



การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี

**Treatment of Effluent from Palm Oil Mill Industry Using  
Electro - Chemical Process**

จุฑามาศ แก้วมณี

Jutamas Kaewmanee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

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

2553

๑) ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

(1)

เลขหมู่	TD ๗๕๘.๕.๐๖๕ ๑๗๓ ๒๕๕๓ ก.๒
Bib Key	๖๕๕๒๕๐
	/ ๒๘.๕.๒๕๕๔ /

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี  
ผู้เขียน นางสาวจุฑามาศ แก้วมณี  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

---

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกวงค์)

.....กรรมการ  
(ดร.นพดล คงศรีเจริญ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พิชนิไพบูลย์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม  
สิ่งแวดล้อม

.....  
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี  
ผู้เขียน                นางสาวจุฑามาศ แก้วมณี  
สาขาวิชา              วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา            2553

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีโอไซด์จากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยการเดินระบบแบบกะและแบบต่อเนื่อง ซึ่งจากการทดลองโดยการเดินระบบแบบกะใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าโดยมีการจัดเรียงอิเล็กโทรด โมโนโพลาร์แบบขนาน พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของขั้วแอโนดเท่ากับ 36 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 1.5 2 และ 4 แอมแปร์และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 10 20 30 และ 60 นาที ระยะห่างระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 เซนติเมตร ใช้ถังปฏิกิริยาซึ่งทำจากอะครีลิกโดยมีขนาดเท่ากับ 1.3 ลิตร ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ คะกอนแขวนลอย และสี คือ ค่ากระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 แอมแปร์ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 เซนติเมตร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและค่าซีโอไซด์ได้สูงสุด 98% และ 97% ตามลำดับ ซึ่งค่าใช้จ่ายของขั้วของแอโนดที่สูญเสียและค่าไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 36 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองเดินระบบแบบกะ และจากการทดลองจึงนำไปประยุกต์ใช้กับการเดินระบบแบบต่อเนื่อง ซึ่งการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3.5 และ 4 แอมแปร์ พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของขั้วแอโนด 27 และ 36 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร โดยมีการจัดเรียงอิเล็กโทรด โมโนโพลาร์แบบขนาน ซึ่งมีการปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าและพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา เพื่อให้ทราบถึงค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ซึ่งยังสามารถรักษาประสิทธิภาพการกำจัดสีและซีโอไซด์ในระดับที่ยอมรับได้ และทำการทดลองเดินระบบแบบต่อเนื่องโดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 แอมแปร์ แบบไม่สลับขั้วและแบบสลับขั้วทุก 10 นาที พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของขั้วแอโนดเท่ากับ 36 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตร การจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรม ซึ่งมีการเติมเกลือ 1 กรัมต่อลิตรของน้ำทิ้งที่ใช้ทำการทดลอง และอัตราการไหลของน้ำทิ้งเข้าสู่ถังปฏิกิริยา 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง และตกตะกอนเป็นเวลา 6.5 ชั่วโมง โดยมีระยะห่างระหว่าง

ขั้วอิเล็กทรอนิกส์ 2 เซนติเมตร ผลการทดลองพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 แอมแปร์พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 36 ตารางเมตรต่อลูกบาศก์เมตรมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและค่าซีไอดีได้สูงสุด 98% และ 96% ตามลำดับ โดยค่าขั้วไฟฟ้าของขั้วแอโนดที่สูญเสียน้ำหนักและค่าไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 123 บาทต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถนำวิธีการบำบัดน้ำทิ้งโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมีด้วยการเดินระบบแบบต่อเนื่องไปประยุกต์ใช้กับน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่มีค่าสีและค่าซีไอดีสูงได้จริงจึงนำเอากระบวนการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีมาประยุกต์ใช้ เพื่อให้ น้ำทิ้งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมน้ำทิ้งที่มีค่าสีและซีไอดีสูง

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าเคมี; น้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม; การกำจัดสี; การกำจัดซีไอดี

**Thesis Title** Treatment of Effluent from Palm Oil Mill Industry Using  
Electro-Chemical Process

**Author** Miss Jutamas Kaewmanee

**Major Program** Environmental Engineering

**Academic Year** 2010

### ABSTRACT

This research aims to study the removal efficiencies and optimum conditions for palm oil mill effluent treatment using electro-chemical process. The experiments were operated as a batch and a continuous flow process. Aluminium was used as electrodes with monopolar in parallel. The experiments were conducted using direct current power supply with varying current at 1 1.5 2 and 4 Ampere (Amp) and surface area of  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  anode and inter-electrode distance 1.5 and 2 cm. The reaction time of 10 20 30 and 60 minutes were performed. The study using the rectangular shape reactor made from acrylic plastic with an active volume of 1.3 litres. The results indicated that the influencing factors in removal efficiencies of organic matter, total suspended solids and color were electric power, reaction time and electrode distance. The results showed that the maximum color and chemical oxygen demand (COD) removal efficiency by 98% and 97%, respectively was achieved from the experiments performed using the 4 Amp direct current, reaction time of 60 minutes and inter-electrode distance of 2 cm. The cost by mean of anode lost and the electric energy was 59 Baht/ $\text{m}^3$  was achieved from optimum condition as a batch process. The continuous flow process using the 3.5 and 4 Amp direct current with the surface area of 27 and  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  anode was conducted. Aluminium was used as electrodes with monopolar in parallel. The researcher need to minimize the operation cost and maintain the acceptable level of COD and color removal efficiency. The continuous flow process with the 0.85 Amp direct current and surface area of  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  anode was conducted. Aluminium was used as a bipolar electrode with multiple in series and salt 1 g/L of wastewater was added into the process and reaction time of 60 minutes in electro-chemical tank. The inlet flow rate of wastewater into the reactor was

1.3 L/hr and the retention time in the sedimentation tank was 6.5 hr. The results showed that the 4 Amp direct current and electrodes surface area of  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  anode provided maximum color and COD removal efficiencies by 98% and 96%, respectively. The cost by mean of anode lost and the electrical energy was 123 Baht/ $\text{m}^3$ . The results can be further implemented in wastewater from other industries that contain a high concentration of color and COD.

**Keywords:** Electro-chemical process; palm oil mill effluent; color removal; COD removal

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาในการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์รวมทั้งแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ และการวางแผนการดำเนินงานวิจัย โดยรองศาสตราจารย์ ดร.อุดมผล พิชนิไพบุลย์ และคณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยศรี สุขสาโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกวงษ์ และอาจารย์ ดร.นพดล คงศรีเจริญ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพิ่มเติมเพื่อให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งในจังหวัดกระบี่ ที่ให้ความกรุณา อนุเคราะห์ข้อมูลและอำนวยความสะดวกในการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้ง ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็น ที่ปรึกษาในการเก็บตัวอย่างน้ำ

ขอขอบพระคุณ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการประสานงานต่างๆ

ขอขอบพระคุณ พี่เอกพงษ์ ทองหนัน และพี่โกสินทร์ นิลรัตน์ ซึ่งคอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องการเก็บตัวอย่างน้ำมา โดยตลอดในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้หากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อส่วนรวม ผู้วิจัยขอยกความดีที่เกิดขึ้น ให้แก่ บิดา มารดา คณาจารย์ และเจ้าหน้าที่ทุกๆ ท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจชี้แนะและ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ในการ พัฒนาและปรับปรุง ทั้งทางด้านวิชาการและเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศให้ยั่งยืน ตลอดไป

จุฑามาศ แก้วมณี

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(20)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำค้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ปาล์มน้ำมัน	5
2.2 สีของน้ำ	11
2.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย	15
2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการไฟฟ้าเคมี	19
2.5 กลไกการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการไฟฟ้าเคมี	20
2.6 กฎของฟาราเดย์	21
2.7 หลักการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี	24
2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี	24
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	25
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมีแบบการเดินระบบต่อเนื่อง	29
3. แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย	36
3.1 แผนการวิจัย	36
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองแบบกะ (Batch)	36
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)	41
3.4 วิธีการคำนวณค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายที่สูญเสียจากขั้วแอโนด	47
	(8)



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์	48
4.1 การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยการเดินระบบแบบกะ (Batch)	51
4.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมี	74
4.3 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าของการเดินระบบแบบกะ (Batch)	75
4.4 การทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบกะ (Batch) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม	80
4.5 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)	81
4.6 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดของการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)	111
4.7 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) เพื่อหาประสิทธิภาพที่เหมาะสม	111
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	113
5.1 สรุปผลการทดลอง	113
5.2 ข้อเสนอแนะ	115
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก	122
ภาคผนวก ก	123
ภาคผนวก ข	130
ภาคผนวก ค	133
ภาคผนวก ง	138
ประวัติผู้เขียน	141

## รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ประเทศผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลก (1,000 ต้นต่อปี)	6
2.2	คุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจาก 6 แหล่งก่อนและหลังการบำบัด	10
2.3	กระบวนการที่ใช้กำจัดสีโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ กระบวนการทากายภาพเคมีและชีวภาพ	14
2.4	ข้อดีและข้อเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี	25
2.5	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี	27
3.1	วิธีการวิเคราะห์ตาม Standard method	46
4.1	ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 2 และ 3	48
4.2	ผลการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	49
4.3	ผลการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	50
4.4	ค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนดใช้ในการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm	76
4.5	ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm	77
4.6	ค่าใช้จ่ายของค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm	78
4.7	การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 27 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 1	82
4.8	การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 36 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2	83

## รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.9 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 3.5 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2	84
4.10 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 3.5 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2	85
4.11 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2	86
4.12 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 0.85 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมไบโพลาาร์แบบอนุกรม ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 3 แบบไม่สลับขั้ว	87
4.13 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 0.85 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมไบโพลาาร์แบบอนุกรม ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 3 แบบสลับขั้วทุก 10 min	88
4.14 ค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และการตกตะกอน ( $SV_{60}$ ) ในตะกอนน้ำทิ้งเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี	109
4.15 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน และการจัดเรียงไบโพลาาร์แบบอนุกรม ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	109
4.16 ค่าไฟฟ้าใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน และการจัดเรียงไบโพลาาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	110
4.17 ค่าอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาาร์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	110

## รายการภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง Decanter	8
2.2 การผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำที่ไม่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน	9
2.3 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	12
2.4 การเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี	16
2.5 แบบโมโนโพลาร์เซลล์เดี่ยว (Monopolar Electrode Single Cell)	17
2.6 แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Monopolar Electrode with Cell in series)	18
2.7 แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบขนาน (Monopolar Electrode with Cell in Parallel)	18
2.8 แบบไบโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Bipolar electrode with multiple in series)	19
2.9 ตัวอย่างเครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย	23
2.10 ชุดการทดลองการบำบัดสีย้อมผ้า	29
2.11 ชุดการทดลองการบำบัด Phenolic	30
2.12 ชุดการทดลองการบำบัด Phenol	31
2.13 ชุดการทดลองการบำบัดสีย้อมและสีทาบ้าน	32
2.14 ชุดการทดลองการบำบัด Procion Black 5B	33
2.15 ชุดการทดลองการบำบัด Phenol	34
2.16 ชุดการทดลองการกำจัด Flouride	35
3.1 แบบจำลองการเดินระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch)	37
3.2 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch)	38
3.3 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch) มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน	38
3.4 หาสภาวะที่เหมาะสมการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี	39
3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ	40

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 ระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)	42
3.7 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน	43
3.8 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบขนาน	43
3.9 หาสภาวะที่เหมาะสมการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี	44
3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ	45
4.1 ค่า Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมที่ 1.5 cm	52
4.2 ประสิทธิภาพการกำจัด Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	52
4.3 ค่า Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	53
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	53
4.5 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาที่เก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด	54
4.6 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1.5 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาที่เก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด	54

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.7	55
4.8	55
4.9	56
4.10	56
4.11	57
4.12	57
4.13	58
4.14	59
4.15	59
4.16	60

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.17 ค่า BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	61
4.18 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการ บำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	61
4.19 ค่า BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	62
4.20 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD <sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการ บำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรดที่ 2 cm	62
4.21 ค่า BOD <sub>5</sub> ;COD ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้า เคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	63
4.22 ค่า BOD <sub>5</sub> ;COD ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้า เคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	64
4.23 ค่า TSS ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	65
4.24 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการ บำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	65
4.25 ค่า TSS ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	66
4.26 ประสิทธิภาพการกำจัด TSS ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการ บำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรดที่ 2 cm	66

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
4.27	ค่า UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	67
4.28	ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	68
4.29	ค่า UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	68
4.30	ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	69
4.31	ค่าอะลูมิเนียมในน้ำของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	70
4.32	ค่าอะลูมิเนียมในน้ำของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	70
4.33	ค่าอะลูมิเนียมในตะกอนของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	71
4.34	ค่าอะลูมิเนียมในตะกอนของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	71
4.35	รวมค่าอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดที่สูญเสียและค่าไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm	79
4.36	รวมค่าอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดที่สูญเสียและค่าไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm	79



## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.37	90
4.38	90
4.39	91
4.40	91
4.41	92
4.42	92
4.43	93
4.44	94
4.45	95
4.46	95
4.47	96

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.48 ค่า $BOD_5/BOD_0$ ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	97
4.49 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	98
4.50 ค่า $BOD_5/BOD_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	98
4.51 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	99
4.52 ค่า $TSS/TSS_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	100
4.53 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	101
4.54 ค่า $TSS/TSS_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	101
4.55 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	102
4.56 ค่า $UV-254/UV-254_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	103
4.57 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดค่า $UV-254/UV-254_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2	104
4.58 ค่า $UV-254/UV-254_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	104
4.59 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดค่า $UV-254/UV-254_0$ ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3	105
ก 1 ระบบบำบัดน้ำเสียของ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี	125

## รายการภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
ข1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm	131
ข2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm	131
ข3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดสีโอดีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm	132
ข4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm	132
ค1	บ่อฝัง (บ่อสุดท้าย) ก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ	134
ค2	การบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมีแบบกะ	134
ค3	การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าโมโนโพลาร์แบบขนาน	135
ค4	การตกตะกอนด้วยการทำ $SV_{60}$	135
ค5	ตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีด้วยระบบแบบต่อเนื่อง	136
ค6	ลักษณะตะกอนหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีด้วยระบบแบบต่อเนื่อง	136
ค7	การล้างแผ่นอะลูมิเนียมด้วย $\text{Conc.H}_2\text{SO}_4$	137
ค8	แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง	137

### สัญลักษณ์และคำย่อ

Color <sub>0</sub>	=	Color เริ่มต้นก่อนการทดลอง
Color	=	Color หลังการทดลอง
COD <sub>0</sub>	=	Chemical Oxygen Demand เริ่มต้นก่อนการทดลอง
COD	=	Chemical Oxygen Demand หลังการทดลอง
BOD <sub>0</sub>	=	Biochemical Oxygen Demand เริ่มต้นก่อนการทดลอง
BOD <sub>5</sub>	=	Biochemical Oxygen Demand หลังการทดลอง
TSS <sub>0</sub>	=	Total Suspended Solids เริ่มต้นก่อนการทดลอง
TSS	=	Total Suspended Solids หลังการทดลอง
UV-254 <sub>0</sub>	=	Ultraviolet Absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm เริ่มต้นก่อนการทดลอง
UV-254	=	Ultraviolet Absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm หลังการทดลอง
SV <sub>60</sub>	=	Sludge Volume
I	=	Current (Ampere: Amp)
V	=	Voltage (Volt: V)
R	=	Resistance (Ω)
P	=	Power electric (Watt: W)
Al <sup>3+</sup>	=	Aluminium ion
OH <sup>-</sup>	=	Hydroxyl ion
H <sup>+</sup>	=	Hydrogen ion
H <sub>2</sub>	=	Hydrogen
Al(OH) <sub>3</sub>	=	Aluminium hydroxide
MO <sub>x</sub>	=	Oxide anode
<sup>o</sup> OH	=	Hydroxyl radical
MO <sub>x+1</sub> ( <sup>o</sup> OH)	=	Adsorbe hydroxyl radical
MO <sub>x+1</sub>	=	Chemisorbed active oxygen
R	=	Organic compound
min	=	minute
hr	=	hour

### สัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

cm	=	centimeter
mg/L	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/kg	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร
g/L	=	กรัมต่อลิตร
mS/cm	=	มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
mA/cm <sup>2</sup>	=	มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร
kW/m <sup>3</sup>	=	กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร
Baht/m <sup>3</sup>	=	บาทต่อลูกบาศก์เมตร
A	=	Area
V	=	Volume
W	=	Width
L	=	Length
H	=	Height
Q	=	Flow rate
HRT	=	Hydraulic Retention Time
Overflow rate	=	อัตราการน้ำล้น (OFR)
Weir loading	=	อัตราการระฝาย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความเป็นอยู่และคุณภาพชีวิตของมนุษย์เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางน้ำ ณ ปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น สาเหตุเนื่องมาจากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ อุตสาหกรรม และการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร จึงทำให้มีกิจกรรมต่างๆเพิ่มมากขึ้น มีการอุปโภค บริโภคสูงขึ้น เป็นเหตุให้เกิดปัญหามลพิษต่างๆ ตามมา โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากประเทศไทย ได้มีการพัฒนาอุตสาหกรรมในทุกประเภท ทำให้เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในกระบวนการผลิตและทำให้เกิดของเสียต่างๆเพิ่มมากขึ้นและพบว่าโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีกระบวนการผลิตที่ใช้น้ำและก่อให้เกิดน้ำทิ้งในปริมาณมาก จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ ระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในโรงงานเป็นระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่ง (Stabilization Pond) และน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการบำบัดด้วยระบบดังกล่าวก็จะนำไปใช้ในการรดสวนปาล์ม แต่ในช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำในระบบบำบัดค่อนข้างสูงจึงไม่สามารถรองรับน้ำทิ้งได้หมดจึงจำเป็นต้องระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมทั้งระบบบำบัดแบบบ่อฝิ่งการย่อยสลายทางชีวภาพจะเกิดขึ้น ได้ยากทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่เพียงพอ เมื่อระบายทิ้งจึงมีค่าสีและซีโอดีสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ทำให้เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอีกด้วย จึงจำเป็นต้องแสวงหาเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมาใช้ในการบำบัดหรือปรับปรุงคุณภาพน้ำจากโรงงานอุตสาหกรรม หากการบริหารจัดการมีประสิทธิภาพน้อยย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมา เช่นปริมาณสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อน ของแข็งซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายและตะกอนแขวนลอย อาจก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย หากมีปริมาณการปนเปื้อนไปยังแหล่งน้ำอุปโภคบริโภคในระดับสูงอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้บริโภคได้

ปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่งซึ่งเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น ปลูกมากในจังหวัดกระบี่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี สตูลและตรัง ซึ่งจังหวัดกระบี่มีพื้นที่ปลูกจำนวน 537,637 ไร่

คิดเป็นร้อยละ 39.40 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.70 และ 15.89 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่าการปลูกพืชชนิดอื่นเช่นยางพาราและการทำนาข้าวโดยได้ผลผลิตเป็นปาล์มสดประมาณ 4.5 ตันตันต่อปี และมีแนวโน้มว่าพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยปีละ 5% ซึ่งทะลายปาล์มสดที่ได้นั้นนำมาเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันปาล์มดิบในปี 2539 ส่วนแบ่งของน้ำมันปาล์มต่อการบริโภครวมของโลกเท่ากับร้อยละ 15.42 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 17.81 22.00 และ 25.39 ในปี 2543 2553 และ 2563 ตามลำดับ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551)

อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์มมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งอัตราการเพิ่มปริมาณการผลิต (โดยเฉลี่ยผลปาล์มสด 1 ตัน จะมีน้ำเสียเกิดขึ้นประมาณ 0.4 ลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็น 40 % ของผลปาล์มสด) ในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนจำเป็นต้องใช้น้ำและพลังงานในการขับเคลื่อนเครื่องจักรค่อนข้างมาก ทำให้เกิดน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากขั้นตอนการนึ่งผลปาล์ม และการแยกน้ำออกจากน้ำมัน ปกติน้ำเสียจะมีสิ่งสกปรกในรูปของไขมัน น้ำมันและสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณสูง (มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม, 2551) และสีน้ำตาลในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประกอบด้วยสารอินทรีย์ เช่น รงควัตถุพวกแอนโทไซยานิน และแคโรทีน ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำเนื่องจากเซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย

นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวก โพลีฟีนอล ลิกนิน แทนนิน และ โพลีแอลกอฮอล์ โดยพบว่าในน้ำทิ้งจากหม้อนึ่งมาเชื่อมมีปริมาณแพคตินและโพลีฟีนอล ยังพบสารประกอบเมลานอยดิน ซึ่งเป็นผลผลิตของปฏิกิริยาที่ไม่ใช้เอนไซม์ระหว่างน้ำตาลและกรดอะมิโนภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิสูงและพบมากในส่วนของผลิตภัณฑ์สิ่งแปลกปลอมอีกอย่าง คือ พวกกัม (gum) หรือยางเหนียวซึ่งเมื่อกัมถูกความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้น และสามารถรวมตัวกับเกลือของโลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียม และทองแดง ทำให้เกิดความคงตัวของสีในน้ำทิ้ง (พูนสุข ประเสริฐสรรพและคณะ, 2544) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อใช้ในการบำบัดสี (Color) และซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) และบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD<sub>5</sub>) หรือ ค่าความสกปรกต่างๆที่มีอยู่ในน้ำทิ้ง ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น การบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ เคมี และชีวภาพแต่ควรนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับคุณภาพน้ำที่ต้องการบำบัด และมีประสิทธิภาพเพียงพอเพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม และควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบ และไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีเป็น

ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจและเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพคืออีกวิธีหนึ่งแต่ยังมีการนำมาใช้น้อย ในการบำบัดน้ำทิ้งเริ่มแรกมีการนำวิธีไฟฟ้าเคมีมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ต่อมาจึงมีการประยุกต์ใช้ในการกำจัดสี ซีไอดี บีไอดี สารแขวนลอยและสีของน้ำทิ้ง

การนำวิธีการบำบัดน้ำทิ้งแบบตกตะกอนทางเคมีเข้ามาประยุกต์ใช้ โดยมีเซลล์ไฟฟ้าแบบ Electrolytic Cell ซึ่งประกอบด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply) ขั้วไฟฟ้า อย่างน้อย 2 ขั้ว และสารละลายนำไฟฟ้า (Electrolyte Solution) ซึ่งสามารถบำบัดน้ำทิ้งในส่วนของ สีและซีไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ เป็นกระบวนการที่น่าสนใจซึ่งสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำ ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ เพราะมีประสิทธิภาพดี ซึ่งเป็นการประยุกต์โดยการนำวิธี พื้นฐานทางไฟฟ้าเคมีมาใช้ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองไม่ซับซ้อน เติมน้ำมันง่าย เวลาที่ใช้ใน การเกิดปฏิกิริยาน้อย รวมถึงไม่ต้องเติมสารเคมี (Un *et al.*, 2009) และ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ได้ ทำการศึกษาได้มีการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้เองจึงทำให้ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีและซี ไอดีจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมการกำจัดสีและซี ไอดีจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมัน ปาล์มโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำทิ้งที่ได้จากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดกระบี่ ซึ่งเป็น โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่มีการผลิตน้ำมันปาล์มดิบเป็นกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำ

1.3.2 กระบวนการที่ใช้คือ กระบวนการไฟฟ้าเคมี เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ เคมีทำการทดลองแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อกำจัดสีและซี ไอดี

1.3.3 ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวจ่ายไฟฟ้า ซึ่งมีค่ากระแสไฟฟ้า 0-10 แอมแปร์ ความต่าง ศักย์ไฟฟ้า 0-55 โวลต์

1.3.4 ประเมินความเป็นไปได้ โดยพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉพาะค่าขั้วไฟฟ้าที่สูญเสียของ ขั้วแอโนดและค่าไฟฟ้าเท่านั้น



#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบกับระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูง ภายในโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเพื่อกำจัดสีและซีโอดีที่มีค่าสูงเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมที่กรมโรงงานกำหนดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

1.4.2 เป็นข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับระบบที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

1.4.3 สามารถเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาปรับปรุงคุณภาพระบบบำบัดน้ำเสียขั้นสูงเพื่อใช้ในการบำบัดสีและซีโอดีที่มีค่าสูง

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ปาล์มน้ำมัน

##### 2.1.1 แหล่งที่มาและลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมัน

จากหลักฐานต่างๆ พบว่า ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดอยู่ในทวีปแอฟริกาและต่อมาก็ได้แพร่หลายเข้าไปในทวีปแอฟริกาใต้ในสมัยล่าอาณานิคม โดยปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Elaeis guineensis* เป็นพืชตระกูลปาล์ม เช่นเดียวกับต้นตาลและมะพร้าว ซึ่งมีการบันทึกไว้ แสดงว่ามีการใช้น้ำมันปาล์มเป็นอาหารของทาสควิดำในระหว่างเดินเรือ ต่อมาราวปี พ.ศ. 2454 ชาวเบลเยียมได้นำปาล์มน้ำมันมาปลูกเป็นครั้งแรกที่เกาะสุมาตรา ประเทศอินโดนีเซีย และต่อมาก็ได้แพร่หลายเข้าไปยังประเทศมาเลเซีย (สุรศักดิ์ สุรนันทชัย, 2535) ปัจจุบันประเทศมาเลเซียเป็นผู้ส่งออกน้ำมันปาล์มเป็นอันดับหนึ่งของโลก ประมาณ 11.68 ล้านตันต่อปี (ร้อยละ 80-90 ของผลผลิตทั่วโลก) และอินโดนีเซียเป็นอันดับสองของโลกประมาณ 5.05 ล้านตันต่อปี (ร้อยละ 50 ของผลผลิตทั่วโลก) สำหรับประเทศไทยพบว่า ประเทศไทยได้ส่งออกน้ำมันปาล์มประมาณปีละ 70,000-80,000 ตัน โดยมีพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันทั้งหมด 1.9 ล้านไร่ให้ผลผลิตทั้งหมด 5.1 ล้านตัน โดยจังหวัดที่ปลูกปาล์มและให้ผลผลิตมากที่สุดคือ จังหวัดกระบี่ รองลงมาคือ จังหวัดสุราษฎร์ธานี จากจำนวนผลผลิตดังกล่าวส่งผลให้มีธุรกิจโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในประเทศจำนวนทั้งสิ้น 58 ราย (กรมโรงงาน, 2545) เพื่อรองรับการผลิตน้ำมันปาล์มและประเทศผลิตน้ำมันปาล์มที่คิดอันดับของโลกมีประมาณ 13 ประเทศ ดังตารางที่ 2.1

น้ำมันปาล์มเมล็ดในปาล์ม มีน้ำมันประมาณ 46-57% การหีบน้ำมันเมล็ดในปาล์มทำได้โดยหีบด้วยแรงอัดสูงๆ หรือสกัดด้วยตัวทำละลาย น้ำมันที่ได้แตกต่างจากน้ำมันจากเปลือกปาล์ม น้ำมันปาล์มมีกรดไขมันอิ่มตัว (กรดลอริก ไมริสติก บัลมิติกและสเตียริก) รวมกันประมาณ 52% และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (โอเลอิก ลิโนลิก และลิโนลิโนอิก) รวมกันประมาณ 48% น้ำมันปาล์มและน้ำมันเมล็ดในปาล์มที่สกัดได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันดิบ โดยน้ำมันปาล์มดิบแยกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนใสและส่วนที่เป็นไข โดยน้ำมันปาล์มดิบจะมีลักษณะสีแดงส้ม ซึ่งเป็นส่วนของสารแคโรทีนอยด์ ประกอบด้วยเม็ดสีที่เรียกว่า แคโรทีน ไลโคปีน และซินโทฟิล และอาจมีกลิ่นซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของพวก P-ionome น้ำมันปาล์มดิบมีองค์ประกอบของกรด

ไขมันและยัง ไม่สามารถบริโภคได้ต้องนำไปกลั่นให้เป็นน้ำมันบริสุทธิ์ด้วยกระบวนการแยกขาง เหนียวลดกรด ฟอสฟอรัส และคลอคลีน ได้เป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ ซึ่งผลผลิตทั้งหมดนี้นำไปใช้เพื่อการ อุปโภคบริโภค ได้อย่างมากมาย เช่น ทำเป็นน้ำมันปรุงอาหาร น้ำมันทอและใช้ในอุตสาหกรรม โอเลโอเคมีคัลและที่สำคัญที่สุดในยุคน้ำมันปิโตรเลียมแพง ก็คือ ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเมทิลเอสเทอร์ นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล หรือที่เรานิยมเรียกว่า ไบโอดีเซล ซึ่งการผลิตเมทิลเอสเทอร์จะเป็นการนำเอาน้ำมันปาล์มมาทำปฏิกิริยากับเมทานอล โดยมี โซดาไฟเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ เรียกว่า ปฏิกิริยารานเอสเทอร์ที่เคชันได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ จะเห็นได้ว่าทุกส่วนของปาล์มสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ทั้งนี้ควรมีวิธีการนำกากของเสียไปกำจัดให้ ถูกวิธีจึงจะสามารถช่วยลดปัญหามลพิษในทุกๆ ด้าน และควรมีวิธีการที่เหมาะสมในการกำจัดกากของเสียจึงจะทำให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.1 ประเทศผู้ผลิตน้ำมันปาล์มรายใหญ่ของโลก (1,000 ตันต่อปี)

ประเภท ปี	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
มาเลเซีย	7,403	7,221	8,386	9,069	8,319	10,554	10,842	11,804
อินโดนีเซีย	3,421	4,008	4,540	5,380	5,100	6,250	7,000	7,480
ไนจีเรีย	645	640	670	680	690	720	740	750
โคลัมเบีย	323	353	410	441	424	501	524	547
ไทย	297	316	375	390	405	495	525	535
ปาปัวนิวกินี	223	225	272	275	215	264	336	325
ไอวอรีโคสต์	310	300	280	260	275	282	266	275
เอกวาดอร์	162	178	188	203	200	230	238	240
คอซตาริกา	84	90	109	119	115	110	113	123
ฮอนดูรัส	80	76	76	77	88	80	78	94
บราซิล	54	71	80	80	89	93	97	110
เวเนซุเอลา	21	34	45	54	54	68	81	84
กัวเตมาลา	16	22	36	50	47	52	58	70
อื่นๆ	1,265	1,676	815	825	898	932	927	918
รวม	14,304	15,210	16,282	17,903	16,919	20,631	21,825	23,355

ที่มา : วิชาการปาล์มน้ำมัน, 2551

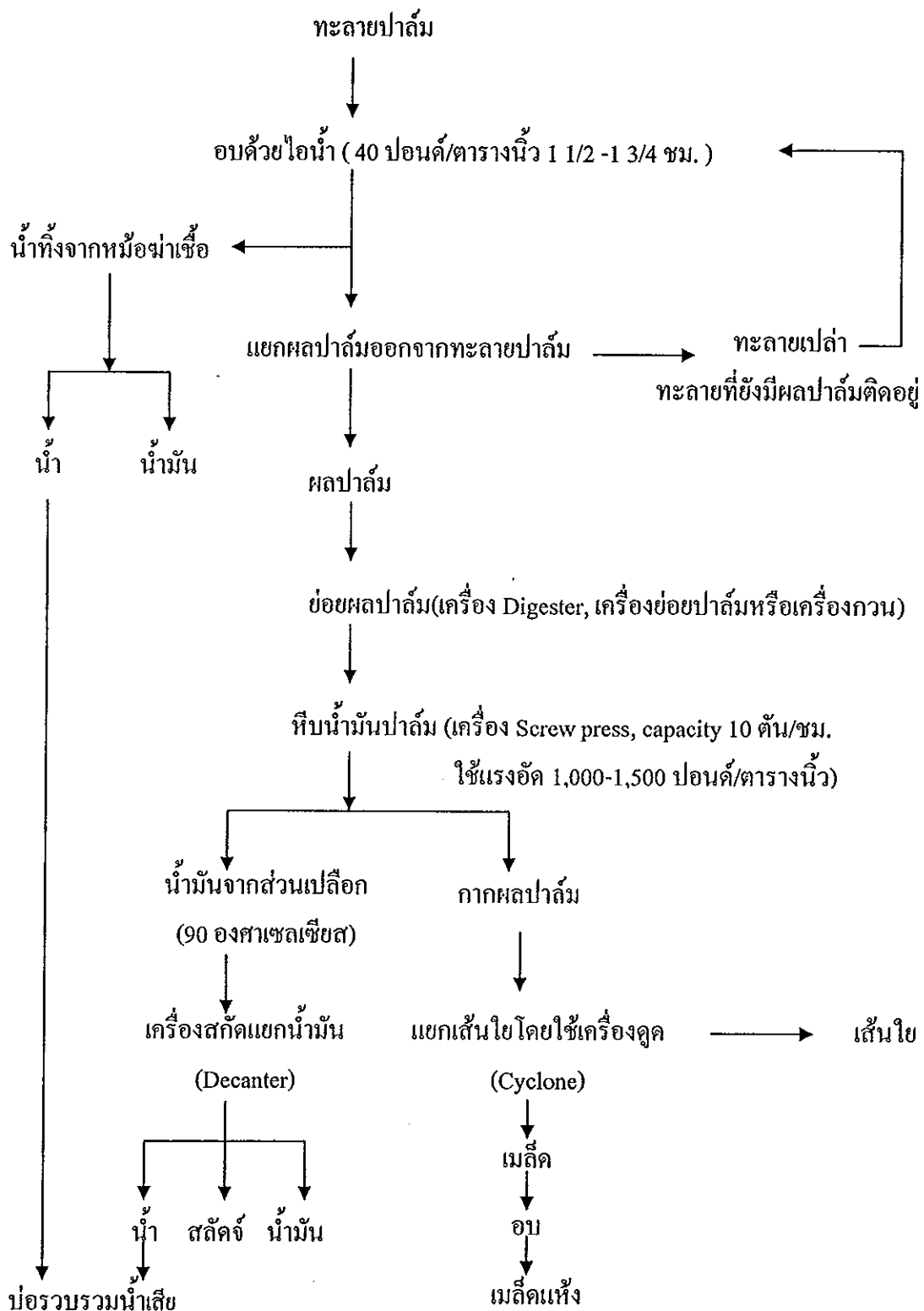
## 2.1.2 กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ

### 1.2.1 กระบวนการผลิตที่ใช้ในประเทศไทยมี 3 แบบ ดังนี้

1) แบบมาตรฐาน โดยโรงงานแบบมาตรฐานเป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตสูง ประมาณ 30-80 ตันต่อชั่วโมง และน้ำมันที่ได้จัดเป็นน้ำมันเอ เนื่องจากมีการแยกชนิดของน้ำมันปาล์ม โรงงานเหล่านี้ใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูงประมาณ 20-50 ล้านบาท และเนื่องจากเครื่องจักรส่วนใหญ่ต้องสั่งจากต่างประเทศเนื่องจากประเทศไทยยังผลิตจำหน่ายไม่ได้เพราะขาดเทคโนโลยีที่ทันสมัย และมีราคาแพง กระบวนการผลิตแบบมาตรฐานจะมีประสิทธิภาพการหีบน้ำมันสูง น้ำมันที่ได้มีปริมาณมากสำหรับส่งไปจำหน่ายให้กับโรงงานกลั่นน้ำมันบริสุทธิ์หรือหากมีปริมาณมากพอก็จะจำหน่ายให้กับต่างประเทศ และปัญหาที่เกิดขึ้นกับโรงงานประเภทดังกล่าวคือ เมื่อถึงช่วงฤดูแล้ง ปาล์มจะมีผลผลิตน้อย ทำให้โรงงานมีปริมาณการผลิตน้อยจึงทำให้โรงงานต้องหาซื้อผลปาล์มในราคาที่สูง กระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำแบ่งเป็น 2 แบบ คือแบบที่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน decanter (ภาพที่ 2.1) และแบบที่ไม่ใช้เครื่องสกัดแยกน้ำมัน (ภาพที่ 2.2)

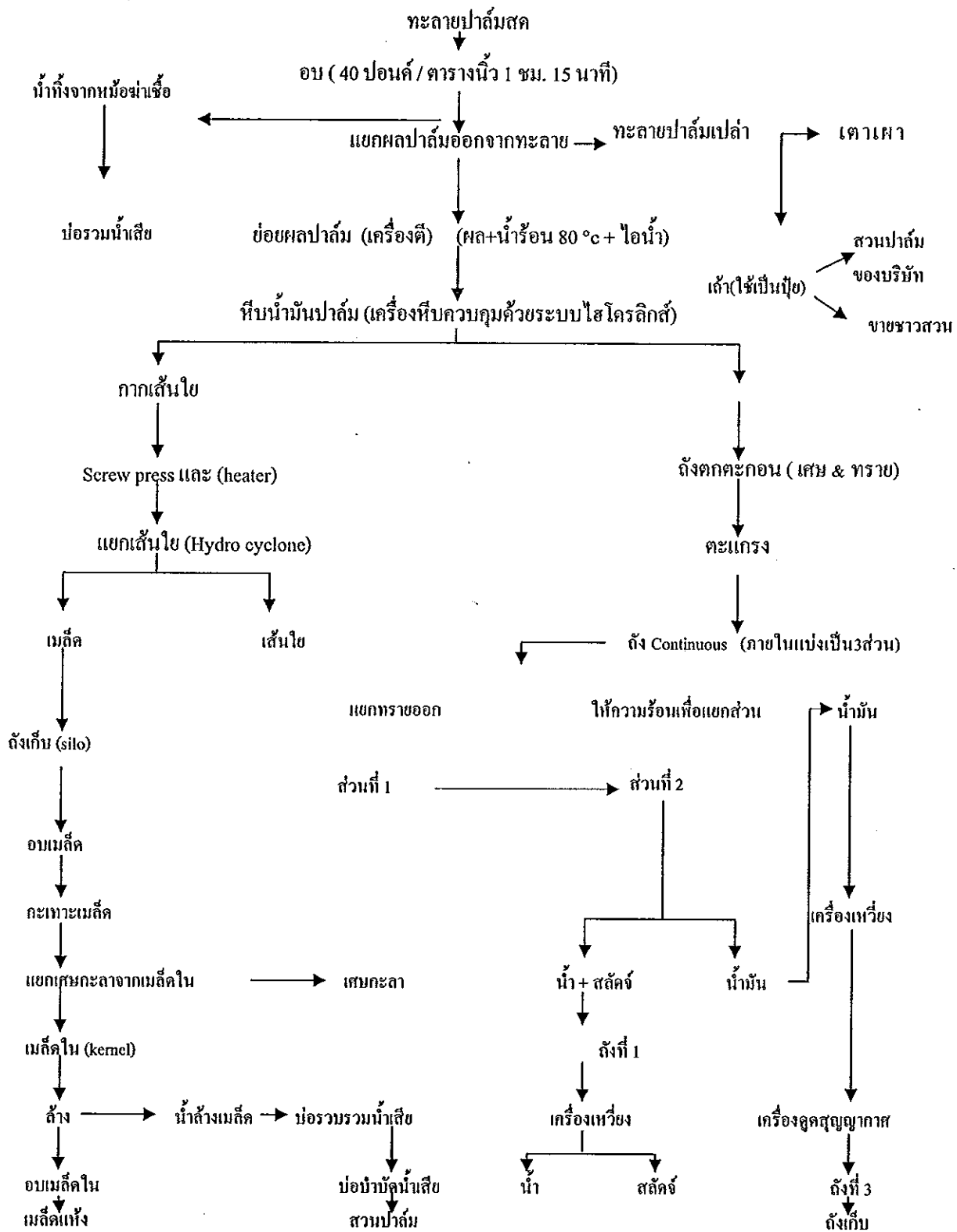
2) แบบทอดผลปาล์ม สามารถนำทะลายปาล์มสดและผลปาล์มร่วงไปเข้าเครื่องอบ หลังจากผ่านการอบแห้งแล้วก็นำผลปาล์มที่ร่วงออกมา และนำไปทอดด้วยน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 12-20 min ในเกลียวลำเลียงที่ให้ความร้อนได้ด้วยไอน้ำรอบรางลำเลียง และผลปาล์มที่สุกพอดีแล้วก็จะถูกส่งเข้าเครื่องหีบแบบเกลียวอัดคู่ น้ำมันที่ทำการหีบเรียบร้อยแล้วก็จะนำไปไล่ความชื้นในถังสุญญากาศที่อุณหภูมิ 80-90 °C เป็นเวลา 30-60 min แล้วนำไปผ่านเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น เพื่อแยกสิ่งสกปรกออก แล้วนำส่วนที่เป็นกากไปอบแห้งเพื่อหีบนำไปขายได้อีกทางหนึ่ง โดยกระบวนการผลิตแบบดังกล่าวจะไม่มีน้ำเสียสามารถรับได้ทั้งทะลายปาล์มและผลปาล์มร่วง

3) แบบหีบน้ำมันผสม เป็นโรงงานที่มีกำลังการผลิตค่อนข้างต่ำ และน้ำมันที่สกัดได้เป็นน้ำมันผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันเมล็ดในปาล์ม ซึ่งโรงงานประเภทนี้ใช้ผลปาล์มร่วงเป็นวัตถุดิบ จะนำผลปาล์มที่ร่วงมาอย่างอุณหภูมิ 180-200 °C ในกระบะเป่าลมร้อนจากเตาฟืนเข้ามาโดยตรงเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผลปาล์มไปหีบด้วยเครื่องหีบซึ่งนำมันจากเปลือกและเมล็ดในจะผสมกันหมด น้ำมันจะถูกกรองด้วยเครื่องกรองแบบอัดหลายชั้น กาก เส้นใย กะลา และเมล็ด จะปนกันอยู่มีน้ำมันเหลืออยู่ประมาณ ร้อยละ 6-8 และบรรจุลงกระสอบจำหน่ายเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ และน้ำมันจะสกปรก มีเขม่า มีกรดไขมันอิสระสูงกว่าปกติ เมื่อผ่านการกลั่นให้บริสุทธิ์จะได้ราคาค่อนข้างต่ำ ราคาจะแตกต่างกับประเภทแรกประมาณ 2 บาทต่อกิโลกรัม (อรัญ หันพงศ์กิตติกุลและคณะ, 2536)



ภาพที่ 2.1 การผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำที่ใช้เครื่อง Decanter

ที่มา: พูนสุข ประเสริฐธรรม์ และคณะ (2533)



ภาพที่ 2.2 การผลิตน้ำมันปาล์มแบบใช้น้ำ ที่ไม่ใช่เครื่องสกัดแยกน้ำมัน

ที่มา: พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ (2533)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มจาก 6 แห่ง ก่อนและหลังการบำบัด

Mills	Type of wastewater	pH	BOD <sub>5</sub>	COD	Suspended Solid	Oil & Grease
1. Asian Palm Oil Co.,Ltd.	Before treatment	4.00	37,800	92,500	17,300	6,130
	After treatment	8.60	365	1,028	250	51.0
2. Sricharoon Palm Oil Co.,Ltd.	Before treatment	4.45	37,350	95,700	24,500	11,510
	After treatment	4.70	8,730	16,940	1,320	216.0
3. Unipalm Industry Co.,Ltd.	Before treatment	4.50	44,550	170,300	34,590	15,860
	After treatment	8.80	345	480	660	58.0
4. Trang Palm Oil Co.,Ltd.	Before treatment	4.25	44,250	88,000	25,100	8,820
	After treatment	7.90	474	2,810	870	51.5
5. Abio Holding Co.,Ltd.	Before treatment	4.60	37,400	71,200	15,200	5,530
	After treatment	8.55	180	240	10	347
6. So Inthem Palm (2521) Co.,Ltd.	Before treatment	4.60	35,850	88,500	18,440	5,750
	After treatment	9.45	169	667	126	40.8

หมายเหตุ : ทุกค่ามีหน่วย mg/l ยกเว้นสีและ pH (ไม่มีหน่วย) (คัดแปลงจาก จินตนา แก้ววิสุทธิ, 2541)

จากตารางที่ 2.2 พบว่า ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ตรวจวัดคุณภาพน้ำหลังการบำบัดมีค่าสูงกว่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่ น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นพวกสารอินทรีย์ทำให้มีค่าซีโอดี และบีโอดีสูงอาจเนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดไม่เพียงพอซึ่งรวมถึงโรงงานดังกล่าวมีการสกัดน้ำมันแบบมาตรฐานมีกระบวนการผลิตแบบใช้น้ำจึงทำให้มีน้ำเสียในปริมาณค่อนข้างสูง และหากปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังมีค่าสูงเกินเกณฑ์มาตรฐานอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือแหล่งน้ำที่อยู่ใกล้เคียงได้ และการบำบัดโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ ทางกายภาพ เคมี และชีวภาพแต่ควรนำไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับคุณภาพน้ำที่ต้องการบำบัด และมีประสิทธิภาพเพียงพอเพื่อให้ น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมกำหนด วิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ และเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีอีกวิธีหนึ่ง

## 2.2 สีของน้ำ

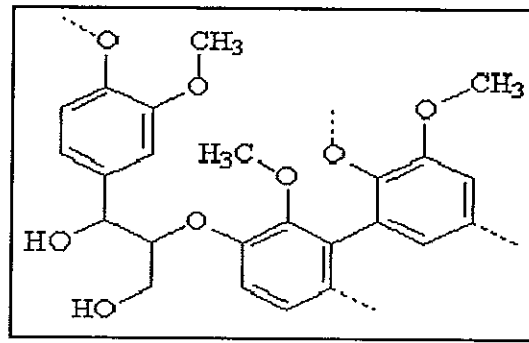
### 2.2.1 การจำแนกสีแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สีจริง (Real or true Color) และปรากฏ (Apparent Color)

2.2.1.1 สีจริง (True Color) คือ สีของน้ำที่เป็นสีที่วัดได้หรือมองเห็นหลังจากที่แยกเอาสารแขวนลอยที่ทำให้น้ำขุ่นออกไปแล้ว นั่นคือ สีจริงเป็นสีที่เกิดจากสารที่ละลายในน้ำ

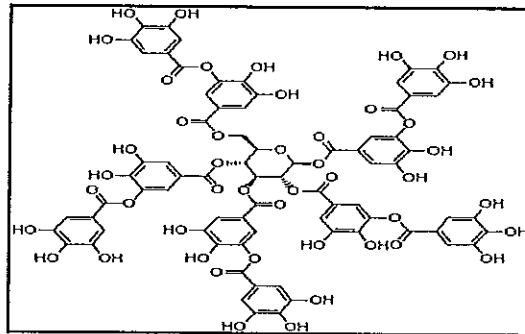
2.2.1.2 สีปรากฏ (Apparent Color) คือ สีของน้ำที่วัดได้หรือมองเห็นจริงๆ ในตัวอย่างน้ำ โดยไม่การแยกเอาสารแขวนลอยที่ทำให้น้ำขุ่นออกไป นั่นคือสีปรากฏเป็นสีที่เกิดจากสารที่ละลายในน้ำและที่ไม่ละลายในน้ำและที่ไม่ละลายได้ในน้ำรวมกัน

โดยทั่วไปในกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากชั้นตอนต่างๆ นั้นจะมีอนุภาคของสีออกมาทั้งน้ำมันหรือจากการสกัดน้ำมันปาล์ม ดังนั้นในน้ำเสียจึงมีการปนเปื้อนของอนุภาคสี ซึ่งจะประกอบด้วยสีจริงและสีปรากฏ โดยในความเป็นจริงแล้วสีที่พบในน้ำทั้งจากกระบวนการต่างๆ ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มนั้นเกิดจากการสลายตัวของสารประกอบอินทรีย์ (จินตนา แก้วบริสุทธิ์, 2541) ซึ่งประกอบด้วย ลิกนิน แทนนิน แอนโทไซยานิน แคโรทีน เมลานอยดิน และ โพลีฟีนอล (ชนกฤต พรหมทอง, 2551) ภาพที่ 2.3 และอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพแหล่งน้ำเนื่องจากเกิดการปนเปื้อนของน้ำทิ้งที่ซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน ดังนั้นจึงมีการหาวิธีที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสีออกจากน้ำเสีย เพื่อลดค่าสีและค่าความสกปรกออกจากน้ำ เนื่องจากในน้ำเสียหากมีสีปนเปื้อนอยู่มากเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจไม่เป็นที่ยอมรับหรือเป็นที่พึงรังเกียจ ดังนั้นจึงนำเอากระบวนการต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีอนุภาคของสีปะปนอยู่ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ดังตารางที่ 2.3 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

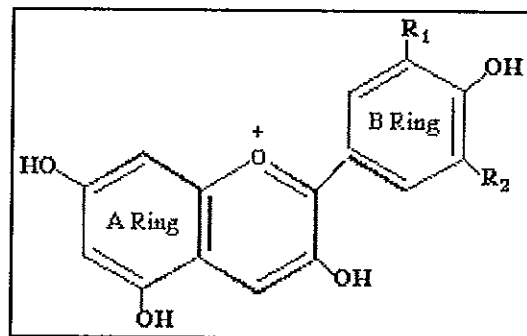




Lignin

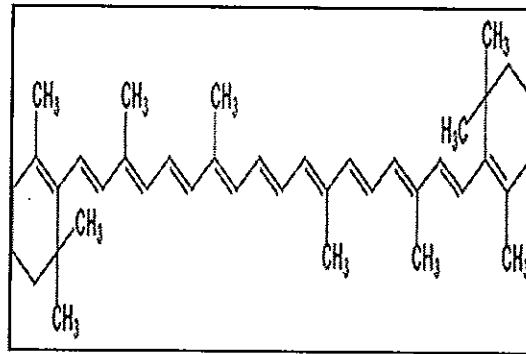


Tannin

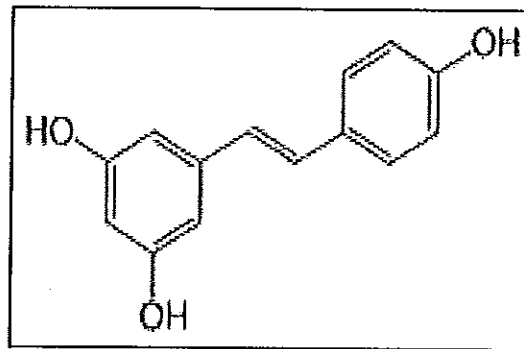


Anthocyanin

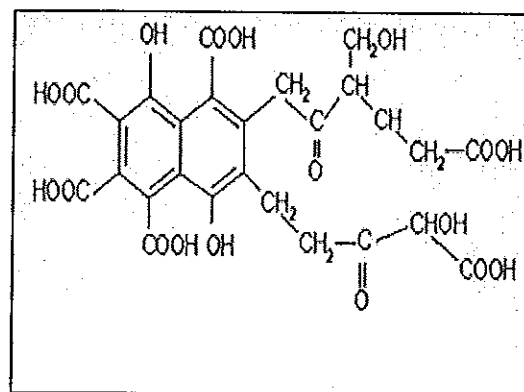
ภาพที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม  
ที่มา: ชนกฤต พรหมทอง อ้างใน Hartley, 1977; Hwang et al., 1978; Barker and Worgan, 1987



Beta-carotene

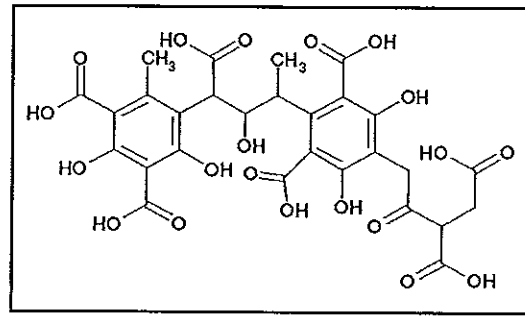


Polyphenol



Fulvic acid

ภาพที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (ต่อ)



Humic acid

ภาพที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งของ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม (ต่อ)

ตารางที่ 2.3 กระบวนการที่ใช้กำจัดสีโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ กระบวนการทางกายภาพ และชีวภาพ

กระบวนการ	วิธี	หลักการกำจัดสี
กายภาพ	ดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)	การทำให้โมเลกุล โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนผิวของถ่านกัมมันต์ และมีประสิทธิภาพแต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนัก โมเลกุลของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีการปรับขนาดของ โมเลกุลของเสียให้เหมาะสมก่อน
เคมี	ตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)	การทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารตกตะกอนทำให้ตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้งสารตกตะกอนที่นิยมใช้คือปูนขาว สารส้ม เฟอรัสคลอไรด์ เป็นต้น
ชีวภาพ	บำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)	การลดสีซึ่งอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวทำลาย โดยการย่อยมวลสารต่างๆ รวมทั้งสีที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกลดลง อาจแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) และระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon)

ที่มา: ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2547

## 2.3 การประยุกต์ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสีย

### 2.3.1 คุณสมบัติของอะลูมิเนียม

อะลูมิเนียม (Al) จัดเป็นโลหะหมู่เดียวกับแกลเลียม อินเดียม และเทลลูเรียมอะลูมิเนียมจะมีสีขาวน้ำหนักเบาและแข็ง อะลูมิเนียมจัดว่าเป็นธาตุที่ไวและทำปฏิกิริยาทันทีกับอโลหะอื่น ๆ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ +3 เมื่อโลหะให้อิเล็กตรอนออกไป 3 อิเล็กตรอน อิเล็กตรอน  $Al^{3+}$  มีขนาดเล็กมาก สารประกอบโลหะที่มีออกซิเดชัน +3 มักจะเป็นสารประกอบโคเวเลนต์อย่างไรก็ดีเมื่ออยู่ในน้ำ  $Al^{3+}$  จะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) และไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดไฮดรอกไซด์ ในแคโทด และไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมละลายน้ำได้ดี แต่ไฮดรอกไซด์ของอะลูมิเนียมไม่ละลายในน้ำ การใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าในอิเล็กโทรไลติกเซลล์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสขึ้น ทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนและจะละลายในสารละลาย ดังนั้นในสารละลายอาจมีคอลลอยด์เกิดขึ้น (ทรงยศ สารภูษิต, 2547)

### 2.3.2 ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับไฟฟ้าเคมี

กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Process) อาจแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ (พวงน้อย อักษรทอง, 2549)

2.3.2.1 กระบวนการที่เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เอง (Spontaneous Reaction) ซึ่งพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อเกิดปฏิกิริยาขึ้นจะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าบังคับให้อิเล็กตรอนไหลผ่านลวดตัวนำจากแอโนดไปยังแคโทด เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการในลักษณะนี้เรียกว่า เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell)

2.3.2.2 กระบวนการที่ต้องให้พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกเข้าไปเพื่อบังคับให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเองไม่ได้ (Nonspontaneous Reaction) ให้เกิดขึ้นเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการนี้เรียกว่าเซลล์อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytic Cell) และเรียกกระบวนการลักษณะนี้ว่า อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis)

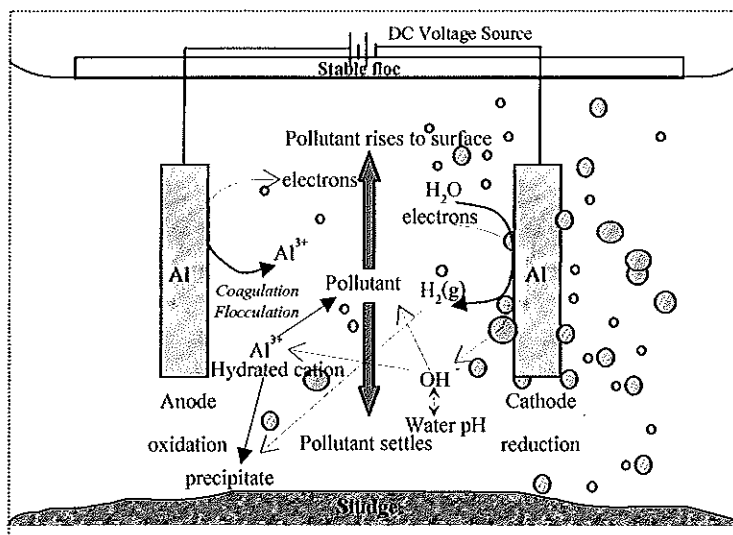
### 2.3.3 หลักการของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

การตกตะกอนทางเคมีได้พัฒนามาประมาณ 29 ปีมาแล้ว โดยไฟฟ้าเคมีเป็นกระบวนการเกี่ยวกับการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คือ ปฏิกิริยาการถ่ายเท อิเล็กตรอน หรือเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นการประยุกต์ใช้หลักการเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเล็ก โครไลติกเซลล์ ซึ่งประกอบด้วยอาน (อนุภาคประจุไฟฟ้า) แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC Power Supply)

มีอิเล็กโทรดอย่างน้อยสองขั้ว (Electrode) และปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นในสารละลายที่ให้ไฟฟ้าผ่านได้ เมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องของแบบจำลองหรือถึงปฏิกิริยาที่ใช้โลหะเป็นขั้วไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) ที่ขั้วบวก (Anode) ทำให้โลหะสึกกร่อนและละลายอยู่ในน้ำ ดังสมการ (1) ในขณะเดียวกันที่ขั้วลบ (Cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ของน้ำโดยน้ำจะแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ดังสมการที่ (2) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตะกอนของ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ( $Al^{3+}$ ) ในรูปของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์  $Al(OH)_3(s)$  ดังสมการที่ (3) (ปิ่นสยาม ภูมิพาณิชย์, 2546)

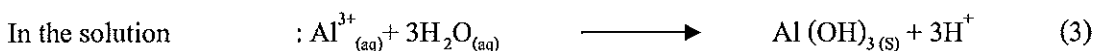
การรวมตัวของ  $Al(OH)_3(s)$  ทำให้เกิด Sweep flocculation ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่ และฟล็อกที่เกิดขึ้นจะดูดซับสารละลายที่มีสารประกอบอินทรีย์และจับกับอนุภาคคอลลอยด์เพื่อช่วยต่อการแยกสารอินทรีย์ออกจากสารละลายโดยการตกตะกอน (Ghose *et al.*, 2008)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนเมื่อมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจะเรียกปฏิกิริยานั้นว่า ออกซิเดชัน ส่วนปฏิกิริยาที่เกิดการเพิ่มของอิเล็กตรอน หรือการรับอิเล็กตรอนเรียกว่า รีดักชัน ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์แสดงได้ดังนี้ (Un *et al.*, 2009)



ภาพที่ 2.4 การเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมี

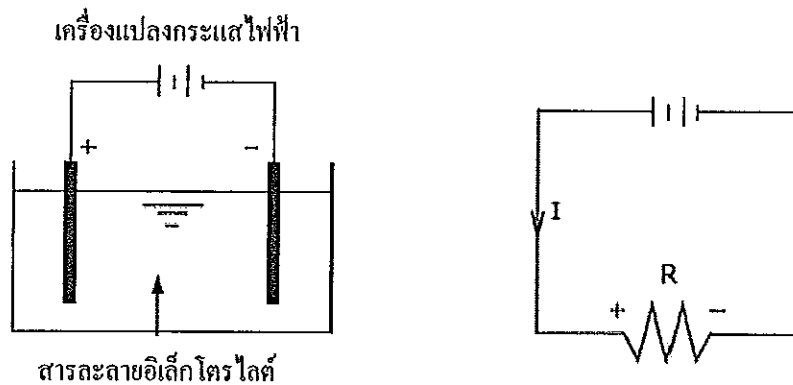
ที่มา: อมรภัทร ชูทอง, 2551



### 2.3.4 การจัดเรียงอิเล็กโทรด

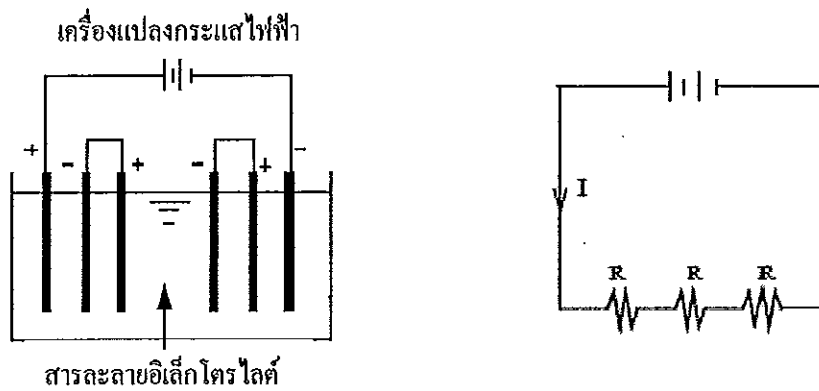
รูปแบบการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบต่างๆ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 แบบดังนี้คือ แบบโมนโพลาร์เซลล์เดี่ยว (Monopolar Electrode Single Cell) แบบโมนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Monopolar Electrode with Cell in series) แบบโมนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบขนาน (Monopolar Electrode with Cell in Parallel) และแบบไบโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบขนาน (Bipolar Electrode with Cell in Parallel) (ทรงยศ สารภูมิต, 2547)

2.3.4.1 แบบโมนโพลาร์เซลล์เดี่ยว (Monopolar Electrode Single Cell) การต่อแบบโมนโพลาร์เซลล์เดี่ยวคือ มีขั้วแอโนดและแคโทดอย่างละ 1 ขั้ว ดังภาพที่ 2.5 เป็นการจัดรูปแบบเซลล์ที่ง่ายที่สุด แต่ไม่เหมาะในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียเนื่องจากต้องใช้ขั้วไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับการจัดเซลล์ในรูปแบบอื่น และพบว่าขั้วไฟฟ้าและพื้นที่ผิวขนาดใหญ่จะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย



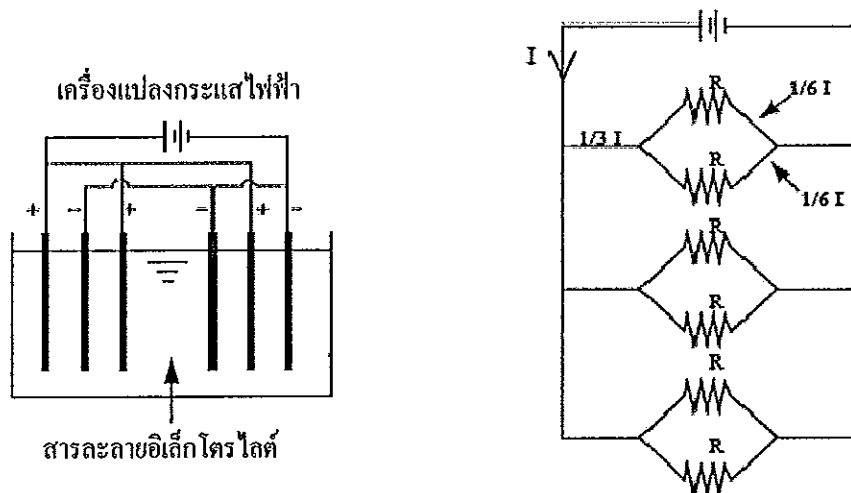
ภาพที่ 2.5 แบบโมนโพลาร์เซลล์เดี่ยว (Monopolar Electrode Single Cell)

2.3.4.2 แบบโมนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Monopolar Electrode with Cell in series) การต่อโดยมีการจัดเรียงโมนโพลาร์แบบอนุกรม ดังภาพที่ 2.6 กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วเดียวและกระจายเข้าสู่ทุกขั้วไฟฟ้า ค่าความต้านทานของระบบจึงสูงมาก เนื่องจากความต้านทานของทุกขั้วไฟฟ้ารวมกัน ดังนั้นเมื่อเพิ่มจำนวนขั้วจึงทำให้ค่าความต้านทานสูงเพิ่มขึ้นตาม และทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้าสู่ขั้วเกิดขึ้นได้น้อย



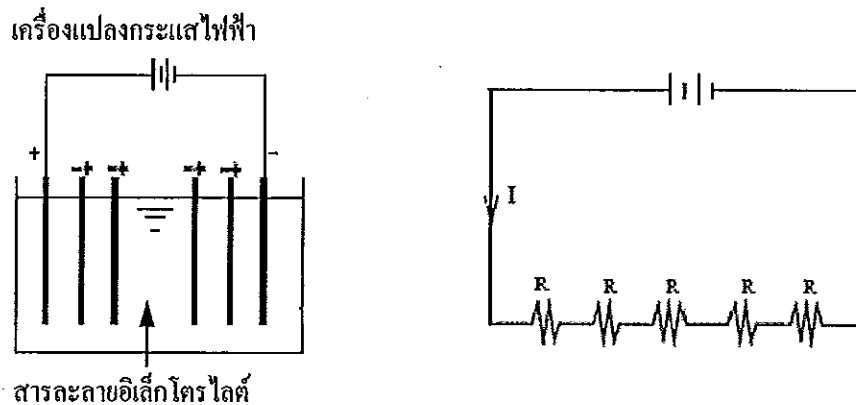
ภาพที่ 2.6 แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Monopolar Electrode with Cell in series)

2.3.4.3 แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบขนาน (Monopolar Electrode with Cell in Parallel) การต่อโดยมีการจัดเรียงโมโนโพลาร์แบบขนาน ดังภาพที่ 2.7 กระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่ขั้วแต่ละขั้ว ความต้านทานเกิดขึ้นแต่ละขั้ว ความต่างศักย์จะเท่ากันทุกขั้ว เมื่อเพิ่มจำนวนขั้วไฟฟ้าจะทำให้ความต้านทานลดลง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สูง



ภาพที่ 2.7 แบบโมโนโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบขนาน (Monopolar Electrode with Cell in Parallel)

2.3.4.4 แบบไบโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Bipolar electrode with multiple in series) การต่อโดยมีการจัดเรียงไบโพลาร์แบบอนุกรม ดังภาพที่ 2.8 จะเหมือนกับเซลล์เดี่ยวแต่มีหลายคู่ และมีจุดเชื่อมเพียง 2 จุดอยู่ปลายนอกสุด ในทางไฟฟ้าอิเล็กโทรดมีการจัดเรียงแบบอนุกรม โดยกระแสไฟฟ้าจะมีความต่างศักย์สูง เนื่องจากมีความต้านทานสูง และกระแสไฟฟ้าของระบบเท่ากัน และจะมีความสัมพันธ์กันในแต่ละเซลล์แต่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเซลล์ได้น้อย เนื่องจากเกิดการรั่วของเซลล์แต่ละขั้ว (ชนัญ พูลสวัสดิ์, 2551)



ภาพที่ 2.8 แบบไบโพลาร์หลายเซลล์ต่อแบบอนุกรม (Bipolar electrode with multiple in series)

## 2.4 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการไฟฟ้าเคมีแบ่งออกเป็น 2 วิธี

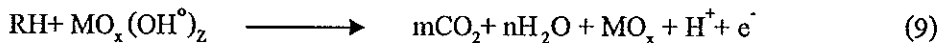
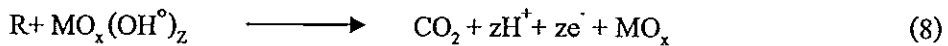
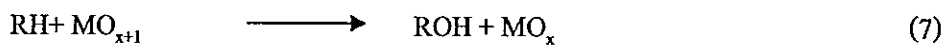
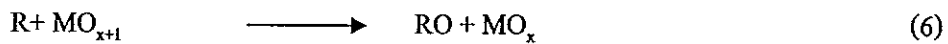
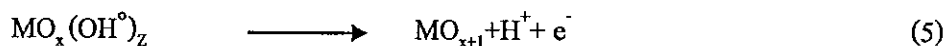
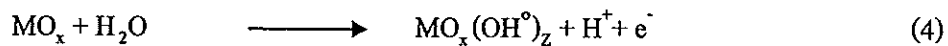
### 2.4.1 อิเล็กโทรไลซิสแบบ Direct Oxidation

เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด และสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียจะเกิดปฏิกิริยากับขั้วแอโนด และเกิดการดูดซับกับไฮดรอกซิลเรดิคัล ( $\text{OH}^\bullet$ ) และเมื่อโลหะออกไซด์ ( $\text{MO}_x$ ) รวมตัวกับน้ำทำให้เกิด  $\text{MO}_x(\text{OH}^\bullet)\text{Z}$  ดังสมการที่ 4 และ  $\text{MO}_{x+1}$  ดังสมการที่ 5 (Raghu *et al.*, 2007) ซึ่งสามารถแบ่งแบบย่อยออกเป็น 2 แบบคือ Electrochemical Conversion ดังสมการที่ 6 และ 7 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์เพียงบางส่วน จำเป็นต้องนำไปบำบัดต่อด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เพื่อให้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์และแบบ Electrochemical Combustion ดังสมการที่ 8 และ 9 ซึ่งกระบวนการดังกล่าวถ้าปฏิกิริยาเกิดขึ้นสมบูรณ์ จะทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่เกิดจากปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ

### 2.4.2 อิเล็กโทรไลซิสแบบ Indirect Oxidation

เริ่มต้นจะเกิดตัวกลางในปฏิกิริยารีดอกซ์ และเกิดสาร Oxidants ที่แข็งแรงขึ้นจากขั้วแอโนด ( $\text{ClO}^-$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{ClO}_2$ ) ทำให้เกิด  $\text{H}_2\text{O}_2$  จากขั้วแคโทด ซึ่งทำให้เกิดการรวมกลุ่มระหว่างอิออนของเหล็กและ  $\text{H}_2\text{O}_2$  เมื่อเกิดการแยกสารประกอบอินทรีย์ออกด้วยไฟฟ้าเคมี จะทำให้เกิดเป็นสารสร้างตะกอน เกิดการรวมกลุ่มขนาดใหญ่ และเกิดการลอยตัวของตะกอน (อมรภัทร ชูทอง, 2551



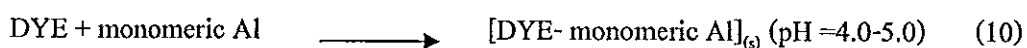


กำหนดให้ R, organic compound; z, number of absorbed  $\text{OH}^\circ$  on anode

## 2.5 กลไกการกำจัดสีในน้ำทิ้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันในกระบวนการไฟฟ้าเคมี

การกำจัดสีโดยกระบวนการออกซิเดชัน โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับสารออกซิไดซ์ ทำให้พันธะเคมีของโมเลกุลสีแตกออกกลายเป็นโมเลกุลที่ไม่มีสี ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย การกำจัดสีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี เกิดจากกลไกการทำปฏิกิริยากันระหว่าง โมเลกุลของสีและผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในสารละลาย ซึ่งปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับค่า pH โดยกลไกที่เกิดขึ้นประกอบด้วย 2 กลไกหลัก คือ Precipitation ดังสมการที่ 10 และ 11 และ Adsorption ดังสมการที่ 12 และ 13 (อมรภัทร ชูทอง, 2551)

เมื่อเกิดการ Precipitation เกิดสมการดังนี้



เมื่อเกิดการ Adsorption เกิดสมการดังนี้



## 2.6 กฎของฟาราเดย์

ไมเคิล ฟาราเดย์ให้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และระยะเวลาในการให้กระแสไฟฟ้าว่า น้ำหนักอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยให้เป็นอิสระ โดยกระแสไฟฟ้าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ และน้ำหนักของไอออนชนิดต่างๆ ที่ปล่อยให้เป็นอิสระ โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าเท่าๆ กัน จะเป็นสัดส่วนสมมูลของไอออนเหล่านั้น

แรงเคลื่อนไฟฟ้าในเซลล์ เซลล์ไฟฟ้าหนึ่งต้องการพลังงาน 1 จูล ในการทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุ 1 คูลอมบ์ จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในเซลล์ จะหมายความว่าจุด 2 จูล มีความต่างศักย์เท่ากับ 1 วัตต์ นั่น 1 V จึงมีค่าเท่ากับ 1 จูล/คูลอมบ์ ดังสมการ

$$\text{งานทางไฟฟ้าสุทธิ } (W_{\text{elec}}) = \text{คูลอมบ์} \times V$$

งานที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้านั้น ได้จากการถ่ายเทอิเล็กตรอน ดังนั้นจำนวนประจุในหน่วยคูลอมบ์ จึงขึ้นกับจำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยา ซึ่งทุก 1 โมลของอิเล็กตรอนจะมีปริมาณประจุเท่ากับ 96,487 คูลอมบ์ ถ้าในปฏิกิริยาของเซลล์ไฟฟ้ามีการถ่ายเทอิเล็กตรอน n โมล จะมีปริมาณประจุเท่ากับ  $n \times 96,487$  หรือ nF คูลอมบ์ เมื่อ F คือค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,487 คูลอมบ์/โมล จึงได้สมการดังนี้

$$W_{\text{elec}} = (nF)(E) = nE \times 96,487$$

ค่าการนำไฟฟ้ามีผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และมีผลต่อปริมาณประจุที่ปล่อยออกมาในปฏิกิริยาการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีตามกฎฟาราเดย์ กล่าวไว้ว่า 1 ฟาราเดย์ ของประจุที่ผ่านเข้าวงจรจะชะโลหะออกมา 9 กรัม ซึ่งถ้าประจุมากขึ้นก็ทำให้ประจุออกมาจากขั้วแอโนดมากขึ้น จากกฎของโอห์ม ซึ่งกล่าวว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจรได้ จะมีเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าและความต้านทานกระแสไฟฟ้า ดังสมการ

$$V = IR$$

กำหนดให้  $V =$  ความต่างศักย์ไฟฟ้า (Volt)

$I =$  ค่ากระแสไฟฟ้า (Amp)

$R =$  ค่าความต้านทาน (โอห์ม)

ดังนั้นความต้านทานกระแสไฟฟ้าในกระบวนการไฟฟ้าเคมี คือ ความต้านทานกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังสมการ

$$R = \frac{(I)}{(C)(A)}$$

กำหนดให้

R = ความต้านทานกระแสไฟฟ้า (โอห์ม)

I = ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด (เซนติเมตร)

C = ค่าการนำไฟฟ้าเฉพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (ซีเมนต์)

A = พื้นที่หน้าตัด ของอิเล็กโทรดที่สัมผัสกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์

(ตารางเซนติเมตร)

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและปริมาณของขั้วโลหะที่ละลายลงสู่สารละลายนำไฟฟ้าจะสามารถอธิบายด้วยกฎฟาราเดย์ ดังต่อไปนี้

$$W = \frac{(1)(t)(M)}{(Z)(F)}$$

กำหนดให้

W = ปริมาณ โลหะที่ละลายน้ำ (กรัม)

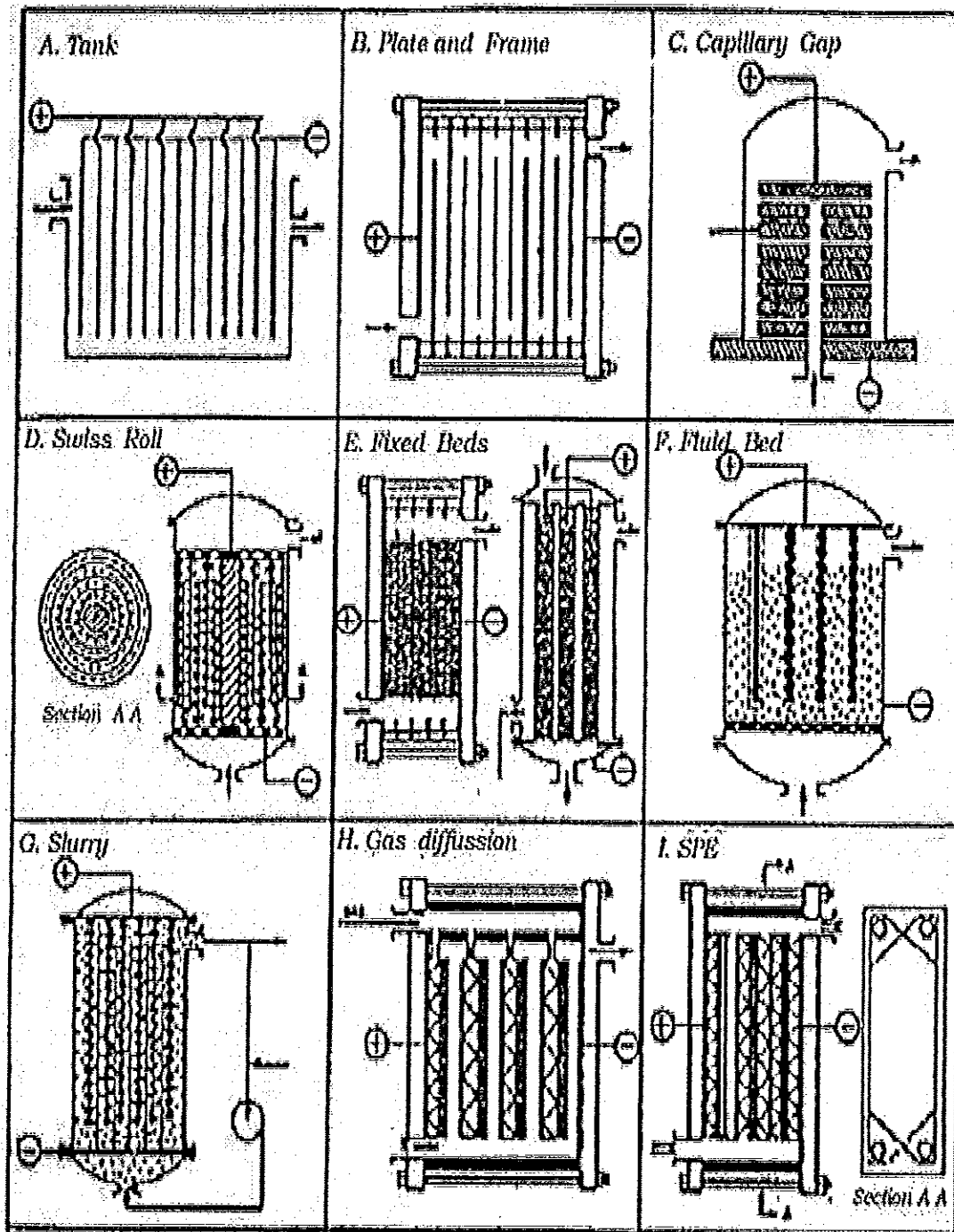
I = ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง

M = น้ำหนัก โมเลกุลที่ขั้วแอโนด

t = เวลาที่ใช้ (นาท)

Z = จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์

F = ค่าคงที่ของฟาราเดย์เท่ากับ 96,487



ภาพที่ 2.9 ตัวอย่างเครื่องตกตะกอนด้วยไฟฟ้าแบบต่างๆ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

ที่มา: ปาริชาติ หมั่นสีทา อ้างใน Oloma *et al.*, 1985

## 2.7 หลักการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ไฟฟ้าเคมี

2.7.1 ปฏิกริยาไฟฟ้าเคมี ควรมีการหลีกเลี่ยงการออกแบบงานที่มีการกวนหากจำเป็นต้องมีการกวนต้องมีการพิจารณาการเทวมวลเป็นอันดับแรก เช่นการกวนผสมอาจต้องใช้แผ่นกั้นหรือใบพัด (ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2547)

2.7.2 ค่าความต่างศักย์ ควรออกแบบให้สม่ำเสมอทั่วพื้นที่ผิวของอิเล็กโทรด และควรออกแบบให้ มีระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดน้อย เพราะระยะห่างยิ่งมากจะทำให้ใช้ค่าความต่างศักย์สูง (อมรภัคร ชูทอง, 2551)

2.7.3 การวางอิเล็กโทรด การออกแบบแบ่งออกเป็น 2 แบบ หากต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทำให้ลอยควรวางอิเล็กโทรดในแนวตั้งเพื่อให้เกิดฟองก๊าซขึ้นและเป็นตัวพาสารแขวนลอยขึ้นมาพร้อมกับตะกอนเบาที่เกิดขึ้น แต่ถ้าต้องการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีตกตะกอนควรวางอิเล็กโทรดในแนวนอนโดยใช้ขั้วแอโนดอยู่ล่าง (ทรงยศ สารภูมิศ, 2547)

2.7.4 วัสดุที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด ควรออกแบบให้มีความสอดคล้องกับความต้องการในการบำบัดน้ำเสีย และควรมีความคงทนไม่มีการสึกกร่อนง่าย (วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์, 2546)

## 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์ไฟฟ้าเคมี

2.8.1 การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้ามาก จะทำให้เกิดประจุของอ็อกซิเจนมากขึ้นด้วย โดยที่ความสามารถของอ็อกซิเจนจะขึ้นกับขนาดและประจุบนอ็อกซิเจน

2.8.2 ขนาดของขั้วไฟฟ้า มีพื้นที่ใหญ่มีผลดีเนื่องจากทำให้มีการถ่ายเทอิเล็กตรอนได้ดี เพราะว่กระแสไฟฟ้าจะมีสัดส่วน โดยตรงกับพื้นที่ผิวสัมผัสของขั้วไฟฟ้า

2.8.3 กระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับระยะทางที่อ็อกซิเจนเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้า ระยะห่างน้อย กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มมากขึ้น

2.8.4 อุณหภูมิ ซึ่งสารละลายเป็นอัตราส่วน โดยตรงกับอุณหภูมิของกระแสไฟฟ้า โดยที่ความสามารถในการเคลื่อนที่จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 2 ต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1 °C

2.8.5 ค่าการนำไฟฟ้า จากสารละลายจะมีสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้นๆ

ตารางที่ 2.4 ข้อดีและข้อเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี

ข้อดี	ข้อเสีย
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่ยุ่งยากง่ายต่อการเดินระบบ เพราะควบคุมด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถบำบัดน้ำได้เป็นที่น่าพอใจ ปราศจากกลิ่นและสี</li> <li>- ตะกอนที่เกิดมีความเสถียรและรีดน้ำออกง่าย</li> <li>- ฟองที่เกิดขณะทำปฏิกิริยา จะนำเอาของเสียลอยสู่ชั้นบน ง่ายต่อการเก็บรวบรวมและกำจัดออก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ในการดำเนินการระบบ อาจต้องใช้ค่าไฟฟ้าสูง</li> <li>- ต้องการน้ำเสียที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง</li> <li>- ต้องเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าเป็นประจำเนื่องจากแผ่นโลหะเกิดการกัดกร่อน</li> <li>- การเกิดฟิล์มที่ขั้วแคโทดทำให้ประสิทธิภาพลดลง</li> </ul>

ที่มา: Un *et al.*, 2009

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

ปรีชา มุณีศรี (2538) การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มน้ำทิ้งจากเครื่อง decanter ด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ ค่าซีโอดี น้ำมันและไขมันของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอย เชื้อที่ใช้ทดลองมีดังนี้ *Aspergillus niger* ATCC 6275 ,*A.oryzae* ,*Candida opicalis* F-129 ,*palmeoliophila* Y-128 สายพันธุ์ ST 4 และ ST 29 และพบว่าสายพันธุ์รา ST 29 สามารถกำจัดน้ำมันได้สูงสุด ร้อยละ 99.65 ค่าซีโอดีลดลง ร้อยละ 66 และได้ปริมาณมวลชีวภาพ 44.56 กรัมต่อลิตร

โสภา จันทภาโส (2541) ศึกษาการกำจัดซีโอดี และน้ำมันและไขมันเป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแยกสารแขวนลอย และน้ำมันออกจากน้ำทิ้งจากเครื่อง Decanter โดยพบว่าในน้ำทิ้งต้องมีปริมาณไม่ต่ำกว่า 15,000 mg/L จึงทำให้เกิดตะกอนเบาที่ pH 4.5 ทำให้ลดค่าซีโอดีได้ 35% และน้ำมัน 95%

จุฑารัตน์ หนูสุข (2546) ศึกษาการกำจัดซีโอดี บีโอดี ซี ฟอสฟอรัส โดยการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สามจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยการใช้บ่อบึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดิน โดยใช้ต้นชูปฤายี่ จำนวน 3 บ่อ โดยมีอัตราการไหล 0.26 0.13 0.086 m<sup>3</sup>/d ระยะเวลา 5 10 15 วัน พบว่ามีอัตราการไหล 0.086 ที่ 15 วัน มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยสามารถกำจัดได้ร้อยละ 59.06 74.11 61.65 และ 39.48

จินตนา แก้ววิสุทธิ (2546) การศึกษาการบำบัดสีและซีโอดี ในน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ใช้ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตเชิงพาณิชย์ 2 ชนิด เป็นถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลา มะพร้าวและทำจากไม้โกงกาง ดูดซับที่ระดับ pH 6 7 8 และ 9.5 พบว่าถ่านกัมมันต์สามารถในการดูดซับซีโอดีในตัวอย่างน้ำ ทิ้งได้ดีที่ระดับ pH ต่ำ พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดอัตราน้ำล้นผิวลง และยังพบว่าถ่านกัมมันต์ ที่ทำจากไม้โกงกางสามารถดูดซับ ซีโอดีและสีได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ที่ทำจากกะลามะพร้าว

จิราวรรณ ศรีโยม (2546) การลดสารอินทรีย์ ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการตกตะกอน โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (สารละลาย 2,4 ไคคลอโรฟีนอล ที่ 1,100 และ 500 ppm) น้ำสังเคราะห์ ต่อไฮดรอกซิลของเหล็กเท่ากับ 1:0.65 และ 1:0.45 ตามลำดับ พบว่าอัตราส่วนดังกล่าวมีความเหมาะสม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับบริษัททกมิลปาล์ม (2521) จำกัด สามารถกำจัดซีโอดีร้อยละ 60 และสีร้อยละ 90 เมื่อเติม CaO

หัตถินดา บินมะแอ (2547) ศึกษาการบำบัดซีโอดี น้ำมันและไขมันของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งจากเครื่อง Decanter โดยใช้จุลินทรีย์ชนิด *Humicola insolens*, *Thermomyces lanuginosus* และ *Rhizopus sp. ST 29* โดยเชื้อที่มีความเหมาะสมที่ใช้คือ *Rhizopus sp. ST 29* ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส โดยใช้เชื้อที่ตรึงด้วย bio stage สามารถลดค่าซีโอดี ร้อยละ 60 น้ำมันและไขมันร้อยละ 52.38 ของแข็งทั้งหมดร้อยละ 75.93 และของแข็งแขวนลอยร้อยละ 77.24

ธนาวุฒิ รักกมล (2548) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะเทอร์โมฟิลิก ( $55 \pm 1^\circ\text{C}$ ) และมีโซฟิลิก ( $35 \pm 1^\circ\text{C}$ ) โดยระบบเอสบีอาร์ โดยพบว่าการเดินระบบแบบขั้นตอนเดียวถึงปฏิกิริยาเทอร์โมฟิลิกสามารถบำบัดซีโอดี ทั้งหมดเช่นเดียวกับถึงปฏิกิริยา มีโซฟิลิก และแบบระบบเอสบีอาร์แบบสองขั้นตอนก็สามารถบำบัดซีโอดีได้ทั้งหมด กลไกการกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการบำบัดด้วยบ่อบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมาแล้ว การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกกรองในระดับอัลตราฟิลเตรชัน โดยใช้เมมเบรน 2 ชนิด คือ เมมเบรนเชิงการค้ำชนิด โพลีซัลโฟน และ เมมเบรนเซลล์ลูโลสไนเตรทที่สังเคราะห์จากการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำสัปปะรด และส่วนที่ 2 กรองด้วยเมมเบรนระดับนาโนฟิลเตรชันจากเมมเบรนเซลล์ลูโลสอะซิเตทที่สังเคราะห์จากโพลีเมอร์ในห้องปฏิบัติการ ผลการศึกษาการกรองน้ำทิ้งที่มีค่าสีซีโอดี และ SS เริ่มต้น 6881 Pt-Co Unit, 1355 mg/L และ 45 mg/L ตามลำดับ โดยใช้อัลตราเมมเบรน (โพลีซัลโฟน) ขนาด 100000 และ 50000 ประสิทธิภาพการกำจัดสีของเมมเบรนขนาด 100000 MWCO เท่ากับ 51% และ 60% และเท่ากับ 61% และ 76% ตามลำดับ

ตารางที่ 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี

ชนิดของน้ำเสีย	ชนิดของขั้วอะลูมิเนียม	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
บำบัดน้ำ ชะขยะ	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์ แบบเซลล์เดี่ยว การทดลอง แบบ Batch ใช้อะลูมิเนียม และเหล็ก เป็นขั้วไฟฟ้าขนาด 9×5 cm	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD สามารถกำจัด COD ได้สูงสุด 50% โดยใช้อะลูมิเนียม และเมื่อใช้ขั้ว เหล็กสามารถกำจัดได้ 35% ความ หนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 348- 631 A/m <sup>2</sup>	Fatih <i>et al.</i> , (2008)
โรงงานตัด โลหะ	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์ แบบอนุกรม การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมและ เหล็ก เป็นขั้วไฟฟ้าขนาด 45×53×3 mm	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD และ TOC สามารถกำจัด COD ได้ สูงสุด 93% และกำจัด ทีโอซี ได้ 78% โดยใช้อะลูมิเนียม และเมื่อ ใช้ขั้วเหล็กสามารถกำจัด COD ได้ 92% และกำจัด TOC ได้ 82% ความ หนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 60 A/m <sup>2</sup>	Kobay <i>et al.</i> , (2008)
โรงงาน อุตสาหกรรม เกี่ยวกับสี	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์ แบบเดี่ยว การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมเป็น ขั้วไฟฟ้าและเหล็ก ขนาด 0.11×0.06 m	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD BOD <sub>5</sub> สี และความขุ่น โดยใช้ ขั้วอะลูมิเนียมร่วมกับเหล็กกำจัดได้ 69% 71% 83% และ 80% ตามลำดับ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 45.45 A/m <sup>2</sup>	Ivonne <i>et al.</i> , (2008)
โรงงานสกัด น้ำมันปาล์ม	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์ แบบขนาน ไบโพลาร์ และ แบบอนุกรม การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมเป็น ขั้วไฟฟ้า ขนาด 6×9 ×0.1 cm	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD และ สี โดยใช้อะลูมิเนียมและ กำจัดได้ COD และ สี สูงสุด 43% และ 72% ตามลำดับโดยจัดเรียงแบบ ขนาน พลังงานไฟฟ้า 14.5 kW/m <sup>3</sup>	อมรภัทร ชูทอง (2550)

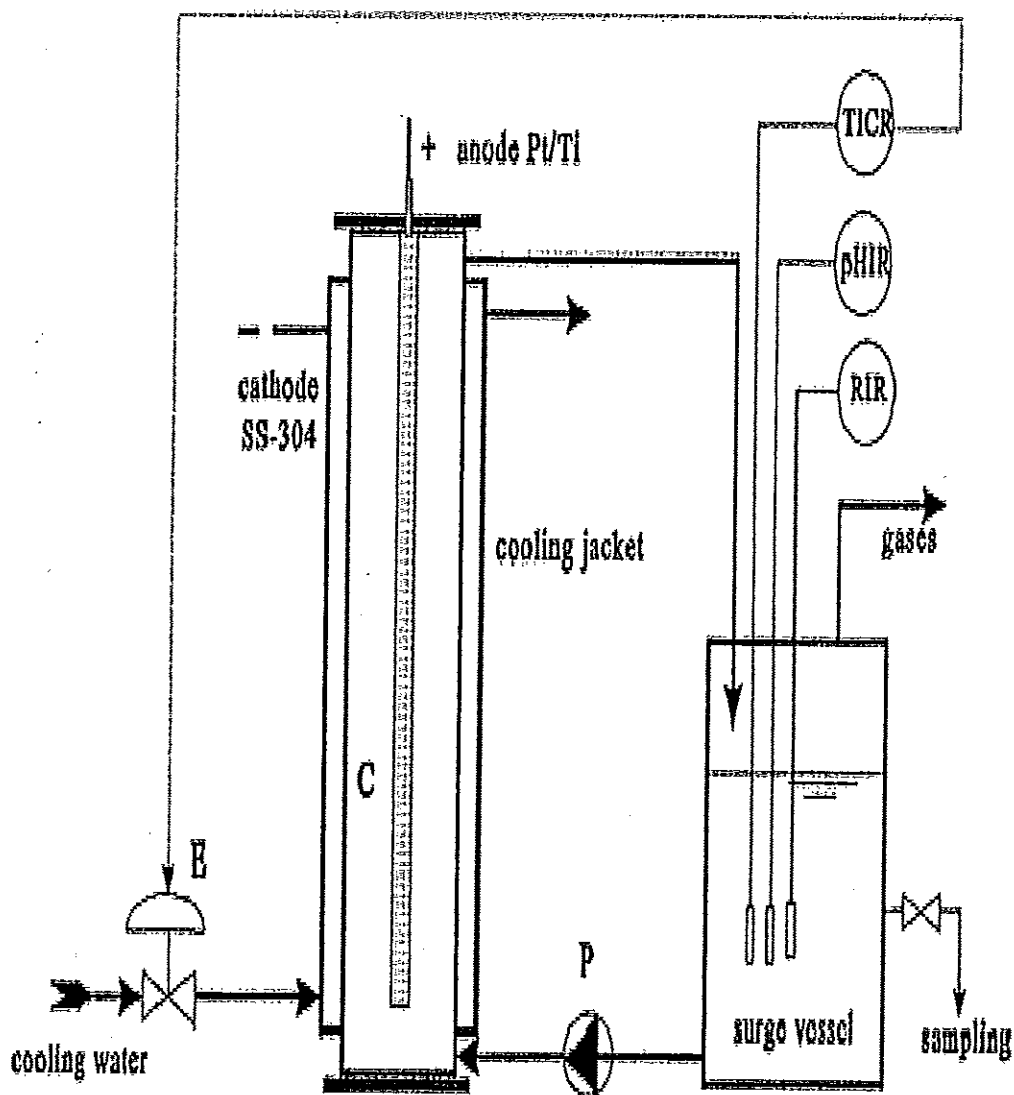


ตารางที่ 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี (ต่อ)

ชนิดของน้ำเสีย	ชนิดของขั้วอะลูมิเนียม	ประสิทธิภาพการบำบัด	อ้างอิง
โรงงานตัดผลปาล์ม	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์แบบเดี่ยว การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ขนาด 100×50×12 mm จำนวน 2 แผ่น ลึก 20 m	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD และความขุ่นกำหนด pH ระหว่าง 6-7 และสามารถกำจัด COD และความขุ่นได้ 92% และ 99% ตามลำดับ	Bensadok <i>et al.</i> , (2008)
โรงงานทำตุ๊กกี้	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์แบบขนาน การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ร่วมกับ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	วัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD และ BOD <sub>5</sub> กำหนด pH 4 และสามารถกำจัด COD ได้ 90% และ BOD <sub>5</sub> กำจัดได้ 96% ส่วนปริมาณตะกอนทั้งหมด กำจัดได้ 95% ตามลำดับ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 18.2 mA/m <sup>2</sup>	Gabriela <i>et al.</i> , (2008)
กำจัดเหล็กจากก๊อกน้ำ	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์เซลล์เดี่ยว การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า ขนาด 0.15×0.1×0.002 m. จำนวน 2 แผ่น	วัตถุประสงค์ต้องการกำจัด เหล็ก และสามารถกำจัดเหล็กได้ 99.2% ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 0.01-0.04 mA/m <sup>2</sup>	Ghosh <i>et al.</i> , (2008)
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันมะกอก	จัดเรียงแบบโมโนโพลาร์เซลล์เดี่ยว การทดลองแบบ Batch ใช้อะลูมิเนียมและเหล็ก เป็นขั้วไฟฟ้า	มีวัตถุประสงค์ต้องการกำจัด COD น้ำมันและไขมัน และความขุ่น สามารถกำจัด COD ได้สูงสุด 86% และน้ำมันและไขมัน และความขุ่นสามารถกำจัดได้ 100% ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า 20-75 mA/cm <sup>2</sup>	Un <i>et al.</i> , (2009)

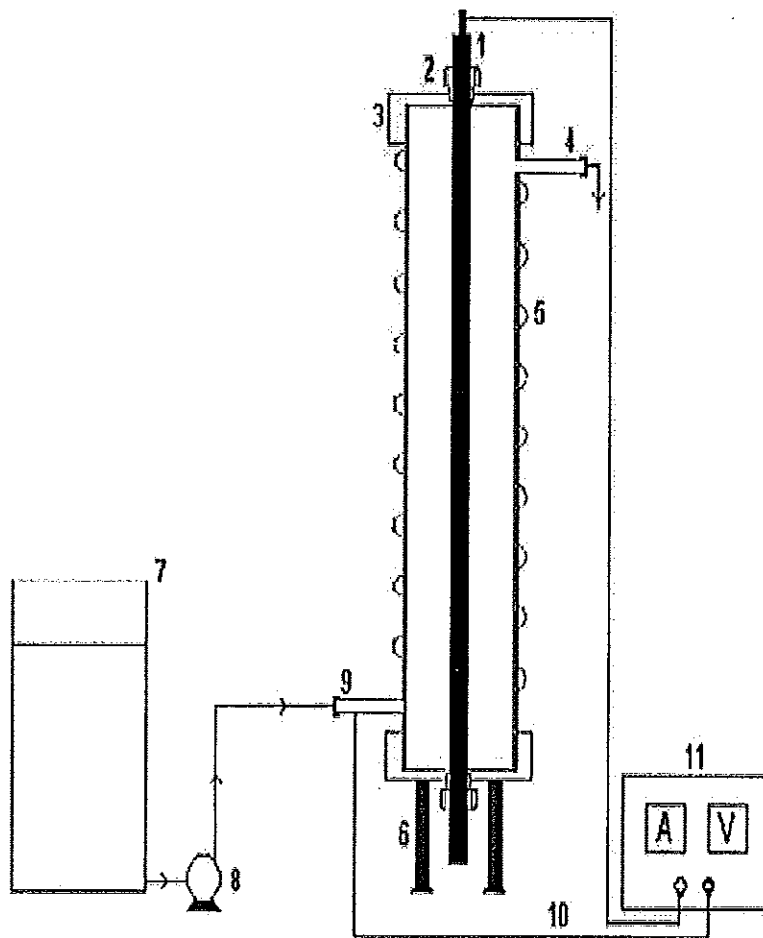
## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมีแบบการเดินระบบต่อเนื่อง

Vlyssides *et al.*, (2002) การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสีข้อมผ้า โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี โดยใช้สแตนเลสสตีล ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และ Titanium มีขนาดความยาว 18 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm เป็นขั้วไฟฟ้า คังภาพที่ 2.10 พบว่าที่ 18 min สามารถบำบัดน้ำเสียโดยลดค่า COD และ BOD<sub>5</sub> ได้สูงสุด 80% และสามารถกำจัดสีได้ 100%



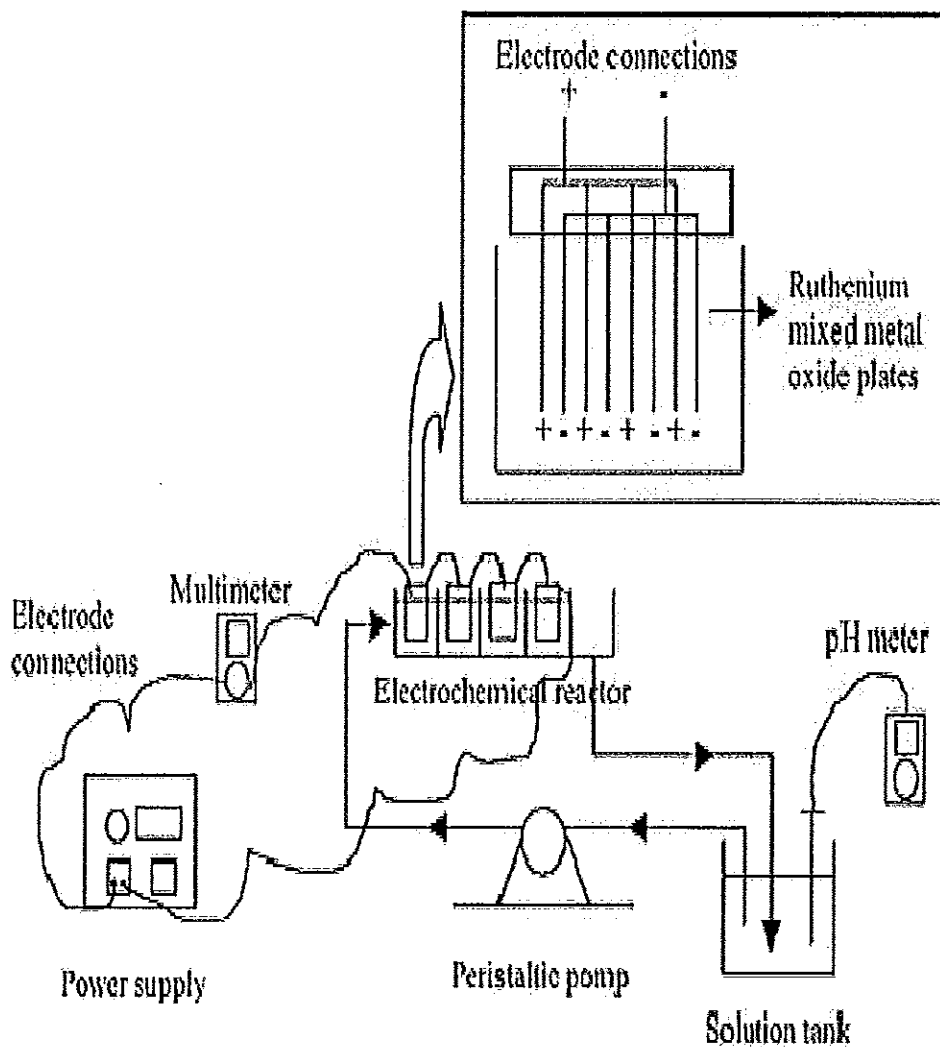
ภาพที่ 2.10 ชุดการทดลองการบำบัดสีข้อมผ้า (1) เซลล์ไฟฟ้าเคมี (2) วาล์ว (3) บีม

Bahadir *et al.*, (2003) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด Phenolic ในน้ำเสียซึ่งใช้ถึงปฏิกิริยาแบบ Turbular และเดินระบบแบบต่อเนื่อง ดังภาพที่ 2.11 ใช้ Stainless-steel เป็นขั้วแอโนดขนาดแผ่น 8.89 cm โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของ Phenol ที่ใช้ 450-3,100 mg/L และพบว่าที่ Current density ที่  $61.4 \text{ mA/cm}^2$  ที่เวลา 40 min และเติม Electrolyte 120 g/L ประสิทธิภาพการกำจัดที่ความเข้มข้น 450 mg/L เป็น 0 mg/L pH ประมาณ 8



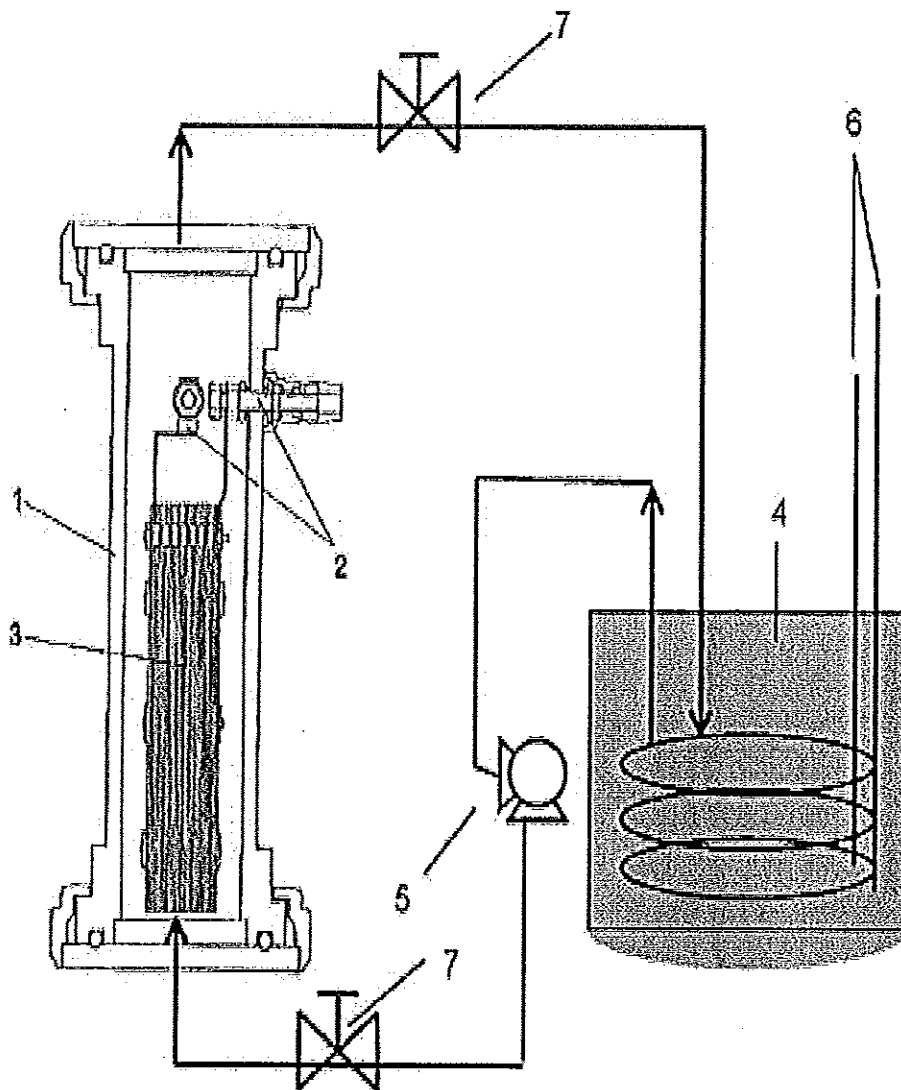
ภาพที่ 2.11 ชุดการทดลองการบำบัด Phenolic (1) ขั้วคาร์บอน (2) สกรู (3) ฝาปิด (4) ท่อน้ำทิ้ง (5) heating/cooling coil (6) ขาดัง (7) ที่เก็บน้ำเสีย (8) ปั๊ม (9) ท่อน้ำเข้า (10) การเชื่อมต่อ และ (11) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า

Yusuf *et al.*, (2006) การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัด Phenol ในน้ำเสียโรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบ Parallel Plate และเดินระบบแบบต่อเนื่อง ดังภาพที่ 2.12 ใช้ Ruthenium และ Metal เป็นขั้วไฟฟ้า ขนาดแผ่น  $3 \times 4$  cm โดยความเข้มข้นเริ่มต้นของ Phenol ที่ใช้ 50 200 และ 500 mg/L โดยมี Current density ที่ 3 5 10 15 และ 20 mA/cm<sup>2</sup> จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัด Phenol เป็น 99.7% ที่ความเข้มข้น 200 mg/L และ COD เป็น 88.9% ที่ความเข้มข้น 480 mg/L ที่ current density 15 mA/cm<sup>2</sup> และพบว่าเมื่อนำมาบำบัดในน้ำเสียโรงงานกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมสามารถกำจัด Phenol เป็น 94.5% และ COD เป็น 70.1%



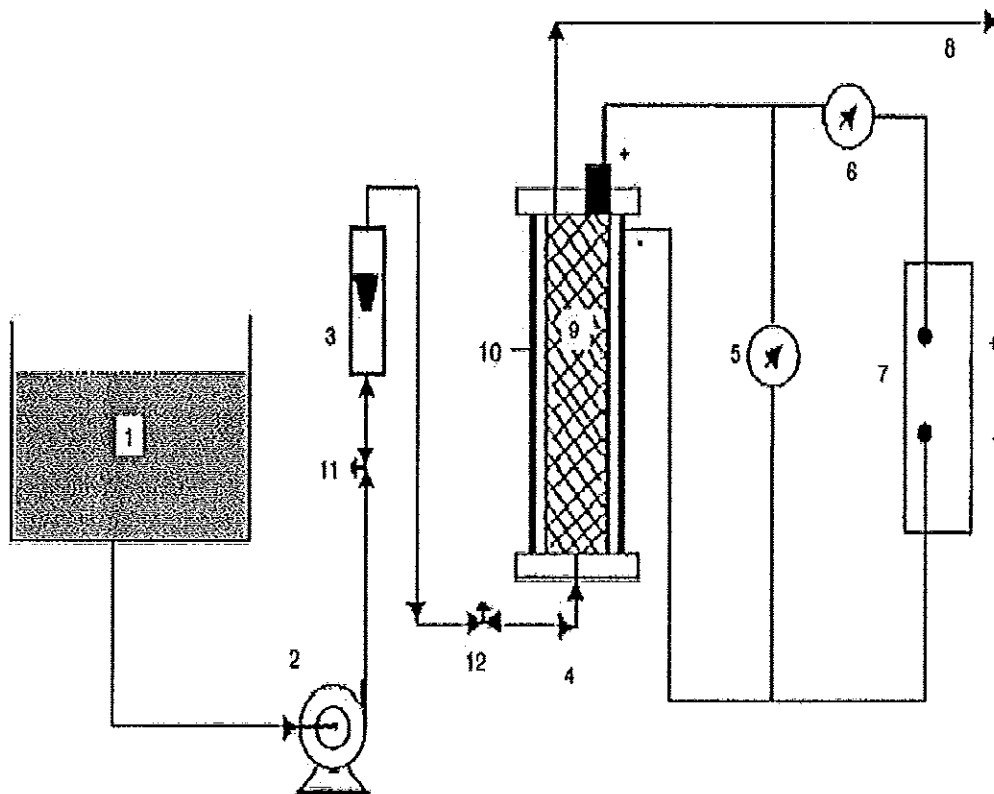
ภาพที่ 2.12 ชุดการทดลองการบำบัด Phenol

Efthalia *et al.*, (2006) การศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากสี้อมและสีทาบ้ำน โดยใช้ Titanium-Tantalum-Platinum-Iridium โดยมีความยาวขนาด 13 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3 cm เป็นขั้วแอโนด และใช้ Stainless - steel โดยมีความยาวขนาด 12 cm และเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 5 cm เป็นขั้วแคโทด ดังภาพที่ 2.13 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 20 A เป็นค่าสูงสุด และมีการเติม electrolyte ของ NaCl โดยความเข้มข้นของสี้อมเริ่มต้น 361 mg/L, COD 281 mg/L และความเข้มข้นของสีทาบ้ำน 404 mg/L เมื่อเวลาผ่านไป 180 min สามารถบำบัดได้ 30-90%



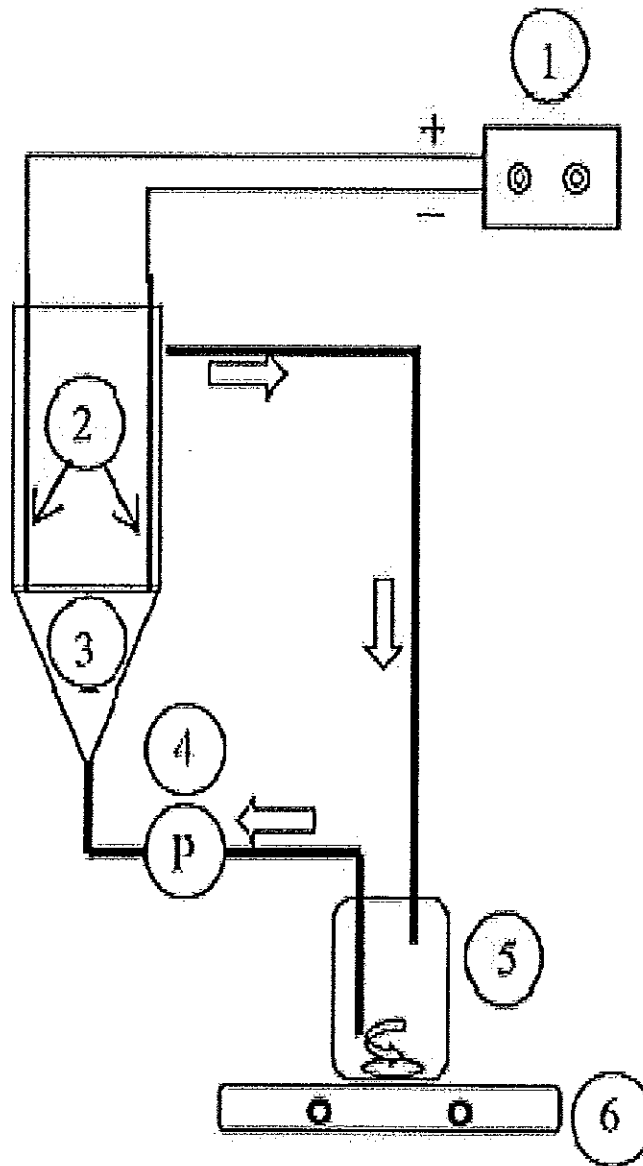
ภาพที่ 2.13 ชุดการทดลองการบำบัดสี้อมและสีทาบ้ำน (1) ขั้วแคโทด (2) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (3) ขั้วแอโนด (4) ถังส่งน้ำ (5) ปั๊ม (6) cooling water (7) วาล์ว

Raghu *et al.*, (2007) การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด Procion Black 5B โดยระบบไฟฟ้าเคมี ซึ่งใช้ถังปฏิกิริยาแบบทรงกระบอกและเดินระบบแบบต่อเนื่อง ดังภาพที่ 2.14 โดยการทดลองจะออกแบบโดยใช้ Current density ที่แตกต่างกันและใช้  $\text{Ti/RuO}_2$  เป็นขั้วแอโนดขนาดความยาว 100 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 cm และใช้ Stainless-steel เป็นขั้วแคโทดขนาดสูง 110 cm และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 100 Amp และค่าความต่างศักย์ 50 Volt สูงสุด โดยมี Current density ที่ 1 1.5 2 และ 2.5  $\text{A/dm}^2$  โดยสามารถลดค่า COD ได้สูงสุด 74.05% และกำจัดสีได้ 100%



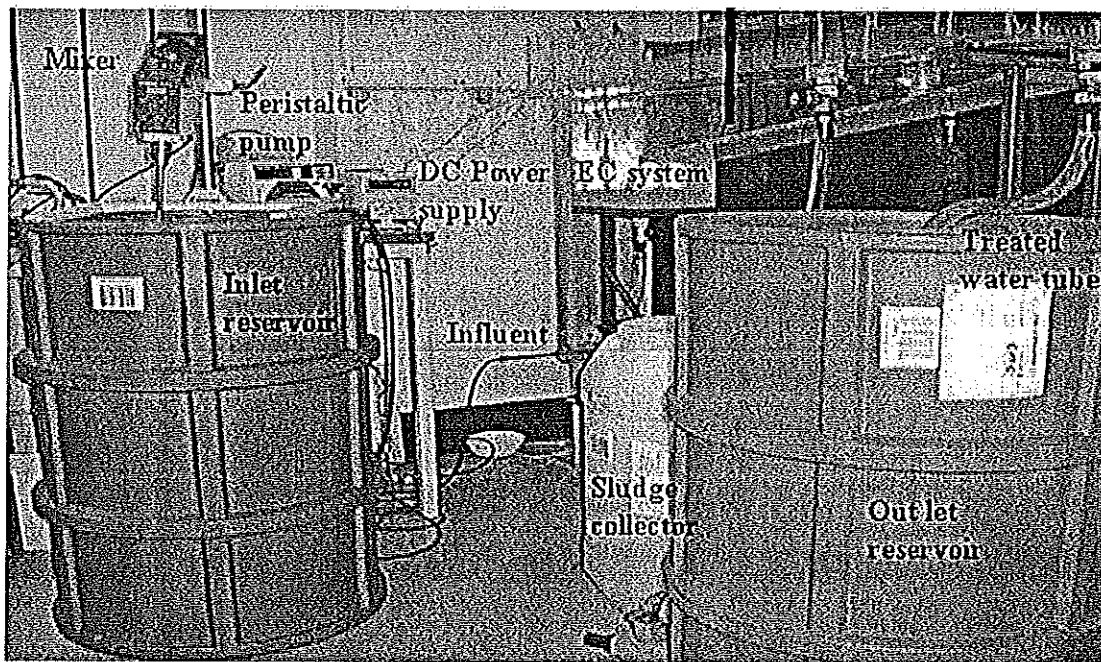
ภาพที่ 2.14 ชุดการทดลองการบำบัด Procion Black 5B (1) ถังน้ำเสีย (2) ปั๊ม (3) มิเตอร์ (4) ขั้วไฟฟ้า (5) มิเตอร์ (6) แอมมิเตอร์ (7) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (8) น้ำทิ้ง (9)  $\text{Ti/RuO}_2$  เป็นขั้วแอโนด (10) Stainless-steel เป็นขั้วแคโทดและ (11) และ (12) วาล์ว

Miao *et al.*, (2008) การศึกษาการแยก Phenol โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี ใช้ Ti/RuO<sub>2</sub>-Pt และใช้ Ti/IrO<sub>2</sub>-Pt เป็นขั้วไฟฟ้า ขนาดแผ่น 15 × 5 cm ใช้พื้นที่แผ่นในการทำปฏิกิริยา 50 cm<sup>2</sup> ระยะห่างระหว่างแผ่น 2 mm ดังภาพที่ 2.15 ในการบำบัดสารพิษพวก Aromatic Compound โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 5 Amp และค่าความต่างศักย์ 50 Volt เป็นค่าสูงสุด โดยพบว่าความเข้มข้นของ Phenol ที่ใช้จาก 8 mg/L เป็น 0 mg/L หลังจากเวลาผ่านไป 30 min และเติม Electrolyte 0.3 g/L NaCl และใช้ current density ที่ 10 mA/cm<sup>2</sup>



ภาพที่ 2.15 ชุดการทดลองการบำบัด Phenol (1) ตัวแปลงกระแสไฟฟ้า (2) ขั้วไฟฟ้า (3) เซลล์ไฟฟ้าเคมี (4) ปั๊ม (5) บีกเกอร์ (6) stirrer

Emamjomeh *et al.*, (2009) การศึกษาการกำจัด Flouride โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี โดยมีการทดลองโดยถึงปฏิกิริยาแบบต่อเนื่อง โดยใช้ Aluminium ขนาด  $950 \times 20 \times 3$  mm จำนวน 2 แผ่น ดังภาพที่ 2.16 โดยใช้ที่กระแสไฟฟ้า 20 Amp เป็นและค่าความต่างศักย์ 18 Volt สูงสุด โดยใช้ current density ที่  $12.5-50 \text{ A/m}^2$  อัตราการไหล  $150-400 \text{ mL/min}$  ใช้ pH 4-8 ซึ่งใช้ความเข้มข้นเริ่มต้น 5-25 mg/L และ pH สุดท้ายอยู่ระหว่าง 6-8 โดยพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด Flouride ได้ 99% ที่  $50 \text{ A/m}^2$



ภาพที่ 2.16 ชุดการทดลองการกำจัด Flouride

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยวิธีการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี ทั้งการเดินระบบแบบกะ (Batch) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเลือกใช้ชนิดของขั้วไฟฟ้าค่ากระแสไฟฟ้า การจัดเรียงอิเล็กโทรด และระยะห่างที่เหมาะสม เพื่อนำมาประยุกต์ในการบำบัด น้ำทิ้งสำหรับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในการทำงานวิจัยในครั้งนี้



## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 แผนการวิจัย

ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยแผนการทดลองในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการใช้ระบบไฟฟ้าเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดค่าสีและซีไอดีให้เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม เพื่อหาประสิทธิภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมจากการเดินระบบแบบกะ (Batch) และนำไปประยุกต์ใช้กับการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองแบบกะ (Batch)

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองและชุดการทดลองของระบบไฟฟ้าเคมี โดยใช้ชุดการทดลองแบบกะ (Batch) ดังภาพที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ซึ่งมีส่วนประกอบของระบบดังนี้

3.2.1 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นกระแสตรง ซึ่งความสามารถของเครื่องที่ใช้สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ จาก 0-50 Volt ระดับกระแสไฟฟ้า 0-10 Amp

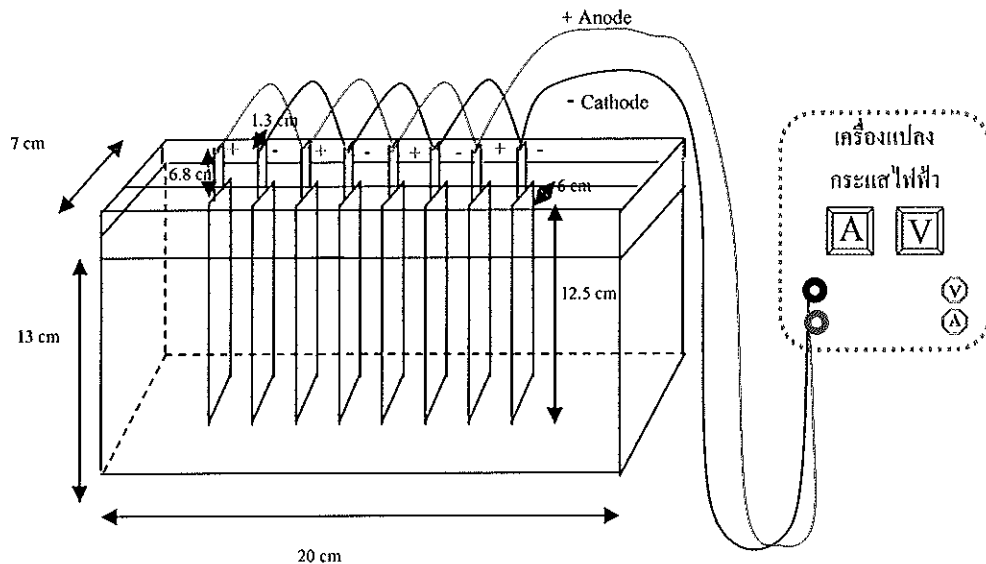
3.2.2 ขั้วไฟฟ้าใช้เป็นแผ่นอะลูมิเนียม เนื่องจากหาง่าย ราคาไม่แพงและไม่ทำให้เกิดสนิม ขนาดที่ใช้  $6 \times 12.5 \times 0.1$  cm พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ซึ่งคิดเฉพาะพื้นที่ของขั้วแอโนดเท่านั้น คิดจากพื้นที่ที่สัมผัสกับน้ำทิ้ง ทำหน้าที่เป็นขั้วกระแสไฟฟ้า โดยมีระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ซึ่งระยะห่างระหว่างแผ่นจะมีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้า หากมีระยะห่างมากทำให้ค่าความต่างศักย์สูงและทำให้ค่าไฟฟ้าสูงตาม ห่างจากกันถึง 0.2 cm โดยไม่มีการกวน ทำการทดลองโดยการจัดเรียงอิเล็กโทรด โมโน โพลาร์แบบขนาน โดยการจัดเรียงแบบดังกล่าวกระแสไฟฟ้าไหลได้ทั่วถึงกันและความต้านทานต่ำ

3.2.3 ทำการทดลองที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ตามลำดับ เนื่องจากได้ทำการทดลองเบื้องต้นและค่าพลังงานไม่สูงมาก หากค่าพลังงานสูงเกินไปทำให้เสียค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วย และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของระยะเวลาโดยไม่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานเกินไป

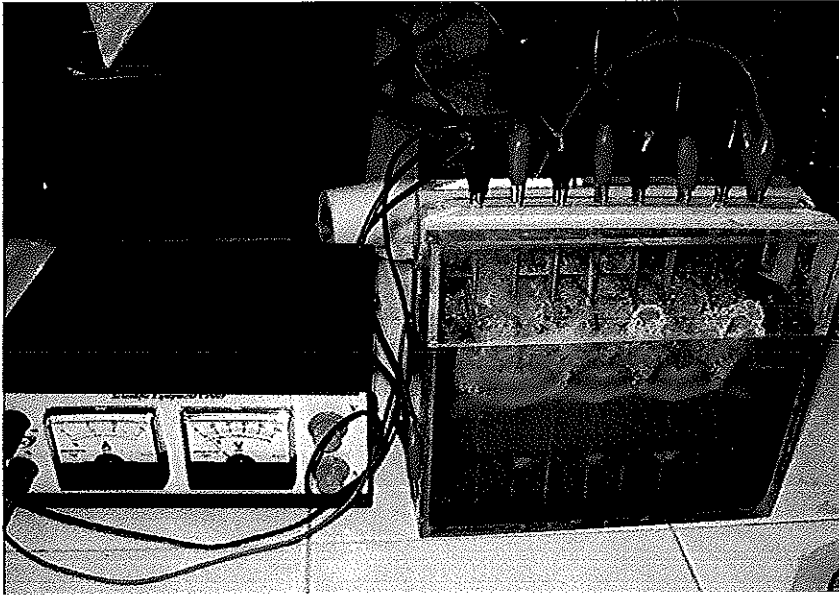
3.2.3 ถังปฏิกริยาใช้ถังอะคริลิกขนาด 7 x 20 x 13 cm ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำการทดลอง 1.3 ลิตร

3.2.5 การเก็บตัวอย่างน้ำทำได้ตตะกอนเป็นเวลา 60 min หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างน้ำไปตรวจวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ

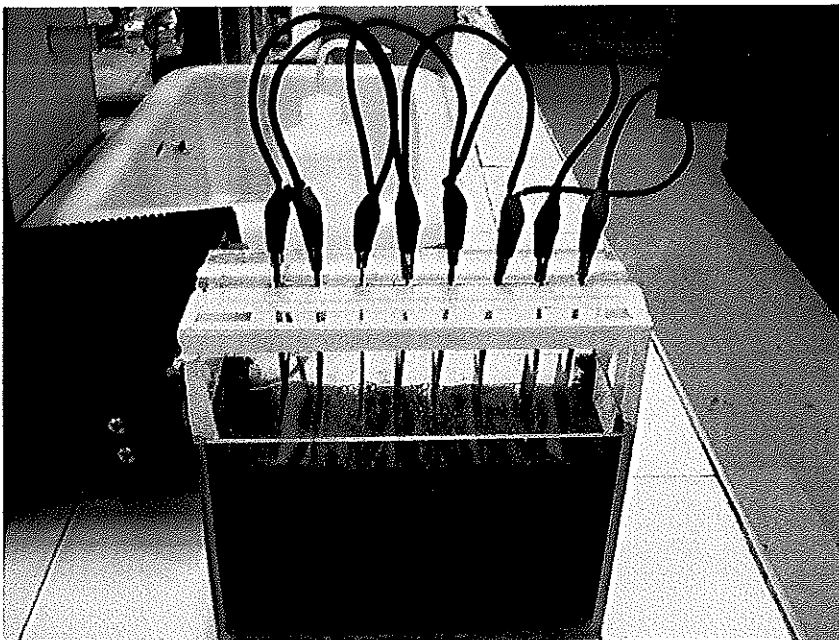
3.2.6 นำตัวอย่างน้ำมาตรวจวิเคราะห์ มีพารามิเตอร์ดังนี้ ตรวจหาปริมาณตะกอน (SV<sub>60</sub>) ส่วนที่เป็นน้ำใสตรวจวิเคราะห์ สี (Color) อุณหภูมิ (Temperature) พีเอช (pH) ของแข็งแขวนลอย (Total Suspended Solids) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) Ultraviolet Absorbance ที่ความยาวคลื่น 254 nm (UV-254) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD<sub>5</sub>) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD) อะลูมิเนียม (Aluminium) และในชั้นตะกอนตรวจวิเคราะห์ ปริมาณตะกอนทั้งหมด (Total Solids) และอะลูมิเนียม (Aluminium)



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองการเดินระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch)

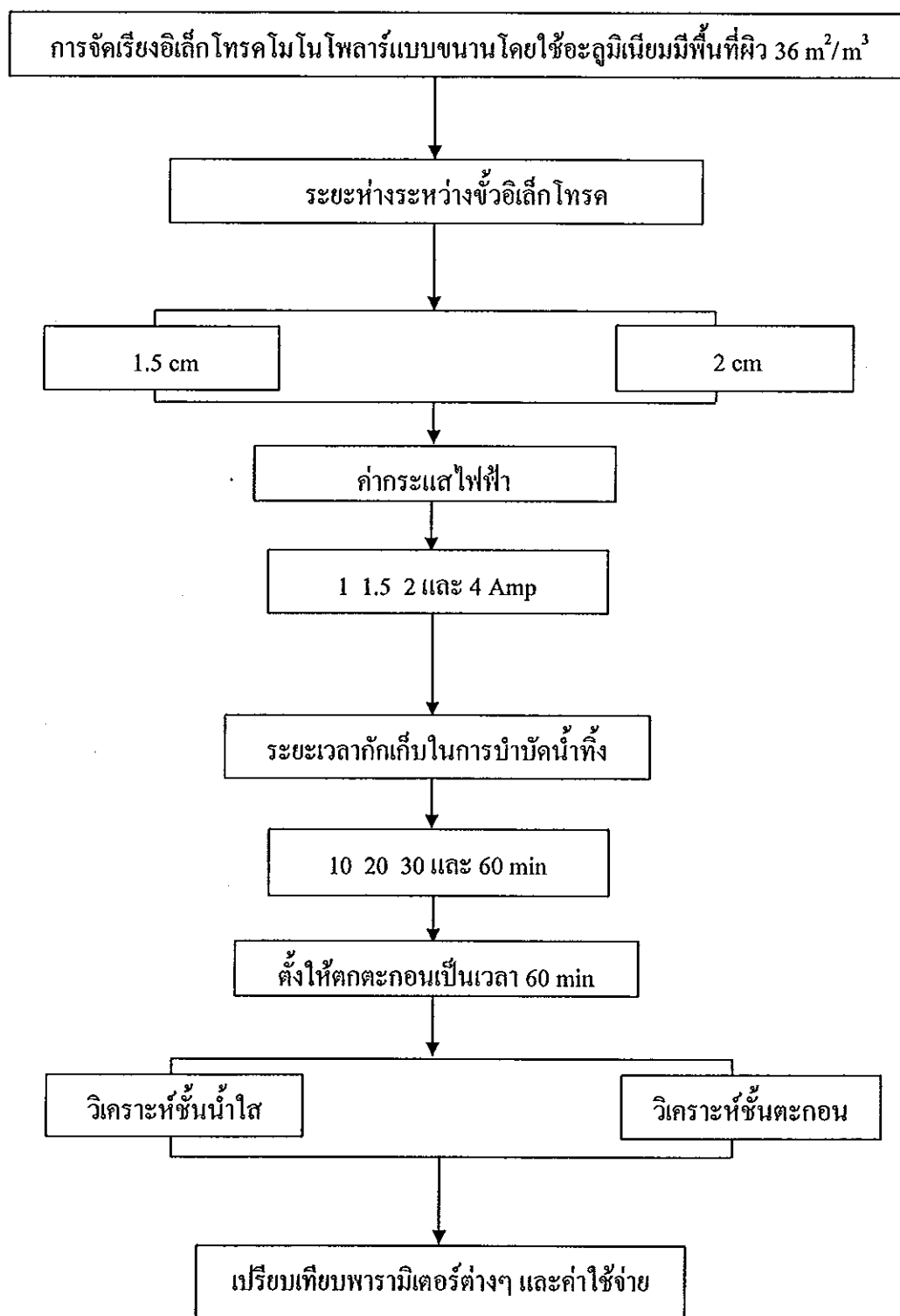


ภาพที่ 3.2 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch)

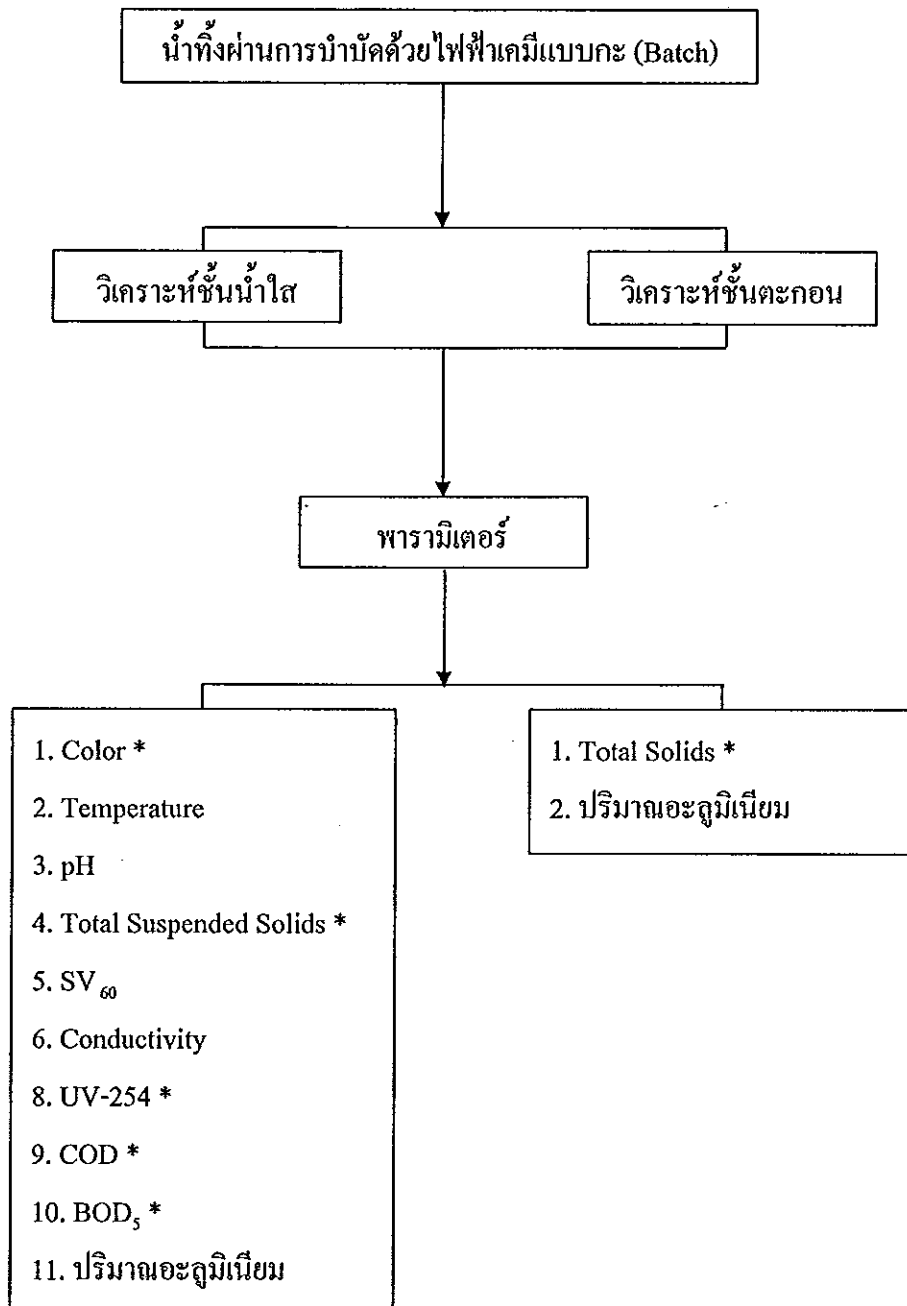


ภาพที่ 3.3 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบกะ (Batch) มีการจัดเรียง อิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน

การทดลองและเปรียบเทียบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในกระบวนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี



ภาพที่ 3.4 หาสภาวะที่เหมาะสมการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 2005

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

3.3.1 การศึกษาได้ใช้แบบจำลองของระบบไฟฟ้าเคมีใช้ชุดการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ซึ่งเป็นการนำค่าที่ดีที่สุดจากการเดินระบบแบบกะ (Batch) มาประยุกต์ใช้ ดังภาพที่ 3.6 3.7 และ 3.8 ซึ่งมีส่วนประกอบของระบบดังนี้

3.3.2 ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นกระแสตรง และสามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จาก 0 - 50 Volt ระดับกระแสไฟฟ้า 0-10 Amp

3.3.3 ขั้วไฟฟ้าใช้แผ่นอะลูมิเนียม ขนาด  $6 \times 12.5 \times 0.1$  cm พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27 และ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ซึ่งคิดจากพื้นที่ที่สัมผัสกับน้ำทิ้งและคิดเฉพาะพื้นที่ของขั้วแอโนดเท่านั้น ทำหน้าที่เป็นขั้วกระแสไฟฟ้าโดยมีระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ทำการทดลองโดยการจัดเรียงอิเล็กโทรดเป็นแบบโมโนโพลาร์แบบขนาน

3.2.3 ทำการทดลองที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3.5 และ 4 Amp ตามลำดับ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 min โดยมีการปรับลดจำนวนแผ่นอะลูมิเนียมเพื่อพิจารณาถึงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

3.3.4 ทำการทดลองโดยการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรม เพื่อพิจารณาถึงค่าขั้วไฟฟ้าที่สูญเสียจากขั้วแอโนดและค่าใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ซึ่งคิดเฉพาะพื้นที่ของขั้วแอโนดเท่านั้น จากพื้นที่ที่สัมผัสกับน้ำทิ้ง ทำหน้าที่เป็นขั้วกระแสไฟฟ้าโดยมีระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm

3.3.5 ทำการทดลองที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 Amp โดยมีการสลับขั้วทุก 10 min และไม่มี การสลับขั้วและสังเกตการกักตัวของแผ่นอะลูมิเนียมเมื่อเทียบกับจัดเรียงอิเล็กโทรดเป็น โมโน โพลาร์แบบขนาน และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 min และมีการเติมเกลือ 1 กรัมต่อลิตรของน้ำทิ้ง เพื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า

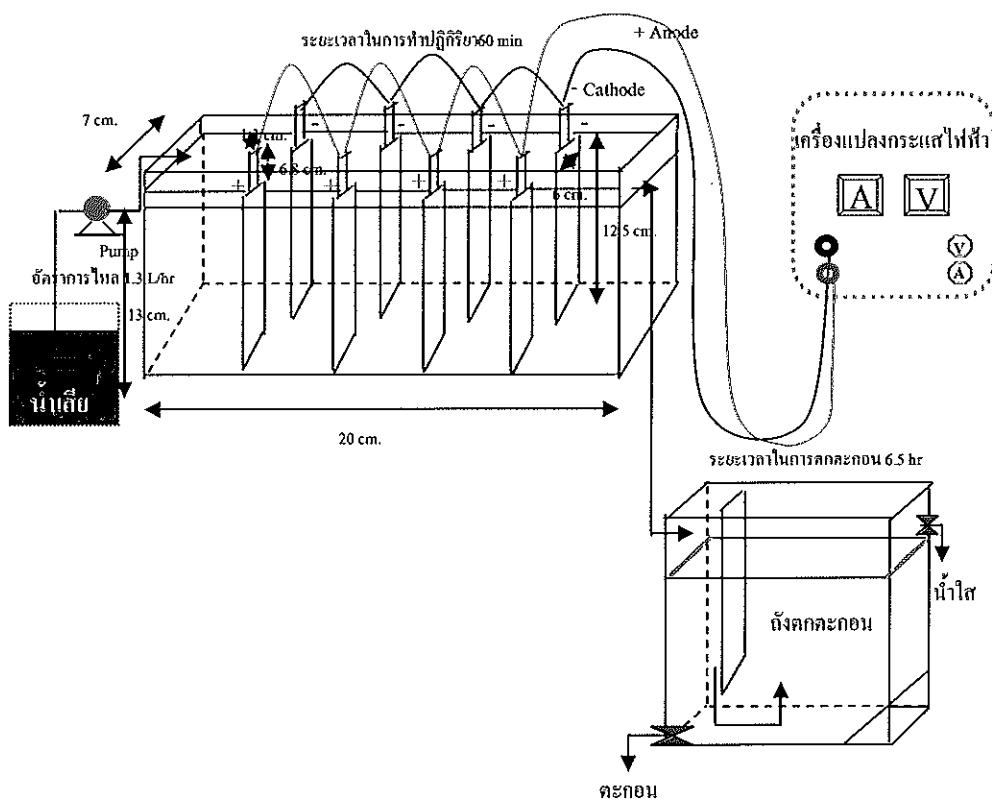
3.3.6 ตั้งปฏิกิริยาใช้ถังอะคริลิกขนาด  $7 \times 20 \times 13$  cm ปริมาณน้ำที่ใช้ 1.3 ลิตร โดยมี อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง

3.3.7 การเดินระบบแบบต่อเนื่องใช้เวลาทั้งหมด 26.5 ชั่วโมง ปริมาณน้ำทิ้งที่ใช้ทั้งหมด 34.45 ลิตร

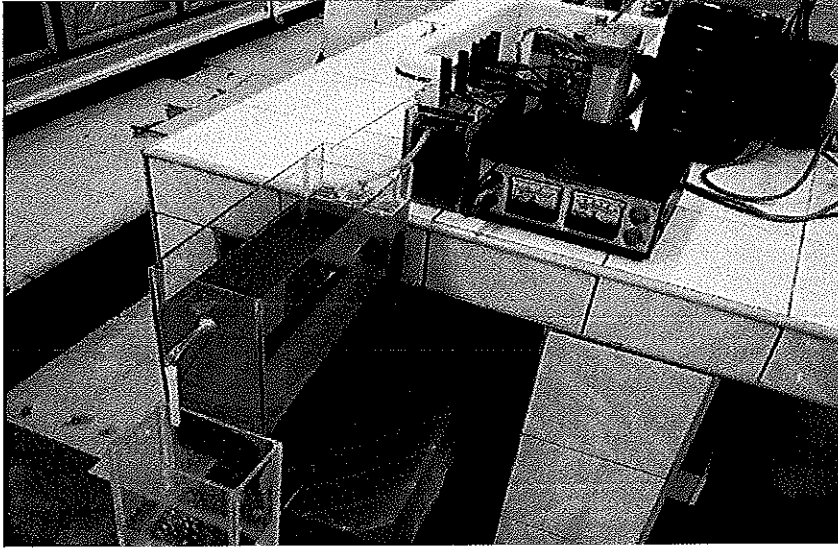
3.3.8 การเก็บตัวอย่างน้ำซึ่งผ่านการตกตะกอน โดยใช้ถังอะคริลิกขนาด  $10 \times 30 \times 35$  cm เป็นเวลา 6.5 ชั่วโมงไปตรวจวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ

3.3.9 นำตัวอย่างน้ำมาตรวจวิเคราะห์ ซึ่งมีพารามิเตอร์ดังนี้ ตรวจหา  $SV_{60}$  ส่วนที่เป็นชั้นน้ำใสตรวจวิเคราะห์ Color Temperature pH Total Suspended Solids Conductivity UV-254  $BOD_5$  COD Aluminium และในชั้นตะกอนตรวจวิเคราะห์ Total Solids และ Aluminium

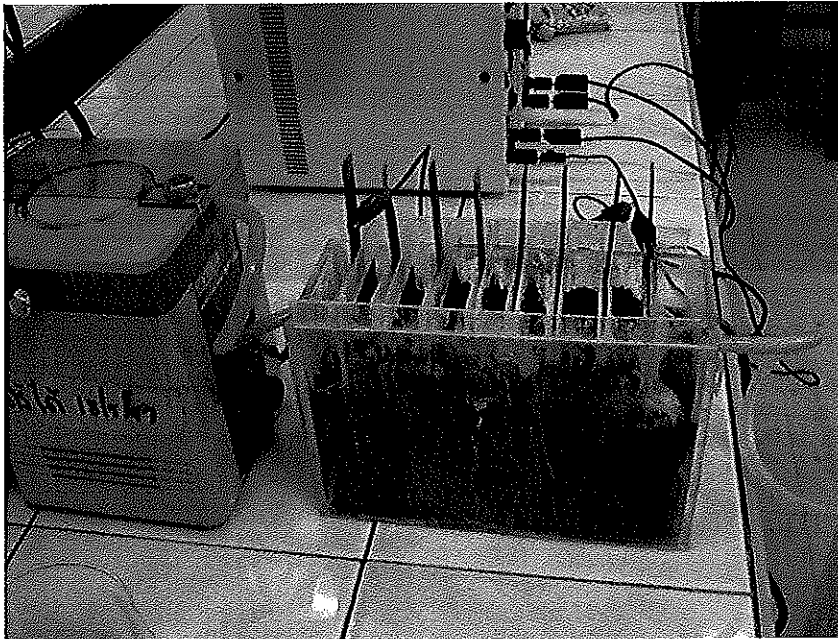
3.3.9 การเตรียมแผ่นอะลูมิเนียม (อมรภัทร ขูทอง, 2551) เพื่อล้างทำความสะอาดเอาสารที่เคลือบบนผิวอะลูมิเนียมออกเตรียมสารละลาย  $Conc.H_2SO_4$  ที่ความเข้มข้น 20% V/V นำแผ่นอะลูมิเนียมมาจุ่มประมาณ 5 นาที และนำไปล้างด้วยน้ำสะอาด ชัดด้วยลวด แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ  $150\text{ }^{\circ}C$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเคซิเตอร์และนำไปชั่งน้ำหนัก



ภาพที่ 3.6 ระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

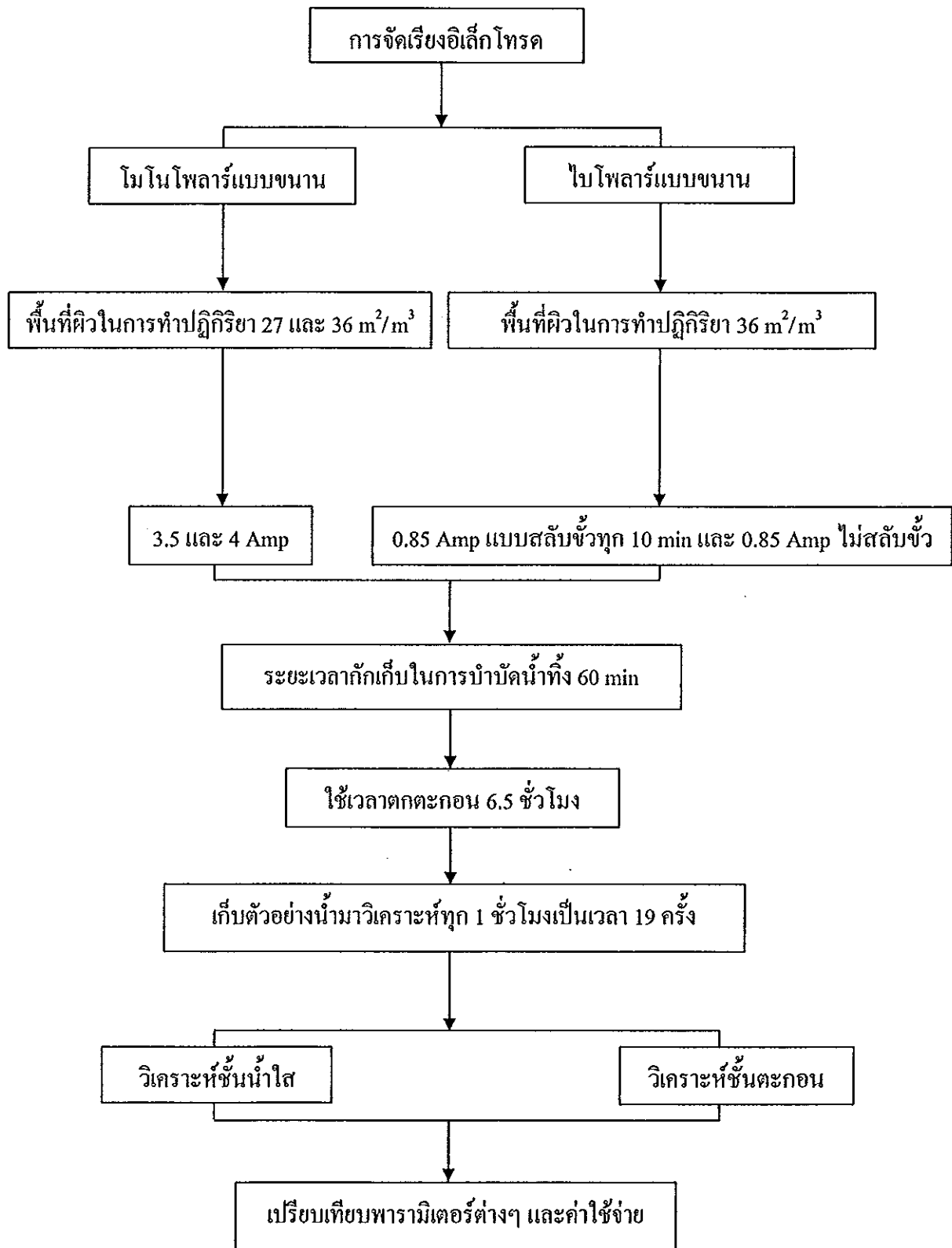


ภาพที่ 3.7 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน

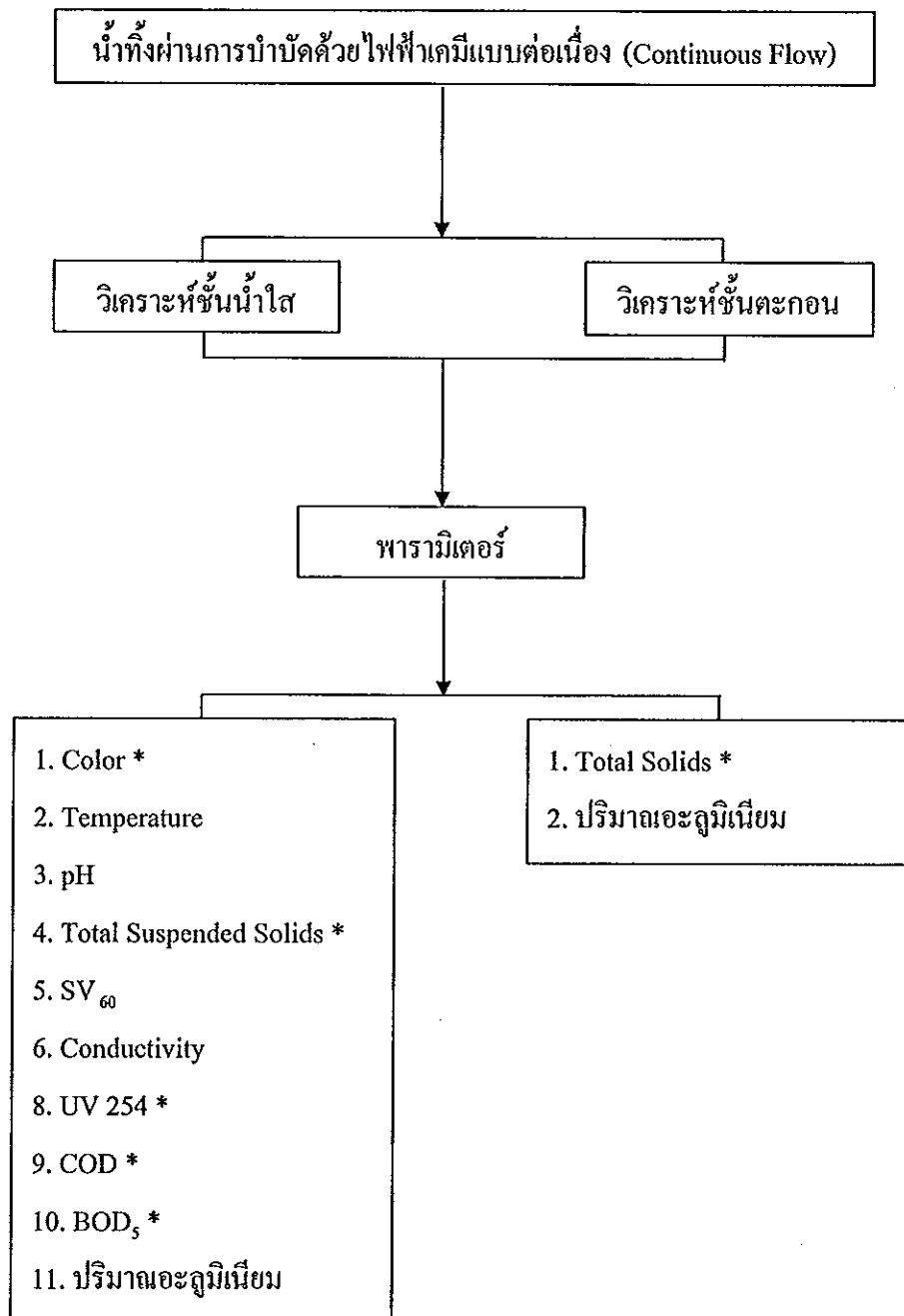


ภาพที่ 3.8 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) มีการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบขนาน





ภาพที่ 3.9 หาสภาวะที่เหมาะสมการบำบัดน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี



ภาพที่ 3.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 2005 \*

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์ตาม Standard method

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
<u>น้ำใส</u>	
1. Color	Spectrophotometric Method
2. Temperature	Thermometer*
3. pH	pH Meter*
4. Total Suspended Solids	Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
5. SV <sub>60</sub>	Imhoff cone
6. Conductivity	Conductivity Meter*
7. UV-254 absorption	UV Spectrometer
8. COD	Closed Reflux, Titrimetric Method
9. BOD <sub>5</sub>	Azide Modification
10. ปริมาณอะลูมิเนียม	Atomic Absorption Spectrophotometry
11. น้ำหนักขี้วอะลูมิเนียมที่ใช้	Weight Balance*
<u>ตะกอน</u>	
1. Total Solids	Total Solids Dried at 103-105°C
2. ปริมาณอะลูมิเนียม	Atomic Absorption Spectrophotometry

\* เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์

ที่มา: APHA, AWWA and WEF, 2005

### 3.4 วิธีการคำนวณค่าไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการสูญเสียของขั้วแวนอด

#### 3.5.1 การคำนวณค่าไฟฟ้าเบื้องต้น

ช่วง off peak ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 1.20 Baht ตั้งแต่เวลา 21.00-09.00 และรวมวันเสาร์-อาทิตย์

ช่วง on peak ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย 2.70 Baht ตั้งแต่เวลา 09.00-21.00

โดยคิดค่าไฟฟ้าจากโรงงานที่ได้ทำการศึกษา การคำนวณค่าไฟฟ้าเลือกใช้ช่วง on peak ซึ่งเป็นช่วงเวลาปกติวันจันทร์-วันศุกร์

$$\text{จำนวนยูนิต (Unit)} = (\text{Watt} \cdot \text{hr}) / 1000$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า (Baht)} = \text{จำนวนยูนิต (Unit)} \times \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยเฉลี่ย 2.70 (Baht)}$$

#### 3.5.2 การคำนวณค่าขั้วไฟฟ้าของขั้วแวนอด ค่าอะลูมิเนียม 40.55 Baht/m<sup>2</sup> อะลูมิเนียม

ขนาด 6 x 12.5 x 0.1 cm ราคา 0.34 Baht

น้ำหนักอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแวนอด = น้ำหนักเริ่มต้น - น้ำหนักหลังการบำบัด

ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียม (Baht) =

$$\frac{\text{น้ำหนักอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแวนอด} \times \text{ราคา (1.36 Baht)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้นของอะลูมิเนียมของขั้วแวนอด}}$$

3.5.3 การเดินระบบแบบต่อเนื่องที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 Amp ทั้งแบบที่มีการสลัดขั้วและแบบไม่สลัดขั้ว ค่าเกลือกิโลกรัมละ 5.67 Baht ซึ่งมีการเติมเกลือ 1 กรัมต่อลิตรของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

\* ไม่คำนวณค่าใช้จ่ายการส่งตะกอน ไปกำจัด

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิจารณ์

ศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยแผนการทดลองในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้เป็นการใช้ระบบไฟฟ้าเคมี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อบำบัดค่าสีและซีไอดี เพื่อหาประสิทธิภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมจากการเดินระบบแบบกะ (Batch) และนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากระบบแบบกะ (Batch) ไปประยุกต์ใช้กับการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 2 และ 3

พารามิเตอร์	ผลการทดลอง		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
SV <sub>60</sub> (mL/L)	1	1	1
pH	7.8	8.4	8.4
Temperature (°C)	28	28	28
Color (Pt-Co)	804	322	812
Conductivity (mS/cm)	6.6	5.6	8.1
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	66	28	48
COD (mg/L)	2,715	800	1,430
TSS (mg/L)	3,160	540	650
TS (mg/L)	7,170	7,595	7,107
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	1.34	0.77	1.22

การเก็บตัวอย่างน้ำทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 3 ครั้ง

ทำเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 เดือนพฤษภาคม 2552

ทำเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เดือนมีนาคม 2553

ทำเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3 เดือนสิงหาคม 2553

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1.5, 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm

ระยะห่างระหว่างขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (amp)	ความถี่ (Hz)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	SV60 (mL/L)	pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	% COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	BOD <sub>5</sub> : COD	% TSS Removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal	TS (mg/L)	AI 1.411 (mg/L)	AI Inactivation (mg/kg)	
1.5	1	2	1.5	10	13	8.6	28	7.3	673	16	2,468	9	42	36	900	0.02	72	0.96	28	8,990	0.85	296.29	
				20	100	8.6	29	7.4	522	35	2,468	9	36	45	36	700	0.02	78	0.94	30	19,310	1.38	432.47
				30	120	8.7	29	7.6	418	48	1,974	27	34	48	34	600	0.02	81	0.82	39	21,950	1.77	512.74
				60	180	8.8	29	7.2	262	67	1,728	36	33	50	33	580	0.02	82	0.77	43	22,680	2.14	699.41
				10	68	8.4	28	7.3	565	16	1,481	27	40	39	40	820	0.02	74	0.74	45	13,970	1.14	245.44
				20	145	8.5	28	7.3	364	55	1,481	27	36	45	27	36	780	0.02	75	0.72	46	20,040	2.84
	2	3	4.6	30	230	8.5	29	7.2	280	65	1,234	32	28	58	28	640	0.02	80	0.68	49	22,130	3.60	835.07
				60	400	8.6	30	6.5	73	91	1,174	51	24	64	24	480	0.02	85	0.64	52	26,680	5.49	924.34
				10	94	8.5	28	7.3	524	35	1,728	36	37	44	37	740	0.02	77	0.76	43	12,400	2.83	465.18
				20	190	8.5	29	7.2	348	57	1,728	36	30	55	30	480	0.02	85	0.73	46	16,840	6.53	777.50
				30	330	8.6	29	7.2	168	79	1,654	39	29	56	29	380	0.02	88	0.65	51	18,890	7.51	854.64
				60	540	8.6	30	6.4	51	94	1,629	55	20	70	20	320	0.02	90	0.56	58	19,570	14.15	1336.79
4	3	9.6	10	300	8.6	28	7.8	254	68	379	86	38	42	1,200	0.10	62	0.38	72	10,080	1.51	615.70		
			20	495	8.6	29	7.3	80	90	379	86	35	47	35	840	0.09	73	0.35	74	15,720	2.81	703.80	
			30	720	8.5	29	6.7	60	93	326	88	25	62	25	740	0.08	77	0.35	74	15,670	7.38	738.40	
			60	750	8.7	32	6.1	21	97	136	95	14	79	14	720	0.10	77	0.26	81	18,650	4.62	1,946.00	

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

ระยะห่างขั้วอิเล็กโทรด (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความถี่ (Hz)	ปริมาณไฟฟ้า (kWh/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	SV60 (mL/L)	pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	% COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	BOD <sub>5</sub> : COD	TSS (mg/L)	% TSS Removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal	TS (mg/L)	AI ใหญ่ (mg/L)	AI ใหญ่ (mg/L)	
2.0	1	2	1.5	10	34	7.5	28	6.4	620	23	2,668	2	60	9	0.02	700	78	0.95	29	10,220	0.90	236.87	
				20	92	7.7	28	6.5	471	41	2,401	12	36	45	36	0.02	620	80	0.86	36	17,780	0.92	747.07
				30	130	7.8	28	6.4	344	57	2,134	21	34	48	34	0.02	520	84	0.83	38	19,760	2.05	873.42
				60	190	7.8	29	6.4	185	77	2,001	26	32	52	32	0.02	460	85	0.83	38	20,280	2.47	803.57
				10	72	7.5	27	6.6	538	33	2,241	12	44	33	44	0.02	620	80	0.81	40	15,380	1.67	291.40
				20	190	7.8	28	6.7	398	51	2,134	21	33	50	33	0.02	600	81	0.80	40	18,860	3.13	790.71
	1.5	2	2.3	30	200	7.8	28	6.7	6.7	256	68	1,600	41	29	56	0.02	500	84	0.73	46	19,140	4.34	858.15
				60	270	7.8	30	6.7	89	89	1,067	61	13	80	13	0.01	300	91	0.64	52	20,410	6.86	1,003.57
				10	98	7.8	29	6.7	450	44	2,268	16	39	41	39	0.02	680	78	0.84	37	17,910	3.85	656.76
				20	155	7.8	29	6.7	324	60	1,601	41	31	53	31	0.02	540	83	0.72	46	19,750	8.84	697.13
				30	200	7.8	30	6.2	169	79	1,467	46	15	77	15	0.01	500	84	0.72	46	20,090	8.96	1,175.23
				60	500	7.8	30	6.0	40	95	1,067	61	12	82	12	0.01	260	92	0.64	52	22,520	14.44	2,070.79
2	3	4.6	10	275	7.9	29	7.6	153	81	407	85	33	50	0.08	1,020	68	0.34	75	16,470	1.20	675.40		
			20	350	8.1	29	7.3	81	90	217	92	24	64	24	0.11	990	69	0.33	75	16,830	2.40	868.70	
			30	700	8.3	29	6.5	48	94	163	94	23	65	23	0.14	880	72	0.27	80	18,530	2.62	1,431.00	
			60	750	9.0	30	6.2	15	98	81	81	97	13	80	0.16	760	76	0.25	81	21,660	5.59	1,743.00	
			10	275	7.9	29	7.6	153	81	407	85	33	50	33	0.08	1,020	68	0.34	75	16,470	1.20	675.40	
			20	350	8.1	29	7.3	81	90	217	92	24	64	24	0.11	990	69	0.33	75	16,830	2.40	868.70	
4	3	9.6	30	700	8.3	29	6.5	48	94	94	163	94	23	0.14	880	72	0.27	80	18,530	2.62	1,431.00		
			60	750	9.0	30	6.2	15	98	81	97	13	80	0.16	760	76	0.25	81	21,660	5.59	1,743.00		
			10	275	7.9	29	7.6	153	81	407	85	33	50	33	0.08	1,020	68	0.34	75	16,470	1.20	675.40	
			20	350	8.1	29	7.3	81	90	217	92	24	64	24	0.11	990	69	0.33	75	16,830	2.40	868.70	
			30	700	8.3	29	6.5	48	94	163	94	23	65	23	0.14	880	72	0.27	80	18,530	2.62	1,431.00	
			60	750	9.0	30	6.2	15	98	81	81	97	13	80	0.16	760	76	0.25	81	21,660	5.59	1,743.00	

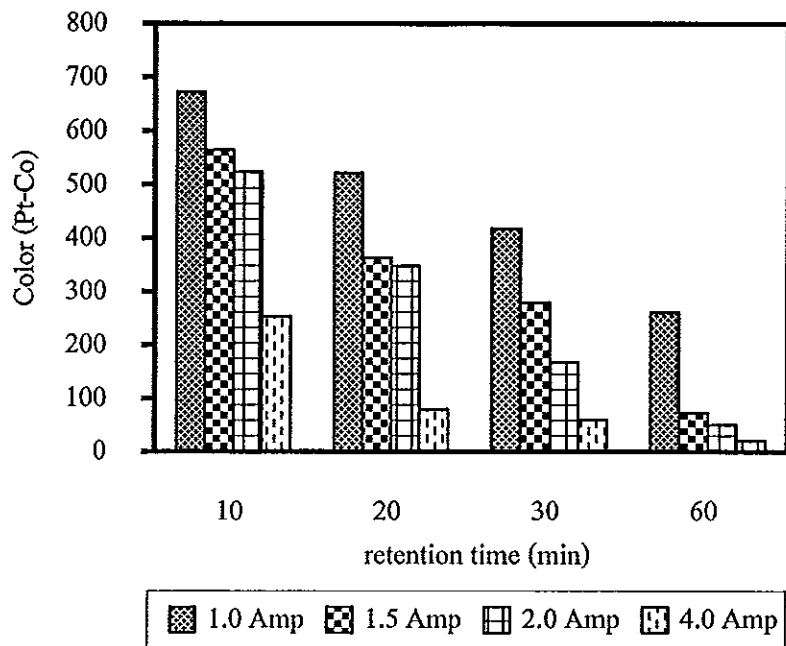
#### 4.1 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยการเดินระบบแบบกะ (Batch)

ผลการทดลองน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ซึ่งเป็นการเดินระบบแบบกะ (Batch) โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp พื้นที่ผิวใช้ทำปฏิกิริยาของขั้วแอโนด  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนไฮดรอกไซด์แบบขนาน ใช้เวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ซึ่งใช้ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดของแผ่นอะลูมิเนียมที่ 1.5 และ 2 cm การทดลองใช้ตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 คุณลักษณะดังตารางที่ 4.1 ของการทดลองแบบกะ (Batch)

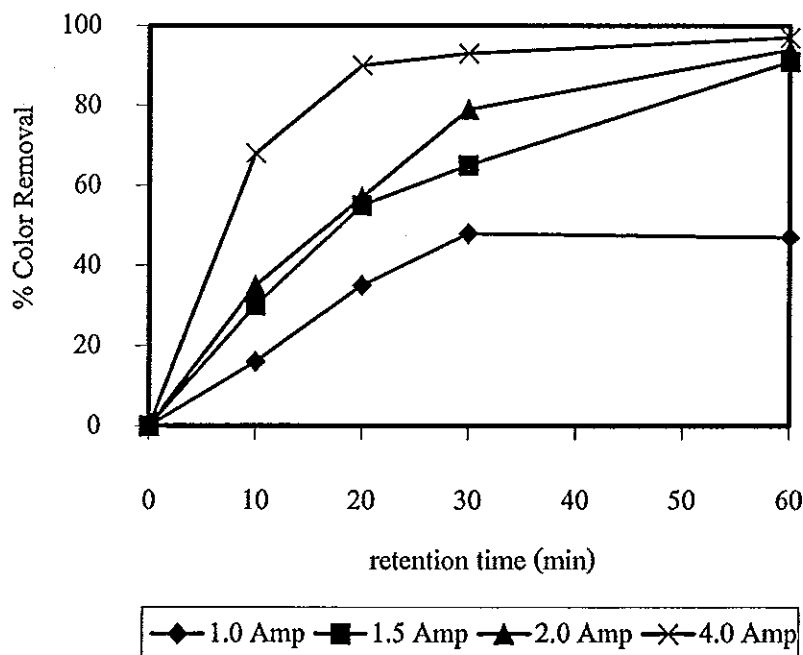
##### 4.1.1 ที

จากการทดลอง พบว่าค่าสีเริ่มต้นของตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บครั้งที่ 1 ก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีเท่ากับ 804 Pt-Co โดยสีที่เห็นด้วยตาเปล่าเป็นสีน้ำตาลเข้มดังภาพที่ 4.1- 4.4 เมื่อมีการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีซึ่งมีการปรับค่ากระแสไฟฟ้าตั้งแต่ที่ 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ระยะห่าง 1.5 และ 2 cm ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยไฟฟ้าเคมีที่ 1 Amp เวลา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm ประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ในช่วง 16-76% และเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาเก็บ 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ในช่วง 16-98% น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีค่าสีที่สูงเนื่องจากมีสารประกอบอินทรีย์พวก Polyaromatic compounds สูง (Sonia *et al.*, 2007) โดยระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดก็มีผลต่อการจับตัวของฟล็อก (Ghosh *et al.*, 2008) เมื่อมีระยะห่างมากก็ทำให้การเคลื่อนที่ของ อีออนช้าลงและมีผลทำให้เกิดการจับตัวของฟล็อกเพิ่มขึ้น และสีของน้ำทิ้งเกิดจากสารอินทรีย์ที่มีประจุเป็นลบ ดังนั้นเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดการแตกตัวของอีออนอะลูมิเนียมในรูปของ  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  แล้วรวมกับ  $\text{OH}^-$  ได้ผลิตภัณฑ์เป็น  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนของอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ละลายน้ำได้น้อยมีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่สามารถดูดซับประจุลบได้ดี และทำให้น้ำที่เป็นสาร โคแอก กูแลนที่จับกับ โมเลกุลของสีในน้ำทิ้ง และเกิดการตกตะกอนจึงทำให้สีของน้ำลดลง (อมรภัทร ชูทอง, 2551) ซึ่งพบว่าค่าสีลดลงเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ 4.5-4.12

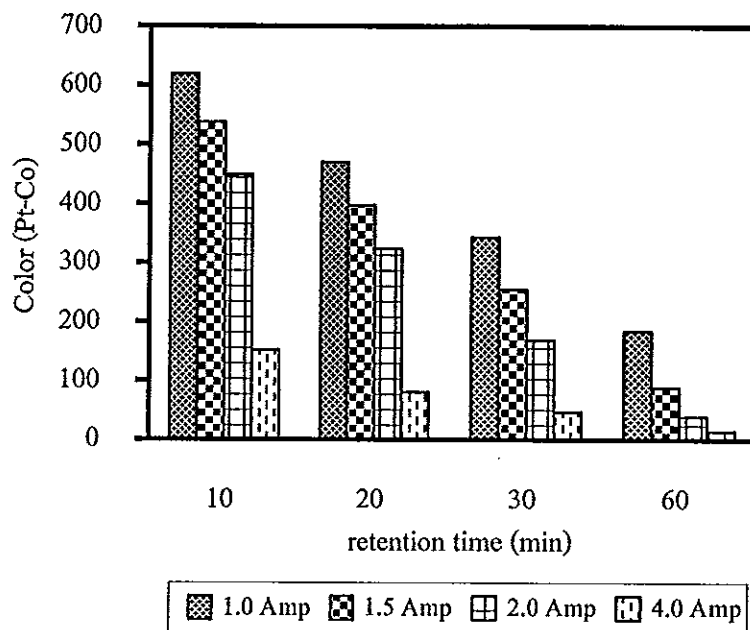




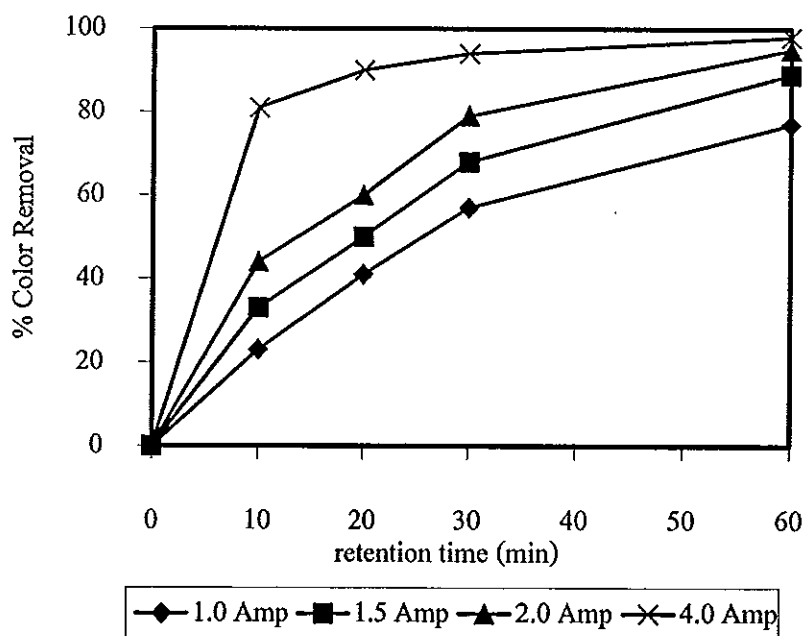
ภาพที่ 4.1 ค่า Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการกำจัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



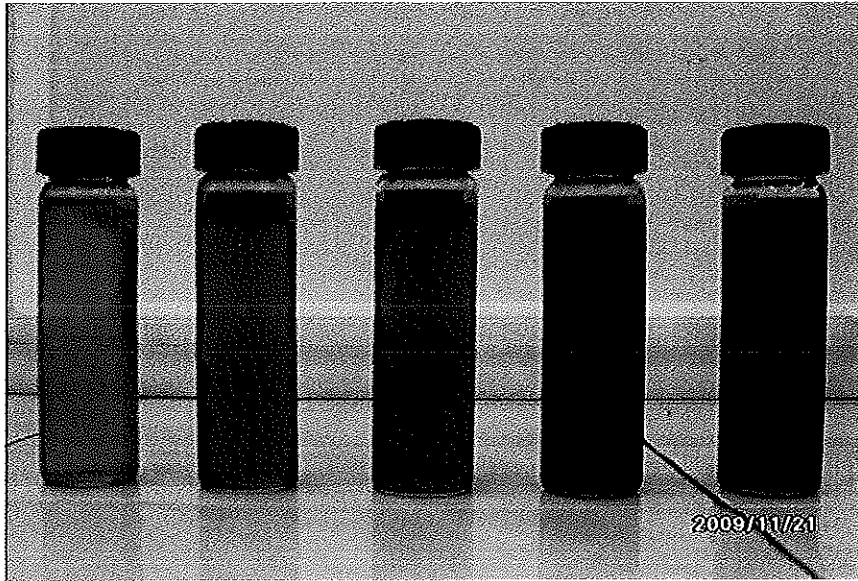
ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัด Color ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



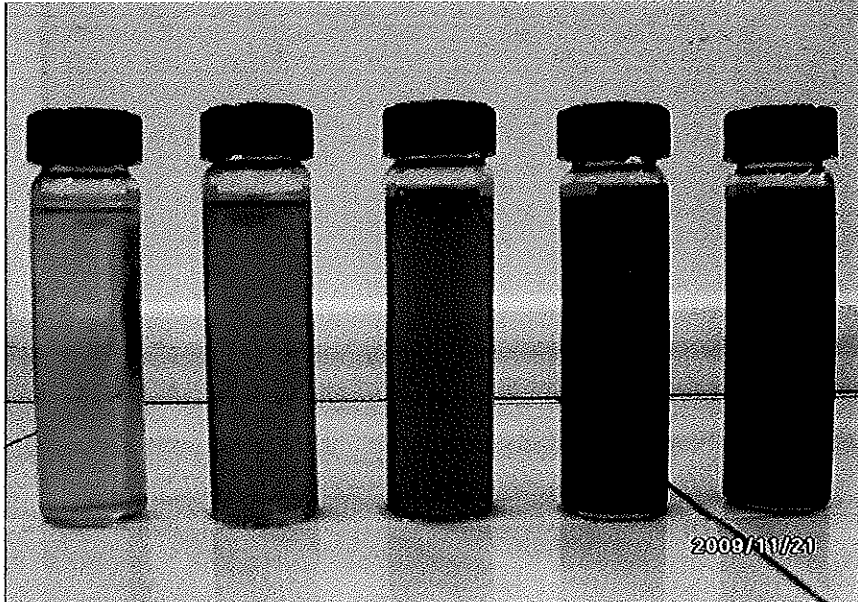
ภาพที่ 4.3 ค่า Color ของน้ำที่จกจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



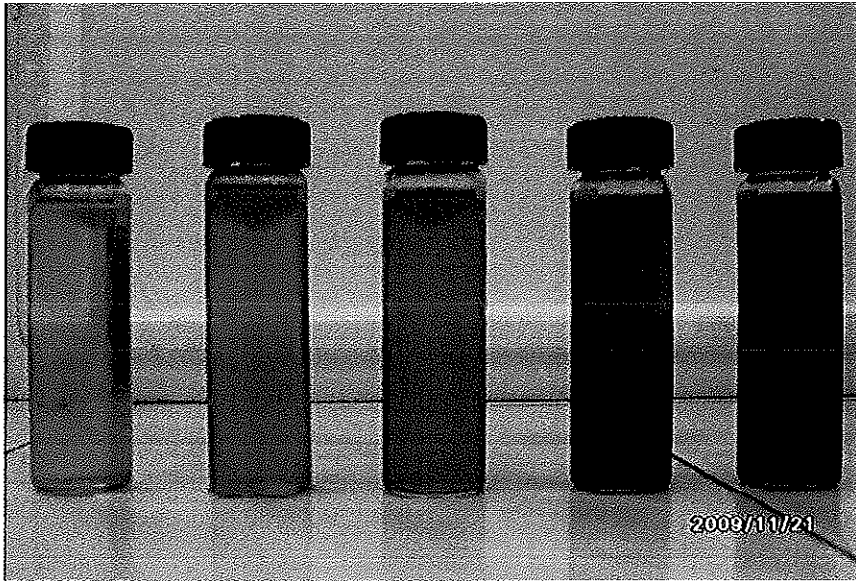
ภาพที่ 4.4 ประสิทธิภาพการกำจัด Color ของน้ำที่จกจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



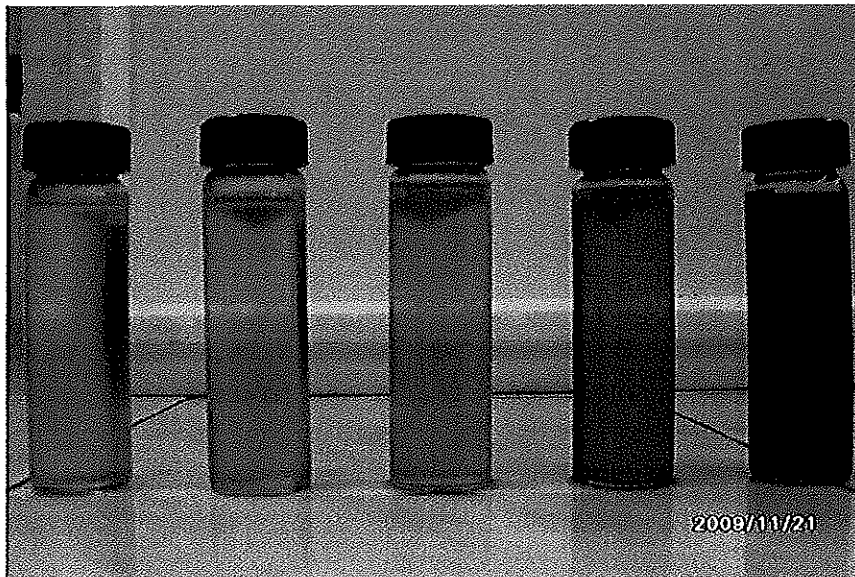
ภาพที่ 4.5 น้ำที่จกโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาที่เก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำที่ก่อก่อนการบำบัด



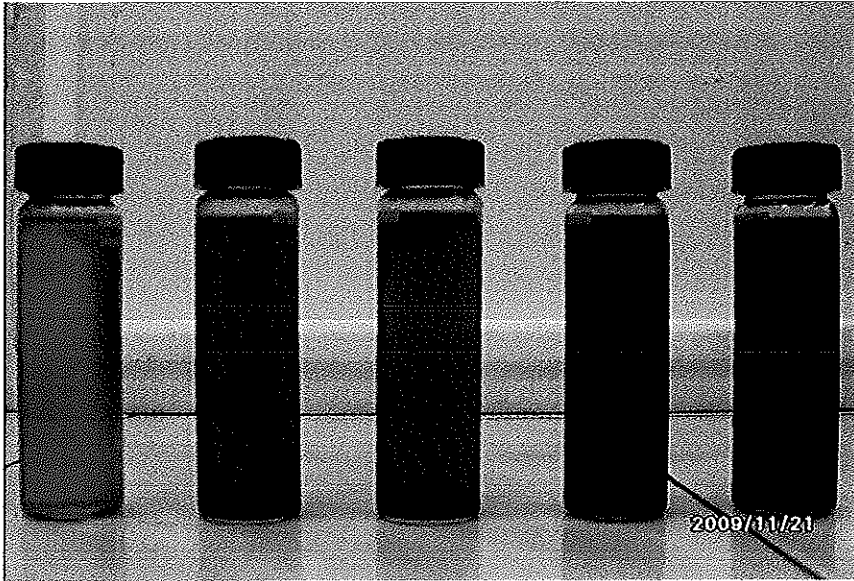
ภาพที่ 4.6 น้ำที่จกโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1.5 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาที่เก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำที่ก่อก่อนการบำบัด



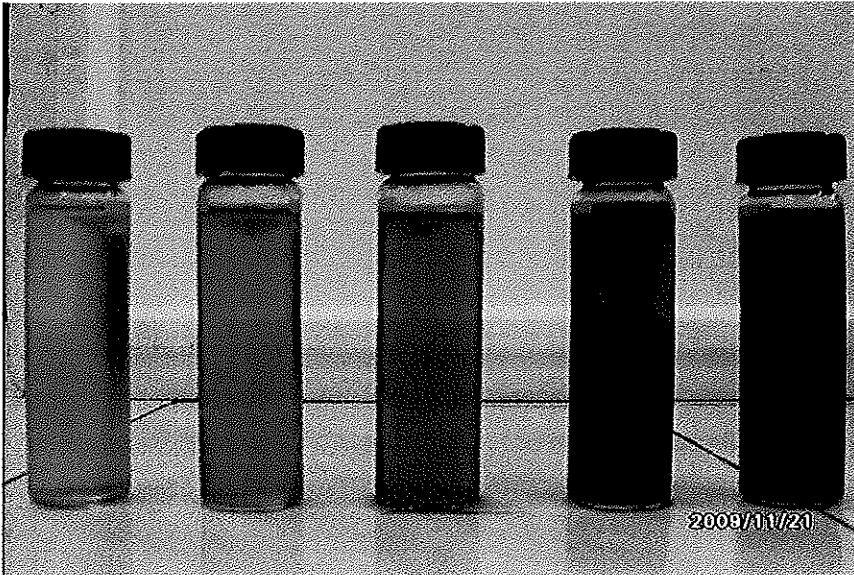
ภาพที่ 4.7 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 2 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด



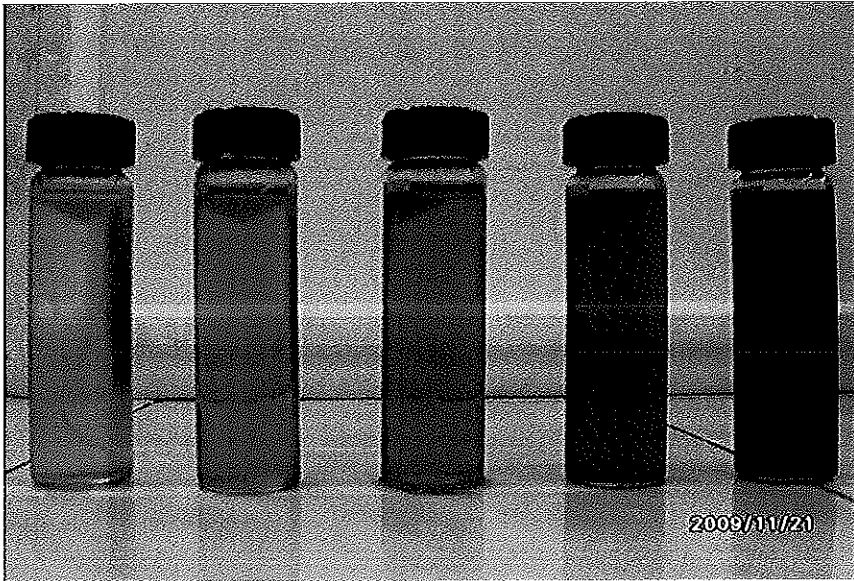
ภาพที่ 4.8 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด



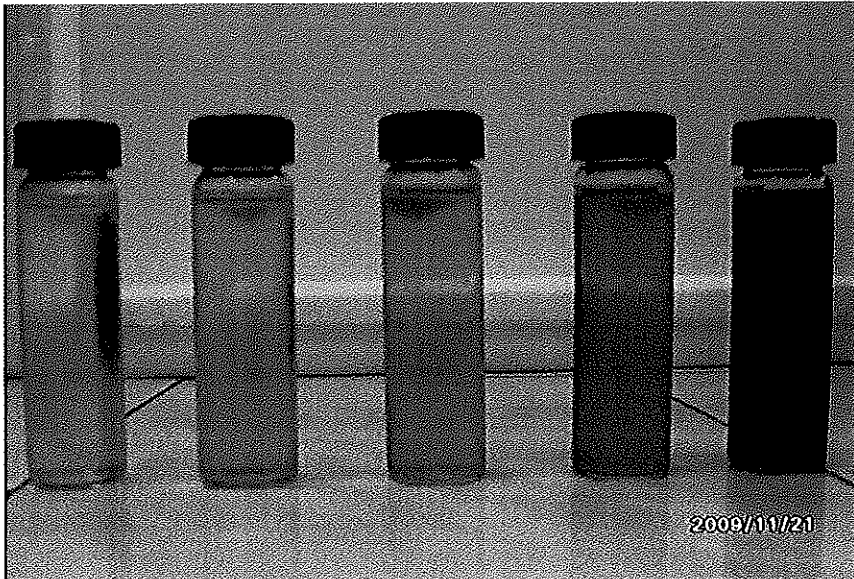
ภาพที่ 4.9 น้ำที่จกโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm ระยะเวลาเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำที่จกก่อนการบำบัด



ภาพที่ 4.10 น้ำที่จกโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1.5 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm ระยะเวลาเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำที่จกก่อนการบำบัด



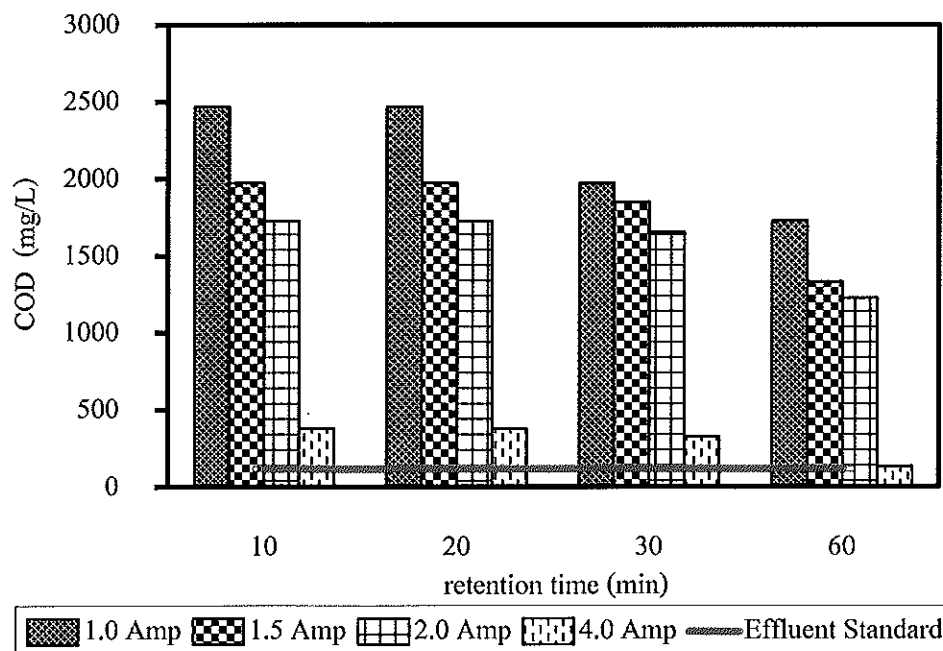
ภาพที่ 4.11 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 2 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm ระยะเวลาพักเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด



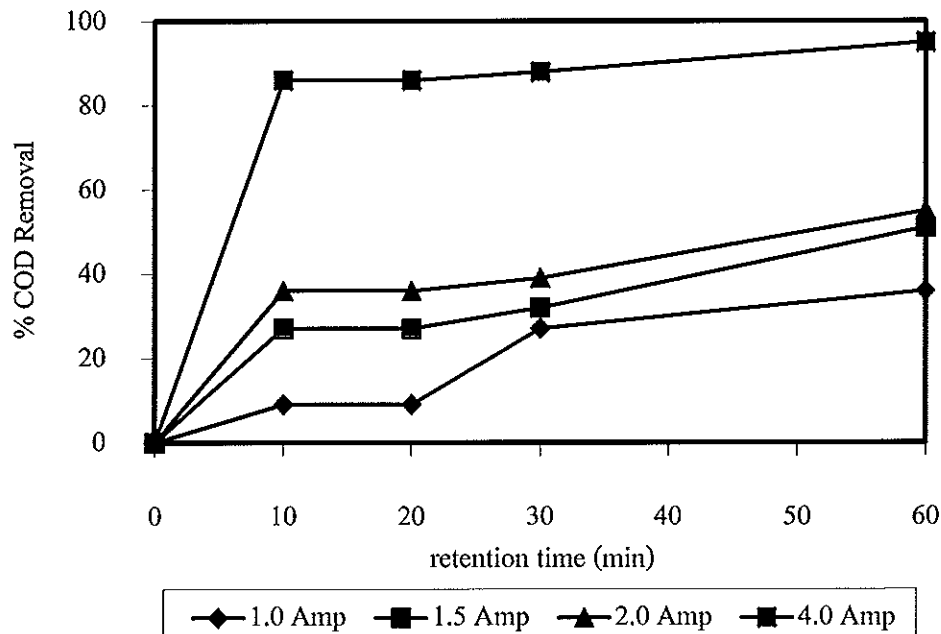
ภาพที่ 4.12 น้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm ระยะเวลาพักเก็บ 60 30 20 และ 10 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด

#### 4.1.2 ซีโอดี

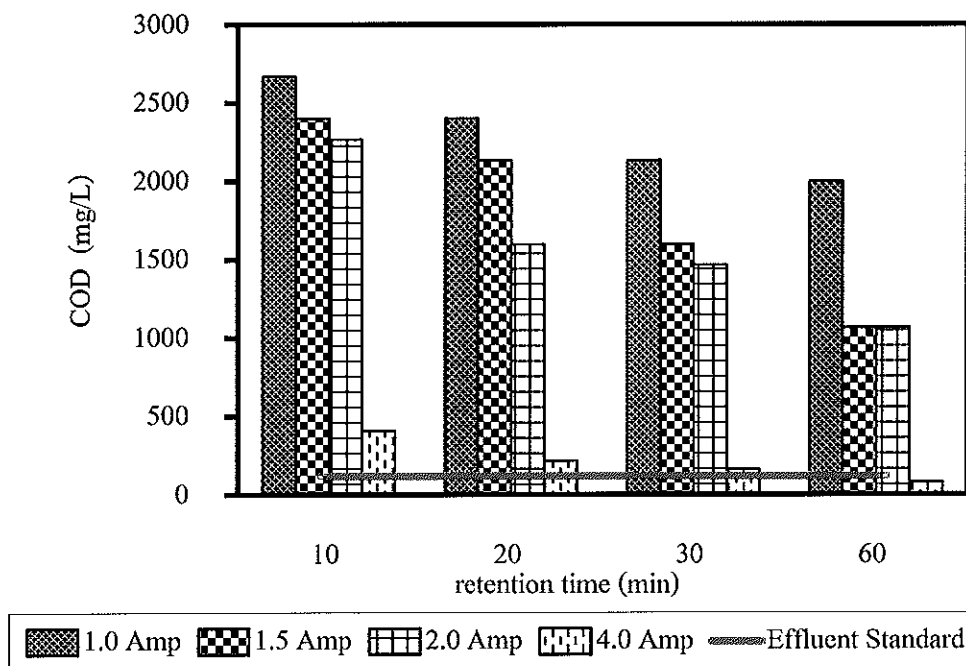
จากการทดลองพบว่าค่า COD ก่อนการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 2,715 mg/L และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีพบว่า ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm ประสิทธิภาพการบำบัด COD มีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ค่าที่ 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 2-97% และพบว่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมีค่า COD เท่ากับ 81 mg/L ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่าง 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ดังภาพที่ 4.13-4.16 พบว่า เมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า ทำให้สามารถกำจัด COD ได้มากขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำให้อะลูมิเนียมที่ขั้วแอโนดเกิดการแตกตัวได้มากขึ้น ซึ่งแตกตัวออกมาในรูปของ อีออนอะลูมิเนียมคือ  $Al(OH)_2^+$  และเมื่อรวมกับไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) ในน้ำจะได้ผลิตภัณฑ์เป็น  $Al(OH)_3$  ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยในช่วง pH เป็นกลาง (น้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง มีค่า pH อยู่ในช่วง 7-8) ทำให้ไปจับกับสารอินทรีย์และเกิดการตกตะกอนได้ดีและสารอินทรีย์บางส่วนเปลี่ยนโครงสร้างโดยสามารถละลายน้ำได้และถูกออกซิไดซ์กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ จึงทำให้ค่า COD มีค่าลดลง (Mereno-Casillas *et al.*, 2007)



ภาพที่ 4.13 ค่า COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm

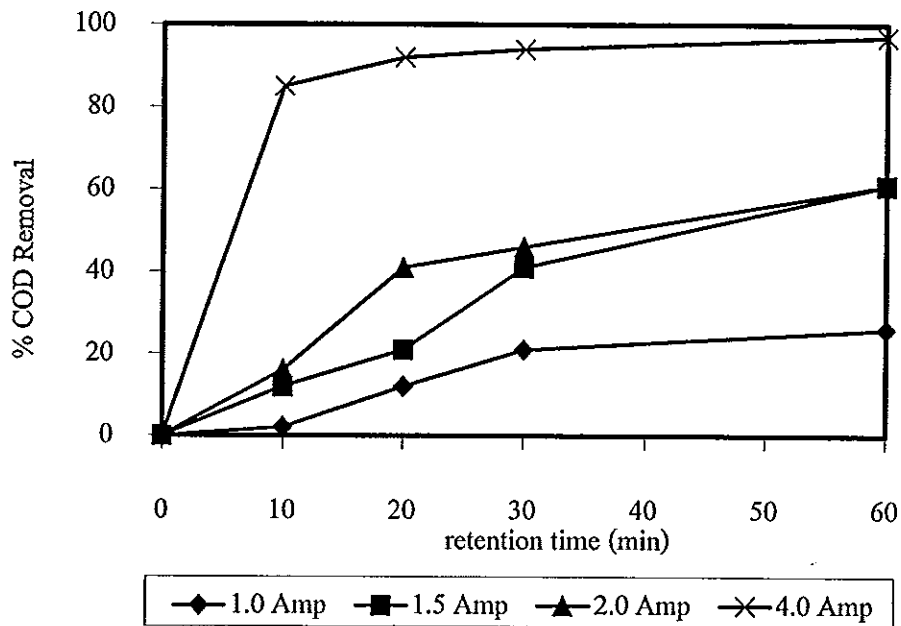


ภาพที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.15 ค่า COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

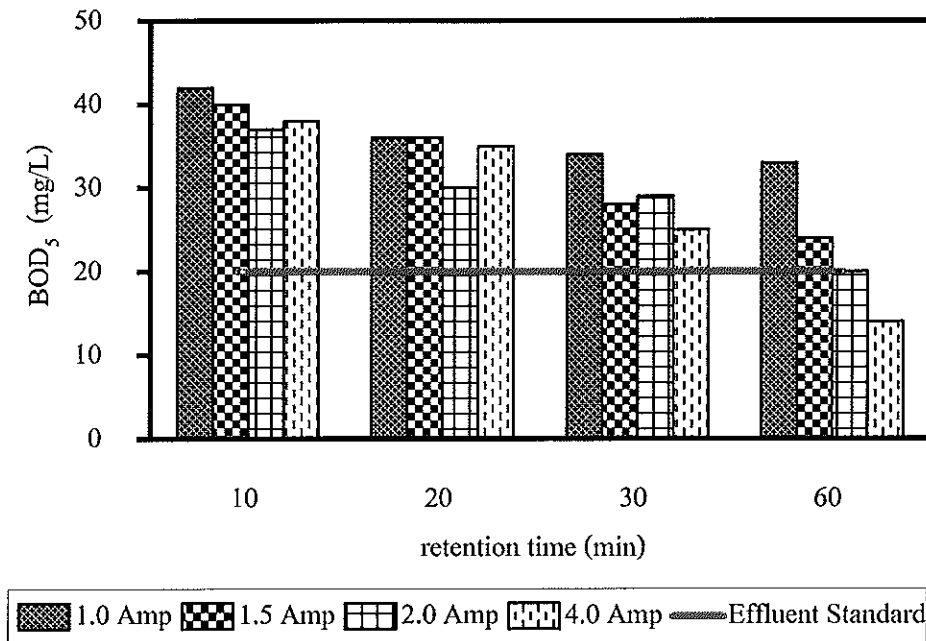




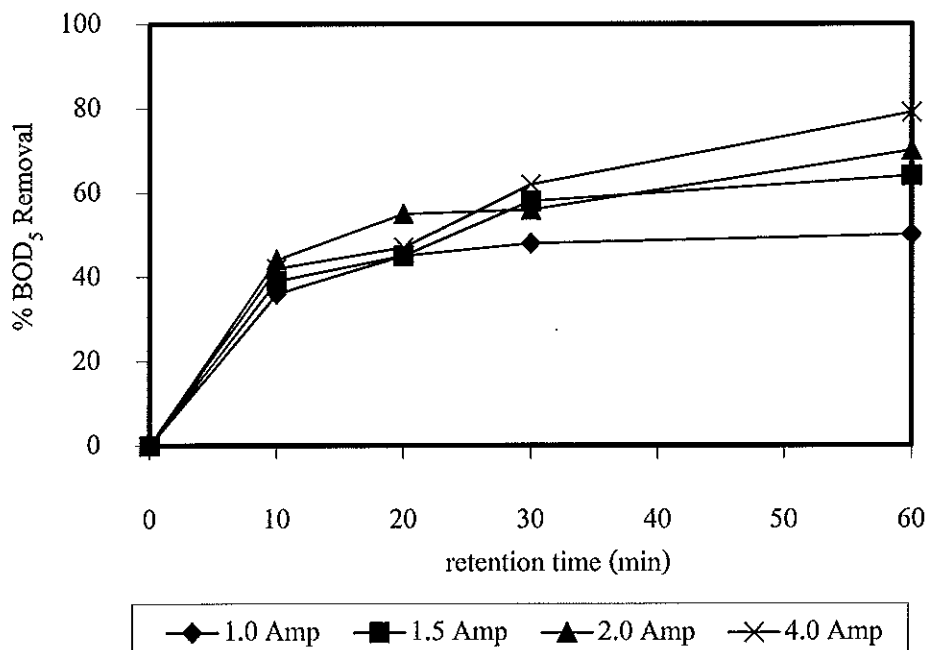
ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัด COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

#### 4.1.3 บีโอดี

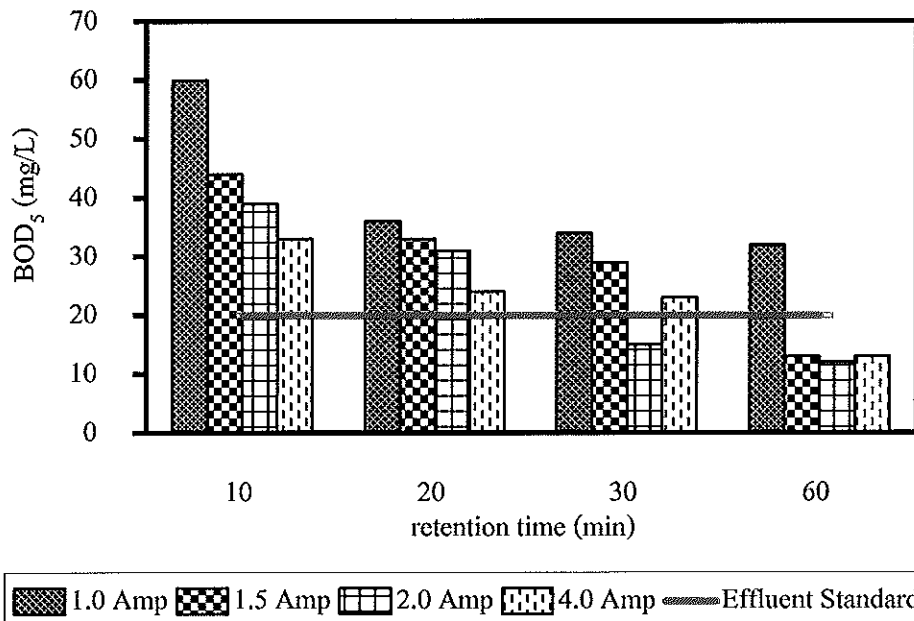
จากการทดลองพบว่าก่อนการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีมีค่า  $BOD_5$  เท่ากับ 66 mg/L ของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า ทำให้ค่า  $BOD_5$  ลดลงตามลำดับค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 1.5 2 และ 4 Amp ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็น 9-80% โดยพบว่าการย่อยสลายทางชีวภาพ  $BOD_5$  ขึ้นอยู่กับการลดลงของ COD เมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลที่ย่อยสลายได้ยากจะถูกดูดซับด้วย  $Al(OH)_3^0$  ดังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ 4.1.2 สารอินทรีย์เกิดความไม่เสถียรทำให้สารอินทรีย์หายไปบางส่วนและ COD จึงมีค่าลดลงค่า  $BOD_5$  ลดลงตามไปด้วยดังภาพที่ 4.17-4.20



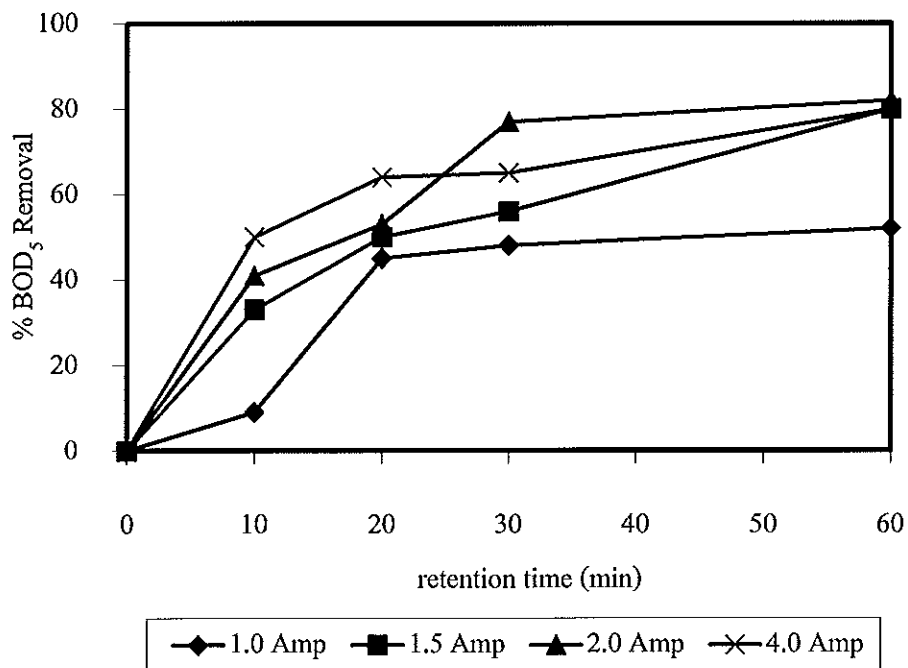
ภาพที่ 4.17 ค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



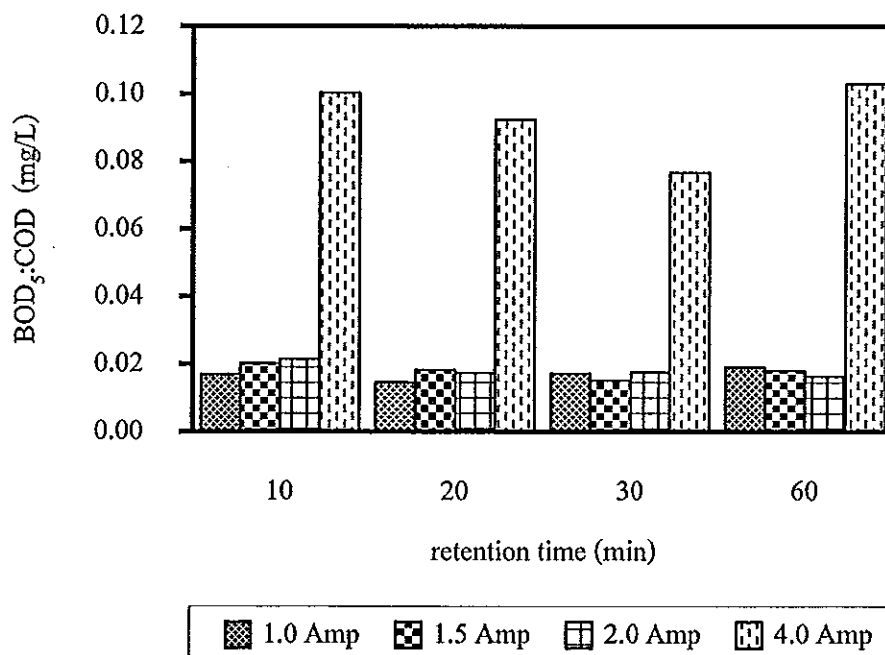
ภาพที่ 4.19 ค่า BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



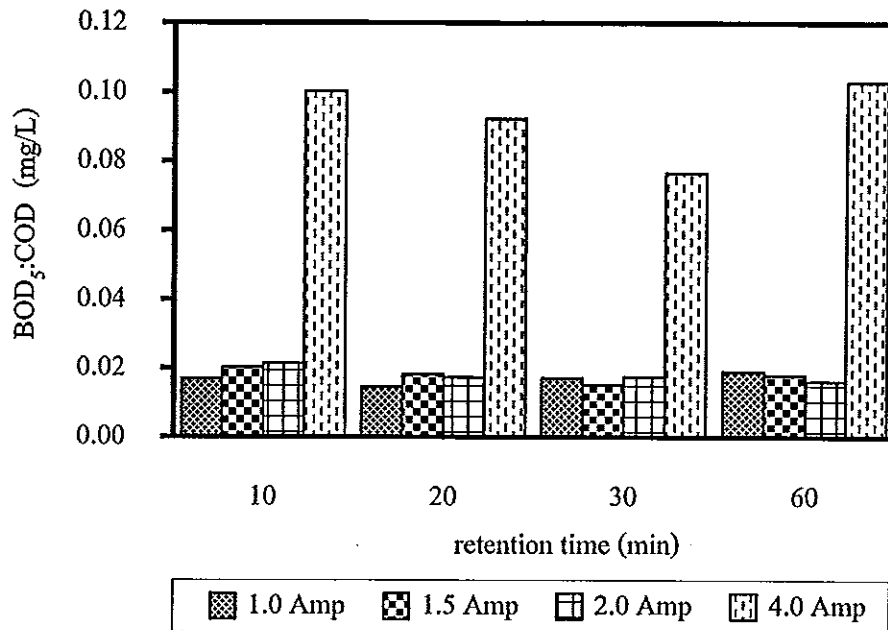
ภาพที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

#### 4.1.4 อัตราส่วนของค่าการย่อยสลายทางชีวภาพ ( $BOD_5:COD$ )

อัตราส่วนของค่าการย่อยสลายทางชีวภาพที่ได้จากการทดลองด้วยค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 1.5 2 และ 4 Amp ที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.16 โดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัย (อมรภัค ชูทอง, 2550) ซึ่งอธิบายไว้ว่า อัตราส่วนของค่าการย่อยสลายทางชีวภาพหรือ  $BOD_5:COD$  ขึ้นอยู่กับการลดลงของค่า COD โดยระบบไฟฟ้าเคมีทำให้อนุภาคของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย เกิดความไม่เสถียรทำให้อนุภาคของสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเกิดการจับตัวกับอนุภาคของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดการแตกตัวแล้วไปจับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจึงทำให้เกิดการรวมตัวกันของตะกอนและตกตะกอนในที่สุดจึงทำให้ค่า  $BOD_5:COD$  ที่อยู่ในน้ำลดลงดังภาพที่ 4.21-4.22



ภาพที่ 4.21 ค่า  $BOD_5:COD$  ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm

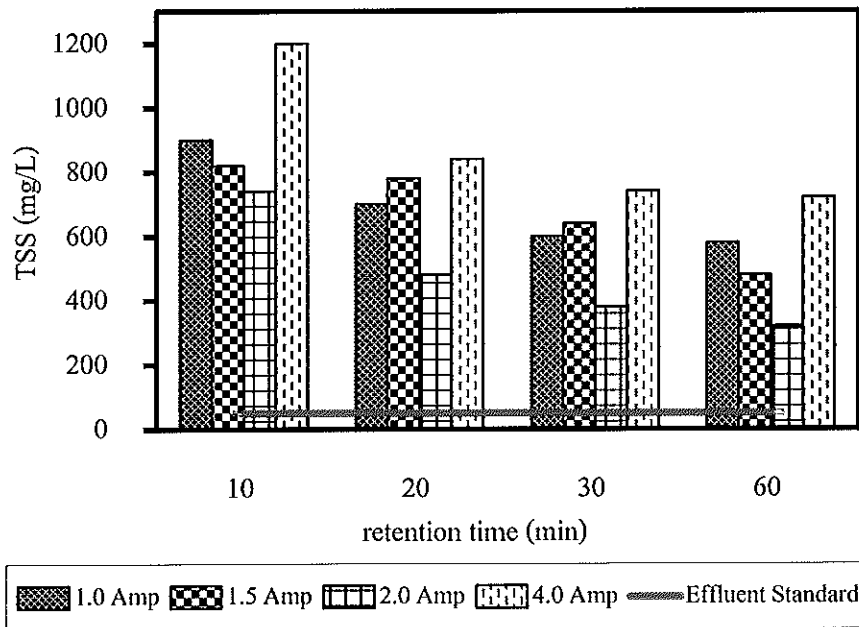


ภาพที่ 4.22 ค่า BOD<sub>5</sub>:COD ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

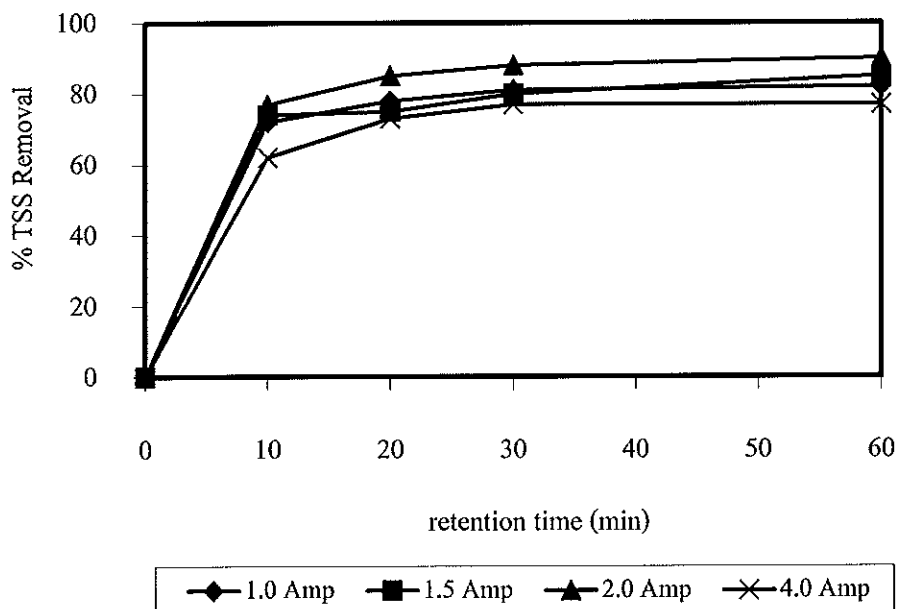
#### 4.1.5 ของแข็งแขวนลอย

จากการตรวจเคราะห์น้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 3,160 mg/L และเมื่อนำน้ำตัวอย่างมาบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm โดยค่าของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 260-1,200 mg/L จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าและมีระยะเวลาพักเก็บเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นน้ำตัวอย่างจะมีค่าลดลงซึ่งประสิทธิภาพการกำจัดโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.23-4.26 จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าววว่า อะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดมีการแตกตัวและมีพลังงานเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า และเมื่อไปรวมตัวกับไฮดรอกไซด์ อีออนจึงไม่สามารถตกตะกอนได้หมด ทำให้อนุภาคบางส่วนตกตะกอนได้ จากกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีซึ่งเกิดปฏิกิริยาในน้ำเสียโดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน เริ่มต้นตะกอนเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้อนุภาคเกิดความไม่เสถียร และอนุภาคเกิดการชนกันทำให้การตกตะกอน โดยการดูดซับด้วย  $Al(OH)_3^0$  และเปลี่ยนเป็น Monomeric Polymeric Hydroxide จากการบำบัดดังกล่าวทำให้เกิดตะกอนของแข็ง แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กจะปรากฏขึ้นในน้ำเสีย (Sonia et al., 2007) และประกอบกับการเกิดฟองก๊าซของไฮโดรเจนและกลายเป็นตะกอนลอยตัวขึ้นค่าของแข็งแขวนลอยจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่ม

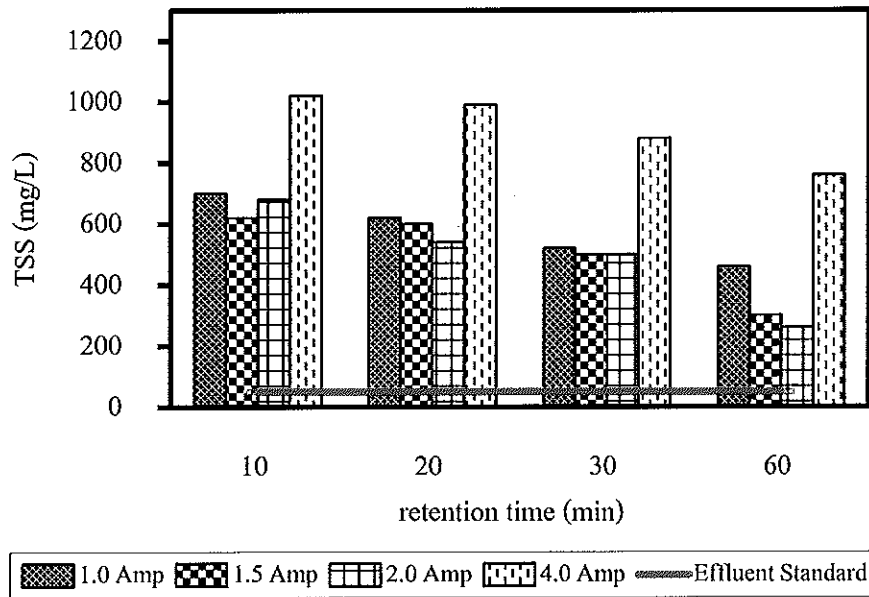
กระแสไฟฟ้าและระยะเวลาที่เก็บทำให้คุณภาพของแข็งแขวนลอยลดลง โดยประสิทธิภาพในการแยกมลสารน้ำขึ้นอยู่กับกำกับการเพิ่มพลังงานไฟฟ้าและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา



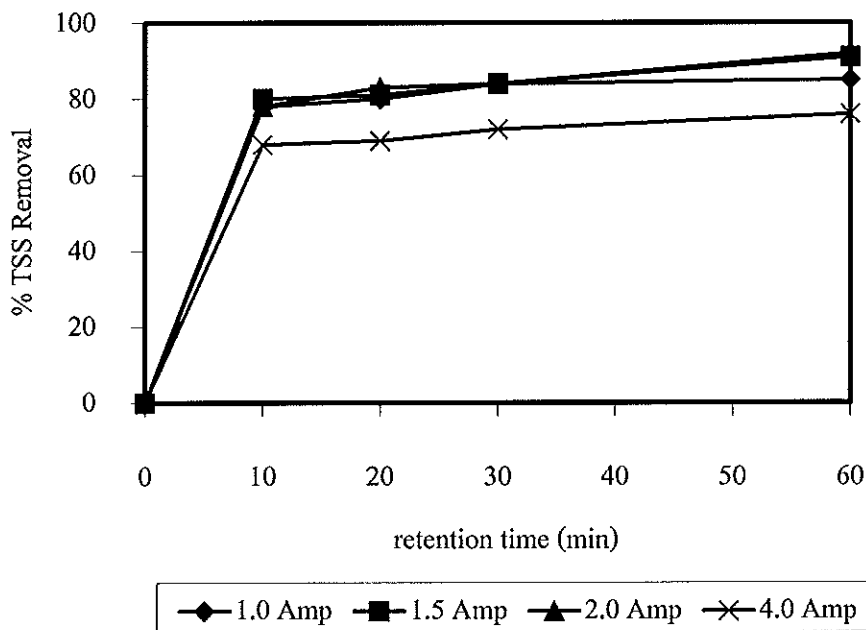
ภาพที่ 4.23 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



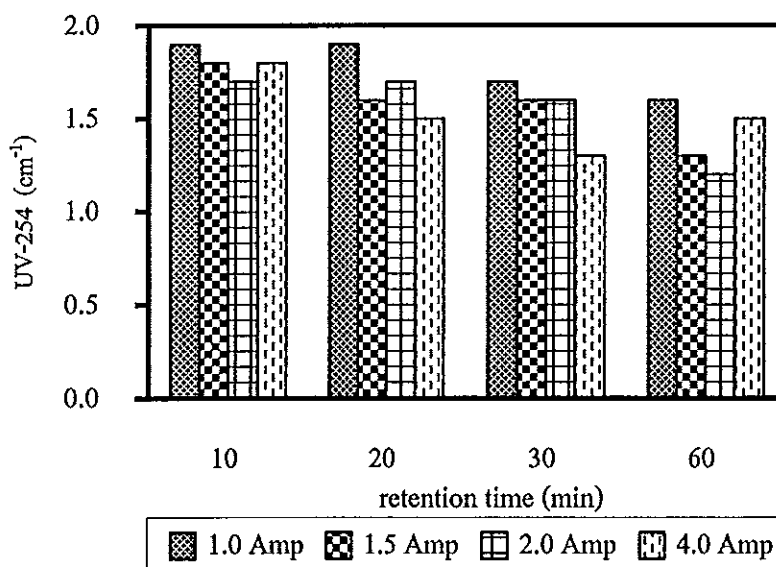
ภาพที่ 4.25 ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



ภาพที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

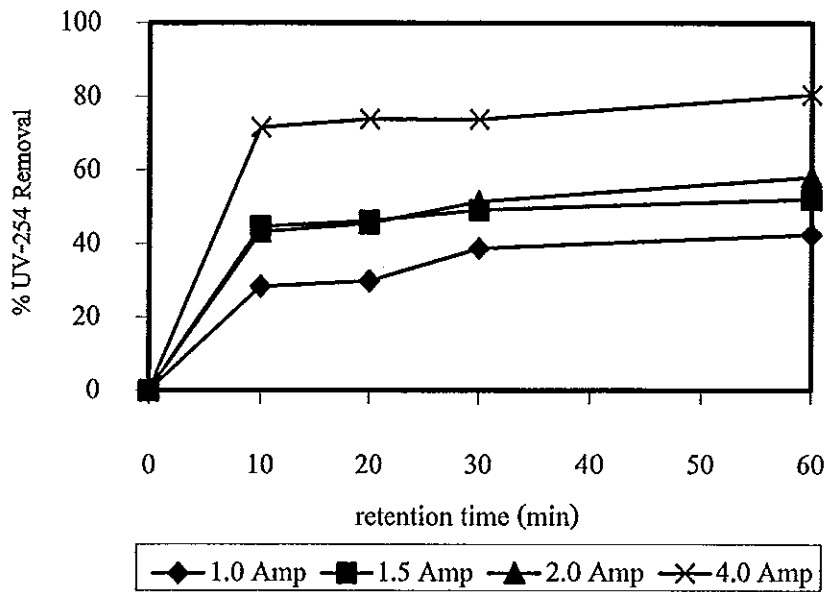
#### 4.1.6 UV-254

จากการทดลองน้ำเสียก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีคือ  $1.34 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อมีการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีซึ่งมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาเก็บ 10, 20, 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ซึ่งพบว่าค่า UV-254 อยู่ในช่วง  $0.25\text{-}0.96 \text{ cm}^{-1}$  จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวว่า โครงสร้างสารอินทรีย์ตรวจได้จากค่า UV-254 โดยมีความยาวคลื่น 254 nm โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์มีค่าเพิ่มขึ้น หากต้องการบำบัดที่มีประสิทธิภาพสูงนั้นจำเป็นที่จะต้องเพิ่มพลังงานไฟฟ้าในการบำบัดและพื้นที่ผิวมากในการทำปฏิกิริยา โดยการกำจัดสารอินทรีย์แบบสมบูรณหรือ Electrochemical Combustion นั้นเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์บางชนิดและบางสภาวะโดยต้องการอิเล็กตรอนจำนวนมากหรือการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงนั่นเอง โดยค่าการดูดกลืน UV-254 สามารถดูดกลืนได้ดีกับสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนน้อยกว่าสารอินทรีย์ที่ไม่ซับซ้อนหรือย่อยสลายได้ง่าย (อมรภัทร ชูทอง อังใน กัลเทศมาศ สุทธิเรืองวงศ์, 2535) ผลการทดลองพบว่า โครงสร้างสารอินทรีย์เป็นกลุ่ม Aromatic ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าเนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นแบบสมบูรณ โดยผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และสารอินทรีย์บางส่วนก็จะจับตัวกับ  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ทำให้สารอินทรีย์ถูกดูดซับเกิดการตกตะกอน จึงทำให้ค่า UV-254 มีค่าลดลงเช่นเดียวกับค่าซีไอดี ดังภาพที่ 4.27-4.30

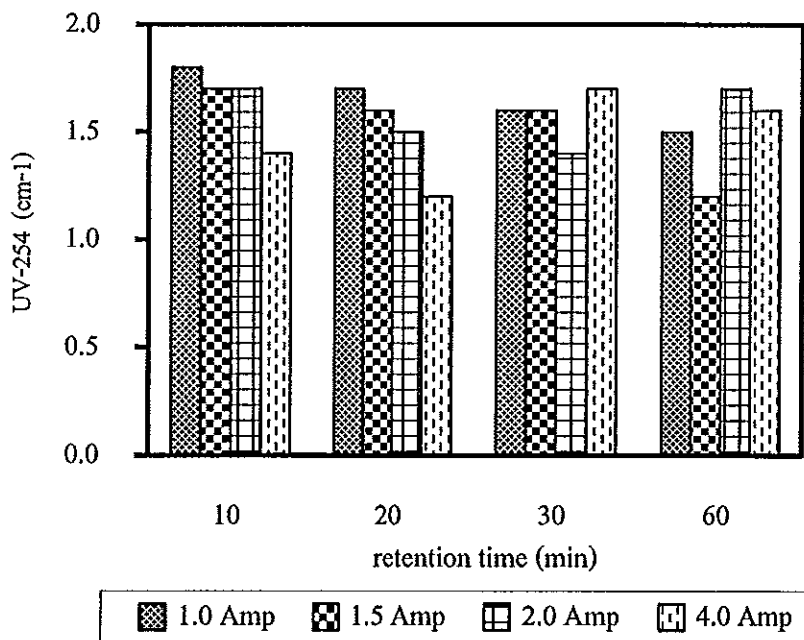


ภาพที่ 4.27 ค่า UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm

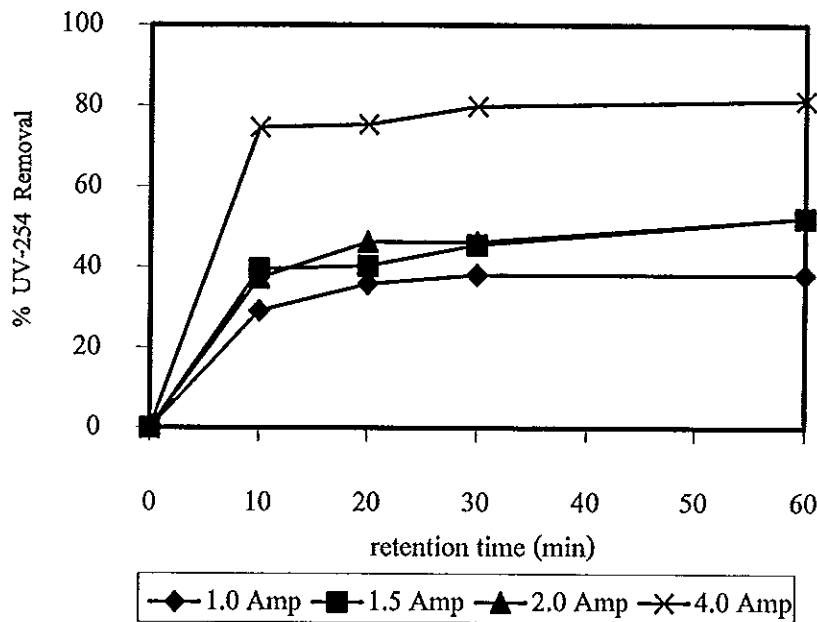




ภาพที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



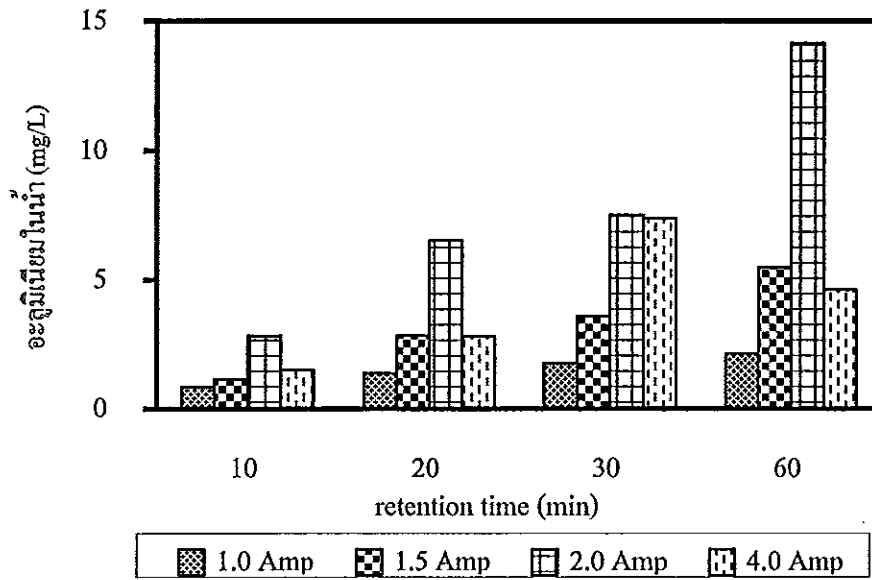
ภาพที่ 4.29 ค่า UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



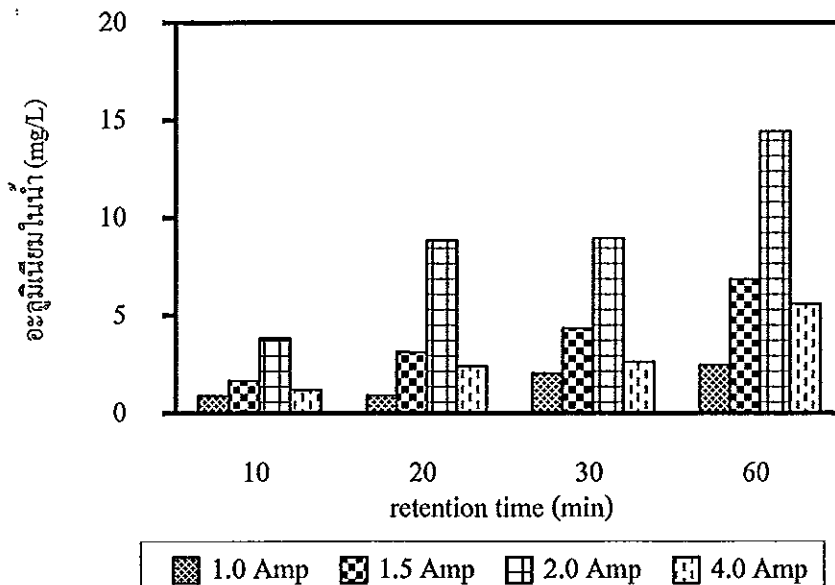
ภาพที่ 4.30 ประสิทธิภาพการกำจัด UV-254 ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

#### 4.1.7 ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำและในตะกอน

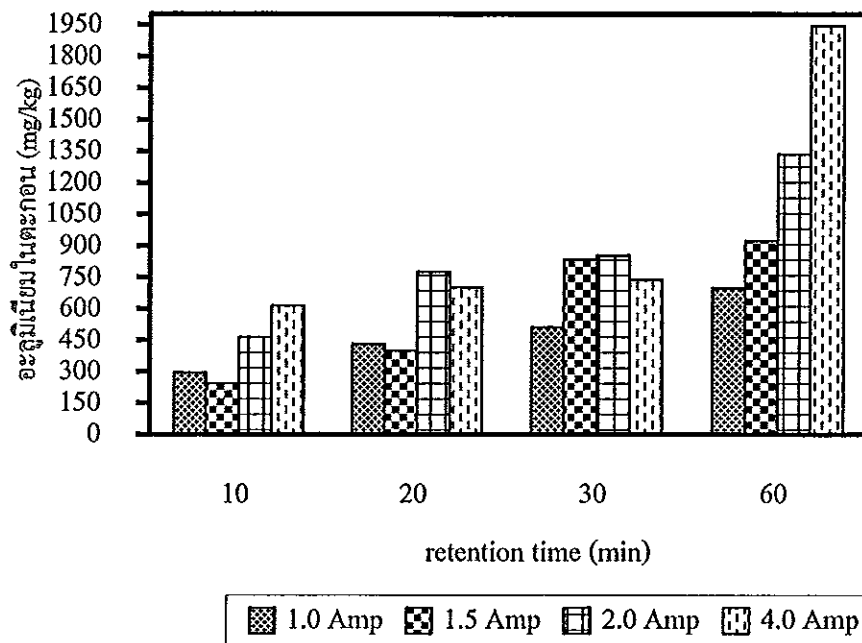
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลาเก็บกักเพิ่มขึ้นทำให้เกิดอะลูมิเนียมในน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 20 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ซึ่งพบว่าที่ 1 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 - 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ค่าอยู่ในช่วง 0.85 - 2.47 mg/L และที่ 1.5 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10 - 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ค่าอยู่ในช่วง 1.14-8.86 mg/L และที่ 2 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ค่าอยู่ในช่วง 2.83 - 14.44 mg/L และที่ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่าง 1.5 และ 2 cm ค่าอยู่ในช่วง 1.20-5.59 mg/L ส่วนในชั้นตะกอนก็มีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันดังภาพที่ 4.31-4.34 ซึ่งพบว่าเมื่อมีการเพิ่มกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดการแตกตัวของอะลูมิเนียมได้ดีขึ้น และการเคลื่อนที่ของอะลูมิเนียม อีออนนั้นเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น เมื่อมีการเพิ่มกระแสไฟฟ้าทำให้ตกตะกอนได้มากกว่าในน้ำ โดยจะเห็นได้ว่าเมื่อมีค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มค่าอะลูมิเนียม ในตะกอนก็เพิ่มขึ้นตาม โดยปริมาณอะลูมิเนียมสูงสุดที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่าง 2 cm ระยะเวลาเก็บกัก 60 min เท่ากับ 1,946 mg/L และที่ 4 Amp ระยะห่าง 2 cm ระยะเวลาเก็บกัก 60 min เท่ากับ 1,743 mg/L



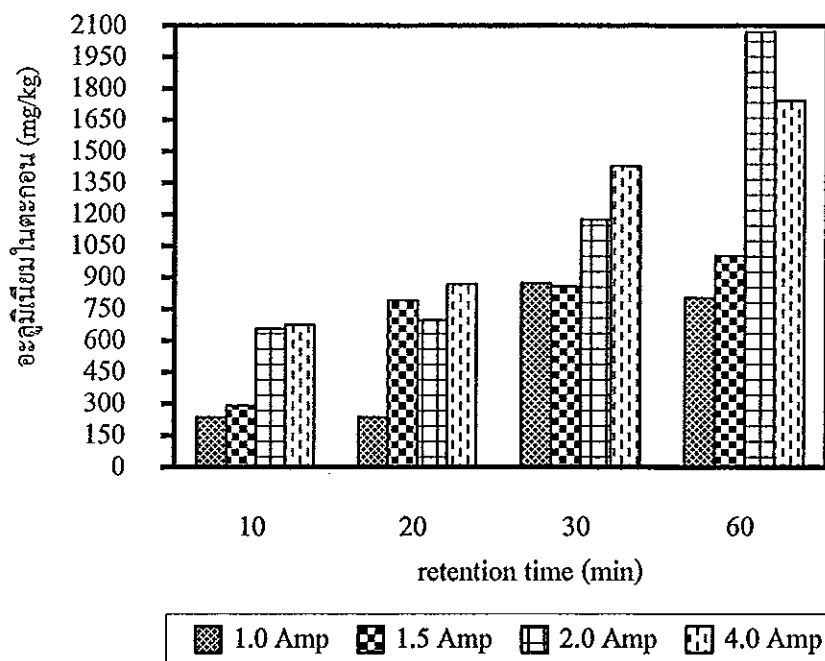
ภาพที่ 4.31 ค่าอะลูมิเนียมในน้ำของน้ำที่จกจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.32 ค่าอะลูมิเนียมในน้ำของน้ำที่จกจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm



ภาพที่ 4.33 ค่าอะลูมิเนียมในตะกอนของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.34 ค่าอะลูมิเนียมในตะกอนของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

#### 4.1.8 SV<sub>60</sub>

จากผลการทดลองค่า SV<sub>60</sub> ของตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1 mL/L และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีค่า SV<sub>60</sub> จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm มีค่าอยู่ในช่วง 13-190 mL/L ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 1.5 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm มีค่าอยู่ในช่วง 68-400 mL/L ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm มีค่าอยู่ในช่วง 94-540 mL/L ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm มีค่าอยู่ในช่วง 275-750 mL/L เนื่องจากตะกอนจะเกิดขึ้นในปริมาณมากเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น มีการแตกตัวของอออนที่ขั้วแอโนด และเมื่อระยะห่างมากก็ทำให้อออนเคลื่อนที่ได้ช้าลง ทำให้ไปจับกับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำทำให้เกิดการรวมตัวเป็นตะกอนและเกิดการตกตะกอนจึงทำให้ตะกอนมีปริมาณมากขึ้น และเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำให้อุณหภูมิของตะกอนมีขนาดเล็กลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน ทำให้ปริมาณอออนที่เกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด และแคโทดมีค่ามากขึ้น และโครงสร้างของสารอินทรีย์มีความซับซ้อนน้อยลงจึงทำให้อุณหภูมิของตะกอนเล็กลงและเป็นตะกอนแขวนลอย มีน้ำหนักเบาซึ่งให้ตะกอนตกช้าลงเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลากักเก็บ จึงทำให้ SV<sub>60</sub> เพิ่มขึ้น

#### 4.1.9 ทีเอช

ตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 1 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 7.8 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีซึ่งค่า pH โดยรวมเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าและระยะเวลากักเก็บ โดยที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 7.5-8.8 ที่กระแสไฟฟ้า 1.5 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 7.5-8.6 ที่กระแสไฟฟ้า 2 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 7.8-8.6 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 7.9-9.0 จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวว่า กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการแตกตัวของขั้วแคโทด ทำให้เกิด OH<sup>-</sup> เมื่อ H<sub>2</sub>O เกิดการแตกตัวและทำปฏิกิริยากับ O<sub>2</sub> ดังสมการที่ 1 และที่ขั้วแอโนด จะเกิดการแตกตัวของ Al เป็น Al<sup>3+</sup> ions ดังสมการที่ 3 (Chen *et al*, 2008 )



เมื่อเวลาผ่านไปทำให้เกิดการรวมตัวกันระหว่าง Al และ OH<sup>-</sup> และผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ Al(OH)<sup>2+</sup>, Al(OH)<sub>2</sub>, Al(OH)<sub>3</sub> และ Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup> ละลายเป็นเบส (Paplo *et al.*, 2008) และเกิดการรวมตัวเป็นตะกอน และเกิดเป็น Sweep-floc และเกิดเป็นผลิตภัณฑ์ของ Hydroxyl compounds เมื่อเกิดปฏิกิริยา pH จึงเพิ่มขึ้นทำให้ pH โดยรวมเพิ่มขึ้น (Ghosh *et al.*, 2007)

#### 4.1.10 อุณหภูมิ

จากการทดลองพบว่า น้ำเสียเมื่อผ่านกระบวนการไฟฟ้าเคมี จะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยการเพิ่มกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาทำปฏิกิริยา ซึ่งที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 28-29 °C ที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 27-30 °C ที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 28-30 °C ที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 10-60 min มีค่าเท่ากับ 28-30 °C จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวว่า อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นในระหว่างการเกิดปฏิกิริยา และเมื่อใช้เวลานานขึ้นทำให้ อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเกิดพลังงานขึ้นและทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย (Fathi *et al.*, 2008)

#### 4.1.11 ค่าการนำไฟฟ้า

เริ่มต้นตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้า 6.6 mS/cm เมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 1, 1.5, 2 และ 4 Amp และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 10, 20, 30 และ 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm มีค่าเท่ากับ 7.3-7.2, 7.3-6.5, 7.3-6.4 และ 7.8-6.1 mS/cm ที่กระแสไฟฟ้า 1, 1.5, 2 และ 4 Amp และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา 10-60 min ระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm มีค่าเท่ากับ 6.4, 6.6-6.7, 6.7-6.0 และ 7.6-6.2 mS/cm จากผลการทดลองพบว่าค่าการนำไฟฟ้ามีทั้งเพิ่มและลดลงเนื่องจากเมื่อใช้เวลานานในการทำปฏิกิริยาในช่วงแรกอ็อกซิเจนจะเกิดการแตกตัวเพิ่มขึ้นซึ่ง อ็อกซิเจนไม่สามารถไปจับกับสารอินทรีย์บางส่วนจึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าในช่วง 10-20 min มีค่าเพิ่มขึ้นและจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไปเมื่อใช้เวลานานขึ้นในช่วง 30-60 min เนื่องจาก อ็อกซิเจนในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปอ็อกซิเจนไปจับกับสารอินทรีย์จึงทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

## 4.2 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมี

### 4.2.1 กระแสไฟฟ้า

ระดับกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพการรีดิวซ์สูงขึ้น เนื่องจากระดับกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วแอโนดให้เกิด  $H^+$  และอิเล็กตรอนที่ใช้ในการรีดิวซ์มากขึ้นส่งผลให้การรีดิวซ์เกิดเร็วขึ้นและระดับกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะเร่งปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้าแคโทดให้เกิดการแตกตัว  $OH^-$  ให้เกิดมากขึ้น และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกล่าวว่า กระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับค่าการนำไฟฟ้าและแปรผกผันกับค่าความต้านทานคังสมการ  $V = IR$  เมื่อค่าความต้านทานค่ากระแสไฟฟ้าจะมีค่าสูงและทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตาม (ปาริชาติ หมั่นสีทา, 2549) และค่ากระแสไฟฟ้าที่เลือกใช้จะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสีย เช่นค่า pH อุณหภูมิ และความเข้มข้นของมลสาร เป็นต้น คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะขึ้นกับปริมาณอ็อกซิเจนที่ละลายออกจากอิเล็กโทรด ซึ่งเท่ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้และเวลาสัมผัส (สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ, 2551)

### 4.2.2 ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด

เมื่อมีระยะห่างมากก็ทำให้การเคลื่อนที่ของอ็อกซิเจนช้าลงและมีผลทำให้เกิดการจับตัวของฟล็อกเพิ่มขึ้นจึงมีผลต่อค่าสี ซีโอดี และบีโอดีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm จึงเป็นระยะที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง

### 4.2.3 พื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยา

พื้นที่ผิวที่ใช้ในการทำการทดลองมีค่าเท่ากับ  $36 \text{ m}^2 / \text{m}^3$  พบว่าถ้าพื้นที่ผิวของแผ่นอิเล็กโทรดมากจะทำให้การนำไฟฟ้าได้ดี ดังนั้นจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดมากจะทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีและเกิดการแตกตัวของอิเล็กตรอนได้ดีเช่นกัน (สนอง ทองปานและคณะ, 2550)

### 4.3 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าของการเดินระบบแบบกะ (Batch)

#### 4.3.1 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด

เมื่อเพิ่มระยะเวลาทำปฏิกิริยา และเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำให้และเพิ่มระยะห่าง ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้นานขึ้น และเกิดการแตกตัวของขั้วอะลูมิเนียมได้ดียิ่งขึ้นทั้งขั้วแอโนดและแคโทด ทำให้น้ำหนักของอะลูมิเนียมมีค่าลดลง และทำให้ค่าใช้จ่ายของอะลูมิเนียมเพิ่มมากขึ้นตามลำดับการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า พบว่าที่ 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 min มีค่าน้อยที่สุดคือ 1.15 Baht/m<sup>3</sup> และที่ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min มีค่ามากที่สุดคือ 34.08 Baht/m<sup>3</sup> ดังตารางที่ 4.6

#### 4.3.2 ค่าไฟฟ้า

เมื่อมีการเพิ่มค่าพลังงานทำให้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งพบว่าที่กระแสไฟฟ้า 1 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm และ 2 cm ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 10 min มีค่าน้อยที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.62 Baht/m<sup>3</sup> และที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 และ 2 cm ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 60 min มีค่ามากที่สุดคือ 24.92 Baht/m<sup>3</sup> ดังตารางที่ 4.6



ตารางที่ 4.4 ค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนดใช้ในการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm

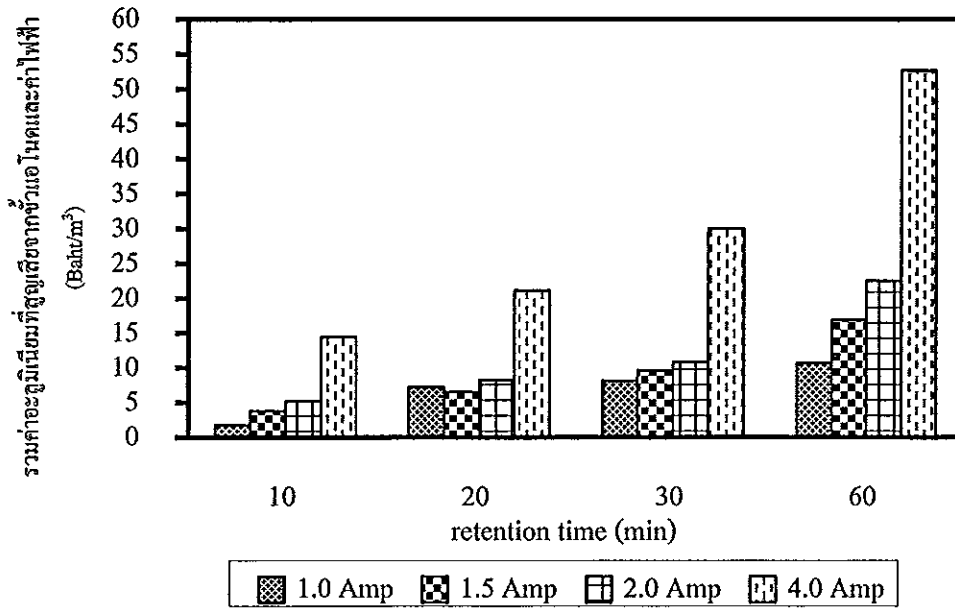
ระยะห่างระหว่างขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>2</sup> )	เวลา (min)	น้ำหนัก AI ที่สูญเสียจากขั้วแอโนด (g)	ค่า AI (Baht)	ค่า AI (Baht/m <sup>2</sup> )	ระยะห่างระหว่างขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>2</sup> )	เวลา (min)	น้ำหนัก AI ที่สูญเสียจากขั้วแอโนด (g)	ค่า AI (Baht)	ค่า AI (Baht/m <sup>2</sup> )		
1.5	1	2	1.5	10	0.0528	0.0015	1.15	2.0	1	2	1.5	10	0.0801	0.0021	1.62		
				20	0.2687	0.0075	5.77					20	0.1505	0.0039	3.00		
				30	0.2779	0.0079	6.08					30	0.1807	0.0048	3.69		
				60	0.2977	0.0085	6.54					60	0.3407	0.0091	7.00		
	1.5	2	2.3	2.3	10	0.1329	0.0036		2.77	1.5	2	2	2.3	10	0.0735	0.0019	1.46
					20	0.2077	0.0058		4.46					20	0.1808	0.0047	3.62
					30	0.3212	0.0085		6.54					30	0.1852	0.0047	3.62
					60	0.5112	0.0139		10.69					60	0.5070	0.0136	10.46
	2	3	4.6	4.6	10	0.1812	0.0049		3.77	2	3	4.6	10	0.1175	0.0031	2.38	
					20	0.2522	0.0072		5.54				20	0.1954	0.0054	4.15	
					30	0.3266	0.0087		6.69				30	0.2766	0.0070	5.38	
					60	0.6878	0.0185		14.23				60	0.8857	0.0266	17.38	
4	3	9.6	9.6	10	0.4980	0.0134	10.31	4	3	9.6	10	0.4081	0.0098	7.54			
				20	0.5705	0.0167	12.85				20	0.7456	0.0222	17.08			
				30	0.8202	0.0228	17.54				30	0.8829	0.0265	20.31			
				60	1.2157	0.0361	27.77				60	1.5173	0.0443	34.08			

ตารางที่ 4.5 ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 และ 2 cm

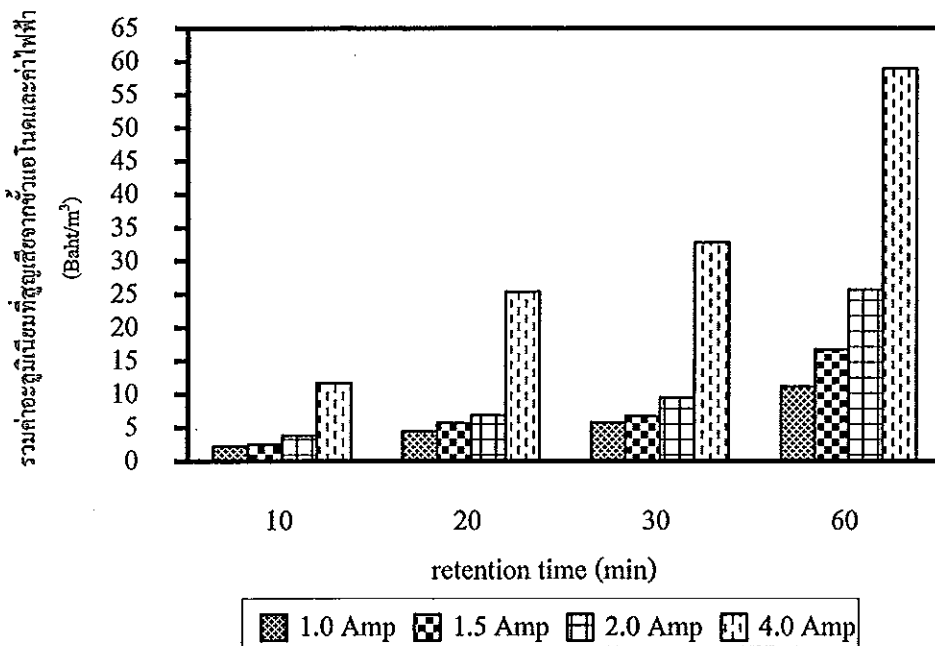
ระยะห่างระหว่างขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	จำนวนยูนิต (Unit)	ค่าไฟฟ้า (Baht)	ค่าไฟฟ้า (Baht/m <sup>3</sup> )	ระยะห่างระหว่างขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	จำนวนยูนิต (Unit)	ค่าไฟฟ้า (Baht)	ค่าไฟฟ้า (Baht/m <sup>3</sup> )		
1.5	1	2	1.5	10	0.0003	0.0008	0.62	2.0	1	2	1.5	10	0.0003	0.0008	0.62		
				20	0.0007	0.0019	1.45					20	0.0007	0.0019	1.45		
				30	0.0010	0.0027	2.08					30	0.0010	0.0027	2.08		
				60	0.0020	0.0054	4.15					60	0.0020	0.0054	4.15		
	1.5	2	2.3	2.3	10	0.0005	0.0014		1.04	1.5	2	2.3	2.3	10	0.0005	0.0014	1.04
					20	0.0010	0.0027		2.08					20	0.0010	0.0027	2.08
					30	0.0015	0.0041		3.12					30	0.0015	0.0041	3.12
					60	0.0030	0.0081		6.23					60	0.0030	0.0081	6.23
	2	3	4.6	4.6	10	0.0007	0.0019		1.45	2	3	4.6	4.6	10	0.0007	0.0019	1.45
					20	0.0013	0.0035		2.70					20	0.0013	0.0035	2.70
					30	0.0020	0.0054		4.15					30	0.0020	0.0054	4.15
					60	0.0040	0.0108		8.31					60	0.0040	0.0108	8.31
4	3	9.6	9.6	10	0.0020	0.0054	4.15	4	3	9.6	9.6	10	0.0020	0.0054	4.15		
				20	0.0040	0.0108	8.31					20	0.0040	0.0108	8.31		
				30	0.0060	0.0162	12.46					30	0.0060	0.0162	12.46		
				60	0.0120	0.0324	24.92					60	0.0120	0.0324	24.92		

ตารางที่ 4.6 ค่าใช้จ่ายของค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าโดยใช้กระแสไฟฟ้า 1.5 2 และ 4 Amp ซึ่งใช้ระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียม  
ที่ 1.5 และ 2 cm

ระยะห่าง ระหว่าง ขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความ ต่าง ศักย์ (Volt)	พลังงาน ไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	ค่า AI ที่ สูญเสียจาก ขั้วแอโนด (Baht/m <sup>3</sup> )	ค่าไฟฟ้า (Baht/m <sup>3</sup> )	รวม ค่าใช้จ่าย (Baht/m <sup>3</sup> )	ระยะห่าง ระหว่าง ขั้ว (cm)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความ ต่าง ศักย์ (Volt)	พลังงาน ไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	เวลา (min)	ค่า AI ที่ สูญเสียจาก ขั้วแอโนด (Baht/m <sup>3</sup> )	ค่าไฟฟ้า (Baht/m <sup>3</sup> )	รวม ค่าใช้จ่าย (Baht/m <sup>3</sup> )
1.5	1	2	1.5	10	1.15	0.62	1.77	2.0	1	2	1.5	10	1.62	0.62	2.24
				20	5.77	1.45	7.22					20	3.00	1.45	4.45
				30	6.08	2.08	8.16					30	3.69	2.08	5.77
				60	6.54	4.15	10.69					60	7.00	4.15	11.15
				10	2.77	1.04	3.81					10	1.46	1.04	2.50
				20	4.46	2.08	6.54					20	3.62	2.08	5.70
	30	6.54	3.12	9.66	30	3.62	3.12		6.74						
	60	10.69	6.23	16.92	60	10.46	6.23		16.69						
	2	3	4.6	10	3.77	1.45	5.22		10	2.38	1.45	3.83			
				20	5.54	2.70	8.24		20	4.15	2.70	6.85			
				30	6.69	4.15	10.84		30	5.38	4.15	9.53			
				60	14.23	8.31	22.54		60	17.38	8.31	25.69			
10				10.31	4.15	14.46	10	7.54	4.15	11.69					
20				12.85	8.31	21.16	20	17.08	8.31	25.39					
4	3	9.6	30	17.54	12.46	30.00	30	20.31	12.46	32.77					
			60	27.77	24.92	52.69	60	34.08	24.92	59.00					



ภาพที่ 4.35 รวมค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนดและค่าไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 1.5 cm



ภาพที่ 4.36 รวมค่าอะลูมิเนียมที่สูญเสียจากขั้วแอโนดและค่าไฟฟ้าหลังการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

#### 4.4 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบกะ (Batch) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม

จากผลการดำเนินการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีเพื่อหาประสิทธิภาพที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาถึงความต้องการที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในการบำบัดสีและซีโอดี พบว่าค่าซีโอดีและบีโอดีมีค่าผ่านเกณฑ์ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp การจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน ค่าพลังงานมีค่าเท่ากับ  $9.6 \text{ kW/m}^3$  ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min พื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  โดยหลังการผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีค่าซีโอดีมีค่าเท่า 81 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 97% ส่วนค่าบีโอดีลดลง 13 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 80% ซึ่งค่าสีมีค่าลดลงคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 98% และหากพิจารณาถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีเพียงส่วนเดียวที่กระแสไฟฟ้า 2 Amp ค่าพลังงานมีค่าเท่ากับ  $4.6 \text{ kW/m}^3$  ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ที่พื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  อาจเพียงพอต่อการกำจัดสีและไม่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามากเกินไปค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นก็มีค่าน้อย และค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นจากขั้วแอโนดก็น้อยตามไปด้วย ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดอกชัน ดังที่ไถ่กล่าวไปแล้วเบื้องต้นซึ่งทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์มากขึ้น การบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีมีกลไกการบำบัดสารอินทรีย์โดยกระบวนการสร้างตะกอนเกิดการดูดซับ ตกตะกอน และบางส่วนของตัวของตะกอน และเมื่อปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ ก็จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ พบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีและซีโอดีที่เกิดขึ้น โดยมีความเพียงพอต่อการกำจัดแต่ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 Amp ไม่เพียงพอต่อการกำจัดซีโอดีเนื่องจากซีโอดีก่อนการกำจัดมีค่าสูง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2,715 mg/L จึงทำให้ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 2 Amp ไม่เพียงพอสำหรับการกำจัดค่าซีโอดีได้ ดังนั้นการนำไปประยุกต์ใช้กับแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) จึงเลือกใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp การจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน ค่าพลังงานมีค่าเท่ากับ  $9.6 \text{ kW/m}^3$  ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min พื้นที่ผิวของการทำปฏิกิริยามีค่าเท่ากับ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นจากขั้วแอโนดและค่าไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 59 Baht/m<sup>3</sup>

#### 4.5 การนำบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

การเดินระบบจะนำค่าที่ดีที่สุดจากระบบแบบกะ (Batch) มาประยุกต์ใช้กับแบบต่อเนื่อง โดยใช้ตัวอย่างน้ำที่เก็บทั้งหมด 3 ครั้งดังตารางที่ 4.1 ซึ่งการทดลองแบบต่อเนื่องจะแบ่งออกเป็น 2 ชุดการทดลอง ดังนี้ 1.การจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน 2.การจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรม

การทดลองชุดที่ 1 นำค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm พื้นที่ผิวทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^2$  โดยการนำค่าที่เหมาะสมจากแบบกะมาใช้ และมีการปรับลดพื้นที่ผิวทำปฏิกิริยาเหลือ  $27 \text{ m}^2/\text{m}^2$  โดยมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนาน ของตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 และได้มีการปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าเหลือ 3.5 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm พื้นที่ทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^2$  และมีการปรับลดพื้นที่ทำปฏิกิริยาเหลือ  $27 \text{ m}^2/\text{m}^2$  และใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm พื้นที่ทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^2$  ของตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2

การทดลองชุดที่ 2 มีการปรับค่ากระแสไฟฟ้าเป็น 0.85 Amp ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm พื้นที่ผิวทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^2$  โดยมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรม โดยไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรด และมีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดทุก 10 min การทดลองไบโพลาร์แบบอนุกรมจะมีการเติมเกลือลงไปเพื่อช่วยเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า เนื่องจากค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นมีค่าสูง โดยเติมเกลือ  $1\text{g/L}$  ของน้ำทิ้งของตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3

ทั้ง 2 ชุดการทดลองใช้อัตราการไหลของน้ำทิ้งเท่ากับ 1.3 ลิตรต่อชั่วโมงและไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนโดยใช้เวลาในถังตกตะกอนประมาณ 6.5 ชั่วโมง เพื่อตกตะกอนสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ และจะไหลเข้าสู่ถังน้ำใส และเก็บตัวอย่างน้ำทุกชั่วโมงเป็นเวลา 19 ครั้ง

ตารางที่ 4.7 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงขดลวดเป็นโมโนโพลาไรแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 1

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์												
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	%BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS Removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 removal
4	6	18.5	1.	9.1	29	6.1	23	97	280	90	23	65	340	89	0.26	81
			2.	9.1	29	6.1	23	97	280	90	23	65	400	87	0.26	81
			3.	9.1	28	6.1	23	97	260	90	24	64	600	81	0.26	81
			4.	9.1	28	6.1	23	97	260	90	23	65	580	82	0.26	81
			5.	9.1	28	6.1	24	97	260	90	24	64	520	84	0.26	81
			6.	9.1	27	6.0	21	97	260	90	22	67	480	85	0.25	81
			7.	9.1	28	6.1	25	97	260	90	23	65	440	86	0.24	82
			8.	9.1	28	6.1	22	97	260	90	22	67	420	87	0.23	83
			9.	8.9	27	6.2	22	97	260	90	23	65	320	90	0.23	83
			10.	8.9	27	6.4	21	97	260	90	23	65	460	85	0.23	83
			11.	8.9	27	6.4	24	97	260	90	23	65	400	87	0.23	83
			12.	8.9	26	6.5	21	97	260	90	22	67	420	87	0.23	83
			13.	8.9	26	6.5	21	97	260	90	23	65	340	89	0.23	83
			14.	8.9	27	6.5	20	98	260	90	23	65	400	87	0.22	84
			15.	8.9	27	6.5	21	97	260	90	23	65	410	87	0.22	84
			16.	8.9	27	6.5	20	98	260	90	22	67	430	86	0.22	84
			17.	8.8	26	6.6	21	97	260	90	23	65	480	85	0.22	84
			18.	8.8	26	6.7	23	97	260	90	23	65	420	87	0.22	84
			19.	8.7	26	6.7	21	97	260	90	23	65	450	86	0.22	84

ตารางที่ 4.8 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนฟอสเฟตแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 1

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์													
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	%BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS Removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal	
4	12	36.9	1.	9.9	31	5.3	48	94	108	96	14	79	400	87	0.23	83	
			2.	9.9	31	5.9	28	97	108	96	16	76	660	79	0.23	83	
			3.	9.8	30	6.0	29	96	108	96	13	80	680	78	0.23	83	
			4.	9.6	29	6.0	20	98	108	96	14	79	840	73	0.22	84	
			5.	9.6	28	6.1	28	97	108	96	14	79	830	74	0.22	84	
			6.	9.5	26	6.0	13	98	108	96	13	80	820	74	0.22	84	
			7.	9.5	27	6.0	12	99	108	96	11	83	700	78	0.22	84	
			8.	9.5	27	6.0	16	98	108	96	14	79	750	76	0.22	84	
			9.	9.1	26	6.1	19	98	108	96	14	79	860	73	0.22	84	
			10.	9.1	26	6.1	21	97	108	96	13	80	900	72	0.22	84	
			11.	9.1	26	6.1	18	98	108	96	11	83	800	75	0.22	84	
			12.	9.0	26	6.2	21	97	108	96	13	80	950	70	0.21	84	
			13.	8.9	26	6.1	23	97	108	96	14	79	880	72	0.21	84	
			14.	8.8	26	6.2	19	98	108	96	14	79	820	74	0.21	84	
			15.	8.8	26	6.4	12	99	108	96	14	79	740	77	0.21	84	
			16.	8.8	26	6.3	20	98	108	96	13	80	900	72	0.21	84	
			17.	8.8	27	6.1	18	98	108	96	14	79	780	75	0.21	84	
			18.	8.7	27	6.1	13	98	108	96	14	79	820	74	0.21	84	
			19.	8.7	26	6.1	13	98	108	96	14	79	980	69	0.21	84	



ตารางที่ 4.9 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 3.5 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาไรแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์													
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal	
3.5	3	8.46	1.	8.9	29	5.9	50	84	300	63	14	50	280	48	0.36	53	
			2.	8.9	29	5.9	41	87	300	63	14	50	400	26	0.34	56	
			3.	8.8	28	5.9	50	84	300	63	11	61	300	44	0.34	56	
			4.	8.8	28	5.7	42	87	300	63	12	57	280	48	0.33	57	
			5.	8.7	27	5.7	47	85	300	63	14	50	200	63	0.33	57	
			6.	8.7	27	5.7	36	89	300	63	11	61	260	52	0.33	57	
			7.	8.7	28	5.8	38	88	300	63	13	54	260	52	0.33	57	
			8.	8.7	27	5.9	33	90	300	63	14	50	220	59	0.33	57	
			9.	8.7	26	5.9	37	89	300	63	12	57	240	56	0.33	57	
			10.	8.7	26	5.8	30	91	300	63	14	50	240	56	0.33	57	
			11.	8.6	26	5.9	30	91	300	63	14	50	240	56	0.33	57	
			12.	8.6	25	5.8	31	90	300	63	14	50	260	52	0.32	58	
			13.	8.6	25	5.8	34	89	300	63	14	50	260	52	0.32	58	
			14.	8.6	26	5.8	30	91	300	63	14	50	260	52	0.32	58	
			15.	8.6	26	5.8	33	90	300	63	14	50	240	56	0.32	58	
			16.	8.6	26	5.8	30	91	300	63	14	50	300	44	0.32	58	
			17.	8.5	26	5.8	28	91	300	63	14	50	280	48	0.32	58	
			18.	8.5	26	5.9	27	92	300	63	14	50	280	48	0.32	58	
			19.	8.5	26	6.0	25	92	300	63	14	50	300	44	0.32	58	

ตารางที่ 4.10 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 3.5 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ใช้การจลน์ของอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในโพลาไรซ์แบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์															
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal			
3.5		8.46	1.	8.7	29	5.9	46	86	250	69	9	68	380	30	0.27	65			
			2.	8.7	28	6.0	42	87	250	69	10	64	400	26	0.27	65			
			3.	8.7	27	6.0	47	85	250	69	8	71	440	19	0.27	65			
			4.	8.7	27	6.0	38	88	200	75	9	68	430	20	0.27	65			
			5.	8.7	28	6.2	36	89	200	75	10	64	340	37	0.26	66			
			6.	8.7	27	5.8	34	89	200	75	8	71	340	37	0.26	66			
			7.	8.7	26	6.0	37	89	200	75	8	71	320	41	0.26	66			
			8.	8.7	26	6.0	39	88	200	75	8	71	320	41	0.25	68			
			9.	8.6	27	5.9	32	90	200	75	8	71	380	30	0.25	68			
			10.	8.6	26	5.9	29	91	200	75	9	68	420	22	0.25	68			
			11.	8.6	27	5.9	27	92	200	75	8	71	360	33	0.25	68			
			12.	8.6	26	5.9	27	92	200	75	8	71	400	26	0.24	69			
			13.	8.6	27	5.9	27	92	200	75	7	75	340	37	0.24	69			
			14.	8.6	27	5.8	27	92	200	75	7	75	340	37	0.24	69			
			15.	8.6	27	5.7	20	94	200	75	8	71	320	41	0.24	69			
			16.	8.5	26	5.7	17	95	200	75	8	71	280	48	0.24	69			
			17.	8.5	26	5.9	22	93	200	75	8	71	260	52	0.24	69			
			18.	8.5	26	5.8	21	93	200	75	8	71	260	52	0.24	69			
			19.	8.5	26	5.7	17	95	200	75	8	71	280	48	0.24	69			

ตารางที่ 4.11 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 4 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนฟอสเฟตแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 2

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์													
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal <sup>4</sup>	
4	10	30.8	1.	9.0	30	6.4	20	94	80	90	7	75	320	41	0.17	78	
			2.	9.0	29	6.5	21	93	80	90	7	75	360	33	0.14	82	
			3.	9.0	29	6.5	20	94	50	94	4	86	400	26	0.14	82	
			4.	9.0	29	6.4	21	93	50	94	4	86	390	28	0.14	82	
			5.	8.9	29	6.5	23	93	50	94	4	86	320	41	0.14	82	
			6.	8.9	29	6.5	18	94	50	94	4	86	360	33	0.14	82	
			7.	8.9	29	6.5	20	94	50	94	4	86	370	31	0.14	82	
			8.	8.9	28	6.4	15	95	50	94	4	86	340	37	0.13	83	
			9.	8.9	28	6.4	15	95	50	94	4	86	370	31	0.13	83	
			10.	8.9	28	6.4	20	94	50	94	4	86	370	31	0.13	83	
			11.	8.8	28	6.2	23	93	50	94	4	86	380	30	0.13	83	
			12.	8.8	28	6.3	13	96	50	94	4	86	340	37	0.13	83	
			13.	8.8	28	6.4	19	94	50	94	4	86	320	41	0.13	83	
			14.	8.8	27	6.2	17	95	50	94	4	86	350	35	0.13	83	
			15.	8.8	27	6.2	14	96	50	94	4	86	310	43	0.13	83	
			16.	8.8	27	6.2	15	95	50	94	4	86	340	37	0.13	83	
			17.	8.8	26	6.1	15	95	50	94	4	86	310	43	0.13	83	
			18.	8.8	26	6.1	16	95	50	94	4	86	340	37	0.13	83	
			19.	8.8	26	6.1	15	95	50	94	4	86	360	33	0.13	83	

ตารางที่ 4.12 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 0.85 Amp ต่อพื้นที่ทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แบบอนุกรม ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 3 แบบไม่กลับขั้ว

กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kw/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์													
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	%BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS removal	UV-254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV-254 Removal <sup>4</sup>	
0.85	40	26.15	1.	9.1	30	8.6	13	98	440	69	25	48	360	45	0.44	64	
			2.	9.1	30	8.9	13	98	420	71	25	48	390	40	0.44	64	
			3.	9.2	30	8.8	13	98	420	71	25	48	350	46	0.41	66	
			4.	9.2	30	8.9	12	99	405	72	25	48	360	45	0.38	69	
			5.	9.2	30	8.9	14	98	375	74	19	60	340	48	0.38	69	
			6.	9.4	30	8.8	14	98	375	74	19	60	320	51	0.38	69	
			7.	9.4	28	8.9	14	98	375	74	19	60	350	46	0.35	71	
			8.	9.4	28	8.9	13	98	375	74	19	60	360	45	0.35	71	
			9.	9.4	28	8.9	13	98	375	74	19	60	320	51	0.35	71	
			10.	9.5	28	8.9	13	98	375	74	19	60	340	48	0.35	71	
			11.	9.5	28	8.8	13	98	375	74	19	60	380	42	0.35	71	
			12.	9.5	28	8.9	14	98	375	74	19	60	340	48	0.35	71	
			13.	9.6	28	8.9	14	98	375	74	19	60	350	46	0.35	71	
			14.	9.6	28	8.9	13	98	375	74	19	60	350	46	0.35	71	
			15.	9.6	28	8.8	13	98	375	74	19	60	320	51	0.35	71	
			16.	9.6	28	8.9	13	98	375	74	19	60	310	52	0.35	71	
			17.	9.6	28	8.9	13	98	375	74	19	60	340	48	0.35	71	
			18.	9.6	28	8.9	12	99	375	74	19	60	330	49	0.35	71	
			19.	9.6	28	8.9	12	99	375	74	19	60	320	51	0.35	71	

ตารางที่ 4.13 การเดินระบบแบบต่อเนื่อง 0.85 Amp ต่อพื้นที่ที่ปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมไปโพแทสเซียมบนรูปทรง ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด ที่ 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 3 แบบสลับขั้วทุก 10 min

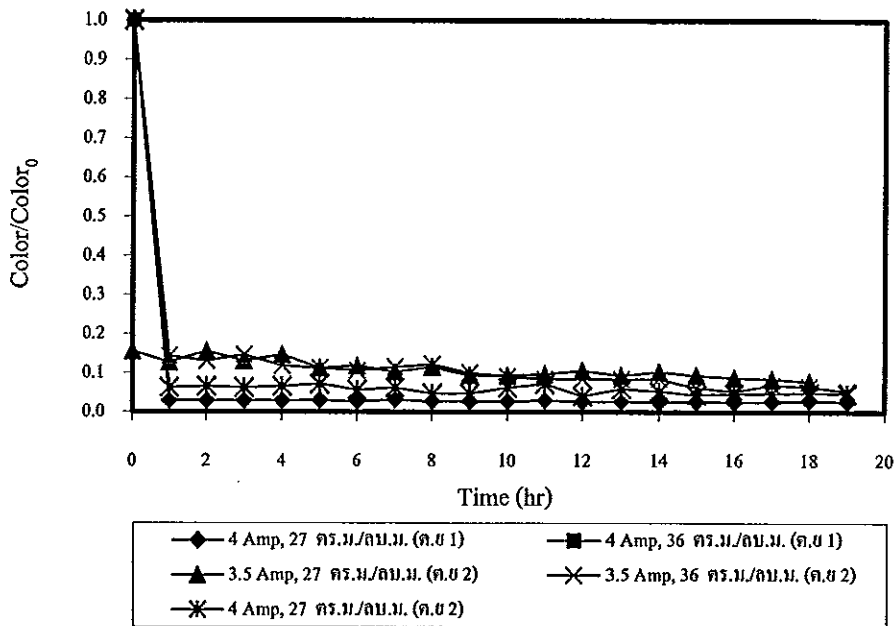
กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kWh/m <sup>3</sup> )	ชั่วโมงที่	พารามิเตอร์													
				pH	Temperature (°C)	Conductivity (mS/cm)	Color (Pt-Co)	% Color Removal	COD (mg/L)	%COD Removal	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	% BOD <sub>5</sub> Removal	TSS (mg/L)	% TSS removal	UV -254 (cm <sup>-1</sup> )	% UV -254 Removal	
0.85	40	26.15	1.	9.0	32	8.3	13	98	436	70	20	58	390	40	0.43	65	
			2.	9.0	32	8.5	12	99	436	70	20	58	350	46	0.43	65	
			3.	9.1	32	8.7	13	98	436	70	20	58	340	48	0.43	65	
			4.	9.1	32	8.8	12	99	416	71	20	58	330	49	0.38	69	
			5.	9.1	32	8.7	12	99	395	72	18	63	350	46	0.36	70	
			6.	9.1	32	8.8	12	99	354	75	18	63	360	45	0.34	72	
			7.	9.2	32	8.7	13	98	354	75	18	63	340	48	0.34	72	
			8.	9.2	32	8.7	12	99	354	75	18	63	320	51	0.34	72	
			9.	9.2	31	8.4	11	99	354	75	18	63	330	49	0.34	72	
			10.	9.2	31	8.5	12	99	354	75	18	63	360	45	0.34	72	
			11.	9.4	31	8.6	11	99	354	75	18	63	350	46	0.34	72	
			12.	9.4	31	8.7	11	99	354	75	18	63	340	48	0.34	72	
			13.	9.4	31	8.8	11	99	354	75	18	63	330	49	0.34	72	
			14.	9.5	31	8.8	12	99	354	75	18	63	320	51	0.34	72	
			15.	9.5	30	8.7	11	99	354	75	18	63	360	45	0.34	72	
			16.	9.5	30	8.8	11	99	354	75	18	63	340	48	0.34	72	
			17.	9.6	30	8.8	11	99	354	75	18	63	320	51	0.34	72	
			18.	9.6	30	8.8	11	99	354	75	18	63	340	48	0.34	72	
			19.	9.6	30	8.8	11	99	354	75	18	63	330	49	0.34	72	

#### 4.5.1 สี

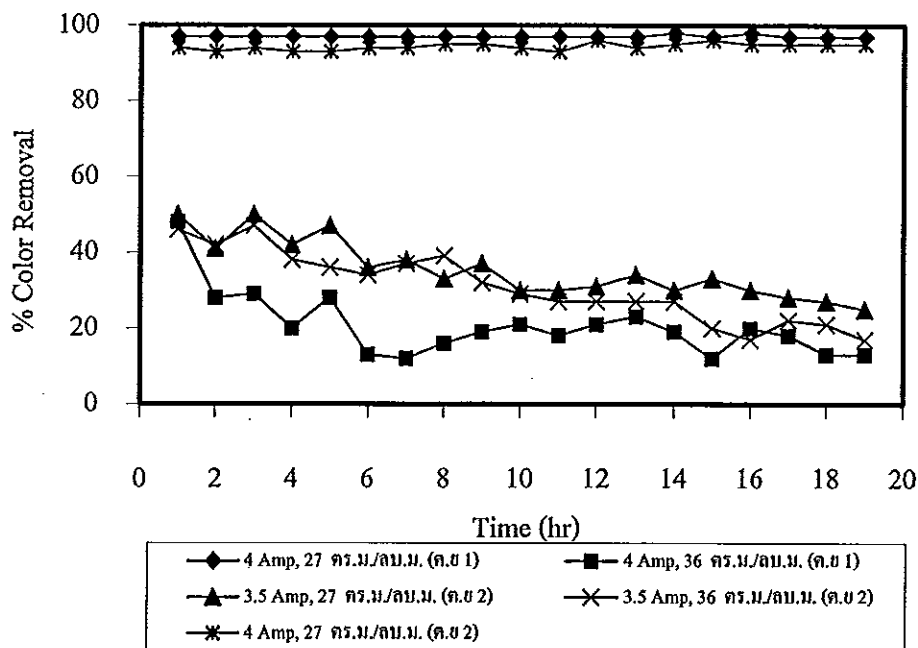
ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม คังตารางที่ 4.7 และ 4.11 จากตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2 การทดลองที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 และ 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  โดยการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนานของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 และ 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  และ 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 2 ค่าของสีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 804 ของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 322 Pt-Co ของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 2 เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างน้ำเก็บครั้งที่ 1 ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 97-98% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 94-99% ตัวอย่างน้ำทิ้งที่เก็บครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 84.47-92.24% ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 86-95% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 93-96% ตามลำดับอัตราส่วนค่า Color/Color<sub>0</sub> ดังภาพที่ 3.37-3.38

ชุดการทดลองที่ 2 ผลการบำบัดน้ำทิ้งจากการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่าสีเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 812 Pt-Co แบบไม่มีการสลับขั้วของขั้วของอิเล็กโทรดประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 98-99% เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันแต่มีการสลับขั้วทุก 10 min เพื่อลดการเกิดฟิล์มบนขั้วอิเล็กโทรด ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 98-99% คังตารางที่ 4.12 และ 4.13 อัตราส่วนค่า Color/Color<sub>0</sub> ดังภาพที่ 3.39-3.40 ซึ่งลักษณะสีของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นสีที่เกิดจากวัสดุธรรมชาติซึ่งเป็นสารอินทรีย์โดยมีกลไกการบำบัดสีตามหัวข้อที่ 4.1.1 และเปรียบเทียบสีดังภาพที่ 3.41

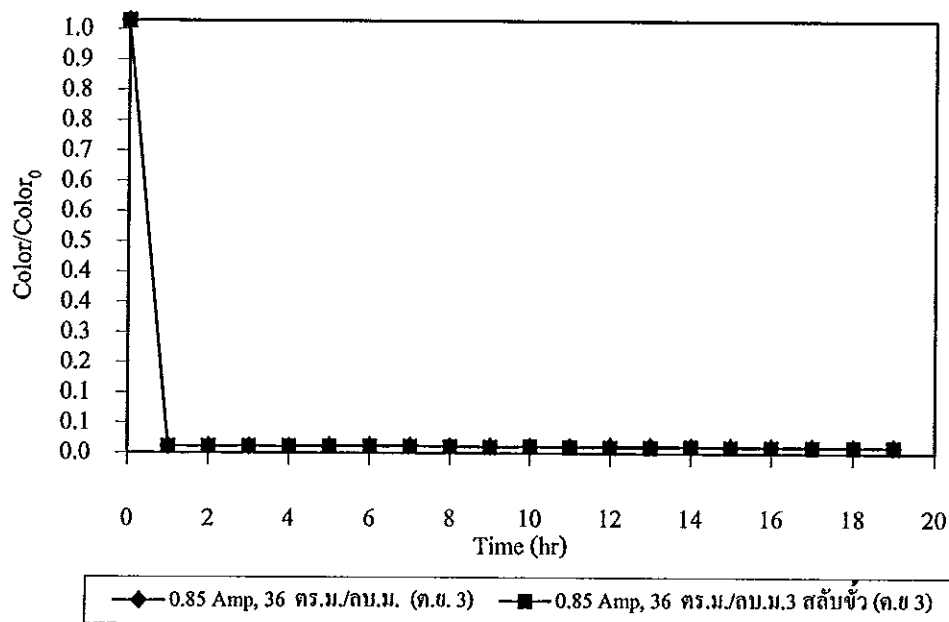
จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างสูงและขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลองด้วย หากน้ำทิ้งมีค่าสีที่ต่ำอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงมาก แต่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่จะนำไปประยุกต์ใช้ หากเลือกกำจัดสีเพียงอย่างเดียวอาจเลือกใช้ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ก็เพียงพอต่อการกำจัดสีที่เกิดจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มได้แล้วถ้าค่าสีไม่สูงมาก และหากมีค่าสีสูงก็อาจเลือกใช้ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  และเปรียบเทียบสีดังภาพที่ 3.41-3.43



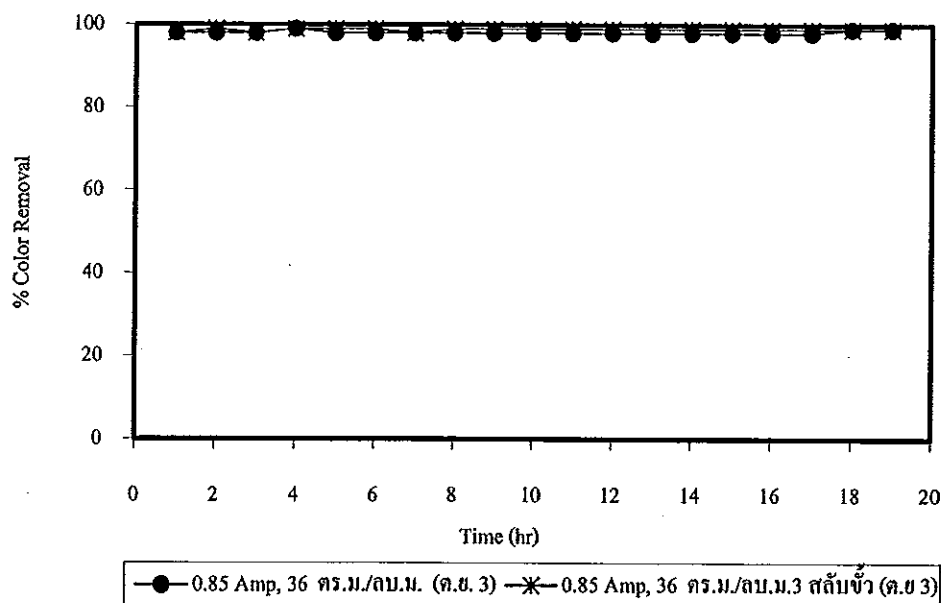
ภาพที่ 4.37 ค่า Color/Color<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วย ไฟฟ้าเคมี แบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.38 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัด ด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2

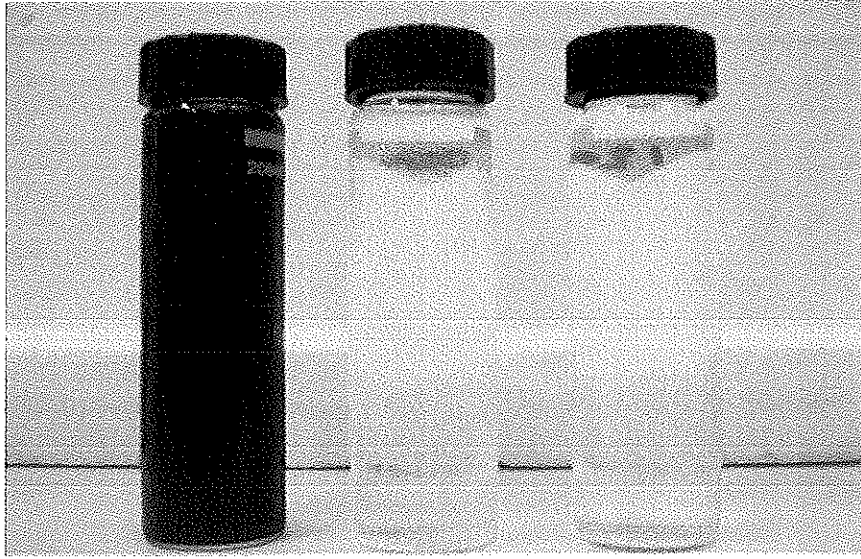


ภาพที่ 4.39 ค่า Color/Color<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

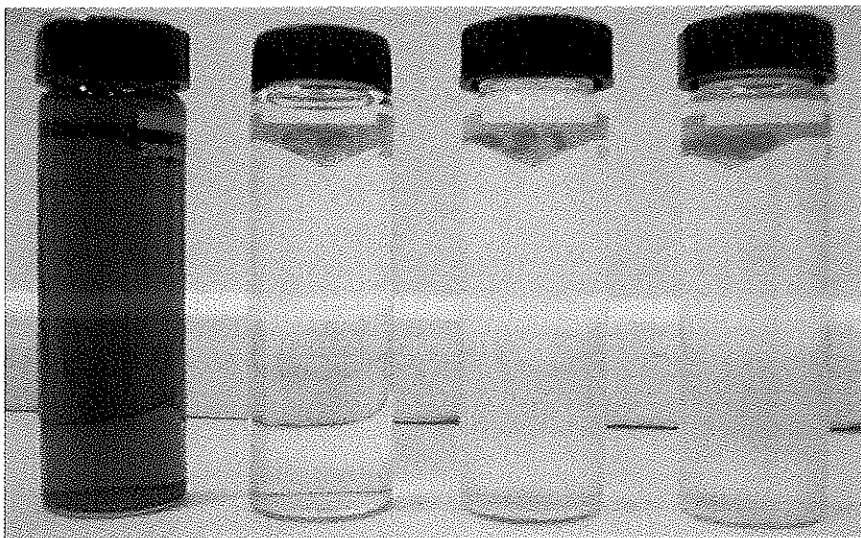


ภาพที่ 4.40 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

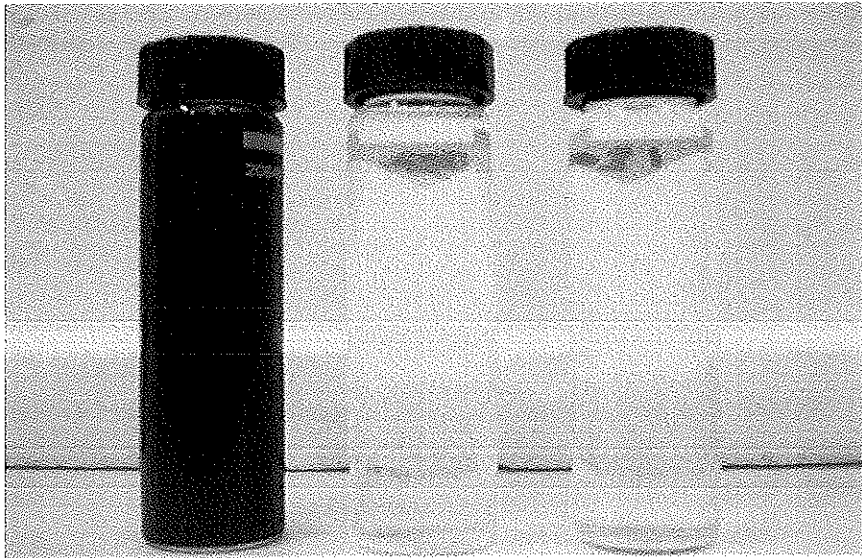




ภาพที่ 4.41 น้ำทิ้งก่อนการกำจัดและน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min และน้ำทิ้งก่อนการบำบัด พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27 และ 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.42 น้ำทิ้งก่อนการกำจัดและน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27 และ 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  และ 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.43 น้ำทิ้งก่อนการบำบัดและน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp แบบไม่สลับขั้วและแบบสลับขั้วทุก 10 min พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27 และ 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

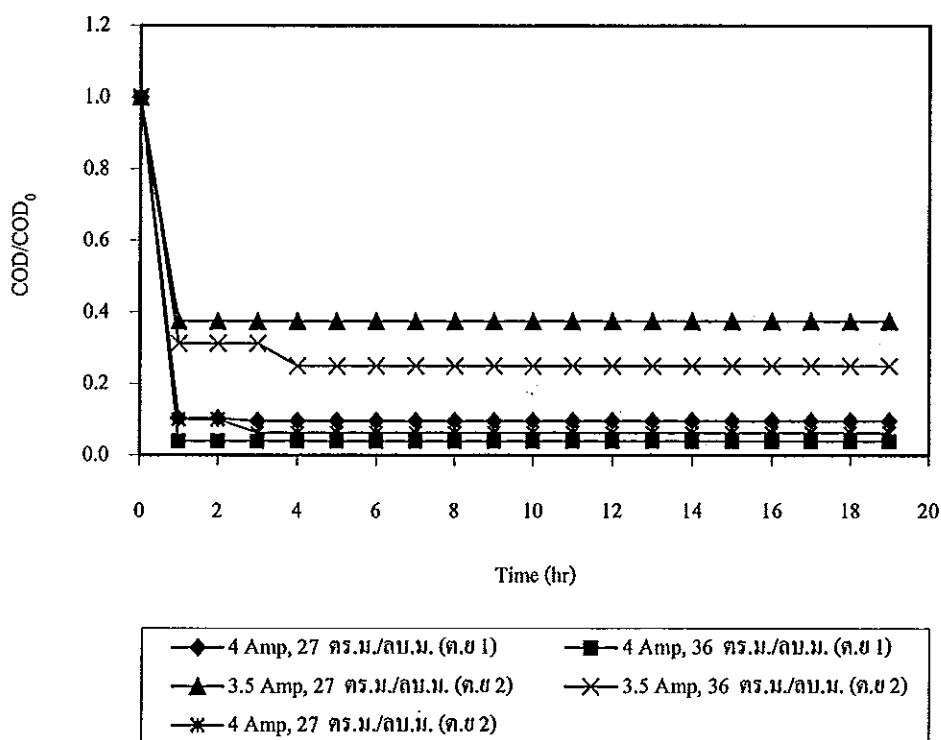
#### 4.5.2 ซีโอดี

ชุดการทดลองที่ 1 จากผลการทดลองโดยการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ดังตารางที่ 4.7 และ 4.11 จากตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2 ค่าก่อนการบำบัด COD ในตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 และ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 2,715 และ 800  $\text{mg/L}$  และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำ ตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับ 90% ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับ 96% น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  และมีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเท่ากับ 63% ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 69-75% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $\text{m}^2/\text{m}^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 90-94% โดยมีค่า อัตราส่วน  $\text{COD}/\text{COD}_0$  ดังภาพที่ 4.44-4.45

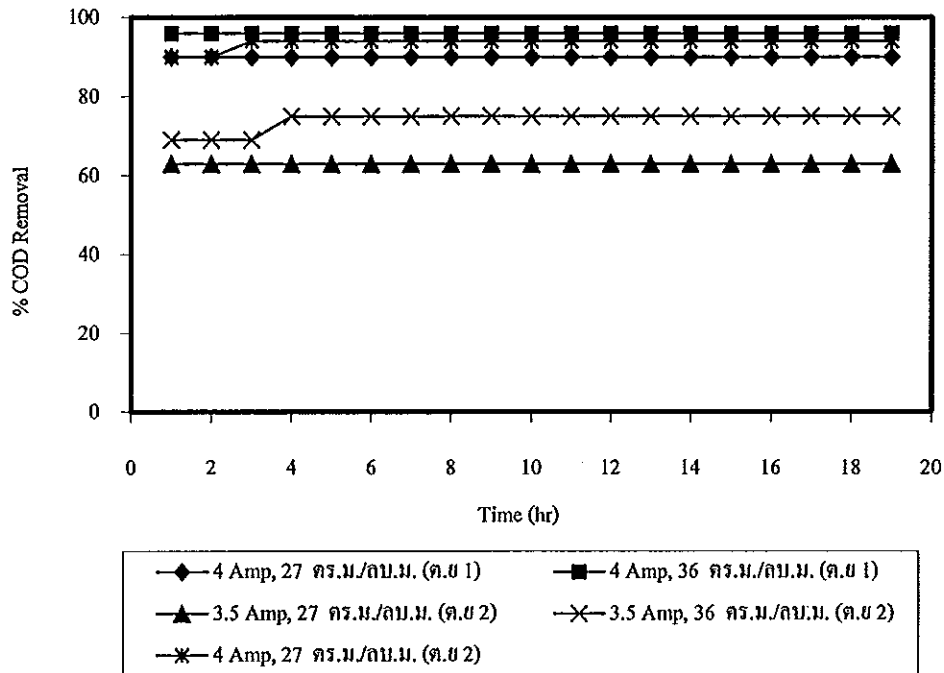
ชุดการทดลองที่ 2 จากผลการบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 36  $\text{m}^2/\text{m}^3$  โดยตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่า COD

เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1,430 mg/L โดยไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรด ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 69-74% เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรดทุก 10 min ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 70-75% อัตราส่วน COD/COD<sub>0</sub> ดังภาพที่ 4.46-4.47

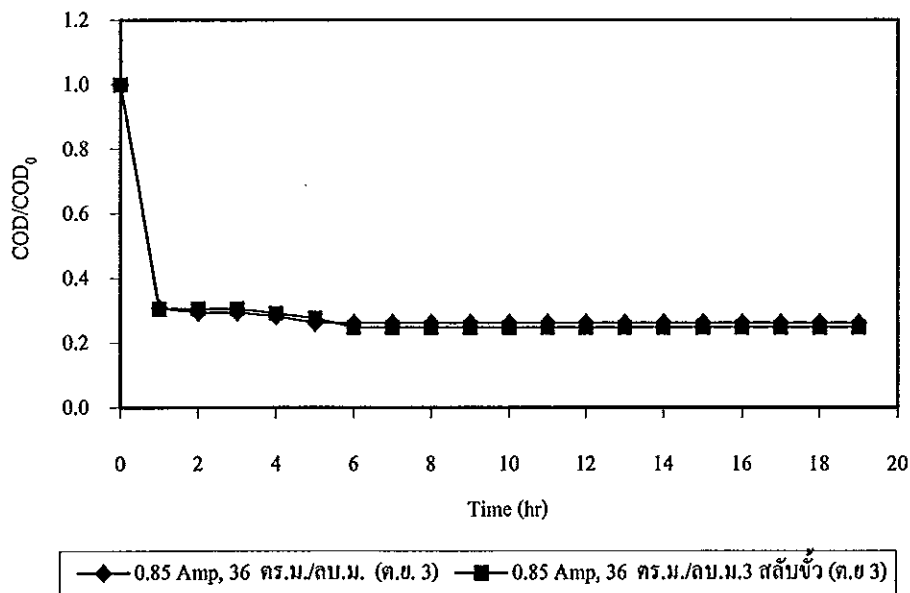
จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเห็นได้ว่าการบำบัดค่า COD นั้นหากต้องการให้มีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ที่คือนั้นจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการกำจัดที่เหมาะสม รวมทั้งพลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา อัตราการไหล ก็มีผลต่อการกำจัด COD เพราะเมื่ออัตราการไหลเพิ่ม COD ก็จะมีค่าลดลงเนื่องจากระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อย และขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำที่นำมาใช้ในการทำการทดลองของแต่ละครั้งด้วย (Raguh *et.al.*, 2007)



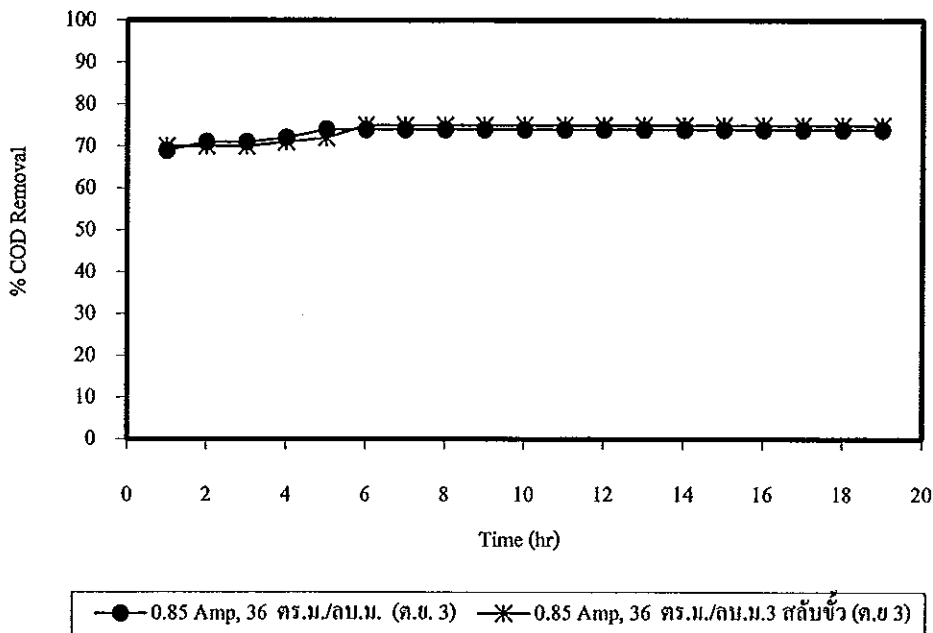
ภาพที่ 4.44 ค่า COD/COD<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.45 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.46 ค่า COD/COD₀ ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.47 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

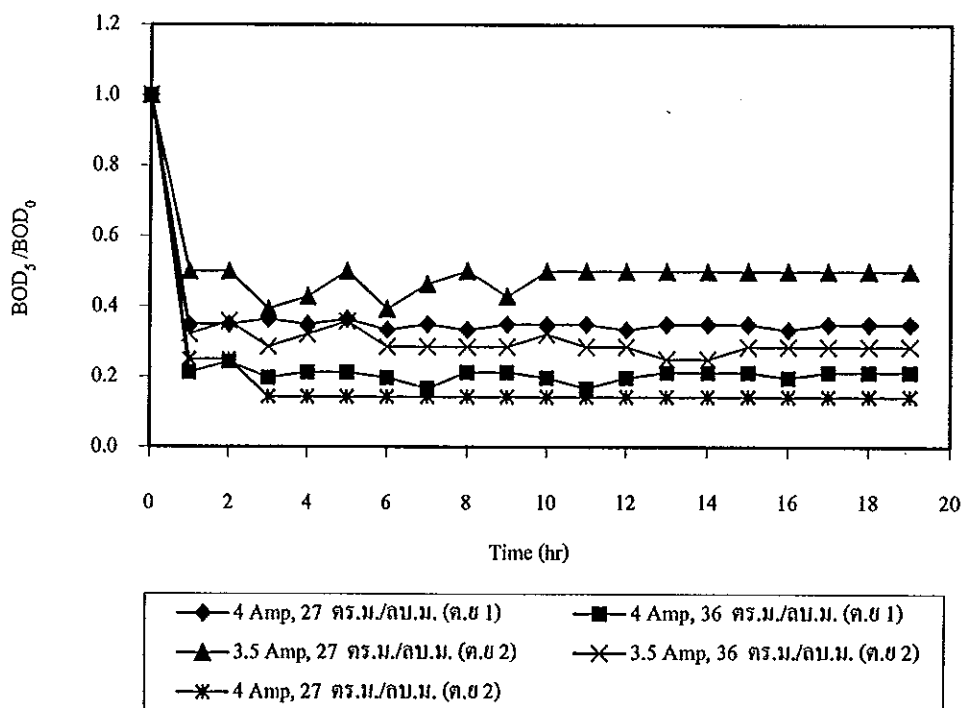
#### 4.5.3 บีโอดี

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 4.7 และ 4.11 จากตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2 จากการทำการทดลองด้วยตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 เริ่มต้นมีค่า  $BOD_5$  เท่ากับ 66 mg/L ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เริ่มต้นมีค่า  $BOD_5$  เท่ากับ 29 mg/L และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $m^2/m^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 67-63% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $m^2/m^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 83-76% น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่ 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $m^2/m^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 61-50% ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $m^2/m^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 75-64% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27  $m^2/m^3$  มีประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 85.71-75% และอัตราส่วน  $BOD_5/BOD_0$  ดังภาพที่ 4.48-4.49

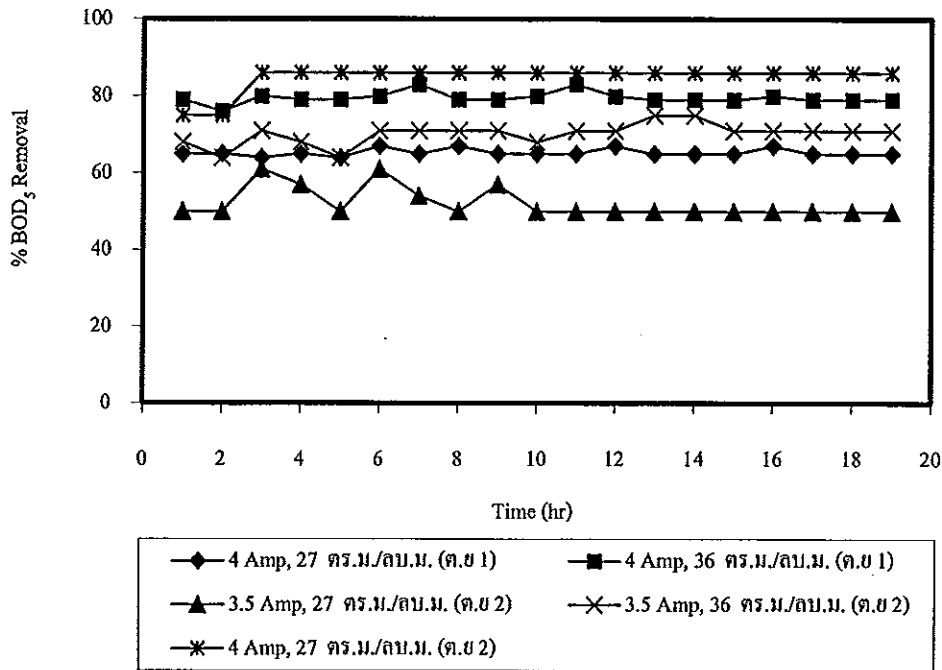
ชุดการทดลองที่ 2 ผลการบำบัดน้ำทิ้งการจืดเรียงอิเล็กทรอนิกส์โพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36  $m^2/m^3$  ของตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่า  $BOD_5$

เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 48 mg/L โดยไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 48-60% เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรดทุก 10 min มีค่า  $BOD_5$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 58-63% และอัตราส่วน  $BOD_5/BOD_0$  คังภาพที่ 4.50-4.51

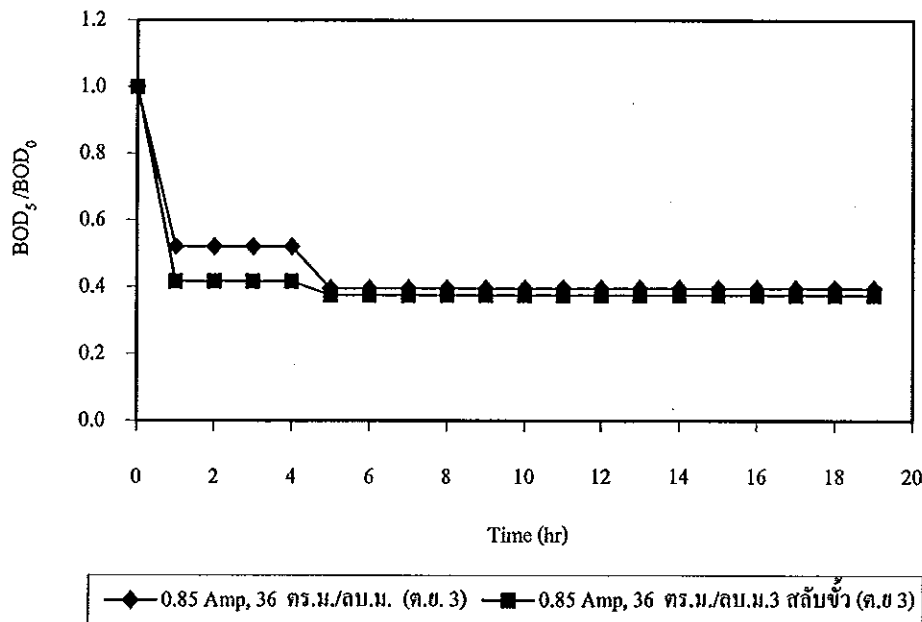
จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเห็นได้ว่าการบำบัดค่า  $BOD_5$  มีค่าลดลงเนื่องจากค่า  $BOD_5$  เริ่มต้นมีค่าไม่สูงมากและเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีก็ทำให้ค่า  $BOD_5$  ลดลงอย่างเห็นได้ชัด



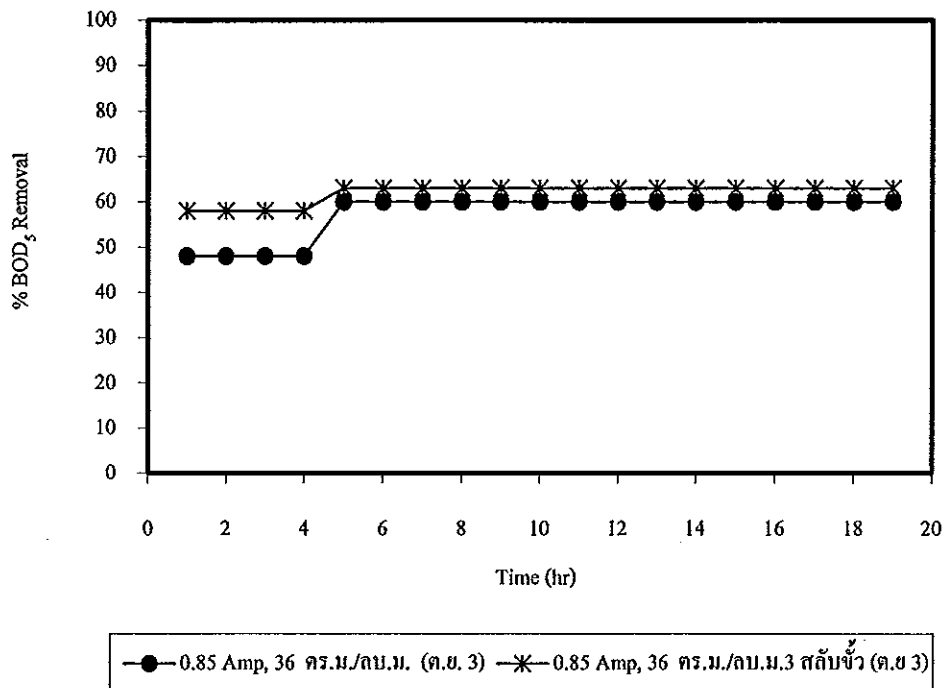
ภาพที่ 4.48 ค่า  $BOD_5/BOD_0$  ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.49 ค่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.50 ค่า BOD<sub>5</sub>/BOD<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจาก โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3



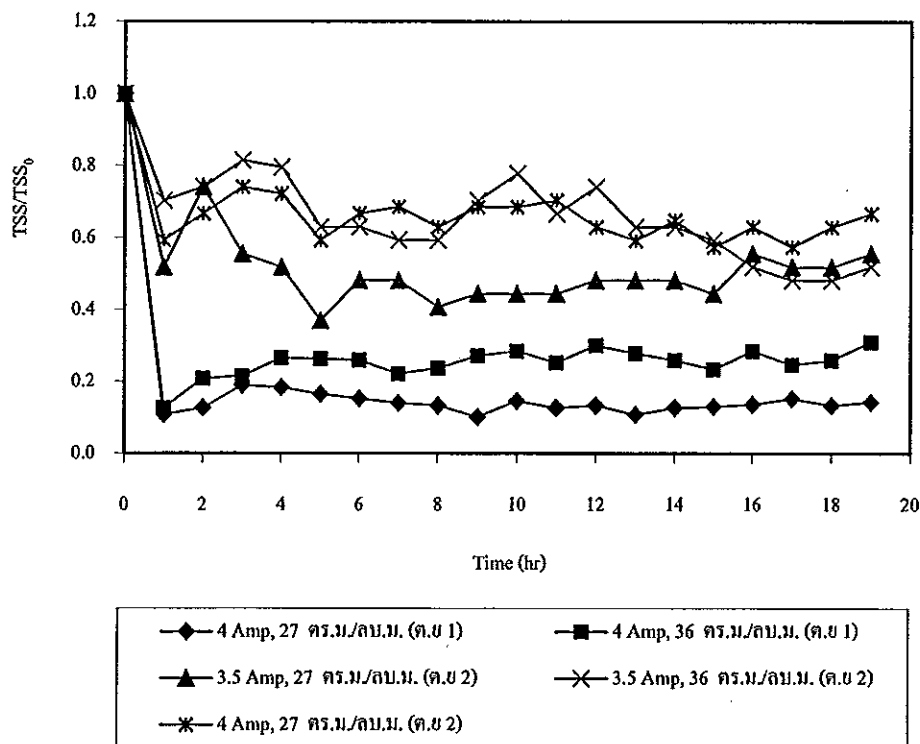
ภาพที่ 4.51 ค่าประสิทธิภาพการกำจัด BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

#### 4.5.4 ของแข็งแขวนลอย

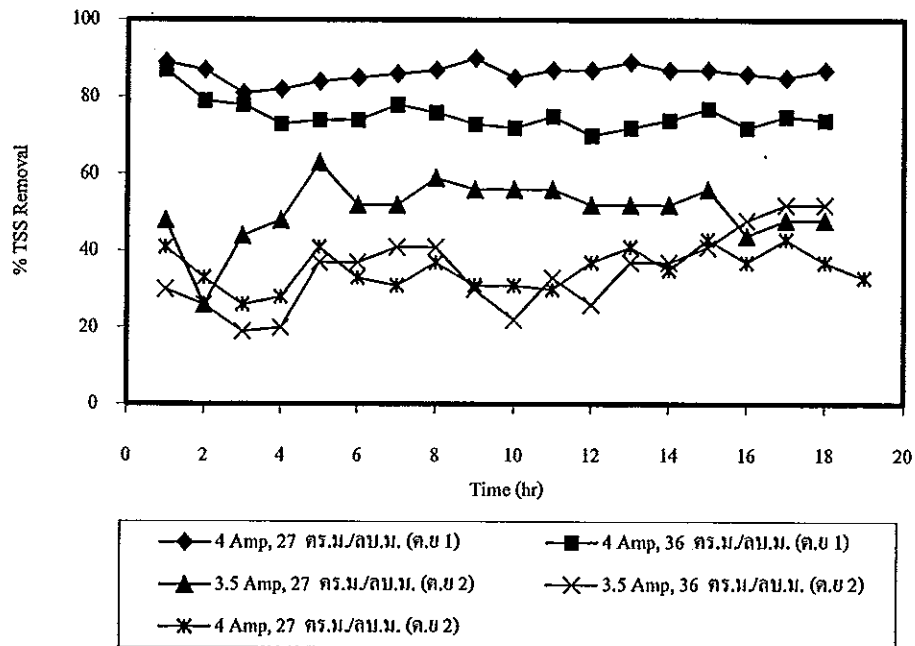
ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 4.7 และ 4.11 จากตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2 ค่าก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 3,160 mg/L ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 540 mg/L และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 89-81% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 87-69% น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 63-26% ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 52-19% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 43-26% และอัตราส่วน TSS/TSS<sub>0</sub> ดังภาพที่ 4.52



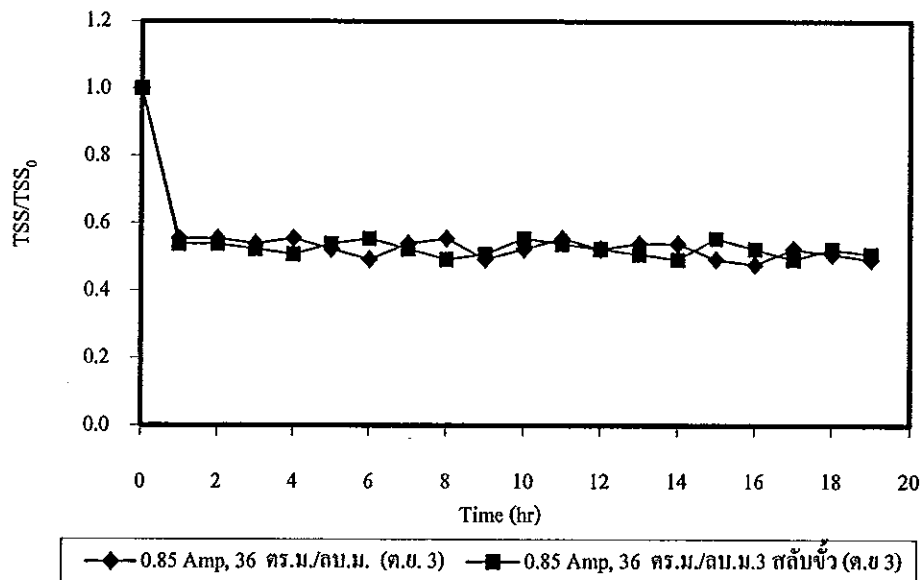
ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $650 \text{ mg/L}$  เมื่อผ่านการบำบัดซึ่งไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 40-51% เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรดทุก 10 min ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าอยู่ในช่วง 43-26% ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.55 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าลดลงและเป็นไปตามข้อ 4.1.4 และอัตราส่วน  $\text{TSS}/\text{TSS}_0$  ดังภาพที่ 4.54



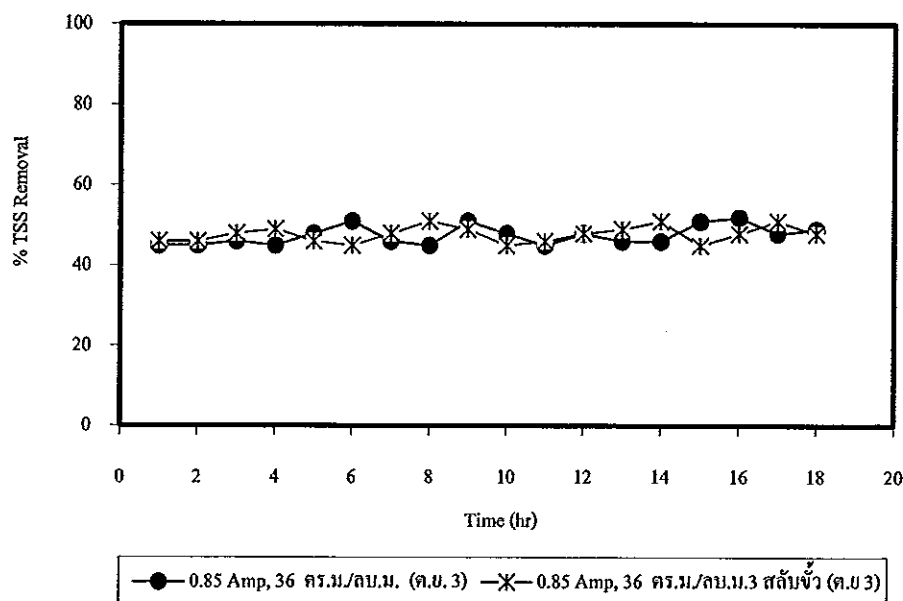
ภาพที่ 4.52 ค่า  $\text{TSS}/\text{TSS}_0$  ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.53 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.54 ค่า  $TSS/TSS_0$  ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.55 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

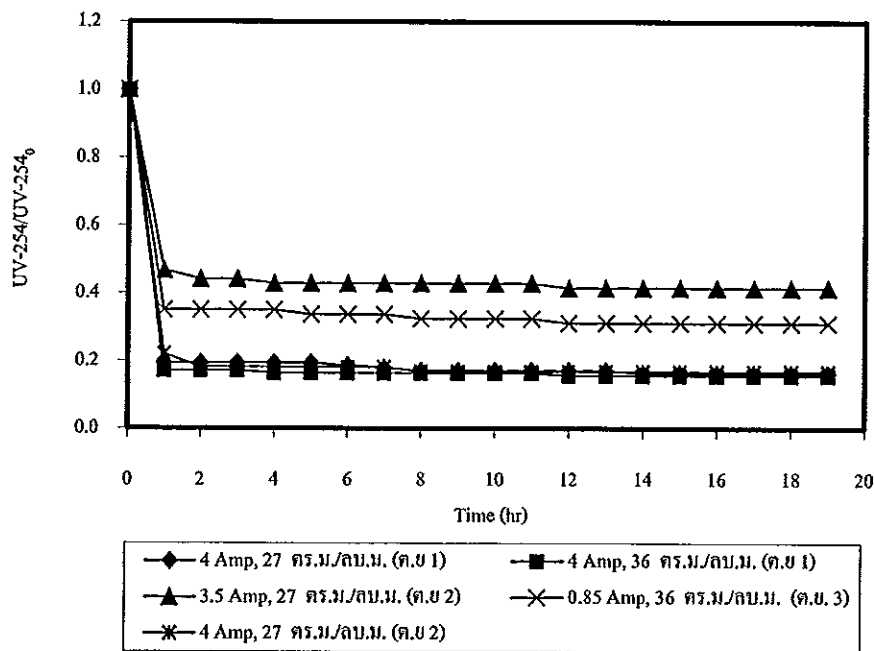
#### 4.5.5 UV-254

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 4.7 และ 4.11 เมื่อนำน้ำตัวอย่างมาตรวจวัดพบว่า ค่า UV-254 ในส่วนที่ 1 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $1.34 \text{ cm}^{-1}$  ในส่วนที่ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $0.77 \text{ cm}^{-1}$  และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 81-84% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 83-84% น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  โดยประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 53-58% ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 65-69% ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 77.92-83.12% ดังภาพที่ 4.57

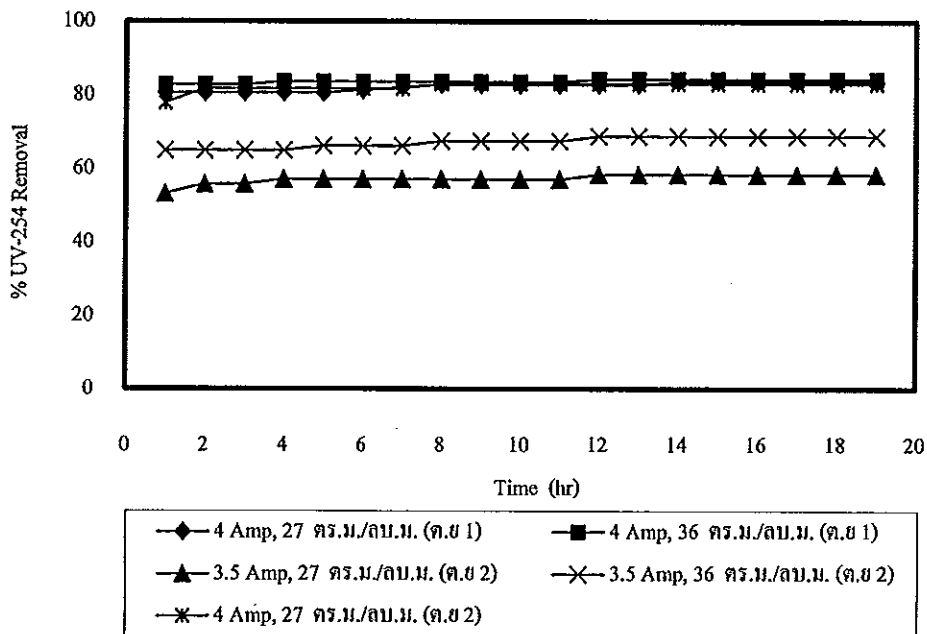
ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลการทดลองการบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กทรอนิกส์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ใน

การทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $1.22 \text{ cm}^{-1}$  เมื่อผ่านการบำบัดซึ่งไม่มีการสลับขั้ว ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 64-71% เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรดทุก 10 min ประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 65-72% ตามลำดับ ค่า UV-254 ค้างภาพที่ 4.59

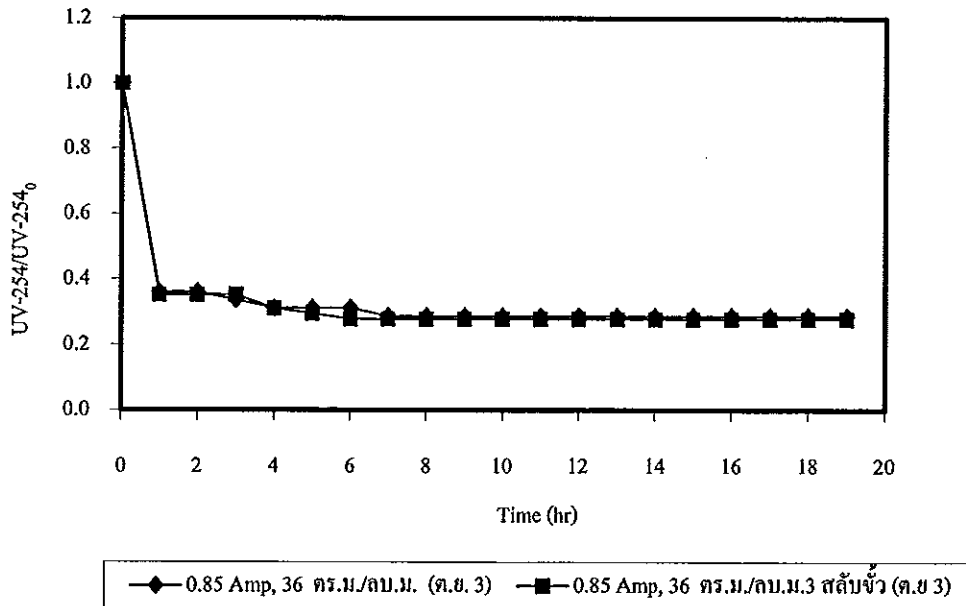
ผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามหัวข้อที่ 4.4.1



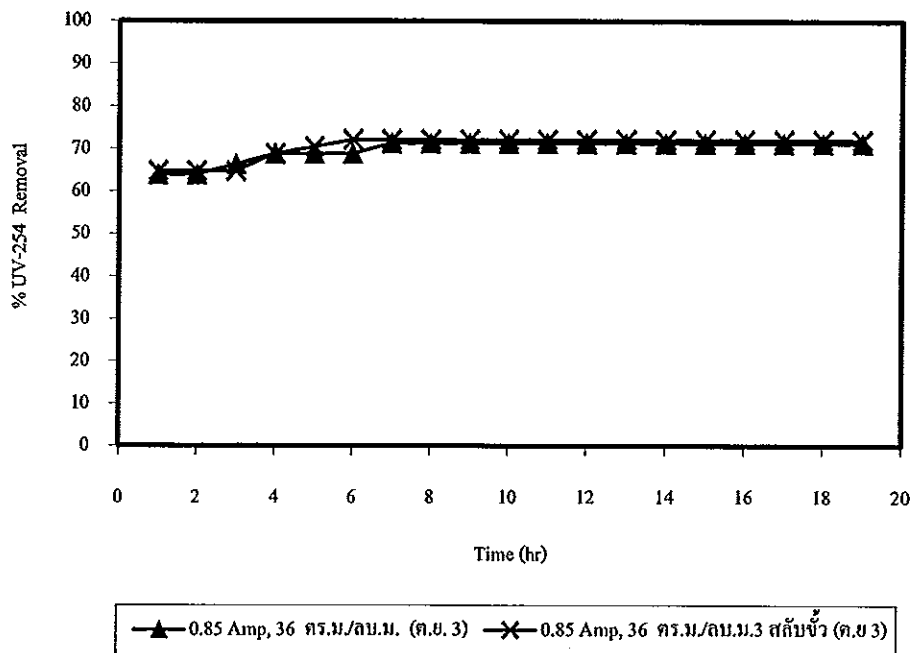
ภาพที่ 4.56 ค่า UV-254/UV-254<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.57 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254/UV-254<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 1 และ 2



ภาพที่ 4.58 ค่า UV-254/UV-254<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีแบบต่อเนื่องของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3



ภาพที่ 4.59 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดค่า UV-254/UV-254<sub>0</sub> ของน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของตัวอย่างน้ำทิ้งครั้งที่ 3

#### 4.5.4 SV<sub>60</sub>

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 4.14 จากผลการทดลองค่า SV<sub>60</sub> พบว่าตัวอย่างน้ำที่เก็บทั้ง 3 ครั้งมีค่าเท่ากับ 1 mg/L และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 53.72 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 750 mL/L และพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 880 mL/L ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 27 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 660 mL/L และที่พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 670 mL/L และค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 740 mL/L

ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดังตารางที่ 4.14 ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 Amp แบบไม่สลับขั้ว พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> มีค่าเท่ากับ 520 mL/L ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 Amp แบบสลับขั้วทุก 10 min มีค่าเท่ากับ 620 mL/L

จากผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองจะเห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำให้ปริมาณตะกอนเกิดเพิ่มขึ้น การแตกตัวมีมากขึ้นก็เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการลดพื้นที่ทำปฏิกิริยาทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นลดลงด้วยเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ที่มากกว่าทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณที่น้อยลงและการจัดเรียงไบโพลาร์แบบขนานมีปริมาณน้อยกว่าการจัดเรียงโมโนโพลาร์แบบขนาน อาจเกิดจากปริมาณไอออนที่แตกตัวมีน้อยกว่าการรวมตัวของตะกอนที่เกิดขึ้นจึงมีน้อยกว่า จึงทำให้ตะกอนที่เกิดขึ้นน้อยตามไปด้วย

#### 4.5.5 ทีเอช

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มค่าก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีในตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 7.8 ตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 8.4 และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง 9.1-8.7 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง 9.9-8.7 น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง 8.9-8.5 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง 8.7-8.5 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง 9-8.8

ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลการบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่า pH เริ่มต้น 8.4 ผ่านการบำบัดซึ่งไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดทุก 10 min มีค่า pH เท่ากับ 9.1-9.6 เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรด มีค่า pH อยู่ในช่วง 9.0-9.6 ตามลำดับ

ผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่า pH ในน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นก่อนการบำบัด โดย  $\text{Al}^{3+}$  เกิดการแตกตัวได้ดีที่ค่า pH ต่ำๆ เมื่อเกิดปฏิกิริยาทำให้ค่า pH เพิ่มขึ้นทำให้  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ละลายน้ำเสียจึงมีค่าเป็นเบสทำให้การทำงานของอะลูมิเนียมดีขึ้นสามารถบำบัดสารอินทรีย์โดยอาศัยกลไกการดูดซับและเกิดการตกตะกอนและถ้า pH เริ่มต้นเป็นกรดก็จะสามารถลดค่าซีโอดีได้ดี

#### 4.5.6 อุณหภูมิ

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อนำน้ำตัวอย่างก่อนการบำบัดมาวัดอุณหภูมิในตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 และตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $28^{\circ}\text{C}$  และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $26-29^{\circ}\text{C}$  ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $26-31^{\circ}\text{C}$  น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่ 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $26-29^{\circ}\text{C}$  ที่ 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $26-29^{\circ}\text{C}$  ที่ 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $26-30^{\circ}\text{C}$

ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม การบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36\text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $28^{\circ}\text{C}$  เมื่อผ่านการบำบัดซึ่งไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดมีค่าอยู่ในช่วง  $30-28^{\circ}\text{C}$  เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกันและมีการสลับขั้วอิเล็กโทรด มีค่าอยู่ในช่วง  $32-30^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อนำไปบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้นค่าอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ดีและที่อุณหภูมิต่ำการละลายของขั้วแอโนดจะเกิดขึ้นได้น้อยและการรวมตัวของ Hydroxide กับสารอินทรีย์ก็จะเกิดขึ้นน้อยด้วย

#### 4.5.7 การนำไฟฟ้า

ชุดการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ก่อนการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีในตัวอย่างน้ำครั้งที่ 1 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $6.6\text{ mS}/\text{cm}$  ในตัวอย่างน้ำครั้งที่ 2 เริ่มต้นมีค่าเท่ากับ  $5.6\text{ mS}/\text{cm}$  และเมื่อผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีของน้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 1 ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $6.1-6.7\text{ mS}/\text{cm}$  ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $5.3-6.4\text{ mS}/\text{cm}$  น้ำตัวอย่างที่เก็บครั้งที่ 2 ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $5.7-6\text{ mS}/\text{cm}$  ที่กระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $5.7-6.2\text{ mS}/\text{cm}$  ที่กระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $27\text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าอยู่ในช่วง  $6.1-6.5$

ชุดการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ผลการบำบัดน้ำทิ้งการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่กระแสไฟฟ้า 0.85 Amp พื้นที่ใน



การทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 3 ค่าเริ่มต้นเท่ากับ  $10.1 \text{ mS/cm}$  ซึ่งมีการเติมเกลือลงในน้ำทิ้งก่อนการบำบัด โดยค่าก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับ  $8.1 \text{ mS/cm}$  และเมื่อผ่านการบำบัด ซึ่งไม่มีการสลับขั้วของอิเล็กโทรดมีค่าอยู่ในช่วง 8.6-8.9 เมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบเดียวกัน และมีการสลับขั้วอิเล็กโทรด มีค่าอยู่ในช่วง 8.3-8.8 ตามลำดับ

ผลการทดลองทั้ง 2 ชุดการทดลองเมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้นค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นส่วนใหญ่ ดังเหตุผลที่แสดงตามหัวข้อ 4.1.11 และเมื่อมีการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจากเดิมเนื่องจากก่อนทำการทดลองมีการเติมเกลือเพื่อช่วยเพิ่มอิออนในน้ำเพื่อทำให้ค่าการนำไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าเพิ่มขึ้นและค่ากระแสไฟฟ้าก็เพิ่มตามไปด้วยเมื่อผ่านการบำบัดน้ำเสียค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าลดลงจากเดิมเนื่องจากการนำประจุของอิออนไปใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทำให้ค่าการนำไฟฟ้าลดลง

ตารางที่ 4.14 ค่าของแรงดึงทั้งหมด (TS) และการตกตะกอน (SV<sub>๖๐</sub>) ในตะกอนน้ำทิ้งเมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี

ระยะห่างระหว่างขั้ว อิเล็กโทรด	การจัดเรียงอิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>๓</sup> )	พื้นที่ทำปฏิกิริยา (m <sup>๒</sup> /m <sup>๓</sup> )	TS (mg/L)	SV <sub>๖๐</sub> (mL/L)
2	โมโนโพลาร์แบบขนาน	4	6	18.5	27	16,228	750
	ไบโพลาร์แบบขนาน	4	12	36.9	36	17,660	880
	โมโนโพลาร์แบบขนาน	3.5	3	8.46	27	15,374	660
	ไบโพลาร์แบบขนาน	3.5	3	8.46	36	15,493	670
	โมโนโพลาร์แบบขนาน	4	10	30.8	36	16,825	740
	ไบโพลาร์แบบอนุกรม	0.85	40	26.15	36	13,746	560
	ไบโพลาร์แบบอนุกรม	0.85 สลับขั้ว	40	26.15	36	14,372	610

ตารางที่ 4.15 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาร์แบบขนาน และการจัดเรียงไบโพลาร์แบบอนุกรม ระยะห่างระหว่างขั้ว

อิเล็กโทรดที่ 2 cm

ระยะห่างระหว่าง อิเล็กโทรด	การจัดเรียงอิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>๓</sup> )	พื้นที่ทำปฏิกิริยา (m <sup>๒</sup> /m <sup>๓</sup> )	น้ำหนัก Al ที่สูญเสีย (g)	ค่า AI (Bath)	ค่า AI (Bath/m <sup>๓</sup> )
2	โมโนโพลาร์แบบขนาน	4	6	18.5	27	26.6820	0.63	20.19
	ไบโพลาร์แบบขนาน	4	12	36.9	36	26.7181	0.66	21.15
	โมโนโพลาร์แบบขนาน	3.5	3	8.46	27	22.8441	0.45	14.42
	ไบโพลาร์แบบขนาน	3.5	3	8.46	36	24.9327	0.48	15.38
	โมโนโพลาร์แบบขนาน	4	10	30.8	36	26.8399	0.64	20.51
	ไบโพลาร์แบบอนุกรม	0.85	40	26.15	36	74.4052	1.62	51.92
	ไบโพลาร์แบบอนุกรม	0.85 สลับขั้ว	40	26.15	36	88.3428	2.52	80.77

ตารางที่ 4.16 ค่าไฟฟ้าใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาไรแบบขนาน และการจัดเรียงไบโพลาไรแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด	การจัดเรียงอิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>2</sup> )	พื้นที่ทำปฏิกิริยา (cm <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	จำนวนชุด (Unit)	ค่าไฟฟ้า (Bath)	ค่าไฟฟ้า (Bath/m <sup>3</sup> )
2	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	6	18.5	27	0.6360	1.72	50.51
	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	12	36.9	36	1.2720	3.43	101.01
	ไบโพลาไรแบบขนาน	3.5	3	8.46	27	0.2783	0.75	22.10
	ไบโพลาไรแบบขนาน	3.5	3	8.46	36	0.2783	0.75	22.10
	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	10	30.8	36	1.0600	2.86	84.18
	ไบโพลาไรแบบอนุกรม	0.85	40	26.15	36	0.9010	2.43	71.55
	ไบโพลาไรแบบอนุกรม	0.85 สลับขั้ว	40	26.15	36	0.9010	2.43	71.55

ตารางที่ 4.17 ค่าอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง ใช้การจัดเรียงอะลูมิเนียมโมโนโพลาไรแบบขนาน ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ 2 cm

ระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด	การจัดเรียงอิเล็กโทรด	กระแสไฟฟ้า (Amp)	ความต่างศักย์ (Volt)	พลังงานไฟฟ้า (kW/m <sup>2</sup> )	พื้นที่ทำปฏิกิริยา (cm <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	ค่า AI (Bath/m <sup>3</sup> )	ค่าไฟฟ้า (Bath/m <sup>3</sup> )	ค่าเฉลี่ย (Bath/m <sup>3</sup> )	รวมค่าใช้จ่าย (Bath/m <sup>3</sup> )
2	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	6	18.5	27	20.19	50.51	-	70.70
	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	12	36.9	36	21.15	101.01	-	122.16
	ไบโพลาไรแบบขนาน	3.5	3	8.46	27	14.42	22.10	-	36.52
	ไบโพลาไรแบบขนาน	3.5	3	8.46	36	16.35	22.10	-	38.45
	ไบโพลาไรแบบขนาน	4	10	30.8	36	20.51	84.18	-	104.69
	ไบโพลาไรแบบอนุกรม	0.85	40	26.15	36	44.23	71.55	5.76	121.54
	ไบโพลาไรแบบอนุกรม	0.85 สลับขั้ว	40	26.15	36	80.77	71.55	5.76	158.08

#### 4.6 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดของการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

##### 4.6.1 ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนด

เมื่อเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp ทั้งตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 1 และตัวอย่างน้ำที่เก็บครั้งที่ 2 ทำให้ค่าการสูญเสียที่ขั้วอะลูมิเนียมมีค่ามากกว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่น้อยกว่า และเกิดการแตกตัวของขั้วอะลูมิเนียมได้ดีขึ้นทั้งขั้วแอโนดและแคโทดทำให้น้ำหนักของอะลูมิเนียมลดลง ค่าใช้จ่ายของอะลูมิเนียมจึงเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และมีการเดินระบบแบบต่อเนื่องจึงทำให้ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมมีค่ามากกว่าแบบกะ (อมรภักดิ์ ชูทอง, 2551) และที่กระแสไฟฟ้าน้อย การแตกตัวของอะลูมิเนียมก็เกิดขึ้นน้อยตามไปด้วย เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายของค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมเบื้องต้นจากผลการทดลองพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3.5 Amp มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าน้อยที่สุดคือ 14.42 Baht/ $\text{m}^3$  และที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่ามากที่สุดคือ 80.77 Baht/ $\text{m}^3$

##### 4.6.2 ค่าไฟฟ้า

เมื่อมีการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าทำให้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์จะแปรผันตรงกับค่าพลังงานไฟฟ้า ดังสมการ  $P = IV$  และเมื่อค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์เพิ่มก็จะทำให้ค่าพลังงานเพิ่มขึ้นตามซึ่งพบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้า 3.5 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา 27 และ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่าน้อยที่สุดคือ 22.10 Baht/ $\text{m}^3$  และที่ 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีค่ามากที่สุดคือ 101.01 Baht/ $\text{m}^3$

#### 4.7 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยไฟฟ้าเคมีโดยการเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) เพื่อหาประสิทธิภาพที่เหมาะสม

จากการทดลองการเดินระบบแบบต่อเนื่องได้นำค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการเดินระบบแบบกะมาประยุกต์ใช้ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บครั้งที่ 1 ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และตัวอย่างน้ำที่ทำการเก็บครั้งที่ 2 ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3.5 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  และใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $27 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ซึ่งเป็นการจัดเรียงอิเล็กโทรด โมโนโพลาร์แบบขนาน และในการเก็บตัวอย่างน้ำครั้งที่ 3

ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.85 Amp แบบไม่สลับขั้ว และใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 0.85 Amp แบบสลับขั้วทุก 10 min โดยมีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีการจัดเรียงแบบไบโพลาร์แบบอนุกรม ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม พบว่าที่ค่ากระแสไฟฟ้าที่ 4 Amp พลังงาน ไฟฟ้า  $36.9 \text{ kW}/\text{m}^3$  พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  มีประสิทธิภาพการบำบัดทั้งค่า COD และ  $\text{BOD}_5$  เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดและค่าสีก็มีค่าลดลงจากตัวอย่างน้ำเริ่มต้นและเมื่อพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นค่าใช้จ่ายทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดและค่าไฟฟ้าก็มีค่าไม่สูงมาก แต่หากมีวัตถุประสงค์เพียงการบำบัดสีเพียงอย่างเดียวไม่จำเป็นต้องใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงมากนัก โดยเลือกใช้ค่ากระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่า 4 Amp ก็สามารถกำจัดสีได้เพียงพอแล้ว และหากเป็นน้ำทิ้งที่มีค่า COD และสีไม่สูงมากก็อาจปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าลงได้อีก เพื่อให้ประหยัดค่าใช้จ่ายทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมและค่าไฟฟ้าโดยการจัดเรียง โมโนโพลาร์แบบขนานมีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้ และการจัดเรียงไบโพลาร์แบบอนุกรม ประสิทธิภาพในการกำจัดอาจไม่เพียงพอต่อการกำจัด COD จึงไม่เหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานและมีการเติมเกลือในน้ำทิ้งจึงทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่ม และการกักครอนของขั้วอะลูมิเนียมเกิดขึ้น ได้ดีแบบสลับขั้วทุก 10 min ทำให้มีปริมาณอะลูมิเนียมสูงทั้งในน้ำและในตะกอน และมีค่าใช้จ่ายทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดก็มีค่าค่อนข้างสูงและจากการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มเป็นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ในปริมาณที่มากจึงทำให้ค่าความสกปรกของน้ำมีค่าสูง และเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนค่าให้เหมาะสม โดยค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาของแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ซึ่งค่าใช้จ่ายเบื้องต้นทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมและค่าไฟฟ้าคิดเป็นเงินทั้งสิ้น  $122.16 \text{ Bah}/\text{m}^3$

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบไฟฟ้าเคมีซึ่งเป็นการเดินระบบแบบกะ (Batch) พบว่าค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พลังงานไฟฟ้า 9.6 kW/m<sup>3</sup> การจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบขนาน พื้นที่ทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ที่ระยะห่างระหว่างขั้ว 2 cm ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min พบว่า ค่าสีเริ่มต้น 804 Pt-Co และหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีค่าสีเท่ากับ 15 Pt-Co ประสิทธิภาพการกำจัด 98% และค่ามี COD เริ่มต้นก่อนการบำบัดพบว่ามีค่าเท่ากับ 2,715 mg/L หลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีค่า COD เท่ากับ 81 mg/L ประสิทธิภาพการกำจัด 97% ส่วนค่า BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นก่อนการบำบัด 66 mg/L หลังผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีค่า BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 13 mg/L ประสิทธิภาพการกำจัด 80% ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดมีค่าเท่ากับ 34.08 Baht/m<sup>3</sup> ค่าไฟฟ้า 24.92 Baht/m<sup>3</sup> และค่าใช้จ่ายรวมของการเดินระบบแบบกะ (Batch) ทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมและค่าไฟฟ้าเบื้องต้นคิดเป็นเงินประมาณ 59 Baht/m<sup>3</sup> จากการทดลองแบบกะ (Batch) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่ค่ากระแสไฟฟ้างกล่าวสามารถลดค่าสีและ COD ได้ตามวัตถุประสงค์และสามารถนำไปใช้กับการทดลองแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow)

5.1.2 การเดินระบบแบบกะ (Batch) มาประยุกต์ใช้กับแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ซึ่งน้ำตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองในครั้งนี้จะใช้น้ำตัวอย่างที่เก็บมา 1 ครั้ง ซึ่งพบว่าค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยระบบไฟฟ้าเคมีที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp พื้นที่ทำปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ที่ระยะห่าง 2 cm อัตราการไหล 1.3 ลิตรต่อชั่วโมง ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 min ในดังปฏิกิริยาและผ่านเข้าสู่ถังตกตะกอนซึ่งใช้เวลาในการตกตะกอน 6.5 ชั่วโมง และนำตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ค่าสีเริ่มต้น 804 Pt-Co และหลังผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีค่าสีเท่ากับ 13 Pt-Co ประสิทธิภาพการกำจัด 98% และค่า COD เริ่มต้นก่อนการบำบัดพบว่ามีค่าเท่ากับ 2,715 mg/L เมื่อผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมี

มีค่า COD เท่ากับ 108 mg/L ประสิทธิภาพในการกำจัด 96% ค่า BOD<sub>5</sub> เริ่มต้นก่อนการบำบัด 66 mg/L หลังผ่านการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีค่า BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 14 mg/L ประสิทธิภาพการกำจัด 78% ค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมจากขั้วแอโนดมีค่าเท่ากับ 21.15 Bah/m<sup>3</sup> ค่าไฟฟ้า 101.01 Bah/m<sup>3</sup> และค่าใช้จ่ายรวมของการเดินระบบแบบต่อเนื่อง ทั้งค่าการสูญเสียอะลูมิเนียมและค่าไฟฟ้าเบื้องต้นคิดเป็นเงิน โดยรวมประมาณ 123 Bah/m<sup>3</sup> (การคำนวณค่าไฟฟ้าคิดจากการเดินระบบในช่วงวันจันทร์-วันศุกร์หรือช่วง on peak) ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดเนื่องจากน้ำตัวอย่างน้ำที่ทำการตรวจวิเคราะห์เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานทำให้ค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานเมื่อเกิดปัญหา เช่นพบว่าช่วงฤดูฝนปริมาณน้ำในบ่อบำบัดน้ำทิ้งมีปริมาณค่อนข้างสูง และก่อให้เกิดปัญหาตามมาหากมีการปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงนำวิธีการบำบัดโดยระบบไฟฟ้าเคมีมาใช้ หรือในกรณีที่ระบบบำบัดมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอก็นำเอาวิธีการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีไปใช้ ซึ่งวิธีดังกล่าวอาจนำไปเป็นตัวเลือกหรือเพื่อนำไปใช้ประโยชน์กับโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้งนี้ที่มีค่าสีและ COD สูง การบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำทิ้งในแต่ละครั้งเช่นกัน เนื่องจากหากค่าความสกปรกของน้ำมีค่าไม่สูงมากก็สามารถปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับคุณภาพของน้ำเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระบบ และหากต้องการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่อาจใช้กระบวนการ RO เพื่อมาต่อกับระบบไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสี สารอินทรีย์และอะลูมิเนียมที่หลงเหลืออยู่บางส่วนเพื่อให้สามารถนำน้ำกลับไปใช้ได้ใหม่

จากการตรวจวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าการจัดเรียงอิเล็กโทรดโมโนโพลาร์แบบขนานที่ค่ากระแสไฟฟ้า 4 Amp และพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> ในตะกอนของแข็งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีพบว่าธาตุอาหารหลักคือค่าไนโตรเจน โปแทสเซียมและฟอสฟอรัสในตะกอนมีค่าไนโตรเจนเท่ากับ 60 mg/kg โปแทสเซียมเท่ากับ 1,073 mg/kg และฟอสฟอรัสเท่ากับ 24 mg/kg และปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำมีค่าเท่ากับ 40.47 mg/L ส่วนอะลูมิเนียมในตะกอนมีค่าเท่ากับ 2,592 mg/kg ปริมาณตะกอนของแข็งทั้งหมด 17,660 mg/L และการจัดเรียงอิเล็กโทรดไบโพลาร์แบบอนุกรมที่ค่ากระแสไฟฟ้า 0.85 Amp และพื้นที่ในการทำปฏิกิริยา 36 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> แบบสลับขั้วทุก 10 min ปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำมีค่าเท่ากับ 43.82 mg/L และอะลูมิเนียมในตะกอนมีค่าเท่ากับ 9,130 mg/kg

การนำตะกอนไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องหาข้อมูลเพิ่มเติมว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านใดได้บ้างเช่น ทำปุ๋ยเพื่อใส่ไม้ยืนต้น เชื้อเพลิงอัดแท่งเพื่อผลิตเป็นถ่าน และการผลิตเป็นอิฐบล็อกเพื่อใช้ในการก่อสร้างและการนำไปถมที่เพื่อประโยชน์ใช้สอยต่างๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาองค์ประกอบของธาตุแต่ละชนิดเพิ่มเติมเพื่อสามารถนำตะกอนกลับไปใช้ประโยชน์ให้เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การตรวจวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมเบื้องต้น พบว่า ค่าอะลูมิเนียมในน้ำและในตะกอนมีค่าอยู่ในระดับสูง ดังนั้นหากปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกายอาจส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ ภายในร่างกาย เช่น ระบบทางเดินหายใจ ระบบประสาท ระบบโลหิตและสมอง เป็นต้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอะลูมิเนียมที่เข้าสู่ร่างกายด้วย และหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจมีการปนเปื้อนทำให้มีผลต่อแหล่งน้ำบริเวณนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดที่เหมาะสมและเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจึงมีความคุ้มค่าและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการจัดการกากตะกอนของแข็งเพื่อนำไปใช้ประโยชน์

5.2.2 ควรมีการปรับลดจำนวนแผ่นเพื่อลดค่าจ่ายในส่วน of แผ่นอะลูมิเนียม และนำแผ่นกลับมาใช้ใหม่

5.2.3 การนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียอื่นๆ อาจมีการปรับเปลี่ยนชนิดของโลหะอื่นที่มีความพิษน้อยกว่าเช่น เหล็ก รวมทั้งการปรับลดค่ากระแสไฟฟ้า ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด และพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา

5.2.4 ควรทดลองทำในระดับ Pilot Scale Experiment เพื่อสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เต็มความสามารถของเครื่อง

5.2.5 ควรมีการตรวจวัดความพึงพอใจของสีในน้ำทั้งก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

5.2.6 ควรทำ Leaching Test เพื่อคว่ามีสารปนเปื้อนชนิดใดบ้าง

5.2.7 ทำการศึกษาค่า Volatile solids ในตะกอนเพื่อหาปริมาณสารระเหยง่ายเพื่อทราบถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในตะกอน



## เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2545. ปาล์มน้ำมัน [Online] แหล่งที่มา:

<http://www.diw.go.th/diw/picture/news/place.htm> [2008, Nov 19]

กัณฐมาศ สุทธิเรืองวงศ์. 2538. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี.

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฑารัตน์ หนูสุข. 2546. การใช้บึงประดิษฐ์แบบน้ำไหลได้ผิวดินเพื่อการบำบัดขั้นที่สามสำหรับน้ำ

เสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา  
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิตนา แก้วบริสุทธิ. 2541. การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยกระบวนการดู

ชั้นในชั้นตื้น. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการ  
จัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

จิราวรรณ ศรีโยม. 2546. การบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบอินทรีย์ด้วยปฏิกิริยาเฟนตันร่วมกับการ

ตกตะกอนวิเคราะห์การลดลงของค่าซีโอดี และสารเคมีตกค้างในน้ำและตะกอน.  
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ทรงยศ สารภูษิต. 2547. ประสิทธิภาพของกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีในการรีดิวซ์และ

กำจัดฮกซวาเลนท์โครเมียม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรม  
สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนภฤต พรหมทอง. 2552. การกำจัดสีและสารอินทรีย์ของน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยน้ำ

หมักชีวภาพและเฟนตันรีเอเจนต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการ  
สิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธนาวัฒน์ รักกมล. 2549. ประสิทธิภาพของระบบบำบัดเอเอสบีอาร์ แบบเทอร์โมฟิลิกและมีโซฟิลิก ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธัญญ พูนสวัสดิ์. 2551. การกำจัดสีไคเรกต์โดยกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้าแบบต่อเนื่องที่มี แผ่นเหล็กและแผ่นอลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ปาริชาติ หมั่นสีทา. 2547. การบำบัดสีและซีโอดีจากน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ผ่านการ บำบัดบางส่วนโดยใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิ่นสยาม ภูมิพาณิชย์. 2546. การบำบัดสีย้อมรีแอกทีฟด้วยวิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ปรีชา มุณีศรี. 2538. การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยจุลินทรีย์. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พูนสุข ประเสริฐสรพ์ เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล และอรัญ หันพงศ์กิตติกุล. 2533. กระบวนการ ผลิตและการใช้ประโยชน์วัสดุเหลือทิ้งและคุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. วารสารสงขลานครินทร์. 12 (เมษายน-มิถุนายน 2533) 169 -176.

พวงน้อย อักษรทอง. 2549. ไฟฟ้าเคมี. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2551. อุตสาหกรรมการสกัดน้ำมันปาล์ม [Online]  
แหล่งที่มา: <http://www.efe.or.th> [2008, Nov 19]

วรรณวรรณ เทียงวรรณกานต์. 2546. การกำจัดสีข้อมรีแอกทีฟโดยการใช้กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าและการตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิชาการปาล์มน้ำมัน. 2551. การแปรรูปปาล์มน้ำมัน [Online] แหล่งที่มา:

<http://it.doa.go.th/palm/linkTechnical/processOilpalm.html> [ 2008, Nov 19]

สนอง ทองปานและชาติชาย ชาติตระกูล. 2550. การศึกษาประสิทธิภาพของถังบำบัดน้ำเสีย โดยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส. วารสารวิชาการศึกษาศาสตร์. (มกราคม - เมษายน 2550)

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการ โครเอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า(Electrocoagulation). สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต. วารสารเทคนิค. ฉบับที่ 28. (3 มกราคม 2551)

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. 2540. คำกำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2551. การสกัดน้ำมันปาล์ม [Online] แหล่งที่มา:

<http://www.doae.go.th> [2008, Nov 19]

สุรศักดิ์ สุรันทชัย. 2535. การวิเคราะห์ระบบผลิตพลังงานร่วมในโรงงานปาล์มน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

โสภกา จันทโสภกา. 2542. ปัจจัยที่มีผลต่อสารแขวนลอยและน้ำมันจากโรงงานน้ำมันปาล์มโดยใช้ เอนไซม์และการลดความเข้มข้นของสี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อมรภัค ชูทอง. 2551. การบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมี. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

อรัญ หันพงศ์กิตติกุล พูนสุข ประเสริฐสรรพ เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล กัลยา ศรีสุวรรณ และ วีระศักดิ์ ทองลิ้มปี. 2536. แยกน้ำมันออกจากน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม. กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

หัสติน บินมะแอ. 2547. การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยเข็วราทนร้อนผลิตพอลิเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

APHA, AWWA and WEF. 2005. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** 21<sup>th</sup> edition, Washington, DC : American Pubic Health Association.

Bahadir, K.K., Abdorrahman, T., 2003. Continuous electrocoagulation treatment of phenolic wastewater in atubular reactor, **Water Research**. 37: 1505-1514

Bensadok, K., Benammaar, S., Lopicque, F., and nezzal, G., 2008. Electrocoagulation of cutting oil emulsion using aluminium plate electrodes, **Journal of Hazardous Material**. 152 : 423-430.

Efthalia, C., Nicolaos, P.X., Alberto, C., Nicolas, K., and Dionissios, M., 2006. Electrocoagulation treatment of textile dyes and dyehouse effluents. **Journal of Hazardous Material**. B137: 998-1007

Emamjomeh, M.A., Sivakumar, M., 2009. Fluoride removal by a continuous flow electrocoagulation reactor. **Journal of Environmental Management**. 90: 1204-1212.

Fatih, I., Ugur, K., Omer, A., and Talha Gonullu, M., 2008 . Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminium and iron electrodes, **Journal of Hazardous Material**.154 : 381-389.

Gabriela, R.M, Eduardo, C.M., Juan, A.C., Bryan, B., and Carlos, B.D., 2008 . Aluminum electrocoagulation with peroxide applied to wastewater from pasta and cookie processing, **Separation and Purification Technology**. 54: 124-129.

Ghosh, D., Solanki, H., and Purkait, M.K., 2008. Removal of Fe (II) from tap water by electrocoagulation technique, **Journal of Hazardous Material**. 155: 135-143.

Ivonne, L.H., Carlos, B.D., Gabriela, R.M., Bryan, B., and Fernando, U.N., 2008. Influence of the anodic material on electrocoagulation performance, **Chemical Engineering Journal**.

Kobay, M., Ciftci, C., Bayramoglu, M., and Sensoy, M.T., 2008. Study on the treatment of waste metal cutting fluids using electrocoagulation, **Separation and Purification Technology**. 60: 285-291.

Chen, L., Hsieh, C.C., Wetherbee, J., and Yeng, C.L. 2008. Characteristics and treatability of oil-bearing wastes from aluminium alloy machining operations, **Journal of Hazardous Materials**. 152: 1220-1228.

Mereno-Casillas, H.A., Cocke, D.L., Gomes, J.A.G., Morkovsky, P., Parga, J.R., and Peterson, E., 2007. Electrocoagulation mechanism for COD removal, **Separation and Purification technology**.56: 204-211

Miao, L., Chuanping, F., Weiwu, H., Zhenya, Z., Norio, S.,2008. Electrochemical degradation of phenol using electrodes of Ti/RuO<sub>2</sub>-Pt and Ti/IrO<sub>2</sub>-Pt, **Journal of Hazardous Materials**. 152 423-430.

- Oloman, C. 1983. Tutorial lectures in electrochemical engineering and technology II. **AIChE Symposium Series. 79: 68-78.**
- Pablo, C., Fabiola, M., Carlos, J., Cristina, S., and Manuel, A.R., 2008. Coagulation and electrocoagulation of oil- in- water emulsions, **Journal of Hazardous Material. 151: 44-51.**
- Raghu, S., Ahmed, B.C., 2007. Electrochemical treatment of Procion Black 5B using cylindrical flow reactor -Apilot plant study, **Journal of Hazardous Material. B139: 381-390.**
- Sonia, K., Firas, S.S., 2007. Detoxification of olive mill wastewater by electrocoagulation and sedimentation processes, **Journal of Hazardous Material. 142: 58-56**
- Subramanyan, V., Jothiganathan, L., Jeganathan, J., and Ganapathy, S., 2008. Remediation of phosphate - contaminated water by electrocoagulation with aluminium, aluminum alloy and mild steel anodes, **Journal of Hazardous Material.**
- Un, U.T., Koparal, A.S., and Ogutveren, U.B., 2009. Electrocoagulation of vegetable oil refinery waste using aluminium electrodes, **Journal of Environmental Management. 90: 428-433**
- Un, U.T., Ugur, S., Koparal, A.S., and Ogutveren, U.B., 2006. Electrocoagulation of oil mill wastewater, **Separation and Purification Technology. 52: 136-141.**
- Vlyssides, A.G., Karlis, P.K., Rori, N., Zorpas, A.A., 2002. Electrochemical treatment in relation to pH of domestic wastewater using Ti/Pt electrodes. **Journal of Hazardous Materials. B95: 215-226.**
- Yusuf, Y., and Koparal, A.S., 2006. Electrochemical oxidation of phenol in a parallel plate reactor using ruthenium mixed metal oxide electrode, **Journal of Hazardous Materials. B136: 296-302.**

ภาคผนวก

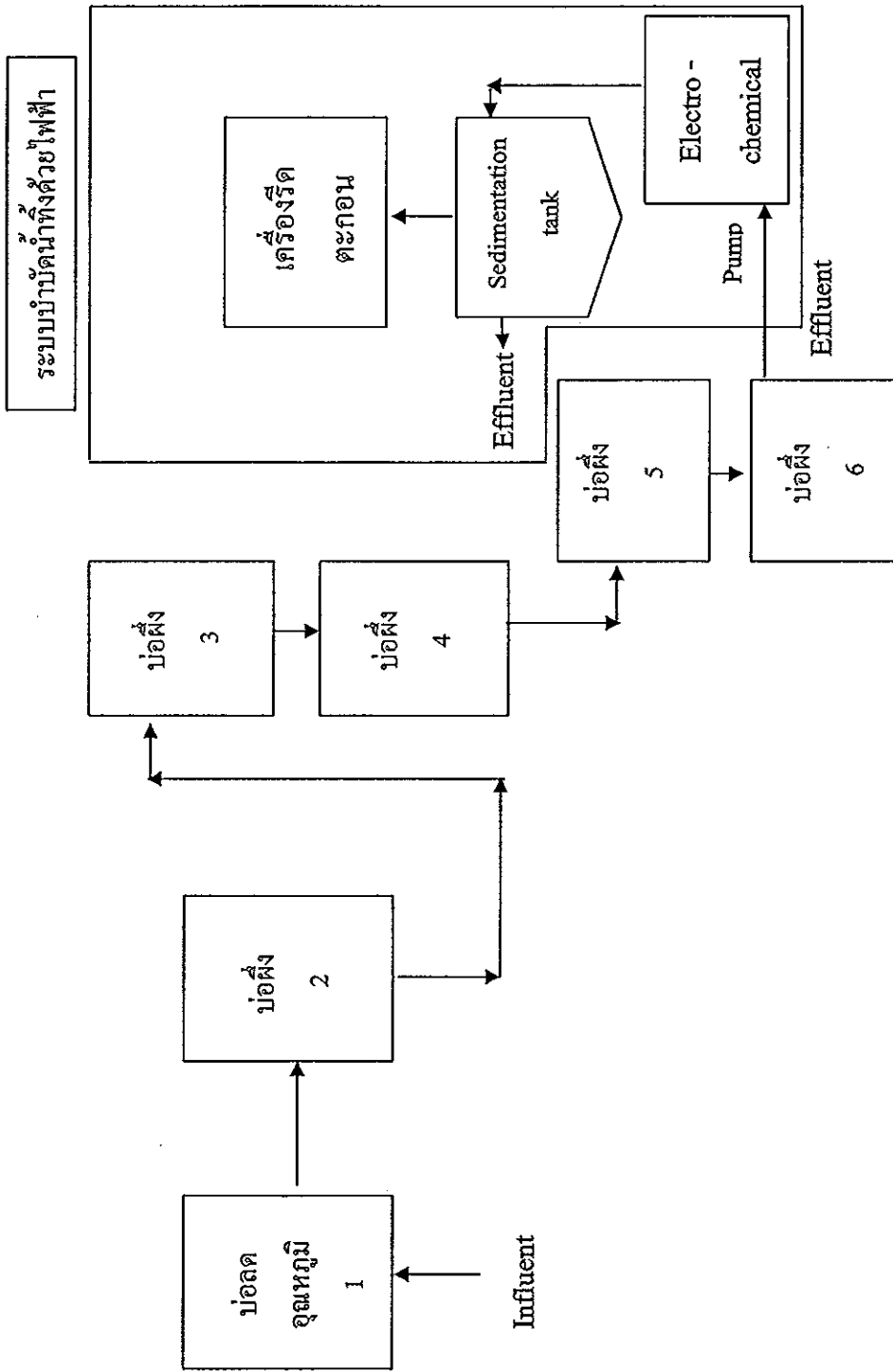
ภาคผนวก ก  
การนำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม



### การนำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม

การบำบัดน้ำทิ้งด้วยระบบไฟฟ้าเคมีเป็นการบำบัดด้วยระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous Flow) ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงและพิจารณาถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเป็นหลัก รองลงมาคือค่าใช้จ่ายและค่าก่อสร้างระบบบำบัด โดยจากผลการทดลองสรุปได้ว่า ค่าที่เลือกใช้ที่ดีที่สุด มีค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4 Amp พื้นที่ในการทำปฏิกิริยา  $36 \text{ m}^2/\text{m}^3$  ค่าใช้จ่ายในการสูญเสียอะลูมิเนียม และค่าไฟฟ้ารวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 22 Bath/ $\text{m}^3$  ในกรณีที่ต้องการประหยัดค่าใช้จ่ายเพื่อเป็นการควบคุม ค่าใช้จ่ายไม่ให้สูงมากอาจเลือกใช้ค่ากระแสที่น้อยกว่า 4 Amp และลดจำนวนแผ่นลงที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำทิ้งที่ใช้ในการบำบัดด้วยหากค่าความสกปรกของของน้ำมีค่าน้อยก็สามารถปรับลดค่ากระแสไฟฟ้าลงได้อีก ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อให้น้ำที่ผ่านการบำบัดผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมและส่งผลกระทบท่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

การออกแบบระบบบำบัดไฟฟ้าเคมี ถึงตกตะกอน และขนาดแผ่นอะลูมิเนียม เบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม และการพิจารณาถึงค่าพีเอชที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดไฟฟ้าเคมี ควรมีการเพิ่มลดค่าพีเอชให้เหมาะสม หากมีการเพิ่มลดค่าพีเอชจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของสารเคมีอาจทำให้มีราคาดำเนินการระบบเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อผ่านการตกตะกอนควรมีเครื่องรีดตะกอนเพื่อสามารถนำตะกอนไปใช้ประโยชน์ต่อไปดังที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น เพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น หากไม่มีการนำตะกอนกลับไปใช้ประโยชน์อาจทำให้เกิดปัญหาตามมาได้และเนื่องจากปริมาณตะกอนของแข็งมีในปริมาณมากอาจกลายเป็น Hazardous waste ได้เนื่องจากมีตะกอนอะลูมิเนียมปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมาก ดังนั้นหากไม่นำไปใช้ประโยชน์ก็ควรส่งกำจัดอย่างถูกวิธีและประหยัดค่าใช้จ่ายมากที่สุดเพื่อลดปัญหาที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม



ภาพผนวก ก 1 ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม และการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยไฟฟ้าเคมี

## การคำนวณออกแบบถังปฏิกริยา

กำหนดให้	ระยะเวลาพัก, HRT 1 ชั่วโมง ปริมาณน้ำเสีย 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เดินระบบ 8 ชั่วโมงต่อวัน
ดังนั้น	อัตราการไหล = $(200 \text{ m}^3/\text{d}) / (8 \text{ hr/d}) = 25 \text{ m}^3/\text{hr}$
จากสูตร	HRT = V/Q $V = (25 \text{ m}^3/\text{hr}) \times 1 \text{ hr} = 25 \text{ m}^3$
ดังนั้น	ปริมาตรถังที่ต้องการ = $25 \text{ m}^3$

## คำนวณการออกแบบถังปฏิกริยาขนาด

กำหนดให้	ความกว้าง 2 เมตร ความยาว 5 เมตร ความลึก 3 เมตร
จากสูตร	$V = W \times L \times H$ $V = (2 \text{ m}) \times (5 \text{ m}) \times (3 \text{ m}) = 30 \text{ m}^3$
ดังนั้น	ขนาดของถัง = $30 \text{ m}^3$
กำหนดให้	Free board = 0.5 m ปริมาตรน้ำในถัง $(2 \text{ m}) \times (5 \text{ m}) \times (2.5 \text{ m}) = 25 \text{ m}^3$

## การออกแบบขนาดแผ่นอะลูมิเนียม

กำหนดให้	น้ำ $1 \text{ m}^3$ พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา $71.63 \text{ m}^2$
	น้ำ $25 \text{ m}^3$ พื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา $1,790 \text{ m}^2$
ดังนั้น	ขนาดพื้นที่แผ่นอะลูมิเนียมทั้งหมดที่ใช้ในน้ำ $25 \text{ m}^3 = 895.5 \text{ m}^2$

## คำนวณการออกแบบขนาดแผ่นอะลูมิเนียม

จากสูตร	$A = W \times L$
	$(1.2 \text{ m}) \times (2.7 \text{ m}) = 3.24 \text{ m}^2$
ดังนั้น	พื้นที่แต่ละแผ่น = $3.24 \text{ m}^2$
ดังนั้น	จำนวนแผ่นที่ใช้ทั้งหมด = $(895.5 \text{ m}^2) / (3.24 \text{ m}^2) = 278$ แผ่น
	ระยะห่างระหว่างแผ่นอะลูมิเนียม $(500 \text{ cm}) / 278 = 1.8 \text{ cm}$

## การออกแบบถังตกตะกอน (Sedimentation tank)

กำหนดให้	ระยะเวลากักพัก, HRT 6.5 ชั่วโมง
	อัตราการระเหย, Weir loading 250 ลูกบาศก์เมตร /เมตรต่อวัน
	อัตราการน้ำล้น, Overflow Rate 25 ลูกบาศก์เมตร /ตารางเมตรต่อวัน

## คำนวณหาปริมาตรน้ำในถังตกตะกอน

จากสูตร	$HRT = V / OFR$
	$V = (6.5 \text{ hr}) \times (25 \text{ m}^3 / \text{hr}) = 162.5 \text{ m}^3$
ดังนั้น	ปริมาตรน้ำในถังตกตะกอน = $162.5 \text{ m}^3$

## คำนวณหาขนาดพื้นที่ถังตกตะกอน

จากสูตร	Overflow rate = $Q/A$
	$A = (200 \text{ m}^3 / \text{d}) / (25 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \cdot \text{d}) = 10 \text{ m}^2$
ดังนั้น	ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่ต้องการ = $10 \text{ m}^2$

## คำนวณหาถังตกตะกอนถังแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

กำหนดให้	ความลึก 4 เมตร
จากสูตร	$A \times H = V$
	$A = (162.5 \text{ m}^3) / (4 \text{ m}) = 40.63 \text{ m}^2$
กำหนดให้	อัตราส่วน $W : L = 1 : 5.3$
ดังนั้น	$W \times L = 3 \times 16 = 48 \text{ m}^2$
	พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่ใช้จริง = $48 \text{ m}^2$
จากสูตร	$V = W \times L \times H$
	$V = (3 \text{ m}) \times (16 \text{ m}) \times (4 \text{ m}) = 192 \text{ m}^3$

คั้งนั้น                      ขนาดของถัง =  $192 \text{ m}^3$

กำหนดให้                      Free board = 0.6 m  
 ปริมาณน้ำในถัง  $(3 \text{ m}) \times (16 \text{ m}) \times (3.38 \text{ m}) = 162.5 \text{ m}^3$

ความชันของพื้นด้านล่างของถังตกตะกอน (%) ค่าโดยทั่วไปใช้ 1%

คำนวณหาความยาวฝายที่ต้องการ

จากสูตร                      Weir loading =  $Q/L$   
 $L = (200 \text{ m}^3/\text{d}) / (250 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{d}) = 0.8 \text{ m}$

คั้งนั้น                      ความยาวฝายที่ต้องการ = 0.8 m

เพราะฉะนั้น ความยาวฝายจริงควรออกแบบให้ มากกว่า 0.8 m แต่ไม่เกินความกว้างของขนาดถังจริง

\*หมายเหตุ                      เกณฑ์การออกแบบถังตกตะกอนขั้นต้น

อัตราน้ำล้น (ลูกบาศก์เมตร /เมตรต่อวัน) มีค่าอยู่ในช่วง 25 - 35

อัตราภาระฝาย (ลูกบาศก์เมตร /ตารางเมตรต่อวัน) มีค่าอยู่ในช่วง 125 - 500

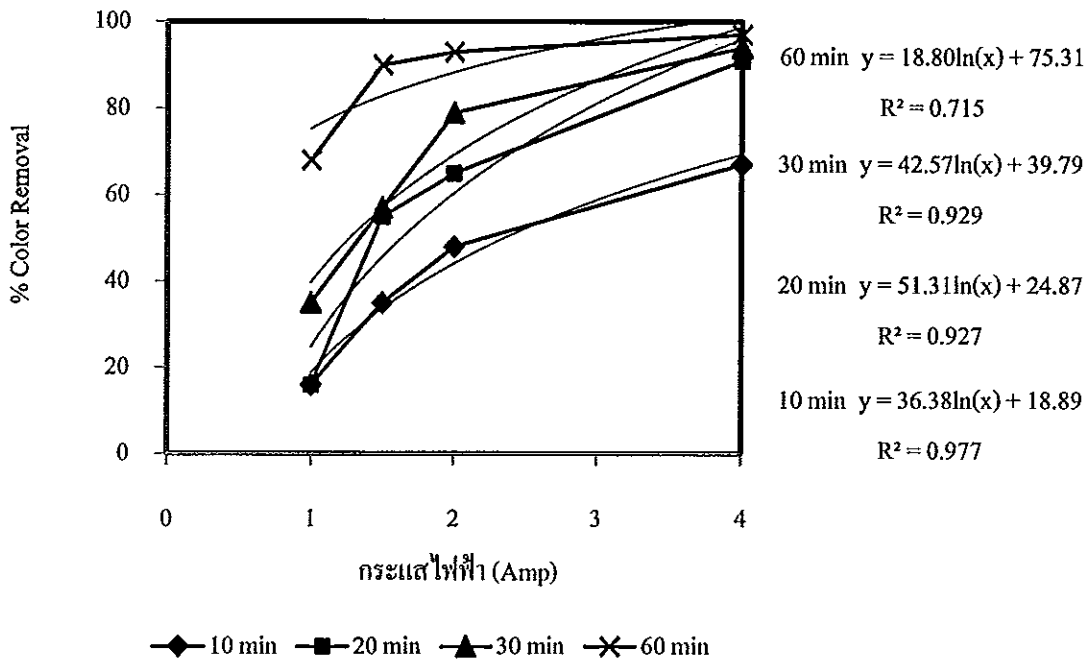
อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง มีค่าอยู่ในช่วง 1 - 7.5

อัตราส่วนความยาวต่อความลึก มีค่าอยู่ในช่วง 2 - 4.5

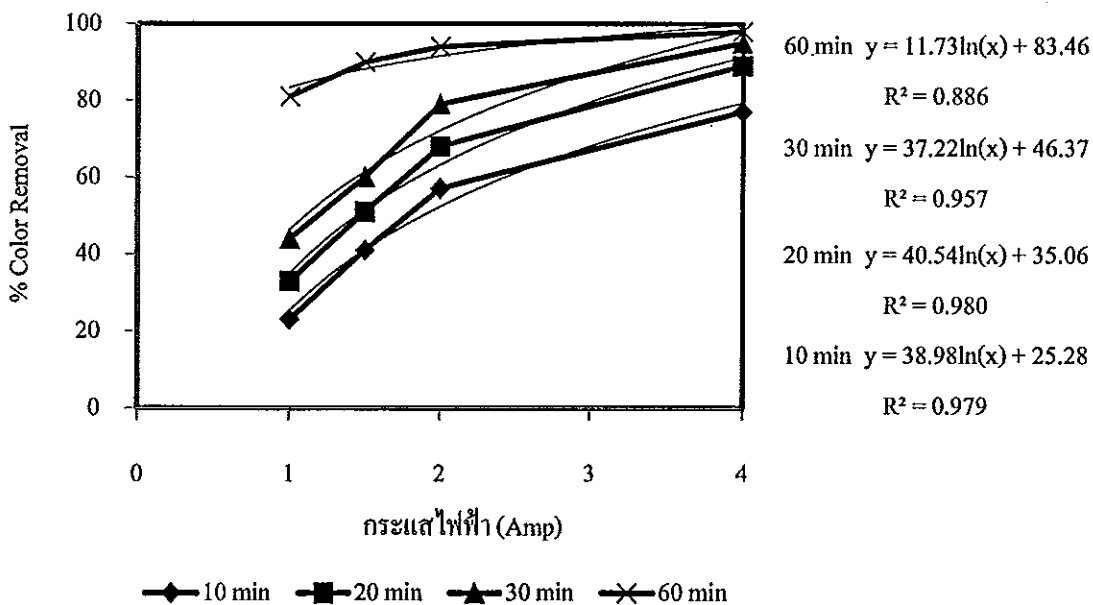
ที่มา: ค่ากำหนดการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย (สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2540)

ภาคผนวก ข

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่าประสิทธิภาพการกำจัดต่างๆ

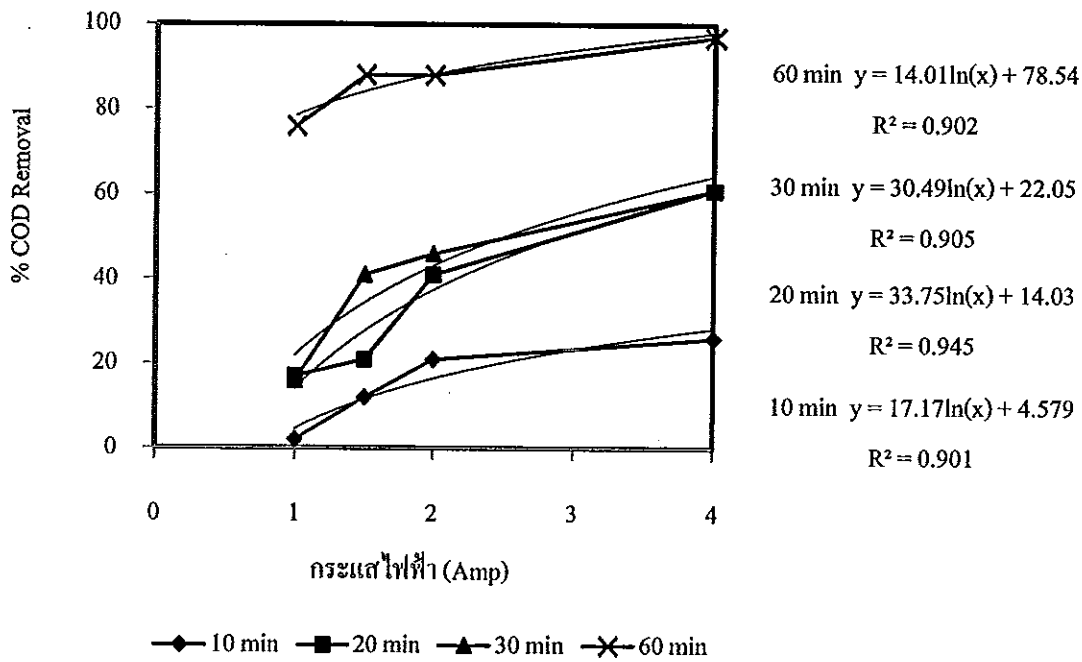


ภาพภาคผนวก ข1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm

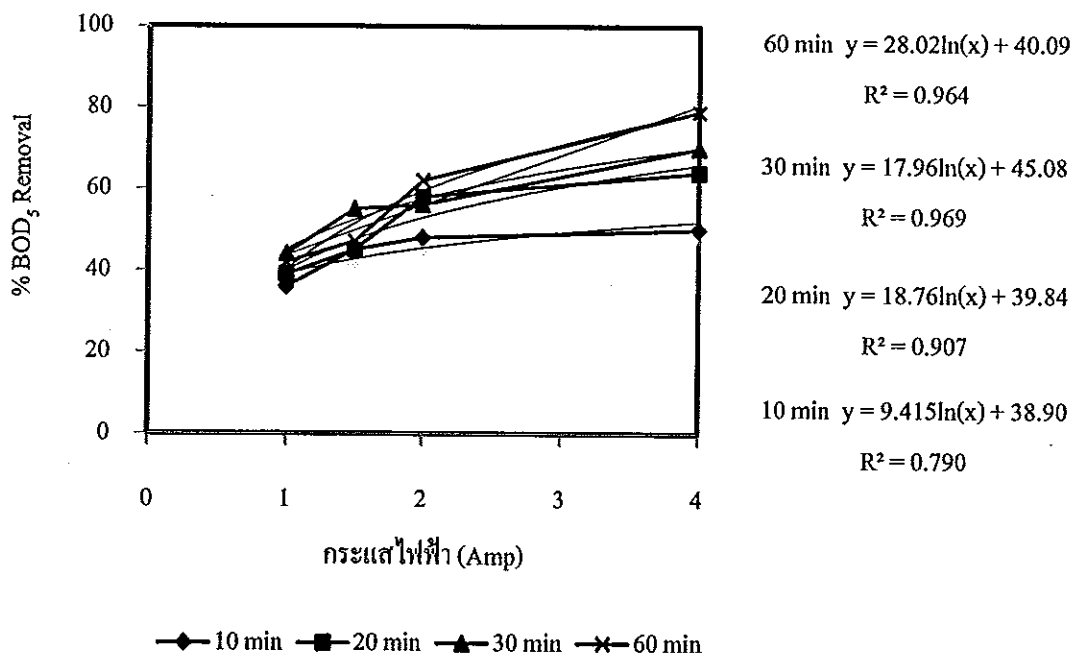


ภาพภาคผนวก ข2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm





ภาพภาคผนวก ข3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 2 cm

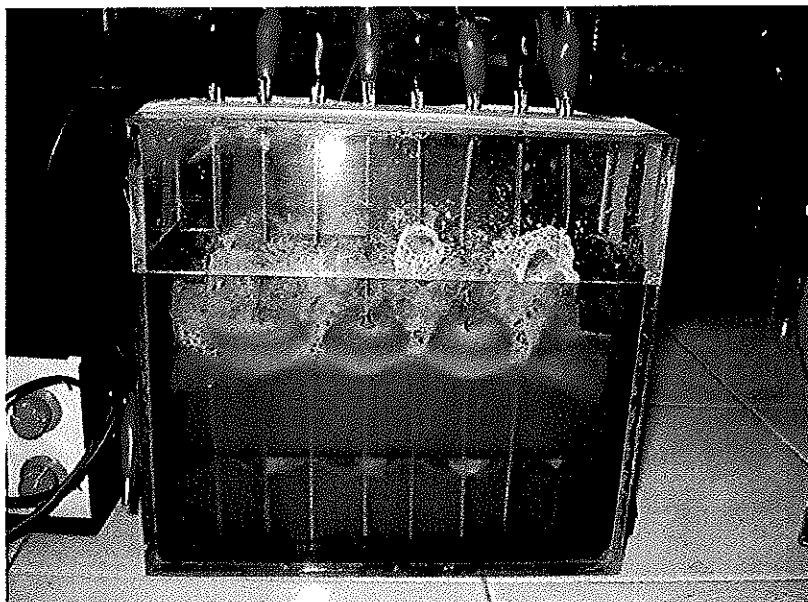


ภาพภาคผนวก ข4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด 1.5 cm

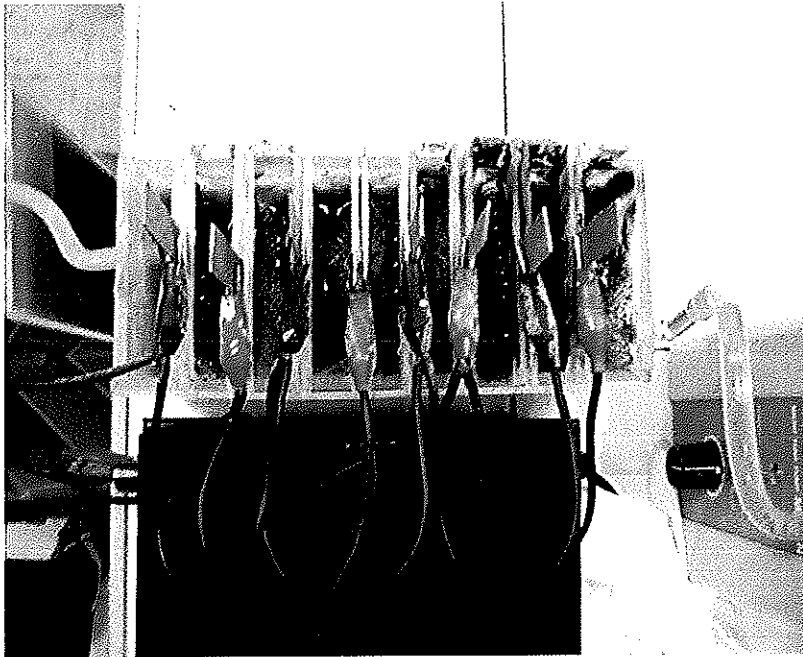
ภาคผนวก ค  
ภาพตัวอย่างน้ำทิ้งและการทดลอง



ภาพภาคผนวก ค1 บ่อตื้น (บ่อสุดท้าย) ก่อนปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ



ภาพภาคผนวก ค2 การบำบัดน้ำทิ้งด้วยเคมีไฟฟ้าแบบกะ



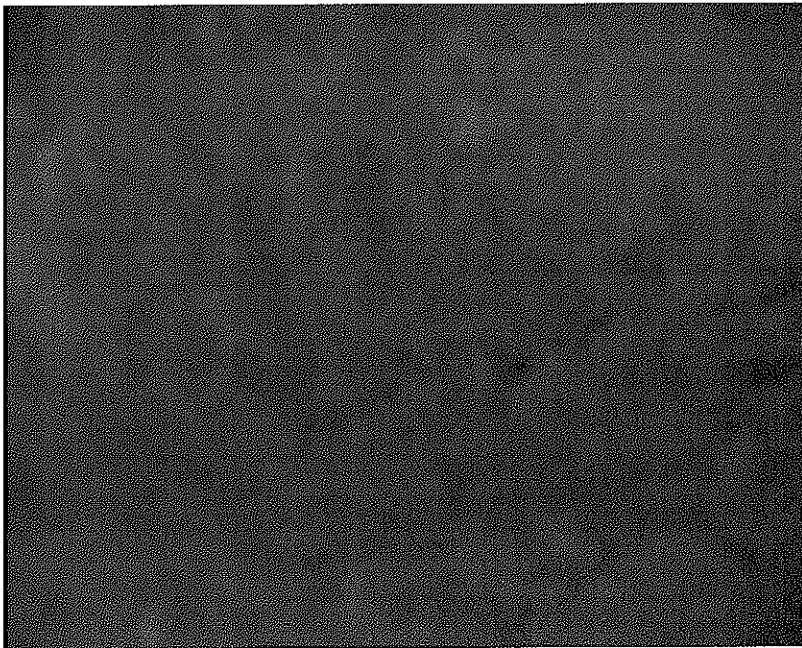
ภาพภาคผนวก ค3 การจัดเรียงขั้วไฟฟ้าแบบโมโนโพลาร์แบบขนาน



ภาพภาคผนวก ค4 การตกตะกอนโดย  $SV_{60}$



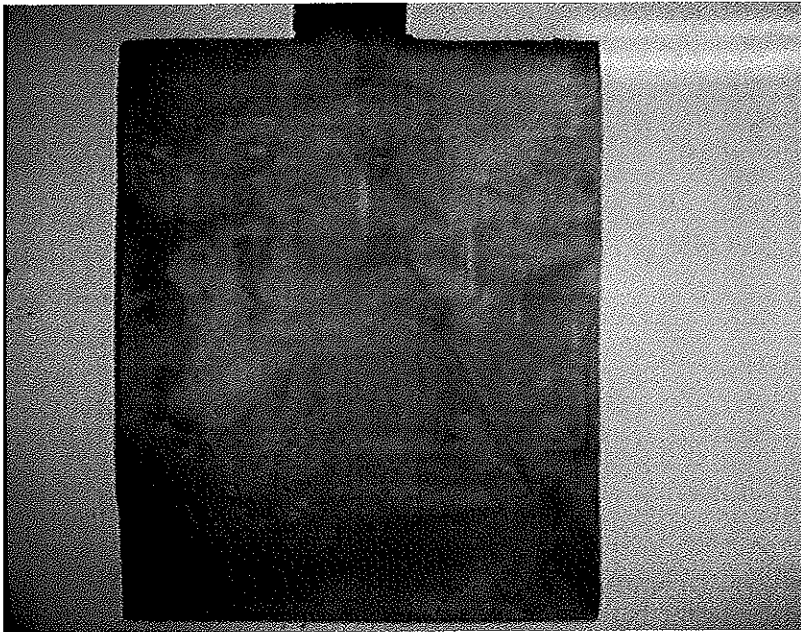
ภาพภาคผนวก ค5 ตัวอย่างน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีด้วยระบบแบบต่อเนื่อง



ภาพภาคผนวก ค6 ลักษณะตะกอนหลังผ่านการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีด้วยระบบแบบต่อเนื่อง



ภาพภาคผนวก ค7 การล้างแผ่นอะลูมิเนียมด้วย  $\text{Conc. H}_2\text{SO}_4$



ภาพภาคผนวก ค8 แผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ในการทดลอง

ภาคผนวก ง  
บทความทางวิชาการที่นำเสนอใน  
การประชุมสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9  
วันที่ 24-27 มีนาคม 2553 มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

# การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

## โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี

### Treatment of Palm Oil Mill Effluent

#### using Electro-Chemical Process

จุฑามาศ แก้วมณี<sup>1\*</sup> และ อุดมพล พิษณุไพบูลย์<sup>2\*</sup>

Jutamas kaewmanee<sup>1\*</sup> and Udomphon puetpaiboon<sup>2\*</sup>

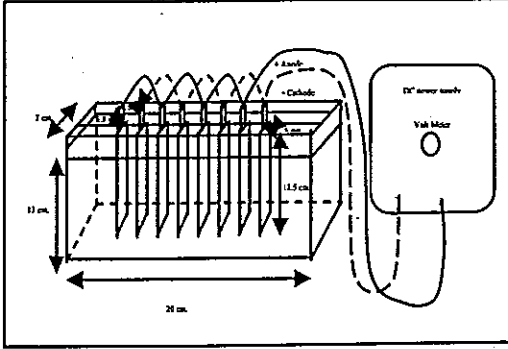
#### บทนำ

น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น ผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาด้านมลพิษทางน้ำ ย่อมส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำธรรมชาติหากมีการระบายทิ้ง เพราะจากขั้นตอนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบมีการใช้น้ำปริมาณสูงก่อให้เกิดน้ำเสียตามมาโดยทั่วไปในน้ำเสียจะประกอบด้วยสารอินทรีย์และของแข็งซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย ตะกอนแขวนลอยต่างๆ และสิ่งที่เกิดขึ้นจาก Gum หรือยางเหนียวทำให้น้ำมีสีน้ำตาลคล้ำและคอลลอยด์ของน้ำทิ้งสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดจากระบบอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงนำวิธีการบำบัดด้วยระบบไฟฟ้าเคมีมาประยุกต์ใช้ และมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีและซีไอดีจากน้ำทิ้งของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี และระบบดังกล่าวก็เป็นระบบที่ไม่มีพิษภัย ซับซ้อน เติมน้ำได้ง่าย ใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อย ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเติมสารเคมีในกระบวนการบำบัด และระบบบำบัดมีขนาดเล็กกว่าการบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพ ระยะเวลาในการบำบัดน้อย จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย ในการสร้างถึงปฏิกิริยา

#### อุปกรณ์และวิธีการ

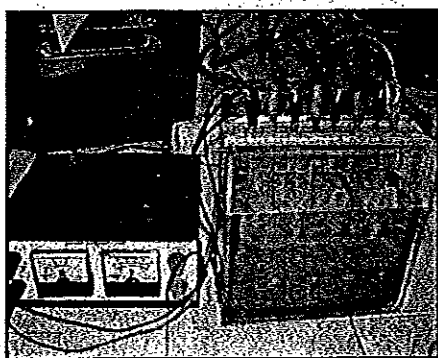
ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มแห่งหนึ่งในอำเภอลำทับ จังหวัดกระบี่ ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ได้ทำการทดลองแบบ Batch ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเป็นกระแสตรงที่สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าได้ ใช้แผ่นอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้า สูงจากกันถึง 0.2 เซนติเมตร โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1.5 และ 2 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำการทดลองโดยการจัดเรียงอิเล็กโทรดแบบขนาน จำนวน 4 คู่ ถึงปฏิกิริยาทำจากอะคริลิกขนาด 7 x 20 x 13 เซนติเมตร ใช้กระแสไฟฟ้า 1 1.5 2 และ 4 แอมแปร์ตามลำดับ ดังรูปที่ 1 การบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี น้ำที่ผ่านการบำบัดมีพารามิเตอร์ดังนี้ ปริมาณตะกอนที่ตกในเวลา 60 นาที และเมื่อตั้งให้แยกชั้นน้ำใสมาตรวจวิเคราะห์ สี อุณหภูมิ พีเอช ของแข็งแขวนลอย ค่าการนำไฟฟ้า UV-254 บีโอดี ซีไอดี ปริมาณอะลูมิเนียม และชั้นตะกอนตรวจวิเคราะห์ ปริมาณตะกอนทั้งหมด และปริมาณอะลูมิเนียม [1] และสรุปผลเพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด สำหรับการบำบัดแบบต่อเนื่องต่อไป



รูปที่ 1 การบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี 139

<sup>1\*</sup>นักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา 90112;  
<sup>2\*</sup>โทรศัพท์ : 0-7428-7123, โทรสาร : 0-7445-9395,  
e-mail : udomphon.p@psu.ac.th, hang\_touleg@hotmail.com





รูปที่ 2 น้ำทิ้งที่บำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี

**ผลการทดลองและวิจารณ์**

ผลการศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยไฟฟ้าเคมี ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งก่อนการบำบัดและพบว่าค่าสี เริ่มต้น 804 หน่วยสี Pt-Co และเมื่อผ่านการบำบัดที่ระยะห่าง 1.5 และ 2 เซนติเมตร ลดลงเหลือ 21 และ 16 หน่วยสี Pt-Co นอกจากนี้ บีโอดีค่าเริ่มต้น 66 mg/L ลดลงเหลือ 14 และ 13 mg/L และ ซีโอดีค่าเริ่มต้น 2,715 mg/L ลดลงเหลือ 136 และ 81 mg/L ตามลำดับ ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าเมื่อใช้กระแสไฟฟ้า 4 แอมแปร์ ระยะห่าง 2 เซนติเมตร ประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุด

ตารางที่ 1 คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม

พารามิเตอร์	ผลการทดลอง
pH	7.8
Color (Pt-Co)	804
Conduct (mS/cm)	6.6
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	66
COD (mg/L)	2,715

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำทิ้งโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมีโดยใช้กระแสไฟฟ้า 4 แอมแปร์ ที่ระยะห่าง 1.5 และ 2 เซนติเมตร ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

พารามิเตอร์	ที่ 4 แอมแปร์		ที่ 4 แอมแปร์	
	ระยะห่าง 1.5 เซนติเมตร	% การกำจัด	ระยะห่าง 2 เซนติเมตร	% การกำจัด
pH	8.7	-	9.0	-
Conduct (mS/cm)	6.1	-	6.1	-
Color (Pt-Co)	21	97	16	98
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	14	79	13	81
COD (mg/L)	136	95	81	97

**สรุปผลการทดลอง**

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มด้วยไฟฟ้าเคมี และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่าค่าบีโอดีและค่าซีโอดี ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ที่กระแสไฟฟ้า 4 แอมแปร์ ทำปฏิกิริยาที่ 60 นาที สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 9.6 kW/m<sup>3</sup> ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร รวมค่าไฟฟ้าและค่าสูญเสียอะลูมิเนียมแล้ว คิดเป็นเงิน 59 Baht/m<sup>3</sup>

**เอกสารอ้างอิง**

[1] APHA, AWWA and WEF, 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21<sup>th</sup> edition, Washington, DC: American Public Health Association.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวจุฑามาศ แก้วมณี		
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5110120008		
วุฒิการศึกษา			
	วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยทักษิณ	2550

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนผู้ช่วยวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

จุฑามาศ แก้วมณี และอุดมผล พิชนิไพบูลย์, 2553. “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยใช้ระบบไฟฟ้าเคมี” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9. จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย ณ โรงแรมสุรินทร์แกรนด์ อุบลราชธานี ระหว่างวันที่ 24-27 มีนาคม 2553.