพื่อไม่ให้น้ำทิ้งมีค่าพีเอชที่เกินค่ามาตรฐาน (5.5 – 9) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพีเอชหลังการบำบัด ซึ่งจากการทดลองการปรับพีเอชเริ่มต้นควรปรับให้อยู่ในค่าที่เป็นกลาง หรือพีเอชเท่ากับ 7 เพราะมีประสิทธิภาพสูงสุด และน้ำที่ผ่านการบำบัดยังมีค่าพีเอชที่ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมอีกด้วย เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีโดยไม่จำเป็น ในกรณีที่น้ำมีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นเบสสูง ส่วนอุณภูมิหลังการบำบัดจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงพีเอชเริ่มต้น แต่ในสภาวะที่เป็นเบสจะมีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าในสภาวะที่เป็นกรด ดังนั้น การปรับพีเอชเริ่มต้น ให้เป็นกลาง หรือพีเอชเท่ากับ 7 จึงถือว่ามีความเหมาะสมสูงสุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 36 พีเอชหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที



ภาพที่ 37 อุณหภูมิหลังการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้าโดยใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ 30 นาที

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5. การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์ พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.9 2.1 และ 3.2 แอมแปร์ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากันทุกช่วงพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสีย ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ จะถูกนำไปคิดเป็นกำลังไฟฟ้า และคำนวณหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อไป

การคำนวณค่าไฟที่สภาวะเหมาะสมของการทดลองคือที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ เวลา 30 นาที โดยใช้สูตร

P(watt) = E (volt) x I (amp)

= 12 x 2.1

= 25.2 watt

$$\text{จำนวนหน่วย(ยูนิต)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งาน}}{1000}$$

$$= \frac{25.2 \times 1 \times 0.5}{1000}$$

= 0.0126 หน่วย (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง)

อัตราการคิดค่าไฟฟ้าตามการแยกประเภท ซึ่งจัดอยู่ในประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่น ๆ 150 หน่วยแรก ค่าพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 3.423 บาท

ดังนั้น ค่าพลังงานไฟฟ้า = 0.0126 หน่วย x 3.423 บาท

= 0.043 บาท

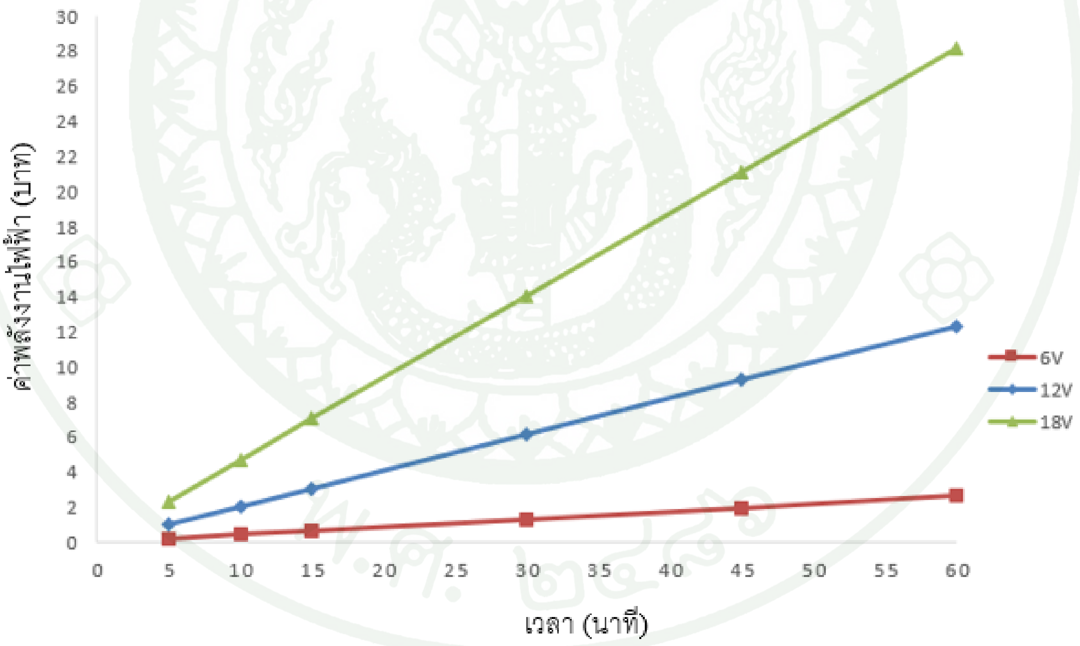
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจาก การทดลองใช้ตัวอย่าง 7 ลิตร ค่าพลังงานไฟฟ้า 0.043 บาท

$$\text{น้ำตัวอย่าง 1,000 ลิตร ค่าพลังงานไฟฟ้า} = \frac{0.043 \times 1{,}000}{7}$$

ดังนั้น ค่าพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 6.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

ปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้าจะต้องจ่ายเพิ่มขึ้น เมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากยิ่งขึ้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลไปยังหน่วยไฟฟ้าให้มากขึ้น แสดงดังภาพที่ 38 ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้านั้นจึงจำเป็นดูความเหมาะสมของปริมาณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องจ่ายเพิ่มเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่มากขึ้นหรือแตกต่างกันมากน้อยเท่าใด เมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ไป ซึ่งจะเป็นภาระต้นทุนต่อไป



ภาพที่ 38 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบโดยใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 6 12 และ 18 โวลต์

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการทดลอง

1.1 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการบำบัดทั้งในสภาวะเริ่มต้นที่เป็นกรด และเบส สามารถลดสีซึ่งคิดจากค่าการดูดกลืนแสง ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยได้เป็นอย่างดี ที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ คือ การใช้ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสีเท่ากับร้อยละ 90.4 และ 88.9 ตามลำดับ ซีโอดีเท่ากับร้อยละ 90.2 และ 87.6 ตามลำดับ และสารแขวนลอยเท่ากับร้อยละ 94.2 และ 92.3 ตามลำดับ โดยสภาวะพีเอชเริ่มต้น 4 จะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงกว่าในสภาวะพีเอชเริ่มต้น 9 และที่สภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลา 30 นาที นอกจากจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงแล้ว ยังมีความเข้มข้นของเหล็กหลังการบำบัดในปริมาณที่น้อยทั้งสองสภาวะเริ่มต้นกรดและเบสด้วย การบำบัดด้วยกระบวนการ โคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า จะทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 32.8 และ 33.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่พีเอชของน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 7.78 และ 9.58 ตามลำดับ

1.2 การศึกษาผลของการเติมสารนำไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพของการบำบัด พบว่า การเติมสารนำไฟฟ้าลงไปในน้ำตัวอย่าง ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่มีความแตกต่างกันกับในสภาวะที่ไม่ได้เติมสารนำไฟฟ้า โดยที่สภาวะเหมาะสม ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาทีที่พีเอชเริ่มต้น 4 และ 9 มีประสิทธิภาพในการลดค่าการดูดกลืนแสง เท่ากับร้อยละ 91.6 และ 89.8 ตามลำดับ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดี เท่ากับร้อยละ 92.3 และ 85.7 ตามลำดับ

1.3 การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันที่ช่วงพีเอช 4 5 6 7 8 และ 9 ที่สภาวะเหมาะสมความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที พบว่า ประสิทธิภาพการลดค่าการดูดกลืนแสงของสี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอย ที่พีเอชเริ่มต้น 7 จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 92.8 90.7 และ 96.2 ตามลำดับ นอกจากนั้น พีเอชหลังการบำบัดเท่ากับ 7.99 และอุณภูมิหลังการบำบัดเท่ากับ 33.4 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมสำหรับพีเอช เท่ากับ 5.5 – 9 และอุณหภูมิเท่ากับไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.4 ที่สภาวะเหมาะสมของการทดลอง คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 12 โวลต์ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา 30 นาที จะมีค่าใช้จ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการเดินระบบเท่ากับ 6.16 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 การใช้กระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า ไม่ได้มีการเติมสารเคมีลงไปเพื่อเป็นสารรวมตะกอน แต่อาศัยการละลายของโลหะ ดังนั้นควรคำนึงถึงการปนเปื้อนของโลหะในน้ำทิ้งหลังการบำบัด อุณหภูมิ และพีเอช ที่เพิ่มขึ้นหลังการบำบัด ในกรณีที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยามากเกินควร

2.2 ระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา และความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อประสิทธิภาพ แต่ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยอาจไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายของพลังงานฟ้า เพราะเป็นการเพิ่มต้นทุน หรือภาระค่าใช้จ่ายที่มากขึ้น ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนของการเดินระบบ

2.3 ควรศึกษาผลของความเข้มข้นสี ต่อประสิทธิภาพการบำบัดด้วยกระบวนการโคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า รวมทั้งระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด และชนิดของอิเล็กโทรด ต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2539. **กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม**. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3, ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539.

กรรณิการ์ สรสิงห. 2522. **เคมีของน้ำ น้ำโสโครก และการวิเคราะห์**. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้านครหลวง. 2541. **การคิดค่าไฟฟ้าด้วยตนเอง.** แหล่งที่มา : http://www.student.chula.ac.th/~49718863/elec.htm, 22 สิงหาคม 2556.

กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2538. **การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารเคมีและสี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กัลยา ศรีสุวรรณ. 2547. **โมเดลการเกิดฟาวลิงเมมเบรนสำหรับการกำจัดสีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. 2556. **เคมีสิ่งแวดล้อม**. แหล่งที่มา: http://www.media.rmutt.ac.th/wbi/Science/unit1001.htm, 10 ธันวาคม 2556.

จุฑารัตน์ หนูสุข. 2546. **การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลใต้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่ 3 สำหรับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จันทรพร ผลากรกุล. 2551. **การศึกษากลไกการรวมตะกอนด้วยเทคนิคไฟฟ้าเคมีและการพัฒนาเครื่องต้นแบบ**. รายงานการวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดวงตา กิจแก้ว. 2546. **การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม โดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ดุษฎี ตันจริยานนท์. 2548. **การบำบัดสีในน้ำเสียสีรีแอคทีฟจากโรงงานฟอกย้อมโดยกระบวนการไฟฟ้าเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ปาริชาติ หมื่นสีทา. 2547. **การกำจัดสีและซีโอดี จากน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริญญา มาลัยลอย. 2548. **การศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นแบบกายภาพ-เคมี ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โดยถังปฏิกิริยาแบบยูเอเอสบี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปรีชา มุณีศรี. 2539. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้จุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนกฤต พรหมทอง. 2552. **การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบด้วยน้ำหมักชีวภาพและเฟนตันรีเอเจนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ฟิสิกส์ราชมงคล. 2552. **กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า มาตรไฟฟ้า และค่าไฟฟ้า.** แหล่งที่มา : http://rmutphysics.com/charud/scibook/electric3/pan14.htm, 22 สิงหาคม 2556.

มหาวิทยาลัยนเรศวร. 2555. **การหาปริมาณเหล็ก (Fe^{2+}) โดยวิธีสเปคโทรโฟโทเมตรี**. แหล่งที่มา : http://www.sci.nu.ac.th/chemistry/directionlab, 22 สิงหาคม 2556.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2537. **วิศวกรรมการประปา เล่ม1**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542. **วิศวกรรมการประปา เล่ม1**. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และมั่นรักษ์ ตัณฑุลเวศม์. 2545. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชาการดอทคอม. 2550. **การผลิตน้ำมันปาล์มไบโอดีเซล (CPO B100) จากน้ำมันปาล์มดิบ.** แหล่งที่มา: http://www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.php, 25 กันยายน 2556.

ศูนย์วิจัยปาล์มน้ำมันสุราษฎร์ธานี. 2556. **วิชาการปาล์มน้ำมัน**. แหล่งที่มา: http://www.doa.go.th/palm/linkTechnical/oil%20palm%20processing.html, 25 กันยายน 2556.

สาราณุกรมเสรี. 2556. **ปาล์มน้ำมัน**. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/ปาล์มน้ำมัน, 25 กันยายน 2556.

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอคกูเลชั่นด้วยไฟฟ้า. แหล่งที่มา : http://www.rsu.ac.th/engineer/env/download/acadermic/(Electrocoagulation).pdf, 25 กันยายน 2556.

สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน. 2540. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม.** กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อมรภัค ชูทอง. 2551. **การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Akyol, A. 2012. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. **Desalination.** 285: 91–99.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Aoudj, S., A. Khelifab, N. Drouichea, M. Hecinia and H. Hamitoucheb. 2010. Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry. **Chemical Engineering and Processing.** 49: 1176 – 1182.

APHA, AWWA and WEF. 2012. Standard method for the examination of water and wastewater. 22nd edition. Washington: American Public Health Association, 1360 pp.

Babu, R.R., N.S. Bhadrinarayana, K.M. Meera, S. Begum and N. Anantharaman. 2007. **Treatment of tannery wastewater by electrocoagulation.** Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. **42 (2): 201-206.**

Bazrafshan, E., A.H. Mahvi, S. Nasseri, A.R. Mesdaghinia, F. Vaezi and Sh. Nazmara. 2006. **Removal of cadmium from industrial effluent by electrocoagulation process using iron electrodes.** Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering**.** **34: 261-266.**

Chafi, M., B. Gourich, A.H. Essadki, C. Vial and A. Fabregat. 2011. Comparison of electrocoagulation using iron and aluminium electrodes with chemical coagulation for the removal of a highly soluble acid dye. **Desalination.** 281: 285 – 292.

Chavaparit, O. and M. Ongwandee. 2009. Optimizing electrocoagulation process for the treatment of biodiesel wastewater using response surface methodology. **Journal of Environmental Sciences**. 21 : 1491 – 1496.

Fouad, Y.O. 2013. Separation of cottonseed oil from oil–water emulsions using electrocoagulation technique. **Alexandria Engineering Journal**. xxx: xxx–xxx.

Gobi, K., M.D. Mashitah and V.M. Vadivelu. 2011. Development and utilization of aerobic granules for the palm oil mill (POM)wastewater treatment. **Chemical Engineering Journal**. 174 : 213– 220.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Kobya, M., O.T. Can and M. Bayramoglu. 2003. Treatment of textile wastewaters by electrocoagulation using iron and aluminium electrode. **Journal of Hazadous Material**. B100: 163 – 178.

Malakootian, M., H.J. Mansoorian and M. Moosazadeh. 2010. Performance evaluation of electrocoagulation process using iron-rod electrodes for removing hardness from drinking water. **Desalination.** 255: 67 – 71.

Merzouk, B., B. Gourich, A. Sekki, K. Madani, Ch. Vial and M. Barkaoui. 2009. Studies on the decolorization of textile dye wastewater by continuous electrocoagulation process. **Chemical Engineering Journal**. 149: 207 – 214.

Merzouk, B., K. Madani, A. Sekki. 2010. Using electrocoagulation–electroflotation technology to treat synthetic solution and textile wastewater, two case studies. **Desalination.** 250: 573 – 577.

Merzouk, B., B. Gourich, K. Madani, Ch. Vial and A. Sekki. 2011. Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation . A comparative study. **Desalination.** 272: 246 – 253.

Muftah, H.E.N., Al. Z. Sulaiman, Al. L. Amal and S. Makhlouf. 2009. Assessment of electrocoagulation for the treatment of petroleum refinery wastewater. **Journal of Environmental Management.** 91: 180–185.

Pajootan, E., M. Arami and N.M. Mahmoodi. 2012. Binary system dye removal by electrocoagulation from synthetic and real colored wastewaters. **Journal of the Taiwan institute of chemical engineers.** 43: 282 – 290.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Parga, J.R., D.L. Cocke, J.L. Valenzuela, J.A. Gomes, M. Kesmez, G. Irwin, H. Moreno and M. Weir**.** 2005. Arsenic removal via electrocoagulation from heavy metal contaminated groundwater in La Comarca Lagunera Mexico. **Journal of Hazardous Materail**. B124: 247–254.

Phalakornkule, C., P. Sukkasem and C. Mutchimsattha. 2010. Hydrogen recovery from the electrocoagulation treatment of dye – containing wastewater. **Journal of hydrogen energy.** 35: 10934 – 10943.

Szpyrkowic, L., C. Juzzolino and S.N. Kaul. 2001. A comparative study on oxidation of disperse dye by electrochemical process, ozone, hypochorite and fenton reagent. **Water Research**. 35(9): 2129 – 2136.

Ugurlar, M., A. Gurses, C. Dogar and M. Yalcin. 2008. The removal of lignin and phenol from paper mill effluents by Electrocoagulation. **Journal of environment and management.** 87 : 420 – 428.

Vepsalainena, M., H. Kivisaari, M. Pulliainen, A. Oikari and M. Sillanpaa. 2011. Removal of toxic pollutants from pulp mill effluents by electrocoagulation. **Separation and Purification Technology.** 81: 141–150.

Wei, C.H., K.S. Wang, C.L. Huang, C.W. Chiang, T.J. Chang, S.S. Lee and S.H. Chang. 2012. Improvement of textile dye removal by electrocoagulation with low – cost steel wool cathode reactor. **Chemical Engineering Journal**. 192 : 37 – 44.

Wu, T.Y., A. W. Mohammad, J. M. Jahim and N. Anuar. 2010. Pollution control technologies for the treatment of palm oil mill effluent (POME) through end-of-pipe processes. **Journal of Environmental Management**. 91 : 1467 – 1490.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Yousuf, M., A. Mollah, R. Schennach, J.R. Parga and D.L. Cocke. 2001. Electrocoagulation (EC) - science and applications. **Journal of Hazardous Materail**. B84: 29-41.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราปกติ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อัตราการคิดค่าไฟฟ้าตามการแยกประเภท ซึ่งจัดอยู่ในประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องที่มีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว มีอัตราการคิดค่ากระแสฟ้า ดังแสดงในตารางที่ ก1 – ก2 ซึ่งข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟฟ้ามีดังนี้

1. อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เป็นอัตราที่เรียกเก็บรายเดือน ที่ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม

2. ค่าไฟฟ้าที่เรียกเก็บในแต่ละเดือน ประกอบด้วย ค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าฐาน และค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) โดยมีการเรียกเก็บ Ft ทุกเดือน แยกเป็นรายการในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า ทั้งนี้ Ftที่เรียกเก็บจะปรับเปลี่ยนทุก ๆ 4 เดือน โดยกำหนดให้ Ft เป็นอัตราคงที่ต่อหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีอัตราการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าตามหน่วยการใช้งาน

ตารางผนวกที่ ก1 อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราปกติ

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1. แรงดัน 12 - 24 กิโลโวลต์	3.4230	312.24
2. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์		46.16
150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1 – 150)	2.7628	
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	3.7362	
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	3.9361	

ที่มา : การไฟฟ้านครลวง (2541)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก2 อัตราการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าของกิจการขนาดเล็กอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TUT)

อัตรารายเดือน	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	
1. แรงดัน 12 – 24 กิโลโวลต์	4.5827	2.1495	312.24
2. แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	5.2674	2.1827	46.16

หมายเหตุ On Peak : 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์
Off Peak : 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ - วันศุกร์
: 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ - วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพืชมงคล และวันหยุดชดเชย)

ที่มา : การไฟฟ้านครหลวง (2541)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ และกราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์เหล็ก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิเคราะห์ปริมาณเหล็กโดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมทรี (คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555)

1. หลักการ

สารชนิดต่าง ๆ มีโครงสร้างทางเคมีที่แตกต่างกันออกไป ทำให้คุณสมบัติของสารมีความแตกต่างกันออกไปด้วย ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนอันหนึ่งก็คือ สมบัติทางแสง ในชีวิตประจำวันเราจะพบว่าสารมีสีที่แตกต่างกันออกไป การเห็นสีที่แตกต่างกันของสารหรือวัตถุ จะเกี่ยวข้องกับคุณลักษณะทางกายภาพของคลื่นแสงวิสิเบิลและคุณลักษณะในการมองเห็นของผู้สังเกต กล่าวคือ สีมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงในช่วงวิสิเบิล และยังเกี่ยวข้องกับสภาพทางสรีรวิทยาในการตอบสนองจากประสาทตาของมนุษย์ในการสังเกตสีต่าง ๆ อีกด้วย การตอบสนองในเรื่องสีนั้นจะแตกต่างกันจากคนหนึ่งไปยังอีกคนหนึ่ง คลื่นแสงที่คนเรามองเห็นได้อยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 400-750 นาโนเมตร เมื่อความยาวคลื่นต่าง ๆ ในช่วงวิสิเบิลถูกดูดกลืนไปบางส่วน สีที่ปรากฏให้เห็นเป็นสีของสารมักจะเป็น complementary ของแสงสีที่ถูกดูดกลืนไปโดยสารนั้น ดังแสดงในตารางผนวกที่ ข1

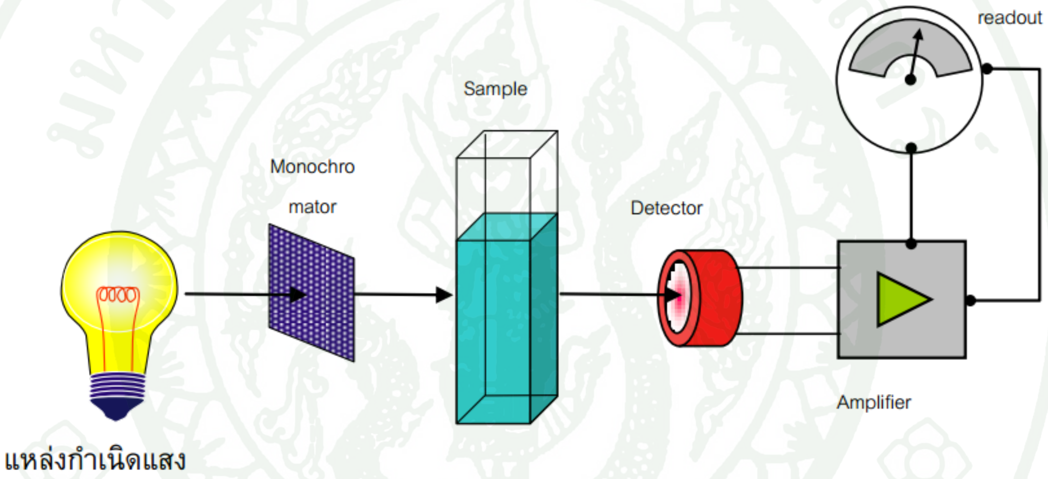
ตารางผนวกที่ ข1 ช่วงความยาวคลื่นของสีต่าง ๆ ที่ถูกดูดกลืนและสีที่มองเห็น

ความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน (nm)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีของสารที่มองเห็น
400-450	ม่วง	เขียวแกมเหลือง
450-480	น้ำเงิน	เหลือง
480-490	น้ำเงินแกมเขียว	ส้ม
490-500	เขียวแกมน้ำเงิน	แดง
500-560	เขียว	ม่วงคราม
560-580	เขียวแกมเหลือง	ม่วง
580-600	เหลือง	น้ำเงิน
600-650	ส้ม	น้ำเงินแกมเขียว
650-750	แดง	เขียวแกมน้ำเงิน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืนกับสีของสารที่มองเห็นมีประโยชน์สำหรับทำนายว่าสารประกอบที่มีสีชนิดหนึ่งจะดูดกลืนคลื่ นแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงใดเทคนิคการเปรียบเทียบความเข้มของสีเราเรียกว่า “colorimetry” จัดเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบหนึ่งที่อาศัยหลักการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงวิสิเบิล

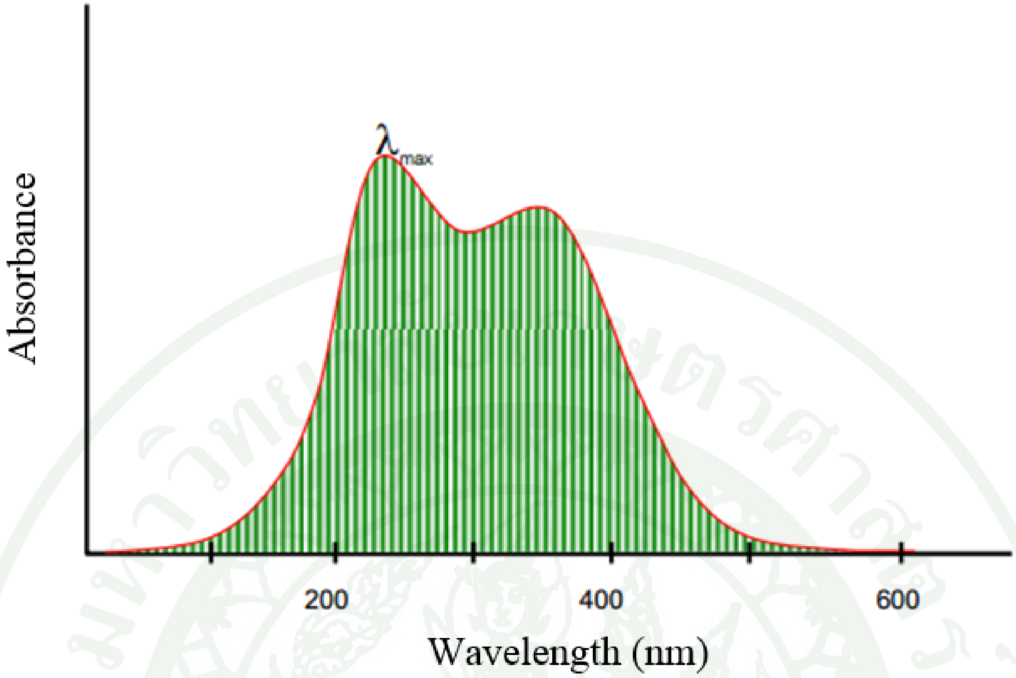
โดยทั่วไปเครื่องมือที่ใช้วัดการดูดแสงคลื่นแสงในช่วงวิสิเบิลมักจะรวมคลื่นแสงในช่วงอุลตราไวโอเลตไว้ด้วย ซึ่งนิยมเรียกว่า UV-VIS Spectrophotometer ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1



ภาพผนวกที่ ข1 ส่วนประกอบของเครื่อง Spectrophotometer

การดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงอุลตราไวโอเลตและวิสิเบิลของสารจะท าให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานจาก ground state ไปยัง excited state เมื่อทำการเปลี่ยนความยาวคลื่นไปจะทำให้เกิด spectrum ของการดูดกลืนแสงขึ้น ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงได้สูงสุดเรียกว่า Maximum absorption (λ max) ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพผนวกที่ ข2 Spectrum ของการดูดกลืนแสงของโมเลกุล

ค่าความยาวคลื่นที่สารดูดกลืนแสงได้สูงที่สุด (λ max) เป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของสารแต่ละชนิด ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทำคุณภาพวิเคราะห์ได้โดยทั่วไปไอออนของโลหะมักไม่ดูดกลืนแสงในช่วงอุลตร้าไวโอเลตและวิสิเบิล ดังนั้นในการวิเคราะห์โลหะจึงไม่นิยมใช้วิธีของอุลตร้าไวโอเลต-วิสิเบิลสเปคโทรโฟโตเมตรี แต่จะมีโลหะที่อยู่ในกลุ่มของโลหะทรานสิชันบางตัวที่สามารถนำมาวิเคราะห์โดยวิธีนี้ได้ โดยนำมาทำให้อยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนกับลิแกนด์บางชนิดเช่น ไทโอไซยาเนต , 1, 10-phenanthroline เป็นต้น ซึ่งกลไกในการเกิดสีของสารประกอบเชิงซ้อนจะเกี่ยวข้องกับการดูดกลืนแสง 2 ชนิดคือ

1. Charge transfer absorption
2. d-d transition

ไอออนของเหล็ก (II) สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ 1,10-phenanthroline ได้เป็น $Fe(C_{12}H_8N_2)_3^{2+}$ ซึ่งสามารถดูดกลืนแสงในช่วง visible ได้ ในปฏิกิริยาจะทำการเติม hydroxylamine ลงไปเพื่อทำการรีดิวซ์ Fe^{3+}ให้เป็น Fe^{2+} ดังสมการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$4Fe^{3+} + 2NH_2OH \longrightarrow 4Fe^{2+} + N_2O + 4H^{+} + H_2O$$

สำหรับปฏิกิริยาระหว่าง Fe^{2+} และ 1,10-phenanthroline จะเกิดได้ดี เมื่อ pH ของสารละลายมีค่าประมาณ 3-9 โดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้

$$Fe^{2+} + 3\ phen \longrightarrow Fe(phen)_3^{2+}$$

สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดขึ้นจะมีสีเข้มมากพอที่จะนำมาวัดการดูดกลืนแสงและประยุกต์ใช้หาปริมาณของเหล็กในน้ำธรรมชาติได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่อง UV-VIS Spectrometer ชนิดลำแสงคู่ และลำแสงเดี่ยว
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร 1 ใบ
3. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร 2 ใบ
4. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 มิลลิลิตร 7 ใบ
5. ขวดพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร 1 ใบ
6. ปิเปต ขนาด 10 มิลลิลิตร 2 อัน
7. ขวดน้ำกลั่น 1 ขวด
8. ลูกยาง 1 อัน
9. cuvette 1 คู่
10. กระบอกตวง ขนาด 10 มิลลิลิตร 4 ใบ

สารเคมี

1. 100 ppm Fe^{2+}
2. 1,10 -phenanthroline monohydrate
3. Hydroxylammonium chloride
4. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 5
5. conc. H_2SO_4

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การเตรียมสารละลาย

1. 100 ppm Fe^{2+} ชั่ง $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$ (M.W. = 392.14) จำนวน 0.0702 g ละลายให้หมดด้วยน้ำกลั่นลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วเติม 2.0 ml Conc. H_2SO_4 เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

2. 1,10-phenanthroline solution ละลาย 1,10-phenanthroline จำนวน 0.05 g ด้วยน้ำกลั่น 50 mL เก็บในขวดพลาสติก

3. Hydroxylammonium chloride solution ละลาย 2.5 g ของ hydroxylammonium chloride ด้วยน้ำกลั่น 25 mL

4. สารละลายบัฟเฟอร์ pH 5 ผสมสารละลาย CH_3COOH เข้มข้น 1 M จำนวน 65 mL กับสารละลาย Sodium acetate เข้มข้น 1 M จำนวน 35 ml

การทดลอง

1. การเตรียม calibration curve

1.1 ปิเปตสารละลายต่าง ๆ ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 25 mL จำนวน 6 ใบ ดังตารางผนวกที่ ข2 ปรับปริมาตรให้เป็น 25 mL ด้วยน้ำกลั่น เขย่าแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

ตารางผนวกที่ ข2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็กสำหรับสร้างกราฟมาตรฐาน

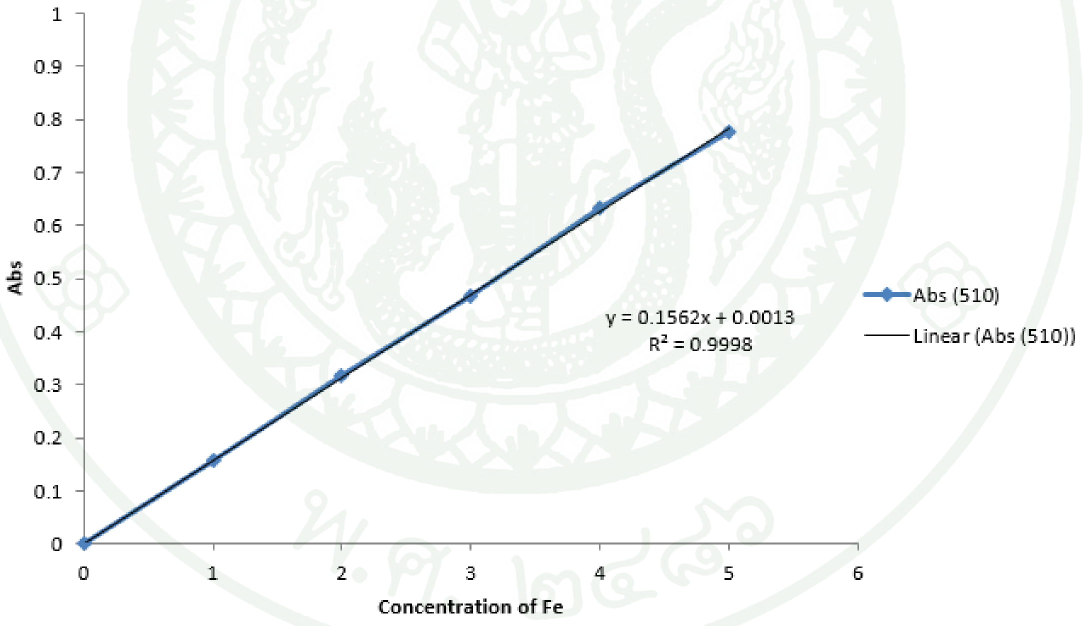
ขวดที่	$[Fe^{2+}]$ (ppm)	hydroxylamine (ml)	1,10-phenanthroline (ml)	Buffer pH 5 (ml)
1	0.00	1.0	4.0	2.5
2	0.50	1.0	4.0	2.5
3	1.00	1.0	4.0	2.5
4	1.50	1.0	4.0	2.5
5	2.00	1.0	4.0	2.5
6	2.50	1.0	4.0	2.5

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1.2 นำสารละลายที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 510 nm โดยใช้สารละลายในขวดที่ 1 เป็น blank เขียนกราฟความสัมพันธ์ของ absorbance กับความเข้มข้นของ Fe^{2+}

2. การหาปริมาณเหล็กในตัวอย่างเก็บตัวอย่างน้ำแล้วนำมากรอง จากนั้นปิเปตน้ำตัวอย่างมา 10.00 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 mL เติม hydroxylamine จำนวน 0.5 ml เติม 1,10-phenanthroline จำนวน 4.0 ml แล้วเติมสารละลายบัฟเฟอร์ 2.5 ml จากนั้นปรับปริมาตรเป็น 25.0 mL ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที ก่อนนำไปวัดค่า absorbance ที่ความยาวคลื่น 510 nm คำนวณหาความเข้มข้นของ Fe^{2+} ในตัวอย่างน้ำเป็น mg/l

เมื่อทำการวิเคราะห์เพื่อทำกราฟมาตรฐานได้ดังภาพผนวกที่ ข3



ภาพผนวกที่ ข3 กราฟมาตรฐานที่ใช้การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของเหล็กที่ 510 นาโนเมตร

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันด้วยกระบวนการ
โคแอคกูเลชันด้วยไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลการบำบัดเบื้องต้นที่พีเอชเริ่มต้น 9

เวลา (นาที)	พีเอชเริ่มต้น 9											
	พีเอช			อุณหภูมิ (°C)			ประสิทธิภาพการลดสี (%)			ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (%)		
	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์
0	9.00	9.00	9.00	30.7	30.7	30.7	0	0	0	0	0	0
5	9.38	9.34	9.45	30.7	30.9	31.4	49.72	55.94	59.77	59.57	75.53	77.88
10	9.42	9.41	9.59	31.4	31.6	32.3	51.88	65.08	68.16	63.81	77.81	79.71
15	9.43	9.46	9.78	31.8	33.3	33.2	54.66	85.08	87.93	69.57	83.42	87.55
30	9.51	9.58	10.12	32.1	34	34.1	60.71	88.94	90.96	73.12	87.55	88.59
45	9.56	9.66	10.17	32.5	34.1	36.8	72.75	90.96	92.71	75.38	88.79	89.15
60	9.73	9.74	10.27	33.7	34.9	32.9	74.79	92.085	93.47	76.79	88.96	89.91

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 (ต่อ)

เวลา (นาที)	พีเอชเริ่มต้น 9											
	ประสิทธิภาพลดของแข็งแขวนลอย (%)			ตะกอน (mg/l)			ความเข้มข้นของเหล็กหลังบำบัด (mg/l)			ค่าไฟฟ้า (บาท/ชั่วโมง)		
	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	42.31	67.31	69.23	100	160	160	6.035	8.274	9.074	0.0012	0.0058	0.0133
10	69.23	78.85	78.85	240	430	440	3.313	6.193	4.433	0.0025	0.0116	0.0265
15	76.92	84.62	86.54	260	520	610	1.872	0.432	1.872	0.0037	0.0174	0.0398
30	78.85	92.31	94.23	390	1,130	1,160	0.592	0.000	0.272	0.0074	0.0348	0.0796
45	88.46	94.23	96.15	580	1,170	1,250	1.072	0.112	0.592	0.0112	0.0522	0.1193
60	90.38	96.15	96.15	870	1,180	1,620	1.872	0.432	1.072	0.0149	0.0969	0.1591

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค2 ข้อมูลการบำบัดเบื้องต้นที่พีเอชเริ่มต้น 4

เวลา (นาที)	พีเอชเริ่มต้น 4											
	พีเอช			อุณหภูมิ (°C)			ประสิทธิภาพการลดสี (%)			ประสิทธิภาพการลดซีโอดี (%)		
	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์
0	4.00	4.00	4.00	30.7	30.7	30.7	-	-	-	-	-	-
5	4.58	5.04	5.22	30.7	31	31.2	40.14	45.34	49.47	45.72	56.57	64.11
10	5.03	5.37	6.48	30.9	31.2	31.7	47.93	57.09	62.08	58.55	63.64	78.83
15	6.18	6.78	7.14	31.3	32	32.5	59.07	84.66	86.42	67.92	89.22	91.79
30	6.87	7.78	7.91	31.4	32.8	34.8	65.93	90.42	92.71	70.94	90.24	92.45
45	7.41	7.95	8.03	32.4	34.4	36.1	70.71	93.72	94.85	70.73	92.43	93.49
60	7.82	7.96	8.03	33.6	36.2	38.4	76.04	93.97	95.98	72.96	92.15	95.39

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	พีเอชเริ่มต้น 4											
	ประสิทธิภาพลดของแข็งแขวนลอย (mg/l)			ตะกอน (mg/l)			ความเข้มข้นของเหล็กหลังบำบัด (mg/l)			ค่าไฟฟ้า (บาท/ชั่วโมง)		
	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์	6 โวลต์	12 โวลต์	18 โวลต์
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
5	32.69	63.46	61.54	110	120	160	1.392	2.032	2.752	0.0012	0.0058	0.0133
10	59.62	75.00	75.00	180	420	470	0.592	0.432	0.272	0.0025	0.0116	0.0265
15	71.15	82.69	84.62	270	530	600	0.432	0.112	0.064	0.0037	0.0174	0.0398
30	75.00	94.23	94.23	400	1010	1000	0.032	0.000	0.016	0.0074	0.0348	0.0796
45	86.54	96.15	96.15	433	1030	1200	0.112	0.16	0.272	0.0112	0.0522	0.1193
60	88.46	96.15	96.15	900	1100	1280	0.272	0.432	0.272	0.0149	0.0969	0.1591

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – สกุล	นายสนธยา กองเพชร
วัน – เดือน – ปี ที่เกิด	25 มิถุนายน 2531
สถานที่เกิด	ชัยภูมิ
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สนับสนุน ภายใต้โครงการเชื่อมโยงภาคการผลิตกับงานวิจัย ทุน สกว. – อุตสาหกรรม สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
การนำเสนอผลงานวิจัย	WASET International Conference, 12 – 13 September 2013, Singapore On Biological, Ecological, Environmental Science and Engineering

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์