

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า
ร่วมกับการเติมโอโซน

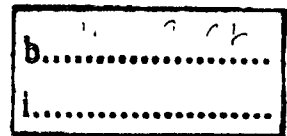
TREATMENT OF DISTILLERY EFFLUENT USING
ELECTROCOAGULATION COUPLED WITH OZONATION



115945

นางสาวกัญญารัช กมลสุนทร
นางสาวศิริณี เพ็งปรีชา
นายชนะพงษ์ แสงสูง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 115945
วันเดือนปี 11 12 2554



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2552

**TREATMENT OF DISTILLERY EFFLUENT USING
ELECTROCOAGULATION COUPLED WITH OZONATION**

MISS KANYARAT

KAMOLSUNTORN

MISS SIRINEE

PENGPREECHA

MR CHANAPONG

SAENGSOONG

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN ENVIRONMENTAL RESOURCE CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2009**

หัวข้อโครงการพิเศษ การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโซน

Treatment of Distillery Effluent using Electrocoagulation
Coupled with Ozonation


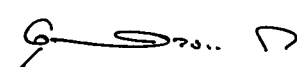
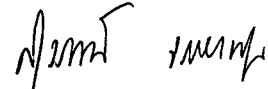
ชื่อนักศึกษา นางสาวกัญญารัช กมลสุนทร 49050609
นางสาวศิริณี เฟื่องปรีชา 49050610
นายชนะพงษ์ แสงสูง 49051140

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากร-
สิ่งแวดล้อม ประจำปีการศึกษา 2552

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	
ผศ.ดร.อุสารัตน์ ฉาวรชัยสิทธิ์	
ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโซน	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญารัช	กมลสุนทร
	นางสาวศิริณี	เพ็ญปรีชา
	นายชนะพงษ์	แสงสูง
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม	
ปีการศึกษา	2552	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมก๊าซโอโซน ทดลองโดยใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากอลูมิเนียมและต่อแบบขนาน ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าโดยแปรค่า pH เป็น 4, 6 และ 8 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์ ระยะเวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที วัดการเปลี่ยนแปลงค่า pH, อุณหภูมิ, ค่าการนำไฟฟ้า, ค่าการดูดกลืนแสง และค่า COD จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า คือ pH 4 ปริมาณกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ และระยะเวลา 90 นาที สามารถค่า COD จาก 40,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 7,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD เป็น 70.67 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา พบว่าเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่าคงที่ 0.013 เมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมไปบำบัดร่วมกับการเติมโอโซนที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจนที่ 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที คิดเป็นความเข้มข้นของโอโซนเท่ากับ 1,271.1 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี 48.90 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามการเติมก๊าซโอโซนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์, การรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า, การเติม โอโซน

Title	Treatment of Distillery Effluent using Electrocoagulation Coupled with Ozonation
Students	Miss Kanyarat Kamolsuntorn Miss Sirinee Pengpreecha Mr Chanapong Saengsoong
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Environmental Resource Chemistry
Academic Year	2009
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwannee Junyapoon

ABSTRACT

This special project studied the treatment of distillery wastewater using electrocoagulation method coupled with ozonation. Aluminium electrodes, connected in parallel were used. Several factors affecting the efficiency of electrocoagulation were examined by varying pH (4, 6 and 8), electric currents (1, 2 and 3 amperes) and treatment times (0, 30, 60, 90 and 120 minutes). The experimental results showed that pH 4, current of 3 ampere and treatment time of 90 minutes were optimum conditions for electrocoagulation treatment. Amount of COD was reduced from 40,800 mg/L to 7800 mg/L which was 70.67%. The study of reaction kinetic indicated that it was the first order reaction with reaction coefficient (k) of 0.013. Wastewater after treating with electrocoagulation under optimum conditions was treated with ozonation in different concentrations. The results indicated that blowing oxygen at 5L/min for 10 minutes, equivalent to ozone 1,271.1 mg/L, could remove 48.90% of color. However, organic compounds could not be removed by ozonation.

Keywords : Distillery wastewater, Electrocoagulation, Ozonation

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุวรรณณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้อย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหา

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ชลอ จารุสุทธิรักษ์, ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ และอาจารย์สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาให้การเสนอแนะ และความรู้เพิ่มเติมให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และให้กำลังใจในการจัดทำโครงการพิเศษ ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นางสาวกัญญารัช	กมลสุนทร
นางสาวศิริณี	เพ็ญปรีชา
นายชนะพงษ์	แสงสูง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	3
2.1.1 ขั้นตอนการเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล จากกากน้ำตาล	4
2.1.2 วิธีการบำบัดน้ำเสีย และกากตะกอนจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	6
2.2 กระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation)	8
2.2.1 ปฏิกิริยาในการเกิด Electrocoagulation	11
2.2.2 ข้อดี และข้อเสียของระบบ Electrocoagulation	11
2.2.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อระบบ Electrocoagulation	12
2.3 โอโซน (Ozone)	15
2.3.1 คุณสมบัติของโอโซน	15
2.3.2 ระบบการผลิต โอโซน	17
2.3.3 ส่วนประกอบสำคัญของการผลิต โอโซน	17
2.3.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน	18
2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการละลายน้ำของ โอโซน	21
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	24
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	24
3.1.1 อุปกรณ์	24
3.1.2 สารเคมี	25
3.1.3 น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	26
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	27
3.2.1 การเตรียมชุดการทดลอง	27
3.2.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสีย	29
3.2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	29
3.2.4 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ โดยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	32
3.2.5 การศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา	32
3.2.6 ศึกษาผลการบำบัดด้วยก๊าซโอโซน	33
3.2.7 ศึกษาค่าใช้จ่ายจากการคำนวณค่าไฟฟ้า	34
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	35
4.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ก่อนการบำบัด	35
4.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย จากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	35
4.1.1 ผลของพีเอช	35
4.1.2 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้า	38
4.1.3 ผลของระยะเวลา	41
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	43
4.4 ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา	45
4.5 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมก๊าซโอโซน	46
4.6 การคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อการบำบัดน้ำเสีย 2 ลิตร	51

สารบัญ (ต่อ)

จำนวนวัตต์ของการใช้ไฟฟ้า	51
หน่วยของการใช้ไฟฟ้า	51
คิดราคากรดซ์ไฟวริกที่ใช้	51
คิดราคาแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้	51
คำนวณอัตราการสึกกร่อน	53
คิดเทียบกับน้ำหนักอลูมิเนียมหายไปจากการซั่ง	54
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการทดลอง	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	53
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์	56
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง	64
ภาคผนวก ค วิธีการคำนวณ	82

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	
2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย	4
3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	29
3.2 สมการอันดับปฏิกิริยา	32
4.1 คุณลักษณะน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์ก่อนการบำบัด	35
4.2 คุณลักษณะน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	43
4.3 คุณลักษณะน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโซน	48
ก-1.1 ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ	58
ก-2-1 การเลือกเจือจางน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่าบีโอดี	62
ข-1.1 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	65
ข-1.2 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	65
ข-1.3 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	65
ข-1.4 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)	66
ข-1.5 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)	66

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-1.6 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)	66
ข-1.7 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	67
ข-1.8 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	67
ข-1.9 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	67
ข-1.10 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	68
ข-1.11 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	68
ข-1.12 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	68
ข-2.1 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์	69
ข-2.2 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์	69
ข-2.3 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	69
ข-2.4 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)	70
ข-2.5 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)	70
ข-2.6 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-2.7	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์	71
ข-2.8	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์	71
ข-2.9	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	71
ข-2.10	ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์	72
ข-2.11	ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์	72
ข-2.12	ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	72
ข-3.1	การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าที่ไอซี ที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	73
ข-3.2	การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)	73
ข-3.3	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	73
ข-3.4	ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	74
ข-4.1	ค่าซีไอดีก่อนและหลังปรับพีเอช	74
ข-4.2	ค่าซีไอดีเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	74
ข-4.3	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดีเมื่อบำบัดด้วย วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	75

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-4.4	ค่าบีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสีย	75
ข-4.5	ค่าบีโอดีเมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์	75
ข-6.1	การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าบีโอดีเมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที ที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	77
ข-6.2	ผลของซีโอดีเมื่อบำบัดด้วยโอโซน เป็นเวลา 10 นาที ที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	78
ข-6.3	ค่าบีโอดีเมื่อบำบัดด้วยโอโซนที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที	78
ข-6.4	ค่าพีเอชก่อน และหลัง เมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที	78
ข-6.5	ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที (เจือจาง 100 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)	79
ข-6.6	ประสิทธิภาพการกำจัดซี	79
ค-1.1	ค่าอัตราความก้าวหน้าของค่าไฟฟ้าตามแบบโรงงาน	83
ค-2.1	ปริมาณกรดที่ใช้	83
ค-3.1	การคำนวณราคาแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้	84

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่	
2.1 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล	5
2.2 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้ระบบการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า	9
2.3 ชุดทดลอง Electrocoagulation (อิเล็กโทรลิวต์เชื่อมต่อบางขนาน)	10
2.4 ถังปฏิกรณ์น้ำไหลตามแนวนอน และน้ำไหลตามแนวตั้ง	15
2.5 การผลิตโอโซน	17
2.6 หลอดผลิต โอโซน	18
2.7 การเกิดเรโซแนนซ์ของ โมเลกุล โอโซน	19
2.8 การทำปฏิกิริยาของ โอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Dipole – mediat attack	19
2.9 การสลายตัวของอัลดีไฮด์ และคีโตน กลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก	19
2.10 การทำปฏิกิริยาของ โอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Electrophilic attack	20
2.11 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกิดผ่านแรดิคัล	20
3.1 จุดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย	27
3.2 การต่อขั้วอิเล็กโทรดแบบขนานของชุดทดลองการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า	28
3.3 การติดตั้งระบบโอโซนเนชั่น	33
4.1 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซี (ก) และค่าการดูดกลืนแสง (ข) ในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	36
4.2 ผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้า	37
4.3 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัด (ก) ที่ไอซี และ (ข) ค่าการดูดกลืนแสงในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ (เจือจาง 500 เท่า)	39
4.4 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้า	40
4.5 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อประสิทธิภาพการกำจัด (ก) ที่ไอซี และ (ข) ค่าการดูดกลืนแสงในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	41
4.6 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้า	42
4.7 ความสามารถและประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่เวลาต่าง ๆ	44

สารบัญรูป (ต่อ)

4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับเวลาเป็นไปตาม ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง	44
4.9	ลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด	45
4.10	ผลของโอโซนต่อประสิทธิภาพการกำจัดทีโอซี	46
4.11	ผลของโอโซนในการบำบัดต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี	46
4.12	ผลของโอโซนต่อความสามารถ และประสิทธิภาพการกำจัดสี ในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์	47
ข-5.1	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์	76
ข-5.2	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง	76
ข-5.3	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับสอง	77

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตแอลกอฮอล์มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแอลกอฮอล์ถูกใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานผลิตสุรา และใช้เป็นเชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้น การผลิตแอลกอฮอล์โดยทั่วไปใช้กากน้ำตาลในการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ กระบวนการนี้จะเกิดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงและมีปริมาณมาก ซึ่งน้ำเสียจะประกอบด้วยกากน้ำตาล และตะกอนของยีสต์ มีลักษณะสีน้ำตาลเข้มเกือบดำ ซึ่งเป็นสีของ Molasses melanoidin มีค่าบีโอดี และซีโอดีสูงมาก โดยเฉลี่ยเกิดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ 138.46 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมี ค่า BOD₅ อยู่ระหว่าง 40,000 – 70,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า COD อยู่ระหว่าง 100,000 – 180,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หากมิได้มีการบำบัดน้ำเสียก่อนระบายทิ้งลงในแหล่งน้ำธรรมชาติแล้ว จะมีผลทำให้คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำเสื่อมโทรมลง (มจคส., 2550)

โดยทั่วไป ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงกลั่นแอลกอฮอล์นิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เช่น ระบบบ่อหมัก (Anaerobic pond) ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ใช้พื้นที่ของระบบบำบัดมาก และใช้เวลานาน ทำให้ยากที่จะบำบัดน้ำเสียที่มีอัตราการปล่อยทิ้งสูงให้ได้มาตรฐาน นอกจากนี้ยังมีปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากบ่อหมักชีวภาพ และกรดอินทรีย์จากบ่อหมัก (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

งานวิจัยนี้ ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์โดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติม โอ โชน เพื่อลดระยะเวลาในการบำบัด และกำจัดความสกปรกของน้ำทิ้งให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยทิ้ง

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ โดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโชน
2. ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ โดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโชน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์ก่อนและหลังการบำบัด โดยศึกษาอุณหภูมิ, พีเอช, การนำไฟฟ้า, ค่าการดูดกลืนแสง, ทีไอซี, ซีไอดี และบีไอดี

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์ โดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยศึกษา

- ผลของพีเอช โดยแปรค่าพีเอชของน้ำเสียที่ 4, 6 และ 8
- ผลของกระแสไฟฟ้า โดยแปรค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์
- ผลของระยะเวลา โดยแปรค่าเวลาที่ 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที
- การสึกกร่อนของอลูมิเนียมอิเล็กโทรด

3. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดน้ำเสียหลังจากผ่านกระบวนการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าด้วยการเติมโอโซน โดยศึกษา

- ผลของความเข้มข้นของโอโซนในการบำบัด โดยให้อัตราการไหลของออกซิเจนที่ 5 ลิตรต่อนาที โดยแปรค่าที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที

4. วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบโดยวิเคราะห์อัตราการใช้กระแสไฟฟ้า และการสึกกร่อนของอลูมิเนียมอิเล็กโทรด และปริมาณกรดที่ใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สถานะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจาก โรงกลั่นแอลกอฮอล์ โดยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับวิธีการเติมโอโซน

2. ลดระยะเวลา และพื้นที่ในการบำบัดน้ำเสียจาก โรงงานกลั่นแอลกอฮอล์

3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมกลั่นแอลกอฮอล์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

กระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ โดยทั่วไปจะใช้กากน้ำตาล (Sugar cane molasses) เป็นวัตถุดิบ ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ จากนั้นจะผ่านเข้าสู่กระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์บริสุทธิ์ ซึ่งกระบวนการผลิตนี้ทำให้เกิดน้ำเสียที่เรียกว่า “น้ำกากสำ” (Distillery slop) เป็นจำนวนมาก โดยทั่วไป จะมีน้ำเสียกากสำเกิดขึ้นประมาณ 2 - 3 เท่า ต่อกากน้ำตาล 100 ตัน หรือประมาณ 11 เท่าของปริมาณที่ผลิตได้ ลักษณะของน้ำกากสำจะอยู่ในรูปของเหลวสีน้ำตาล โดยมีสารอาหารสำหรับพืชในปริมาณเพียงพอที่จะนำไปเป็นปุ๋ยได้ น้ำกากสำแบ่งได้ 2 ชนิด คือ กากสำขาว ได้จากการใช้ขี้เถ้าหมักเป็นวัตถุดิบในการผลิต และกากสำแดง ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ น้ำกากสำจากโรงงานสุราเกือบทุกแห่งในประเทศไทยเป็นชนิดกากสำแดง มีสีน้ำตาลเข้มหรือดำ มีความเข้มข้นของปริมาณสารอินทรีย์สูง โดยปกติที่อัตราการผลิต 90 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน จะมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน หรือมีปริมาณน้ำกากสำประมาณ 3.5 เท่า ของอัตราการผลิต (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

ลักษณะเฉพาะของน้ำเสียกากสำจะมีค่าบีโอดีสูงมาก ปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สูง (ตารางที่ 2.1) เป็นสารที่ถูกล่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการกำจัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้ ยังมีสีน้ำตาลเข้มเกิดจากสารคาร์บอนที่เกิดจากปฏิกิริยาโพลีเมอไรเซชัน (Polymerization) ในกระบวนการผลิตน้ำตาล (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551) และเกิดจากสารเมลานอยดิน ซึ่งเป็นสารที่มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากการรวมตัวระหว่างน้ำตาลชนิดต่างๆ กับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิสูง โดยผ่านกระบวนการปฏิกิริยาบราวน์นิ่ง (Browning reaction)

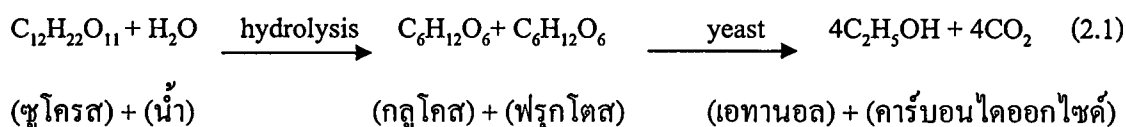
ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอลในประเทศไทย (มจล, 2550)

พารามิเตอร์	น้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล (มก./ล.)
ลักษณะปรากฏ	สีน้ำตาลเข้ม-ดำ
ความเป็นกรดและด่าง	4.1-4.6
ซีโอดี	100,000-180,000
บีโอดี	40,000-70,000
ไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น	1,500-2,000
ของแข็งทั้งหมด	114,000-148,000
ของแข็งแขวนลอย	14,000-18,000
ของแข็งที่ละลายได้	100,000-130,000

2.1.1 ขั้นตอนการเกิดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

1. การเตรียมวัตถุดิบ กากน้ำตาลต้องผ่านการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้าสู่การหมัก โดยการเติมกรดกำมะถัน เพื่อให้สิ่งเจือปนตกตะกอน และแยกออกโดยผ่านเครื่องแยกตะกอน (Decanter) จากนั้นจึงเจือจางกากน้ำตาลที่ผ่านการแยกสิ่งเจือปนแล้วกับน้ำร้อนในถังผสม เพื่อให้มีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงยีสต์ ของเหลวที่ได้ในขั้นนี้เรียกว่า น้ำสำ

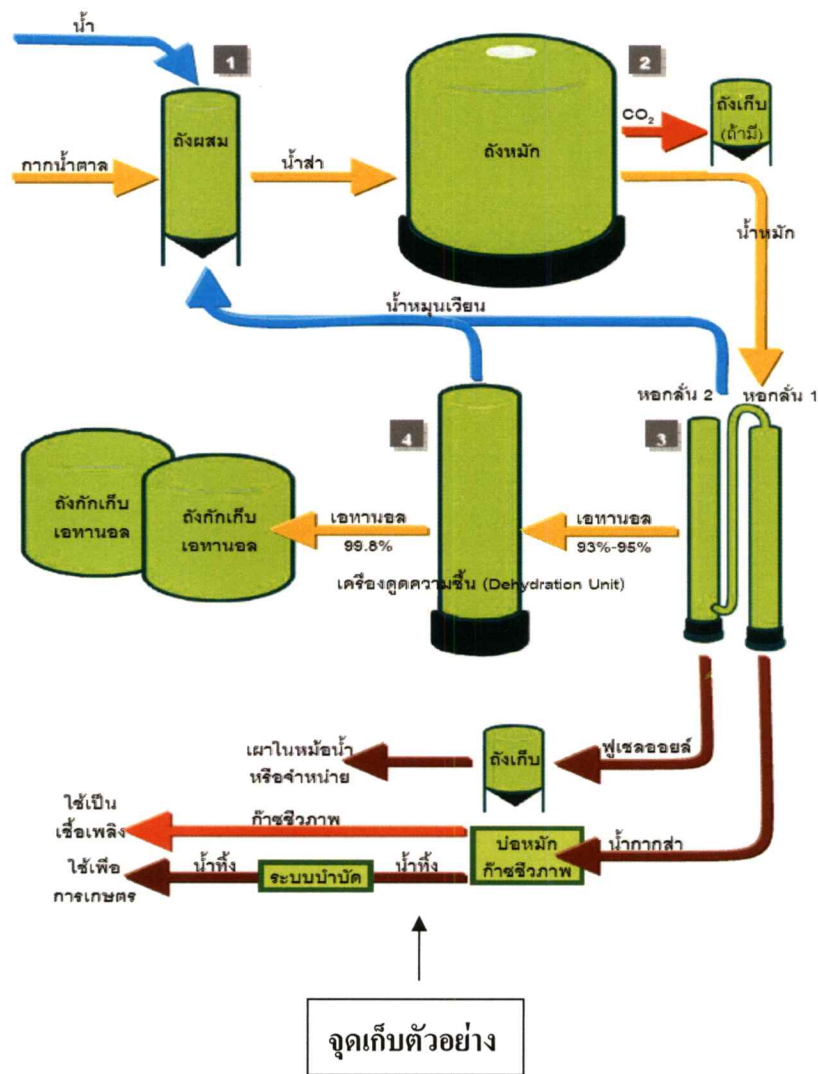
2. การหมัก เป็นการเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์โดยใช้ยีสต์ ซึ่งในบางเทคโนโลยี มีการเติมเอนไซม์ไกลูโคอะไมเลส (Glucoamylase) ลงไปด้วย กากน้ำตาลมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครส โดยขั้นแรกน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส จากนั้นยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแอลกอฮอล์ที่มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 8 - 10 และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 2.1



ในทางปฏิบัติมีน้ำตาลประมาณร้อยละ 95 เท่านั้นที่เปลี่ยนเป็นเอทานอล ส่วนที่เหลือยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างสารอื่น ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), อะเซทัลดีไฮด์ ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), กรดอะซิติก (CH_3COOH), กลีเซอริน ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$), กรดแลกติก ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$), กรดซัคซินิก ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$), ฟิวเซลอยล์ (Fusel oil) และเฟอฟูรอล ($\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_2$) อีกเล็กน้อย

3. การกลั่น ขั้นตอนนี้มีการกลั่นด้วยกัน 2 ครั้ง การกลั่นครั้งแรกได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 50 โดยปริมาตร ขั้นนี้มีน้ำจากสำเกิดขึ้น และถูกส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสีย ในการกลั่นครั้งที่สองเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ แอลกอฮอล์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ประมาณร้อยละ 93 – 95 โดยปริมาตร

4. การแยกน้ำ เป็นการเพิ่มความบริสุทธิ์โดยผ่านเอทานอลเข้าสู่เครื่องดูดความชื้น เช่น เครื่องกรองระดับโมเลกุล ทำให้ได้เอทานอลความเข้มข้นประมาณร้อยละ 99.5 โดยปริมาตร กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

2.1.2 วิธีการบำบัดน้ำเสีย และกักตะกอนจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

การบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำกากสำ ในปัจจุบันใช้การบำบัดแบบกระบวนการทางเคมี ภายภาพ (Physicochemical process) เช่น กระบวนการดูดซับ, กระบวนการโคแอกกูเลชัน – ฟล็อกกูเลชัน กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศร่วมกับการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ เช่น ระบบบ่อหมัก (Anaerobic pond) ร่วมกับบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) โดยวิธีนี้ประสิทธิภาพของระบบ ในการบำบัดจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของเหลว (Hydraulic retention time ; HRT) นานขึ้น ระบบบำบัดจึงมีขนาดใหญ่ ระบบนี้จึงมีข้อจำกัดในการใช้งาน นอกจากนี้ ระบบยังมีการปรับตัวไม่คืนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และในระหว่างกำจัดบางครั้งอาจมีก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เกิดขึ้นด้วย ทำให้มีกลิ่นเหม็น และแมลงรบกวน (ถ้าเป็นระบบเปิด) วิธีนี้สามารถปรับเปลี่ยนภาระได้ดี และสามารถลดขนาดของถังปฏิกรณ์ลงได้ แต่มีข้อเสีย คือ แบคทีเรีย ยังไม่สามารถกำจัดสีของน้ำกากสำบางชนิดได้เพียงพอ ทำให้ยังหลงเหลือสีของน้ำกากสำในน้ำทิ้ง

2.1.2.1 การสร้างตะกอนรวมทางเคมี (Chemical Coagulation and Flocculation)

ในน้ำเสียมีองค์ประกอบต่างๆ เจือปน คือ ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid), คอลลอยด์ (Colloid) และสารที่ละลายน้ำ (Soluble compound) ส่วนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำสามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยปล่อยให้ของแข็งจมตัวลงด้วยแรงโน้มถ่วง สำหรับของแข็งแขวนลอย และ คอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กจะมีแรงผลักระหว่างอนุภาคด้วยกันทำให้ไม่สามารถแยกออกจากน้ำเสียโดยวิธีตกตะกอนธรรมดาได้ วิธีที่นิยมใช้แยกอนุภาค และคอลลอยด์ออกจากน้ำเสีย คือ การสร้างตะกอนรวมทางเคมี โดยการตกตะกอนสีน้ำกากสำด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษาพบว่า สารเคมีที่เหมาะสมที่สุดในการตกตะกอนสีน้ำกากสำด้วยสารเคมี คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) และปูนขาว (ยุพา, 2547 และ กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

2.1.2.2 การทำบ่อเก็บกักและลานตาก (Storage Lagoon and Land Application)

เป็นการเก็บน้ำกากสำ 6 เดือนในฤดูฝนในบ่อเก็บกัก จากนั้นระบายน้ำกากสำจากบ่อเก็บกัก และน้ำกากสำในฤดูแล้ง 6 เดือน รวม 12 เดือน เพื่อไปตากแห้งบนลานในฤดูแล้ง 6 เดือน วิธีนี้ใช้ที่ดินมากพอสมควร คือ ประมาณ 150 ไร่ สำหรับน้ำเสียอัตราประมาณ 400 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำเสียโดยวิธีนี้อยู่ประมาณ 2 - 3 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ของน้ำกากสำ ซึ่งนับว่าถูกมาก จะใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่จำกัด แต่มีข้อเสียคือต้องใช้ที่ดินมาก แต่ในชนบทพอจะหาที่ได้ง่าย จึงไม่น่าจะมีปัญหาประกอบกับประเทศไทยมีความแห้งแล้งมากโดยทั่วไปในฤดูแล้ง จึงทำให้การระเหยของน้ำเป็นไปได้มาก แบบเดียวกับวิธีการทำนาเกลือวิธีการเก็บกักน้ำกากสำแบบบ่อเก็บกักและลานตากนี้ อาจมีปัญหาในเรื่องกลิ่น หากเป็นน้ำกากสำสด เพราะสภาพกรดจะ

ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นฉุนเหมียว ของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จึงต้องป้องกันด้วยการเติมปูนขาวในบ่อดอนแรกเริ่มการใช้บ่อเก็บกัก หรือหากมีน้ำกากส่าต่างแล้วก็อาจสูบย้ายบ่อจากบ่อธรรมดาไปบ่อต่าง เพื่อให้สะเทินได้แล้วย้ายกลับมาบ่อเดิมได้ ทำให้บ่อทั้งหมดเป็นค่าปัญหากลิ่นก็จะหมดไป (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2551)

2.1.2.3 ระบบบ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic pond)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีบ่อหมักไร้อากาศ มักใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงหรือพวกกากตะกอนจากระบบบำบัดอื่น น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงไม่เหมาะกับระบบเติมอากาศ แต่สามารถนำมาบำบัดในระบบน้ำได้ บ่อหมักไร้อากาศส่วนใหญ่เป็นบ่อดินเปิด แลบ และลึกราว 6 เมตร เพื่อรักษาอุณหภูมิ และป้องกันออกซิเจนในอากาศไม่ให้ลงไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน บ่อหมักไร้อากาศจึงง่ายต่อการออกแบบและราคาถูก แต่ประสิทธิภาพต่ำและมีกลิ่น น้ำเสียที่ผ่านระบบหลังจากถูกเก็บกักไว้นาน 10 - 30 วัน ยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้ง จะต้องนำไปบำบัดในระบบอื่นต่อไป เว้นเสียแต่ว่าจะต่อบ่อเป็นแบบอนุกรมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ แต่ก็ต้องใช้พื้นที่เพิ่มมากขึ้นจึงไม่เป็นที่นิยมกัน (สมเกียรติ, 2552)

2.1.2.4 ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นก็ได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80 - 95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

2.1.2.5 ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge, AS)

ระบบที่ประกอบด้วยถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน มีการหมุนเวียนตะกอนจากถังตกตะกอนไปเลี้ยงในถังเติมอากาศโดยมีการกวนเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์ และออกซิเจนได้อย่างทั่วถึง เพื่อให้เกิดการย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ ระบบนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง สามารถลดค่าบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 90 โดยข้อดีระบบ คือการผลิตน้ำออกที่มีคุณภาพสูง เมื่อเทียบกับกระบวนการบ่อเติมอากาศ สามารถลดความเข้มข้นของสารละลายในปริมาณเท่ากัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์ที่มีปริมาตรเล็กกว่ามาก ขณะที่ผลิตน้ำออกที่เกือบ

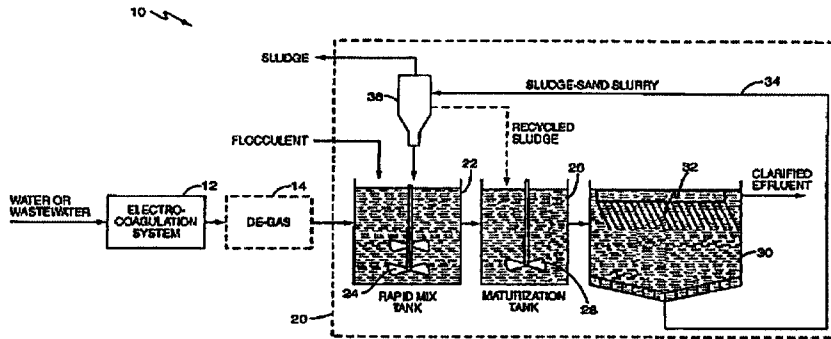
ไม่มีของแข็งแขวนลอย แต่มีข้อเสียเกี่ยวกับการควบคุม ความซับซ้อนของกระบวนการทำให้ยุ่งยากต่อการควบคุมคุณภาพของกระแสอกให้ได้ตามต้องการ ค่าลงทุนและดำเนินการอยู่ในกลุ่มสูงสุดของการดำเนินการชีวเคมี (พินิติ, 2542)

2.2 กระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation : EC) (สมพงษ์, 2551)

กระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation, EC) ใช้หลักการในการทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยใช้สารโคแอกกูแลนต์ในรูปแบบของอออนโลหะที่เกิดจากการละลายโลหะออกจากอิเล็กโทรดด้วยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ขั้วบวก (Anode) ซึ่งทำให้ประจุของคอลลอยด์เป็นกลาง และเกิดการรวมตัวกัน คอลลอยด์ยังถูกกำจัดได้ด้วยเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะที่ไม่ละลายน้ำที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาต่อเนื่องของอออนโลหะในน้ำ นอกจากนี้ ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) ช่วยทำให้คอลลอยด์ที่รวมตัวเป็นตะกอนลอยตัวขึ้น และสามารถกำจัดออกด้วยการกวาดทิ้งจากผิวน้ำ ซึ่งกระบวนการนี้นิยมเรียกว่า การทำให้ตะกอนลอยด้วยไฟฟ้า (Electroflotation) กระบวนการรวมตัวทางเคมีไฟฟ้า จัดเป็นกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemistry) คือ ปฏิกิริยาเคมีที่มีการถ่ายโอนอิเล็กตรอน หรือเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยแยกปฏิกิริยาออกเป็น 2 ส่วน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และปฏิกิริยารีดักชัน ส่วนประกอบสำคัญของกระบวนการเคมีไฟฟ้า คือ แหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า อิเล็กโทรดทั้งสองขั้ว และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อผ่านไฟฟ้ากระแสตรงไปยังขั้วเหล็กหรืออลูมิเนียม ภายในอิเล็กโทรไลต์เซลล์ทางขั้วบวก และขั้วลบ เหล็กและอลูมิเนียมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วบวก ทำให้เหล็ก และอลูมิเนียมละลายออกมาในรูป เฟอร์ริอออน, เฟอริกอออน และอลูมิเนียมอออน ในขณะที่เดียวกันจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบ เกิดการแตกตัวของน้ำให้ก๊าซไฮโดรเจน และไฮดรอกไซด์อออน โดยไอออนของเหล็กหรืออลูมิเนียมจะรวมตัวกับไฮดรอกไซด์อออนเกิดเป็นเฟอร์ริไฮดรอกไซด์, เฟอรัไฮดรอกไซด์ หรืออลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ โดยจะสามารถทำให้สารปนเปื้อนที่ต้องการบำบัดสามารถรวมกลุ่มเป็นกลุ่มฟล็อกได้ และก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ที่แขวนลอยหรือสารแขวนลอยที่ปนเปื้อนโดยการลอยขึ้นบนผิวอิเล็กโทรไลต์

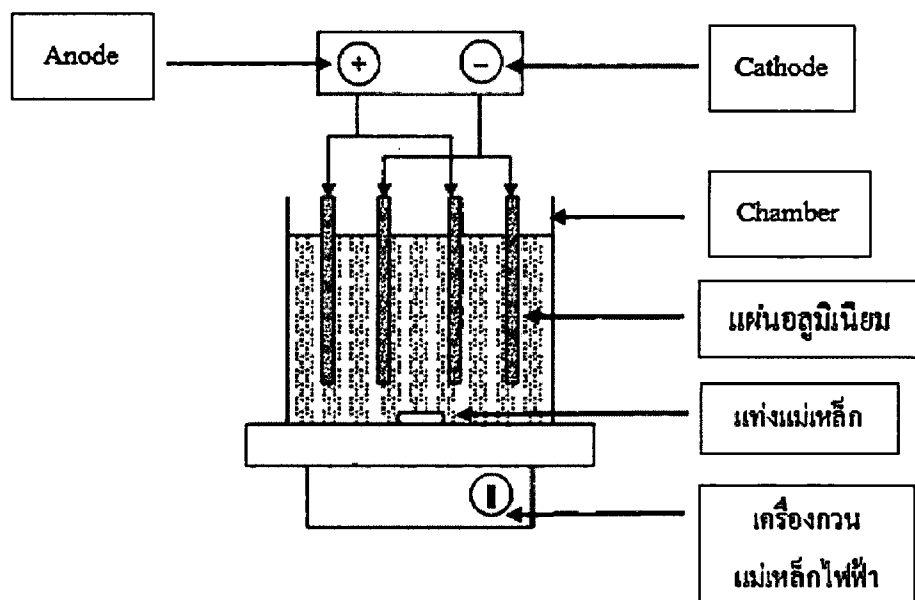
ในช่วงศตวรรษที่ 20 เริ่มมีการใช้ระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้ามาปรับปรุงคุณภาพน้ำและน้ำเสีย แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายอย่าง ทำให้บางครั้งได้ผลดีหรือไม่ดีบ้าง แต่ในช่วงปลายศตวรรษที่ 20 ได้มีการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง จนได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีปรับปรุงคุณภาพน้ำที่มีประสิทธิภาพดีอีกวิธีหนึ่ง และไฟฟ้าได้ถูกนำมาใช้ในงานปรับปรุงคุณภาพน้ำและน้ำเสียที่มีสารปนเปื้อนหลากหลายชนิด เช่น อออนของโลหะหนัก (โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว), ของแข็งแขวนลอย และคอลลอยด์ขนาดเล็ก ในทวีปอเมริกาและยุโรป ได้นำระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าไปใช้ในกระบวนการบำบัดเบื้องต้นในการบำบัดน้ำเสียจาก

อุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ, อุตสาหกรรมอาหาร, อุตสาหกรรมเหมืองแร่ และอุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ (รูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ระบบปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยใช้ระบบการรวมตะกอนด้วยไฟฟ้า
(ที่มา: www.thaiblogonline.com)

ถึงปฏิกรณ์ของระบบการรวมตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation) ทำจากเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) ที่มีขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อเข้ากับแหล่งพลังงานภายนอก ปฏิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) ทำให้เกิดการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดจากปฏิริยาออกซิเดชัน ขณะที่อิเล็กโทรดที่ขั้วลบ (Cathode) เกิดปฏิริยารีดักชัน ซึ่งไม่เกิดการสึกกร่อน สำหรับการัน้ใช้ระบบการรวมตะกอนในการบำบัดน้ำเสียจะต้องใช้ปริมาณอิออนโลหะที่ละลายออกมาจากอิเล็กโทรดจำนวนมากพอต่อปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด จึงต้องใช้อิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมาก ซึ่งสามารถใช้อิเล็กโทรดขั้วเดียว (Monopolar electrodes) ต่อแบบอนุกรมหรือแบบขนาน ชุดทดลองเซลล์ไฟฟ้าแบบง่ายๆ ประกอบด้วยอิเล็กโทรดขั้วบวก และขั้วลบอย่างละคู่ต่อแบบขนานระหว่างกัน และเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ชุดทดลอง Electrocoagulation (อิเล็กโทรดขั้วเดียวต่อแบบขนาน)

นอกจากนี้ จะต้องมีการปรับความต้านทานเพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้า รวมทั้งมีมาตรวัดเพื่ออ่านค่ากระแสไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า แผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า และเกิดการสึกกร่อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า อิเล็กโทรดสังเวย (Sacrificial electrode) ซึ่งอาจใช้โลหะชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันเป็นอิเล็กโทรดขั้วบวกและขั้วลบ โดยทั่วไปนิยมใช้แผ่นโลหะ เช่น เหล็กหรืออลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรดสังเวย เพื่อผลิตไอออนประจุบวกอย่างต่อเนื่อง ไอออนที่ผลิตขึ้นจะทำให้ประจุบวกคอลลอยด์เป็นกลาง และทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ไอออนที่ผลิตขึ้นอาจกำจัดมลสารในน้ำด้วยวิธีอื่น เช่น ปฏิกิริยาเคมี และการตกผลึก หรือเกิดจากการรวมตัวกันของมลสารแล้วลอยขึ้นผิวน้ำ โดยก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้น นอกจากนี้ น้ำที่มีของแข็งแขวนลอย น้ำมันหรือมลสารอื่นๆ เมื่อไหลผ่านสนามไฟฟ้า อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออนไนเซชัน (Ionization), อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) หรือการเกิดอนุมูลอิสระ (Freeradical) ทำให้คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำ และมลสารเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลต่อการกำจัดมลสารออกจากน้ำ เพื่อให้สามารถกำจัดมลสารได้มากขึ้นอาจกำหนดให้น้ำเสียไหลผ่านเซลล์ไฟฟ้าหลายเซลล์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากโลหะต่างชนิดกัน สำหรับการกำจัดมลสารจำเพาะอาจต้องทำการปรับค่า pH, Oxidation Reduction Potential (ORP) และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีขึ้น

2.2.1 ปฏิกริยาในการเกิด Electrocoagulation

ปฏิกริยาเคมี และกลไกการเกิดโคแอกกูเลชันจะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำ ได้แก่ การนำไฟฟ้า, พีเอช, ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดอออนขึ้นกับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ มีปฏิกริยาดังต่อไปนี้

ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) ดังสมการที่ 2.2



ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (Cathode) ดังสมการที่ 2.3 – 2.4



ปฏิกริยารวมที่เกิดขึ้น ดังสมการที่ 2.5 – 2.6



2.2.2 ข้อดี และข้อเสียของระบบ Electrocoagulation

ข้อดีของระบบ Electrocoagulation

1. ใช้พื้นที่น้อยในการติดตั้งเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ เช่น Aerated lagoon, Activated sludge เป็นต้น
2. ใช้เวลาในการบำบัดน้อยกว่าระบบอื่นๆ โดยระบบ Direct Electric Coagulation ใช้เวลาในการตกตะกอน ทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดีของน้ำได้มาตรฐานในเวลาเฉลี่ยเพียง 10 - 60 นาที ในขณะที่ระบบทั่วไปต้องใช้เวลาเป็นวันในการบำบัด
3. ใช้ต้นทุนในการติดตั้ง และดำเนินการต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบทั่วไป
4. สามารถแยกตะกอน และสารแขวนลอยออกจากน้ำเสียได้หลายชนิด เช่น ไขมัน โปรตีน โลหะหนัก สารแขวนลอยต่างๆ เชื้อโรค แบคทีเรีย หรือไวรัส โดยไม่ต้องใช้สารเคมีในการตกตะกอน น้ำที่ผ่านการบำบัดจึงสะอาดปลอดภัยเนื่องจากไม่มีสารเคมีเจือปน
5. น้ำที่ผ่านกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า (Electrocoagulation) สามารถทำให้บริสุทธิ์ได้ง่ายเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการผลิต และต้นทุนของน้ำที่ได้ต่อหน่วยปริมาตรมีราคาต่ำ
6. กลุ่มของตะกอน (Floc) มีรูปร่างลักษณะคล้ายกับกลุ่มของตะกอนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมี แต่กลุ่มตะกอนจากระบบรวมตะกอนด้วยไฟฟ้าจะมีรูปร่างใหญ่กว่า อดมน้ำน้อยกว่า ทนต่อการรบกวนและเสถียรกว่า แยกออกจากน้ำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าด้วยการกรอง

7. ตะกอนที่เกิดจากการบำบัดมีปริมาณต่ำแยกออกจากน้ำได้ง่าย เพราะเป็นส่วนประกอบหลักของตะกอนจะเป็นออกไซด์ และไฮดรอกไซด์ของโลหะ

8. สนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะช่วยเร่งให้อนุภาคเคลื่อนที่เร็วยิ่งขึ้น เกิดการรวมตัวกันมากขึ้น เป็นประโยชน์ในการกำจัดอนุภาคคอลลอยด์ที่มีขนาดเล็กมากๆ

9. ฟองก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการจะช่วยดันตะกอนให้ลอยอยู่บนผิวน้ำทำให้กำจัดตะกอนได้ง่าย

ข้อเสียของระบบ Electrocoagulation

1. โลหะจากอิเล็กโทรดละลายลงสู่น้ำเสีย ทำให้ต้องเปลี่ยนอิเล็กโทรดตามระยะเวลาการใช้งาน

2. การใช้ไฟฟ้าอาจมีราคาแพงในบางพื้นที่

3. อาจเกิดฟิล์มออกไซด์ของเกลือโลหะบนผิวของอิเล็กโทรด ทำให้ประสิทธิภาพของระบบ Electrocoagulation ลดลง ทำให้ต้องทำการล้างอิเล็กโทรดเป็นครั้งคราว

4. น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบ Electrocoagulation ต้องมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเพียงพอ

2.2.3 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อระบบ Electrocoagulation (สมพงษ์, 2551)

1) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density) และระยะเวลาสัมผัส

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบ EC เป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณไอออนของ Al^{3+} และ Fe^{2+} ที่ปล่อยจากอิเล็กโทรด ค่ามวลสมมูลทางเคมีไฟฟ้าสำหรับอลูมิเนียม คือ 335.6 มิลลิกรัมต่อแอมแปร์ชั่วโมง ระบบที่ใช้กระแสไฟฟ้าปริมาณมากต้องการระยะเวลาสัมผัสที่สั้นทำให้ระบบมีขนาดเล็ก แต่การใช้กระแสไฟฟ้าที่ปริมาณสูงเกินไปทำให้เกิดการสูญเสียกระแสไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่น้ำ และทำให้ประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้าลดลง ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า หรือปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อพื้นที่อิเล็กโทรดที่ใช้ในการทำวิจัยมีค่าตั้งแต่ 10 – 2,000 แอมแปร์ต่อตารางเมตร สำหรับระบบ EC ที่เดินระบบได้เป็นระยะเวลานาน และการบำรุงรักษาต่ำโดยไม่ต้องถอดอิเล็กโทรดออกทำความสะอาดบ่อยครั้งมีค่าเท่ากับ 20 – 25 แอมแปร์ต่อตารางเมตร

พบว่าเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจาก 32 - 127.8 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ระยะเวลาสัมผัส 6 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสี (Acid yellow 36) มีค่าเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 21 เป็นร้อยละ 83.5 จากความเข้มข้นสีเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 30 - 80 แอมแปร์ต่อตารางเมตรและพลังงานที่ใช้มีค่าต่ำกว่า 1.5 กิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เมตร สามารถกำจัดน้ำมัน และไขมันออกจากน้ำเสียร้านอาหารได้มากกว่าร้อยละ 94 และกำจัดซีโอไซด์ได้มากกว่าร้อยละ 77 พบว่าระยะเวลาสัมผัสมีค่าลดลงจาก 60 นาที เป็น 6.5 นาที เมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจาก 12.5 แอมแปร์ต่อตารางเมตร เป็น 108.9 แอมแปร์ต่อตารางเมตร ที่ประสิทธิภาพการกำจัด

เดียวกัน ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่เลือกใช้จะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสีย เช่น ค่าพีเอช, อุณหภูมิ และความเข้มข้นของมลสาร เป็นต้น คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจะขึ้นกับปริมาณอิออนที่ละลายออกจากอิเล็กโทรด ซึ่งเท่ากับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ให้และเวลาสัมผัส

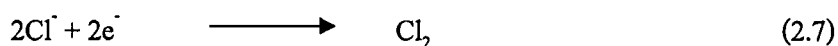
2) ค่าการนำไฟฟ้า และอิออนของคลอไรด์

น้ำที่บำบัดด้วยระบบ EC ต้องมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงเพียงพอ และนิยมใช้เกลือแกลในการเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของน้ำหรือน้ำเสีย พบว่าเมื่อเพิ่มค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียโรงอาหารจาก 443 เป็น 2,850 ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร มีผลทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดลดลงจาก 1.75 เป็น 0.8 โวลต์ ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเดียวกัน มีผลทำให้ความต้องการพลังงานลดลงจาก 1.29 เป็น 0.32 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร และพบว่าค่าการเพิ่มขึ้นของค่าการนำไฟฟ้าไม่ได้เพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด แต่ช่วยประหยัดพลังงานเท่านั้น

นอกจากนี้ อิออนของคลอไรด์สามารถช่วยลดผลกระทบที่เกิดจากอิออนประจุลบชนิดอื่น เช่น HCO_3^- และ SO_4^{2-} โดยเฉพาะในน้ำมีอิออน Ca^{2+} หรือ Mg^{2+} เนื่องจากจะเกิดผลึกเกลือของอิออน Ca^{2+} และ Mg^{2+} เกลือบเป็นชั้นฉนวนรอบผิวของอิเล็กโทรด ทำให้ค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะลดประสิทธิภาพกระแสไฟฟ้า จึงมีข้อเสนอว่าในน้ำควรมีอิออน Cl^- ประมาณร้อยละ 20 ของประจุลบทั้งหมด เพื่อให้สามารถเดินระบบได้เป็นปกติโดยไม่ต้องถอดอิเล็กโทรดออกมาล้างบ่อย นอกจากการเติมเกลือแกลจะช่วยลดการใช้พลังงานแล้ว คลอรีนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ายังช่วยฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้

3) ผลกระทบจากค่าพีเอช

ค่าพีเอชของน้ำ และน้ำเสียในระบบ EC มีผลต่อประสิทธิภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้า และการละลายน้ำของเกลือไฮดรอกไซด์ของโลหะ ประสิทธิภาพการบำบัดขึ้นกับคุณลักษณะของสารที่ต้องการกำจัด ส่วนใหญ่ถูกกำจัดได้ดีที่ค่าพีเอชเป็นกลาง และอัตราการใช้พลังงานมีค่าสูงสุดที่ค่าพีเอชเป็นกลาง แต่ถ้าค่าการนำไฟฟ้ามีค่าสูงเพียงพอ ผลกระทบจากค่าพีเอชจะไม่มีผลสำคัญ ค่าพีเอชของน้ำที่ผ่านกระบวนการ EC มีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับน้ำเสียที่มีค่าพีเอชเริ่มต้นเป็นกรด และมีค่าลดลงสำหรับค่าพีเอชเริ่มต้นที่เป็นด่าง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของกระบวนการนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชที่สถานะเป็นกรดเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น การลดลงของค่าพีเอชเกิดจากปฏิกิริยาการเกิด $\text{Al}(\text{OH})_3$ ที่ขั้วบวกซึ่งปล่อย H^+ และเกิดก๊าซออกซิเจนที่ขั้วบวก ในกรณีที่มีน้ำมีอิออนของคลอไรด์อยู่จะเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้ค่าพีเอชลดลง ดังสมการที่ 2.7 - 2.9



ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชจากการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะถูกปรับด้วย H^+ ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี ดังสมการที่ 2.7 - 2.9 สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชในน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดหลังผ่านกระบวนการ EC อาจเกิดจากก๊าซ CO_2 ซึ่งอยู่ในสภาพอิ่มตัวในน้ำที่เป็นกรดระเหยออกจากรู้น้ำพร้อมกับก๊าซไฮโดรเจน เกิดจากการเกิดผลึกของออลอนลบชนิดอื่น และจากปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจน สำหรับการลดลงของค่าพีเอชของน้ำเสียที่มีสภาพเป็นด่างเกิดจากการเกิดผลึกไฮดรอกไซด์ของออลอนประจุบวก และการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ดังสมการที่ 2.10

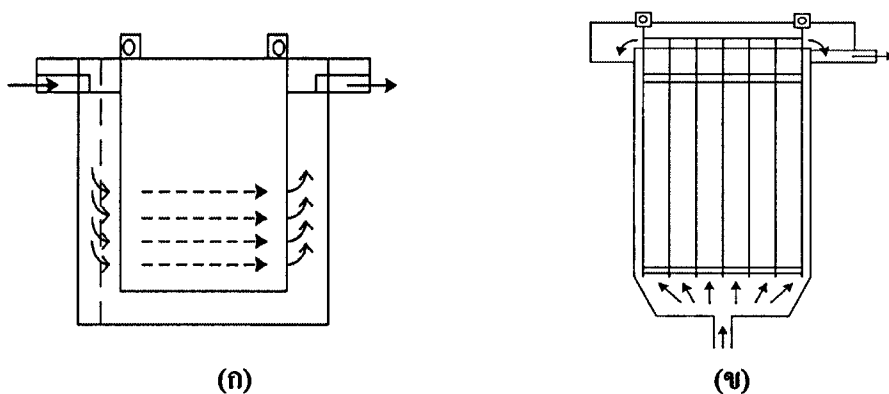


4) ประเภทอิเล็กโทรด

วัสดุที่นิยมใช้ทำอิเล็กโทรด ได้แก่ อลูมิเนียมหรือเหล็ก โดยอาจใช้แผ่นอลูมิเนียม หรือแผ่นเหล็ก หรืออาจใช้เศษโลหะทั้งสองชนิดที่เหลือจากงานการตัด หรืองานโลหะอื่นๆ และควรใช้วัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นตัวขี้ดจับอิเล็กโทรดที่ทำจากเศษโลหะเหล่านี้ ในการใช้งานต้องระมัดระวังการเกิดสัลดั้สะสมระหว่างอิเล็กโทรด และควรทำความสะอาดผิวหน้าของอิเล็กโทรดเป็นประจำ เนื่องจากการกำจัดมลสารต้องใช้ออลอนโลหะที่มากเพียงพอกับปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด อัตราการสึกกร่อนของอิเล็กโทรดสังเวขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสีย โดยเฉพาะในกรณีที่น้ำเสียมีมลสารมาก ต้องใช้ออลอนโลหะจำนวนมากในการตกตะกอนด้วยเช่นกัน

5) การออกแบบถังปฏิกรณ์

ลักษณะการไหลของน้ำเสียภายในถังปฏิกรณ์อาจเป็นการไหลตามแนวนอนหรือไหลตามแนวตั้งขึ้นกับลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ดังปฏิกรณ์ (ก) น้ำไหลตามแนวนอน และ (ข) น้ำไหลตามแนวตั้ง

โดยปกติจะใช้เซลล์ไฟฟ้าอิเล็กโทรด 2 ขั้ว (Bipolar electrodes) ซึ่งเป็นรูปแบบการใช้งาน และการบำรุงรักษาที่ง่าย น้ำเสียจะถูกบังคับให้ไหลผ่านระหว่างแผ่นโลหะอิเล็กโทรด โดยจัดเรียงแผ่นโลหะอิเล็กโทรดให้เป็นช่องหลายช่อง นอกจากนี้ มีการออกแบบดังปฏิกรณ์ทรงกระบอกเพื่อป้องกันปัญหาอุดตัน การเดินระบบ EC อาจเป็นแบบต่อเนื่องหรือแบบแบตช์ ระบบแบตช์เหมาะสำหรับใช้น้ำบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณน้อย และต้องมีระบบกำจัดสัจจต่อจากระบบ EC โดยอาจใช้ถังตกตะกอน หรือใช้ระบบตะกอนลอยที่ติดตั้งระบบไบโควาดสัจจ

6) น้ำประเภทต่างๆ ที่บำบัดด้วยระบบ EC

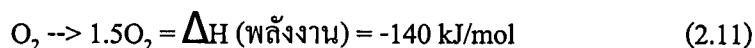
ระบบการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าเหมาะสำหรับใช้ในระบบผลิตน้ำประปา สามารถทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถใช้กำจัดสาหร่าย และจุลินทรีย์ในน้ำ นอกจากนี้ ระบบ EC ยังสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียซึ่งประเภทของน้ำเสียที่ใช้ระบบ EC ในการบำบัด ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานผลิตพรม, โรงงานผลิตเส้นใย, น้ำเสียจากโรงอาหาร, น้ำเสียชุมชน, อิมัลชันของน้ำ – น้ำมันสีขี้ม และฟอกหนัง เป็นต้น นอกจากนี้ สามารถใช้ระบบ EC กำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย เช่น แคดเมียม อาเซนิก โดยอิออนของเหล็กไฮดรอกไซด์รวมตัวกับโลหะหนักเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ทำให้สามารถแยกออกจากน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3 โอโซน (Ozone)

2.3.1 คุณสมบัติของโอโซน

โอโซนเป็นธาตุพื้นฐานตัวหนึ่งในธรรมชาติ ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม เป็นก๊าซที่ไม่เสถียร และสลายตัวเองได้ง่ายเพื่อกลับไปเป็นออกซิเจนในเวลาอันสั้น โอโซนสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติโดยเกิดขึ้นจากการที่รังสีจากดวงอาทิตย์ (รังสี UV ความยาวของคลื่น 185 มิลลิเมตร) ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในชั้นบรรยากาศที่ระดับความสูง 20 - 50 กิโลเมตร เหนือ

ระดับน้ำทะเลแตกตัวออกเป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งอะตอมของออกซิเจนที่แตกตัวนี้จะไปทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นโอโซน โดยปกติโอโซนจะมีอยู่ในอากาศจำนวนเล็กน้อยประมาณ 0.01 - 0.03 พีพีเอ็ม โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร และสลายตัวเป็นออกซิเจน แล้วให้พลังงานออกมาจำนวนหนึ่ง ดังสมการที่ 2.11



โดยทั่วไป ที่ความดันบรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก๊าซโอโซนจะมีค่าครึ่งชีวิตถึง 3 เดือน และถ้าในอากาศมีสารที่ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนได้ ก๊าซโอโซนก็จะมียุสสั้นลง โดยที่ก๊าซโอโซนมีการสลายตัวในน้ำจะเร็วกว่าอากาศ จากการทดลองที่ความดันอากาศ 752 ทอร์ อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส ในน้ำชนิดต่างๆ ที่ความสูง 42 เซนติเมตร เช่น น้ำกลั่นบริสุทธิ์ (Distilled water) ก๊าซโอโซนจะมีค่าครึ่งชีวิตที่ 10 ชั่วโมง น้ำที่สกัดแร่ธาตุออก (Demineralized water) ที่มีค่า Conductivity = 1.35 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร ก๊าซโอโซนจะมีค่าครึ่งชีวิต 80 นาที และน้ำประปา ก๊าซโอโซนจะมีค่าครึ่งชีวิตเพียง 20 นาที และถ้ามีแสงแดด สภาพแวดล้อมที่มีความเป็นด่าง มีกระบวนการออกซิเดชันแบบก้าวหน้าร่วมอยู่ด้วย เช่น มีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, รังสี UV และตัวเร่งอื่นๆ ค่าครึ่งชีวิตของก๊าซโอโซนก็จะยิ่งสั้นลง

โอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่ดีมีค่าศักย์ออกซิเดชันถึง 2.07 โวลต์ สามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่เป็นพิษส่วนมากได้ดี และผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาส่วนมากจะมีพิษน้อยลง และถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ ค่าพลังงานอิสระของโอโซนถึง -400 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าปฏิกิริยาออกซิไดซ์โดยโอโซนจะดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ ปฏิกิริยาของโอโซนที่กระทำต่อสารอินทรีย์มี 2 แบบ คือ โมเลกุลของโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารอินทรีย์โดยตรง และโอโซนในน้ำจะแตกตัวเป็นแรดิคัลที่ว่องไวต่อการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (ยูพา, 2547)

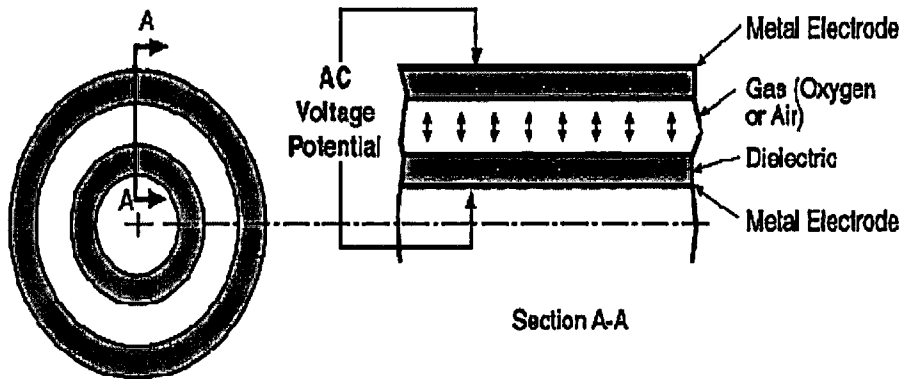
โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเป็นที่ยอมรับว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนถึง 3,125 เท่า เช่น ละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.01 ส่วนในล้านส่วน ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ร้อยละ 99 ภายใน 1 นาที และละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.4 ส่วนในล้านส่วน ฆ่าเชื้อไวรัสได้ร้อยละ 99 ภายใน 4 นาที มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่าย และตะไคร่น้ำ ในระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling tower) ทำให้การถ่ายเทความร้อนของระบบดีขึ้น และช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น (พิเชษฐ์ และสุรพล, 2552)

2.3.2 ระบบการผลิตโอโซน (Ozone Generating System)

สำหรับวิธีการผลิตก๊าซโอโซนแบบ Corona Discharge Generators อุปกรณ์จะประกอบด้วยแผ่นอิเล็กโทรด 2 แผ่น มี Discharge Gap แคบๆ และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Discharge Gap จะเกิดแสงสีฟ้า (Blue Glow) ซึ่งเรียกว่า “Corona” เมื่อมีอากาศถ่ายเทผ่านเข้าไปในช่องว่างนี้ก๊าซออกซิเจนในอากาศบางส่วนจะถูกทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจน และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นโอโซน ดังสมการที่ 2.12



พบว่าอากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ 30 กรัม (หรือประมาณร้อยละ 2.4 น้ำหนักต่อน้ำหนัก) ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์อาจเพิ่มอัตราการผลิตโอโซน ถึง 60 - 90 กรัม ภายในหลอดผลิตโอโซนจะมีการห่อหุ้มด้วยน้ำเพื่อให้มีการระบายความร้อน ถ้ามีน้ำเสียไหลผ่านเข้ามา ถ้าไม่มีการระบายความร้อนอาจเกิดการระเบิดได้ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การผลิตโอโซน

2.3.3 ส่วนประกอบสำคัญของการผลิตโอโซน

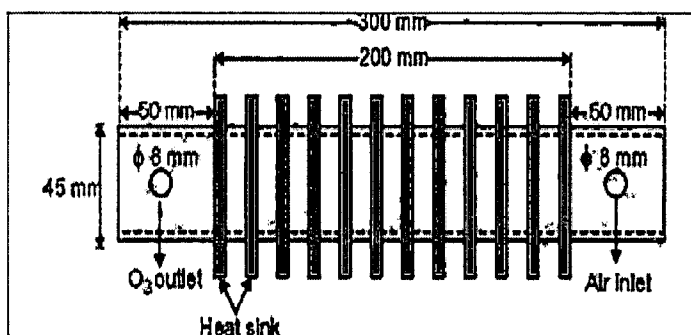
2.3.3.1 เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator, O₃) ประกอบด้วย

- หลอดผลิตโอโซน
- แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

2.3.3.2 เครื่องผลิตออกซิเจน (O₂ Generator) ประกอบด้วย

- แอร์คอมเพรสเซอร์ (ชุดทำความเย็น)
- แอร์โครเออร์ (ชุดทำให้อากาศแห้ง)

หลอดผลิตโอโซน ประกอบด้วย ท่อทรงกระบอก 3 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยสแตนเลส หรือ อลูมิเนียม ชั้นที่ 2 เป็นท่อแก้วไพเร็กซ์ ส่วนทรงกระบอกชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นในสุดเป็นท่อสแตนเลสบาง สำหรับขนาดของท่อ และความยาวของหลอดจะเป็นตัวกำหนดความเข้มของโอโซนที่หลอดผลิตได้ แสดงดังรูปที่ 2.6



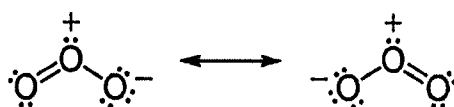
รูปที่ 2.6 หลอดผลิตโอโซน

ในการผลิตโอโซน โดยวิธีนี้อากาศที่ใช้จำเป็น คือ อากาศแห้ง (Dry air) เนื่องจากถ้าใช้ อากาศชื้น (Moist air) แล้วความชื้นจะทำให้การผลิตก๊าซโอโซนได้น้อย และความชื้นจะทำให้เกิดกรดไนตริกขึ้น ซึ่งกรดไนตริกนี้สามารถทำให้เครื่องกำเนิดโอโซน และอุปกรณ์อื่นๆเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้อากาศหรือก๊าซที่จะนำมาผลิตก๊าซโอโซนนั้นต้องแน่ใจว่าไม่มีสารไฮโดรคาร์บอนเจือปน เช่น ก๊าซมีเทนมีสารไฮโดรคาร์บอนเจือปนอยู่ 15 พีพีเอ็ม สารไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในก๊าซมีเทนจะเป็นตัวขัดขวางการเกิดก๊าซโอโซน และถ้าในอากาศมีสารไฮโดรคาร์บอนเกินร้อยละ 1 อากาศนั้นจะไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้

2.3.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน

2.3.4.1 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรง (Direct Oxidation)

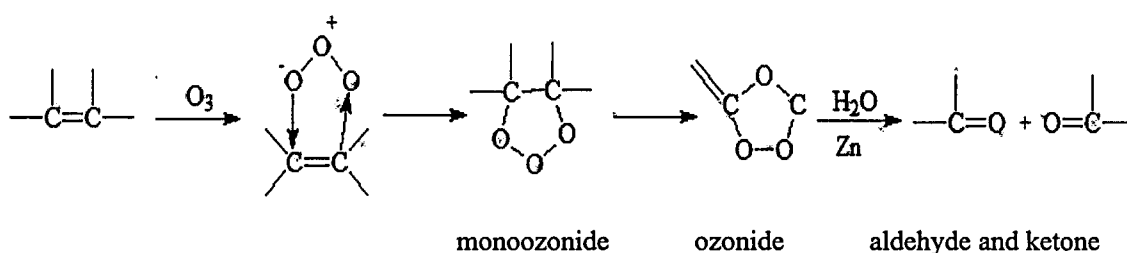
โมเลกุลของโอโซน (O_3) ไม่เป็นเส้นตรง มีพันธะระหว่างออกซิเจน 2 พันธะทำมุมระหว่างพันธะ ความยาวพันธะทั้งสองเท่ากัน คือ 1.278 \AA π อิเล็กตรอนเกิด เรโซแนนซ์ แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดเรโซแนนซ์ของโมเลกุลโอโซน

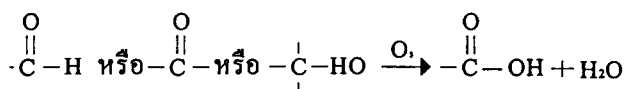
π อิเล็กตรอนจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างออกซิเจนทั้ง 3 อะตอม จากโครงสร้างนี้จะเห็นได้ว่า โอโซนมีอิเล็กตรอนมากเกินพอ และเป็นโมเลกุลมีขั้วจึงสามารถเข้าทำปฏิกิริยาโดยตรงแบบ Dipole – mediat attack หรือแบบ Electrophilic attack

Dipole – mediat attack โอโซนจะหันด้านขั้วลบของโมเลกุลเข้าหาพันธะคู่ของสารอินทรีย์ เกิด intermediate เป็น โมโนโอโซนไนด์และ โอโซนไนด์ แสดงดังรูปที่ 2.8



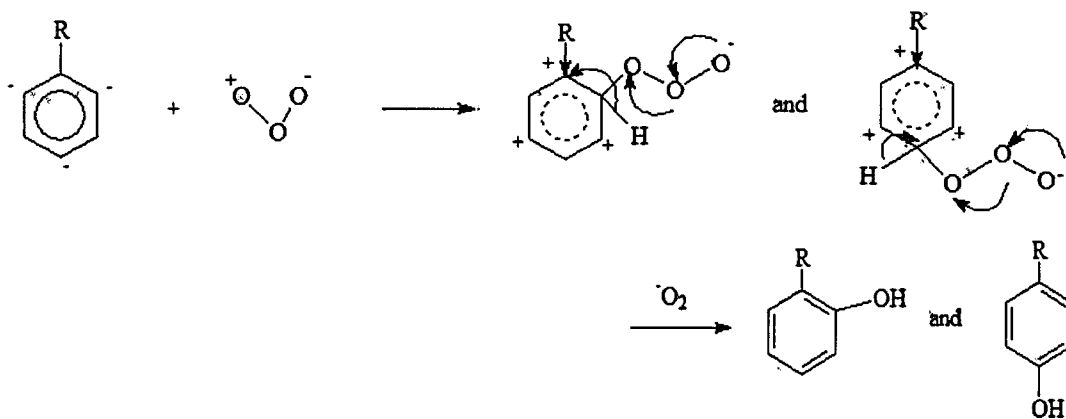
รูปที่ 2.8 การทำปฏิกิริยาของ โอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Dipole – mediat attack

จากนั้นสลายตัวให้อัลดีไฮด์, คีโตน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ส่วนอัลดีไฮด์หรือคีโตนที่เกิดขึ้น รวมทั้งสารพวกแอลกอฮอล์ถูก โอโซนออกซิไดซ์ต่อไปได้ กรดคาร์บอกซิลิก และน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การสลายตัวของอัลดีไฮด์ และคีโตน กลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก

Electrophilic attack โอโซนสามารถทำหน้าที่เป็นอิเล็กโตรไฟล์ (electrophile) โดยหันด้านบวกของโมเลกุลเข้าหาบริเวณที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นของโมเลกุลสารอินทรีย์พวกอะโรมาติก ซึ่งความว่องไวของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับหมู่แทนที่ใน benzene ring ว่าเป็นหมู่ที่ให้อิเล็กตรอน $-\text{OCH}_3$, $-\text{CH}_3$ และ $-\text{NO}_2$ ปฏิกิริยาจะว่องไวขึ้น ถ้าวงเบนซีนมีหมู่แทนที่เป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน (electron withdrawing group) เช่น $-\text{COCH}_3$, $-\text{COOC}_2\text{H}_5$, $-\text{Cl}$, $-\text{SO}_3\text{H}$ จะทำให้ความว่องไวของปฏิกิริยาแทนที่ electrophile ในวงเบนซีนลดลง แสดงดังรูปที่ 2.10

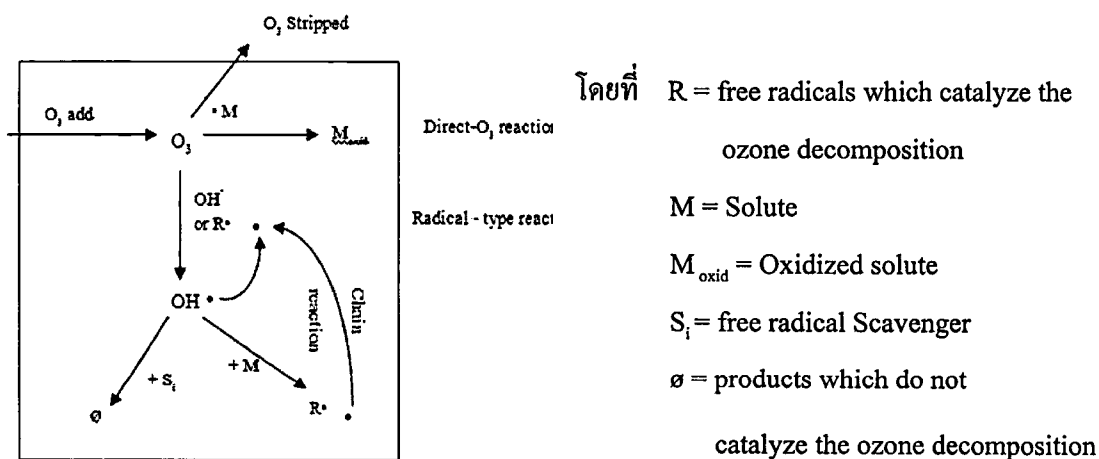


รูปที่ 2.10 การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์แบบ Electrophilic attack

การทำปฏิกิริยาโดยตรงจะเกิดขึ้นกับสารอินทรีย์ที่มีตำแหน่งเฉพาะเจาะจงหรือมีหมู่ฟังก์ชันที่โอโซนสามารถออกซิไดซ์ได้ ถ้าเป็นพวกไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว และ halogenated aliphatic compound โมเลกุลของโอโซนไม่สามารถออกซิไดซ์สารพวกนี้ได้

2.3.4.2 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดผ่านแรดิคัล (Radical - Mediate Oxidation)

แรดิคัลที่เกิดขึ้นระหว่างการสลายพันธะของโอโซนในน้ำมีหลายชนิด ชนิดที่ว่องไวมากที่สุด คือ ไฮดรอกซิลแรดิคัล (OH•) สามารถทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ไม่เลือกชนิด ส่วนแรดิคัลอื่นๆ ที่ว่องไวรองลงมาเป็น Superoxide radical (O₂^{•-}), Ozonide radical (O₃^{•-}) และ Hydroperoxyl radical (HO₂[•]) ซึ่งเป็นแรดิคัลที่ไม่ว่องไวหรือว่องไว้น้อยมาก ปฏิกิริยาของโอโซนในน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.11 (ยูพา, 2547)



รูปที่ 2.11 การทำปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเกิดผ่านแรดิคัล (Radical-Mediate Oxidation)

2.3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการละลายน้ำของโอโซน

1) อุณหภูมิ

โอโซนละลายน้ำได้ดีในที่มีอุณหภูมิต่ำ แต่ถ้าอุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้น จะทำให้ลดอัตราการละลายน้ำของโอโซนลง เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงนั้นจะทำให้โอกาสที่โอโซนจะสลายตัวเป็นออกซิเจนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

2) ค่าพีเอช

โอโซนทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้ดีในสภาวะที่มีฤทธิ์เป็นเบส เพราะ โอโซนจะแตกตัวได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ดีกว่าในสภาพที่เป็นกรด

3) ขนาดของฟองอากาศ

โดยมี Fine bubble diffusers เป็นหัวเติมอากาศ ต่อท่อเพื่อนำก๊าซโอโซนเข้าไปในระบบ โดยเป็นหัวแก๊สที่ Feed โอโซนเข้าไปอยู่ในรูปของฟองอากาศ ยิ่งถ้าฟองละเอียดมากเท่าไร อัตราการละลายน้ำของโอโซนจะมากขึ้นเท่านั้น

4) ค่าอัลคาไลน์ตี

ถ้าน้ำเสียที่ประกอบด้วยไอออนของไบคาร์บอเนต และคาร์บอเนตเป็นตัวขัดขวางการทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ โดยไบคาร์บอเนต หรือคาร์บอเนตจะเข้าไปดูดพลังงานจากไฮดรอกซิลเรดิคัลจนหมดทำให้ปฏิกิริยาลินสุด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรารักษ์ และคณะ (2550) ศึกษาการบำบัดสีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษโดยกระบวนการโอโซนออกซิเดชัน โดยศึกษาปัจจัยและสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดสี คือ ค่าพีเอช, ปริมาณโอโซน และระยะเวลาสัมผัสโอโซนของน้ำทิ้งก่อนผ่านระบบบำบัดของโรงงาน พบว่าน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการโอโซนชั้นสามสามารถลดค่าสีได้ร้อยละ 66.98 และลดค่าซีไอตีได้ร้อยละ 8.16 ในหน่วยมิลลิกรัมต่อลิตร ในสภาวะที่เหมาะสม คือ ค่าพีเอชเท่ากับ 12.0 ± 0.1 อัตราการผลิตโอโซนเท่ากับ 158.2 มิลลิกรัมโอโซนต่อนาที และระยะเวลาสัมผัสโอโซน 40 นาที โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอตีของน้ำทิ้ง กับระยะเวลาสัมผัสโอโซนในการกำจัดสารอินทรีย์ เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสัมผัสโอโซนให้นานขึ้น ค่าซีไอตีของน้ำทิ้งจะลดลงภายใน 5 นาทีแรก และเพิ่มขึ้นในระยะเวลาต่อไป และลดลงอีกครั้งที่เวลา 40 นาที ทั้งนี้เนื่องจากโอโซนทำให้ของแข็งที่ละลายได้ (dissolved solids) กลายเป็นของแข็งที่ไม่ละลาย (suspended solids) และต่อมาโอโซนจะทำให้ของแข็งที่ไม่ละลายดังกล่าวถูกย่อยสลายไปเป็นโมเลกุลขนาดเล็ก ส่งผลให้ตัวอย่างน้ำไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งมีผลทำให้ค่าซีไอตีสูงขึ้นในน้ำที่ผ่านระบบโอโซน

Mouedhen *et al.* (2008) ศึกษาพฤติกรรมของอลูมิเนียมที่ใช้เป็นอิเล็กโทรดในกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยศึกษาอิทธิพลของอิเล็กโทรด ค่าพีเอชในปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส ผลรวมการปลดปล่อยอลูมิเนียม มีการใช้แผ่นอิเล็กโทรดเป็นแผ่นอลูมิเนียมโดยมีความหนา 3 มิลลิเมตร ทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (power supply DC) มีค่ากระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์อยู่ในช่วง 0 - 3 แอมแปร์ และ 0 - 60 โวลต์ ตามลำดับ มีช่องว่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด คือ 4 เซนติเมตร มีการปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที โดยให้ระยะเวลาในการบำบัด 30 นาที มีการศึกษาช่วงพีเอชอยู่ที่ 2 - 12 โดยพีเอชที่มีผลต่อการเพิ่มของความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 2 - 4 มีการปลดปล่อยของอลูมิเนียมที่ขั้วบวก (anode) คือ $Al \rightarrow Al^{3+} + 3e^-$ และขั้วลบ (cathode) คือ $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ และปฏิกิริยารวมจะกลายมาเป็น $Al^{3+} (aq) + 3OH^-(aq) \rightarrow Al(OH)_3$ ซึ่งพบว่าที่ขั้วลบมีการปลดปล่อยของก๊าซไฮโดรเจนด้วย

Pena *et al.* (2003) ศึกษาการกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำตาลในการบำบัดขั้นต้นด้วยวิธีการทางชีวภาพ ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยโอโซนถูกนำมาใช้ โดยเป็นการทดลองแบบครึ่ง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของโอโซนที่เติมลงไป, ระยะเวลาในการกำจัดสี, ปฏิกิริยาจลนพลศาสตร์การกำจัดสี โดยขึ้นอยู่กับการใช้ปริมาณโอโซน ซึ่งสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 71 - 93 และสามารถลดค่าซีไอได้ร้อยละ 15 - 25 เมื่อใช้เวลา 30 นาที พบว่าเมื่อให้โอโซนในระยะเวลาที่นานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี มีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างน้อยก็ต่ำกว่าประสิทธิภาพในการลดลงของสี การที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดียังมีค่าไม่สูงนัก อาจเกิดเนื่องจากสารประกอบสีน้ำตาลภายในน้ำเสียเมื่อทำปฏิกิริยากับ โอโซนจะแตกตัวเป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อไป กรดคาร์บอกซิลิก เป็นตัวบ่งชี้ product ของ melanoidin ในระบบโอโซนเช่น กรดคาร์บอกซิลิก แทบจะไม่แสดงปฏิกิริยาในโอโซน โดยสารประกอบที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ สามารถยืนยันได้โดยวิธี Gel fermentation chromatography มีการแสดงให้เห็นออกมาในรูปของสีน้ำตาลที่อยู่ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบ การศึกษาค่า UV จะช่วยยืนยันถึงสารประกอบของสี พวก melanoidins ผลของความเข้มข้นของโอโซน จะทำให้กลุ่ม chromophore ลดลง การสังเคราะห์ melanoidin ด้วยวิธีโอโซนเช่นภายใต้สภาวะที่เหมือนกันจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสีที่เหมือนกัน จะพบว่าเป็นถึงปฏิกิริยาขั้นที่หนึ่งของสารประกอบสี โดยมีอัตราการใช้ 3.3 ลิตรต่อนาที เติมน้ำเสียในถังปฏิกิริยาครั้งละ 700 มิลลิลิตร

Sangave *et al.* (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยการบำบัดแบบใช้อากาศร่วมกับระบบโอโซนเช่น น้ำเสียมีค่าบีโอดีระหว่าง 35,000 - 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าซีไอดี 100,000 - 150,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดี และการ

กำจัดสี ภายใต้อุณหภูมิ 254 นาโนเมตร มีการควบคุมพีเอชที่ 9 โดยในขั้นแรกจะเป็นการบำบัดขั้นต้นด้วยโอโซนก่อน ต่อด้วยกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศต่อด้วยการเติมโอโซนอีกครั้งหนึ่ง พบว่าถ้าให้โอโซนเพียงอย่างเดียวในการบำบัดขั้นต้น ให้ปริมาณน้ำเสีย 700 มิลลิลิตร จะสามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 27 แต่ถ้ามีการทำงานร่วมกัน ให้อัตราการไหลเท่ากับ 2.8 ลิตรต่อนาที ความเข้มข้นของที่ 0.019 กรัมต่อลิตร โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาทีจะสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้ถึงร้อยละ 79 และสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 34.9

Wang et al, (2008) เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีที่ผ่านการชักรีดโดยใช้กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันร่วมกับอิเล็กโทรเฟนทอน จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อประยุกต์ใช้ Ultrasound ในกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดถึงร้อยละ 62 และเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีเพิ่มขึ้น ควรทำการทดลองโดยใช้แรงดันไฟฟ้าที่ 5 โวลต์ การใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากอลูมิเนียมจะให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีกว่าการใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากเหล็ก และสามารถลดค่าซีโอดีได้สูงสุดต่อจุล เท่ากับ 999 มิลลิกรัมกิโลวัตต์ต่อลูกบาศก์เดซิเมตรชั่วโมง

Yavuz (2007) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธี Electrocoagulation และ Electrofenton โดยวิธี Electrocoagulation จะใช้แผ่นเหล็กจำนวน 6 แผ่นขนาด 4 x 4 เซนติเมตร โดยมีระยะห่าง 3 มิลลิเมตร เป็นอิเล็กโทรด ใส่น้ำเสียปริมาณ 1 ลิตร โดยถ้าจะกำจัดอินทรีย์วัตถุที่มีความเข้มข้นสูง ต้องใช้ 2 วิธีร่วมกันจึงจะบำบัดได้ดี โดยวิธี Electrofenton จะขึ้นกับปริมาณความหนาแน่นของกระแส, ความเข้มข้นของ H_2O_2 และค่าพีเอช วิธี Electrocoagulation จะบำบัดในสถานะที่ดีที่สุดที่ความหนาแน่นของกระแสเท่ากับ 60 มิลลิแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ คือ Na_2SO_4 มีความเข้มข้น 0.3 โมล ควบคุมพีเอช อยู่ที่ 4 ค่าซีโอดีของน้ำเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4,000 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยเมื่อผ่านการบำบัดแล้วพบว่า ค่าที่ไอซีและซีโอดี มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 60

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แผ่นอะคริลิกใสที่ใช้ในการทำ Chamber ขนาด 12 x 12 x 30 เซนติเมตร
2. แผ่นอลูมิเนียมขนาด 10 x 15 x 0.2 เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น บริษัท เอส.เค.คาบิเนท จำกัด ประเทศไทย
3. เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (Power Supply DC) รุ่น GPS – 3030 ยี่ห้อ GW Instek ประเทศมาเลเซีย
4. สายไฟหัวคิ๊บสำหรับต่อกระแสไฟฟ้า จำนวน 2 เส้น
5. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมแท่งแม่เหล็ก จำนวน 1 ชุด ยี่ห้อ Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. เครื่องมัลติมิเตอร์ (Multimeter) รุ่น MXLM 3 ยี่ห้อ SECUR'X ประเทศฝรั่งเศส
7. ตัววัดกระแสไฟฟ้า (Ampmeter) รุ่น MXLM 3 ยี่ห้อ SECUR'X ประเทศฝรั่งเศส
8. เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator) บริษัท พี.เอส.ซี. เทคคิงแอนด์ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด ประเทศไทย
9. เครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV - Visible Spectrophotometer) รุ่น 6405 บริษัท Jenway ประเทศอังกฤษ
10. เครื่องวัด pH (pH meter) รุ่น model 250 บริษัท Denver Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
11. เครื่องวัดความนำไฟฟ้า (Conductivity meter) รุ่น LF320 ยี่ห้อ Wissenschaftlich Technische (WTW) บริษัท A Nova Analytics ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
12. เครื่องวัดค่าการละลายออกซิเจน (DO Meter) รุ่น 9300 บริษัท Jenway ประเทศอังกฤษ
13. เครื่องวัดปริมาณสารอินทรีย์ (TOC) รุ่น TOC – V_{CSH} บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
14. ตู้อบ (Oven) บริษัท Fisher Scientifica ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 20±1 องศาเซลเซียส บริษัท Velp Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น TC-254 บริษัท Denver Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา
17. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

18. เครื่องวัดอัตราการไหลก๊าซไอโซน (Flow meter) รุ่น Solida บริษัท เจ ชัมมิต จำกัด ประเทศไทย
19. เครื่องกรองแบบลดความดัน รุ่น A-3s บริษัท Tokyo Rikakikai ประเทศญี่ปุ่น
20. หลอดย่อยสลาย (Digestion Vessels) บริษัท Pyrex Laboratory Glassware ประเทศเม็กซิโก
21. เครื่อง Centrifuge รุ่น model 1010 บริษัท Centurion Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา พร้อมหลอด Centrifuge
22. ขวดบีโอดี ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร บริษัท Wheaton ประเทศสหรัฐอเมริกา
23. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

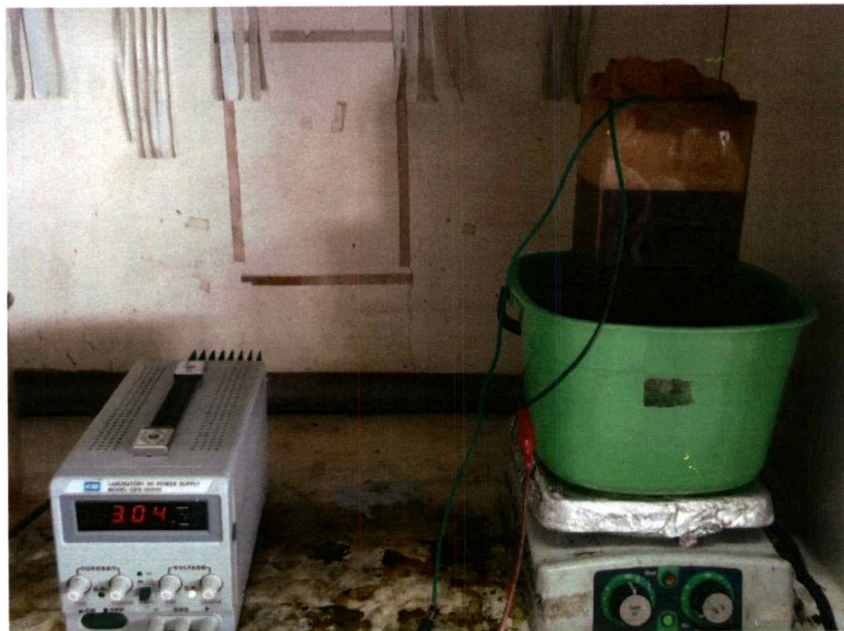
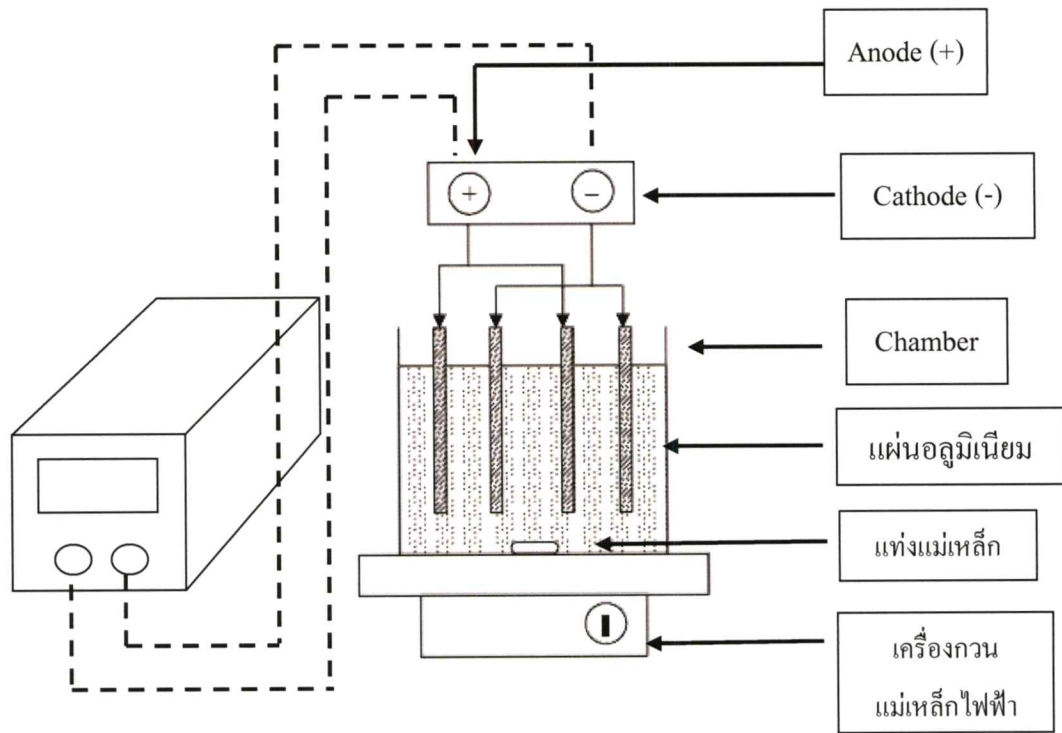
3.1.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 98.08% เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Mallinckrodt บริษัท แกล็บซีส ประเทศไทย
2. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
3. โซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
4. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
5. ซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
6. เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท APEX ประเทศเยอรมนี
7. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
8. โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (KHP) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท APEX ประเทศเยอรมนี
9. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
10. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Poch ประเทศโปแลนด์
11. แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Mallinckrodt บริษัท แกล็บซีส ประเทศไทย

12. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
13. ไดโปแตสเซียมฟอสเฟต (K_2HPO_4) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
14. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
15. แอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
16. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher ประเทศอินเดีย
17. โซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี
18. เมอคิวรี (II) ซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ ยี่ห้อ Carlo บริษัท ACS Cenon และ Italmar ประเทศเยอรมนี

3.1.3 น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ (Distillery Slop) เป็นน้ำทิ้งที่ออกจากหมักกลั่น ในกระบวนการผลิตแอลกอฮอล์ที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ แล้วนำไปหมักก๊าซชีวภาพก่อนปล่อยลงบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ซึ่งน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเก็บจากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศที่ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ปี ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.2 การต่อขั้วอิเล็กโทรดแบบขนานของชุดทดลองการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

3.2.2 ศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสีย

วิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ก่อนและหลังการบำบัด ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

พารามิเตอร์	วิธีการ/เครื่องมือที่ใช้วัด
อุณหภูมิ (°C)	Thermometer
พีเอช (pH)	pH meter
ค่าการนำไฟฟ้า (ms/cm)	Conductivity meter
ความขุ่น	UV-Visible Spectrophotometer
ซีโอดี (COD, mg/L)	Closed Reflux (APHA, 2005) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)
บีโอดี (BOD, mg/L)	DO Meter (APHA, 2005) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)
ทีโอซี (TOC, mg/L)	Total Organic Carbon Analyzer

3.2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

3.2.3.1 ศึกษาผลของพีเอช

1. เติมตัวอย่างน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ลงในถังปฏิกรณ์ปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร
2. ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที
3. ปรับพีเอชน้ำเสียเป็นพีเอช 6 ด้วยกรดซัลฟิวริก
4. จ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง กำหนดกระแสไฟฟ้าไว้ที่ 3 แอมแปร์ และใช้เวลาในการบำบัด 1 ชั่วโมง
5. บันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่เวลาทุก 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 10 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บจากข้อ 5 ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที
7. วิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียหลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, ค่าการนำไฟฟ้า, ความขุ่น และทีโอซี

8. ทำการทดลองซ้ำ เช่นเดียวกับข้อ 1 - 7 อีก 1 ซ้ำ
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 - 8 แต่ปรับค่าพีเอชเป็น 4 ด้วยกรดซัลฟิวริก และไม่ปรับค่าพีเอช ตามลำดับ
10. ทำชุดควบคุม โดยปรับค่าพีเอชของน้ำเสียเป็นพีเอช 4, 6 และไม่ปรับพีเอชตามลำดับ โดยไม่จ่ายกระแสไฟฟ้า

3.2.3.2 ศึกษาผลของกระแสไฟฟ้า

1. เติมตัวอย่างน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ลงในถังปฏิกริยาปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร
2. ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที
3. ปรับค่าพีเอชของน้ำเสียให้เป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.3.1
4. จ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้กระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ ใช้เวลาในการบำบัด 1 ชั่วโมง
5. บันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่เวลาทุก 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 10 มิลลิลิตร ที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ
6. นำตัวอย่างที่เก็บจากข้อ 5 ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที
7. วิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสียหลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ได้แก่ พีเอช, อุณหภูมิ, ค่าการนำไฟฟ้า, ความขุ่น และทีโอซี
8. ทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 1 - 7 อีก 1 ซ้ำ
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 - 8 โดยแปรค่ากระแสไฟฟ้าที่ 1 และ 2 แอมแปร์ ตามลำดับ

3.2.3.3 ศึกษาผลของระยะเวลา

1. เติมตัวอย่างน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ลงในถังปฏิกริยาปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร
2. ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ความเร็ว 200 รอบต่อนาที
3. ปรับพีเอชน้ำเสียให้เป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.3.1
4. ปรับค่ากระแสไฟฟ้าที่สภาวะเหมาะสมจากข้อ 3.2.3.2 ใช้เวลาในการบำบัด 1 ชั่วโมง
5. บันทึกค่าศักย์ไฟฟ้าที่เวลาทุก 10 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างจำนวน 10 มิลลิลิตร ทุกๆ 30 นาที
6. นำตัวอย่างที่เก็บจากข้อ 5 ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

7. วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ หลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ได้แก่ อุณหภูมิ, พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ความขุ่น และทีโอซี
8. ทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 1 - 7 อีก 1 ชั่วโมง
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 - 8 โดยแปรค่าระยะเวลาที่ 30, 90 และ 120 นาที ตามลำดับ

3.2.3.4 ศึกษาผลของการสีกร่อนของแผ่นอิเล็กโทรด

1. อบแผ่นอลูมิเนียมที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักแผ่นอลูมิเนียมก่อนการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. นำน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ใส่ลงในถังปฏิกริยาปริมาตร 2,000 มิลลิลิตร
4. ปรับพีเอชให้ได้สถานะที่เหมาะสมจากข้อที่ 3.2.3.1
5. ถ่ายกระแสไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.2.3.2
6. บันทึกค่ากระแสไฟฟ้าที่เวลาทุก 10 นาที จนครบเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากข้อ

3.2.3.3

7. นำแผ่นอลูมิเนียมหลังจากผ่านการบำบัดมาล้างด้วยน้ำจนสะอาด เช็ดให้แห้งแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. ชั่งน้ำหนักแผ่นอลูมิเนียมหลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า
9. ทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อ 1 - 8 อีก 1 ชั่วโมง
10. คำนวณหาค่าการใช้งานของแผ่นอิเล็กโทรด จากสมการ 3.1 และ 3.2

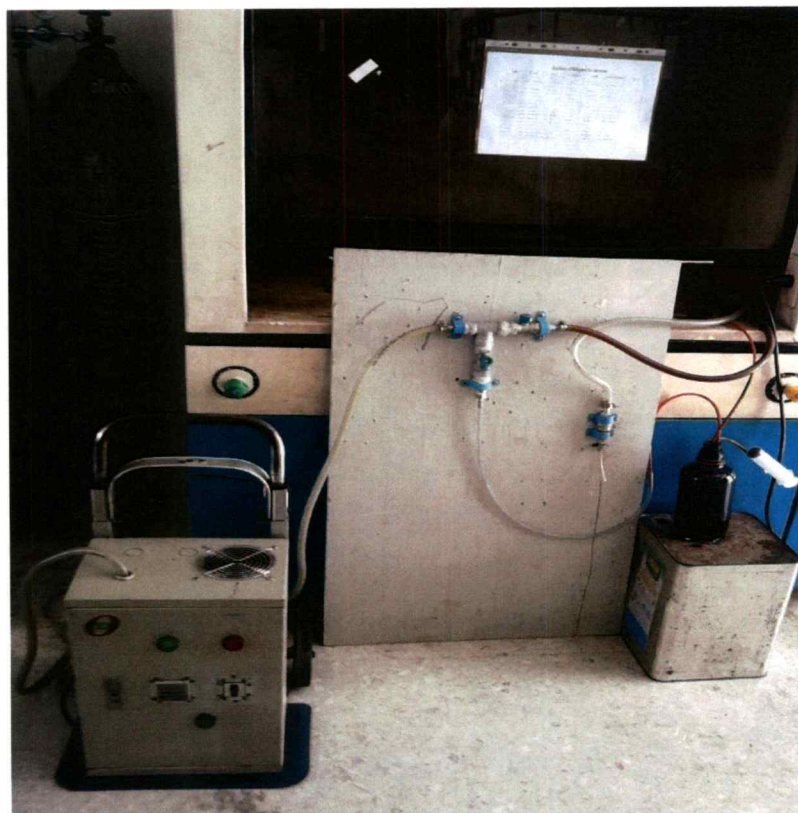
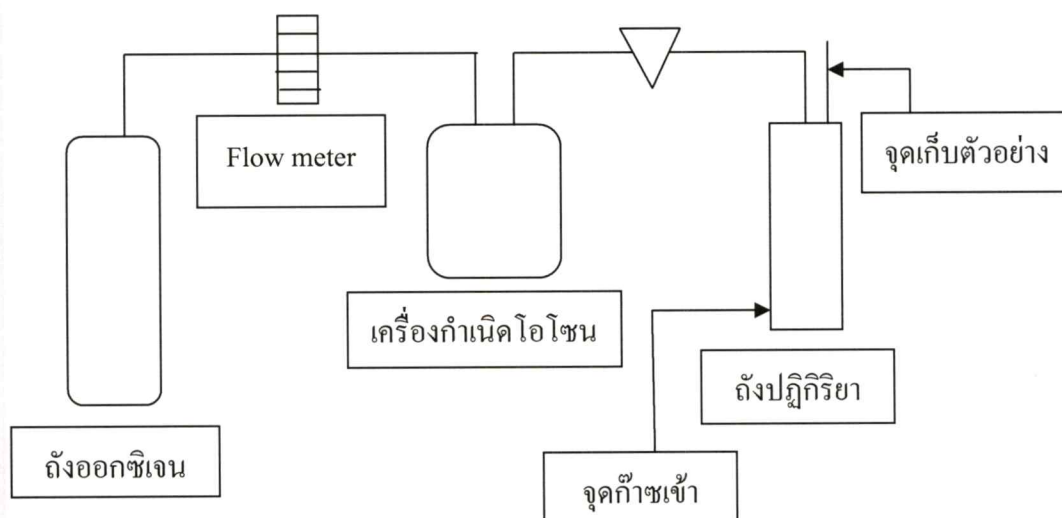
(Hanafi *et al.*, 2010)

$$C_{\text{electrode}} = \frac{(I \times t \times M) \times 10^{-3}}{z \times F \times v} \quad (3.1)$$

โดย	$C_{\text{electrode}}$	คือ	การใช้งานของอิเล็กโทรด (kg Al/m^3)
	I	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)
	t	คือ	เวลาที่ใช้ (s)
	M	คือ	มวลโมเลกุลของอลูมิเนียม (26.98 g/mol)
	z	คือ	number of electron transfer = 3

3.2.6 ศึกษาผลการบำบัดด้วยก๊าซโอโซน

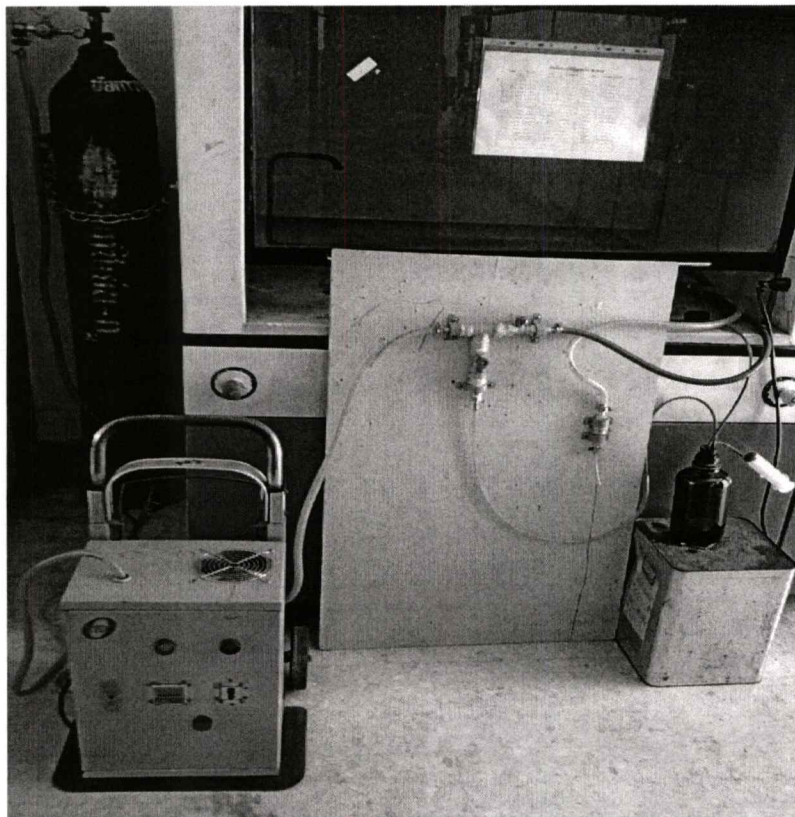
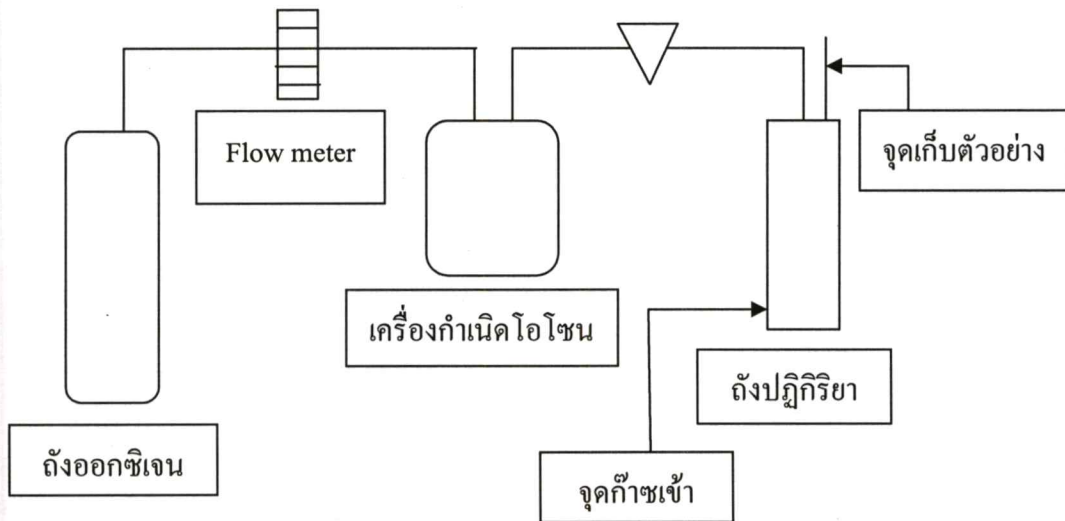
นำน้ำเสียหลังจากการบำบัดที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการบำบัดโดยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าจากการทดลองตอนที่ 3.2.3 มาบำบัดโดยวิธีการเติมโอโซน มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.3 การติดตั้งระบบโอโซนชั้น

3.2.6 ศึกษาผลการบำบัดด้วยก๊าซโอโซน

นำน้ำเสียหลังจากการบำบัดที่สภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการบำบัดโดยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าจากการทดลองตอนที่ 3.2.3 มาบำบัดโดยวิธีการเติมโอโซน มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 3.3 การติดตั้งระบบโอโซนชั้น

1. ติดตั้งระบบการเติมโอโซน ดังแสดงในรูปที่ 3.3
 2. นำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าในสถานะที่เหมาะสม จากการทดลองที่ 3.2.3 ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในถังปฏิบัติการ
 3. เปิดเครื่องโอโซน วัดความเข้มข้นของโอโซนโดยใช้ KI 2% เติมโอโซนให้แก่ระบบ โดยใช้อัตราการไหลของอากาศอัดที่มีก๊าซออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที
 4. เก็บตัวอย่างที่บำบัดด้วยก๊าซโอโซนที่เวลา 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที
- ตามลำดับ
5. นำตัวอย่างที่บำบัดด้วยก๊าซโอโซนที่จากข้อ 4 ไปวิเคราะห์คุณลักษณะของน้ำเสีย ได้แก่ พีเอช, ค่าการนำไฟฟ้า, ความขุ่น, ทีโอซี, บีโอดี และซีโอดี
 6. ทำการทดลอง เช่นเดียวกับข้อที่ 2 – 5 อีก 1 ชั่วโมง
 7. ทำชุดควบคุม โดยนำน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าในสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.3 ตั้งทิ้งไว้ โดยไม่ผ่านการเติมก๊าซโอโซน

3.2.7 ศึกษาค่าใช้จ่ายจากการคำนวณค่าไฟฟ้า

ศึกษาค่าใช้จ่ายจากการคำนวณค่าไฟฟ้า งานวิจัยนี้คิดตามการคำนวณค่าไฟฟ้าทั่วไปตามบ้านเรือน โดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละชนิดมีกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน ในการทดลองนี้ได้มีปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้า 1, 2 และ 3 แอมแปร์ โดยคำนวณจาก สมการที่ 3.3

$$\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} = \text{กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)} \times \text{ความต่างศักย์ (โวลต์)} \quad (3.3)$$

สำหรับการคำนวณจากกำลังไฟฟ้าเป็น หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) โดยใช้ระยะเวลาในการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นหน่วยวินาที โดยสามารถคำนวณได้ จากสมการที่ 3.4

$$\text{หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{ระยะเวลาในการใช้ (ชั่วโมง)}}{1,000 \text{ (กิโลวัตต์)}} \quad (3.4)$$

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ก่อนการบำบัด

น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่ผ่านกระบวนการบำบัดแบบไร้อากาศเป็นเวลาประมาณ 1 ปี ลักษณะดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ก่อนการบำบัด

พารามิเตอร์น้ำเสีย	ก่อนบำบัด
พีเอช	8.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	33.35
ค่าการดูดกลืนแสง	0.988
ซีไอดี (มก./ล.)	40,800
บีไอดี (มก./ล.)	27,300
ทีไอซี (มก./ล.)	16,420

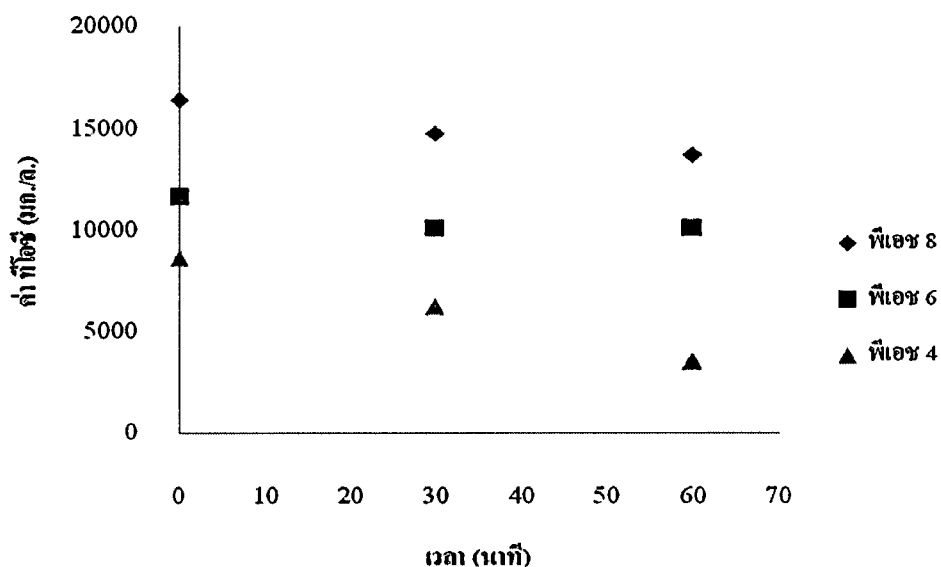
*หมายเหตุ : ค่าการดูดกลืนแสงหลังจากเจือจางด้วยน้ำกลั่น 500 เท่า

4.2 ผลของปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

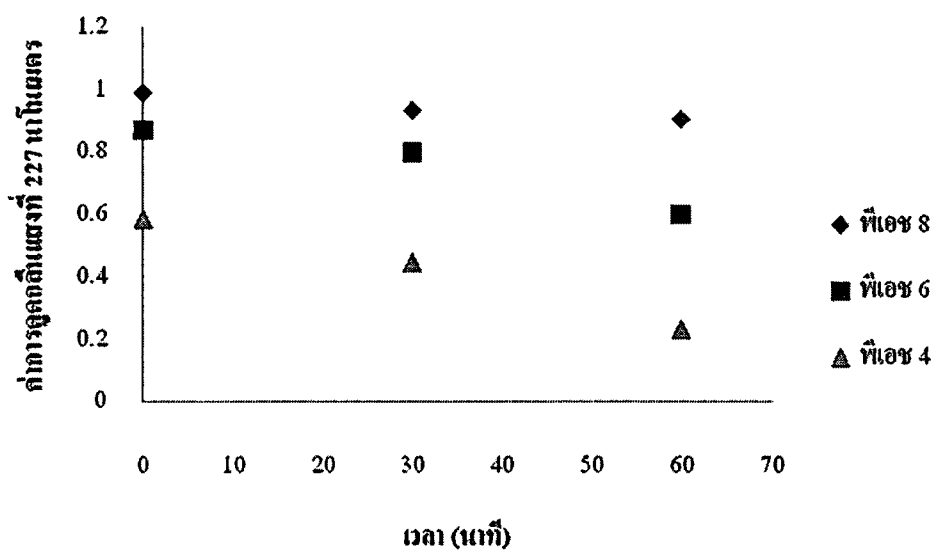
4.2.1 ผลของพีเอช

จากการศึกษาผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้ขั้วลุ่มเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด โดยจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงที่ที่ 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 30 และ 60 นาที แปรค่าพีเอชเป็นพีเอช 4, 6 และไม่ปรับพีเอช (พีเอช 8) ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.1

(ก)



(ข)

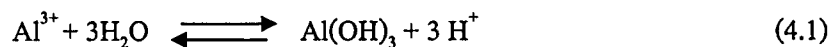


รูปที่ 4.1 ผลของฟิชต่อประสิทธิภาพการกำจัด (ก) ทีไอซี และ (ข) ค่าดูกลืนแสง ในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ (เจือจาง 500 เท่า)

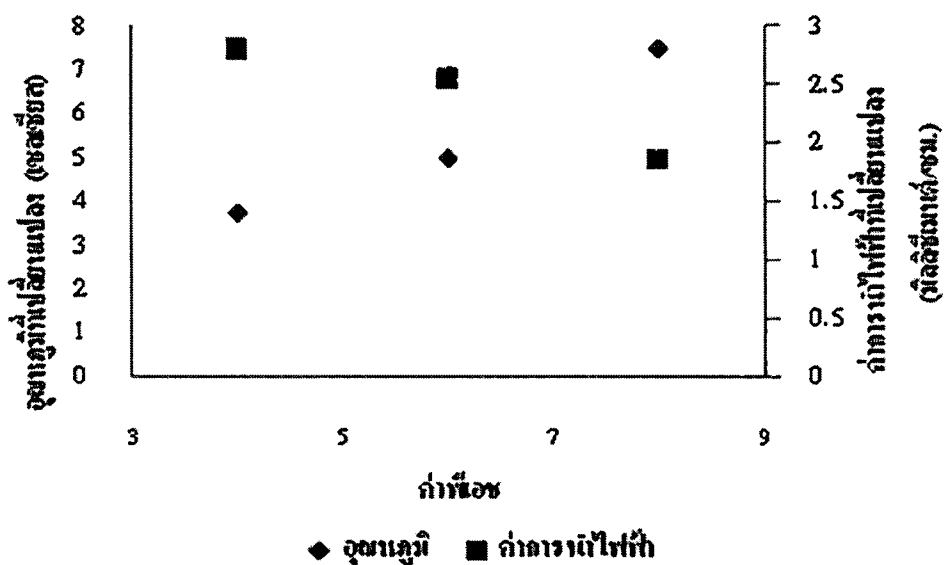
จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มความเป็นกรดและเพิ่มเวลาในการบำบัด จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดทีไอซีเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yavuz (2007) และ (Mouedhen *et al.*, 2008)

จากรูปที่ 4.1 (ก) แสดงให้เห็นว่าการบำบัดเกิดได้ดีในสภาวะที่เป็นกรด ที่ฟิช 4 สามารถกำจัดทีไอซีได้ดีที่สุด รองลงมาคือฟิช 6 และฟิช 8 โดยค่าฟิชที่ 4, 6 และ 8 มีค่าทีไอซีที่เวลา

30 นาที เท่ากับ 6,205, 10,080 และ 14,775 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เวลา 60 นาที มีค่าที่ไอซี เท่ากับ 3,530, 10,080 และ 13,695 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดูรายละเอียดตารางที่ ข-1.1 - ข-1.3 ภาคผนวก ข-1) การปรับพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียให้เป็นกรดก่อนการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า สามารถกำจัดที่ไอซีได้ โดยที่พีเอช 4 สามารถลดค่าที่ไอซีจาก 16,420 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเหลือ 8,641 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดแก่เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) เกิดเป็นไฮโดรเนียมไอออน (H_3O^+) ซึ่งเป็นประจุตรงข้ามกับคอลลอยด์ที่มีประจุลบ จึงเข้าไปทำลายเสถียรภาพของคอลลอยด์ โดยลดความหนาของชั้นกระจาย (diffuse layer) ทำให้คอลลอยด์แยกออกจากน้ำเสียโดยการรวมตะกอน (สมพงษ์, 2551) เมื่อให้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์แก่ระบบการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าเป็นเวลา 60 นาทีที่พีเอช 4 สามารถลดค่าที่ไอซีจาก 8,641 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงเหลือ 3,530 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้เนื่องจากในสภาวะเป็นกรด อลูมิเนียมจะแตกตัวเป็นอลูมิเนียมไอออนและทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $Al(OH)_3$ ซึ่งทำหน้าที่จับกับคอลลอยด์ในน้ำเสียโดยกลไกการดูดติดผิว เกิดเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่ แยกออกจากน้ำเสีย (Bayramoglu *et al.*, 2004) ดังสมการที่ 4.1



จากรูปที่ 4.1 (ข) แสดงให้เห็นว่าการลดลงของพีเอช และการเพิ่มเวลาในการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า จะเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่น ซึ่งสอดคล้องกับผลการกำจัดค่าที่ไอซีดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) พบว่า พีเอช 4 และเวลาในการบำบัด 60 นาที สามารถลดค่าดูดกลืนแสง (λ_{max}) จาก 0.588 ลดลงเหลือ 0.229 (เงืงจาง 500 เท่า) ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร (λ_{max}) (ดูรายละเอียดตารางที่ ข-1.4 - ข-1.6 ภาคผนวก ข-1)



รูปที่ 4.2 ผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงขุ่นหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้า

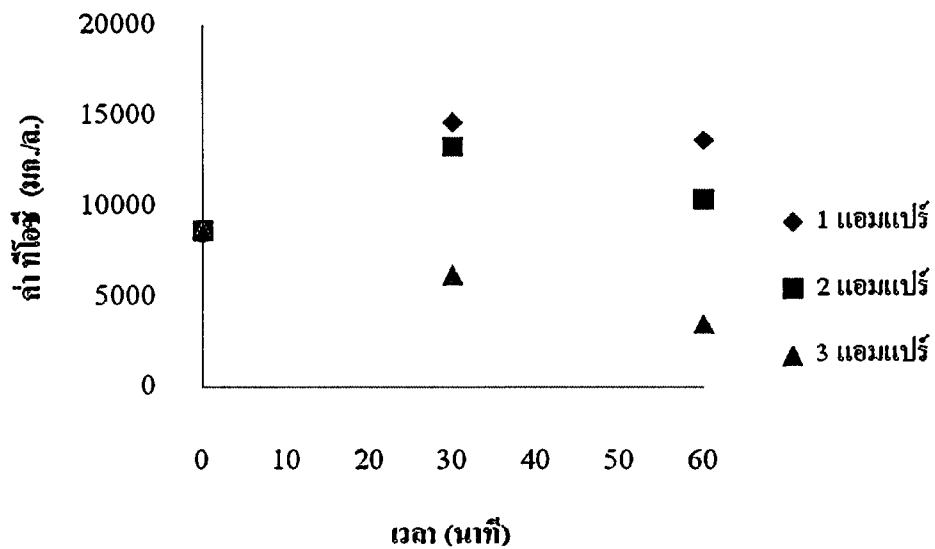
รูปที่ 4.2 แสดงผลของพีเอชต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสีย หลังผ่านการบำบัด พบว่าการเพิ่มขึ้นของพีเอช จะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มลดลง นั่นคือ น้ำเสียหลังการบำบัดที่พีเอช 4, 6 และ 8 จะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 3.75, 5.00 และ 7.50 องศาเซลเซียส และค่าการนำไฟฟ้าที่ลดลง ไป 2.80, 2.55 และ 1.85 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข-1 ในตาราง ข-1.7 – ข-1.12) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ระบบ มีผลต่อปริมาณการปล่อยไอออนของอลูมิเนียมออกจากขั้วแอโนด ที่พีเอช 4 อลูมิเนียมไอออนแตกตัวได้ดีกว่า จึงมีค่าการนำไฟฟ้าดีกว่า ส่วนที่พีเอช 8 อลูมิเนียมไอออนแตกตัวออกจากขั้วแอโนดได้น้อยกว่า ทำให้กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งสูญเสียไปในการให้ความร้อนแก่น้ำ จึงทำให้อุณหภูมิน้ำเสียหลังการบำบัดสูงขึ้น (www.tpub.com/content/doe/h1015v2/css/h1015v2_38.htm.)

4.2.2 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้า

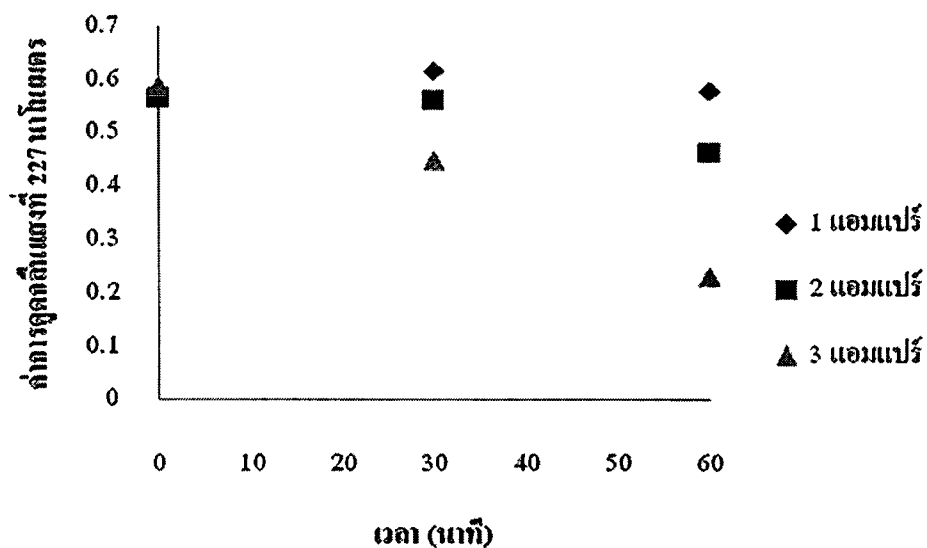
การศึกษาผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้พีเอช 4 ที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง 4.2.1 ระยะเวลาในการบำบัด 60 นาที โดยแปรค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าเป็น 1, 2 และ 3 แอมแปร์ ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 (ก)

จากรูปที่ 4.3 (ก) แสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่บำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า เมื่อใช้ปริมาณกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ค่าที่ไอซีมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Yavuz (2007) จากผลการทดลองพบว่า เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ จะลดค่าที่ไอซีได้ดีที่สุด รองลงมาคือ กระแสไฟฟ้าที่ 2 และ 1 แอมแปร์ ตามลำดับ นั่นคือ ที่กระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ เวลา 30 นาที สามารถลดค่าที่ไอซีลงเหลือ 6,205 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เวลา 60 นาที สามารถลดค่าที่ไอซีลงเหลือ 3,530 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาบำบัด 60 นาที ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 2 แอมแปร์ สามารถลดค่าที่ไอซีลงเหลือ 10,358 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ สามารถลดค่าที่ไอซีลงเหลือ 13,696 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.1 – ข-2.3 ภาคผนวก ข-2) ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ และ 2 แอมแปร์ ความสามารถในการแตกตัวของไอออนของอลูมิเนียม (Al^{3+}) ยังมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการทำลายเสถียรภาพของอนุภาคคอลลอยด์อนุภาคที่รวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่จนตกตะกอนจึงมีปริมาณน้อย ส่งผลให้แนวโน้มของค่าที่ไอซีจึงสูงขึ้น (สมพงษ์, 2551)

(ก)



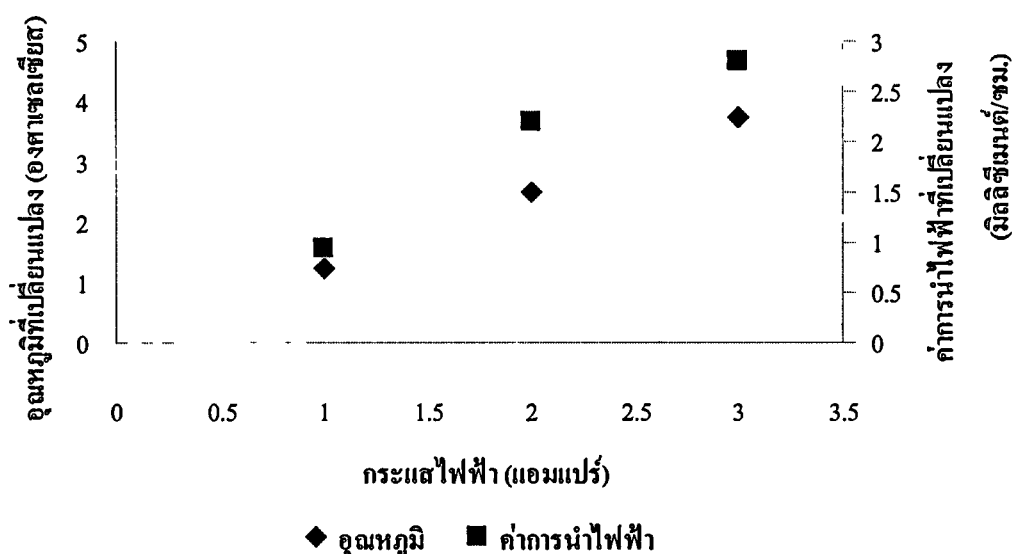
(ข)



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการกำจัด (ก) ทีไอซี และ (ข) ค่าคลอรีนตกค้างในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ (เจือจาง 500 เท่า)

รูปที่ 4.3 (ข) แสดงว่าเมื่อจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้ามากขึ้น และระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความขุ่นลดลง จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาในการบำบัด 60 นาที การจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ สามารถกำจัดความขุ่นได้ดีที่สุด โดยมีค่าการตกค้างแสงเท่ากับ 0.229 (เจือจาง 500 เท่า) ส่วนที่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 1 แอมแปร์ แทบไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้เลย และที่ปริมาณกระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ สามารถกำจัดความขุ่นได้เพียงเล็กน้อย (ดูรายละเอียดใน

ตารางที่ ข-2.4 – ข-2.6 ภาคผนวก ข-2) ซึ่งสอดคล้องกับผลการกำจัดค่าที่โอซีคังแสดงในรูปที่ 4.3 (ก)



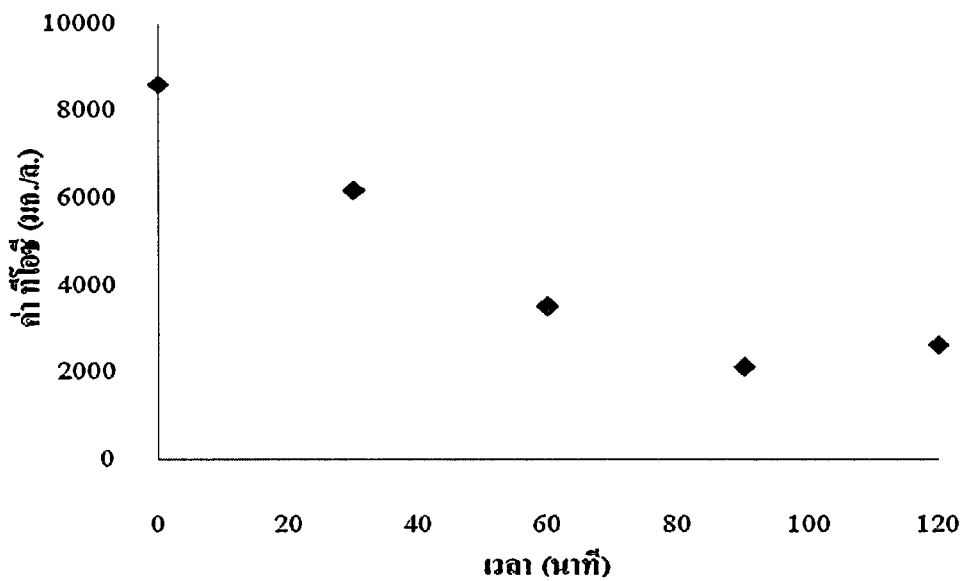
รูปที่ 4.4 ผลของปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้า

รูปที่ 4.4 แสดงว่าเมื่อจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ที่พีเอช 4 ระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ 1, 2 และ 3 แอมแปร์ จะทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป 1.2, 2.5 และ 3.75 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.7 – ข-2.9 ภาคผนวก ข-2) ส่วนค่าการนำไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง 0.95, 2.2 และ 2.8 มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-2.10 – ข-2.12 ภาคผนวก ข-2) ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อจ่ายปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จะทำให้การแตกตัวของขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ กระแสไฟฟ้าบางส่วนยังสูญเสียไปในการให้ความร้อนแก่น้ำ ทำให้อุณหภูมิหลังการบำบัดเพิ่มขึ้น (สมพงษ์, 2551)

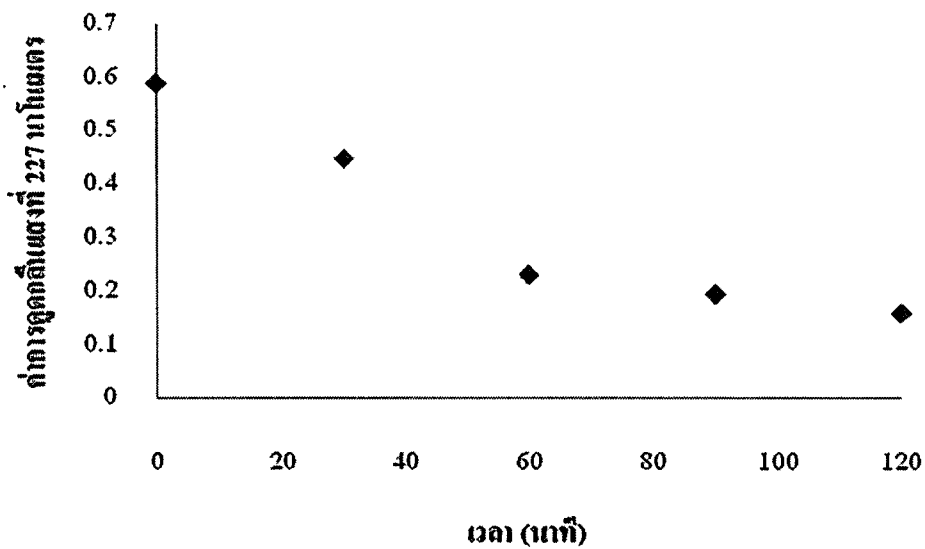
4.2.3 ผลของระยะเวลา

การศึกษาผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้พีเอช 4 ซึ่งเป็นพีเอชที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง 4.2.1 และแปรค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ ซึ่งเป็นปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง 4.2.2 โดยแปรค่าระยะเวลา 0, 30, 60, 90 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5

(ก)



(ข)

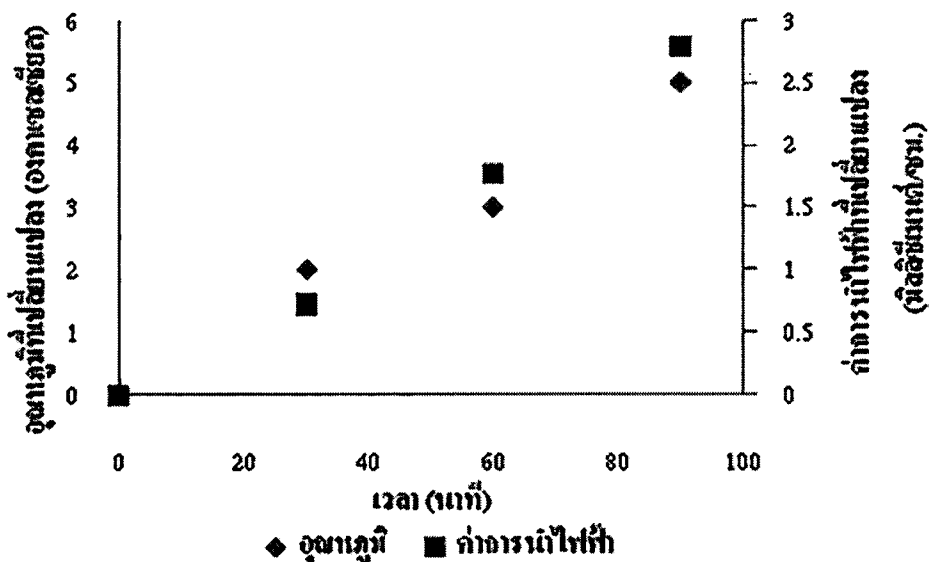


รูปที่ 4.5 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อประสิทธิภาพการกำจัด (ก) ที่ไอซี และ (ข) ค่าดูดกลืนแสง ในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

รูปที่ 4.5 (ก) แสดงให้เห็นว่าเมื่อเวลาบำบัดเพิ่มขึ้น ค่าที่ไอซีมีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าที่เวลาบำบัด 90 นาที เป็นเวลาบำบัดที่เหมาะสมที่สุด โดยสามารถลดค่าที่ไอซีจาก 8,641 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 2,143 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.1 ภาคผนวก ข-3) เนื่องจากการให้

กระแสไฟฟ้าเป็นเวลานาน จะทำให้ขั้วอิเล็กโทรดปล่อยอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ออกมามากขึ้น อลูมิเนียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับน้ำ กลายเป็นอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ $Al(OH)_3$ ซึ่งทำหน้าที่จับกับคอลลอยด์ในน้ำเสีย โดยกลไกการดูดซับเกิดเป็นกลุ่มตะกอนขนาดใหญ่แยกออกจากน้ำเสีย

จากรูปที่ 4.5 (ข) แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาบำบัดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความขุ่นมีแนวโน้มลดลง เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า โดยจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ เป็นระยะเวลา 90 นาที สามารถลดค่าการดูดกลืนแสงจาก 0.588 เหลือ 0.194 (เจือจาง 500 เท่า) ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.2 ภาคผนวก ข-3)



รูปที่ 4.6 ผลของระยะเวลาในการบำบัดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และค่าการนำไฟฟ้า

รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาบำบัดเพิ่มขึ้น ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นไปด้วย (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-3.3 – ข.3.4 ภาคผนวก ข-3) เนื่องจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่สูงเป็นเวลานาน ทำให้เกิดการสูญเสียไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่น้ำ จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียหลังการบำบัดสูงขึ้น และการแตกตัวของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ออกจากขั้วอิเล็กโทรดสูง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

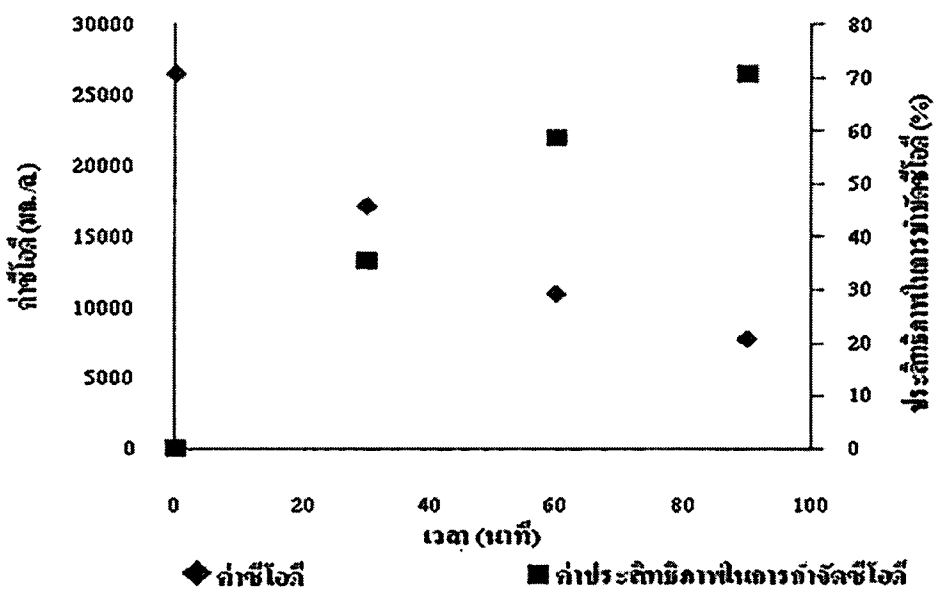
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

การบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่สภาวะเหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง 4.2 คือที่พีเอช 4 จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการบำบัด 90 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

พารามิเตอร์น้ำเสีย	ก่อนบำบัด	ก่อนบำบัดเมื่อปรับพีเอช 4	หลังบำบัด	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง
พีเอช	8.0	4.0	7.5	5.5 – 9.0
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.5	29.0	33.5	ไม่เกิน 40
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	33.35	32.85	35.65	-
ค่าการดูดกลืนแสง	0.988	0.588	0.194	-
ซีไอดี (มก./ล.)	40,800	26,600	7,800	ไม่เกิน 120
บีไอดี (มก./ล.)	27,300	-	5,320	ไม่เกิน 20
ทีไอซี (มก./ล.)	16,420	8,641	2,143	-

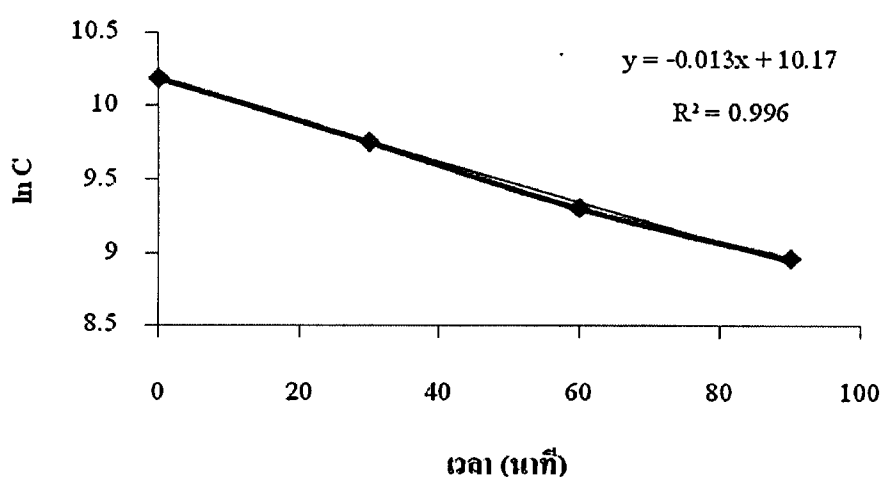
จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ โดยสามารถลดค่าบีไอดีของน้ำเสียจาก 27,300 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 5,320 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดค่าซีไอดีของน้ำเสียจาก 40,800 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 7,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และลดค่าทีไอซีของน้ำเสียจาก 16,420 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 2,143 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยน้ำเสียนี้อุณหภูมิและค่าการนำไฟฟ้าหลังการบำบัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แสดงว่ามีการสูญเสียกระแสไฟฟ้าต่ำ และมีพีเอชเป็นกลาง (พีเอช 7.5) โดยเพิ่มจากพีเอช 4 โดยเกิดจากปฏิกิริยา $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ ที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบเกิดเป็น OH^- ทำให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้น (สมพงษ์, 2551) เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า จะทำให้ค่าซีไอดีมีแนวโน้มลดลง จากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 30, 60 และ 90 นาที มีค่าซีไอดีเท่ากับ 17,200, 11,000 และ 7,800 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอดี เท่ากับ 35.33%, 58.64% และ 70.67% ตามลำดับ (รูปที่ 4.7) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-4.1 – ข- 4.5 ภาคผนวก ข-4) โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าเป็นตัวกำหนดปริมาณไอออนของอลูมิเนียม (Al^{3+}) ที่ปล่อยออกจากอิเล็กโทรด ซึ่งไอออนที่ผลิตขึ้นจะทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และสามารถกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำได้



รูปที่ 4.7 ความสามารถและประสิทธิภาพในการบำบัดซีไอโอดีที่เวลาต่างๆ

4.4 ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา

จากการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction Kinetics) ของความเข้มข้นที่ลดลงหลังจากผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ ในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากผลการทดลอง คือ พีเอช 4 จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการบำบัดที่ 0, 30, 60 และ 90 นาที โดยใช้น้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นค่าซีไอโอดี 26,600 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของค่าซีไอโอดีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง โดยมีค่าคงที่ของการเกิดปฏิกิริยา (k) คือ 0.013 หนึ่งต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดภาคผนวก ข-5)



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง

จากรูปที่ 4.8 แสดงการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา สามารถเขียนแบบจำลองความสัมพันธ์ของความเข้มข้นค่าซีโอดีกับเวลาซึ่งเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ($C_t = C_0 e^{-0.013t}$)

4.5 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมก๊าซโอโซน

จากการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่สภาวะเหมาะสมคือ พีเอช 4 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ และระยะเวลาในการบำบัด 90 นาที ที่ผ่านด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ยังมีค่าความสกปรกในน้ำที่เกินค่ามาตรฐาน (ตารางที่ 4.2) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 จึงนำน้ำเสียที่ได้หลังจากบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้ามาบำบัดร่วมกับวิธีการเติมก๊าซโอโซน ได้ผลการทดลองดังนี้

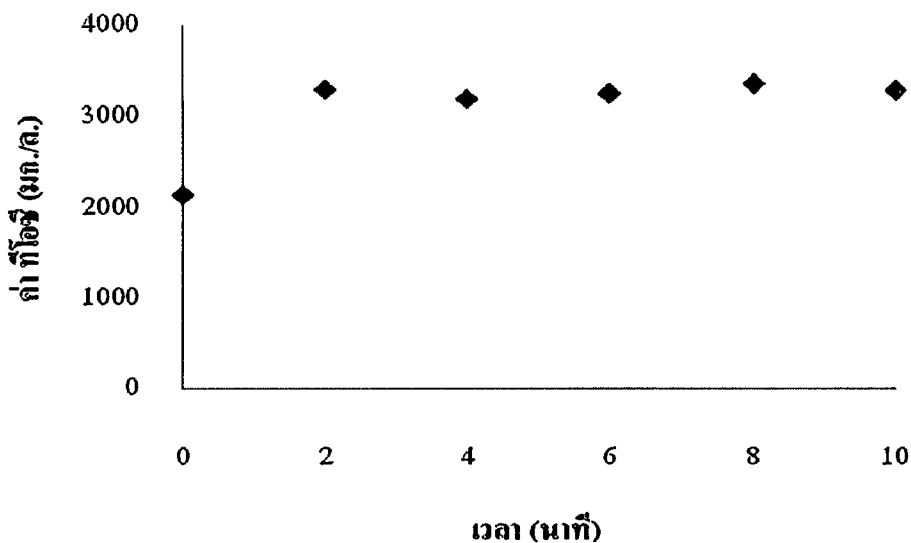


ก่อนการบำบัด



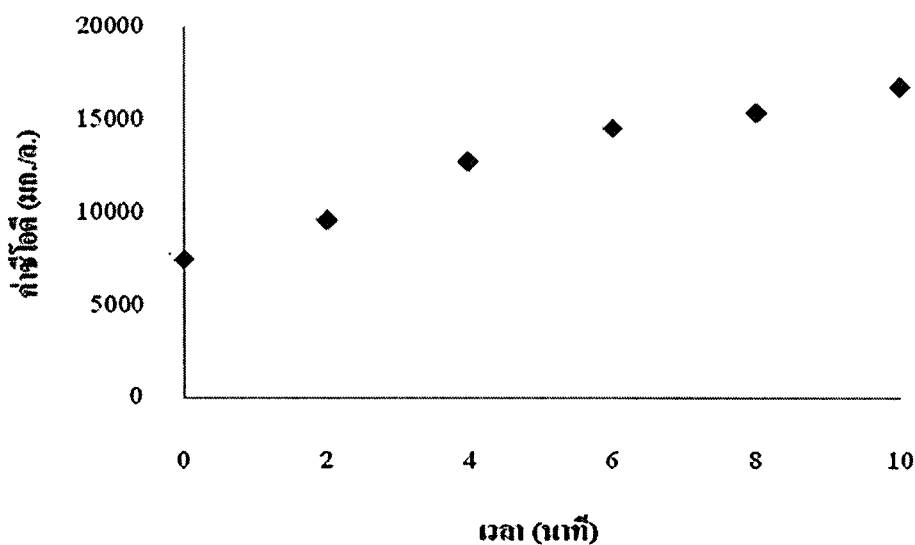
หลังการบำบัด

รูปที่ 4.9 ลักษณะของน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัด



รูปที่ 4.10 ผลของโอโซนต่อประสิทธิภาพการกำจัดที่ไอซี

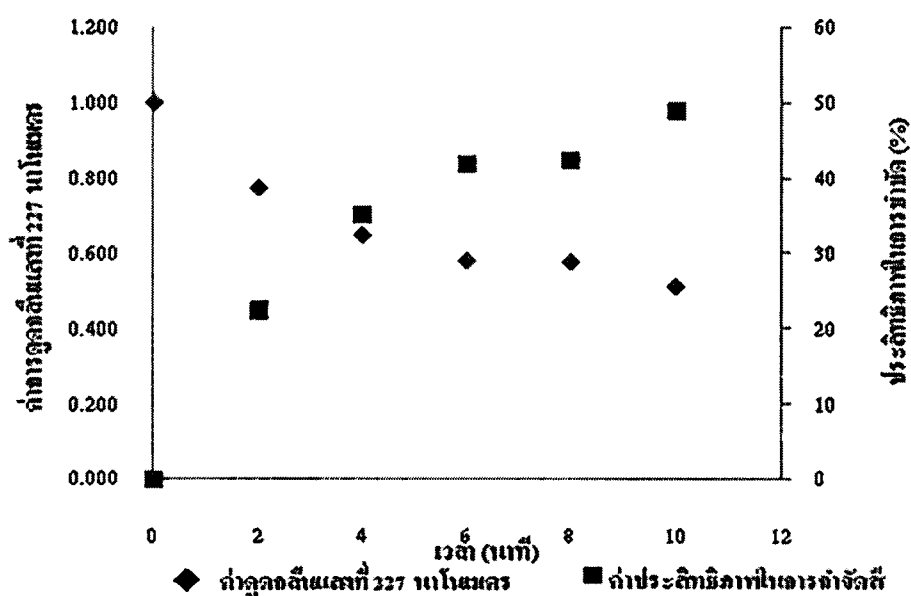
เมื่อนำน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่สภาวะเหมาะสม มาเติมก๊าซโอโซนที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที ในระยะเวลาต่าง ๆ คือ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการเติมก๊าซโอโซนลงไป ในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ที่ผ่านการบำบัดด้วยการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่เวลาต่างๆ โดยเพิ่มค่าที่ไอซีจาก 2,143 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 3,275 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลในการลดค่าที่ไอซี แต่กลับมีผลทำให้ค่าที่ไอซีเพิ่มจากน้ำเสียเริ่มต้น (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.1 ภาคผนวก ข-6)



รูปที่ 4.11 ผลของโอโซนในการบำบัดต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี

จากรูปที่ 4.11 แสดงถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่าซีไอดี เมื่อเพิ่มเวลาในการเติมโอโซนในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์หลังจากผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า จากผลการทดลองพบว่า ค่าซีไอดีมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเพิ่มจาก 7,800 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 16,750 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.2 ภาคผนวก ข-6) ทั้งนี้เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์ภายในน้ำเสียที่เป็นของแข็งที่ไม่ละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับโอโซนจะแตกตัวให้เป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กกลายเป็นของแข็งที่ละลายได้ ทำให้ $K_2Cr_2O_7$ สามารถย่อยสลายได้มากขึ้น (วราภรณ์ และคณะ, 2550) ซึ่งสอดคล้องกับ ค่าบีไอดีหลังจากผ่านระบบบำบัดด้วยการเติมก๊าซโอโซนมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5,320 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 11,100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.3 ภาคผนวก ข-6)

อย่างไรก็ตาม การบำบัดด้วยโอโซนสามารถกำจัดสีได้ แสดงให้เห็นจาก เมื่อเติมก๊าซโอโซนที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที คิดเป็นปริมาณ โอโซนเท่ากับ 1,271.1 มิลลิกรัมต่อลิตร (อ้างอิงจากการวิเคราะห์โอโซนของเจดนิพิฐและคณะ, 2552) สามารถลดค่าการดูดกลืนแสงจาก 0.971 เหลือ 0.511 (เจือจาง 100 เท่า) เนื่องจากก๊าซโอโซนไปออกซิไดส์กับสารที่ทำให้เกิดสี โดยการทำลายพันธะในกลุ่ม chromophore ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยการเติมก๊าซโอโซน ที่เวลา 2, 4, 6, 8 และ 10 นาที เท่ากับ 22.50, 35.20, 42.00, 42.40 และ 48.90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.6 ภาคผนวก ข-6)



รูปที่ 4.12 ผลของโอโซนต่อความสามารถ และประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยการรวมตะกอนด้วยเคมีไฟฟ้า ในสถานะที่เหมาะสมที่พีเอช 4 จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ เป็นเวลา 90 นาที ตามด้วยวิธีเติม โอโซนที่อัตราการไหลของก๊าซออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที เป็นระยะเวลา 10 นาที พบว่าค่าพีเอชก่อน การบำบัดด้วยโอโซน (หลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า) มีค่าพีเอช 7.5 เมื่อ ผ่านการบำบัดด้วยโอโซน ค่าพีเอชจะลดลงเป็นพีเอช 4.2 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข-6.4 ภาคผนวก ข-6) เนื่องจากโอโซนจะทำปฏิกิริยากับ Hydroxide ion (OH) ในน้ำซึ่งเกิดเป็น Hydroxyl radical (OH[•]) ที่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารต่างๆรวมทั้งสารอินทรีย์ เมื่อ Hydroxide ion (OH) ในน้ำซึ่ง ถูกใช้ทำปฏิกิริยา ทำให้พีเอชของน้ำซึ่งลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสโอโซนเพิ่มขึ้น (วารกรณ์ และ คณะ, 2550)

ลักษณะของน้ำเสียหลังการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอน ทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโซนที่สถานะเหมาะสม คือ ที่พีเอช 4 จ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการบำบัด 90 นาที และเติมก๊าซโอโซนที่อัตราการไหลออกซิเจน 5 ลิตรต่อนาที ระยะเวลา 10 นาที สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 คุณลักษณะน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอน ทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมโอโซน

พารามิเตอร์น้ำเสีย	ก่อนบำบัด (ผ่านการรวมตะกอน ทางเคมีไฟฟ้า)	หลังบำบัด (ผ่านการเติมก๊าซ โอโซน)	ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง
พีเอช	7.5	4.2	5.5 – 9.0
ค่าดูดกลืนแสง	0.194 (เจือจาง 500 เท่า)	0.511 (เจือจาง 100 เท่า)	-
ซีไอดี (มก./ล.)	7,800	16,750	ไม่เกิน 120
บีไอดี (มก./ล.)	5,320	11,100	ไม่เกิน 20
ทีไอซี (มก./ล.)	2,143	3,275	-

4.6 การคำนวณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

4.6.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าในการทดลองนี้ คิดตามการอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ตามแบบประเภทที่ 1 คือแบบประเภทกิจการขนาดเล็ก โดยคำนวณจากกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 แอมแปร์ มีค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค)

ค่าพลังงานไฟฟ้า

คิดจากค่าอัตราความก้าวหน้าของค่าไฟฟ้าตามประเภทโรงงาน เท่ากับ 12.19 บาท

คิดราคากรดซัลฟิวริกที่ใช้

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดการค้า ขนาด 1 ลิตร ราคา 53.33 บาท ปริมาณกรดที่ใช้ต่อ 1 การทดลอง (น้ำเสีย 2 ลิตร) เท่ากับ 16.95 มิลลิลิตร น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ใช้กรด 8.475 มิลลิลิตร เป็นเงิน 452 บาท

คิดราคาแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้

แผ่นอะลูมิเนียมขนาด $10 \times 15 \times 0.02$ เซนติเมตร จำนวน 4 แผ่น ราคา 200 บาท โดยปริมาณน้ำหนักการสึกกร่อน “ขี้บวก” ภายหลังการทดลองเฉลี่ย 2.89 กรัม คิดเป็นเงิน 1.77 บาท คิดต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร 885 บาท

ปริมาณน้ำหนักการสึกกร่อน “ขี้ลบ” ภายหลังการทดลองเฉลี่ย 0.13 กรัม คิดเป็นเงิน 0.079 บาท คิดต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร 39.5 บาท

รวมราคาแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้ $885 + 39.5$ เท่ากับ 924.5 บาท

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินระบบ = ค่าใช้ไฟฟ้า + ค่ากรดที่ใช้ปรับพีเอช +

ค่าแผ่นอะลูมิเนียม

$$= 12.19 + 452 + 924.5$$

$$= 1,388.69 \text{ บาท}$$

การคำนวณอัตราการสึกกร่อน

เวลา 30 นาที เท่ากับ 0.2013 กิโลกรัมอลูมิเนียมต่อลูกบาศก์เมตร เวลา 60 นาที เท่ากับ 0.4026 กิโลกรัมอลูมิเนียมต่อลูกบาศก์เมตร เวลา 90 นาที เท่ากับ 0.6040 กิโลกรัมอลูมิเนียมต่อลูกบาศก์เมตร

คติน้ำหนักอลูมิเนียมที่ถูกใช้ไป (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก-4)

น้ำหนักอลูมิเนียมที่ถูกใช้ไปที่เวลา 90 นาที 1.51 กิโลกรัมอลูมิเนียมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่าเมื่อคิดเทียบกับน้ำหนักอลูมิเนียมที่หายไปจากการซั้กับอัตราการสึกกร่อนที่คิดจากสูตรนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน โดยน้ำหนักที่ลดลงของแผ่นอิเล็กโทดนั้น เนื่องมาจากการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วบวก (แอโนด) เป็น Al^{3+} ที่ขั้วลบแตกตัวได้ OH^- ไปเป็นก๊าซไฮโดรเจน

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ร่วมกับการเติมก๊าซโอโซน โดยการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า คือ ค่าพีเอช 4 ปริมาณค่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ ระยะเวลาในการบำบัด 90 นาที โดยมีประสิทธิภาพในกำจัดซีโอดี บีโอดี และทีโอซี เท่ากับ 70.67, 80.51 และ 75.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งน้ำที่ผ่านการบำบัดยังมีปริมาณที่เกินจากค่ามาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม จึงยังไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ โดยจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง มีค่าคงที่เท่ากับ 0.013 ส่วนการบำบัดโดยใช้โอโซนร่วมกับวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที พบว่าโอโซนไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้ แต่สามารถกำจัดสีได้ โดยค่าซีโอดี บีโอดี และทีโอซีมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7,800, 5,320 และ 2,143 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 16,750, 11,100 และ 3,275 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม หลังจากบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ร่วมกับการเติมโอโซน ยังคงมีค่าบีโอดี และทีโอซีเกินมาตรฐาน จึงควรใช้วิธีบำบัดนี้เป็นวิธีบำบัดเบื้องต้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบทั้งหมด 1,388.69 บาท

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลของการใช้วิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าในการบำบัดน้ำเสียจากโรงกลั่นแอลกอฮอล์ อาจทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยการแปรค่าจำนวนแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้เป็นอิเล็กโทรด

2. สามารถนำวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นได้

3. ผลของปริมาณการจ่ายกระแสไฟฟ้าในการบำบัด ควรเลือกปริมาณที่สูงขึ้น เพื่อลดระยะเวลาในการบำบัดลง

4. อาจมีการเปลี่ยนชนิดของแผ่นอิเล็กโทรดที่ใช้ในกระบวนการบำบัดเป็น โลหะชนิดอื่น เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ

5. ศึกษาการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ร่วมกับการบำบัดด้วยวิธีอื่น

6. ศึกษาการใช้พอลิเมอร์ช่วยในการรวมตะกอน

7. เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการเดินระบบยังคงมีค่าสูง อาจมีการใช้น้ำเสียที่มีความเป็นกรดอยู่
แล้วมาปรับพีเอช แทนการใช้สารเคมีที่เป็นกรดเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2552. [Online]. (Access on 1 ต.ค. 2552) Available:

<http://www.pcd.go.th/>

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2551. คู่มือการกำกับดูแลโรงงาน อุตสาหกรรมเอทานอล. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม

เจตนิพิฐ และคณะ. 2552. การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สี่ข้อมรีแอกทีฟด้วยกระบวนการ โอโซนเนชั่น. ปรินญาณิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นิพนธ์ ตังคณานุกรักษ์ และคณิตา ตังคณานุกรักษ์. 2550. หลักการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทางเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พนิดา สามพรานไพบูลย์. 2550. การเปรียบเทียบตัวเร่งปฏิกิริยากรดและด่าง ในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้วที่อุณหภูมิต่างกัน. กรุงเทพฯ : วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

พินิติ รัตนานุกุล. 2542 . ลักษณะของน้ำเสีย. [Online]. (Access on 15 มิ.ย. 2552) Available:

<http://www.swu.ac.th/royal/book1/b1c2t8.html>

พิเศษฐ ลิ้มสุวรรณ และสุรพล บุญดวง. 2552 . กลุ่มวิจัยทางด้าน โอโซน. [Online] (Access on 14 ส.ค. 2552) Available : <http://www.physics.kmutt.ac.th/researchgroup.html>

เพิ่มศักดิ์ กาญจนบุตร. 2550. การกำจัดซีโอดี และสีของน้ำกากส่าโดยการตกตะกอนด้วยสารส้มกับโพสเฟออร์ และถ่านกัมมันต์. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันจุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มงคล พฤษวีวัฒนา. 2550. การจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานผลิตเอทานอล. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมประจำปี ครั้งที่ 19 สวสท. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

ยุพา ตันทวี. 2547. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วารภรณ์ อภิวัฒนาภิวัด, ต่อพงษ์ กิริราชาติ และพิลาณี ไวถนอมสัจย์. 2550. การลดสีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเชื้อกระดาษโดยโอโซนออกซิเดชัน. การประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 45 สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สมเกียรติ. 2552 . ระบบบ่อบำบัดน้ำเสียอากาศ. [Online] (Access on 20 ก.ค. 2552) Available :
<http://sbsomkiet.tripod.com/pollute/water4.htm>
- สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า. วารสารเทคนิค. ฉบับที่ 283: 1-13.
- สมหวัง วิทยาปัญญานนท์. 2549. การใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่า และการประชาสัมพันธ์ [online] (Access on 1ก.ค.2552) Available : <http://www.budmgt.com/quarry/qua01/refuse-for-dust-suppression.html>
- เสริมพล รัตนสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524 . การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
- ศูนย์ประสานงานโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ. 2551 . [online] (Access on 3 ค.ค. 2552) Available : <http://www.thaibiogas.net/en/node/206>
- อี.พาวเวอร์. 2553. [online] (Access on 2 ก.พ. 2553) Available : <http://www.thaiblogonline.com>
- APHA, AWWA and WEF. 2005. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition. USA : American Public Health Association.
- Bayramoglu, M., Kobya, M., Can, O.T., Sozbir, M. 2004. Treatment of the Textile Wastewater by Combined Electrocoagulation. Chemosphere. 62 : 181–187.
- Hanafi, F., Assobhei, O. and Mountadar, M. 2010. Detoxification and Discoloration of Moroccan Olive Mill Wastewater by Electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials. 174 : 807–812
- Mouedhen, G., Feki, M., De Petris Wery, M. and Ayedi, H.F. 2008. Behavior of Aluminum Electrodes in Electrocoagulation Process. Journal of Hazardous Materials. 150 : 135-140.
- Pena, M., Coca, M., Gonz_alez, G., Rioja, R. and Garcia M.T., 2003. Chemical Oxidation of Wastewater from Molasses Fermentation with Ozone. Chemosphere. 51 : 893–900.
- Sangave, P.C., Gogate, P.R. and Pandit, A.B. 2007. Combination of Ozonation with Conventional Aerobic Oxidation for Distillery Wastewater Treatment. Chemosphere. 68 : 32–41.
- Shuang, S., Zhiqiao, H., Jianping, Q., Lejin, X. and Jianmeng, C. 2007. Ozone Assisted Electrocoagulation for Decolorization of C.I. Reactive Black 5 in Aqueous Solution: An Investigation of the Effect of Operational Parameters. Separation and Purification Technology 55 : 238–245.
- Wang, C-T. Chou, W-L and Kuo, V-M 2008. Removal of COD from Laundry Wastewater by Electrocoagulation/Electroflotation. Journal of Hazardous Materials. 164 : 81-86

Yavuz, Y. 2007. EC and EF processes for the Treatment of Alcohol Distillery Wastewater. Separation and Purification Technology. 53 : 135–140.

[Online]. Available : www.tpub.com/content/doe/h1015v2/css/h1015v2_38.htm.

ภาคผนวก ก
วิธีการวิเคราะห์

ก-1 การวิเคราะห์ซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Close Reflux, Titrimetric Method) (APHA, 2005)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดย่อยสลาย (Digestion vessels) ใช้แก้วที่ทำด้วยโบโรซิลิเกต (Borosilicate culture tubes) ขนาด 16 x 100 มิลลิเมตร ที่มีฝาเกลียว ชนิดทีเอฟอี (Tetrafluoroethylene, TFE)
2. ฮีทติ้งบล็อก (Heating block) กล่องอลูมิเนียมตัน ลึก 45 – 50 มิลลิเมตร มีรูขนาดพอดีกับหลอดแก้ว
3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ± 2 องศาเซลเซียส
4. บีเปต ขนาด 1, 5 และ 10 มิลลิลิตร
5. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
6. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตสำหรับย่อยสลาย (Standard potassium digestion solution) 0.1 นอร์มัล
 - ชั่งน้ำหนัก $K_2Cr_2O_7$ 4.913 กรัม อบแห้งที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม คนให้ละลาย ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรเป็น 1,000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. สารละลายกรดซัลฟูริกที่ผสมซิลเวอร์ซัลเฟต
 - ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม ลงในกรดซัลฟูริกเข้มข้น (Conc. H_2SO_4) ซึ่งมีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม (2.5 ลิตร) ตั้งทิ้งไว้ 1 – 2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลาย
3. สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์
 - ละลาย 1, 10 ฟีนานโทลีน โมโนไฮเดรต (1, 10 – phenanthroline monohydrate, $C_{12}H_{18}N_2H_2O$) 1.485 กรัม และเฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
4. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.05 นอร์มัล
 - ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ประมาณ 19.6 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงไป 20 มิลลิลิตร ทำให้เย็น แล้วเติมน้ำกลั่นลงไปจนครบปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
 - สารละลายนี้ต้องนำมาหาค่าความเข้มข้นที่แน่นอน (Standardize) ก่อนใช้ทุกครั้ง กับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต โดยนำ $K_2Cr_2O_7$ จำนวน 5 มิลลิลิตร มาเติมน้ำ 50 มิลลิลิตร แล้วเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 15 มิลลิลิตร ทิ้งให้เย็น แล้วนำมาไทเทรตกับสารละลาย

เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตโดยใช้เฟอโรอินจำนวน 2-3 หยด เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นน้ำตาลแดง

ตารางที่ ก-1.1 ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีสำหรับหลอดแก้วขนาดต่างๆ

ขนาดหลอดย่อยสลาย	ปริมาณน้ำ (มล.)	ปริมาณสารละลาย โพแทสเซียมไดโคร เมตสำหรับย่อย สลาย (มล.)	สารละลาย กรดซัลฟูริก (มล.)	ปริมาณรวม (มล.)
หลอดแก้ว 16×100 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
หลอดมาตรฐาน 10 มล. 20×150 มม.	2.5	1.5	3.5	7.5
20×150 มม.	5.0	3.0	7.0	15.0
25×150 มม.	10.0	6.0	14.0	30.0

การทดลอง

- ล้างหลอดแก้วและฝาด้วยกรดซัลฟูริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- หลอดแก้วที่ใช้หาซีโอดีหลายขนาด การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับค่าซีโอดีที่มีในตัวอย่างน้ำในกรณี ที่ค่าซีโอดีต่ำๆ (น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร) ให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20×150 มิลลิเมตร ถ้าค่าซีโอดีสูง ใช้ตัวอย่างน้ำในปริมาณที่น้อยจึงใช้หลอดแก้วขนาดเล็ก (16×100 มิลลิเมตร) โดยปกติจะใช้หลอดมาตรฐานที่มีความจุสูงสุด 10 มิลลิตร หรือขนาด (16×100 มิลลิเมตร) เพราะใช้สารเคมีน้อยที่สุด ดังนั้น น้ำตัวอย่างที่มีค่าซีโอดีต่ำมากๆ มักจะมีค่าผิดพลาดเนื่องจากตัวอย่างน้ำน้อยเกินไป
- เมื่อเลือกขนาดหลอดแก้วแล้วให้ใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างและสารเคมีตามตารางที่ ก-1.1 คือ ปริมาณน้ำตัวอย่าง 5 มิลลิตรลงในหลอดแก้ว แล้วเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต 3 มิลลิตร สำหรับย่อยสลาย แล้วค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟูริก 7 มิลลิตรให้เกิดชั้นกรดอยู่ในแก้ว ปิดฝาให้แน่นพอดี แล้วกลับไปกลับมาเพื่อให้สารละลายผสมกันดี

ข้อควรระวัง ควรสวมถุงมือเพื่อป้องกันความร้อนขณะกลับหลอดแก้วไปมา และควรผสมสารละลายให้เข้ากันก่อนให้ความร้อนเพื่อป้องกันการระเบิด

- นำหลอดแก้วใส่ในฮีทดิงบล็อทหรือตู้อบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แล้วต้มเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำหลอดแก้ววางลงในขวด

2. เปิดฝาหลอดแก้วใส่แท่งแม่เหล็กกวนขนาดเล็กที่หุ้ม TFE แล้วเติมเฟอร์โรอินอินเคเตอร์ 1 - 2 หยด คนอย่างรวดเร็วบนเครื่องกวนแม่เหล็กแล้วไทเทรตกับ FAS 0.05 นอร์มัลจนกระทั่งเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลแดง หรือทดสอบละลายจากหลอดแก้วลงขวดรูปกรวยก็ได้เพื่อความสะดวกในการไทเทรต แต่ต้องใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด
3. ทำแบลนด์ทุกครั้งโดยใช้สารเคมีและน้ำกลั่นปริมาณเท่ากับตัวอย่างน้ำ

การคำนวณ

$$\text{ซีโอดี (มก.O}_2\text{/ล.)} = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มล.)}}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตแบลนด์ (มล.)
 - B = ปริมาตรของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ (มล.)
 - N = ความเข้มข้นของ FAS (นอร์มัล)

ก-2 การวิเคราะห์บีโอดี

กรณีน้ำตัวอย่างเป็นน้ำที่มีการปนเปื้อนมากต้องมีการเจือจาง และควรทำอย่างน้อย 3 ความเข้มข้น โดยเลือกความเข้มข้นจากตาราง ก-2.1 ที่ต้องการและความเข้มข้นที่น้อยกว่าและมากกว่าอีกอย่างละ 1 ความเข้มข้น โดยการเจือจางต้องถ่ายน้ำที่ใช้ในการเจือจาง ด้วยการกัลกน้ำ ลงไป 500 มิลลิลิตร ในกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำตัวอย่าง โดยให้ไหลลงช้าๆ ตามผนังกระบอกตวง จากนั้นจึงเติมน้ำที่ใช้สำหรับการเจือจางให้ถึงขีดปริมาตร 1 ลิตร กวนผสมกันให้เป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้แท่งแก้วสำหรับผสมน้ำตัวอย่าง ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ จากนั้นบรรจุลงขวดบีโอดี หาค่า DO_0 และ DO_5

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20 ± 1 องศาเซลเซียส
2. เครื่องเติมอากาศ
3. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิ 20 ± 1 องศาเซลเซียส และต้องมีค้ำเพื่อป้องกันการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย
4. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวงขนาด 1,000 มิลลิลิตร
6. แท่งแก้วสำหรับการเจือจางน้ำตัวอย่าง (plunger type mixed rod)

7. เครื่องวัดดีโอแบบเมมเบรน อิเล็กโทรด
8. เครื่องแก้วอื่นๆ

สารเคมี

1. น้ำกลั่น 2 ครั้ง (ต้องมีทองแดงน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร) กรณีที่ต้องเจือจางน้ำตัวอย่าง ต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างเอง โดยนำน้ำกลั่นมาแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส และพ้นอากาศก่อนทำการเจือจางอย่างน้อย 1 ชั่วโมงและเติมสารเคมีข้อ 2-4 อย่างละ 1 มิลลิกรัม อย่างละ 1 มิลลิกรัมต่อน้ำ 1 ลิตร
2. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย CaCl_2 27.5 กรัม ในสารละลาย 1 ลิตร
3. สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เตรียมโดยละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.25 กรัม ในน้ำปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
4. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เตรียมโดยละลาย $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 22.5 กรัม ในน้ำปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
5. สารละลายบัฟเฟอร์ฟอสเฟต พีเอช 7.2 ละลาย KH_2PO_4 8.50 กรัม K_2HPO_4 21.75 กรัม $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 33.40 กรัม และ NH_4Cl 1.70 กรัม ในน้ำและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 กรัม ในน้ำปรับปริมาตรสารละลายเป็น 1 ลิตร
7. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ ละลาย Na_2SO_3 1.575 กรัม และปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 1 ลิตร (ต้องเตรียมใหม่ๆเมื่อจะใช้)
8. สารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิก นำกลูโคส และกรดกลูตามิกไปอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำไปใส่ในเคชิตเตอร์เมื่อเย็น ซึ่งอย่างละ 150 มิลลิกรัม นำไปละลายและใส่ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 ลิตร

การทดลอง

น้ำที่ใช้ในการเจือจาง ชุดควบคุม (Blank set)

1. บรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจางลงขวดบีโอดี 2 ขวดให้เต็มขวดด้วยวิธีกัลกน้ำ และให้ไหลรินลงตามคอขวด ไม้ให้มีฟองอากาศภายในเช่นเดียวกับการบรรจุน้ำที่ใช้ในการเจือจาง
2. ขวดที่ 1 ทำการวัดค่าดีไอทันที เป็นค่า DO_0 ด้วยเครื่องวัดดีโอแบบเมมเบรนอิเล็กโทรด
3. ขวดที่ 2 นำไปบ่มที่ตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
4. ค่า $\text{DO}_0 - \text{DO}_5$ ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้ามากกว่าแสดงว่ามีผลต่อความถูกต้องในการวัด

สารละลายมาตรฐานกลูโคสและกรดกลูตามิก

1. ใช้ในการเจือจางโดยตรง ปิเปตสารละลายกลูโคสและกรดกลูตามิกมา 5 มิลลิลิตร ลงขวด บีโอดี เติมน้ำที่ใช้ในการเจือจางจำนวน 3 ขวด ระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศ
2. คว่ำขวดให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันทั่วทั้งขวด
3. วัดค่าดีไอขวดที่ 1 เป็นค่า DO_0 ด้วยเครื่องวัดดีไอแบบเมมเบรนอิเล็กโทรด
4. ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่ตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
5. วัดค่าดีไอขวดที่ 2 และ 3 เป็นค่า DO_t
6. คำนวณหาค่า บีโอดี

น้ำตัวอย่าง

1. เก็บน้ำตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์มายังห้องปฏิบัติการ แล้วบันทึกข้อมูลแหล่งที่เก็บตัวอย่างน้ำโดยละเอียด
2. ตรวจสอบคุณภาพน้ำทางกายภาพ เช่น สี ความขุ่น กลิ่น ค่าพีเอช เพื่อเลือกช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการเจือจาง
3. เตรียมน้ำตัวอย่างตามทฤษฎี เช่น การปรับพีเอช การกำจัดคลอรีนตกค้าง การเจือจางหรืออื่นๆจากนั้นจึงถ่ายน้ำลงขวดบีโอดีตามวิธี ชุดละ 3 ขวด โดยขวดที่ 1 หาค่า DO_0 ทันที อีก 2 ขวดนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ไว้สำหรับหาค่า DO_t ในกรณีที่ไม่ต้องเจือจาง
4. เจือจางน้ำตัวอย่างต้องทำ 3 ชุดความเข้มข้น จากตารางที่ ก.2-1

ตารางที่ ก.2-1 การเลือกเงื่อนไขน้ำตัวอย่างให้เหมาะสมในการหาค่า BOD

เมื่อใช้ % ของผสม		เมื่อใช้การเจือจางโดยตรง	
% ของผสม	ช่วงค่าบีโอดี	ปริมาตรน้ำตัวอย่าง	ช่วงค่าบีโอดี (mg/L)
0.01	20000-70000	0.01	30000-105000
0.02	10000-35000	0.02	1,000-42000
0.05	4000-14000	0.1	6000-20000
0.1	2000-7000	0.2	3000-10500
0.2	1000-3500	0.5	1200-4200
0.5	400-1400	1.0	600-2100
1.0	200-700	2.0	300-1050
2.0	100-350	5.0	120-420
5.0	40-140	10.0	60-210
10.0	20-70	20.0	30-105
20.0	10-35	50.0	12-42
50.0	4-14	100	6-21
100.0	0-7	300	0-7

1. เติมน้ำที่ใช้ในการเจือจางให้ไหลรินลงข้างกระบอกตวงจนถึง 1 ลิตร
2. คนด้วยแท่งแก้วเบาๆ ให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันแล้วเทลงขวดบีโอดี ให้ไหลลงตามคอขวดจนเต็ม และไม่ให้มีฟองอากาศ
3. วัดค่าดีโอของขวดที่ 1 ของแต่ละชุด เป็นค่า DO_0
4. ขวดที่ 2 และ 3 นำไปบ่มที่ตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน
5. วัดค่าดีโอของขวดที่ 2 และ 3 เป็นค่า DO_5
6. คำนวณหาค่าบีโอดี

การคำนวณ

เมื่อเจือจางน้ำตัวอย่าง

$$BOD_5 = \frac{D_1 - D_2 \times 100}{P}$$

เมื่อ D_1 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้ว (มิลลิกรัมต่อลิตร)

D_5 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำเมื่อหาหลังจากเจือจางน้ำแล้ว และบ่มเป็นเวลา 5 วัน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ข-1 ผลของพีเอชต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ ข-1.1 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	8,574	8,708	8,641
30	6,212	6,197	6,205
60	3,575	3,485	3,530

ตารางที่ ข-1.2 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	11,540	11,730	11,635
30	10,070	10,090	10,080
60	10,070	10,090	10,080

ตารางที่ ข-1.3 ค่าที่ไอซีที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	16,280	16,560	16,420
30	14,880	14,670	14,775
60	13,750	13,640	13,695

ตารางที่ ข-1.4 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.577	0.598	0.588
30	0.451	0.442	0.447
60	0.233	0.226	0.229

ตารางที่ ข-1.5 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.878	0.864	0.871
30	0.789	0.810	0.799
60	0.603	0.595	0.599

ตารางที่ ข-1.6 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.988	0.987	0.988
30	0.935	0.935	0.935
60	0.902	0.907	0.905

ตารางที่ ข-1.7 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	29.0	33.0	4.0
2	29.0	32.5	3.5
		เฉลี่ย	3.75

ตารางที่ ข-1.8 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	27.0	32.0	5.0
2	30.0	35.0	5.0
		เฉลี่ย	5.0

ตารางที่ ข-1.9 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	29.0	36.0	7.0
2	28.0	36.0	8.0
		เฉลี่ย	7.5

ตารางที่ ข-1.10 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.7	35.0	2.3
2	33.0	36.3	3.3
		เฉลี่ย	2.8

ตารางที่ ข-1.11 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 6 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.7	35.3	2.6
2	31.8	34.3	2.5
		เฉลี่ย	2.55

ตารางที่ ข-1.12 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 8 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.4	34.4	2.0
2	34.3	36.0	1.7
		เฉลี่ย	1.85

ข-2 ผลของกระแสไฟฟ้าต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ ข-2.1 ค่าที่ไอซีทีเวลาต่างๆ เมื่อนำบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	8,603	8,461	8,532
30	14,112	15,224	14,668
60	14,705	12,687	13,696

ตารางที่ ข-2.2 ค่าที่ไอซีทีเวลาต่างๆ เมื่อนำบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	9,236	8,248	8,742
30	13,186	13,478	13,332
60	9,694	11,022	10,358

ตารางที่ ข-2.3 ค่าที่ไอซีทีเวลาต่างๆ เมื่อนำบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	8,574	8,708	8,641
30	6,212	6,197	6,205
60	3,575	3,485	3,530

ตารางที่ ข-2.4 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.579	0.578	0.578
30	0.606	0.616	0.616
60	0.577	0.580	0.578

ตารางที่ ข-2.5 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.572	0.558	0.565
30	0.556	0.564	0.560
60	0.468	0.458	0.463

ตารางที่ ข-2.6 ผลของค่าการดูดกลืนแสงเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า)

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.577	0.598	0.588
30	0.451	0.442	0.447
60	0.233	0.226	0.229

ตารางที่ ข-2.7 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	29.0	30.0	1.0
2	28.0	29.5	1.5
		เฉลี่ย	1.25

ตารางที่ ข-2.8 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	28.0	30.0	2.0
2	28.0	31.0	3.0
		เฉลี่ย	2.5

ตารางที่ ข-2.9 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	อุณหภูมิก่อนบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิหลังบำบัด (เซลเซียส)	อุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (เซลเซียส)
1	29.0	33.0	4.0
2	29.0	32.5	3.5
		เฉลี่ย	3.75

ตารางที่ ข-2.10 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.7	33.8	1.1
2	32.1	32.9	0.8
		เฉลี่ย	0.95

ตารางที่ ข-2.11 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 2 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.9	35.4	2.5
2	33.0	34.9	1.9
		เฉลี่ย	2.2

ตารางที่ ข-2.12 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

ครั้งที่	ค่าการนำไฟฟ้าก่อน บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าหลัง บำบัด (มิลลิซีเมนต์/ซม.)	ค่าการนำไฟฟ้าที่ เปลี่ยนไป (มิลลิซีเมนต์/ซม.)
1	32.7	35.0	2.3
2	33.0	36.3	3.3
		เฉลี่ย	2.8

ข-3 ผลของระยะเวลาต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ ข-3.1 การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าทีโอซี ที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	8,574	8,708	8,641
30	6,212	6,197	6,205
60	3,575	3,485	3,530
90	2,181	2,104	2,143
120	2,641	2,666	2,654

ตารางที่ ข-3.2 การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆ เมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ (เจือจาง 500 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.577	0.598	0.588
30	0.451	0.442	0.447
60	0.233	0.226	0.229
90	0.195	0.193	0.194

ตารางที่ ข-3.3 อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาท)	ครั้งที่ 1 (เซลเซียส)	ครั้งที่ 2 (เซลเซียส)	เฉลี่ย (เซลเซียส)
0	28	29	28.5
30	31	30	30.5
60	32	31	31.5
90	33	34	33.5

ตารางที่ ข-3.4 ค่าการนำไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่เวลาต่างๆ เมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มิลลิซีเมนต์/ชม.)	ครั้งที่ 2 (มิลลิซีเมนต์/ชม.)	เฉลี่ย (มิลลิซีเมนต์/ชม.)
0	33.61	32.09	32.85
30	33.42	33.74	33.58
60	34.72	34.54	34.63
90	35.12	36.18	35.65

ข-4 ผลของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า

ตารางที่ ข-4.1 ค่าซีโอดีก่อนและหลังปรับพีเอช

ค่าพีเอช	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
ไม่ปรับพีเอช	40,800	40,800	40,800
ปรับพีเอช 4	26,400	26,800	26,600

ตารางที่ ข-4.2 ค่าซีโอดีเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้า ที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	26,400	26,800	26,600
30	17,200	17,200	17,200
60	11,200	10,800	11,000
90	8,000	7,600	7,800

ตารางที่ ข-4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเมื่อบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

เวลา (นาที)	ประสิทธิภาพในการบำบัด (%)
0	0
30	35.33
60	58.64
90	70.67

ตาราง ข-4.4 ค่าบีโอดีเริ่มต้นของน้ำเสีย

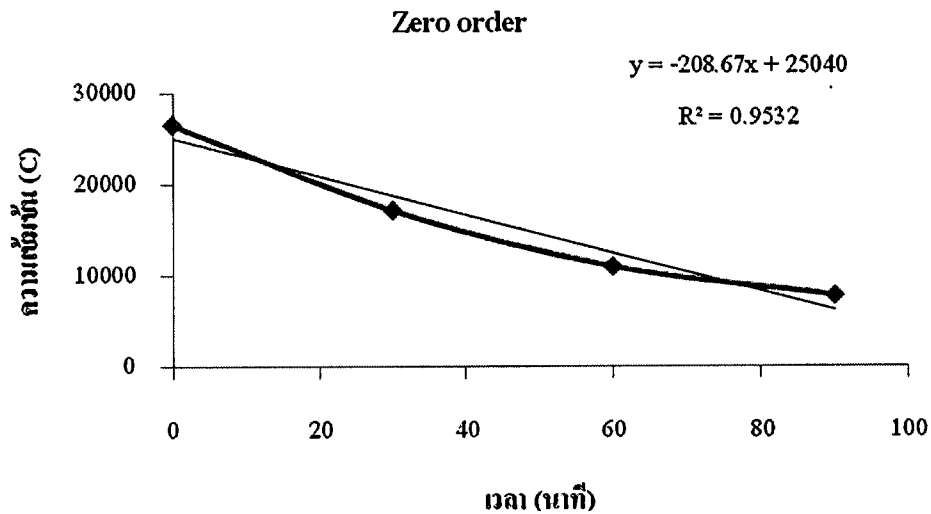
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	BOD (DO ₀) (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	DO ₅ เฉลี่ย (มก./ล.)	DO ₀ -DO ₅ (มก./ล.)	BOD ₅ (มก./ล.)
0	7.67	4.91	4.97	4.94	2.73	27,300

ตารางที่ ข-4.5 ตารางแสดงค่าบีโอดีเมื่อผ่านการบำบัดด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าที่พีเอช 4 โดยใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์

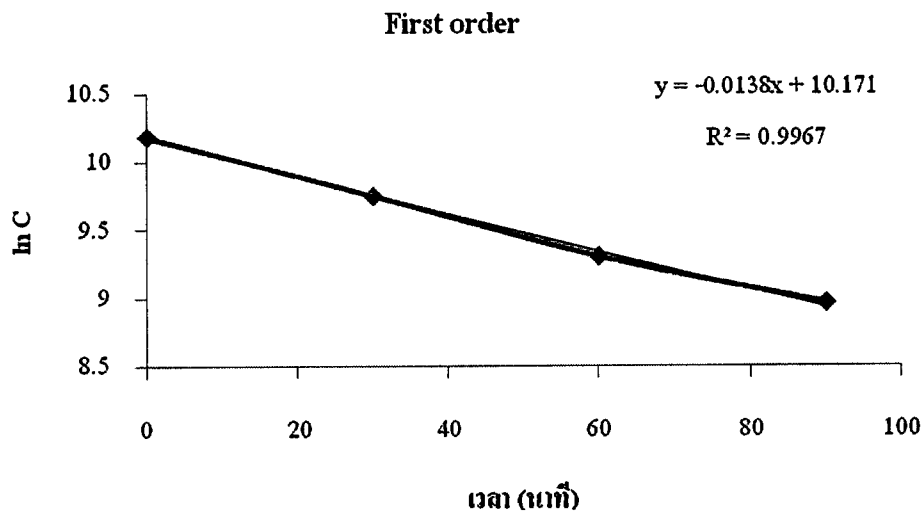
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	BOD (DO ₀) (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	DO ₅ เฉลี่ย (มก./ล.)	DO ₀ -DO ₅ (มก./ล.)	BOD ₅ (มก./ล.)
3	8.17	5.49	5.53	5.51	2.66	5,320

ข-5 ผลของการศึกษาจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา

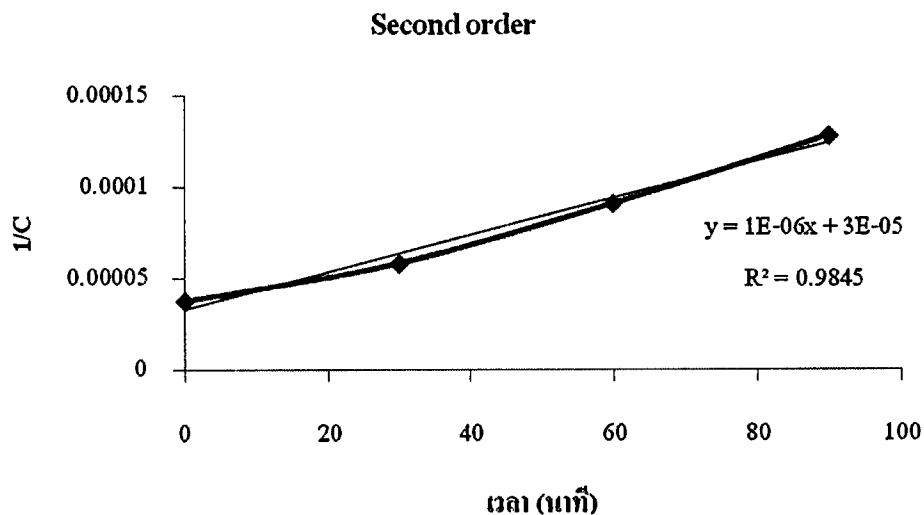
การศึกษาของจลนพลศาสตร์ของปฏิกิริยา (Reaction Kinetic) ที่นำเสียดความเข้มข้นซีโอดี 26,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นกับเวลาเป็นไปตามอันดับปฏิกิริยา ดังนี้



รูปที่ ข-5.1 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นซีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับศูนย์



รูปที่ ข-5.2 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นซีกับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง



รูปที่ ข-5.3 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นสี่กับเวลาเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับสอง

ข-6 ผลของการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการรวมตะกอนทางเคมีไฟฟ้าร่วมกับการเติมก๊าซโอโซน
 ตารางที่ ข-6.1 การบำบัดสารอินทรีย์ในรูปค่าทีโอซีเมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที ที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

เวลา (นาทึ)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	2,181	2,104	2,143
2	3,139	3,464	3,302
4	2,984	3,407	3,196
6	3,095	3,399	3,247
8	3,219	3,490	3,355
10	3,202	3,347	3,275

ตารางที่ ข-6.2 ผลของซีโอดีเมื่อบำบัดด้วยโอโซน เป็นเวลา 10 นาที ที่อัตราการไหล 5 ลิตร
ต่อนาที

เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	เฉลี่ย (มก./ล.)
0	8,000	7,600	7,800
2	9,700	9,600	9,650
4	12,800	12,800	12,800
6	14,800	14,400	14,600
8	15,400	15,400	15,400
10	16,700	16,800	16,750

ตารางที่ ข-6.3 ค่าบีโอดีเมื่อบำบัดด้วยโอโซนที่อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที

BOD (DO ₀) (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 1 (มก./ล.)	DO ₅ ครั้งที่ 2 (มก./ล.)	DO ₅ เฉลี่ย (มก./ล.)	DO ₀ -DO ₅ (มก./ล.)	BOD ₅ (มก./ล.)
8.11	5.75	6.02	5.89	2.22	11,100

ตารางที่ ข-6.4 ค่าพีเอชก่อน และหลัง เมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที

ครั้งที่	ก่อนบำบัด (มล.)	หลังบำบัด (มล.)	เฉลี่ย (มล.)
1	7.5	7.5	7.5
2	4.3	4.1	4.2

ตารางที่ ข-6.5 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อเติมก๊าซโอโซน 10 นาที (เจือจาง 100 เท่า ที่ความยาวคลื่น 227 นาโนเมตร)

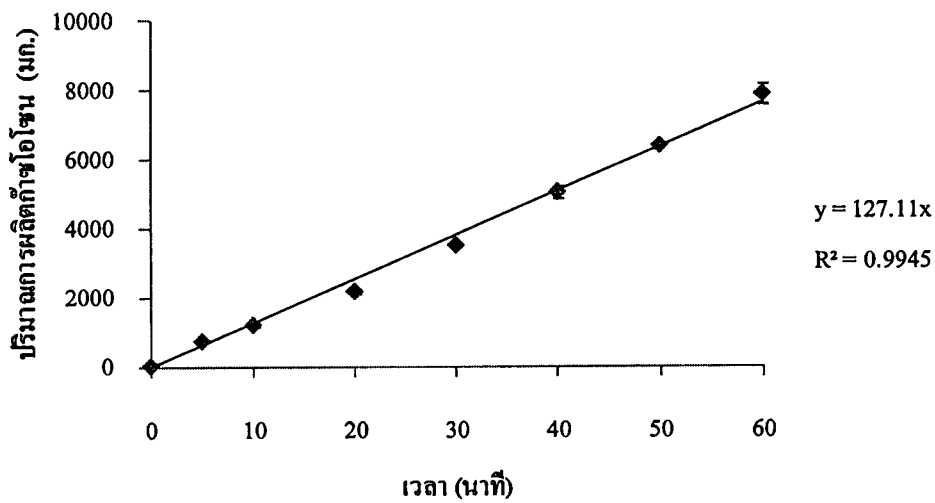
เวลา (นาที)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
0	0.975	0.965	0.971
2	0.764	0.789	0.775
4	0.649	0.647	0.648
6	0.583	0.578	0.580
8	0.575	0.577	0.576
10	0.510	0.512	0.511

ตารางที่ ข-6.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสี

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	ประสิทธิภาพการกำจัดสี (%)
0	0.971	0
2	0.775	22.50
4	0.648	35.20
6	0.580	42.00
8	0.576	42.40
10	0.511	48.90

ข-6 อัตราการผลิตก๊าซโอโซน

จากการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซน เพื่อทำการหาปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ในเวลาต่างๆ โดยการผ่านก๊าซโอโซนที่ผลิตได้เข้าสู่ถังปฏิกิริยาและขวดดักก๊าซโอโซน ซึ่งภายในถังปฏิกิริยาบรรจุสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เข้มข้น 2% (KI 2 %) ปริมาตร 2 ลิตร และขวดดักก๊าซปริมาตร 500 มิลลิลิตร ที่มีการควบคุมพีเอชด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที พบว่าปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา เป็นไปตามรูปที่ ข-6.1



รูปที่ ข-6.1 ปริมาณการผลิตก๊าซไอโซนที่เวลาต่างๆ

จากรูปที่ ข-6.1 พบว่า ปริมาณก๊าซไอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดก๊าซไอโซนมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับเวลา โดยเมื่อนำค่าที่ได้ในเวลาต่างๆ มาพล็อตกราฟทำให้สามารถหาอัตราการผลิตจากความชันของเส้นตรงซึ่งมีค่าเท่ากับ 127.11 มิลลิกรัมต่อนาที หรือ 7.63 กรัมต่อชั่วโมง

ภาคผนวก ค
วิธีการคำนวณ

ค-1 การคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้คิดตามการอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคตามแบบโรงงาน โดยคำนวณจาก กำลังไฟฟ้า (วัตต์) ของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ โดยเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้ ใช้เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า ขนาด 3 แอมแปร์ มีค่าความต่างศักย์ 3 โวลต์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

- จำนวนวัตต์ของการใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} &= \text{กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)} \times \text{ความต่างศักย์ (โวลต์)} \\ &= 3 \text{ (แอมแปร์)} \times 3 \text{ (โวลต์)} \\ &= 9 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

- หน่วยของการใช้ไฟฟ้า

$$\begin{aligned} \text{หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง)} &= \text{กำลังไฟฟ้า (วัตต์)} \times \text{ระยะเวลาที่ใช้ (ชั่วโมง)} \times \frac{1 \text{ กิโลวัตต์}}{1,000 \text{ วัตต์}} \\ &= 9 \text{ วัตต์} \times 1.5 \text{ ชั่วโมง} \times \frac{1 \text{ กิโลวัตต์}}{1,000 \text{ วัตต์}} \\ &= 0.0135 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมง} \end{aligned}$$

- การใช้ไฟฟ้าต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำเสีย 2 ลิตร	ใช้ไฟฟ้า	0.0135 กิโลวัตต์ ชั่วโมง
น้ำเสีย 1,000 ลิตร	ใช้ไฟฟ้า	$0.0135 \text{ กิโลวัตต์ ชั่วโมง} \times \frac{1,000 \text{ ลิตร}}{2 \text{ ลิตร}}$
		= 6.75 หน่วยต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

- ราคาค่าไฟฟ้า = ค่าไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย) x ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)
- $$\begin{aligned} &= (1.75 \text{ หน่วย} \times 1.8047 \text{ บาทต่อหน่วย}) \\ &= 12.19 \text{ บาท} \end{aligned}$$

ตารางที่ ค-1.1 ค่าอัตราความก้าวหน้าของค่าไฟฟ้าตามแบบโรงงาน

อัตราปกติ	หน่วยที่ใช้	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)
แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์ 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-150)	6.75	1.8047	12.19
รวม			12.19

ค-2 การคำนวณราคากรดซัลฟิวริกที่ใช้

กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 98.08% เกรดวิเคราะห์ ขนาด 2,500 มิลลิลิตร ราคา 310 บาท
สำหรับการบำบัดน้ำเสีย จำนวนโดยใช้กรดซัลฟิวริก เกรดการค้า ราคา 53.33 บาท

ตารางที่ ค-2.1 ปริมาณกรดที่ใช้ (มิลลิลิตร)

ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย (มิลลิลิตร)
16.9	17.0	16.95

น้ำเสีย 2 ลิตร

ใช้กรด 16.95 มิลลิลิตร

น้ำเสีย 1,000 ลิตร

ใช้กรด $16.95 \text{ มิลลิลิตร} \times \frac{1,000 \text{ ลิตร}}{2 \text{ ลิตร}}$

2 ลิตร

= 8,475 มิลลิลิตร

กรด 1 ลิตร

ราคา 53.33 บาท

กรด 8.475 ลิตร

ราคา $53.33 \text{ บาท} \times \frac{8.475 \text{ ลิตร}}{1 \text{ ลิตร}}$

1 ลิตร

= 452 บาท

ค-3 การคำนวณราคาแผ่นอะลูมิเนียมที่ใช้

แผ่นอะลูมิเนียมขนาด 10 x 15 x 0.02 เซนติเมตร แผ่นละ 50 บาท จำนวน 4 แผ่น ราคา 200 บาท

ตารางที่ ค-3.1 ปริมาณอะลูมิเนียมที่ใช้ของขั้วบวก และขั้วลบ

	ครั้งที่	น้ำหนักก่อนบำบัด (กรัม)	น้ำหนักหลังบำบัด (กรัม)	น้ำหนักสึกกร่อนไป (กรัม)
ขั้วบวก	1	163.73	161.12	2.61
	2	163.67	160.50	3.17
เฉลี่ย				2.89
ขั้วลบ	1	163.71	163.55	0.16
	2	163.64	163.53	0.11
เฉลี่ย				0.130

ปริมาณน้ำหนักการสึกกร่อนขั้วบวก ภายหลังการทดลองเฉลี่ย 2.89 กรัม

อะลูมิเนียม 163.70 กรัม ราคา 100 บาท
 อะลูมิเนียม 2.89 กรัม ราคา $\frac{2.89 \text{ กรัม}}{163.70 \text{ กรัม}} \times 100 \text{ บาท}$
 = 1.77 บาท

น้ำเสีย 2 ลิตร ราคา 1.77 บาท
 น้ำเสีย 1,000 ลิตร ราคา $\frac{1.77 \text{ บาท} \times 1,000 \text{ ลิตร}}{2 \text{ ลิตร}}$
 = 885 บาท

ปริมาณน้ำหนักการสึกกร่อนขั้วลบ ภายหลังการทดลองเฉลี่ย 0.130 กรัม

อะลูมิเนียม 163.67 กรัม ราคา 100 บาท
 อะลูมิเนียม 0.130 กรัม ราคา $\frac{0.130 \text{ กรัม}}{163.67 \text{ กรัม}} \times 100 \text{ บาท}$
 = 0.079 บาท

น้ำเสีย	2 ลิตร	ราคา	0.079 บาท
น้ำเสีย	1000 ลิตร	ราคา	$\frac{0.079 \text{ บาท} \times 1000 \text{ ลิตร}}{2 \text{ ลิตร}}$
			= 39.50 บาท

หมายเหตุ : ขั้วอิเล็กโทรดไม่สามารถถูกใช้จนหมดแผ่นได้

$$\begin{aligned}
 \text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการเดินระบบ} &= \text{ค่าใช้ไฟฟ้า} + \text{ค่ากรดที่ใช้ปรับพีเอช} + \text{ค่าแผ่นอลูมิเนียม} \\
 &= 12.19 + 452 + 924.50 \text{ บาท} \\
 &= 1,388.69 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

ค-4 วิธีการคำนวณอัตราการสึกกร่อน

ค-4.1 สูตรการคำนวณหาอัตราการสึกกร่อน

$$C_{\text{electrode}} = \frac{(I \times t \times M) \times 10^{-3}}{z \times F \times v}$$

โดย	$C_{\text{electrode}}$	คือ	การใช้งานของอิเล็กโทรด (kg Al/m^3)
	I	คือ	กระแสไฟฟ้า (A)
	t	คือ	เวลาที่ใช้ (s)
	M	คือ	มวลโมเลกุลของอลูมิเนียม (26.98 g/mol)
	z	คือ	จำนวนอิเล็กตรอนในปฏิกิริยารีดอกซ์ = 3
	F	คือ	ค่าคงที่ของฟาราเดย์ (96,487 C/mol)
	v	คือ	ปริมาตรของน้ำเสียที่บำบัด (m^3)

ที่เวลา 30 นาที

$$\begin{aligned}
 C_{\text{electrode}} &= \frac{2.40 \times 1,800 \times 26.98 \times 10^{-3}}{3 \times 96,487 \times 0.002} \\
 &= 0.2013 \text{ kg Al/m}^3
 \end{aligned}$$

ที่เวลา 60 นาที

$$\begin{aligned}
 C_{\text{electrode}} &= \frac{2.40 \times 3,600 \times 26.98 \times 10^{-3}}{3 \times 96,487 \times 0.002} \\
 &= 0.4026 \text{ kg Al/m}^3
 \end{aligned}$$

ที่เวลา 90 นาที

$$\begin{aligned}
 C_{\text{electrode}} &= \frac{2.40 \times 5,400 \times 26.98 \times 10^{-3}}{3 \times 96,487 \times 0.002} \\
 &= 0.6040 \text{ kg Al/m}^3
 \end{aligned}$$

ค-4.2 คำนวณจากน้ำหนักอลูมิเนียมที่ถูกใช้ไป

$$\begin{aligned}
 &\frac{\text{น้ำหนักอลูมิเนียมที่ถูกใช้ชั่วคราว} + \text{น้ำหนักอลูมิเนียมที่ถูกใช้ชั่วคราว}}{\text{ปริมาตรน้ำเสีย}} \\
 &= \frac{2.89 \text{ กรัม} + 0.130 \text{ กรัม}}{2 \text{ ลิตร}} \\
 &= 1.51 \text{ กรัมต่อลิตร} \\
 &= 1.51 \text{ กิโลกรัมอลูมิเนียมต่อลูกบาศก์เมตร}
 \end{aligned}$$