



การประยุกต์ใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีเพื่อการบำบัดน้ำเสีย
THE APPLICATION OF ELECTROCHEMICAL PROCESS FOR WASTE WATER
TREATMENT

นางสาวชัชชฎาภรณ์ ศรีสุรักษ์ รหัส 54365105
นางสาวนิจวรรณ ธาราดล รหัส 54365143

ห้องสมุดคณะวิทยาศาสตร์
วันที่รับ..... 30 ต.ค. 2557
เลขทะเบียน..... 16900434
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 6.3649

2697
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ การประยุกต์ใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีเพื่อการบำบัดน้ำเสีย
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวชัชชฎาภรณ์ ศรีสุรักษ์ รหัส 54365105
 นางสาวนิจวรรณ ธาราดล รหัส 54365143
ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ทศพล ตรีนุจิราภาพงศ์
สาขาวิชา วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2557

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

๑.

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(อาจารย์ทศพล ตรีนุจิราภาพงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์อูปฉิมภ์ นาครักษ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ณัฐมล สีพลไกร)

ชื่อหัวข้อโครงการ	การประยุกต์ใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีเพื่อการบำบัดน้ำเสีย
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวชัชฎาภรณ์ ศรีสุรักษ์ รหัส 54365105 นางสาวนิจวรรณ ธาราดล รหัส 54365143
ที่ปรึกษาโครงการ	อาจารย์ทศพล ตริ์จจิราภาพงศ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้เป็นแผ่นอะลูมิเนียม และสแตนเลส เพื่อศึกษาหาตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสีย ผลการทดลอง พบว่า ค่าความต่างศักย์ ความหนาแน่นกระแส และเวลา เมื่อใช้ขั้วอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม มีค่าเท่ากับ 20 โวลต์ 5.85 mA/cm² และ 5 นาที ตามลำดับ ในส่วนของขั้วอิเล็กโทรดสแตนเลส ค่าความต่างศักย์ ความหนาแน่นกระแส และเวลาที่เหมาะสมที่สุด เท่ากับ 10 โวลต์ 2.90 mA/cm² และ 10 นาที ในส่วนของค่าซีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเท่ากับ 14,440 mg/l ภายหลังจากกระบวนการบำบัด ค่าซีโอดีลดลงมาอยู่ที่ 9,170 mg/l และ 8,950 mg/l เมื่อใช้ขั้วอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม และสแตนเลส ค่าประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียจากการคำนวณที่ตัวแปรเหมาะสมที่สุด แสดงให้เห็นถึงการลดลงของค่าซีโอดี เท่ากับ 36.70% และ 38.20% สำหรับขั้วอิเล็กโทรดอะลูมิเนียม และสแตนเลส ตามลำดับ

Project title : The Application of Electrochemical Process for Waste Water Treatment

Name : Miss Chatchadaphorn Srisurak ID. 54365105
Miss Nidjawan Tharadon ID. 54365143

Project advisor : Mr.Thotsaphon Threrujirapapong

Major : Materials Engineering

Department : Industrial Engineering

Academic year : 2014

Abstract

This Project is the study of the industrial wastewater treatment using the electrochemical process. The aluminium and stainless steel plates are used as electrode for finding the suitable parameters in the treatment. The results show that the optimum voltage, current density and time, when using the aluminium electrode, are 20 V, 5.85 mA/cm² and 5 min, respectively. In the case of stainless electrode, the optimum voltage, current density and time are 10 V, 2.90 mA/cm² and 10 min. The initial COD value of the industrial wastewater is 14,440 mg/l. After the treatment process, the COD value is decreased to the value of 9,140 and 8,950 mg/l for aluminium and stainless steel electrode. The calculated efficiency of the wastewater treatment at the optimum parameters for the aluminium and stainless steel electrode shows the reduction of COD value of 36.70% and 38.20%, respectively.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ อาจารย์ทศพล ตริรุจิราภาพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ใน การทำโครงการวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และยังให้ความรู้ คำปรึกษา แนวคิด ข้อเสนอแนะ เกี่ยวกับการค้นคว้าข้อมูลในการวิเคราะห์ ตลอดจนวิธีการในการแก้ปัญหา แก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดจนให้ความช่วยเหลือทางด้านต่าง ๆ และให้กำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด ผู้จัดทำขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณอาจารย์อุปถัมภ์ นาครักษ์ อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ และอาจารย์ณฤมล สืพลไกร ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบโครงการ พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงการนี้

ขอขอบคุณ คุณณัฐจิรากรนต์ ยวงโพธิ์ ที่คอยแนะนำวิธีใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ อย่าง ถูกวิธี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวที่คอยสนับสนุนในเรื่องกำลังใจ และค่าใช้จ่าย จนสามารถศึกษา และทำโครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงการวิศวกรรม

นางสาวชัชชฎาภรณ์ ศรีสุรภัย

นางสาวนิจวรรณ ธาราดล

พฤษภาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญสัญลักษณ์ และอักษรย่อ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	2
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ.....	2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	2
บทที่ 2 หลักการ และทฤษฎี.....	4
2.1 น้ำเสีย.....	4
2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย.....	4
2.3 คุณภาพ และมาตรฐานน้ำ.....	5
2.4 ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ.....	7
2.5 การบำบัดน้ำเสีย.....	11
2.6 การบำบัดน้ำเสียไฟฟ้าเคมี.....	14
2.7 กฎของฟาราเดย์.....	16
2.8 การควบคุมการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี.....	16
2.9 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....	32
3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงการ.....	32
3.2 วัสดุ และอุปกรณ์.....	33
3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์.....	36
4.1 ค่ากระแสไฟฟ้า.....	36
4.2 ค่าการนำไฟฟ้า.....	38
4.3 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดต่อการลดค่าซีโอดี.....	40
4.4 ค่าพีเอช.....	43
4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย.....	45
บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 บทสรุป.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา.....	46
5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข.....	63
ภาคผนวก ค.....	72
ประวัติผู้จัดทำโครงการ.....	73

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงการ.....	2
2.1	มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม.....	10
2.2	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน.....	21
2.3	ผลของระยะเวลารีฟลักซ์ต่อการหาค่าซีไอดี ด้วยวิธีไดโครเมต โดยใช้ $AgSO_4$	25
2.4	สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต.....	26
ก.1	ค่าพีเอชก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	51
ก.2	ค่าซีไอดีก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	51
ก.3	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	51
ก.4	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	52
ก.5	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	53
ก.6	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	54
ก.7	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	55
ก.8	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ชั่วโมงอะลูมิเนียม.....	56
ก.9	ค่าพีเอชก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงสแตนเลส.....	57
ก.10	ค่าซีไอดีก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงสแตนเลส.....	57
ก.11	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั่วโมงสแตนเลส.....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ก.12	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ชั่วสแตนเลส.....	58
ก.13	ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ชั่วสแตนเลส.....	59
ก.14	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั่วสแตนเลส.....	60
ก.15	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ชั่วสแตนเลส.....	61
ก.16	ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ชั่วสแตนเลส.....	62
ข.1	ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วอะลูมิเนียมก่อน และหลังการบำบัด.....	64
ข.2	ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วสแตนเลสก่อน และหลังการบำบัด.....	68
ค.1	อุปกรณ์ และเครื่องมือในการสร้างชุดการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า.....	73

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	กระบวนการเคมีไฟฟ้า.....	15
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	17
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่.....	17
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่.....	18
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่.....	18
2.6	เครื่องมือวิเคราะห์ Chemical Oxygen Demand (COD) Reactor.....	23
2.7	พีเอชมิเตอร์.....	28
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	32
3.2	ชุดการทดลอง.....	33
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ใช้ไฟฟ้าอะลูมิเนียม.....	37
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ใช้ไฟฟ้าสแตนเลส.....	38
4.3	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าที่เวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ เมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	39
4.4	ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าที่เวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ เมื่อใช้ขั้วสแตนเลส.....	40
4.5	ความขุ่นน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม.....	41
4.6	ความสัมพันธ์ของเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ต่อการลดค่าซีไอดี ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม.....	42
4.7	ความสัมพันธ์ของเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ต่อการลดค่าซีไอดี ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส.....	43
4.8	ค่าพีเอชหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 10 และ 15 นาที โดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	44
4.9	ค่าพีเอชหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 10 และ 15 นาที โดยใช้ขั้วสแตนเลส.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.10	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการลดซีไอดีกับความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ของข้าวอะลูมิเนียมและสแตนเลส.....	45



สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

DO	=	Dissolved Oxygen
ppm.	=	Parts Per Million
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
pH	=	Power of Hydrogen Ion Concentration
ϕ_c	=	Current Efficiency
EMF	=	Electromotive Force
APHA	=	American Public Health Association
FAS	=	Ferrous Ammonium Sulfate
EC	=	Electrocoagulation
TDS	=	Total Dissolved Solids
SUS	=	Steel Use Stainless
mg/l	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
mg/cm ²	=	มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร
mA/cm ²	=	มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของโครงการ

ปัจจุบันจะพบแหล่งน้ำที่เน่าเสียสกปรกอยู่ทั่วไป น้ำลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถนำมาใช้อุปโภค และบริโภคได้ หากน้ำดื่มน้ำใช้มีสารพิษ และเชื้อจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคปะปนมา จะก่อให้เกิดโรคกับ มนุษย์ และสัตว์ น้ำที่เสื่อมคุณภาพหากนำมาผ่านกระบวนการกำจัดของเสียออก เพื่อให้ได้น้ำที่ สะอาดปราศจากเชื้อโรค และสารพิษ จะเป็นเหตุให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากร สิ้นเปลืองเงินในการ จัดการเพื่อผลิตน้ำที่ได้คุณภาพเป็นจำนวนมาก เนื่องจากมลพิษทางน้ำก่อให้เกิดความเสื่อมโทรม นานาประการ ดังนั้นจึงควรวางแนวทางป้องกันการเน่าเสียของน้ำ เพื่อจะได้ไม่ต้องเสียเวลา และงบประมาณในการแก้ไขน้ำเน่าให้กลับมาเป็นน้ำที่ดีมีคุณภาพ

การใช้ไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียเป็นที่รู้จักกันมานาน ในปัจจุบันเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย ด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีมีค่าใช้จ่ายทั้งการลงทุน และการเดินระบบที่ต่ำอีกทั้งยังมีประสิทธิภาพ ในการบำบัดที่ดีกว่า และระบบมีขนาดเล็กกว่าระบบที่ใช้สารเคมีในการตกตะกอน

ดังนั้นโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งเป็นหนึ่งใน กระบวนการที่สามารถกำจัดสิ่งออกจากน้ำเสียได้ โดยปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงไปยังเซลล์ไฟฟ้า และ เพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของการลดลงของสีโดยการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้ กระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

1.2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียเมื่อใช้อิเล็กโทรดที่เป็นอะลูมิเนียม และสแตนเลสในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมด้วยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

1.3.2 ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย เมื่อใช้อิเล็กโทรดเป็นอะลูมิเนียม และสแตนเลส ในกระบวนการทางไฟฟ้าเคมี

บทที่ 2

หลักการ และทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 น้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ มากมาย จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่ต้องการ และน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือถ้าปล่อยลงสู่ลำนน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ [1]

น้ำเสีย (Waste Water) ตามพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พุทธศักราช 2535 ได้ให้ความหมายน้ำเสีย “น้ำเสีย” หมายถึง ของเสียที่อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปะปน หรือปนเปื้อนอยู่ในของเหลว [2]

2.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

ในอดีตที่ผ่านมา บรรพบุรุษของเรานิยมตั้งบ้านเรือนอยู่ริมน้ำ มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำดังกล่าวเพื่อการอุปโภค และบริโภค และอาจจะระบายน้ำเสียที่เกิดขึ้นกลับลงสู่แหล่งแม่น้ำ แต่คุณภาพน้ำของแหล่งน้ำก็ยังไม่เสื่อมโทรมลงจนเห็นได้อย่างชัดเจนเหมือนในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ธรรมชาติสามารถปรับตัวได้ด้วยตัวเอง ทำให้สามารถรักษาระดับคุณภาพน้ำไม่ให้เสื่อมโทรมจนไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เหมือนปัจจุบัน

แหล่งกำเนิดปัญหามลพิษทางน้ำ ได้แก่ แหล่งชุมชน แหล่งอุตสาหกรรม แหล่งเกษตรกรรม แหล่งกำจัดขยะมูลฝอย แหล่งคมนาคมทางเรือ และแหล่งกำเนิดอื่น ๆ [3]

2.2.1 แหล่งชุมชน ได้แก่ บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน สำนักงาน น้ำทิ้งจากสถานที่ดังกล่าวจะมีสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นเศษอาหารของเสีย และสารที่ใช้ซักฟอกปะปนมา

2.2.2 แหล่งอุตสาหกรรม เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานน้ำตาล โรงงานอาหารกระป๋อง และเหมืองแร่ เป็นต้น แหล่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำ ก่อให้เกิดน้ำเน่า นอกจากนั้นยังอาจปล่อยโลหะเป็นพิษ และสารประกอบที่เป็นพิษ เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู แคดเมียม และไซยาไนด์ลงน้ำอีกด้วย

2.2.3 แหล่งเกษตรกรรม เนื่องจากเกษตรกรใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืชมากขึ้นเป็นลำดับ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืช รวมทั้งมูลสัตว์จะถูกชะไหลลงสู่แหล่งน้ำ เกิดการสะสมสารดังกล่าวในแหล่งน้ำมากขึ้น ในที่สุดจะทำให้เกิดยูโทรฟิเคชันขึ้น และเกิดการสะสมสารพิษที่เป็นโลหะหนักในแหล่งน้ำ เป็นอันตรายต่อพืช และสัตว์ในน้ำ

2.2.4 น้ำเสียจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากการที่มีการนำขยะไปกองทิ้งอย่างไม่ถูกวิธี ทำให้เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่ง เนื่องจากขยะมูลฝอยประกอบด้วยเศษอาหาร และของเน่าเสีย เมื่อฝนตกชะลงมาทำให้น้ำเสียไหลปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน และซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดินได้ด้วย

2.2.5 แหล่งคมนาคมทางเรือ เป็นแหล่งมลพิษทางน้ำที่สำคัญแหล่งหนึ่ง แต่มักจะถูกมองข้ามไป สารมลพิษจากแหล่งนี้ คือ น้ำมันที่ใช้กับเครื่องจักรกลของเรือ จะเล็ดลอดลงในน้ำเมื่อเรือขนส่งน้ำมันขนาดใหญ่รั่ว หรือเกิดอุบัติเหตุจมลง น้ำมันจะกระจายเข้าไปอยู่ในแหล่งน้ำเกิดคราบน้ำมันปกคลุมผิวน้ำน้ำเป็นบริเวณกว้างขวางมาก คลื่นจะซัดคราบน้ำมันเข้าหาฝั่งทะเลก่อความสกปรก และทำให้เกิดการขาดออกซิเจนในบริเวณนั้นนาน จนกระทั่งสิ่งมีชีวิตล้มตายลง

2.2.6 น้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ การเกิดน้ำเสียจากสาเหตุอื่น ๆ จะเกิดจากสาเหตุดังนี้ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการคมนาคมขนส่ง การบริการ การก่อสร้าง และการรื้อถอนการพาณิชย์ การล้างถนน อาคาร รถยนต์ และน้ำเสียจากกิจกรรมประมง เป็นต้น

2.3 คุณภาพ และมาตรฐานน้ำ

คุณภาพน้ำ เป็นสภาพของน้ำที่ปรากฏให้ทราบว่า น้ำมีลักษณะเหมาะสมแก่การนำไปใช้อุปโภค บริโภค หรือใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ ได้ หรือไม่ คุณภาพน้ำบางตัวสามารถบอกได้ด้วยวิธีง่าย ๆ โดยใช้ประสาทสัมผัส การมองเห็น หรือการสัมผัสได้ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ฯลฯ แต่บางครั้งสารบางอย่างไม่สามารถตรวจสอบด้วยวิธีง่าย ๆ ได้ เช่น เชื้อโรค สารพิษต่าง ๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำนั้น เป็นต้น สำหรับการพิจารณา เกี่ยวกับคุณภาพของน้ำจะต้องพิจารณาสมบัติทั้ง 3 ประการคือ [4]

2.3.1 คุณภาพน้ำทางกายภาพ (Physical Quality)

เป็นลักษณะของความสกปรกในน้ำที่ปรากฏให้เห็นได้ด้วยประสาทสัมผัสทั้งห้า สมบัติเหล่านี้ ได้แก่ ความขุ่น สี กลิ่น รส และอุณหภูมิ

2.3.1.1 ความขุ่น (Turbidity) ได้แก่ น้ำมีตะกอนแขวนลอย ดินละเอียด อินทรีย์สาร อนินทรีย์สาร แพลงตอน และจุลินทรีย์สาร เกิดปัญหาด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมในด้านความนำดื่มมาใช้

2.3.1.2 สี (Color) เกิดจากการหมักทับถมกันของพืชใบไม้ เศษวัสดุ อินทรีย์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังอาจเกิดจากการปนเปื้อนจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้แก่ น้ำทิ้งจากบ้านเรือน และอุตสาหกรรม มีปัญหาต่อด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.3.1.3 กลิ่น (Odor) เกิดจากการที่น้ำมีจุลินทรีย์บางชนิด เช่น สาหร่าย ฯลฯ หรือเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์สารในน้ำ ในภาวะขาดแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดแก๊สไข่เน่า (H_2S) หรือเกิดจากการปนเปื้อนจากน้ำทิ้ง จากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้น้ำไม่น่าดื่ม และไม่น่าใช้สอย หรือสร้างเหตุรำคาญ

2.3.1.4 รสชาติ (Taste) เกิดจากการละลายน้ำของพวกเกลืออนินทรีย์ เช่น เกลือเหล็ก เกลือทองแดง เกลือโพแทสเซียม เกลือโซเดียม หรือสังกะสี ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม

2.3.1.5 อุณหภูมิ (Temperature) เปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ เนื่องจากสภาพแวดล้อม แต่บางโอกาสเกิดจากน้ำทิ้งในกิจกรรมต่าง ๆ จากมนุษย์ หรือจากโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำทั้งทางตรง และทางอ้อม โดยที่สิ่งมีชีวิตในน้ำอาจตายได้ ในกรณีที่อุณหภูมิของน้ำทิ้งสูงเกินไป และยังมีผลให้การละลายของออกซิเจนในน้ำลดลงอีกด้วย ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ยอมให้อุณหภูมิของน้ำที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

2.3.2 คุณภาพน้ำทางเคมี (Chemical Quality)

มาจากแร่ธาตุสารต่าง ๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ เป็นลักษณะความสกปรกในน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาได้ แร่ธาตุ และสารต่าง ๆ ที่ละลายปะปนอยู่ในน้ำ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำตามธรรมชาติเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหารได้ สารต่าง ๆ เหล่านี้ ได้แก่ ความเป็นกรด (Acidity) ความเป็นด่าง (Alkalinity) ความกระด้าง (Hardness) เหล็ก (Iron) แมงกานีส (Manganese) คลอไรด์ (Chlorides) ฟลูออไรด์ (Fluorides) และสารพิษอื่น ๆ (Toxic substances)

2.3.2.1 พีเอช (pH) เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนในน้ำ ค่าพีเอช แสดงถึงความเป็นกรด หรือด่างของสารละลาย น้ำทิ้งที่มีสมบัติความเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 และน้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นด่างจะมีค่าพีเอชมากกว่า 7 โดยน้ำทิ้งที่มีสมบัติเป็นกลางจะมี

ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ซึ่งค่าพีเอชของน้ำทิ้งมีความสำคัญในการบำบัด จำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่ หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้

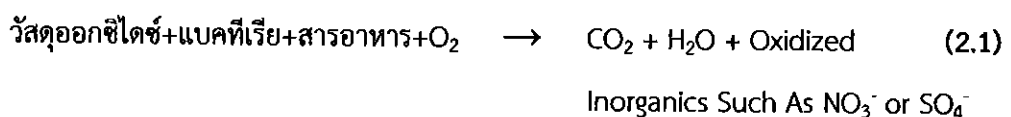
2.3.2.2 ดีโอ (Dissolved Oxygen; DO) คือ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำ ต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่าดีโอสูง และน้ำเสียจะมีค่าดีโอต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่าดีโอประมาณ 5 ถึง 8 ppm. น้ำเสียจะมีค่าดีโอต่ำกว่า 3 ppm. ค่าดีโอมีความสำคัญในการบ่งบอกว่า แหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิต หรือไม่ ดังนั้นออกซิเจนจึงเป็นก๊าซที่มีความสำคัญมากในการดำรงชีวิตของคน สัตว์ และพืช ก๊าซทุกชนิดในบรรยากาศละลายน้ำได้ แต่ออกซิเจนและไนโตรเจนละลายน้ำได้น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับก๊าซอื่น ๆ [5]

2.3.3 คุณภาพน้ำทางชีวภาพ (Biological Quality)

จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมียูลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิต และสุขภาพของมนุษย์ได้โดยตรง อาจก่อให้เกิดโรคระบาดที่มีน้ำเป็นสื่อได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรกระบบทางเดินอาหารที่สำคัญ มักเกิดจากเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรคปนเปื้อนอยู่ในอาหาร และน้ำ ในขณะที่เดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียร้อยละ 95 นอกนั้นก็จะเป็นรา สาหร่าย และโปรโตซัว

2.4 ตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ

วัสดุที่รวมกับออกซิเจนใด ๆ ที่มีอยู่ในน้ำตามธรรมชาติ หรือในน้ำเสียอุตสาหกรรมจะถูกออกซิไดซ์โดยทั้งกระบวนการทางชีวเคมี (แบคทีเรีย) หรือกระบวนการทางเคมี ผล คือ ปริมาณออกซิเจนของน้ำจะลดลง โดยทั่วไปปฏิกิริยาการออกซิเดชันทางเคมีอาจเขียนได้ดังสมการที่ 2.1 [6]



การใช้ออกซิเจนโดยการรวมกับอ็อกซิเจนของสารเคมี เช่น ซัลไฟด์ และไนไตรต์ มีปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.2 และ 2.3



เนื่องจากน้ำตามธรรมชาติทั้งหมดจะมีเชื้อแบคทีเรีย และสารอาหารเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นปฏิกิริยาชีวเคมีเริ่มต้น (เช่น ที่แสดงด้านบน) โดยปฏิกิริยาชีวเคมีจะถูกวัดในห้องปฏิบัติการว่าเป็น ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) สารเคมีดังกล่าวนี้ ยังมีแนวโน้มที่จะถูกทำลายลงโดยใช้สารออกซิไดซ์ที่แข็งแกร่ง และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเหล่านี้ จะถูกวัดในห้องปฏิบัติการเป็นค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand; COD) ผลการทดสอบบีโอดี และซีโอดีเป็นตัวชี้วัดการพร่องออกซิเจนของสารปนเปื้อนของเสีย ค่าทั้งสองนี้ ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นตัวชี้วัดของผลกระทบของมลพิษ บีโอดี ใช้วัดความต้องการออกซิเจนของสารมลพิษที่ย่อยสลายได้ทางชีวเคมี ในขณะที่ซีโอดีใช้วัดความต้องการออกซิเจนของสารทำให้เกิดของเสียที่ออกซิไดซ์ได้

2.4.1 ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี คือ ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้แบคทีเรีย (ค่ามาตรฐานไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร) บีโอดีเป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสียในเทอมของออกซิเจน ที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน น้ำที่มีคุณภาพดีควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จะจัดเป็นน้ำเน่า หรือน้ำเสีย

พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ว่าน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร การหาค่าบีโอดีทำได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรีย์สาร จะเป็นไปอย่างช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาหลายสัปดาห์ ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ดังนั้นในการวิเคราะห์ค่าบีโอดีในน้ำเสีย ซึ่งมีความสกปรกมากจึงจำเป็นต้องเจือจางน้ำเสียให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมพอดีกับปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ และเนื่องจากการวิเคราะห์ค่าบีโอดีเป็นการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับจุลินทรีย์ในน้ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้น้ำมีสภาพ

ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย เช่น ไม่มีสารพิษแต่มีอาหารเสริมที่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโต รวมทั้งต้องมีปริมาณจุลินทรีย์ที่มากเพียงพอต่อการวิเคราะห์ หากไม่มี หรือมีจุลินทรีย์ปริมาณน้อยเกินไปควรเติมเชื้อจุลินทรีย์ หรือหัวเชื้อ (Seed) ลงไปเพิ่ม เพื่อให้มีจุลินทรีย์ปริมาณมากเพียงพอต่อการวิเคราะห์

2.4.2 ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand; COD)

ความต้องการออกซิเจนทางเคมี คือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ โดยใช้ตัวออกซิเจนอย่างแรง (Strong Oxidizing Agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด และการให้ความร้อนโดยทั่วไป ค่าซีโอดีจะมีค่ามากกว่าบีโอดีเสมอ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย [7]

ค่าซีโอดี หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นสำหรับปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่าซีโอดีที่สูงแสดงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายนั้นต้องการปริมาณออกซิเจนมาก

การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

ปฏิกิริยาออกซิเดชันต้องเกิดขึ้นโดยอาศัยออกซิไดซิงเอเจนต์อย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรดเข้มข้น และมีอุณหภูมิสูง หลักการของซีโอดีจะคล้ายกับบีโอดี คือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกออกซิไดซ์จนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ เพียงแต่บีโอดีต้องใช้แบคทีเรียในการย่อยสลาย ส่วนซีโอดีใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์ ซีโอดี และบีโอดีต่างเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำ แต่ซีโอดีไม่สามารถจะบอกถึงความยากง่ายในการย่อยสลายทางชีวภาพได้ เนื่องจากสารอินทรีย์จะถูกออกซิไดซ์ได้หมด หรือเกือบหมด แต่ซีโอดีก็มีข้อดี คือใช้เวลาในการหาค่าแค่ 3 ชั่วโมง ในขณะที่บีโอดีใช้เวลาถึง 5 วัน และโดยปกติค่าซีโอดีจะมีค่าสูงกว่าบีโอดี โดยปกติอัตราส่วนระหว่างบีโอดี และซีโอดี เท่ากับ 0.1 ถึง 0.8

2.4.3 พีเอช (pH)

พีเอช แสดงความเป็นกรด หรือเบสของน้ำ (น้ำดื่มควรมีค่าพีเอชระหว่าง 6.8 ถึง 7.3) โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่าพีเอชที่ต่ำ ซึ่งถ้าค่าพีเอชน้อยกว่า 7 หมายความว่ามีความเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส พีเอชเป็นตัวแสดงลักษณะทางเคมีของน้ำอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญมาก งานวิเคราะห์น้ำจะมีการวัดค่าพีเอชด้วยทุกครั้ง เนื่องจากสามารถวัดได้ง่าย

โดยพีเอชเป็นตัวควบคุมของกระบวนการต่าง ๆ ทั้งในด้านน้ำดี และน้ำเสีย พีเอชในทางทฤษฎีถือว่าค่าจะอยู่ในช่วง 0 ถึง 14

2.4.4 การควบคุมการปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำ

การควบคุมการปล่อยน้ำเสีย เป็นการป้องกัน และลดการนำสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้มีค่าของสารแขวนลอยไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ จะต้องตั้งอุปกรณ์กำจัดน้ำเสีย และดำเนินการกำจัดน้ำเสียให้ได้มาตรฐาน ดังที่กำหนดไว้ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ

การกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ทำให้น้ำเสียอยู่ในเกณฑ์ต่ำสุดที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนด ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม [8]

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
1. ค่าความเป็นกรด และต่าง (pH Value)	5.5 – 9.0	pH Meter
2. ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือแล้ว แต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัมต่อลิตร	Azide Modification
3. ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)	ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควร แต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร	Potassium Dichromate Digestion

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม [8]

มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม		
ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน	วิธีวิเคราะห์
4. สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือแล้วแต่ ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ประเภทของระบบบำบัดน้ำเสียตามที่ คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองผ่านกระดาษ กรองใยแก้ว (Glass Fiber Filter Disc)

2.5 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัด ทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด และไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 3 วิธีคือ [9]

2.5.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical Process)

กระบวนการทางกายภาพ เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณร้อยละ 50 ถึง 65 วิธีการนี้มีหลายวิธี เช่น

2.5.1.1 การดักด้วยตะแกรง (Screening) เป็นการแยกเศษขยะต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสีย เช่น เศษไม้ ถูพลาสติก กระดาษ ตะแกรงมีหลายขนาด การดักด้วยตะแกรงจึงเป็นการแยกขั้นตอนแรกในการบำบัดน้ำเสีย

2.5.1.2 การตัดย่อย (Combination) คือ การใช้เครื่องตัดทำลายเศษขยะขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง

2.5.1.3 การกวาด (Skimming) เป็นการกำจัดน้ำมัน และไขมันโดยทำการดัก หรือกวาดออกจากน้ำเสีย

2.5.1.4 การทำให้ลอย (Floating) จะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ

2.5.1.5 การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นการแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเรื่องแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ

2.5.1.6 การกำจัดตะกอนหนัก (Grit Removal) ตะกอนหนัก คือ พวงกรวด หิน ทราย หรือตะกอนต่าง ๆ ที่มีความถ่วงจำเพาะสูง ๆ

2.5.2 กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)

กระบวนการทางชีววิทยา เป็นการอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์ต่าง ๆ มาทำการย่อยสลาย เปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนีย เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ดีที่สุด ในแง่ของการลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ แต่หลักการนี้เลือกสภาวะแวดล้อมให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ โดยสัมพันธ์กับปริมาณของจุลินทรีย์ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย แบคทีเรียที่เลือกใช้ ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.5.2.1 แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจน (Aerobic Bacteria)

2.5.2.2 แบคทีเรียที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (Anaerobic Bacteria)

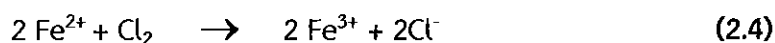
2.5.3 กระบวนการทางเคมี (Chemical Process)

กระบวนการทางเคมี เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการกำจัด หรือแยกสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด และต่างสูง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ วิธีนี้จะต้องใช้สารเคมีต่าง ๆ เติมลงไปลงในน้ำเสีย เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพ หรือชีวภาพ เช่น

2.5.3.1 การทำให้เกิดตะกอน (Precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อไม่สามารถแยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพ หรือกายภาพ โดยส่วนมาก สารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่าง ๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียม ซัลเฟต หรือสารส้ม ($Al_2(SO_4)_3$) เกลือเหล็ก ($FeCl_3$, $FeSO_4$) และเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี

2.5.3.2 การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอมให้แก่สารเคมีที่เติมลงไปลงในน้ำเสีย โดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์

(Oxidizing Agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อยด้วยคลอรีน ดังสมการที่ 2.4



2.5.3.3 การเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical Reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+} ด้วยเฟอรัสซัลเฟต (FeSO_4) ในสภาพที่เป็นกรด ดังสมการที่ 2.5



2.5.3.4 การสะเทิน (Neutralization) เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด และด่างของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด ($\text{pH} < 7$) ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ($\text{pH} > 7$) ให้มีค่าพีเอชต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

2.5.4 กระบวนการทางเคมี-กายภาพ (Chemical-Physical Process)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยทั้งทางทางเคมี และกายภาพมารวมกัน จะใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ เช่น

2.5.4.1 การดูดซับด้วยถ่าน (Carbon Adsorption) วิธีการนี้ใช้ผงถ่าน หรือคาร์บอนเป็นตัวดูดซับสารเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง

2.5.4.2 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange) วิธีการนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียดับตัวกลางที่บรรจุ ซึ่งมีทั้งประจุบวก และประจุลบ

2.5.4.3 การแยกด้วยไฟฟ้า และเยื่อกรอง (Electrodialysis) วิธีการนี้อาศัยกระแสไฟฟ้า โดยมีขั้วบวก และขั้วลบ ในการกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำทิ้ง

2.6 การบำบัดน้ำเสียเคมีไฟฟ้า

กระบวนการเคมีไฟฟ้า คือ กระบวนการที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า เพื่อก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี กระบวนการนี้ได้ถูกค้นพบเมื่อกลางศตวรรษที่ 19 การเปลี่ยนแปลงทางปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้โดยการเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ระหว่างขั้วไฟฟ้า (Electrode) 2 ขั้ว ที่ต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายนอก หลักการขั้นพื้นฐานสำหรับปรากฏการณ์เคมีไฟฟ้าถูกค้นพบโดย Michael Faraday และนักวิทยาศาสตร์คนอื่น ๆ ก่อนที่จะมีการค้นพบอิเล็กตรอนโดย J.J. Thomson ในปี 1893 [10]

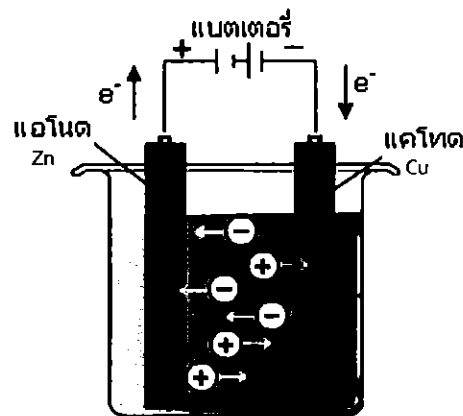
ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีการศึกษากลไก และศึกษาพลศาสตร์ (Dynamic) ของกระบวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอน โดยเน้นในเรื่องกลไกการเกิดปฏิกิริยาอันซับซ้อนของไอออนโลหะ อันเชื่อมโยงไปสู่กระบวนการประยุกต์ใช้เคมีไฟฟ้ากับการศึกษาด้านสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และชีวเคมี ซึ่งในปัจจุบันกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าถูกนำไปประยุกต์ใช้ในหลาย ๆ ด้าน รวมทั้งการบำบัดน้ำเสียด้วย

ดังที่กล่าวมาแล้ว กระบวนการเคมีไฟฟ้าเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนอิเล็กตรอนระหว่างสารละลาย และผิวหน้าขั้วไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้เกิดขึ้นโดยอาศัยพลังงานจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก โดยการให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชันของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ไอออนโลหะทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันเป็นโลหะเกาะที่ขั้วไฟฟ้า ทำให้สามารถแยกโลหะออกมาจากสารละลายได้ ส่วนประกอบที่สำคัญของกระบวนการนี้ คือ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ ขั้วไฟฟ้า และแหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าภายนอก เป็นส่วนที่ควบคุมปริมาณของกระแสไฟฟ้า หรือศักย์ไฟฟ้าผ่านเข้าสู่ระบบ

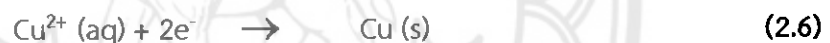
สารละลายอิเล็กโทรไลต์ทำหน้าที่ส่งผ่านกระแสไฟฟ้า โดยผ่านทางไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในสารละลาย ซึ่งไอออนเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งกระแสผ่านไปยังขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ในกระบวนการเคมีไฟฟ้า สมบัติของสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของปฏิกิริยา และกระบวนการ เช่น องค์ประกอบ ความเข้มข้น ค่าความเป็นกรด ค่าความเป็นเบส หรืออุณหภูมิ

พิจารณาจากการเดินทางของอิเล็กตรอนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อต่อแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอกเข้ากับขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ที่จุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 [11]

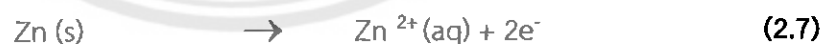


รูปที่ 2.1 กระบวนการเคมีไฟฟ้า [12]

กระแสไฟฟ้าภายนอกจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าผลักดันให้อิเล็กตรอนในเส้นลวดเคลื่อนที่ไปในทิศทางตามลูกศรไปยังขั้วไฟฟ้า และมีปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว ทางซ้ายมือ นั้นจะมีกระบวนการรีดักชันเกิดขึ้น โดยโมเลกุล หรือไอออนของสารออกซิไดซ์ในสารละลายจะถ่ายโอนเข้าสู่ผิวหน้าของขั้ว โดยเกิดปฏิกิริยารีดักชันกับอิเล็กตรอน ดังสมการที่ 2.6



เราเรียกขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) หรือขั้วลบว่า ขั้วแคโทด (Cathode) ส่วนขั้วทางขวามือเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) เกิดขึ้นโดยโมเลกุล หรือไอออนของสารรีดิวซ์ในสารละลายจะถูกออกซิไดซ์ ซึ่งจะให้อิเล็กตรอนออกสู่ระบบ ดังสมการที่ 2.7



เราเรียกขั้วไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือขั้วบวกว่า แอโนด (Anode) ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่จากขั้วแอโนดผ่านสายไฟของแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าภายนอกออกสู่ขั้วแคโทด เพื่อให้รีดักชันเกิดขึ้นสม่ำเสมอที่แคโทด ไอออนจะต้องเคลื่อนที่ไปที่ขั้วแคโทดตลอดเวลา ซึ่งไอออนเหล่านี้เป็นไอออนบวก เรียกว่า แคตไอออน (Cations) ในขณะเดียวกันไอออนลบ เรียกว่า แอนไอออน (Anions) จะเคลื่อนที่ไปขั้วแอโนด

2.7 กฎของฟาราเดย์ (Faraday' s Law)

ไมเคิล ฟาราเดย์ พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณกระแสไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วไฟฟ้า เมื่อตอนต้นศตวรรษที่ 19 โดยพบว่า การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในกระบวนการเคมีไฟฟ้า จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และระยะเวลา หรือกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนที่มีการถ่ายเทในปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชัน เช่น การรีดักชันของไอออนของเงิน และทองแดงให้เป็นโลหะตามปฏิกิริยา ดังสมการที่ 2.8 และ 2.9 [13]



จะเห็นว่าปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.8 นั้น เงินหนึ่งไอออนรับอิเล็กตรอนหนึ่งตัว ได้เป็นโลหะเงินหนึ่งอะตอมขึ้นที่แคโทด หรือกล่าวได้ว่าเงินหนึ่งโมลไอออนจะรับอิเล็กตรอนหนึ่งโมล ได้โลหะเงินหนึ่งโมลเคลือบอิเล็กโทรดที่เป็นแคโทด ส่วนปฏิกิริยาตามสมการที่ 2.9 ก็กล่าวได้ทำนองเดียวกันว่า ทองแดงหนึ่งโมลไอออนทำปฏิกิริยากับสองโมลอิเล็กตรอน ได้โลหะทองแดงหนึ่งโมลที่ขั้วแคโทด จากกฎของฟาราเดย์สรุปได้ว่า การรีดักชันของไอออนของทองแดงเพื่อให้ได้โลหะหนึ่งโมล จะต้องใช้ปริมาณไฟฟ้าสองเท่าของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้กับเงิน เพื่อให้ไอออนหนึ่งโมลทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชันว่า หนึ่งฟาราเดย์

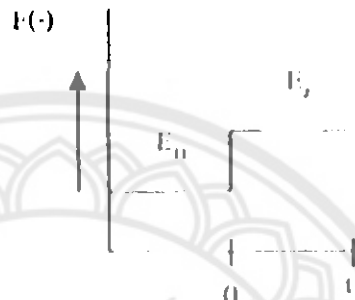
2.8 การควบคุมการทำงานของกระบวนการไฟฟ้าเคมี

สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ และการทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งหลักการทำงานแต่ละแบบเป็นดังนี้

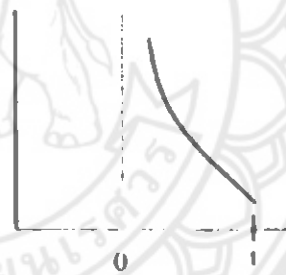
2.8.1 การทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ (Controlled Potential Method or Potentiostatic Mode)

พื้นฐานของการทำงานเป็นการควบคุมค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทด และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrode) ให้มีค่าคงที่ ซึ่งจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลงไปกับเวลา โดยเมื่อปรับความต่างศักย์ที่เพียงพอไอออนบวกของโลหะที่อยู่ในสารละลายจะเกิดปฏิกิริยา

รีดักชันที่ผิวของขั้วแคโทด และเมื่อเวลาผ่านไปจะทำให้ความเข้มข้นของไอออนที่บริเวณผิวหน้าของขั้วแคโทดมีค่าต่ำลง ทำให้ความต่างศักย์ระหว่างขั้วแคโทด และขั้วไฟฟ้าอ้างอิงมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าจึงต้องต่ำลง เพื่อควบคุมความต่างศักย์ให้มีค่าคงที่ ผลที่เกิดขึ้นจากการทำงานแบบควบคุมศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าศักย์ไฟฟ้ากับเวลา เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์จาก E_1 เป็น E_2 ที่ขั้วแคโทด



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ [14]



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมศักย์ไฟฟ้าคงที่ [14]

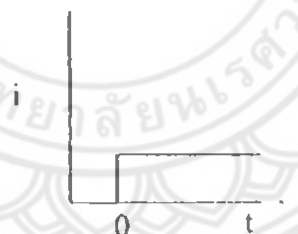
โดยที่ E_1 คือ ความต่างศักย์ที่เริ่มต้นก่อนการเกิดปฏิกิริยา และ E_2 คือ ความต่างศักย์ที่เป็น Diffusion Limited Rate หรือเป็น Mass Transfer Limited ซึ่งตัวออกซิไดซ์จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ความเข้มข้นของไอออนบวกที่ผิวหน้าของขั้วแคโทดลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ การลดลงของความเข้มข้นของไอออนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ จะมีผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าของระบบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 เนื่องจากค่ากระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น ($I=kC$)

2.8.2 การทำงานแบบควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่ (Controlled Current Method or Galvanostatic Mode)

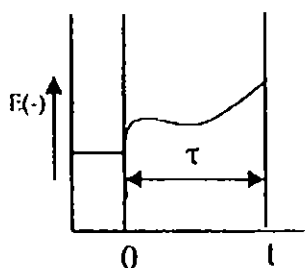
รูปแบบการควบคุมกระแสไฟฟ้าให้คงที่นี้ อาจเรียกว่า Chronopotentiometry หรือ Chronopotentiometric Technique โดยเป็นการควบคุมให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขั้วไฟฟ้าให้คงที่ ทำให้ความต่างศักย์มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เมื่อควบคุมให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วไฟฟ้าทั้งสองคงที่ ทำให้สารออกซิไดซ์ (M^{n+}) เกิดปฏิกิริยารีดักชันกลายเป็นสารรีดิวซ์ (M) ด้วยอัตราที่คงที่ โดยมีปฏิกิริยาแสดง ดังสมการที่ 2.10



ดังนั้นความต่างศักย์จะแปรตามความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ที่เกิดการเปลี่ยนแปลง M^{n+}/M ที่ผิวของขั้วไฟฟ้าก็จะลดลงเช่นกัน ในช่วงเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์โดยกระแสไฟฟ้าคงที่เรียกว่า Transition Time (τ) ซึ่งค่านี้สัมพันธ์กับความเข้มข้น และสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusion Coefficient) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้ากับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ [14]



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเวลาในการควบคุมกระแสไฟฟ้าคงที่ [14]

2.8.3 ตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า

พิจารณาจากสมการที่ 2.6 การเกิดปฏิกิริยาประกอบด้วยขั้นตอนที่เปลี่ยนตัวออกซิไดซ์ที่ละลายอยู่ในสารละลายให้กลายเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังนี้

2.8.3.1 การถ่ายโอนมวลสาร (ถ่ายโอนตัวออกซิไดซ์ในสารละลายสู่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า) ซึ่งประกอบด้วย 3 กลไกด้วยกัน คือ

ก. ไมเกรชัน (Migration) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออนภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในสารละลายนั้น โดยไอออนบวกจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแคโทด และไอออนลบจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วแอโนด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของไอออนเข้าหา จะเคลื่อนที่ออกจากผิวหน้าของขั้วอาจเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามแต่ศักย์ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้านั้น ซึ่งมีผลให้การไหลของกระแสในวงจรนั้นเพิ่มขึ้น หรือลดลงไปด้วย นอกจากนี้ถ้ามีไอออนที่มีประจุเท่ากันจำนวนมากอยู่รวมกัน จะเกิดการแย่งการเคลื่อนที่แบบไมเกรชัน ทำให้มีการสูญเสียกระแสส่วนหนึ่งไปในการเคลื่อนที่ของไอออนที่ไม่ต้องการในการเกิดปฏิกิริยา

ข. การแพร่ (Diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของไอออน หรือโมเลกุลในสารละลายจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า จนกว่าจะไม่เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นในสารละลาย อัตราเร็วในการแพร่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้น

ค. การพา (Convection) ไอออน หรือโมเลกุลเข้าหา หรือออกจากขั้วไฟฟ้าเกิดขึ้นได้เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ หรือความหนาแน่นของสารละลาย

2.8.3.2 การถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

2.8.3.3 การเกิดปฏิกิริยาเนื่องจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอน ในกรณีที่สารละลายมีตัวออกซิไดซ์ (ไอออนโลหะ) หลาย ๆ ชนิดละลายผสมกันอยู่การเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด จะเรียงตามค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน (Standard EMF Series) ซึ่งหมายความว่าตัวออกซิไดซ์ที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานมากกว่า จะเกิดปฏิกิริยาได้ก่อน หรือสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าตัวออกซิไดซ์ตัวอื่น

2.8.4 ขั้วไฟฟ้า

ในแต่ละครึ่งเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ ขั้วไฟฟ้า ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นนำไฟฟ้าที่เชื่อมต่อระหว่างสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้า เพื่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว คือ ขั้วแอโนด และขั้วแคโทด

วัสดุที่เลือกนำมาใช้ในการทำขั้วไฟฟ้ามีหลายชนิด เช่น อะลูมิเนียม สแตนเลส เป็นต้น โดยมีลักษณะ และคุณสมบัติในแต่ละชนิดดังนี้

2.8.4.1 อะลูมิเนียม

อะลูมิเนียมเป็นโลหะที่อ่อน และเบา ที่มีลักษณะเป็นสีขาว น้ำหนักเบา ไม่เป็นเงา เนื่องจากเกิดการออกซิเดชันจะเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบผิวไว้ โดยจะเกิดขึ้นเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศ โลหะอะลูมิเนียมไม่เป็นสารพิษ ไม่เป็นแม่เหล็ก และไม่เกิดประกายไฟ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์มีแรงต้านการดึงประมาณ 49 ล้านปาสกาล และ 400 เมกกะปาสกาล ถ้าทำเป็นโลหะผสม อะลูมิเนียมมีความหนาแน่นเป็น 1/3 ของเหล็กกล้า และทองแดง มีความอ่อนสามารถดัดได้ง่าย สามารถกลึงและหล่อแบบได้ง่าย และมีความสามารถต่อต้านการกร่อน และความทนเนื่องจากชั้นออกไซด์ที่ป้องกัน อะลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยากับโลหะตัวอื่น ๆ ได้อย่างว่องไว มีเลขออกซิเดชัน เท่ากับ +3 และถ้าหาก Al^{+3} อยู่ในน้ำจะสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และไฮโดรไลซิสขึ้นได้ [15]

2.8.4.2 สแตนเลส (Stainless Steel)

ในทางโลหกรรมถือว่าเป็นโลหะผสมเหล็ก ที่มีโครเมียมอย่างน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 10.5 สแตนเลสไม่มีสนิม เนื่องจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างออกซิเจนในอากาศกับโครเมียม ในเนื้อสแตนเลส เกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบผิวไว้ ทำหน้าที่ปกป้องการเกิดความเสียหายให้กับตัวเนื้อสแตนเลสได้เป็นอย่างดี ปกป้องการกัดกร่อน และไม่ซำรุด หรือสึกกร่อนง่ายอย่างโลหะทั่วไป [16]

2.8.5 ศักย์ขั้วไฟฟ้า

คำจำกัดความของศักย์ขั้วไฟฟ้า คือ เกิดจากวัตถุโลหะที่เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ 2 ชนิดที่ต่างกัน หรือวัตถุชนิดเดียวกัน แต่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าต่างกันมาเชื่อมต่อกันจะเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้น ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างวัตถุทั้งสอง

ในการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของครึ่งปฏิกิริยาของโลหะใด ๆ สามารถทำได้ โดยนำโลหะนั้นไปทำเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีร่วมกับครึ่งเซลล์อ้างอิงไฮโดรเจนมาตรฐาน จากนั้นจึงวัดค่าความต่างศักย์ หรือที่บางครั้งเรียกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force; EMF) ดังรูปที่ 2.2 แสดงค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะชนิดต่าง ๆ โลหะที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานมาก เช่น ทอง เงิน แพลทินัม เป็นต้น แสดงว่ามีความเฉื่อยต่อการทำปฏิกิริยา (หรือเป็นแคโทด) ในทางตรงกันข้าม โลหะที่มีค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานน้อย เช่น แมกนีเซียม โซเดียม โปแตสเซียม เป็นต้น แสดงว่ามีความไว หรือออกที่ฟต่อการทำปฏิกิริยา (หรือเป็นแอโนด) ดังรูปที่ 2.4 นี้รู้จักกันดีในอีกชื่อหนึ่งว่า Standard EMF Series

ตารางที่ 2.2 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน [17]

Electrode	Electrode Reaction	E_0 (Volts)
Li	$Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$	-3.05
K	$K^+(aq) + e^- \rightarrow K(s)$	-2.93
Ba	$Ba^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ba(s)$	-2.90
Ca	$Ca^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ca(s)$	-2.87
Na	$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	-2.71
Mg	$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	-2.37
Al	$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	-1.66
Zn	$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76
Cr	$Cr^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Cr(s)$	-0.74
Fe	$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.44
Cd	$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$	-0.40
Pb	$PbSO_4(s) + 2e^- \rightarrow Pb(s) + SO_4^{2-}(aq)$	-0.31
Co	$Co^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Co(s)$	-0.28
Ni	$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	-0.25
Sn	$Sn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn(s)$	-0.14
Pb	$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	-0.13
H ₂	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0.00
Cu	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	+0.34
I ₂	$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	+0.54
Fe	$Fe^{3+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	+0.77
Hg	$Hg_2^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow 2Hg(l)$	+0.79
Ag	$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	+0.80
Hg	$Hg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Hg(l)$	+0.85
N ₂	$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow NO(g) + H_2O$	+0.97
Br ₂	$Br_2(aq) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	+1.08
O ₂	$O_2(g) + 2H_3O^+(aq) + 2e^- \rightarrow 3H_2O$	+1.23
Cr	$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O(l)$	+1.33
Cl ₂	$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	+1.36
Au	$Au^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Au(s)$	+1.42
Mn	$MnO_4^-(aq) + 8H_3O^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 12H_2O(l)$	+1.51
F ₂	$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	+2.87

2.8.6 สารละลายอิเล็กโทรไลต์

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ คือ สารที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนอิสระ เมื่อละลายน้ำหรือหลอมเหลว ทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากโดยทั่วไปสารละลายนั้นจะประกอบไปด้วยไอออน จึงมักเรียกกันว่า สารละลายไอออนิก ในบางครั้งอาจเรียกสั้น ๆ ว่า ไลต์

โดยปกติแล้วอิเล็กโทรไลต์จะอยู่ในรูปของกรด เบส หรือเกลือ นอกจากนี้ แก๊สบางชนิดอาจทำตัวเป็นอิเล็กโทรไลต์ได้ภายใต้อุณหภูมิสูง และความดันต่ำ

การจำแนกอิเล็กโทรไลต์ออกเป็นอิเล็กโทรไลต์เข้มข้น หรือเจือจาง สามารถจำแนกได้จากความเข้มข้นของไอออน ถ้าความเข้มข้นมาก จะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์เข้มข้น แต่ถ้ามีความเข้มข้นของไอออนน้อยจะเรียกว่า อิเล็กโทรไลต์เจือจาง ถ้าสัดส่วนการแตกตัวเป็นไอออนของสารใดมีมาก จะเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์แก่ แต่ถ้าสัดส่วนนั้นน้อย (ส่วนใหญ่ไม่แตกตัวเป็นไอออน) จะเรียกว่าอิเล็กโทรไลต์อ่อน

2.9 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.9.1 เครื่องมือวิเคราะห์ Chemical Oxygen Demand (COD) Reactor

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดส์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีจากตัวอย่างจำเพาะบางชนิดสามารถหาค่าความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี สารอินทรีย์คาร์บอน หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการติดตาม และควบคุมการระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ โดยวิธีฟลักซ์ซึ่งใช้สารโคโครเมท วิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าการใช้สารออกซิแดนซ์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากความสามารถในการออกซิไดซ์ใช้ได้กับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ และวิธีวิเคราะห์ง่าย โดยสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ประมาณร้อยละ 95 ถึง 100 แต่สำหรับไพรีติน และอนุพันธ์จะทนต่อการถูกออกซิไดซ์ และพวกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์เมื่อสัมผัสกับสารออกซิไดซ์เท่านั้น แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำเสีย หรือถูกปล่อยออกจากสารอินทรีย์จะไม่ถูกออกซิไดซ์ ถ้าไม่มีประจุคลอไรด์อิสระจำนวนเพียงพอ ดังรูปที่ 2.6



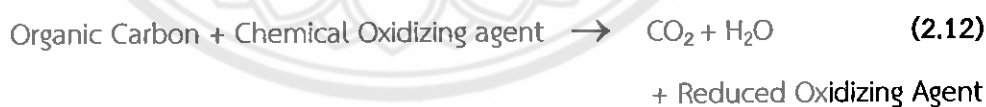
รูปที่ 2.6 เครื่องมือวิเคราะห์ Chemical Oxygen Demand (COD) Reactor [18]

2.9.1.1 หลักการทั่วไป

การวัดค่าลึกลับความสกปรกของน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน และน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบโดยใช้ค่าซีโอดีนั้น อาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด สามารถถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 95 ถึง 100 ถูกเปลี่ยนเป็นไนเตรด และพวกอะมิโน ไนโตรเจนก็ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ปฏิกริยาพื้นฐานของการเติมออกซิเจนอาจเขียนได้ ดังสมการที่ 2.11



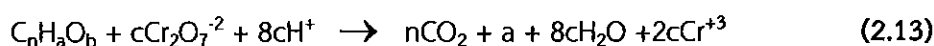
การหาค่าซีโอดี โดยใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังสมการ 2.11 ได้มาจากตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด ดังสมการที่ 2.12



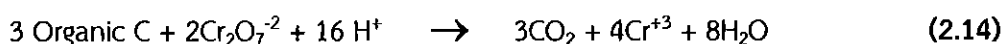
เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาปริมาณตัวเติม ออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะถูกนำไปคำนวณหาค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าปริมาณออกซิเจนถูกใช้ไปมากจะแสดงว่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายมีจำนวนมาก สารเติมออกซิเจนที่ใช้ในการหาค่าซีโอดีของน้ำมีหลายตัว เช่น โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เซริกซัลเฟต ($Ce_2(SO_4)_3$) โปแตสเซียมไอโอเดต (KIO_3) และกรดไฮโอติก (HIO_3)

โปแตสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) และโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) แต่ละตัวมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่ที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน และเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาตามข้อกำหนดของ APHA คือ โปแตสเซียมไดโครเมต เพราะมีความสามารถในการออกซิเดชันสูง และเหมาะสมกับตัวอย่างน้ำหลายชนิด โดยเฉพาะน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน สามารถออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ได้หลากหลายชนิดจนเกือบสมบูรณ์ ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ นอกจากนี้การวัดปริมาณของไดโครเมตไอออน ($Cr_2O_7^{2-}$) ยังทำได้ง่ายได้ผลแน่นอน และยังเป็นสารที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีข้อดีของโปแตสเซียมไดโครเมตอีกอย่างหนึ่ง คือ ถ้าใช้โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ชนิด Analytical grade เอามาอบให้แห้งที่ 103 องศาเซลเซียส ก่อนใช้เตรียมน้ำ จะได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน

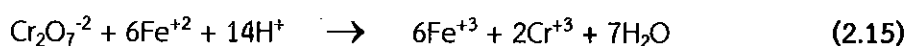
หลักการหาค่าซีไอโอดีโดยใช้โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) คือ สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำตัวอย่างไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ถึง 98 จะถูกออกซิเดชันด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง และอุณหภูมิสูง ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ส่วนแอมโมเนียรวมทั้งสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น พวก Amino⁻ และไนโตรไนโตรเจน (NO_2-N) จะถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต (NH_4)₂SO₄ ซึ่งจะไม่ถูกออกซิเดชันอีก จะเกิดความผิดพลาดประมาณร้อยละ 2 ถึง 3 เนื่องจากสารระเหยได้บางตัวที่ไม่ถูกออกซิเดชัน เช่น มีเทน (CH_4) ดังนั้นปฏิกิริยาจึงอาศัยกระบวนการกลั่นย้อนกลับ (Reflux) หรือกระทำในระบบปิด เพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารระเหยที่มีอยู่เดิมในตัวของน้ำ หรือที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์บางตัวที่ย่อยสลายด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้ยาก จึงจำเป็นต้องเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) และใช้เมอร์คิวริกซัลเฟต ($HgSO_4$) เป็นตัวกำจัดขัดขวางของพวกคลอไรด์ไอออน ซึ่งมักพบเสมอในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน และน้ำเสียจากแหล่งน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ปฏิกิริยาย่อยสลายแสดง ดังสมการที่ 2.13



$$\text{เมื่อ } c = \frac{2}{3}n + \frac{a}{6} - \frac{b}{3} \text{ หรืออาจเขียนดังสมการที่ 2.14}$$



ในการวิเคราะห์หะเดิมสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่ทราบความเข้มข้น และปริมาณจำนวนมากเกินพอ หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาการย่อยสลายแล้ว โปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่คงเหลือจะถูกไตเตรทด้วยสารละลาย Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) โดยใช้เฟอโรอิน ($Fe(C_12H_8N_2)_3^{+2}$) เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้แสดงดังสมการที่ 2.15



โครเมียมไอออนในสารละลายโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ที่เหลืออยู่ใน Cr^{+6} และสีเขียวของ Cr^{+3} ต่างกันไม่ชัดเจน จึงใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ทำให้จุดยุติ (End Point) เป็นสีน้ำตาล (Reddish Brown) ซึ่งชัดเจนกว่าสีเขียวของเกลือโครมิก จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับปริมาณสารอินทรีย์ได้

2.9.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่าซีไอดี

ในการวิเคราะห์ค่าซีไอดีนั้น มีปัจจัยหลายสิ่งส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ ซึ่งจะทำให้ค่าซีไอดีที่วิเคราะห์ได้มีความถูกต้องแม่นยำ หรือคลาดเคลื่อนได้ เช่น อุณหภูมิความเข้มข้นของกรด จุดยุติของปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย และความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ได้นำเสนอผลการวิจัยของเขาซึ่งเปรียบเทียบการหาค่าซีไอดีโดยวิธีไดโครเมต โดยใช้เวลารีฟลักซ์นาน 1 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ กับตัวอย่างน้ำทิ้งบ้านพักอาศัย และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมงก็เพียงพอในการย่อยสลาย แต่ที่ระยะเวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมงให้ค่าสูงที่สุด ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ผลของระยะเวลารีฟลักซ์ต่อการหาค่าซีไอดี ด้วยวิธีไดโครเมต โดยใช้ $AgSO_4$ [19]

การทดลอง ที่	ค่าซีไอดี (mg/l)					
	น้ำทิ้งชุมชน			น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม		
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
1	652	656	648	1,004	1,004	100
2	832	840	844	1,064	1,072	1,076
3	740	736	724	972	972	964

ตารางที่ 2.3 (ต่อ) ผลของระยะเวลาที่ฟลักซ์ต่อการหาค่าซีโอดี ด้วยวิธีโครเมต โดยใช้ AgSO_4 [19]

การทดลอง ที่	ค่าซีโอดี (mg/l)					
	น้ำทิ้งชุมชน			น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม		
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
4	720	736	708	940	948	948
5	820	824	820	832	840	832
6	680	684	680	916	920	916
ค่าเฉลี่ย	741	746	737	955	976	956

2.9.1.3 สารที่ย่อยสลายด้วยวิธีโครเมตโดยยาก

ตารางที่ 2.4 แสดงสารอินทรีย์โดยทั่วไปจะสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมโครเมต ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) ได้ถึงร้อยละ 95 ถึง 98 ได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) แต่ก็ยังมีสารอินทรีย์บางชนิดที่ย่อยสลายได้น้อยจนเกือบไม่ย่อยสลายเลย ถ้าไม่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4) ได้แก่ Volatile Straight Chain, Aliphatic Compounds เพราะพวกนี้ถูกเปลี่ยนเป็นไอลอยขึ้นเหนือสารละลาย ไม่กลับคืนลงมาในสารละลายที่กำลังถูก Refluxed การเติมซิลเวอร์ซัลเฟต (AgSO_4) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ย่อยสลายได้มากขึ้น โดยเฉพาะพวก Short-Chain Carbon Acid และ Alcohol เช่น Acetic และ Amino Acid และทำการย่อยสลายในระบบปิด (Closed Reflux) ก็จะช่วยให้ Volatile Organic Compounds ย่อยสลายได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.4 สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมโครเมต [19]

Methanol	Ethanol	Butanol
Glycol	Glycerol	Mannite
Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetone
Formic Acid	Acetic Acid	Butyric Acid
Isobutyric Acid	Soap	Oxalic Acid

ตารางที่ 2.4 (ต่อ) สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วยโปแตสเซียมไดโครเมต [19]

Adipic Acid	Succinic Acid	Maleic Acid
Lactic Acid	Tartaric Acid	Citric Acid
Pyromucic Acid	Glucose	Saccharose
Lactose	Sorbose	Glyocol
Aminocaproic Acid	Valine	Glutamic Acid
Cystine	Histidine	Formamide
Acetamide	Peptone	Casein
KCN	$K_2Fe(CN)_6$	KCNS
Phenol	O-Cresol	2-Naphthol
Pyrocatechol	8-Oxyquinoline	Nitrobenzene
Benzoic Acid	Salicylic Acid	Phthalic Acid
P-Aminobenzoic Acid	Sulfanilic Acid	Phenylacetic Acid

สารบางตัวไม่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธีไดโครเมต แม้ว่าจะใช้ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เป็นตัวเร่งแล้วก็ตามสารเหล่านั้น ได้แก่ Aromatic Hydrocarbon เช่น Benzene Toluene และ Pyridines สารประกอบ N-Containing Heterocyclic Compounds บางตัว เช่น Pyrrole, Pyrrolidine, Proline และ Nicotinic Acid รวมทั้งพวก Hydrocarbon บางตัวที่ละลายน้ำได้น้อย Benzene และอนุพันธ์ของมัน Paraffins และ Napthenes

2.9.1.4 ประสิทธิภาพของค่าซีไอดี

ร้อยละประสิทธิภาพของค่าซีไอดีที่เปลี่ยนแปลงไป สามารถคำนวณอย่างง่ายได้ โดยใช้ค่าความแตกต่างของค่าซีไอดีก่อน และหลังบำบัดหาค่าซีไอดีเริ่มต้น ดังสมการที่ 2.16

$$\text{ร้อยละของประสิทธิภาพค่าซีไอดี} = \left(\frac{COD_{\text{เริ่มต้น}} - COD_{\text{สุดท้าย}}}{COD_{\text{เริ่มต้น}}} \right) \times 100 \quad (2.16)$$

2.9.2 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)

การวัดพีเอช คือ การวัดสภาพความเป็นกรด หรือความเป็นด่างของสารละลาย ที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (Aqueous Solution) โดยวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น (Potential) ระหว่างอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) กับอิเล็กโทรดตรวจวัด (Sensing Electrode) ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นจากจำนวนของไฮโดรเจนไอออน (H^+) อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนความต่างศักย์ที่เกิดจากไอออน (Ionic Potential) ให้เป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า (Electrode Potential) แล้วขยายให้มีความต่างศักย์สูง เครื่องมือที่ใช้วัดค่าพีเอช เรียกว่า พีเอชมิเตอร์ (pH Meter) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พีเอชมิเตอร์ [20]

พีเอชมิเตอร์ มีองค์ประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน ได้แก่

2.9.2.1 เครื่องวัดความต่างศักย์ และแสดงผล (Potentiometer) หรือพีเอชมิเตอร์ เป็นส่วนที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากอิเล็กโทรด คำนวณค่าแล้วแสดงผลเป็นค่าความต่างศักย์ หรือค่าพีเอช ในกรณีที่เครื่องมือมีระบบชดเชยอุณหภูมิอัตโนมัติ เครื่องมือส่วนนี้ต้องทำหน้าที่วัด และแสดงค่าอุณหภูมิ

2.9.2.2 อิเล็กโทรด เป็นส่วนของเครื่องมือที่สัมผัสกับสารที่ต้องการวัดค่าพีเอช ทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

ก. อิเล็กโทรดสำหรับวัดค่าพีเอช (pH Electrode) โดยทั่วไปส่วนปลายของอิเล็กโทรดที่ตอบสนองต่อไฮโดรเจนไอออนทำด้วยเยื่อแก้ว (Glass Membrane) จึงเรียกว่า Glass Electrode ความต่างศักย์เกิดขึ้นที่ผิวอิเล็กโทรด เนื่องจากไฮโดรเจนไอออนในสารละลายเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออนในเยื่อแก้ว โดยที่ความต่างศักย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลายที่ต้องการวัดพีเอช ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นถูกส่งไปยังเครื่องวัด

ข. อิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) ศักย์ไฟฟ้าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในสารละลาย ในการวัดค่าพีเอชต้องใช้อิเล็กโทรดทั้ง 2 ชนิดพร้อมกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากปริมาณไอออนในสารละลายกับศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานที่มีค่าคงที่ อิเล็กโทรดอ้างอิงอาจรวมอยู่กับอิเล็กโทรดสำหรับการวัด เรียกว่า อิเล็กโทรดรวม (Combination Electrode)

2.9.3 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity)

ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) หมายถึง ค่าการนำไฟฟ้าของเกลือทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยปกติแล้วน้ำบริสุทธิ์จะมีค่าการนำไฟฟ้าเป็นศูนย์ แต่เมื่อนำธาตุอาหารละลายในน้ำ เกลือของธาตุอาหารเหล่านี้จะแตกตัวเป็นประจุบวก และประจุลบ ซึ่งจะเป็นตัวนำไฟฟ้า ทำให้มีค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ค่าการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณเกลือของธาตุอาหารที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้น เราจึงใช้การวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายเพื่อเป็นตัวบอกปริมาณเกลือธาตุอาหารที่ละลายในน้ำ แต่การวัดค่าโดยรวมไม่สามารถแยกบอกความเข้มข้นของเกลือแต่ละตัว [20]

การวัดค่าการนำไฟฟ้าทำได้โดยการใช้หัววัด (Probe) และเครื่องวัด (Meter) โดยการใส่แรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าสองขั้วในหัววัดซึ่งจุ่มลงไปในการลดลงของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการต้านของน้ำจะนำไปใช้คำนวณค่าการนำไฟฟ้าต่อเซนติเมตร เครื่องวัดจะแปลงค่าเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร และแสดงผลให้ผู้ตรวจวัดทราบ เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้าบางชนิดสามารถใช้ตรวจวัดปริมาณของแข็งละลายน้ำ (Total Dissolved Solids; TDS) ได้เป็นมิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถคำนวณได้จากการนำค่าการนำไฟฟ้าคูณด้วยค่าคงที่ระหว่าง 0.55 ถึง 0.9 ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง [21]

ซึ่ง ค่า Conductivity ต่ำ ๆ แสดงว่าน้ำบริสุทธิ์มาก และหากค่า Conductivity สูง ๆ แสดงว่ามีสิ่งเจือปนในน้ำสูง [22]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา ชาญวรุฒิ (2552) ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยใช้วิธีทางเคมี และเคมีไฟฟ้าในเครื่องปฏิกรณ์เคมีไฟฟ้าแบบมีเยื่อเลือกผ่านชนิดไอออนลบในระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิต่ำ พบว่าการบำบัดน้ำเสียทางเคมีโดยใช้กรดซัลฟิวริก สามารถลดค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และสี ได้ร้อยละ 80 42 และ 94 ตามลำดับ ที่ค่าความเป็นกรด

ความเป็นเบส เท่ากับ 2 แต่สมบัติของน้ำเสียยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีไฟฟ้า ซึ่งตัวแปรที่ศึกษา คือ อัตราการเจือจางน้ำเสีย อัตราการไหลวนของน้ำเสีย ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และความเข้มข้นของสารเติมแต่ง พบว่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษามีผลต่อการกำจัดสารมลพิษออกจากน้ำเสียอย่างมีนัยสำคัญ โดยภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราการเจือจางน้ำเสีย เท่ากับ 50 เท่า อัตราการไหลวนน้ำเสียเท่ากับ 3.46 ลิตรต่อนาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เท่ากับ 2.53 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 0.0428 โมลต่อลิตร โดยสามารถลดสามารถลดค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และสีได้ประมาณร้อยละ 90 ถึง 100 สำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเคมีไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง พบว่าระบบจะเข้าสู่ภาวะสมดุลที่เวลา 7 ชั่วโมง โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะมีสีค่อนข้างใส ไม่นำรังเกียจ และสามารถลดค่าซีโอดี และของแข็งแขวนลอยให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนค่าบีโอดี และของแข็งแขวนลอยจะสูงกว่ามาตรฐาน 3.2 และ 3.1 เท่า ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ต้นทุนในการดำเนินงานพบว่า วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีเคมีไฟฟ้ามีต้นทุนในการดำเนินงานต่อปริมาณสารมลพิษต่ำกว่าวิธีทางเคมี

วรรณรัตน์ วัฒนชัย (2547) ศึกษาการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีสำหรับน้ำเสียปนเปื้อนโลหะหนักจากโรงงานประกอบรถยนต์ ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักด้วย โดยที่ Hg และ CN จะตกตะกอนได้เร็วกว่า Ni และ Zn โดยประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักจะแปรผันตามปัจจัยในการศึกษา การเพิ่มกระแสไฟ พีเอช และเวลา มีผลให้โลหะหนักถูกกำจัดได้มากขึ้น ทั้งนี้เมื่อให้เวลาในการทำปฏิกิริยามากพอ ประสิทธิภาพการกำจัดโลหะที่สภาวะต่าง ๆ จะไม่แตกต่างกันมากนัก น้ำที่ผ่านกระบวนการตกตะกอนจะมีปริมาณโลหะหนักทั้ง 4 ชนิด ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม แต่พีเอชจะสูงขึ้นจากค่าเริ่มต้นสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษานี้ คือ กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ พีเอช 6.5 ใช้เวลา 210 นาที เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นพบว่า ตะกอนจากการตกตะกอนด้วยไฟฟ้ามีปริมาณน้อยกว่าจากกระบวนการเคมีถึงร้อยละ 40

Mehmet Kobya, Orhan Taner Can and Mahmut Bayramoglu (2546) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากสิ่งทอโดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ที่ใช้เหล็ก และอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย คือ ค่าพีเอชน้อยกว่า 6 ซึ่งการใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรดมีประสิทธิภาพของการกำจัดค่าซีโอดีดีกว่าอะลูมิเนียม ในทางตรงกันข้ามประสิทธิภาพของการกำจัดค่าซีโอดี เมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นอิเล็กโทรดต้องใช้กระแสตั้งแต่ 80 ถึง 100 A/m² ในขณะที่อะลูมิเนียมใช้กระแส 150 A/m² นาน 10 นาที และจากการทดลองพบว่ากระบวนการรวมตะกอนไฟฟ้ามีต้นทุนในการดำเนินงานที่ต่ำ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ดี ด้วยการวัดผลจากค่าซีโอดี

วรรณวรางค ฤทธิวรรณะ (2545) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม และปรอทในน้ำเสีย จากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้การตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด รวมทั้ง ศึกษาการสึกกร่อนของแผ่นขั้วไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิง ทดลองแบบ Batch ซึ่งใช้การจัดเรียง อิเล็กโทรดแบบไบโพลาร์โดยทำการทดลองที่สภาวะต่าง ๆ กัน คือ ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 55 65 และ 75 โวลต และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 2 3 และ 4 ชั่วโมง การวิจัยนี้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ดังนี้ตอนที่ 1 การหาระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ตอนที่ 2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม และปรอทในน้ำเสีย จากการวิเคราะห์ซีโอดี โดยการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี ตอนที่ 3 การศึกษาการสึกกร่อนของแผ่นขั้วไฟฟ้า จากผลการ ทดลองในตอนต้นที่ 1 พบว่าระยะเวลาการตกตะกอนที่เหมาะสมของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว ที่ 24 ชั่วโมง จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียม และปรอทสูงกว่าระยะเวลาอื่น จากผลการทดลอง ในตอนที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม และปรอทอยู่ในช่วงร้อยละ 99.01 ถึง 99.38 และ 99.96 ถึง 100 ตามลำดับ โดยพบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียม และปรอทเพิ่มขึ้นเมื่อ ความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียม และปรอท คือ ที่ระดับความต่างศักย์ไฟฟ้า 75 โวลต และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมงนั้น ทำให้ ความเข้มข้นของโครเมียม และปรอท ในน้ำเสียเริ่มต้นจาก 67.17 และ 671 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลง เหลือ 0.46 และ 0.003 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม จากผล การทดลองในตอนต้นที่ 3 พบว่าการใช้แผ่นเหล็กชุดเดียวกันในการบำบัดหลายครั้ง จะทำให้ประสิทธิภาพ ลดลง โดยแผ่นเหล็กที่เป็นขั้วไฟฟ้าบวกจะสามารถใช้ซ้ำได้ 2 ครั้ง ส่วนแผ่นเหล็กอื่นใช้ซ้ำได้ถึง 8 ครั้ง

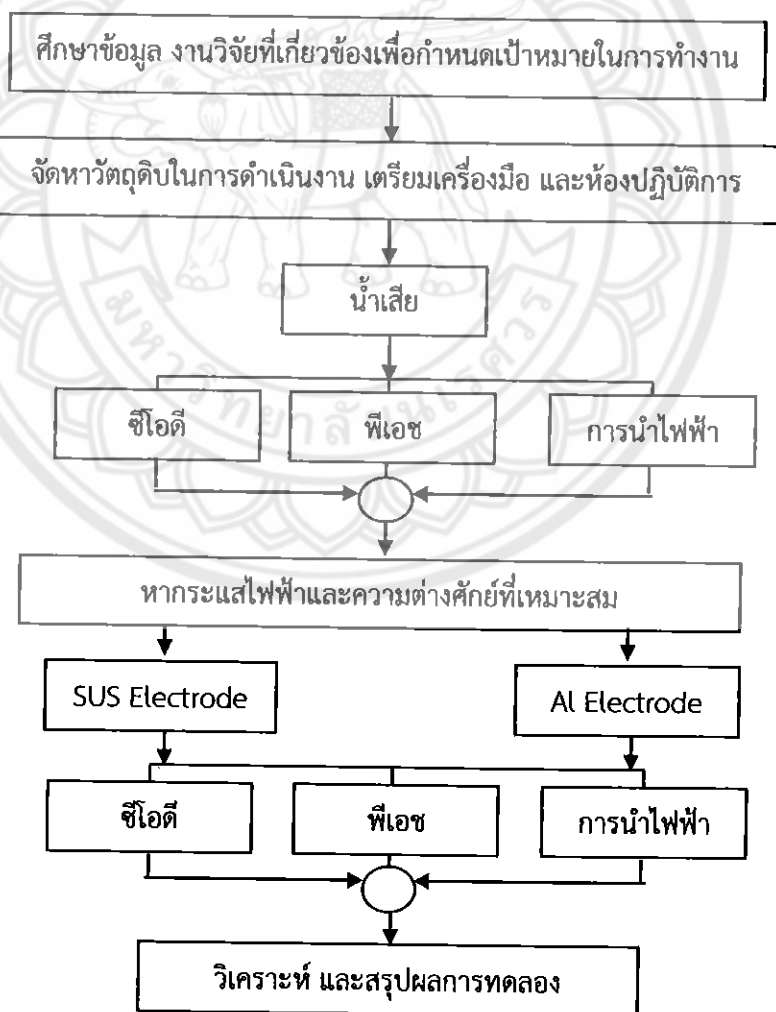
บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ และขั้นตอนการดำเนินโครงการ ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

3.1 ขั้นตอน และระเบียบวิธีวิจัยที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนการดำเนินโครงการในการประยุกต์ใช้กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเพื่อการบำบัดน้ำเสีย แสดงดัง รูปที่ 3.1 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 วัสดุ และอุปกรณ์

3.2.1 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

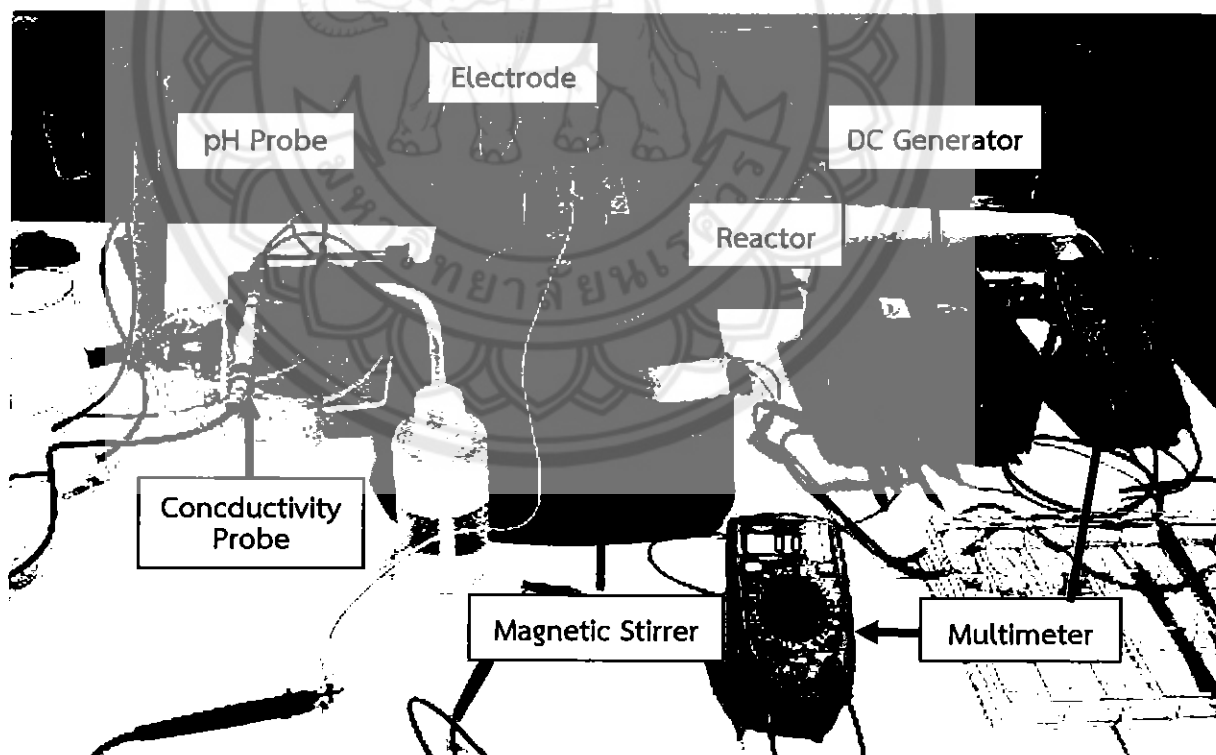
3.2.1.1 อะลูมิเนียมแผ่นบาง เกรด 1100 ความหนา 1 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร

3.2.1.2 สแตนเลสแผ่น เกรด SUS 304 ความหนา 3 มิลลิเมตร ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร

3.2.1.3 น้ำเสีย ที่ใช้ในการทดลองนี้ เป็นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้ค่าซีโอดี เริ่มต้นที่ 14,440 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.2 ชุดอุปกรณ์

อุปกรณ์ และเครื่องมือในการสร้างชุดการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC) ที่ใช้โครงการนี้ แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ชุดการทดลอง

3.2.2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระแสตรง (DC Generator) สามารถปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าได้

3.2.2.2 ถังปฏิกิริยา (Reactor) กระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าในการทดลองนี้ใช้บีกเกอร์ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งทำจากแก้วจะมีสมบัติที่สามารถทนความร้อน และไม่ทำปฏิกิริยากับแผ่นขั้วโลหะ และกระแสไฟฟ้า ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.2.3 Magnetic Stirrer ช่วยให้เกิดการกวน เพื่อให้น้ำเสียสัมผัสกับขั้วไฟฟ้าได้มากขึ้น

3.2.2.4 มัลติมิเตอร์ ใช้วัดความต่างศักย์ไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า และใช้วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขั้วไฟฟ้า

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

3.2.3.1 ชุดเครื่องมือวิเคราะห์ Chemical Oxygen Demand (COD) Reactor ประกอบไปด้วย

ก. Photometer AL 200 1 เครื่อง

ข. Thermoreactor AL 125 1 เครื่อง

ค. น้ำยวิเคราะห์ค่าซีโอดี ช่วงวัด 0-1500 มิลลิกรัม/ลิตร

3.2.3.2 เครื่องวัดค่าพีเอช และเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

3.2.3.3 กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope)

3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

3.3.1 การทดลองแบบขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

3.3.1.1 วิเคราะห์น้ำเสียก่อนการทดลอง

ก. วัดค่าซีโอดีเริ่มต้น

ข. วัดค่าพีเอชเริ่มต้น ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช

ค. ประเมินความขุ่นของน้ำก่อนการทดลองด้วยตาเปล่า

3.3.1.2 ตรวจสอบลักษณะสภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมก่อนการทดลอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope)

3.3.1.3 บำบัดน้ำด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC)

ก. น้ำเสียปริมาตร 100 มิลลิลิตร

ข. แผ่นอะลูมิเนียม ขนาดความกว้าง 1 เซนติเมตร ยาว 12 เซนติเมตร และหนา 1 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น

ค. ติดตั้งชุดอุปกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยกำหนดระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 1 เซนติเมตร โดยกำหนดให้พื้นที่ของขั้วไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 1 ตารางเซนติเมตร ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ และระยะเวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ตามลำดับ

3.3.1.4 วิเคราะห์น้ำเสียหลังการทดลอง

ก. วัดค่าซีโอดีภายหลังจากการบำบัดด้วยไฟฟ้าเคมี

ข. วัดค่าพีเอช และค่าการนำไฟฟ้าสุดท้าย ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช และเครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า

ค. ประเมินความขุ่นของน้ำหลังการทดลองด้วยตาเปล่า

3.3.1.5 ตรวจสอบลักษณะสภาพพื้นผิวของแผ่นอะลูมิเนียมหลังการทดลอง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical Microscope)

3.3.2 วิเคราะห์ และสรุปผลการทดลอง

3.3.2.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของการบำบัดโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม และสแตนเลส

ก. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ และระยะเวลา

ข. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้า ความต่างศักย์ และระยะเวลา

ค. วิเคราะห์ผลค่าซีโอดี

3.3.3.2 สรุปผลการทดลอง จัดทำรูปเล่มโครงงาน

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

ในบทนี้กล่าวถึงผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า (Electrocoagulation; EC) เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย และสภาวะเหมาะสมที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียม และสแตนเลส เป็นขั้วไฟฟ้า ในการทดลองเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าจากตัวแบ่งจ่ายกระแส เพื่อควบคุมปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระบบ ซึ่งมีลิตมิเตอร์จะเป็นตัววัดปริมาณกระแสไฟฟ้า และความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลเข้าขั้วไฟฟ้าแต่ละขั้ว จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างขั้วไฟฟ้าขึ้น ระหว่างจ่ายกระแสไฟฟ้าจะใช้แท่งกวนแม่เหล็กใสในถังปฏิกิริยา เพื่อกวนน้ำเสียให้สัมผัสกับขั้วไฟฟ้าได้มากขึ้น และศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพการบำบัด ได้แก่ กระแสไฟฟ้า การนำไฟฟ้า ค่าซีไอดี และเวลาบำบัดที่ให้ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสูงสุด แสดงผลการทดลอง และการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียหลังบำบัด ดังนี้

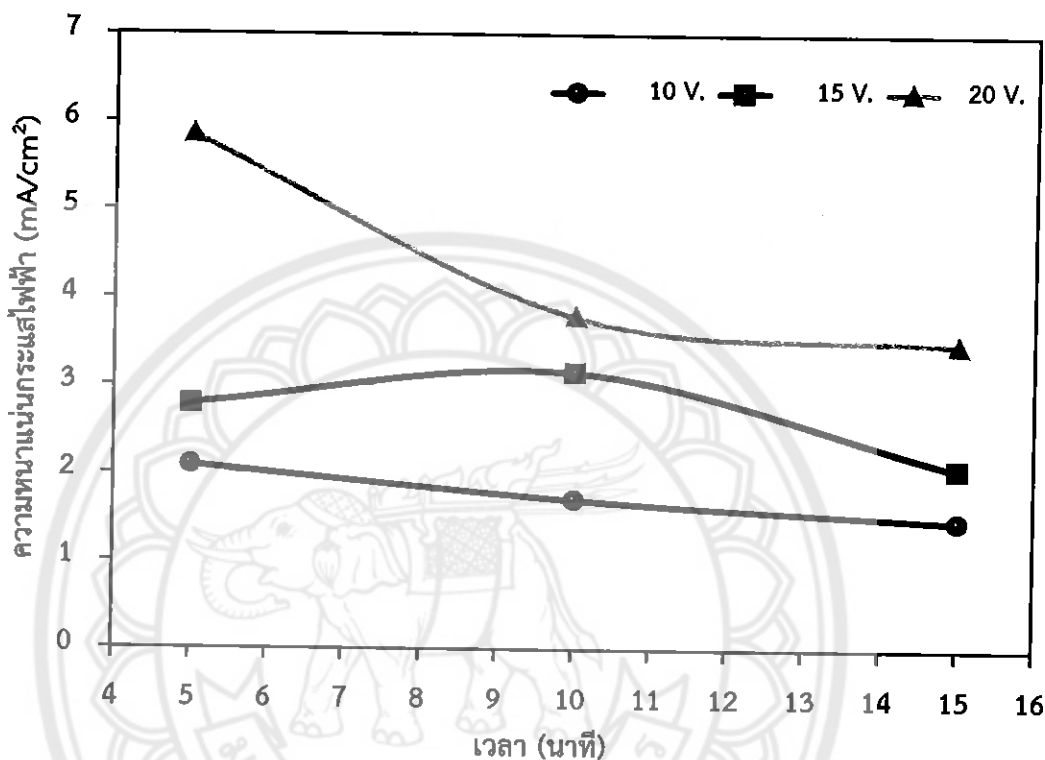
4.1 ค่ากระแสไฟฟ้า

เมื่อต่อวงจรระหว่างขั้วไฟฟ้าเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าจากตัวแบ่งจ่ายกระแส จะไหลเข้าขั้วแต่ละขั้ว ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ และเวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ตามลำดับ จะทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ที่ขั้วแคโทดหรือขั้วลบ และเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ที่ขั้วแอโนดหรือขั้วบวกขึ้น

4.1.1 ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

จากผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.1 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ของขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม พบว่าในทุกระยะเวลาที่ใช้บำบัด กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น แต่หากพิจารณาที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าคงที่ จะพบว่า เมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลง อาจเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อเวลาผ่านไปขั้วแอโนดจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น บริเวณผิวอะลูมิเนียมจึงเกิดการแตกตัว ทำให้ออกไซด์ฟิล์มที่เคลือบอยู่ที่ผิวอะลูมิเนียมหลุดออกด้วยซึ่ง

ออกไซด์ฟิล์มที่หลุดออกจากขั้วไฟฟ้าจะลอยอยู่ในน้ำเสีย ส่งผลให้ความต้านทานของน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้า และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจึงมีค่าลดลง

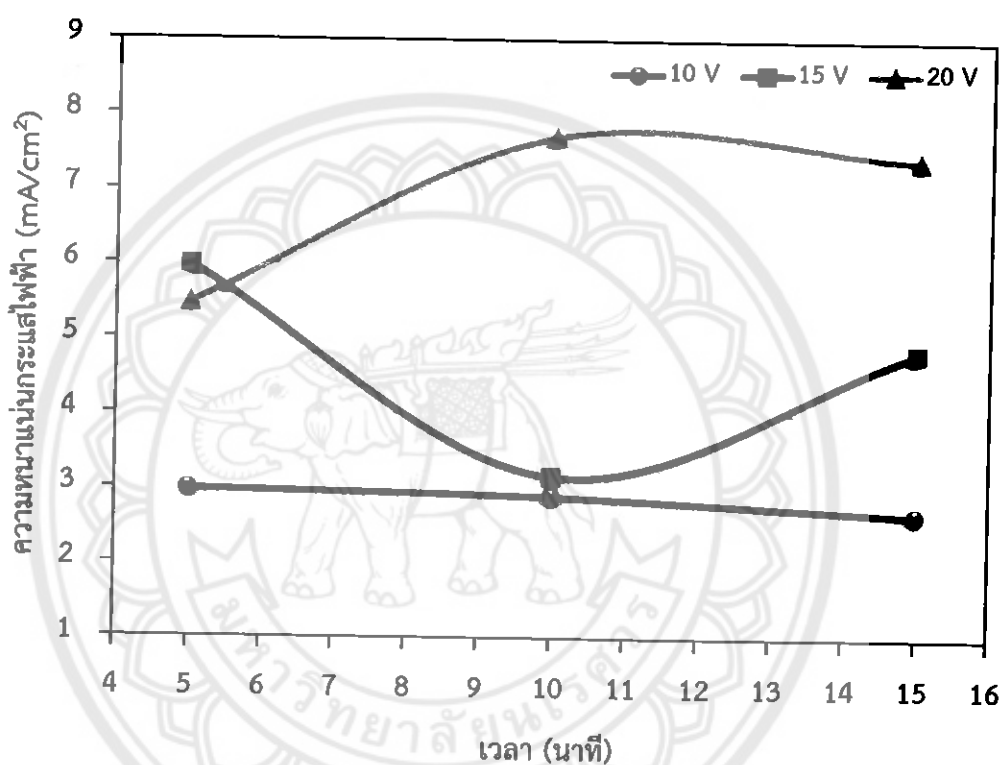


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

4.1.2 ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส

จากผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส พบว่าที่ความต่างศักย์ 10 โวลต์ มีพฤติกรรมคล้ายอะลูมิเนียม แต่ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ เวลา 5 นาที มีค่าความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะออกไซด์ฟิล์มบริเวณขั้วบวกของสแตนเลส เกิดการแตกตัว และหลุดออกปริมาณมาก หรืออาจไม่มีออกไซด์ฟิล์มเหลืออยู่ที่ผิวเลย ปริมาณออกไซด์ฟิล์มที่ลอยอยู่ในน้ำเสียดังกล่าว สภาวะต้านทานไฟฟ้าในน้ำเสียจึงมีค่าลดลงเช่นกัน ส่งผลให้ความหนาแน่นกระแสเพิ่มสูงขึ้น และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป อาจเนื่องมาจากสแตนเลสมีการสร้างชั้นออกไซด์ฟิล์มที่ผิวขึ้นใหม่ และแตกตัวอีกครั้งจากการทำปฏิกิริยากับไอออนโลหะในน้ำเสีย ค่าความหนาแน่นกระแส

ในระยะเวลา 15 นาที จึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และที่ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ความหนาแน่นกระแสเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลา 10 นาที หลังจากนั้นกระแสไฟฟ้าจะลดลง อาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการสร้างออกไซด์ฟิล์มชั้นใหม่ เช่น ที่ความต่างศักย์ 15 โวลต์ หรืออาจเกิดการออกซิไดซ์ของสารอนินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น



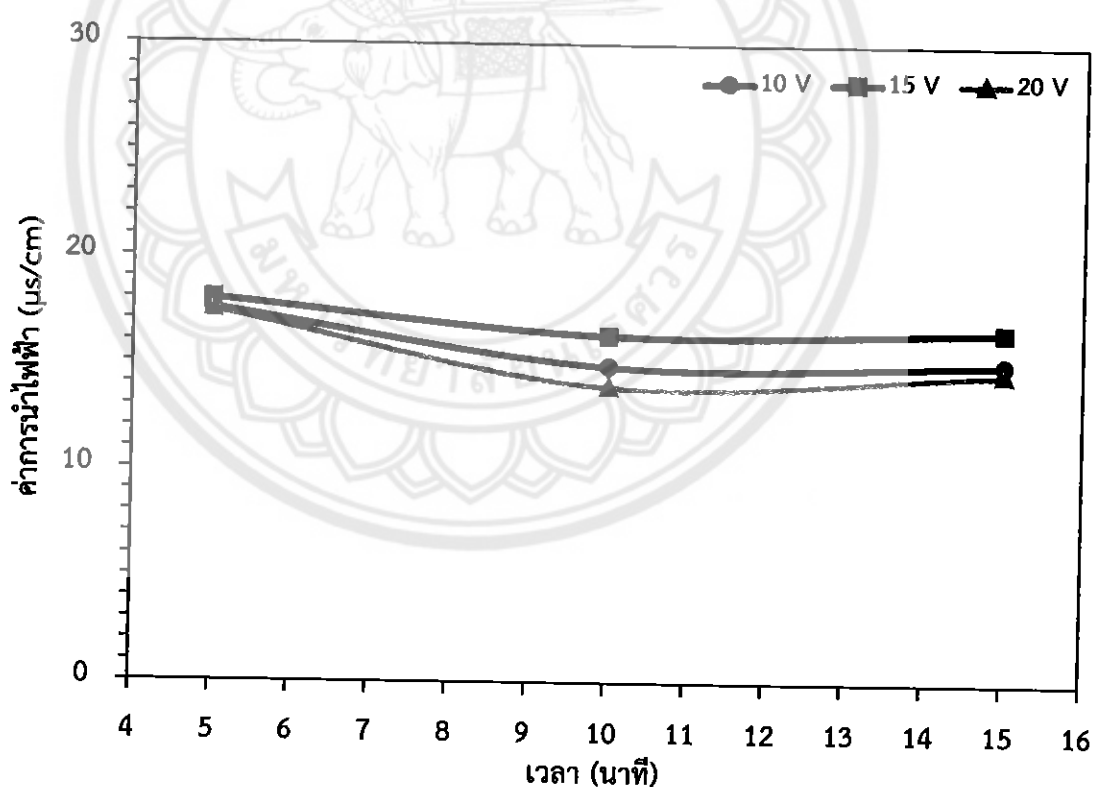
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส

4.2 ค่าการนำไฟฟ้า

Conductivity หรือ การนำไฟฟ้า เป็นวิธีวัดความสามารถในการส่งผ่านกระแสไฟฟ้าของน้ำ ซึ่งเกิดจากสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้าจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับ ส่วนประกอบในน้ำเสีย ความเข้มข้นของประจุโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัด เป็นต้น ซึ่งถ้าการนำไฟฟ้ามีค่าสูง อาจเป็นไปได้ว่าในน้ำเสียนั้นมีคลอไรด์ ฟอสเฟต และไนเตรตละลายอยู่ปริมาณมาก ส่วนน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของน้ำมันจะส่งผลให้การนำไฟฟ้ามีค่าต่ำ

4.2.1 ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

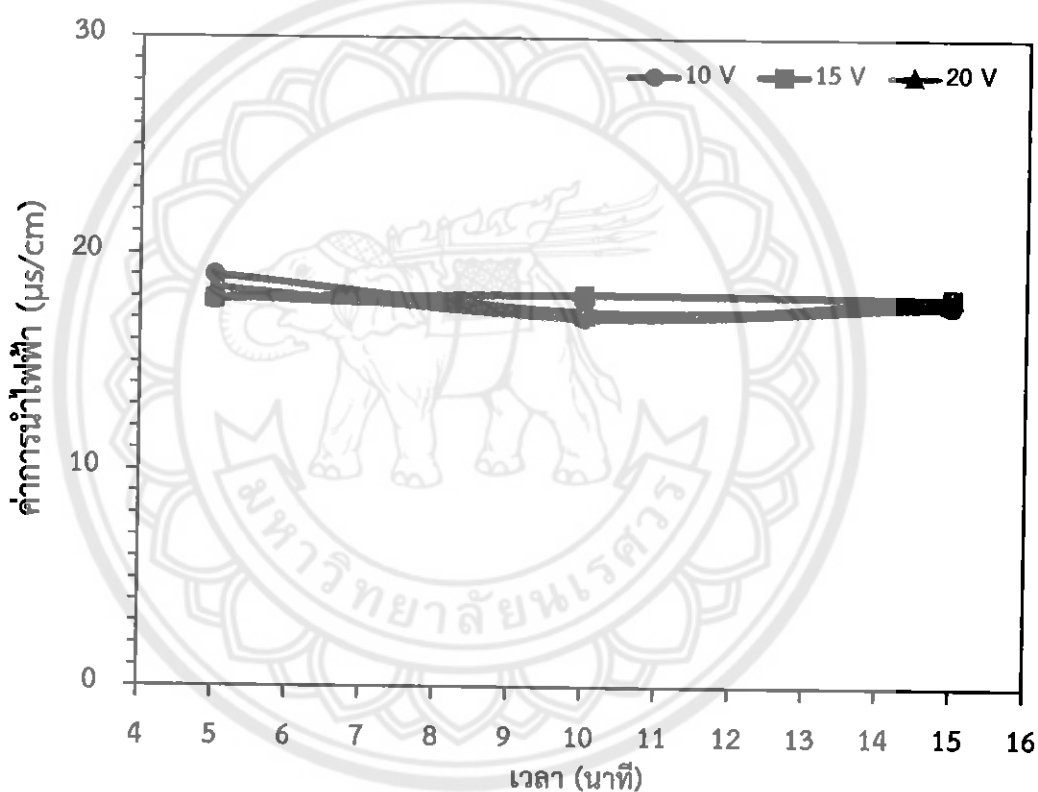
เนื่องจากการทดลองนี้กำหนดความต่างศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ เมื่อการควบคุมความต่างศักย์ระหว่างขั้วไฟฟ้าให้มีค่าคงที่ ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความต้านทานไฟฟ้าของน้ำเสีย จากการทดลอง เมื่อไอออนบวกของโลหะที่อยู่ในน้ำเสียทำปฏิกิริยารีดักชันบริเวณผิวของขั้วแคโทด จะก่อให้เกิดตะกอนสารแขวนลอยเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการแตกตัว และหลุดลอกของออกไซด์ฟิล์มที่ผิวอะลูมิเนียม จึงเป็นที่มาของการเพิ่มความต้านทานให้กับน้ำเสีย การนำไฟฟ้าจึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น แม้ว่าค่าความต่างศักย์ต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.3 ซึ่งโดยปกติน้ำสะอาดจะไม่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า หรือมีในปริมาณน้อย หากสารละลาย หรือน้ำเสียมีความสามารถในการนำไฟฟ้ามาก ก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก ซึ่งนั่นก็หมายความว่าน้ำมีความสกปรกมาก



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าที่เวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ เมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม

4.2.2 ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส

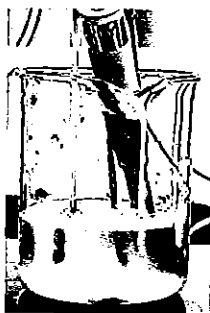
จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ระยะเวลาในการบำบัดเท่ากัน ความต่างศักย์ต่างกัน ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อเวลาผ่านไปค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง อาจจะเป็นผลมาจากเกิดตะกอนสารแขวนลอยในน้ำเสียเพิ่มขึ้น เนื่องจากการแตกตัว และหลุดลอกของออกไซด์ฟิล์มจากผิวของขั้วสแตนเลส ดังนั้นความต้านทานไฟฟ้าในน้ำเสียจึงเพิ่มขึ้น การนำไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อเวลาในการบำบัดผ่านไป แสดงดังรูปที่ 4.4 ดังนี้



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยการนำไฟฟ้าที่เวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ เมื่อใช้ขั้วสแตนเลส

4.3 ผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดต่อการลดค่าซีไอดี

ความขุ่นน้ำเสียที่สังเกตได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป อาจมีสาเหตุมาจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน ทำให้สารก่อตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณมากจึงไม่สามารถตกตะกอนได้หมดในเวลาเดียวกัน ต่างจากผลการทดลองที่ระยะเวลาในการบำบัดน้อยกว่า ซึ่งมีสารก่อตะกอนเกิดขึ้นในปริมาณน้อย แสดงดังรูปที่ 4.5



ก)



ข)

รูปที่ 4.5 ความขุ่นน้ำเสียจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

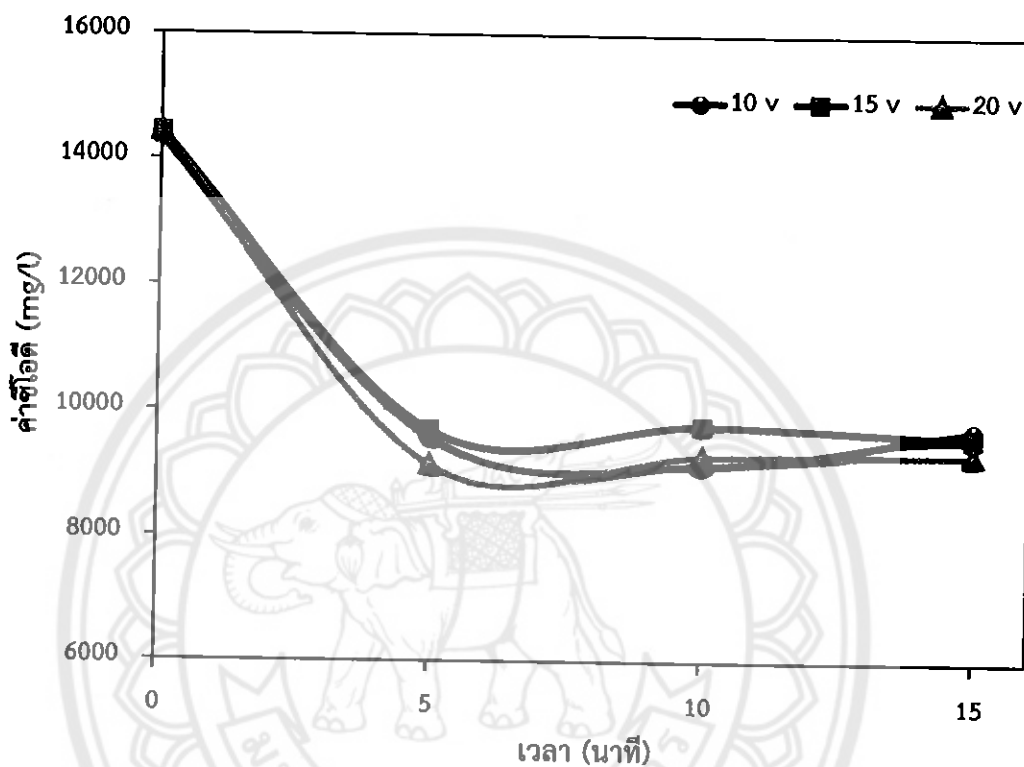
ก) ความขุ่นน้ำเสียก่อนการบำบัดที่ระยะเวลา 15 นาที ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

ข) ความขุ่นน้ำเสียหลังการบำบัดที่ระยะเวลา 15 นาที ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

4.3.1 ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

จากผลการทดลองพบว่า ค่าซีโอดีหลังการบำบัดโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม ความต่างศักย์ 10 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอดีลดลงมาอยู่ที่ 9,570 mg/L เวลา 10 และ 15 นาที ลดลงมาที่ 9,140 และ 9,720 mg/L ตามลำดับ ความต่างศักย์ 15 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอดีลดลงมาอยู่ที่ 9,700 mg/L เวลา 10 และ 15 นาที ลดลงมาอยู่ที่ 9,780 และ 9,600 mg/L ตามลำดับ และความต่างศักย์ 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอดีลดลงมาอยู่ที่ 9,140 mg/L เวลา 10 และ 15 นาที ลดลงมาอยู่ที่ 9,290 และ 9,310 mg/L ตามลำดับ จากผลการทดลอง แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า สภาวะที่ค่าซีโอดีลดลงสูงสุด คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15 โวลต์ เวลาในการบำบัด 10 นาที และ 20 โวลต์ เวลา 5 นาที ค่าซีโอดีลดลงเท่ากันมีค่าเท่ากับ 9,140 mg/L เมื่อผลลัพธ์ที่ได้เท่ากัน สภาวะสามารถลดค่าซีโอดีได้เร็วกว่า หรือใช้ระยะเวลาในการบำบัดน้อยกว่า จะพิจารณาให้เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการลดค่าซีโอดีของการทดลอง ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่า ความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์

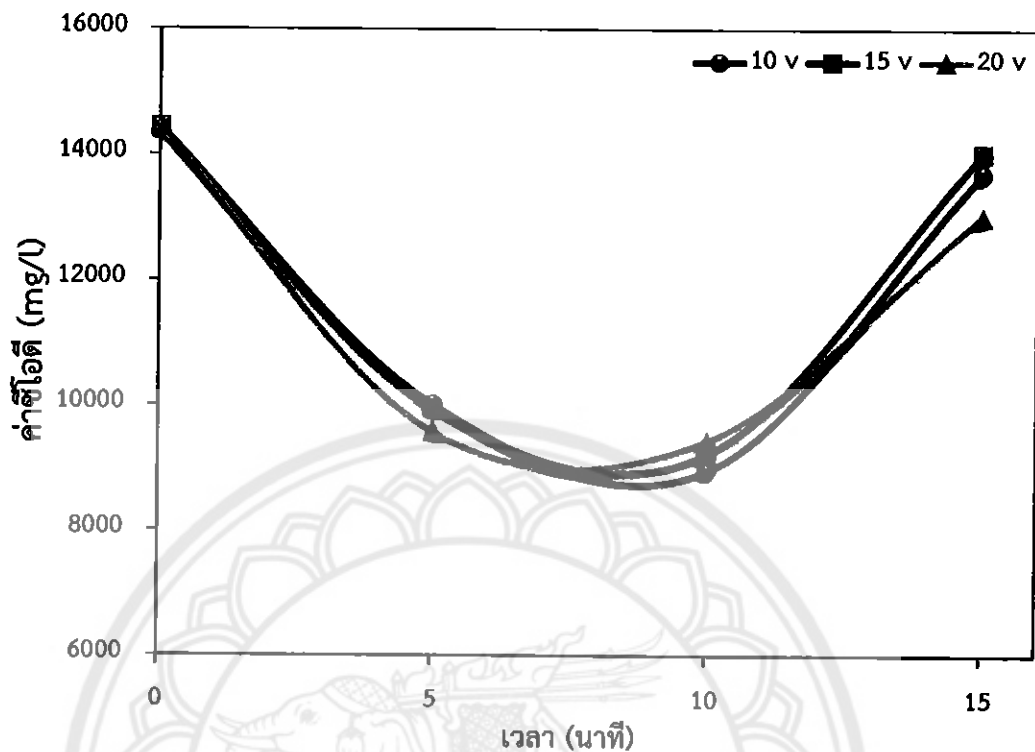
ระยะเวลาในการบำบัด 5 นาที ชั่วอะลูมิเนียม เป็นผลของความต่างศักย์ไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัดที่ดีที่สุดต่อการลดค่าซีโอติ แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ต่อการลดค่าซีโอติ ชั่วไฟฟ้าอะลูมิเนียม

4.3.2 ชั่วไฟฟ้าสแตนเลส

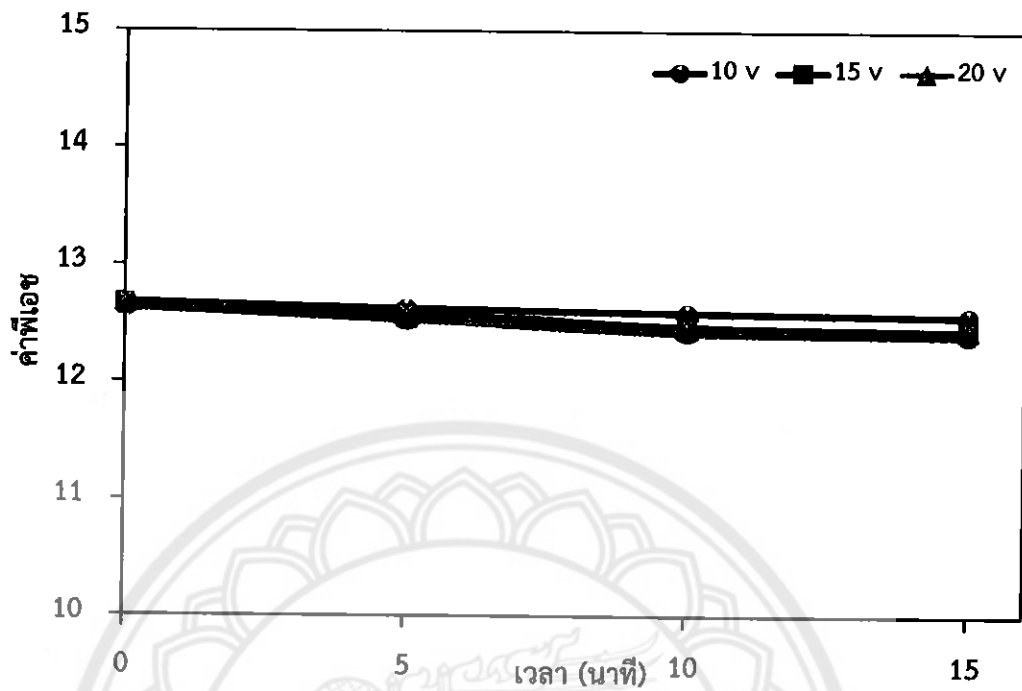
จากการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าโดยใช้ขั้วสแตนเลส พบว่าความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอติลดลงมาอยู่ที่ 10,020 mg/L ที่ 10 และ 15 นาที ลดลงมาที่ 8,950 และ 13,700 mg/L ตามลำดับ ความต่างศักย์ 15 โวลต์ เวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอติลดลงมาอยู่ที่ 9,950 mg/L ที่ 10 และ 15 นาที ลดลงอยู่ที่ 9,210 และ 14,020 mg/L ตามลำดับ และ ความต่างศักย์ 20 โวลต์ เวลาบำบัด 5 นาที ค่าซีโอติลดลงมาอยู่ที่ 9,580 mg/L ที่ 10 และ 15 นาที ลดลงมาอยู่ที่ 9,430 และ 13,020 mg/L ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.7 ดังนั้น อาจเป็นไปได้ว่าความต่างศักย์และเวลาในการบำบัดที่ดีที่สุดต่อการลดค่าซีโอติด้วยขั้วไฟฟ้าสแตนเลส อยู่ที่สภาวะความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาบำบัด 10 นาที ค่าซีโอติลดลงมาอยู่ที่ 8,950 mg/L แสดงดังรูปที่ 4.7



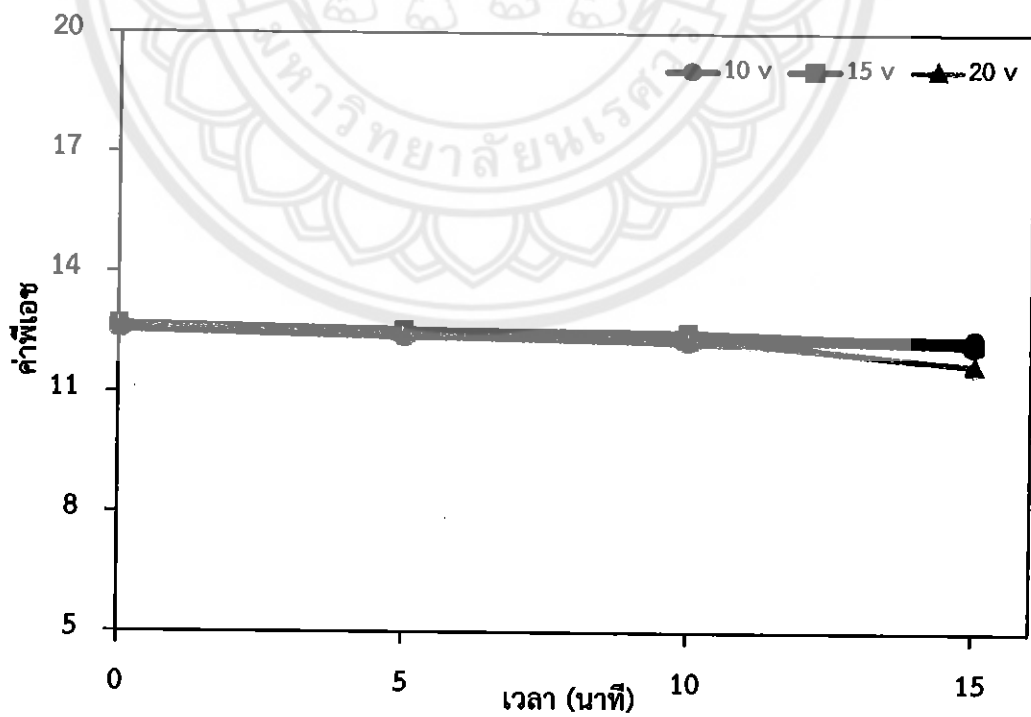
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของเวลาในการบำบัดที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ต่อการลดค่าซีไอดี ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส

4.4 ค่าพีเอช

จากการวิเคราะห์น้ำเสียก่อนการบำบัด น้ำเสียมีค่าพีเอชเริ่มต้น เท่ากับ 12.68 เมื่อผ่านการบำบัดด้วยขั้วอะลูมิเนียม และสแตนเลสแล้ว ค่าพีเอชหลังการบำบัด แสดงดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป ค่าพีเอชหลังการบำบัดไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับค่าพีเอชเริ่มต้นเลย ดังนั้นคาดว่า ค่าพีเอชไม่ส่งผลกระทบต่อค่าซีไอดีภายหลังการบำบัดครั้งนี้ และกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้านี้ ก็ไม่มีผลต่อการลดค่าพีเอชเช่นกัน



รูปที่ 4.8 ค่าพีเอชหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 10 และ 15 นาที โดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม

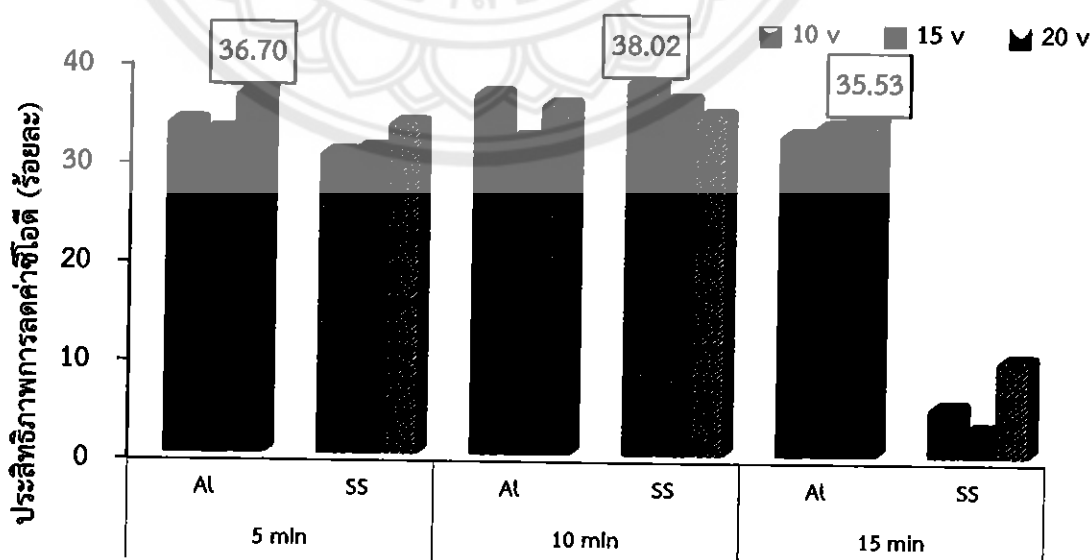


รูปที่ 4.9 ค่าพีเอชหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 10 และ 15 นาที โดยใช้ขั้วสแตนเลส

4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

จากการทดลอง ผลการลดค่าซีโอดีที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ เวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม พบว่าที่เวลาในการบำบัด 5 นาที ความต่างศักย์ 20 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 36.70 เวลาในการบำบัด 10 นาที ความต่างศักย์ 10 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 36.70 และเวลาบำบัด 15 นาที ความต่างศักย์ 20 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 32.69

ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส ที่ระยะเวลาในการบำบัด 5 นาที ความต่างศักย์ 20 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 33.66 เวลาในการบำบัด 10 นาที ความต่างศักย์ 10 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 38.02 และเวลาบำบัด 15 นาที ความต่างศักย์ 20 โวลต์ มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีสูงสุด เท่ากับร้อยละ 9.83 แสดงดังรูปที่ 4.10 เห็นได้ว่า อะลูมิเนียมมีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้สูงสุดที่ร้อยละ 36.70 ความต่างศักย์ 20 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 5 นาที และสแตนเลสมีประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดีได้สูงสุดที่ร้อยละ 38.02 ความต่างศักย์ 10 โวลต์ เวลาบำบัด 10 นาที แสดงดังรูปที่ 4.10 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อวิเคราะห์ที่เวลาการบำบัดเท่ากัน อะลูมิเนียมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าสแตนเลส อาจเป็นผลจากบริเวณขั้วบวก และขั้วลบของอะลูมิเนียม เกิดปฏิกิริยารีดักชัน และออกซิเดชันได้ง่าย น้ำเสียจึงถูกบำบัดอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการลดซีโอดีกับความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลาในการบำบัด 5 10 และ 15 นาที ของขั้วอะลูมิเนียม และสแตนเลส

บทที่ 5

บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุป ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา รวมทั้งปัญหาที่พบ และแนวทางการแก้ไขของโครงการ มีรายละเอียดดังนี้

5.1 บทสรุป

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยกระบวนการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า หลังกระบวนการบำบัดจะพบว่าบริเวณผิวของขั้วไฟฟ้าที่ใช้มีลักษณะเกิดการแตกตัว ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และรีดักชัน เกิดขึ้นบนผิวขั้วไฟฟ้า ขณะที่จ่ายกระแสไฟฟ้าไหลเข้าระบบ แสดงดังภาคผนวก ข และผลของสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ขั้วไฟฟ้าอะลูมิเนียม มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่สภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้า 20 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 5 นาที ลดค่าซีโอดีจากระดับเริ่มต้น 14,440 mg/l ลงมาอยู่ที่ระดับ 9,140 mg/l คิดเป็นประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ได้เท่ากับ ร้อยละ 36.70

5.1.2 ขั้วไฟฟ้าสแตนเลส มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่สภาวะความต่างศักย์ไฟฟ้า 10 โวลต์ ระยะเวลาบำบัด 10 นาที ลดค่าซีโอดีจากระดับเริ่มต้น 14,440 mg/l ลงมาอยู่ที่ระดับ 8,950 mg/l คิดเป็นประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี ได้เท่ากับ ร้อยละ 38.02

5.1.3 ค่าการนำไฟฟ้า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการบำบัดน้ำเสียโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ด้วยขั้วอะลูมิเนียม และสแตนเลส

5.1.4 ค่าพีเอชก่อน และหลังการบำบัด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญในการบำบัดน้ำเสียโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า ด้วยขั้วอะลูมิเนียม และสแตนเลส

5.2 ข้อเสนอแนะ และการพัฒนา

ควรมีการพัฒนาองค์ความรู้เรื่องระบบบำบัดน้ำเสียโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และจัดทำเครื่องบำบัดน้ำเสียขนาดเล็ก สำหรับใช้งานจริงภายในศูนย์อาหารของมหาวิทยาลัย และคณะต่าง ๆ โดยกำหนดเป็นเนื้อหาในรายวิชาปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือ

พื้นฐานด้านวิศวกรรม เนื่องจากระบบบำบัดน้ำเสียโดยการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดเล็ก ไม่ซับซ้อน ไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการบำบัด แต่สามารถบำบัดได้ทั้ง สี กลิ่น และของแข็งแขวนลอย อีกทั้งยังประหยัดเวลาในการบำบัด และใช้ต้นทุนต่อระบบต่ำ

5.3 ปัญหาที่พบ และแนวทางแก้ไข

5.3.1 แผ่นสแตนเลสที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้ามีความแข็ง และหนัก การยกหรือเคลื่อนย้ายควรระมัดระวัง และควรตัดด้วยเครื่องมือที่เหมาะสมกับขนาดของแผ่นสแตนเลส

5.3.2 ในการดำเนินโครงการไม่มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดขั้วไฟฟ้า จึงต้องประดิษฐ์ขึ้นเองทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการมากขึ้น

5.3.3 ในระหว่างการบำบัด กลิ่นน้ำเสียขณะบำบัดมีความรุนแรงมาก ควรใส่อุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยขณะดำเนินงาน

5.3.4 การตรวจสอบลักษณะผิวของขั้วอะลูมิเนียม ควรทำให้แผ่นอะลูมิเนียมตรง ไม่โค้งงอ เนื่องจากจะช่วยทำให้เห็นพื้นผิวหลังการบำบัดได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2545). น้ำเสียชุมชน และระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ครุสภาลาดพร้าว.
- [2] การบำบัดน้ำเสีย. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก http://www.Elearning.msu.ac.th/opencourse/unit2_2_1.html
- [3] แหล่งกำเนิดปัญหามลพิษทางน้ำ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3_water8.htm
- [4] คุณภาพและมาตรฐานน้ำ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <http://www.health.nu.ac.th/drthavorn/file1.doc>
- [5] มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2545). เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [6] น้ำเสีย. (2557). สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/น้ำเสีย>
- [7] มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2543). คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [8] มาตรฐานคุณภาพน้ำน้ำ. (2553). สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2557, จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html
- [9] การบำบัดน้ำเสีย. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3_water13.htm
- [10] ไฟฟ้า. (2014). สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewgroup/402>
- [11] เทีญศรี ทองนพเนื่อ. (2557). เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า. ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [12] เซลล์ไฟฟ้าเคมี. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=74351
- [13] ภัคพงศ์ เสงวีจิตร. (2546). การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียซีไอดีด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี, วิทยานิพนธ์, วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] พิชิต ลีกุล. (2553). การเพิ่มประสิทธิภาพกำจัดสังกะสีจากน้ำเสียอุตสาหกรรมโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีด้วยวิธีควบคุมกระแสอย่างต่อเนื่อง, วิทยานิพนธ์, วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- [15] อะลูมิเนียม. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/อะลูมิเนียม>
- [16] เหล็กกล้าไร้สนิม. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2557, จาก <http://th.wikipedia.org/wiki/เหล็กกล้าไร้สนิม>
- [17] ศักย์ไฟฟ้าอิเล็กโทรดมาตรฐาน. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <http://www.il.mahidol.ac.th/emedi/electrochemistry/electrode.htm>
- [18] ซีไอที. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2558, จาก http://www.envi.cmru.ac.th/waterquality/chapter1_t3.html
- [19] การวิเคราะห์ค่า COD. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2557, จาก <https://sites.google.com/site/bmsanalyzer/home/analyzer/cod>
- [20] การสอบเทียบพีเอชมิเตอร์สำหรับห้องปฏิบัติการ ตอนที่2. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ ตุลาคม 2557, จาก <http://www.green-banyan.com/การสอบเทียบพีเอชมิเตอร์สำหรับห้องปฏิบัติการ-ตอนที่-2/>
- [21] Electric Conductivity. (2557). สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2558, จาก <https://www.facebook.com/permalink.php?id=293194147489078&story>
- [22] การนำไฟฟ้า. (2557). สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2558, จาก http://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=13321
- [23] เครื่องวัดความนำไฟฟ้า. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2558, จาก <http://ponpe.com/เครื่องวัดความนำไฟฟ้า.html>



ตารางที่ ก.1 ค่าพีเอชก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั้นอะลูมิเนียม

ความต่างศักย์ (โวลต์)	พีเอชก่อนการบำบัด		พีเอชหลังการบำบัด		
	เริ่มต้น		5 นาที	10 นาที	15 นาที
10	12.68		12.63	12.6	12.57
15	12.68		12.59	12.48	12.45
20	12.68		12.55	12.45	12.44

ตารางที่ ก.2 ค่าซีโอติก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั้นอะลูมิเนียม

ความต่างศักย์ (โวลต์)	ค่าซีโอติก่อนการบำบัด (mg/l)		ค่าซีโอติหลังการบำบัด (mg/l)		
	เริ่มต้น		5 นาที	10 นาที	15 นาที
10	14,440		9,570	9,140	9,720
15	14,440		9,700	9,780	9,600
20	14,440		9,140	9,290	9,310

ตารางที่ ก.3 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั้นอะลูมิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	19.54	19.13	19.11
1	18.52	18.94	18.68
1.5	16.86	18.62	18.24
2	17.59	18.31	17.93
2.5	17.04	18.06	17.52
3	16.72	17.77	17.22
3.5	17.12	17.5	16.92
4	17.09	17.28	16.57
4.5	17.01	17.04	16.24
5	17.85	16.87	15.85

ตารางที่ ก.4 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ขี้วัวละอุมิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	17.45	19.53	17.72
1	17.14	19.28	17.25
1.5	16.67	18.91	17.18
2	16.42	18.51	16.6
2.5	10.26	17.7	16.19
3	12.94	17.23	15.69
3.5	14.95	16.83	15.41
4	16.09	16.53	14.85
4.5	16.03	16.25	14.17
5	15.74	16.07	13.62
5.5	14.31	15.9	13.11
6	15.09	15.65	12.78
6.5	15.78	15.37	12.45
7	15.28	15.19	12.17
7.5	15.08	14.92	11.92
8	14.6	14.71	11.75
8.5	14.13	14.69	11.48
9	14.14	14.28	11.29
9.5	11.4	14.13	11.06
10	13.48	13.97	10.8

ตารางที่ ก.5 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ชีวอะลูมิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	9.49	18.41	20.2
1	13.14	18.35	19.93
1.5	11.61	17.52	19.41
2	15.75	15.94	18.56
2.5	18.37	18.12	18.14
3	19.28	18.78	17.65
3.5	17.31	17.7	17.25
4	17.92	16.23	16.81
4.5	17.24	15.29	16.32
5	15.79	18.06	15.89
5.5	15.29	14.81	15.43
6	12.25	14.99	15
6.5	13.37	14.75	14.58
7	15.9	15.03	14.38
7.5	16.1	15.67	14.1
8	15.53	17.19	13.8
8.5	15.46	15.14	13.54
9	14.53	17.76	13.32
9.5	14.08	17.53	13.02
10	14.4	17.39	12.81
10.5	16.15	17.15	12.61
11	13.56	16.26	12.4
11.5	13.49	17.25	12.16
12	15.18	16.66	11.94
12.5	14.77	16.03	11.66
13	15.95	15.82	11.49
13.5	14.98	15.57	11.26
14	13.98	15.53	11.03
14.5	14.46	15.33	10.89
15	14.28	15.06	10.63

ตารางที่ ก.6 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 5 นาที ชีวอะลูมิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	2.2	3	7.2
1	2.2	3	7.1
1.5	2.1	3	6.6
2	2.1	2.9	6.5
2.5	2.2	2.8	6.4
3	2.1	2.7	5.6
3.5	2.1	2.8	5.2
4	2	2.6	4.8
4.5	2	2.6	4.6
5	1.9	2.5	4.5

ตารางที่ ก.7 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 10 นาที ขี้วัวอุณิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	2.2	4.4	5.3
1	2.2	4.4	4.9
1.5	2.2	4.3	5
2	2.2	4.3	5
2.5	2.1	4.2	4.7
3	1.9	4	4.5
3.5	1.8	3.6	4.3
4	1.8	3.5	3.9
4.5	1.8	3.3	3.7
5	1.7	3	3.5
5.5	1.6	3	3.4
6	1.5	2.9	3.3
6.5	1.6	2.7	3.3
7	1.5	2.6	3.2
7.5	1.4	2.4	3.2
8	1.4	2.3	3.1
8.5	1.4	2.2	3
9	1.3	2	2.9
9.5	1.3	2	2.8
10	1.2	2	2.8

ตารางที่ ก.8 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 15 นาที ชีวอะลูมิเนียม

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	2.2	3.6	5.7
1	2	3	5.6
1.5	1.9	2.9	5.5
2	1.8	2.9	5.1
2.5	1.8	2.7	4.8
3	1.8	2.5	4.8
3.5	1.7	2.6	4.6
4	1.7	2.4	4.4
4.5	1.7	2.4	4.4
5	1.6	2.3	4.1
5.5	1.5	2.2	3.9
6	1.6	2.1	3.6
6.5	1.5	2	3.4
7	1.5	2	3.3
7.5	1.5	1.9	3.2
8	1.5	1.8	3.1
8.5	1.4	1.8	2.9
9	1.4	1.8	2.8
9.5	1.3	1.8	2.8
10	1.3	1.7	2.8
10.5	1.2	1.7	2.6
11	1.2	1.7	2.6
11.5	1.1	1.6	2.5
12	1.2	1.6	2.5
12.5	1.2	1.5	2.4
13	1.1	1.5	2.3
13.5	1.1	1.5	2.2
14	1.1	1.5	2.2
14.5	1.1	1.5	2.2
15	1	1.4	2.1

ตารางที่ ก.9 ค่าพีเอชก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงละ

ความต่างศักย์ (โวลต์)	พีเอชก่อนการบำบัด		พีเอชหลังการบำบัด		
	เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	15 นาที
10	12.68	12.57	12.4	12.37	
15	12.68	12.54	12.5	12.23	
20	12.68	12.47	12.32	11.7	

ตารางที่ ก.10 ค่าซีโอดีก่อน และหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ชั่วโมงละ

ความต่างศักย์ (โวลต์)	ค่าซีโอดีก่อนการบำบัด (mg/l)		ค่าซีโอดีหลังการบำบัด(mg/l)		
	เริ่มต้น	5 นาที	10 นาที	15 นาที	15 นาที
10	14,440	10,020	8,950	13,700	
15	14,440	9,950	9,210	14,020	
20	14,440	9,580	9,430	13,020	

ตารางที่ ก.11 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 5 นาที ชั่วโมงละ

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	19.43	18.39	18.8
1	19.43	18.33	18.8
1.5	19.41	18.23	18.3
2	19.38	18.08	18.58
2.5	18.77	17.99	18.52
3	19.12	17.84	18.4
3.5	18.84	17.73	18.32
4	18.69	17.66	18.24
4.5	18.66	17.52	18.2
5	18.58	17.44	18.06

ตารางที่ ก.12 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 10 นาที ขี้สแตนเลส

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	18.04	18.1	18.42
1	17.95	18.67	18.25
1.5	17.85	18.62	18.15
2	17.67	18.54	18
2.5	17.54	18.49	17.84
3	17.51	18.46	17.76
3.5	17.49	18.38	17.61
4	17.36	18.33	17.44
4.5	17.31	18.28	17.38
5	17.37	18.23	17.21
5.5	17.28	18.12	17.06
6	17.23	18.1	16.95
6.5	17.21	18.08	16.83
7	17.18	18	16.2
7.5	17.17	17.87	16.6
8	17.13	17.83	16.48
8.5	17.15	17.9	16.37
9	17.07	17.78	16.24
9.5	17	17.79	16.26
10	16.98	17.66	16.15

ตารางที่ ก.13 ค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์ ระยะเวลา 15 นาที ขั้วสแตนเลส

เวลา (นาที)	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	18.85	19.21	19.94
1	18.89	19.12	19.77
1.5	18.22	19	19.6
2	17.87	18.97	19.44
2.5	17.98	18.84	19.29
3	17.72	18.79	19.15
3.5	18.68	18.65	18.97
4	18.53	18.62	18.84
4.5	18.46	18.56	18.71
5	18.4	18.46	18.57
5.5	18.2	18.41	18.44
6	17.56	18.26	18.32
6.5	17.66	18.19	18.21
7	17.59	18.12	18.1
7.5	17.58	18.09	17.99
8	17.52	17.92	17.87
8.5	17.46	17.85	17.74
9	17.44	17.74	17.63
9.5	17.41	17.49	17.5
10	17.41	17.33	17.41
10.5	17.35	17.53	17.26
11	17.29	17.51	17.25
11.5	17.31	17.51	17.14
12	17.28	17.34	17.05
12.5	17.22	17.3	16.98
13	17.16	17.29	16.83
13.5	17.13	17.31	16.79
14	17.16	17.25	16.72
14.5	17.12	17.17	16.67
15	17.06	17.16	16.55

ตารางที่ ก.14 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 5 นาที ขั้วสแตนเลส

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	2.8	6	5.7
1	2.8	6	5.5
1.5	2.9	6.1	5.6
2	2.9	6.1	5.5
2.5	2.9	6.1	5.5
3	3	6.1	5.4
3.5	3.1	6	5.4
4	3.1	5.9	5.4
4.5	3.1	5.8	5.4
5	3.2	5.7	5.3

ตารางที่ ก.15 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 10 นาที ขั้วสแตนเลส

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	2.8	3.2	8.5
1	2.8	3.2	8.6
1.5	2.9	3.3	8.9
2	3	3.3	8.3
2.5	3	3.3	8.4
3	3	3.3	8.5
3.5	3	3.3	8.4
4	3.1	3.2	8.2
4.5	3	3.2	8
5	3	3.2	7.8
5.5	3	3.2	7.7
6	3	3.1	7.6
6.5	3	3.1	7.3
7	2.9	3.1	7.2
7.5	2.8	3.1	7.1
8	2.8	3.1	7
8.5	2.7	3	6.8
9	2.7	3	6.6
9.5	2.7	3	6.5
10	2.7	3	6.6




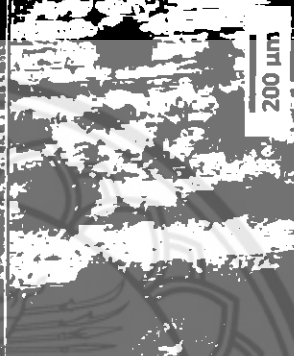

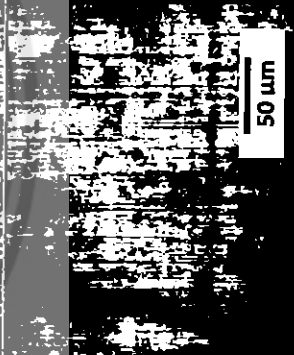

ตารางที่ ก.16 ค่าความหนาแน่นกระแสระหว่างการบำบัดที่ความต่างศักย์ 10 15 และ 20 โวลต์
ระยะเวลา 15 นาที ขั้วสแตนเลส

เวลา (นาที)	ค่าความหนาแน่นกระแส (mA/cm ²)		
	ความต่างศักย์ 10 V	ความต่างศักย์ 15 V	ความต่างศักย์ 20 V
0.5	3.4	5.1	9.8
1	2.9	5.1	9.9
1.5	2.9	5.1	10
2	2.9	5.2	10
2.5	2.8	5.2	9.9
3	2.8	5.2	9.7
3.5	2.9	5.2	9.5
4	2.8	5.2	9.2
4.5	2.8	5.2	8.8
5	2.8	5.1	8.4
5.5	2.8	5.1	8.1
6	2.6	5	7.9
6.5	2.7	5	7.7
7	2.7	5	7.4
7.5	2.7	4.9	7.1
8	2.6	4.9	6.9
8.5	2.6	4.8	6.9
9	2.6	4.8	6.7
9.5	2.6	4.7	6.6
10	2.5	4.7	6.4
10.5	2.5	4.6	6.2
11	2.5	4.5	5.9
11.5	2.5	4.5	5.8
12	2.4	4.5	5.8
12.5	2.4	4.5	5.6
13	2.4	4.5	5.5
13.5	2.4	4.4	5.3
14	2.4	4.3	5.2
14.5	2.4	4.3	5
15	2.4	4.2	4.7










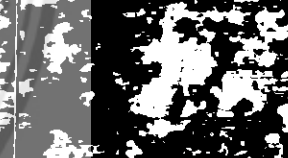
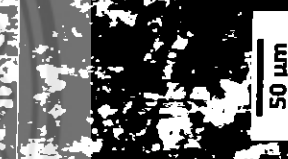



ลักษณะการแตกตัวของฉนวนไฟฟ้าก่อน และหลังการบำบัด

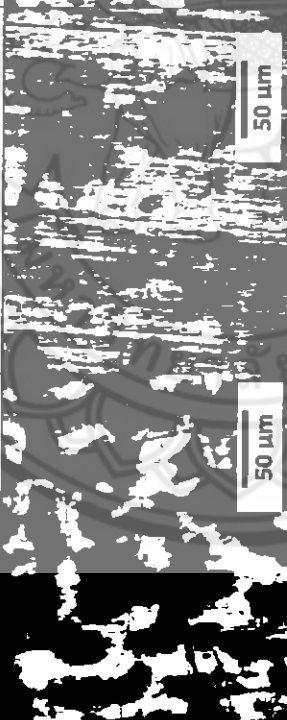

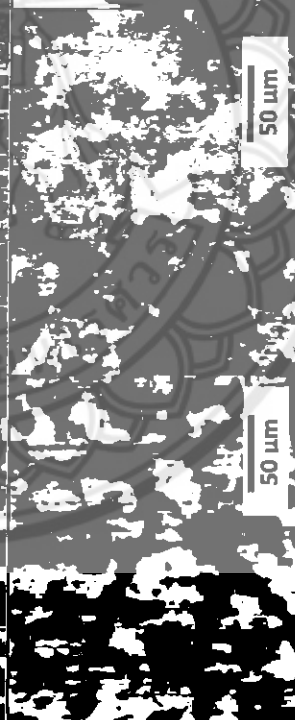





ตารางที่ ข.1 ลักษณะการแตกตัวของผิวอะลูมิเนียมก่อน และหลังการบำบัด

		ลักษณะการแตกตัวของผิวไฟฟ้า		
		กำลังขยาย 5X	กำลังขยาย 20X	
ข้อไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ข้อแอโนด	ข้อแคโทด	ข้อแคโทด
		อะลูมิเนียม	ก่อนการทดลอง	
อะลูมิเนียม	10 V, 5 นาที			
อะลูมิเนียม	10 V, 10 นาที			









ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวอะลูมิเนียมก่อน และหลังการบำบัด

ข้อไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวข้อไฟฟ้า			
		กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X	
		ข้อแอโนด	ข้อแคโทด	ข้อแคโทด	ข้อแคโทด
อะลูมิเนียม	10 V, 15 นาที				
อะลูมิเนียม	15 V, 5 นาที				
อะลูมิเนียม	15 V, 10 นาที				

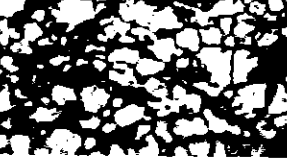
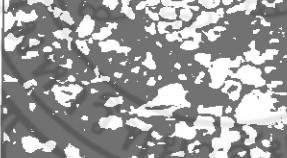
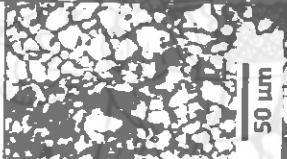
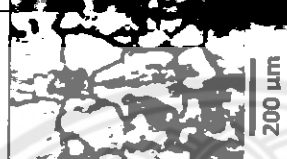





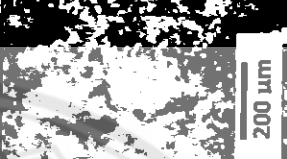
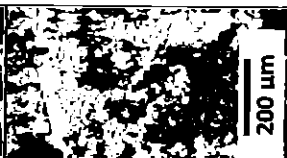
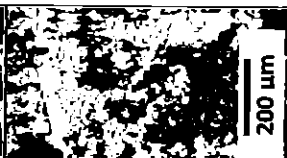






ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวอะลูมิเนียมก่อน และหลังการบำบัด

ขั้วไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วไฟฟ้า			
		กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X	
		ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด
อะลูมิเนียม	15 V, 15 นาที				
อะลูมิเนียม	20 V, 5 นาที				
อะลูมิเนียม	20 V, 10 นาที				

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวอะลูมิเนียมก่อน และหลังการบำบัด

ผิวไฟฟา	ความตางศักย และเวลาลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวไฟฟา			
		ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด
อะลูมิเนียม	20 V, 15 นาที	กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X	
					
					



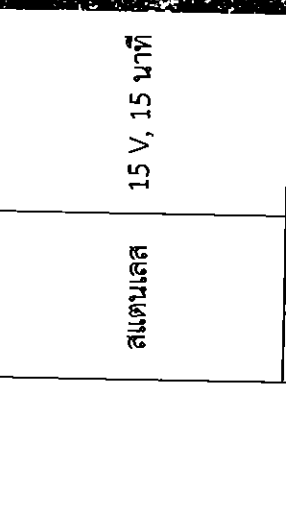
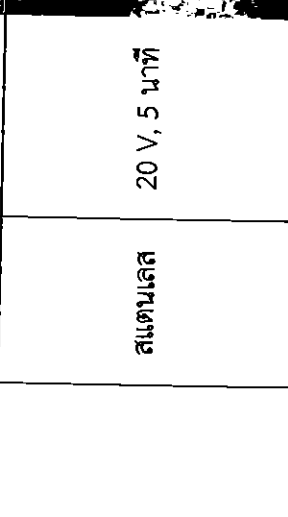

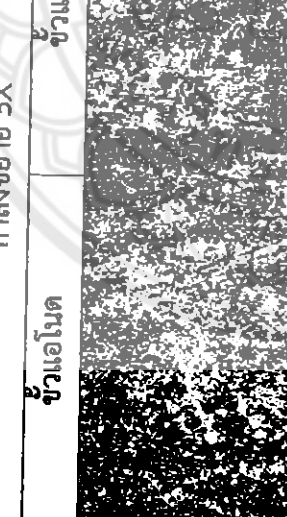
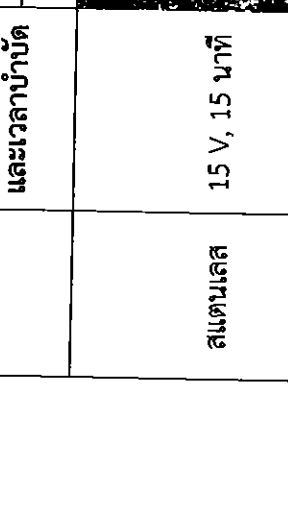
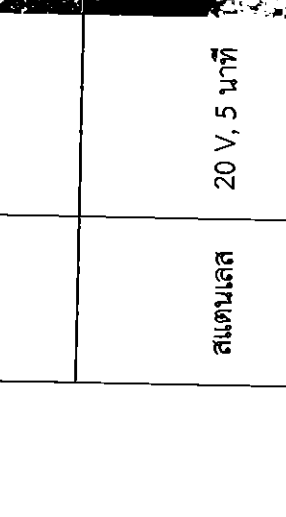
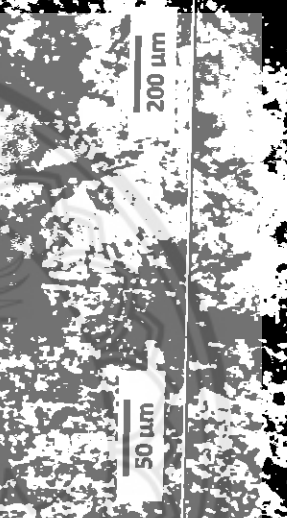
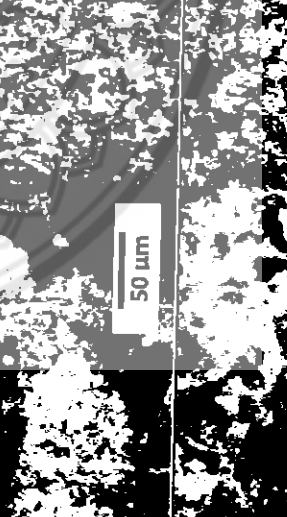
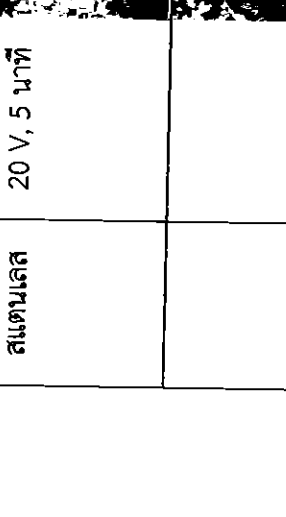
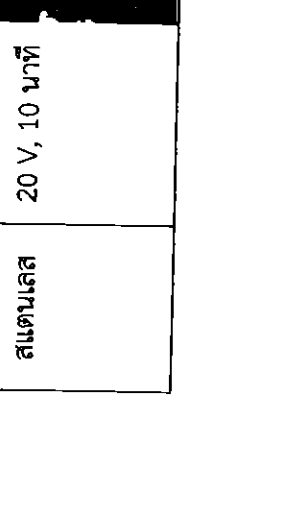
ตารางที่ ข.2 ลักษณะการแตกตัวของผิวสแตนเลสก่อน และหลังการบำบัด

ขั้วไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วไฟฟ้า					
		กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X			
		ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด
สแตนเลส	ก่อนการทดลอง						
สแตนเลส	10 V, 5 นาที						
สแตนเลส	10 V, 10 นาที						

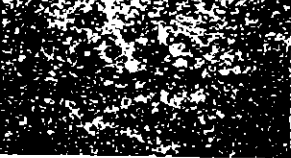
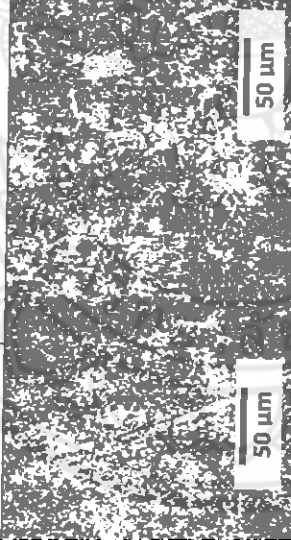


ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวสแตนเลสก่อน และหลังการบำบัด

ข้อไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวข้อไฟฟ้า					
		กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X		ข้อแคโทด	ข้อแอโนด
		ข้อแคโทด	ข้อแอโนด	ข้อแคโทด	ข้อแอโนด		
สแตนเลส	10 V, 15 นาที						
สแตนเลส	15 V, 5 นาที						
สแตนเลส	15 V, 10 นาที						

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวสแตนเลสก่อน และหลังการบำบัด

ข้อไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวไฟฟ้า			
		กำลังขยาย 5X		กำลังขยาย 20X	
		ข้อแอโนด	ข้อแคโทด	ข้อแคโทด	ข้อแคโทด
สแตนเลส	15 V, 15 นาที				
สแตนเลส	20 V, 5 นาที				
สแตนเลส	20 V, 10 นาที				

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วสแตนเลสก่อน และหลังการบำบัด






ขั้วไฟฟ้า	ความต่างศักย์ และเวลาบำบัด	ลักษณะการแตกตัวของผิวขั้วไฟฟ้า			
		ขั้วแอโนด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด	ขั้วแคโทด
สแตนเลส	20 V, 15 นาที	กำลังขยาย 5X	กำลังขยาย 5X	กำลังขยาย 20X	กำลังขยาย 20X
					
		50 μm	50 μm	200 μm	200 μm





อุปกรณ์ และเครื่องมือในการสร้างชุดการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์และเครื่องมือในการสร้างชุดการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า

ชื่อเครื่องมือ	รูป	การใช้งาน
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า		ปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและวัดกระแสไฟฟ้า
ถังปฏิกริยา		ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียนี้ ใช้บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
Magnetic Stirrer Controller		ช่วยให้น้ำเสียเกิดการกวน เพื่อจะได้สัมผัสกับขั้วไฟฟ้าได้มากขึ้น
มัลติมิเตอร์		วัดความต่างศักย์ไฟฟ้า
มัลติมิเตอร์		วัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขั้วไฟฟ้า