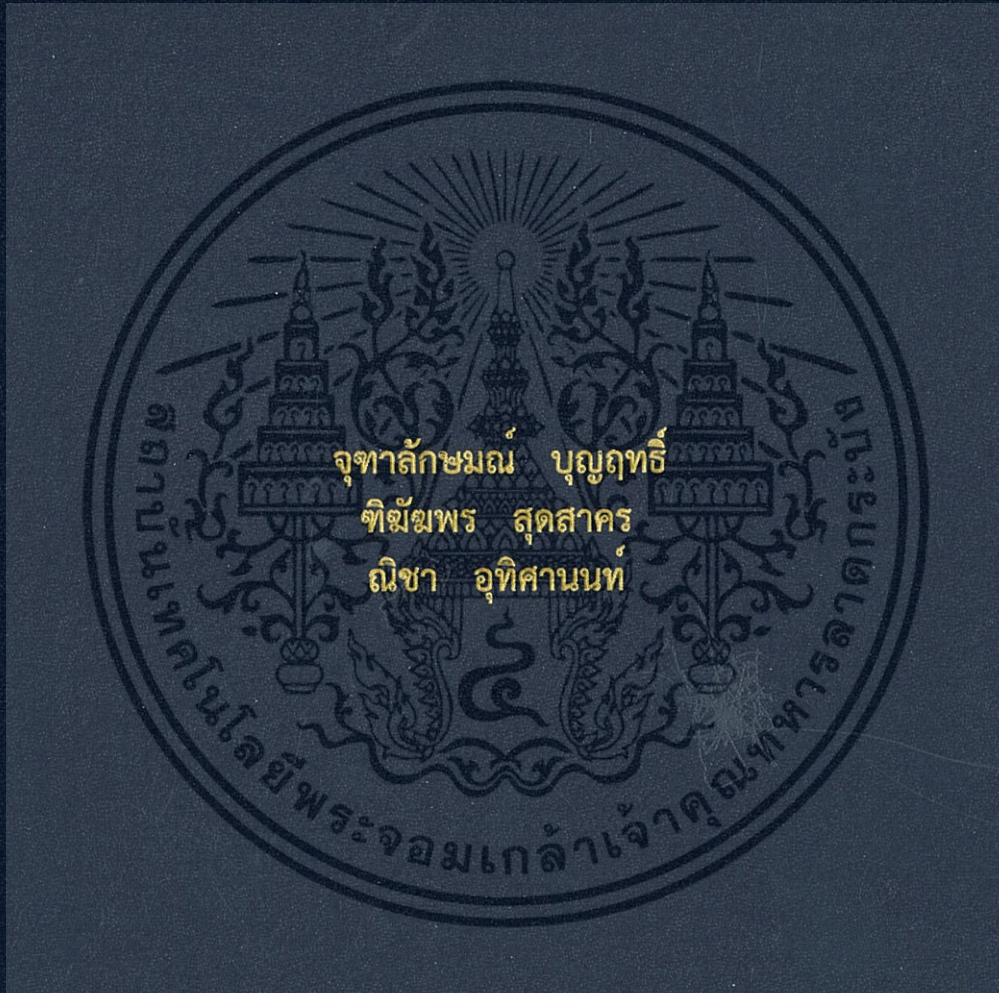


การบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิต
เครื่องจักรกลการเกษตร
TREATMENT OF COOLANT WASTEWATER FROM
AGRO-MACHINERY INDUSTRY



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิต

เครื่องจักรกลการเกษตร

TREATMENT OF COOLANT WASTEWATER FROM
AGRO-MACHINERY INDUSTRY



T149483

จุฬาลักษณ์มณีย์ บุญฤทธิ

ทิพย์พร สุดสาคร

ณิชา อุกิตานนท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
รับ เดือน ปี.....

149483

8 อ.ค. 2561

b. 12884868
i.

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TREATMENT OF COOLANT WASTEWATER FROM
AGRO-MACHINERY INDUSTRY

JUTHALUK BOONYARIT

TIKUMPORN SUDSAKORN

NICHA AUTISANON



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา การบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร
 Treatment of Coolant Wastewater from Agro-machinery Industry

ชื่อนักศึกษา นางสาวจุฑาลักษณ์ บัญญัติ รหัสนักศึกษา 56050677
 นางสาวชัชฌิมพร สุดสาคร รหัสนักศึกษา 56050687
 นางสาวณิชา อุทิศานนท์ รหัสนักศึกษา 56050694

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา เคมี

คณะ วิทยาศาสตร์

ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
 ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กลีนสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
น.ส.พัชรินทร์ เงินใบอ่อน กรรมการ	Patcharin N.
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑาลักษณ์ บัญญัติ รหัสนักศึกษา 56050677 นางสาวทิฆัมพร สุดสาคร รหัสนักศึกษา 56050687 นางสาวณิชา อุทิศานนท์ รหัสนักศึกษา 56050694
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมยานยนต์ และเครื่องจักรกล มีการใช้น้ำหล่อเย็นในกระบวนการผลิตในขั้นตอนการตัดชิ้นงานโลหะ ซึ่งจัดเป็นของเสียอันตรายที่มีค่าซีโอดีสูงมาก ไม่สามารถบำบัดเองได้ต้องส่งกำจัด ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดสูง งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำเอาเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายภายในโรงงาน ซึ่งเทคโนโลยีที่นำมาทดลองใช้ คือ กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation, EC) และกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO) โดยผู้ทำการวิจัยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดของทั้ง 2 กระบวนการ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษา ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง, ชนิดขี้, กระแสไฟฟ้า และระยะเวลาในการบำบัด หาสภาวะที่ดีที่สุดในการบำบัดน้ำหล่อเย็นที่ได้จากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมประเภทเครื่องจักรกลการเกษตร และอะไหล่ต่อพ่วง ผลการทดลองพบว่า กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชันมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นได้ดีกว่ากระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน แต่ในด้านของการลงทุนนั้น กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันมีความคุ้มทุนมากกว่า เนื่องจากใช้เวลาในการบำบัดน้อย ง่ายต่อการดำเนินการ สามารถบำบัดค่าซีโอดีเริ่มต้น 120,000 mg/L ลงได้ถึง 88.50 %

คำสำคัญ: กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน, กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน, การบำบัดน้ำเสีย, น้ำเสียหล่อเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Treatment of Coolant Wastewater from Agro-machinery Industry		
Students	Ms. Juthaluk Boonyarit	Student ID	56050677
	Ms. Tikumporn Sudsakorn	Student ID	56050687
	Ms. Nicha Autisanon	Student ID	56050694
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst.Prof.Krongkaew Tippayasak		

Abstract

Coolant Wastewater (CW) was created in the metal cutting process of Agro-machinery industry. This waste is classified as high COD and hazardous waste. Typically, CW were sent to the eliminate waste. This research has studied advance technology such as, Electrocoagulation (EC) and Electrooxidation (EO) to treatment coolant wastewater to reduce cost. The researcher have compared the removal efficiency between two methods. Parameters have studied for find the best condition such as pH value, types of electrode, electric current and contact time. The results showed that, EO process has higher efficiency for COD removal in coolant wastewater than EC process. However, EC process was suitable for investment than EO process due to easier procedure and less contact time than EO.

Keyword: Electrocoagulation, Electrooxidation, Wastewater treatment, Coolant Wastewater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้ศึกษาได้รับความช่วยเหลือ และได้รับคำปรึกษาดีๆ จากหลายฝ่าย โดยเฉพาะอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางในการดำเนินโครงการ ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของอาจารย์เป็นอย่างยิ่ง และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณบริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้โอกาสผู้ศึกษาในการทำงานวิจัยให้กับบริษัท ทำให้ผู้ศึกษาได้รับความรู้ และประสบการณ์จากการทำงานจริงซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้ศึกษาในการนำไปพัฒนาตนเองให้มีศักยภาพ ตลอดจนสามารถนำมาปรับใช้ในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งในการทำสหกิจศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากทางบริษัทตลอดระยะเวลาในการทำสหกิจศึกษา

- | | | |
|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| 1. คุณสมชัย | ลี้มทองสิทธิกุล | ผู้จัดการฝ่ายผลิตแทรกเตอร์ |
| 2. คุณพัชรินทร์ | เงินใบอ่อน | ผู้ช่วยผู้จัดการส่วนสิ่งแวดล้อม |
| 3. คุณโสธยา | เอี่ยมอำ | เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม |
| 4. คุณพุทธมน | จันทร์เทศ | เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม |

และบุคคลท่านอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ และมีคุณค่าต่อการทำสหกิจศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างดี

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนร่วมทุกท่าน ที่ให้ทั้งความรู้ ข้อมูล รวมไปถึงคำแนะนำต่างๆ ในการทำรายงานเล่มนี้ให้สมบูรณ์

นักศึกษาสหกิจศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
สัญลักษณ์.....	ฎ
บทที่ 1 ที่มาของโครงการ	1
1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	6
1.3 ขอบเขตของการทำสหกิจ.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 เอกสารที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 กระบวนการผลิต.....	8
2.2 สมบัติของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต	8
2.3 การบำบัดน้ำเสีย	11
2.3.1 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน (Electrocoagulation , EC)	12
2.3.2 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation , EO).....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำในรูปแบบต่างๆ	18
2.4.1 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในรูปปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ..	18
2.4.2 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำโดยตรง	19
2.5 การเข้าอบรมหลักสูตร ISO 9001:2015.....	29
บทที่ 3 การดำเนินการ.....	32
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	32
3.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น.....	33
3.3 การทดลองเบื้องต้น.....	34
3.4 เรื่องการบำบัดน้ำ CW โดยใช้กระบวนการ EC เปรียบเทียบกับ EO.....	36
3.4.1 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (ระบบเปิด).....	36
3.4.2 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (ระบบปิด).....	38
3.4.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	40
3.5 การเข้าอบรมหลักสูตร ISO9001:2015.....	41
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ.....	42
4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น.....	42
4.2 การบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EC	42
4.2.1 ผลของชนิดขั้วโลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด	43
4.2.2 ผลของพีเอช และ กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด	43
4.2.3 ผลของปริมาตรน้ำ CW ที่เหมาะสมบำบัด.....	44
4.2.4 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.5 การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง	44
4.2.6 ผลของการเพิ่มปริมาตรน้ำเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน (Pilot Scale).....	45
4.3 การบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EO.....	46
4.3.1 ผลของชนิดขั้วลบบที่มีผลต่อการบำบัด.....	46
4.3.2 ผลของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด.....	47
4.3.3 ผลของระยะเวลาในการบำบัด	48
4.3.4 การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง	48
4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ.....	49
4.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe)	49
4.4.2 การวิเคราะห์หาค่า TOC.....	49
4.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ (Cl ⁻).....	50
4.4.4 การวิเคราะห์น้ำหนักของตะกอน	50
4.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ (%OC)	50
4.5 ผลการอบรม ISO 9001:2015 ในหัวข้อ Process Approach และPDCA cycle	51
4.6 ผลการอบรม ISO 9001:2015 ในหัวข้อ Risk-based thinking.....	53
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	58
5.3 สรุปการเข้าร่วมอบรม ISO 9001 : 2015	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิง.....	61
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการวิจัย.....	64
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลของระยะเวลา Reflux ต่อการหาค่า COD.....	23
2.2 สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7$ ได้ถึง 95 – 98%	24
2.3 ประโยชน์ของการจัดทำ ISO 9001.....	30
3.1 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น.....	33
3.2 การทดลองเบื้องต้น	35
4.1 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น.....	42
4.2 ผลการยืนยันผลการทดลองของกระบวนการ EC	45
4.3 ผลของการเพิ่มปริมาตรน้ำเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน (Pilot Scale).....	45
4.4 การยืนยันผลการทดลองของกระบวนการ EO	49
4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก.....	49
4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC.....	50
4.7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์	50
4.8 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนระหว่างกระบวนการ EC และ EO	51
ข.1 ผลของชนิดขั้วโลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC	64
ข.2 ผลของพีเอช และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC.....	65
ข.3 ผลของปริมาตรน้ำที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC.....	66
ข.4 ผลของเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC.....	67
ข.5 ผลของชนิดขั้วลบที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO	68
ข.6 ผลของกระแสที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.7 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO.....	69
ข.8 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีใน Blank	70
ข.9 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการ EC.....	70
ข.10 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการ EO.....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผลิตภัณฑ์	5
2.1 แหล่งของน้ำเสียหล่อเย็น	8
2.2 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation , EC).....	12
2.3 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation , EO)	15
2.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC	26
3.1 ผังการทดลองเบื้องต้น	34
3.2 กระบวนการ EO ระบบปิด	35
3.3 ผังการดำเนินการ	36
3.4 การเตรียมขั้วโลหะก่อนการทดลอง.....	37
3.5 การเตรียมขั้วก่อนการทดลอง	38
3.6 การย่อยน้ำตัวอย่างด้วยวิธี Microwave-Assisted Digestion.....	40
4.1 ผลของชนิดขั้วโลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด	43
4.2 ผลของพีเอช และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด	43
4.3 ผลของปริมาตรน้ำ CW ที่เหมาะสมต่อการบำบัด.....	44
4.4 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด.....	44
4.5 (1) ผลของชนิดขั้วลบที่มีผลต่อการบำบัด.....	46
4.5 (2) ขั้วกราไฟต์ (ขั้วบวก) กับ ขั้วโลหะ (ขั้วลบ).....	46
4.6 (1) ผลของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด	47
4.6 (2) ผลของกระแสที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.7 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด.....	48
ก.1 กราฟมาตรฐานเหล็ก.....	61
ก.2 กราฟมาตรฐานคลอไรด์.....	63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
COD	ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand)
CW	Coolant Wastewater
EC	Electrocoagulation
EO	Electrooxidation
TOC	ปริมาณสารอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ที่มาของโครงการ

1.1 รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัท

ชื่อ-ที่ตั้งสถานประกอบการ

ที่ตั้ง : 700/867 หมู่ที่ 3 ตำบลหนองกะขะ อำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี 20160

พื้นที่ : 324,328 ตารางเมตร (202 ไร่ 2 งาน 82 ตร.วา)

ประวัติบริษัท

บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ก่อตั้งเมื่อ 2 สิงหาคม 2553 ด้วยเงินทุนจดทะเบียน 3,114 ล้านบาท โดยเกิดจากการรวมบริษัทสยามคูโบต้าอุตสาหกรรม กับ บริษัทสยามคูโบต้าแทรกเตอร์ มีสัดส่วนผู้ถือหุ้นระหว่างคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น ประเทศญี่ปุ่น (60%) และเอสซีจี (40%) โดยมีประวัติการก่อตั้งที่ยาวนาน ดังนี้

- พุทธศักราช 2521 ก่อตั้งบริษัท สยามคูโบต้าดีเซล จำกัด ผลิตและจำหน่ายสินค้าภายในตราสินค้า “คูโบต้า” และตรา “ช้าง” ณ นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จ. ปทุมธานี
- พุทธศักราช 2536 เปลี่ยนชื่อเป็น “บริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด”
- พุทธศักราช 2550 ก่อตั้งบริษัท สยามคูโบต้าแทรกเตอร์ จำกัด ณ นิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร จ.ชลบุรี
- พุทธศักราช 2553 ควบรวมกิจการระหว่าง บริษัท สยามคูโบต้าอุตสาหกรรม จำกัด และบริษัท สยามคูโบต้าแทรกเตอร์ จำกัด เป็น “สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด”

สยามคูโบต้า เริ่มส่งออกสินค้าไปยังต่างประเทศครั้งแรก ในปี พ.ศ. 2540 โดยเริ่มจำหน่ายสินค้าไปยังประเทศกัมพูชา พม่า ลาว และอินเดีย ปัจจุบันส่งออกสินค้าภายใต้ตราสินค้าคูโบต้า และตราช้างไปยังภูมิภาคต่างๆทั่วโลก ไม่ว่าจะเป็นภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เอเชียใต้ ตะวันออกกลาง แอฟริกา อเมริกาเหนือ และออสเตรเลีย ภายใต้เงื่อนไข และมาตรฐานของคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น (ประเทศญี่ปุ่น) โดยมียอดส่งออกมากกว่า 4,000 ล้านบาท เพื่อรองรับการขยายตลาดในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จึงได้ก่อตั้งบริษัท KUBOTA (CAMBODIA) Co., Ltd. ในกัมพูชา และบริษัท “KUBOTA LAOS SOLE Co., Ltd.” ในลาว และจัดตั้งสำนักงานขายในพม่า เวียดนาม และอินเดีย พร้อมให้บริการหลังการขายที่มีคุณภาพ และได้มาตรฐานด้วยศูนย์บริการเทคนิคสยามคูโบต้า และศูนย์บริการของผู้แทนจำหน่ายครอบคลุมพื้นที่ต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว และให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิสัยทัศน์

สยามคูโบต้า ตั้งเป้าเป็นผู้นำในธุรกิจเครื่องจักรกลการเกษตร และก่อสร้างในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ โดยจะเป็นฐานการผลิตที่สำคัญของคูโบต้าในต่างประเทศ รวมถึงการเป็นผู้นำในการส่งมอบวิธีการจัดการด้านการเกษตรโดยยึดหลักความพึงพอใจของลูกค้าเป็นสำคัญเพื่อคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น และการพัฒนาที่ยั่งยืนของผู้ที่มีส่วนได้เสีย

พันธกิจ

มุ่งมั่นพัฒนา และส่งมอบระบบการจัดการเกษตรกรรมแบบครบวงจรโดยคูโบต้า ด้วยการนำเสนอการทำงานที่ผสมผสานกันอย่างลงตัวระหว่างเทคนิคด้านการเกษตร (Agriculture Solutions) และการจัดการเครื่องจักรกลการเกษตร (Machinery Solutions) อย่างต่อเนื่อง ด้วยสินค้าคุณภาพมาตรฐานสากล และเป็นที่ยอมรับ เป็นเจ้าของได้ง่าย พร้อมทั้งนวัตกรรมด้านงานบริหาร ผ่านเครือข่ายที่ครอบคลุมทั่วประเทศ

บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด แยกออกเป็น

- Tractor Factory
- Combine Factory
- FGL

นโยบายของบริษัท

- นโยบายอนุรักษ์พลังงาน

บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ได้มีนโยบายด้านพลังงานเพื่อให้บุคลากรภายในใช้เป็นแนวทางในการดำเนินงานด้านพลังงานอย่างต่อเนื่อง ดังต่อไปนี้

1. บริษัทฯ จะดำเนินการ และพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน และกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินธุรกิจของบริษัทสอดคล้องกับกฎหมาย และข้อกำหนดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง
2. บริษัทฯ จะดำเนินการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่อง และเหมาะสมกับการดำเนินธุรกิจโดยใช้เทคโนโลยี และแนวทางการปฏิบัติที่ดี
3. บริษัทฯ จะกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานในแต่ละปี และสื่อสารให้พนักงานทุกคนเข้าใจ และปฏิบัติได้อย่างถูกต้อง
4. บริษัทฯ ถือว่าการอนุรักษ์พลังงานเป็นหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้บริหาร และพนักงานทุกคน
5. บริษัทฯ จะให้การสนับสนุนที่จำเป็น รวมถึงทรัพยากรด้านบุคลากร ด้านงบประมาณ เวลาในการทำงาน การฝึกอบรม การมีส่วนร่วมในการเสนอข้อคิดเห็นเพื่อพัฒนางานด้านพลังงาน
6. ผู้บริหาร และคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานจะทบทวน ปรับปรุงนโยบาย เป้าหมาย และแผนงานด้านพลังงานโดยฝ่ายบริหาร จะทำการทบทวน ทุกๆ 2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- นโยบายความปลอดภัย อาชีวอนามัย สภาพแวดล้อมในการทำงาน และสิ่งแวดล้อม บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด เป็นผู้ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตรที่มีความน่าเชื่อถือในระดับแนวหน้า เรามุ่งมั่นที่จะห่วงใยต่อชีวิต และต่อสุขภาพของพนักงานทุกคน ดังนั้น จึงเห็นสมควรให้มีการดำเนินงานด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานรวมถึงการรักษาสิ่งแวดล้อมภายใต้นโยบาย ดังนี้

1. ปฏิบัติตามกฎหมาย กฎระเบียบ และข้อกำหนดด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย (OHSAS 18001) ด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม (ISO 14001)
2. มุ่งมั่นในการป้องกันอุบัติเหตุ อุบัติการณ์ และการเจ็บป่วยจากลักษณะและสภาพการทำงาน ในกิจกรรมของบริษัท ตลอดจนดูแลด้านอาชีวอนามัยให้กับพนักงานและผู้รับเหมารวมถึงบุคลากรภายนอกที่มาติดต่อทุกคน ทุกระดับ โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงและสร้างสถานที่ทำงานให้มีความปลอดภัย และมีการรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง
3. มุ่งมั่นในการดำเนินธุรกิจอย่างมีความรับผิดชอบต่อความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม โดยการควบคุมป้องกันการเกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ฝุ่น คิวบิก เสียง ความร้อน น้ำเสีย รวมถึงกากของเสียต่างๆ และควบคุมด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน ได้แก่ ป้องกันการเกิดไฟไหม้ การสัมผัสสารเคมีอันตราย เสียงดัง เป็นต้น โดยการควบคุมให้เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด
4. มุ่งมั่นในการอนุรักษ์พลังงาน และใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยสนับสนุนให้มีกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง
5. บริหารความเสี่ยง ควบคุม และ/หรือลดการแพร่กระจายของมลพิษโดยการปรับปรุงประสิทธิภาพ และป้องกันอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งสู่เป้าหมายลดอุบัติเหตุในการทำงาน
6. ส่งเสริม และสนับสนุนให้พนักงานและผู้รับเหมาทุกคน ทุกหน่วยงานสร้างสถานที่ทำงานให้เป็นระเบียบเรียบร้อย ด้วยหลักการ 5 ส เพื่อให้มีสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างปลอดภัย และปรับปรุงวิธีการทำงาน รวมถึงการบำรุงรักษาอุปกรณ์ ตลอดจนควบคุมให้มีการใช้อุปกรณ์ป้องกันภัยอันตรายส่วนบุคคลที่เหมาะสมเพื่อลด และป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ และการแพร่กระจายของมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตของบริษัทอย่างต่อเนื่อง
7. พยายามมุ่งเน้นการพัฒนาพนักงานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานโดยการฝึกอบรมให้กับพนักงาน และผู้รับเหมาทุกคน
8. จัดให้มีการสื่อสารนโยบายความปลอดภัย อาชีวอนามัย สภาพแวดล้อมในการทำงาน และสิ่งแวดล้อมให้แก่พนักงานผู้รับเหมาทั่วทั้งองค์กร เพื่อนำไปปฏิบัติ และเผยแพร่ให้สาธารณชนทราบโดยให้เป็นไปตามข้อกำหนดในระบบ OHSAS 18001, ISO 14001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. บริษัทจัดให้มีการประเมินผล ทบทวนนโยบาย เป้าหมาย วัตถุประสงค์ และผลการดำเนินงาน ด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย สภาพแวดล้อมในการทำงาน และสิ่งแวดล้อม และให้การสนับสนุน ทรัพยากร งบประมาณ และการฝึกอบรม เพื่อการพัฒนาระบบอย่างต่อเนื่อง

ผลิตภัณฑ์ของบริษัท (โรงงานอมตะนคร)

บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด โรงงานอมตะนครได้พัฒนาเครื่องจักรกลทางการเกษตร ให้มีความหลากหลายครอบคลุมทุกการใช้งานในภาคเกษตรกรรมเพื่อตอบสนองทุกความต้องการของเกษตรกรไทย ได้แก่ รถแทรกเตอร์ จอบหมุน รถเกี่ยววนดข้าว โดยรายละเอียดของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตใน โรงงานอมตะนคร มีดังนี้

- รถแทรกเตอร์รุ่น L (L Series)

รถแทรกเตอร์รุ่น L ประกอบด้วยแรงม้าที่หลากหลาย ร่วมกับอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ครบครันเพื่อการใช้งานที่ครอบคลุมไม่ว่าจะเป็นงานนา งานไร่ และงานสวน โดยประกอบไปด้วยรถแทรกเตอร์รุ่นต่างๆ ดังนี้ L3208SP , L3608SP , L5018

- รถแทรกเตอร์รุ่น B (B Series)

รถแทรกเตอร์รุ่น B ที่สุดสำหรับงานบำรุงรักษาทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นงานกำจัดวัชพืช ฟันฮอร์โมน ไถพรวนดิน สับคลุกใบอ้อย หรือแม้แต่การปรับหน้าดิน ภายใต้มาตรฐานการใช้งานเทียบเท่า รถแทรกเตอร์รุ่นใหญ่ ตอบโจทย์ทุกความต้องการใช้งานสำหรับเกษตรกรไทยโดยเฉพาะ ประกอบไปด้วย รถแทรกเตอร์รุ่นต่างๆ ดังนี้ B2440 , B2140 , B2140Narrow

- รถแทรกเตอร์รุ่น M (M Series)

รถแทรกเตอร์รุ่น M ตอบโจทย์งานหนัก สมบุกสมบันในไร่ ที่นอกจากความแรงทรงพลังของ เครื่องยนต์แล้ว ยังคงความคล่องตัวในการใช้งานด้วยระบบเกียร์ที่ออกแบบมาสำหรับรถแทรกเตอร์คูโบต้า โดยเฉพาะ ประกอบไปด้วยรถแทรกเตอร์รุ่นต่างๆ ดังนี้ M6040SU , M7040 M8540/M9540 , M108S , M135X

- จอบหมุน (Rotary)

ประกอบด้วยรุ่นต่างๆ ดังนี้ จอบหมุนสำหรับ B Tractor 5 รุ่น , สำหรับรุ่น L Tractor 9 รุ่น และสำหรับ M Tractor 1 รุ่น

- รถเกี่ยววนดข้าว (Combine)

ประกอบด้วยรถเกี่ยววนดข้าวรุ่นต่างๆ ดังนี้ DC-105X , DC-70 , DC70G

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ผลิตภัณฑ์

โดยการเข้ามาทำสหกิจศึกษานั้นเป็นความร่วมมือกันของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และบริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้นักศึกษาได้เข้ามาเรียนรู้ชีวิตการทำงาน ของจริง และได้นำความรู้ที่ได้ศึกษาเล่าเรียนมาตลอดระยะเวลาที่อยู่ในรั้วมหาวิทยาลัยมาใช้ในการ ทำงานได้จริง เป็นไปตามความคาดหวังของสถานประกอบการ

งานที่ได้รับมอบหมายในระหว่างการทำสหกิจศึกษาตลอดระยะเวลา 4 เดือน จะแบ่งออกเป็น 2 งานด้วยกัน ได้แก่

1. รับผิดชอบโครงการการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นที่ผ่านกระบวนการผลิต (Coolant Wastewater, CW) โดยใช้กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation, EC) เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพกับกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO)

โครงการบำบัดน้ำ CW นั้น ใช้กระบวนการ EO เป็นกระบวนการที่ใช้ขั้วที่มีความต่างศักย์กันมาก มาดำเนินการ ทำให้เกิดปฏิกิริยาร่วมกับสารอินทรีย์ภายในน้ำเสียได้ โดยในที่นี่จะเกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน-รีดักชันที่พื้นผิวของขั้วที่เลือกใช้ งานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการ บำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EO โดยทดสอบทั้งชนิดของขั้ว, ปริมาณของกระแสไฟฟ้า และเวลาที่ใช้ ในการบำบัด โดยได้มีการทดลองทั้งการใช้กระบวนการ EC (ขั้นตอนที่ 1), EC (ขั้นตอนที่ 1) – EC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ขั้นตอนที่2), EC (ขั้นตอนที่ 1) – EO (ขั้นตอนที่ 2), และ EO (ขั้นตอนที่ 1) เพื่อเลือกหากระบวนการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการดำเนินการบำบัดน้ำ CW ซึ่งกระบวนการที่เหมาะสมที่สุด คือ กระบวนการ EO แบบปิด

2. เชื้ออบรมเกี่ยวกับระบบ ISO 9001 : 2015

ในส่วนของการเชื้ออบรมเกี่ยวกับระบบ ISO 9001 : 2015 จะเป็นการเชื้ออบรมเรียนรู้ข้อกำหนดและการประยุกต์ใช้ ISO 9001 : 2015 ซึ่งเป็นฉบับปัจจุบัน ทบทวนสถานะปัจจุบันของโรงงาน วิธีการปรับปรุงให้กลายเป็นฉบับปัจจุบัน ซึ่งได้รับการอบรมจากบริษัทปรึกษาที่มีประสบการณ์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วัตถุประสงค์ของการทำสหกิจ

- 1) เพื่อทำประโยชน์ให้กับสถานประกอบการ และเป็นประโยชน์แก่ตัวนักศึกษาในด้านของประสบการณ์การทำงานจริง
- 2) เพื่อเป็นการนำความรู้ที่ได้ศึกษาในรั้วมหาวิทยาลัยมาประยุกต์ใช้กับการทำงานจริง
- 3) เพื่อสร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างมหาวิทยาลัย และสถานประกอบการ
- 4) เพื่อเป็นประโยชน์ในการเลือกประกอบอาชีพของนักศึกษา
- 5) เพื่อสร้างวินัยการใช้ชีวิตในการทำงาน ความรับผิดชอบ และการตรงต่อเวลาซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่สถานประกอบการต้องการ

1.2.2 วัตถุประสงค์ของการทำงานวิจัย

- 1) เพื่อหาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้มาจากกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยี EC เปรียบเทียบ EO ภายในโรงงานสยามคูโบต้า
- 2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตของโรงงานสยามคูโบต้า

1.3 ขอบเขตของการทำสหกิจ

ดำเนินการทำสหกิจศึกษาเป็นระยะเวลา 4 เดือน (มกราคม 2560 – เมษายน 2560) ณ บริษัท สยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด (โรงงานอมตะนคร จังหวัดชลบุรี) โดยมีวิศวกรที่เลี้ยง คือ คุณพัชรินทร์ เงินใบอ่อน ตำแหน่งผู้ช่วยผู้จัดการส่วนสิ่งแวดล้อม ซึ่งหน้าที่ที่ได้รับมอบหมายมีดังนี้

1) โครงการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากกระบวนการผลิต (Coolant Wastewater, CW) โดยใช้กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (Electrocoagulation, EC) เปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO)

2) จำลองระบบบำบัดน้ำเสีย ทั้ง EC และ EO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) น้ำเสียที่นำมาทำการทดลองเป็นน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต (CW) ของบริษัทสยามคูโบต้าคอร์ปอเรชั่น จำกัด (โรงงานอมตะนคร) มีค่า COD ประมาณ 120,000 mg/L มาทำการทดลองกับ EC เปรียบเทียบกับ EO เพื่อให้ค่า COD ลดลงอยู่ในช่วง 10,000-700 mg/L และค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีค่าลดน้อยลง อาทิ TOC, AAS (Fe), Cl⁻, และน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยวิธีนี้สามารถนำไปบำบัดร่วมกับน้ำเสียอื่นๆภายในโรงงาน โดยไม่ต้องทำการส่งไปเผากำจัด
- 4) เช้าอบรมเกี่ยวกับระบบ ISO 9001 : 2015
- 5) งานอื่นๆที่ได้รับมอบหมาย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงแนวโน้มในการนำกระบวนการ EC และ EO มาใช้ในการบำบัดน้ำ CW ที่ใช้ในภายในบริษัท สยามคูโบต้า
- 1.4.2 บริษัท สยามคูโบต้าได้ข้อมูลผลการทดลองเพื่อใช้ในการยืนยันทางเลือกที่จะสร้างระบบบำบัดน้ำ CW โดยใช้กระบวนการ EO ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.4.3 เกิดความร่วมมือทางวิชาการ และความสัมพันธ์ที่ดีกับสถานประกอบการ
- 1.4.4 สหกิจศึกษาเป็นแนวทางที่จะทำให้มหาวิทยาลัยเป็นที่รู้จัก และได้รับการยอมรับจากสถานประกอบการ
- 1.4.5 ได้รับประสบการณ์จากการทำงานจริง และรู้จักรับผิดชอบต่องานที่ได้รับมอบหมายอย่างเต็มที่
- 1.4.6 สหกิจศึกษาช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานนำองค์ความรู้ที่มีอยู่มาใช้ในการปฏิบัติงานจริง
- 1.4.7 ได้เห็นแนวทางการประกอบอาชีพของสาขาที่เรียนมาจากสถานประกอบการ
- 1.4.8 ได้เรียนรู้งานที่หลากหลายเพื่อใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจต่อการประกอบอาชีพในอนาคต
- 1.4.9 สหกิจศึกษาช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้เรียนรู้ชีวิตการทำงานเพื่อที่จะเตรียมความพร้อมสู่การทำงาน เมื่อจบการศึกษา
- 1.4.10 เกิดการเรียนรู้ และพัฒนาทักษะทางสาขาวิชาชีพซึ่งเป็นที่ต้องการของสถานประกอบการ ส่งผลให้ผู้ปฏิบัติงานเป็นบัณฑิตที่มีคุณภาพสูง และเป็นที่ต้องการของตลาดแรงงาน
- 1.4.11 เพื่อลดค่าใช้จ่ายของการส่งกำจัดน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต

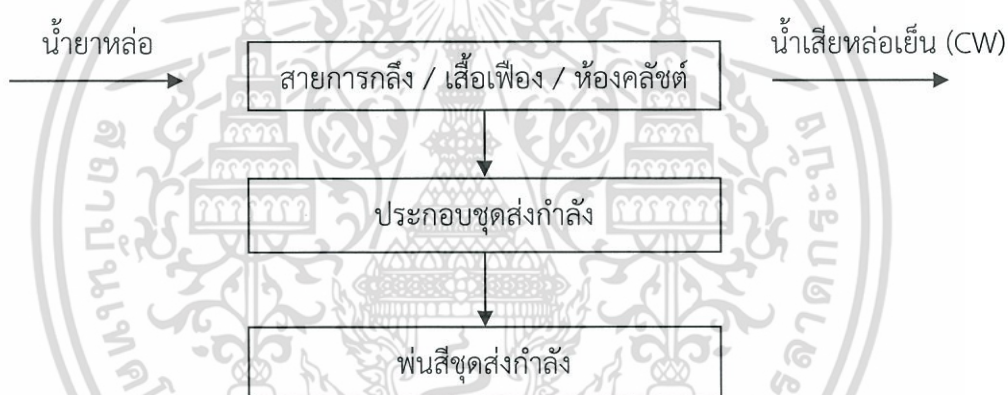
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิต

บริษัท สยามคูโบต้า เป็นโรงงานที่ผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร และอะไหล่ต่อพ่วง ซึ่งจัดเป็นโรงงานขนาดใหญ่ โดยกระบวนการผลิตเริ่มจากการตัดชิ้นส่วนที่ได้รับจากบริษัทภายนอกให้ได้ตามความต้องการในกระบวนการตัดชิ้นส่วน หรือเชื่อมชิ้นส่วนนี้ใช้น้ำยาหล่อเย็น (Coolant) ในกระบวนการเกิดเป็นน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งมีค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมีในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand : COD) สูงถึงประมาณ 120,000 mg/L จากนั้นจึงนำชิ้นส่วนที่ตัดได้นี้ไปสู่กระบวนการล้างคราบน้ำมันที่เกาะอยู่ เพื่อเตรียมผิวของชิ้นโลหะในการประกอบเป็นเครื่องจักรแล้วจึงทำการประกอบชุดส่งกำลัง ทำการพ่นสีชุดส่งกำลัง และกระจายไปยังศูนย์การค้าทั่วประเทศ



รูปที่ 2.1 แหล่งของน้ำเสียหล่อเย็น

2.2 สมบัติของน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต

น้ำมันหล่อเย็น (Cutting Fluid) หรือเรียกน้ำยาหล่อเย็น เป็นผลิตภัณฑ์สารหล่อเย็นที่ใช้สำหรับระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานขณะการตัดเฉือนโลหะ ซึ่งการตัดโลหะพบมากในภาคอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเหล็ก และชิ้นส่วนโลหะ โดยการใช้เครื่องมือกลสำหรับตัดชิ้นงานโลหะทำให้เกิดความร้อนจากการตัด แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- การตัดเฉือน และการเสียรูปของโลหะ
- แรงเสียดทานระหว่างใบเลื่อยกับผิวโลหะขณะตัดเฉือนโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกถ่ายเทไปยังส่วนต่างๆ ได้แก่ เศษโลหะประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์, ใบเลื่อย และเครื่องตัดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์, ชิ้นงานประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และใช้เป็นพลังงานในการตัด 25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น หากมีสารที่ช่วยลดความร้อน และแรงเสียดทานของการตัดก็จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการตัดมากยิ่งขึ้น

ประโยชน์น้ำมันหล่อเย็น

1. ลดความร้อนของอุปกรณ์ต่างๆ ขณะตัดโลหะ
2. ป้องกันรอยที่อาจเกิดขึ้นกับรอยตัดชิ้นงาน
3. ลดค่าใช้จ่ายด้านเครื่องมือกลจากการเสื่อมสภาพ ผุกร่อน และชำรุดของอุปกรณ์
4. เพิ่มความเร็วในการตัดโลหะ ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงาน
5. ลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน หากใช้วิธีการตัดแบบอื่น

ประเภทน้ำมันหล่อเย็น มี 4 ประเภท ได้แก่

1. สารเคมีสังเคราะห์ผสมน้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นสารละลายสีขาวขุ่นคล้ายน้ำนม หรือสีอื่นๆตามชนิดของสารเคมี เหมาะสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง เช่น งานเจียรระโน งานตัดเฟืองเกียร์ เป็นต้น ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ชนิด คือ สารเคมีที่มีคุณสมบัติในการระบายความร้อน และลดแรงเสียดทานผสม เช่น Boramide compounds, Alkanolamine Esters and Reaction Products และ 3,3-Methylenebis(5-Methyloxazol Idyne) เป็นต้น และใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย
2. กรณีที่ใช้น้ำมันผสมน้ำ หรือโซลูเบิลออยล์ (Soluble oil) เป็นองค์ประกอบ คือ น้ำมัน และน้ำ โดยมีอัตราส่วนน้ำมันมากกว่าน้ำ (ประมาณ 60-90 เปอร์เซ็นต์) การเติมสารที่ทำให้น้ำมันละลายรวมตัวกับน้ำ หรือเรียกว่า อิมัลซิไฟเออร์ เป็นการนำข้อดีของน้ำมัน และน้ำเข้าด้วยกัน เหมาะสำหรับงานเบา และงานปานกลาง มีข้อเสียคือ อายุใช้งานน้อย เน่าเสียง่าย ชิ้นส่วนโลหะเกิดสนิม
3. น้ำมัน 100% เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมัน 100% สามารถใช้งานได้เลยโดยไม่ต้องผสมน้ำมักผลิตจากน้ำมันธรรมชาติ ซึ่งน้ำมันนี้มีคุณสมบัติในการลดความร้อน และแรงเสียดทานที่เกิดจากการตัดโลหะ มีราคาถูก เหมาะสำหรับงานตัดที่มีรอบต่ำ งานที่ต้องการความละเอียดสูง มีข้อเสีย คือ มีกลิ่นฉุนขณะใช้งาน และมีควันมาก
4. น้ำมันสังเคราะห์ 100% เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำมันสังเคราะห์ 100% ไม่มีองค์ประกอบของน้ำมันแร่ และน้ำ แต่อาจทำการผสมน้ำกลั่น 1 : 10 ถึง 40 ก่อนใช้งาน ซึ่งน้ำมันสังเคราะห์นี้มีคุณสมบัติในการลดความร้อน และแรงเสียดทานที่เกิดจากการตัดโลหะ เช่น น้ำมันแร่ น้ำมันผสมน้ำมันสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบทั่วไปน้ำมันหล่อเย็น

1. กรณีที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติช่วยระบายความร้อนได้ดี
2. กรณีที่ใช้ไขมันจากธรรมชาติเป็นองค์ประกอบ เป็นน้ำมันที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ หรือน้ำมันที่ใช้แล้ว แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ น้ำมันแร่พาราฟินิก และน้ำมันแร่แนฟทานิก ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้น้ำมันแร่พาราฟินิก เพราะมีสารก่อมะเร็งน้อยกว่าแนฟทานิก ซึ่งน้ำมันแร่ที่ใช้มีคุณสมบัติในการหล่อลื่นและระบายความร้อนได้ดี
3. สารเติมแต่งชนิดต่างๆ
 - สารอิมัลซิไฟเออร์ และลดความตึงผิว ทำหน้าที่ผสมน้ำมันให้รวมตัวกับน้ำ และลดแรงตึงผิวทำให้น้ำมันหล่อเย็นแทรกซึมเข้าสู่ผิวโลหะได้ดี
 - สารรับแรงกดสูง ทำหน้าที่หล่อลื่นผิวโลหะทำให้รับแรงกดได้เพิ่มขึ้น สารเหล่านี้ ได้แก่ สารประกอบซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส คลอรีน เป็นต้น
 - สารป้องกันการกัดกร่อน ทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนผิวโลหะ วัสดุตัดจากปฏิกิริยาเคมีของกรด สารเปอร์ออกไซด์ และความร้อน ได้แก่ โซเดียมโมลิบเดต เอมีน เอมีด เป็นต้น
 - สารลดแรงเสียดทาน ทำหน้าลดแรงเสียดทานผิวโลหะด้วยแผ่นฟิล์มบางๆที่จับหน้าผิวโลหะ
 - สารป้องกันการเน่าเสีย ทำหน้าที่ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ป้องกันไม่ให้น้ำมันหล่อเย็นเสียหายจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ สารเหล่านี้ ได้แก่ สารในกลุ่มอินทรีย์ฮาโลเจน
 - สารรักษาความเป็นกรด-ด่าง ทำหน้าที่เป็นตัวบัฟเฟอร์รักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำมันหล่อเย็นให้คงที่ ซึ่งทั่วไปจะมีค่าพีเอชในช่วง 8.5-9.0 นอกจากนี้ ยังต้านการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ได้อีกทาง สารเหล่านี้ ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และเอทานอลไมท์
 - สารเพิ่มความเสถียร ทำหน้าที่สร้างความเสถียรให้แก่สารละลายของน้ำมันหล่อเย็น ป้องกันการแยกตัวของน้ำมัน สารเหล่านี้ ได้แก่ แอลกอฮอล์ และไกลคอล
 - สารป้องกันฟอง ทำหน้าที่ลดการเกิดฟองขณะใช้งาน โดยเฉพาะในส่วนผสมที่มีสารลดแรงตึงผิวสูงซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดฟองได้ขณะใช้งาน สารเหล่านี้ ได้แก่ ซิลิกอน
 - สารลดความกระด้าง ทำหน้าที่ลดความกระด้างที่เกิดจากสารประกอบในกลุ่มของเกลือแคลเซียม และแมกนีเซียม สารพวกนี้ ได้แก่ สารในกลุ่มของเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำแนกความเป็นอันตรายของน้ำหล่อเย็น

ความเป็นอันตรายต่อร่างกาย

1. เป็นอันตราย ถ้าหากสูดดมหรือกลืนเข้าไป
2. เป็นสาเหตุให้เกิดการระคายเคืองต่อดวงตา และผิวหนัง

ความเป็นอันตรายทางกายภาพ/เคมี

1. เป็นอันตราย ต่ำ

อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment)

- ควรสวมถุงมือป้องกัน ชนิดที่ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี
- ควรสวมแว่นตานิรภัย

การปฐมพยาบาลเบื้องต้น

การสัมผัสกับดวงตา : ล้างด้วยน้ำสะอาดอย่างน้อย 15 นาที

การสัมผัสทางผิวหนัง : ล้างด้วยสบู่อ่อนๆและน้ำอุ่น

การสูดดม : พาไปยังที่ที่อากาศถ่ายเท

การกลืน : ถ้าในปริมาณมากก็ทำให้อาเจียน

*ที่มา : ES-083-151 Yushiroken FGE201 (SDS-199) เอกสารความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (MSDS)

2.3 การบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียของโรงงานมีลักษณะเป็นของเหลวขุ่น มีคราบน้ำมันที่เกิดจากการตัด หรือเชื่อมชิ้นงานปะปนอยู่ ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะบำบัดด้วยการตกตะกอน เพื่อดึงสารต่างๆที่อยู่ภายในน้ำเสียให้จับตัวกัน

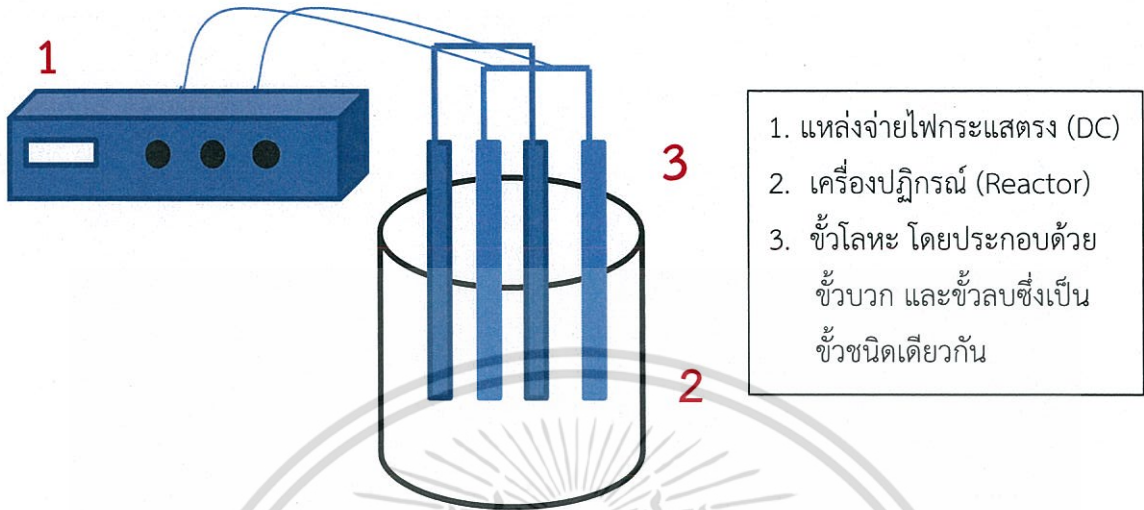
กระบวนการบำบัดด้วยการตกตะกอน กรณีน้ำเสียที่มีโลหะเจือปน ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการ

- การตกตะกอนด้วยสารเคมี เป็นการตกตะกอนอย่างง่ายโดยใช้สารเคมี เช่น ปูนขาว พอลิเมอร์ สารส้ม เป็นต้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็น เนื่องจากน้ำเสียหล่อเย็นมีความสกปรกมาก ค่าซีไอดีสูง

- การตกตะกอนด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ไฟฟ้ามาช่วยด้วย (กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน, กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน) ซึ่งเป็นการออกซิเดชันขั้นสูง (Advance oxidation process, AOP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน (Electrocoagulation, EC)



รูปที่ 2.2 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน (Electrocoagulation, EC)

หลักการของกระบวนการ EC

กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้า เป็นการตกตะกอนที่ทำมาจากเซลล์เคมีไฟฟ้าแบบอิเล็กโทรไลซิส โดยมีขั้วบวก และขั้วลบต่อเข้ากับตัวจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ปฏิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (Anode) ทำให้เกิดการสักร้อนของอิเล็กโทรดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะที่อิเล็กโทรดที่ขั้วลบ (Cathode) เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ทำให้ไม่เกิดการสักร้อน ในการบำบัดน้ำเสียต้องใช้ปริมาณไฮดรอกไซด์ที่ละลายออกมาจากอิเล็กโทรดจำนวนมากพอต่อปริมาณมลสารที่ต้องการกำจัด ดังนั้นจึงต้องใช้อิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวจำนวนมากซึ่งแผ่นโลหะที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า และเกิดการสักร้อนจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน เรียกว่า อิเล็กโทรดสังเวย (Sacrificial electrode) อาจใช้โลหะชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกันเป็นอิเล็กโทรดขั้วบวก และขั้วลบก็ได้

โดยทั่วไปนิยมใช้แผ่นโลหะ เช่น เหล็ก หรืออลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรดสังเวยเพื่อผลิตไฮดรอกไซด์อย่างต่อเนื่อง ไฮดรอกไซด์ที่ผลิตขึ้นไปทำให้ประจุบคอลลอยด์เป็นกลาง และทำให้คอลลอยด์รวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ ไฮดรอกไซด์ที่ผลิตขึ้นนี้อาจกำจัดมลสารในน้ำด้วยกระบวนการอื่นๆ เช่น ปฏิริยาเคมี และการตกผลึก หรือเกิดจากการรวมตัวกันของมลสารแล้วลอยขึ้นผิวน้ำโดยก๊าซไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้น นอกจากนี้ น้ำที่มีของแข็งแขวนลอย น้ำมัน หรือมลสารอื่นๆ เมื่อไหลผ่านสนามไฟฟ้า และอาจทำให้เกิดปฏิกิริยาไอออไนเซชัน (Ionization) อิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis) หรือการเกิดอนุมูลอิสระ (Free-radical) ทำให้คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของน้ำ และมลสารเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีผลต่อการกำจัดมลสารออกจากน้ำ เพื่อให้สามารถกำจัดมลสารได้มากขึ้นอาจกำหนดให้น้ำเสียไหลผ่านเซลล์ไฟฟ้า

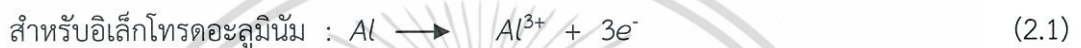
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายๆเซลล์อย่างต่อเนื่อง โดยใช้อิเล็กโทรดที่ทำจากโลหะต่างชนิดกัน และสำหรับการกำจัดมลสาร จำเพาะอาจต้องทำการปรับค่าพีเอช, ค่าโออาร์พี (Oxidation reduction potential ; ORP) และค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเสียก่อนเข้าสู่เซลล์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ดีขึ้น

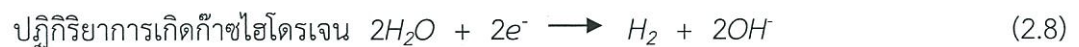
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมี และกลไกการเกิดโคแอกกูเลชันที่เกิดขึ้น จะขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำ ได้แก่ การนำไฟฟ้า ค่าพีเอช ขนาดของอนุภาค และองค์ประกอบทางเคมีในน้ำ กลไกการเกิดไอออนจะขึ้นกับชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้ดังต่อไปนี้

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode) มีดังต่อไปนี้



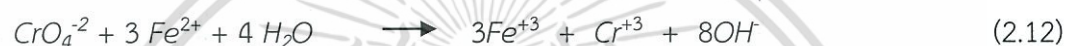
ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) มีดังต่อไปนี้



ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าจะไปเกาะติดกับของแข็งแขวนลอย และลอยตัวขึ้นผิวน้ำ Fe^{3+} ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาต่อเนื่องกับน้ำโดยขึ้นกับค่า pH ในสภาวะที่เป็นกรดจะได้ $Fe(OH)^{2+}$, $Fe(OH)_2^+$ และ $Fe(OH)_3$ ดังสมการต่อไปนี้



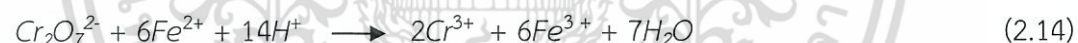
ในสถานะเป็นต่างจะได้ $\text{Fe}(\text{OH})_3$ และอาจพบ $\text{Fe}(\text{OH})_6^-$ และ $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$ ร่วมด้วยสำหรับน้ำเสียที่มี Cr^{6+} หรือ CrO_4^{2-} เป็นองค์ประกอบสามารถกำจัดได้ด้วยกระบวนการ EC ที่ใช้อิเล็กโทรดที่เป็นเหล็ก โดยอ็อกซิเจน Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นสามารถรีดิวซ์ Cr^{6+} ให้เป็น Cr^{3+} ในสถานะที่เป็นต่าง ดังสมการต่อไปนี้



หรือ



Cr^{3+} จะถูกกำจัดได้ด้วยการตกผลึกเป็น $\text{Cr}(\text{OH})_3$ เมื่อเพิ่มค่า pH ของน้ำเสีย นอกจากนี้ Fe^{2+} ยังสามารถรีดิวซ์ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ในสถานะที่เป็นกรดดังสมการต่อไปนี้



ข้อดีและข้อด้อยของ EC

ข้อดี

- 1) EC เป็นระบบที่ใช้เครื่องมือธรรมดาที่สามารถเดินระบบได้ง่าย
- 2) น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ EC มีลักษณะใส ไม่มีสี และไม่มีกลิ่น
- 3) สลัดจ์ (Sludge) ที่ได้จาก EC ตกตะกอนได้เร็ว และรีดน้ำออกได้ง่าย และเกิดสลัดจ์ในปริมาณที่น้อยกว่าการใช้สารเคมีในการตกตะกอน
- 4) ตะกอน หรือฟล็อก (Floc) ที่เกิดขึ้นจาก EC มีลักษณะเดียวกับสลัดจ์ที่ได้จากการเติมสารเคมี แต่มีขนาดใหญ่กว่า และคงตัวกว่า ทำให้สามารถกำจัดออกด้วยการกรองได้เร็วกว่า
- 5) น้ำทิ้งจากระบบ EC มีค่าของแข็งละลายน้ำน้อยกว่าการใช้สารเคมีตกตะกอน ซึ่งทำให้ค่าบำบัดน้ำสำหรับการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่มีค่าต่ำกว่า
- 6) กระบวนการ EC สามารถกำจัดคอลลอยด์ (Colloid) ที่มีขนาดเล็กได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ฟองก๊าซขนาดเล็กที่เกิดขึ้นจะเกาะติดกับของแข็งแขวนลอย และลอยขึ้นสู่ผิวน้ำทำให้สามารถกำจัดออกได้ง่าย

8) ระบบ EC ใช้เครื่องมือแบบธรรมดาที่ไม่มีระบบขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า จึงทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่าย

9) สามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป แม้ในที่ๆไม่มีไฟฟ้าใช้ โดยสามารถใช้แผงผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ต่อเข้ากับแบตเตอรี่ และจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ซึ่งอาจเพียงพอสำหรับการเดินระบบขนาดเล็กได้

ข้อด้อย

1) โลหะจากอิเล็กโทรดละลายลงสู่น้ำเสีย ทำให้ต้องทำการเปลี่ยนอิเล็กโทรดตามระยะเวลาการใช้งาน เกิดค่าใช้จ่ายในการบำบัด

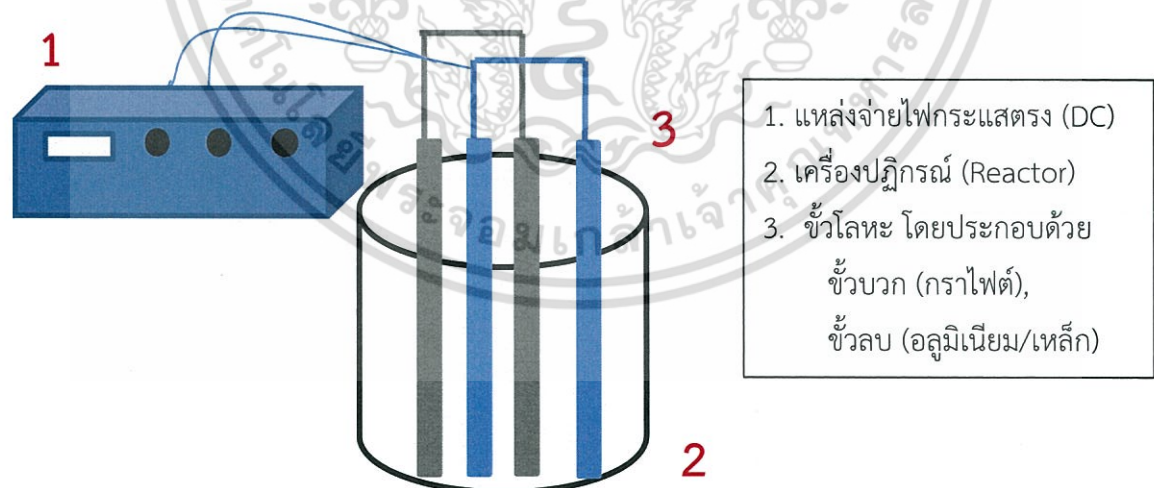
2) การใช้ไฟฟ้าอาจมีราคาแพงในบางพื้นที่

3) อาจเกิดฟิล์มออกไซด์ของเกลือโลหะบนผิวของอิเล็กโทรด ทำให้ประสิทธิภาพของระบบ EC ลดลง ทำให้ต้องทำการล้างอิเล็กโทรดเป็นครั้งคราว เป็นผลทำให้เกิดการสิ้นเปลืองเวลาในการถอดอิเล็กโทรดมาล้าง

4) น้ำเสียที่บำบัดด้วยระบบ EC ต้องมีค่าการนำไฟฟ้าสูงเพียงพอ

5) ตะกอนไฮดรอกไซด์บางชนิดจะมีลักษณะเป็นเจล อาจละลายน้ำได้ในบางกรณี

2.3.2 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO)



รูปที่ 2.3 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของกระบวนการ EO

กระบวนการไฟฟ้าเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียมีองค์ประกอบหลัก คือ เซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงต่อกับขั้วแคโทด และแอโนด โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นตัวกลางในการถ่ายโอนไอออน ชนิดของวัสดุที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้า คือ ปัจจัยสำคัญที่กำหนดปฏิกิริยาของสารในระบบ ในการใช้ขั้วที่สึกกร่อนง่าย (Sacrifice electrode) เช่น ขั้วเหล็ก, ขั้วอะลูมิเนียม ถูกออกซิไดซ์ที่ขั้วแอโนด หรือเป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอน ในขณะเดียวกันได้ไอออนของเหล็ก หรืออะลูมิเนียมหลุดออกมาในระบบด้วย ทำให้เกิดกระบวนการตกตะกอน ในขณะที่การใช้ขั้วเฉื่อย เช่น กราไฟต์ซึ่งไม่จ่ายอิเล็กตรอน หรือไม่ถูกออกซิไดซ์ แต่สารอื่นที่อยู่ในระบบ เช่น ไอออน หรือสารอินทรีย์ พร้อมจ่ายอิเล็กตรอนให้ระบบ หรือถูกออกซิไดซ์ที่ขั้วไฟฟ้า

ปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี หรือปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันเกิดได้ 2 รูปแบบ คือ Direct anodic oxidation ซึ่งสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ที่ผิวหน้าของขั้วแอโนดโดยตรง และ Indirect oxidation ซึ่งสารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์โดยสารออกซิแดนซ์ซึ่งถูกผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี สารออกซิแดนซ์ที่ผลิตจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีได้แก่ คลอรีน, ไฮโปคลอไรท์, โอโซน, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

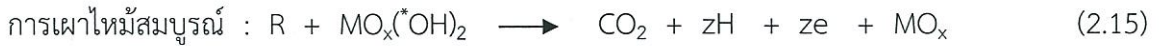
กระบวนการ EO เป็นกระบวนการที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้ากับขั้วไฟฟ้า เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ละลายน้ำอยู่ (Soluble Organic Pollutants) โดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าไป ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทด โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ปฏิกิริยาโดยตรง (Direct anodic oxidation) และปฏิกิริยาโดยอ้อม (Indirect oxidation)

ปฏิกิริยาโดยตรง (Direct anodic oxidation) สารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์ที่ผิวหน้าของขั้วแอโนดโดยตรง ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนั้น สารอินทรีย์เคลื่อนที่เข้าไปใกล้พื้นผิวของขั้วแอโนด และทำปฏิกิริยาที่ผิวหน้าของขั้ว ซึ่งหมายความว่าในเรื่องของการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์ สมบัติการนำไฟฟ้าของผิวหน้าขั้วเป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดกระบวนการนี้ ยิ่งไปกว่านั้นในสภาวะที่เสถียร ทำให้การถ่ายโอนมวลสารสามารถควบคุมอัตราการเกิดกระบวนการ และประสิทธิภาพของกระบวนการได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยตรงอาจเกิดได้ 2 รูปแบบ โดยสมการเสนอโดย Comninellis, 1994. ได้แก่

1) การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ โดยสารอินทรีย์จะเป็นเพียงการเปลี่ยนรูป (Conversion - สมการที่ 2.15) ซึ่งจะไม่สลายสารอินทรีย์จนหมด แต่การที่สารอินทรีย์เปลี่ยนรูปจากเดิม มีผลให้คุณสมบัติเปลี่ยนไป เช่น ได้โครงสร้างที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ หรือลดความเป็นพิษลง ซึ่งมีผลดีต่อการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก

2) การเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งสารอินทรีย์เปลี่ยนเป็น CO_2 (Combustion - สมการที่ 2.15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



*หมายเหตุ : เมื่อ R คือ สารอินทรีย์ และ z คือ จำนวน *OH บนขั้วแอโนด

ปฏิกิริยาโดยอ้อม (Indirect oxidation) สารอินทรีย์ถูกออกซิไดซ์โดยสารออกซิแดนซ์ที่ถูกผลิตขึ้นจากปฏิกิริยาไฟฟ้า (Grimm et al., 1998.) สารออกซิแดนซ์ที่ผลิตจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ได้แก่ คลอรีน และไฮโปคลอไรท์ (Naumczyk et al., 1996 และ Vlyssids et al., 1997) สมการดังต่อไปนี้แสดงปฏิกิริยาการเกิดสารออกซิแดนซ์ที่สำคัญ ซึ่งเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการทำลายสารอินทรีย์

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วบวก (anode) มีดังต่อไปนี้



ปฏิกิริยาในสารละลาย



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่ขั้วลบ (cathode) มีดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ให้ความสนใจในการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นที่ได้จากกระบวนการผลิต (Coolant Wastewater, CW) โดยกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (Electrooxidation, EO) ให้กระแสตรง (DC) เข้ากับขั้วไฟฟ้า ซึ่งขั้วบวก คือ กราไฟต์ และขั้วลบ คือ อลูมิเนียม ทำการศึกษาที่สภาวะต่างๆ ได้แก่ ชนิดของขั้วลบ, ปริมาณกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัด การศึกษาครั้งนี้มีการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน รวมไปถึงข้อดี/ข้อเสียของกระบวนการนี้ด้วย

ข้อดีและข้อด้อยของ EO

ข้อดี

- 1) EO สามารถบำบัดน้ำเสียที่ไม่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้
- 2) ลดปัญหาการจัดการสารเคมีซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อการบินเปื้อนของสารอินทรีย์ย่อยสลายยากสู่สิ่งแวดล้อม เพราะสารอินทรีย์สามารถแตกตัว/สลาย ให้เป็นโมเลกุลที่เล็กลงได้
- 3) สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงได้
- 4) แม้ว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันแบบไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถกำจัดสารเคมีย่อยสลายยากได้ทั้งหมด แต่สามารถลดความเป็นพิษลงได้ ซึ่งมีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ย่อยสลายยาก

ข้อด้อย

- 1) ขั้วสึกกร่อนง่าย ต้องเปลี่ยนขั้วบ่อย ใช้วัสดุสิ้นเปลือง
- 2) ไม่สามารถใช้ขั้วซ้ำหรือใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน เพราะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง
- 3) ระยะเวลาในการบำบัดนาน สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง

2.4 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำในรูปแบบต่างๆ

2.4.1 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในรูปปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์

- ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำในสภาพที่มีออกซิเจน กระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 5 วัน เรียกว่า BOD₅

- ค่าความต้องการออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการใช้เพื่อออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ (Chemical Oxygen Demand, COD) คือ ปริมาณออกซิเจนที่สารอินทรีย์ต้องการใช้เมื่อถูกย่อยสลายด้วยสารเคมี (Chemical oxidizing agent) ในสภาวะที่เป็นกรด กระบวนการนี้ใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

- ค่าความต้องการออกซิเจนทางทฤษฎี (Theoretical Oxygen Demand, ThOD) สารอินทรีย์จากสัตว์พืช ประกอบไปด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน อาจมีไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรู้อย่างนี้ประกอบทางเคมีของสารอินทรีย์เหล่านั้น ก็สามารถคำนวณหาปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้นได้ ค่าออกซิเจนที่คำนวณได้ คือ ค่า ThOD

- ค่าปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในน้ำ (Total Organic Carbon, TOC) ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในน้ำ ประกอบด้วยอนินทรีย์คาร์บอน (Inorganic Carbon) ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ไบคาร์บอเนตและคาร์บอเนตในน้ำ และอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) หลักการวิเคราะห์ค่าที่ไอซี คือการออกซิไดซ์คาร์บอนในสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนสภาพไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และทำการหาปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.4.2 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำโดยตรง

- VSS (Volatile Suspended Solids) หรือของแข็งแขวนลอยระเหย คือ น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่หายไปเมื่อนำไปเผาที่ 550°C เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเทียบกับน้ำหนักของแข็งที่มีอยู่เมื่ออบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง วิธีนี้เป็นวิธีบอกปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำที่เก่า และไม่ค่อยนิยมใช้กันในปัจจุบัน

- TOC (Total Organic Carbon) มีหลักการ คือ สารอินทรีย์ในน้ำจะถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงในเครื่อง TOC ได้เป็น CO_2 และ H_2O ในสภาวะที่มีตัวกระตุ้นปฏิกิริยาก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจะถูกวัดด้วยแสงอินฟราเรด (Non dispersive infrared) วิธีนี้เป็นวิธีการที่สะดวก และรวดเร็วที่สุดในปัจจุบัน คือ ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที

เนื่องจากการวัดค่า COD และ TOC มีความสะดวก รวดเร็ว จึงใช้เป็นพารามิเตอร์ในการติดตามผลในงานวิจัยนี้ ดังนั้นขอกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ความหมายของ COD

หมายถึง ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำโดยตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (Strong oxidizing agent) ภายใต้สภาวะที่เป็นกรด

หลักการทั่วไป

การวัดกำลังความสกปรกของน้ำที่มาจากอาคารบ้านเรือน และน้ำที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบโดยใช้ค่า COD นั้น อาศัยหลักการที่ว่าสารอินทรีย์เกือบทั้งหมด (ยกเว้นเป็นส่วนน้อย) สามารถถูกออกซิไดซ์โดยตัวเติมออกซิเจนอย่างแรงภายใต้สภาวะที่เป็นกรด สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำที่ประมาณ 95-100% ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียไนโตรเจน ปฏิกิริยาพื้นฐานของการเติมออกซิเจนอาจเขียนได้ดังสมการที่ (2.25) ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การหาค่า COD ออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังสมการ (2.25) ได้มาจากสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวให้ออกซิเจนกับสารอื่น แสดงดังสมการที่ (2.26)

Organic Carbon + Chemical Oxidizing agent

$H^+\Delta$

(2.26)

$CO_2 + H_2O + \text{Reduced Oxidizing agent}$

เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาปริมาณตัวเติมออกซิเจนที่ถูกใช้ไปจะถูกนำไปคำนวณหาค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์ ถ้าปริมาณออกซิเจนถูกใช้ไปมากจะแสดงว่าสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายนี้ออกซิเจนจำนวนมาก

สารออกซิไดซ์ที่ใช้ในการหาค่า COD ของน้ำมีหลายตัว เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เซริคซัลเฟต ($Ce_2(SO_4)_3$) โพแทสเซียมไอโอเดต (KIO_3) และกรดไอโอดิก (HIO_3) โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ($K_2S_2O_8$) และโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) แต่ละตัวมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน แต่ที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน และเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาตามข้อกำหนดของ APHA คือ โพแทสเซียมไดโครเมต เพราะมีความสามารถในการออกซิเดชันสูง และเหมาะสมกับตัวอย่างน้ำหลายชนิดโดยเฉพาะน้ำที่มาจากอาคารบ้านเรือน สามารถออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ได้มากชนิดจนเกือบสมบูรณ์ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ นอกจากนี้การวัดปริมาณของไดโครเมตไอออน ($Cr_2O_7^{2-}$) ยังทำได้ง่าย ได้ผลแน่นอน และยังเป็นสารที่มีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีข้อดีของ $K_2Cr_2O_7$ อีกอย่างหนึ่ง คือ ถ้าใช้ $K_2Cr_2O_7$ ชนิด Analytical grade เอามาอบให้แห้งที่ $103^\circ C$ ก่อนใช้เตรียมน้ำอย่างจะได้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (Primary Standard)

หลักการหาค่า COD โดยใช้ $K_2Cr_2O_7$ คือ สารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำตัวอย่างไม่ต่ำกว่า 95–98 เปอร์เซ็นต์ ถูกออกซิไดซ์ด้วย $K_2Cr_2O_7$ ภายใต้สภาวะที่เป็นกรดอย่างแรง และอุณหภูมิได้เป็น CO_2 และ H_2O ส่วนแอมโมเนียรวมทั้งสารอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น พวก Amino- และ Nitrite-nitrogen จะถูกเปลี่ยนเป็น Ammonium Sulfate (NH_4) $_2$ SO_4 ซึ่งจะไม่ถูกออกซิไดซ์อีก จะเกิดความผิดพลาดประมาณ 2–3 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสารระเหยได้บางตัวที่ไม่ถูกออกซิไดซ์ เช่น มีเทน (CH_4) ดังนั้นปฏิกิริยาจึงอาศัยกระบวนการกลั่นย้อนกลับ (Reflux) หรือกระทำในระบบปิดเพื่อป้องกันการสูญหายไปของสารระเหยที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่เดิมในตัวของน้ำ หรือที่เกิดขึ้นในระหว่างปฏิกิริยาย่อยสลาย นอกจากนั้นยังมีสารอินทรีย์บางตัวที่ย่อยสลายด้วย $K_2Cr_2O_7$ ได้ยาก เช่น Fatty acid straight – chain, Aliphatic straight – chain, Alcohol และ Straight – chain acid จึงจำเป็นต้องเติมซิลเวอร์ซัลเฟต ($AgSO_4$) เป็น catalyst และใช้ $HgSO_4$ เป็นตัวกำจัดขัดขวางของพวกคลอไรด์ไอออน ซึ่งมักพบเสมอในน้ำเสียจากอาคารบ้านเรือน และน้ำเสียแหล่งน้ำเสียจากแหล่งน้ำธรรมชาติ ปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นดังสมการ (2.27)



เมื่อ $c = 2/3n + a/6 - b/3$ หรืออาจเขียนสมการง่ายๆ ดังสมการที่ (2.28)



ในการวิเคราะห์จะเติมสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่ทราบความเข้มข้น และปริมาตรจำนวนมากเกินพอลงไป หลังจากสิ้นสุดปฏิกิริยาการย่อยสลายแล้ว $K_2Cr_2O_7$ ที่คงเหลือจะถูกไทเทรตด้วยสารละลาย Ferrous Ammonium Sulfate (FAS) โดยใช้เฟอโรอิน ($Fe(C_12H_8N_2)_3^{+2}$) เป็นอินดิเคเตอร์ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ แสดงดังสมการที่ (2.29)



โครเมียมไอออนในสารละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลืออยู่ใน Cr^{+6} มีสีเหลืองจะถูกรีดิวซ์ด้วย Fe^{+2} ในสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตให้เป็น Cr^{+3} ซึ่งมีสีเขียวแทน แต่เนื่องจากสีเหลืองของ Cr^{+6} และสีเขียวของ Cr^{+3} ต่างกันไม่ชัดเจน จึงใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ทำให้จุดยุติ (End point) เป็นสีน้ำตาล (Reddish brown) ซึ่งชัดเจนว่าสีเขียวของเกลือโครมิก จากนั้นคำนวณหาปริมาณออกซิเจนซึ่งสมมูลกับปริมาณสารอินทรีย์ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์ค่า COD

ในการวิเคราะห์ค่า COD นั้นมีปัจจัยหลายสิ่งซึ่งส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ ซึ่งจะ使得ค่า COD ที่วิเคราะห์ได้มีความถูกต้องแม่นยำ หรือคลาดเคลื่อนได้ เช่น อุณหภูมิความเข้มข้นของกรด จุดยุติของปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย และความเข้มข้นของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต Stone, 1974. ได้นำเสนอผลการวิจัยของเขาซึ่งเปรียบเทียบการหาค่า COD โดยวิธีไดโครเมตโดยใช้เวลารีฟลักซ์นาน 1, 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ กับตัวอย่างน้ำทิ้งบ้านพักอาศัย และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม พบว่าระยะเวลาเพียง 1 ชั่วโมงก็เพียงพอในการย่อยสลาย แต่ที่ระยะเวลาการรีฟลักซ์ 2 ชั่วโมงให้ค่าสูงที่สุด เขาจึงแนะนำให้ใช้เวลารีฟลักซ์ 2 ชั่วโมง ผลการวิจัยแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ผลของระยะเวลา Reflux ต่อการหาค่า COD วิธี Dichromate โดยใช้ AgSO_4 เป็น Catalyst

การทดลอง ที่	ค่า COD (mg/l)					
	น้ำทิ้งชุมชน			น้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม		
	รีฟลักซ์นาน 1 ชั่วโมง	รีฟลักซ์นาน 2 ชั่วโมง	รีฟลักซ์นาน 4 ชั่วโมง	รีฟลักซ์นาน 1 ชั่วโมง	รีฟลักซ์นาน 2 ชั่วโมง	รีฟลักซ์นาน 4 ชั่วโมง
	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	4 ชั่วโมง
1	652	656	648	1,004	1,004	1,000
2	832	840	844	1,064	1,072	1,076
3	740	736	724	972	972	964
4	720	736	708	940	940	948
5	820	824	820	832	832	832
6	680	684	680	916	916	916
ค่าเฉลี่ย	741	746	737	955	955	956

ที่มา : Stone, 1974. Water Pollution Control. 673-684.

1. ตัวขัดขวาง (Interference)

วัตถุประสงค์ของการหาค่า COD ของน้ำตัวอย่างก็เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ในการย่อยสลายของสารอินทรีย์คาร์บอนโดยอาศัยสารออกซิไดซ์อย่างแรง เป็นตัวให้ออกซิเจนในปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox) ดังนั้นอาจจะมีสารอินทรีย์บางตัวสามารถออกซิไดซ์หรือสามารถออกซิไดซ์ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ในปฏิกิริยาหาค่า COD ซึ่งในที่นี้ คือ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ มีผลทำให้ค่า COD ที่หาได้มากขึ้น หรือน้อยลงกว่าความจริงตามลำดับตัวขัดขวาง หรือตัวรบกวน เช่น NO_2^- , SO_2 และอนุมูลลบของธาตุกลุ่มเฮไลด์ เช่น Cl^- , Br^- และ I^- โดยเฉพาะ Cl^- ซึ่งมักพบในน้ำทิ้งจากอาคารบ้านพักอาศัยจะไปทำปฏิกิริยากับ $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ได้ มีผลทำให้ COD ที่หาได้สูงกว่าความเป็นจริง และนอกจากนี้ Cl^- ยังสามารถทำปฏิกิริยาทำให้ AgSO_4 ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการหา COD ตกตะกอน ทำให้สารอินทรีย์บางตัวไปถูกย่อยสลาย

ทวี สิทธิสุตระกูล กล่าวถึง Dobbs and Williams, 1963. พบว่า การใส่ HgSO_4 ในตัวอย่างที่จะรีฟลักซ์ เพื่อให้ HgSO_4 ทำปฏิกิริยากับ Cl^- ได้เป็น HgCl_2 ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ($K_{sp} = \text{Solubility Products}$ ที่ $25^\circ\text{C} = 2.6 \times 10^{-15}$) ปฏิกิริยาการจับ Cl^- ของ Hg^{+2} ใน HgSO_4 ดังแสดงในการสมการ (2.30)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ HgCl_4 เป็นตัวลดอิทธิพลของ Cl^- ในการวิเคราะห์ค่า COD ก็มีข้อจำกัด คือ สามารถใช้การได้ดีในตัวอย่างน้ำที่ปริมาณคลอไรด์ไม่เกิน 2,000 mg/L และปริมาณของ HgSO_4 ที่ได้ต้องอยู่ในอัตราส่วน $\text{HgSO}_4 : \text{Cl}^- = 10 : 1$ โดยน้ำหนัก ดังนั้นในน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณคลอไรด์สูงๆ เช่น น้ำทะเล จึงไม่สามารถใช้วิธี Dichromate Reflux แบบธรรมดาได้

ทวี สิทธิรัฐตระกูล กล่าวถึง นราพร, 2522. ได้ทดลองหาค่า COD ของตัวน้ำที่มีคลอไรด์สูง และได้รวบรวมแนวทางการจำกัด Cl^- สำหรับตัวอย่างที่มี Cl^- สูงๆ เช่น น้ำทะเลไว้ดังนี้

1. วิธีการกำจัดคลอไรด์รบกวน

1.1 โดยการตกตะกอนคลอไรด์แล้วกรองตะกอนออกก่อนทำการวิเคราะห์ค่า COD โดยค่าที่ได้จะค่อนข้างต่ำ เพราะ AgSO_4 ตกตะกอนเป็น AgCl จะไปชักนำให้สารประกอบอินทรีย์ที่จะหาค่า COD บางตัวตกตะกอนลงด้วย ซึ่งเรียกว่าเกิดการ Occlusion

1.2 โดยการตกตะกอนในรูปของ AgCl แต่ไม่กรองออก แล้วเพิ่ม Ag^+ ของ Cl^- ลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณของ AgSO_4 ลงไป

1.3 โดยการใช้ HgSO_4 ลงไป จับกับ Cl^- ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เป็น Non ionic ไม่รบกวนการออกซิเดชันด้วย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ในการหา COD และไม่มีผล

1.4 โดยการทำให้ Cl^- ระเหยออกมาในรูปของก๊าซ HCl โดยการใช้กรด H_2SO_4 แล้วใช้ความร้อนช่วย แต่วิธีค่อนข้างยาก และกำจัด Cl^- ได้ไม่ทั้งหมด

2. โดยการปรับแก้ค่าคลอไรด์ (Chloride correction)

ทวี สิทธิรัฐตระกูล กล่าวถึง Burns and Marshall, 1965. ทดลองใช้ NaCl ขนาดความเข้มข้นต่างๆกัน เพื่อหาค่า COD เนื่องจากการออกซิเดชันของคลอไรด์ และนำไปสร้างสมการแก้ไขผลกระทบของ Cl^- ในการหาค่า COD

การปรับค่า COD เนื่องจากการรบกวนของ Cl^- ทำได้โดยใช้สมการ (2.31)

$$\text{COD mg/L} = \left[\frac{(A-B)C \times 8,000}{\text{ml Sample}} - D \right] \times 1.20 \quad (2.31)$$

- เมื่อ A = ml ของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ สำหรับ blank
- B = ml ของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ สำหรับตัวอย่าง
- C = Normality ของ $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$
- D = Chloride Correction

วิธีการปรับค่า COD ทำได้โดยหาปริมาณความเข้มข้นของ Cl^- ในน้ำตัวอย่างเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเนื่องจากการออกซิเดชัน Cl^- ได้เป็นค่า D จากนั้นนำมาเข้าสู่สูตรดังสมการที่ 2.31

3. สารที่ย่อยสลายด้วยวิธี COD-dichromate

ตารางที่ 2.2 แสดงสารอินทรีย์โดยทั่วไปจะสามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ได้ถึง 95–98 เปอร์เซ็นต์ ได้เป็น CO_2 และ H_2O แต่ก็ยังมีสารอินทรีย์บางชนิดที่ย่อยสลายได้น้อยจนเกือบไม่ย่อยสลายเลย ถ้าไม่เติม AgSO_4 ได้แก่ Volatile straight chain, Aliphatic compounds เพราะพวกนี้ถูกเปลี่ยนเป็นไอลอยขึ้นเหนือสารละลายไม่กลับคืนลงมาในสารละลายที่กำลังถูก Refluxed การเติม AgSO_4 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ย่อยสลายได้มากขึ้นโดยเฉพาะพวก Short-chain carbon acid และ Alcohol เช่น Acetic และ Amino acid และทำการย่อยสลายในระบบปิด (Closed reflux) ก็จะช่วยให้ Volatile Organic Compounds ย่อยสลายได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.2 สารที่สามารถถูกออกซิไดซ์ด้วย $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ได้ถึง 95–98 เปอร์เซ็นต์

Methanol	Ethanol	Butanol
Glycol	Glycerol	Mannite
Formaldehyde	Acetaldehyde	Acetone
Formic acid	Acetic acid	Butyric acid
Isobutyric acid	Soap	Oxalic acid
Adipic acid	Saccinic acid	Maleic acid
Lactic acid	Tartaric acid	Citric acid
Pyromucic acid	Glucose	Saccharose
Lactose	Sorbose	Glyocol
Aminocaproic acid	Valine	Glutamic acid
Cystine	Histidine	Formamide
Acetamide	Peptone	Casein

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KCN	$K_2Fe(CN)_6$	KCNS
Phenol	O-cresol	2-Naphthol
Pyrocatechol	8-oxyquinoline	Nitrobenzene
Benzoic acid	Salicylic acid	Phthalic acid
p-aminobenzoic acid	Sulfanilic acid	Phenylacetic acid
Cinnamic acid	Aniline	Benzidine
Toluenesulfonic acid	Aminonaphthol	Piperidine
Dodecylbenzene-	Dioxane	Disulfonic acid
Sulfonic acid	3-methylindole	Tetrahydrofuran
Indole	β - Naphthylamine	Protein hydrolysates

ที่มา : Leithe et al., 1975.

สารบางตัวไม่สามารถย่อยสลายได้โดยวิธี COD Dichromate แม้ว่าจะใช้ $AgSO_4$ เป็นตัวเร่งแล้วก็ตาม สารเหล่านั้น ได้แก่ Aromatic hydrocarbon เช่น Benzene Toluene และ Pyridines สารประกอบ N-containing Heterocyclic compounds บางตัว เช่น Pyrrole, Pyrrolidine, Proline และ Nicotinic acid รวมทั้งพวก Hydrocarbon บางตัวที่ละลายน้ำได้น้อย, Benzene และอนุพันธ์ของมัน, Paraffin และ Naphthalene

TOC (Total Organic Carbon)

ความหมายของ TOC

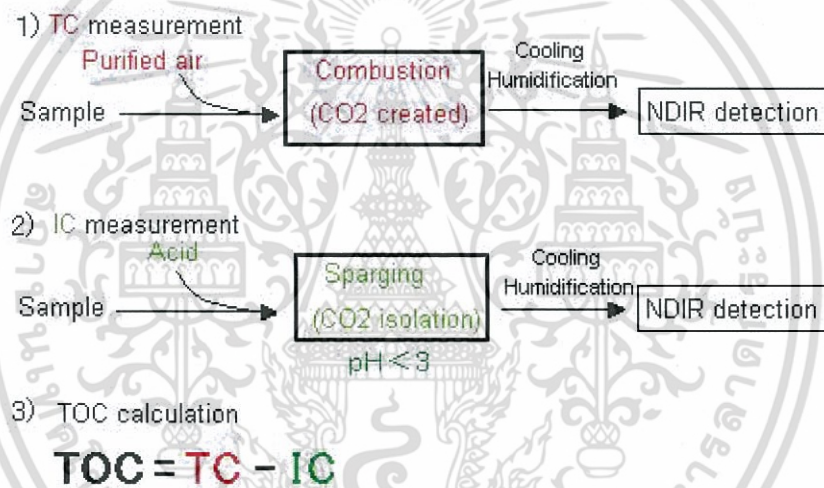
การหาปริมาณสารอินทรีย์ที่มีในน้ำโดยให้สารอินทรีย์ถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 หรือ CH_4 และวัดปริมาณสารอินทรีย์ในรูป C ใน CO_2 หรือ CH_4 แล้วแต่กรณีสารอินทรีย์คาร์บอนในน้ำ และน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายประเภท และหลาย Oxidation states ซึ่งสารอินทรีย์บางชนิดก็สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือทางเคมีค่า BOD หรือ COD สามารถบอกปริมาณสารอินทรีย์ได้ แต่สำหรับสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ หรือทางเคมี การบ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ TOC จะเหมาะสมกว่า เพราะหาได้สะดวกกว่า และบ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำได้ถูกต้องกว่าค่า BOD หรือ COD แต่ค่าที่ได้บ่งบอกปริมาณสารอินทรีย์ในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยค่า BOD หรือ COD จะบอกปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของการใช้ออกซิเจนในการแปรรูป หรือย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในสภาพที่เสถียร (CO_2 และ H_2O) ปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ไปในการนี้จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ หลักการนี้เรียกว่า Oxygen-base basis ส่วนการหาค่า TOC คือ ปริมาณคาร์บอนในน้ำตัวอย่างนั้นโดยตรง โดยการทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพที่เสถียร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การเผาจนเป็น CO_2 และ H_2O จากนั้นหาปริมาณคาร์บอนใน CO_2 จะบอกปริมาณของสารอินทรีย์ทั้งหมด หลักการนี้เรียก Carbon-base basis ดังนั้นค่า TOC ที่หาได้จึงไม่เหมือนค่า BOD หรือ COD ซึ่งไม่ขึ้นกับ Oxidation state ของสารอินทรีย์ และไม่ได้วัด Organically bound element อื่น เช่น ไนโตรเจน และไฮโดรเจนรวมทั้งไม่ได้พวก Reduced inorganic species อื่นๆ เช่น วิธี BOD หรือ COD ด้วย จะเห็นได้ว่าค่า TOC บอกปริมาณสารอินทรีย์ได้ถูกต้องมากที่สุด แต่ก็ไม่สามารถบอกกำลังการออกซิเดชันของสารอินทรีย์ได้ Tchobanoblos, 1972. พบว่า แม้แต่วิธีการวิเคราะห์ TOC ก็ยังไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หมด 100 เปอร์เซ็นต์

หลักการหาค่า TOC

การหาสารอินทรีย์คาร์บอน (TOC) มีหลักการหา 2 หลักการ คือ Dry combustion methods และ Wet combustion methods ซึ่งแต่ละหลักการมีวิธีหาหลายวิธีดังนี้



รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TOC

1) การหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry combustion methods ด้วยวิธีนี้สารอินทรีย์คาร์บอนจะถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 หรือ CH_4 ที่อุณหภูมิสูงก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นจะถูกวัดด้วยการดูดซึมรังสีอินฟราเรด (Infrared absorption) ในขณะที่ CH_4 จะถูกวัดด้วยวิธี Flame ionizing ทั้ง 2 วิธี ต้องอาศัยเครื่องมือตรวจวัดโดยเฉพาะ และมีประสิทธิภาพสูง

2) หลักการหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry Combustion flame ionization ด้วยวิธีนี้หลังจากปรับตัวอย่างนี้ให้เป็นกรด เพื่อกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน และเป่าไล่ด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วสารอินทรีย์คาร์บอน ก็จะถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 ใน Combustion tube ที่อุณหภูมิ 900°C ซึ่งบรรจุไว้ด้วย Cupric oxide CO_2 ที่เกิดขึ้นจะถูกส่งผ่านมายัง Reduction tube ซึ่งมีนิกเกิล (Ni) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450°C CO_2 จะถูกเปลี่ยนเป็นมีเทน (CH_4) ซึ่งจะถูกวัดด้วย Flame ionization detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) หลักการหาค่า TOC ด้วยวิธี Dry combustion–infrared detection นำตัวอย่างจำนวนเพียงเล็กน้อยขนาดไมโครลิตร (μm) ฉีดเข้าไปในเครื่องมือหาค่า TOC (TOC – Analyzer) ด้วยเข็มฉีดยาตัวอย่างขนาดเล็ก (Microlitre syringes) โดยตัวอย่างจะถูกส่งเข้าไปใน Combustion tube ที่มีอุณหภูมิ 950°C และมีลำก๊าซ O_2 ผ่านตลอด Combustion tube นี้ บรรจุไว้ด้วย Asbestos ซึ่งชุ่มไปด้วย Cobalt oxide เป็นการช่วยกระจายตัวอย่าง และเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการออกซิเดชัน สารอินทรีย์ในตัวอย่างจะถูกออกซิไดซ์ได้เป็นลำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และไอน้ำ ไอน้ำจะถูกควบแน่นออกไปคงไว้แต่ CO_2 จะถูกส่งเข้าสู่เครื่องวิเคราะห์ด้วยรังสี Non-depressives infrared เพื่อหาค่า CO_2 โดยอาศัยหลักการที่ว่า รังสีอินฟราเรด (Non-depressives infrared) นี้จะไม่ถูกดูดกลืน (Absorbed) โมเลกุลของสารที่ประกอบด้วยอะตอมประเภทเดียวกัน เช่น โมเลกุลของ N_2 , O_2 , H_2 แต่จะถูกดูดกลืนโมเลกุลของสารที่ประกอบด้วยอะตอมชนิดที่แตกต่างกันซึ่งก็คือ โมเลกุลของสารประกอบนั่นเอง เช่น CO_2 และ CH_4 เป็นต้น โดยสารประกอบต่างชนิดกันจะดูดกลืนคลื่นของรังสีอินฟราเรดที่ช่วงคลื่น $4.3 \mu\text{m}$ ที่ความถี่หนึ่งๆ จำนวนความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืนจะมาก หรือน้อยแปรผันตามความเข้มข้นของก๊าซที่ถูกดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ช่วงคลื่นนั้นๆ ตามกฎของ Lambert–Beer’s Absorption Law ดังนั้นความเข้มข้นของ CO_2 จึงบอกได้จากปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนไป เครื่อง Non-depressives infrared analyzer จะต่อเข้ากับ Recorder ซึ่งแปรสัญญาณออกมาในรูปของกราฟซึ่งมีขนาดความสูง และพื้นที่ใต้กราฟแปรผันตามความเข้มข้นหรือจำนวนมากน้อยของ CO_2 ที่อยู่ในลำของ O_2 -carrier gas ซึ่งแปรผันตามจำนวนสารอินทรีย์ที่มีในน้ำตัวอย่างด้วย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วสารอินทรีย์คาร์บอน เช่น CO_3^{2-} และ HCO_3^- ต้องกำจัดออกก่อนทำการวิเคราะห์ TOC เมื่อใช้เครื่องวิเคราะห์ TOC แบบ single-chanel instrument การกำจัด CO_3^{2-} และ HCO_3^- กระทำได้โดยการทำให้เป็นกรดด้วย เช่น HCl (Acidify) จนมี pH เท่ากับ 2 หรือต่ำกว่าแล้วเป่าก๊าซ N_2 ที่ไม่มี CO_2 ปะปนอยู่ลงไป ในน้ำตัวอย่างนั้นประมาณ 10 นาที เพื่อขับไล่ CO_2 ที่เกิดออกไปก่อน ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงเป็นค่า TOC ของน้ำตัวอย่าง

4) การหาค่า TOC ด้วยวิธี Wet combustion methods วิธีนี้ใช้สารเคมี เช่น กรดโครมิก และกรดซัลฟิวริกที่ทำให้ร้อน หรือ Peroxodisulfate ไปออกซิไดซ์สารอินทรีย์คาร์บอนให้เป็น CO_2 ซึ่งจะถูกดูดซึมด้วยสารละลายมาตรฐานของ Barium hydroxide ปริมาณของ CO_2 ที่เกิดขึ้นจะวิเคราะห์โดยวิธี Conductometric วิธี Wet combustion ต้องอาศัยเครื่องแก้วที่ปราศจากสารอินทรีย์

การหา TOC จะต้องกำจัดสารประกอบอนินทรีย์คาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำตัวอย่างให้หมดก่อน ถ้าไม่จำกัด Inorganic carbon ก่อนทำการวัด ค่าที่ได้จะเป็นค่า Total carbon ถ้าทำการวัดค่า Inorganic carbon ไปหักออกจาก Total carbon หรือกำจัด Inorganic carbon ก่อนทำการวิเคราะห์ ค่าที่วิเคราะห์ได้ก็คือ Total Organic Carbon (TOC) นอกจากตัวอย่างที่ถูกกรองผลที่ได้ออกมาจึง

เรียกว่า Dissolved Organic Carbon และการกรอง (Filtration) ต้องใช้ใยแก้ว (Glass fiber filter) เป็นตัวกรอง เครื่องมือ และเครื่องแก้วทำให้ปราศจากการเจือปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ด้วยการนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 700°C

5) การหาค่า TOC วิธี Wet combustion-titrimetric detection วิธีนี้สารอนินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างถูกเปลี่ยนเป็น CO₂ โดยการออกซิเดชันด้วยกรดโครมิก และกรดซัลฟิวริกที่ถูกทำให้ร้อน CO₂ ที่เกิดขึ้นถูกดูดซับด้วยสารละลายมาตรฐานแบเลียมไฮดรอกไซด์ (Ba(OH)₂) ปริมาณ Ba(OH)₂ ที่เหลือหาได้โดยไทเทรตกับกรด Ba(OH)₂ ที่ถูกไปใช้แปรผันตามปริมาณสารอนินทรีย์คาร์บอนในน้ำตัวอย่าง

ด้วยวิธีนี้สารอนินทรีย์คาร์บอน ได้แก่ CO₃²⁻, HCO₃⁻ และก๊าซ CO₂ จะถูกทำปฏิกิริยาจึงกำจัดออกก่อน ข้อควรระวัง คือ ความผิดพลาดจากการสูญหายของ Volatile organic และการแตกตัวของสารอนินทรีย์ในกรดได้เป็น CO และปฏิกิริยาอาจเกิดก๊าซที่เป็นกรดบางตัว เช่น HCl และควัน (fume) ของ SO₃ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงาน TOC

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงาน TOC

แม้ว่าการหาค่า TOC จะไม่มีผลกระทบจากสารอนินทรีย์พวก Reduced species เช่น Fe²⁺ ก็ตาม แต่ก็ยังมีปัจจัยบางประการส่งผลกระทบ ซึ่งต้องคำนึงถึง เช่น การทำให้เป็นกรด (Acidification) ถ้าปรับ pH ต่ำมากเกินไป (pH <2) ก่อให้เกิด Infrared absorbing fogs การกรองตัวอย่าง, ขนาดของตัวอย่าง และลักษณะการฉีดตัวอย่าง เป็นต้น

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

Humberto Rubi-Juarez et al, 2015. ทำการศึกษาการรวมกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน-อิเล็กโทรออกซิเดชัน มาใช้บำบัดน้ำเสียที่เกิดจากร้านล้างรถ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างรถจะถูกนำมาบำบัดด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน และกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน ซึ่งกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันช่วยลดสารอินทรีย์ได้ดี แต่จะมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นเมื่อนำมาบำบัดร่วมกับกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน ในกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันที่ใช้ขั้วเหล็ก และอลูมิเนียมจะให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน แต่ขั้วเหล็กเปลี่ยนสีของสารละลาย จึงเลือกใช้ขั้วอลูมิเนียมมากกว่า ในการทดลองอิเล็กโทรโคแอกกูเลชันจะใช้ขั้วอลูมิเนียมกับสารละลายฟิเอช 7 ความหนาแน่นของกระแสอยู่ที่ 150 แอมแปร์/ตารางเมตร เป็นเวลา 60 นาที ผลที่ได้คือช่วยลดความขุ่น 98%, สี 96%, น้ำมัน 92%, ซีโอดี 76%, บีโอดี 74% และสามารถลด MBAS ได้ถึง 56% ส่วนกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชันจะใช้ขั้วเพชรเจือโบรอน (BDD) โดยใช้กระแส 210 แอมแปร์/ตารางเมตร เป็นเวลา 120 นาที มีประสิทธิภาพในการลดค่าซีโอดีได้ถึง 82%, สี 81%, ลด MBAS 81%, ค่าบีโอดี 73% และคลอไรด์ 72% ซึ่งการรวมทั้ง 2 กระบวนการนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดน้ำมันได้ถึง 100%, สี 99.30%, ความขุ่น 98.40%,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าซีไอดี 96%, ค่าบีไอดี 93% และค่า MBAS 92% ท้ายที่สุดคุณลักษณะต่างๆของน้ำเสียมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่รัฐบาลเม็กซิโก และอเมริกากำหนด อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดแล้วสามารถนำกลับมาใช้ล้างรถได้อีกครั้ง

2.5 การเข้าอบรมหลักสูตร ISO 9001:2015

ISO 9001 มีที่มาจากองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization:ISO) เป็นองค์กรอิสระ (Non-governmental Organization) จัดตั้งขึ้นในปี ค.ศ.1947 มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ มีสมาชิกกว่า 130 ประเทศทั่วโลก มีพันธกิจ (Mission) ในการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนามาตรฐานงานต่างๆ และกิจกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งเสริมให้มีการแลกเปลี่ยนสินค้าและบริการ และพัฒนาความร่วมมือในเรื่องทรัพย์สินทางปัญญา วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและเศรษฐกิจอย่างครบวงจร

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Organization for Standardization) มีชื่อเรียกสั้นๆ ว่า ISO เป็นภาษากรีก ซึ่งมีความหมายว่า “เท่าเทียมกัน” ดังเช่น “ISOMETRIC” ซึ่งมีความหมายว่า “วัดได้เท่ากันหรือขนาดเท่ากัน” หรือ “ISONOMY” ซึ่งหมายถึง “มีความเท่าเทียมกันตามกฎหมาย” เป็นต้น ดังนั้นคำว่า “ISO” จึงไม่ใช่คำที่ย่อมาจากชื่อเต็มขององค์การ ก่อนจะพูดถึงมาตรฐาน ISO9001 : 2008 ที่เป็น version ใหม่ล่าสุดในขณะนี้ ต้องทำความรู้จักกับมาตรฐาน ISO9001 : 2000 เสียก่อน

ระบบบริหารงานคุณภาพ มอก.9001 : 2544 (ISO 9001 : 2000)

ISO 9001 : 2000 เป็นมาตรฐานสากลที่องค์กรธุรกิจทั่วโลกให้ความสำคัญ เพื่อความเป็นเลิศทางด้านคุณภาพ และควมมีประสิทธิภาพของการดำเนินงานภายในองค์กร

ISO 9001 : 2000 จึงเป็นระบบบริหารงานคุณภาพมาตรฐานสากล แนวคิดสำคัญของ ISO 9001 : 2000 คือ การจัดวางระบบบริหารงาน เพื่อการประกันคุณภาพซึ่งเป็นระบบที่ทำให้เชื่อมั่นได้ว่ากระบวนการต่างๆ ได้รับการควบคุม และสามารถตรวจสอบได้โดยผ่านเอกสารที่ระบุขั้นตอน และวิธีการทำงาน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าบุคลากรในองค์กรรู้หน้าที่ความรับผิดชอบ และขั้นตอนต่างๆในการปฏิบัติงาน โดยต้องมีการฝึกอบรมให้ความรู้ และทักษะในการปฏิบัติงานมีการจดบันทึกข้อมูล รวมทั้งการตรวจสอบการปฏิบัติงานว่าเป็นไปตามที่ระบุไว้ในเอกสารหรือไม่ และมีการแก้ไขข้อผิดพลาดรวมทั้งมีแนวทางในการป้องกันข้อผิดพลาดเดิม

ในปัจจุบันมาตรฐาน ISO 9001 : 2000 จึงกลายเป็นเงื่อนไขหรือข้อกำหนดทางการค้าในการติดต่อธุรกิจระหว่างประเทศ รวมทั้งเป็นใบเบิกทางไปสู่การค้าในระดับสากลมาตรฐานที่ใช้ได้กับทุกองค์กร ISO 9001 : 2000 เน้นบทบาทของผู้บริหารระดับสูงที่จะต้องให้ความสำคัญกับความต้องการ ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คาดหวังของลูกค้า และผู้ที่เกี่ยวข้อง องค์กรทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรมการผลิต หรือภาคบริการทั้งรัฐ และเอกชน สามารถนำระบบการบริหารงานคุณภาพ ISO 9001 : 2000 ไปใช้ได้ และไม่มีขีดจำกัดว่าต้องใช้กับองค์กรขนาดใหญ่ที่การลงทุนสูง และบุคลากรจำนวนมากเท่านั้น แต่ยังสามารถใช้กับวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม (SMEs) ซึ่งจะช่วยยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์ และบริการให้เทียบเคียงกับองค์กรขนาดใหญ่ที่มีชื่อเสียงได้

ตารางที่ 2.3 ประโยชน์ของการจัดทำ ISO 9001

ประโยชน์ที่ได้รับภายในองค์กร	ประโยชน์ที่ได้รับภายนอกองค์กร
<ul style="list-style-type: none"> - มีกระบวนการทำงานที่เป็นระบบยิ่งขึ้น - มีคุณภาพสินค้าที่ดีขึ้น - ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากของเสียได้อย่างเป็นรูปธรรม - เกิดประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานดีขึ้น - มีระบบเอกสารที่ดีขึ้น 	<ul style="list-style-type: none"> - ลูกค้าเกิดความมั่นใจในสินค้าและบริการ - ก้าวสู่ตลาดต่างประเทศได้ง่าย - เพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้า - สร้างความสัมพันธ์อันดีกับลูกค้า - เพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน

หลักการของการบริหารงานคุณภาพ (Quality Management Principle – QMP) มี 8 ประการ ได้แก่

1. การให้ความสำคัญกับลูกค้า (Customer Focus)
2. ความเป็นผู้นำ (Leadership)
3. การมีส่วนร่วมของบุคลากร (Involvement of People)
4. การบริหารเชิงกระบวนการ (Process Approach)
5. การบริหารที่เป็นระบบ (System Approach)
6. การตัดสินใจบนพื้นฐานความเป็นจริง (Factual Approach to Decision Making)
7. ความสัมพันธ์กับผู้ขายเพื่อประโยชน์ร่วมกัน (Mutually Beneficial Supplier Relationship)
8. การปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง (Continual Improvement)

ปัจจุบัน ISO 9001 ฉบับปี 2000 ได้มีการปรับเปลี่ยนเป็นฉบับปี 2008 อย่างเป็นทางการไปแล้ว เมื่อวันที่ 15 พฤศจิกายน 2551 ที่ผ่านมา ซึ่งโดยภาพรวมแล้ว ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ไม่มีผลกระทบต่อข้อกำหนดต่อองค์กรแต่อย่างใด ในขณะที่เดียวกันมาตรฐานบางตัวที่ใช้ข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานของข้อกำหนด ISO 9001 ฉบับปี 2000 เป็นตัวตั้งต้น ก็อาจจะมีในส่วนที่จะต้องทำการเปลี่ยนแปลง และปรับปรุงใหม่ตามที่ข้อกำหนด ISO 9001 ได้มีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกัน หากถามว่าทำไมถึงเปลี่ยนมาเป็นฉบับ 2008 เพราะว่า

1. เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากขึ้น ไม่เสียเวลาตีความ ฉบับนี้จะเพิ่มการอธิบายความหมายในหลายข้อกำหนด
2. ให้มีความสอดคล้องต้องกันกับ ISO 14001 : 2004 เช่น ในข้อ 6.2.2 จากเดิม “Competence awareness and training” เปลี่ยนให้สอดคล้องเป็น “Competence training and awareness”
3. ข้อความไหนอ่านแล้วตีความซับซ้อน ต้องมีการเรียบเรียงใหม่ให้เข้าใจมากขึ้น แต่ประเด็นการปฏิบัติยังเหมือนเดิม

แนวทางของมาตรฐาน ISO 9001 : 2008 นั้นยังคงยึดหลักการ Process Approach ซึ่งเน้นการบริหารงานแบบ P-D-C-A (Plan-Do-Check-Action) ในแต่ละกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงในครั้งนี้ไม่มีการเพิ่ม หรือลดข้อกำหนดแต่อย่างใด การเปลี่ยนแปลงส่วนใหญ่เป็นการเพิ่มคำอธิบาย เพื่ออธิบายความหมายให้เข้าใจยิ่งขึ้น ลดการตีความ หรือถกเถียงกันระหว่างผู้ตรวจประเมินกับผู้ถูกตรวจมีการเปลี่ยนแปลงคำศัพท์ ให้เข้าใจง่ายขึ้น แต่ก็ไม่รู้ว่าจะง่ายสำหรับผู้ที่ไม่เข้าใจภาษาอังกฤษอย่างลึกซึ้ง แต่ในทางปฏิบัติก็ปฏิบัติเหมือนกัน เช่น การเปลี่ยนคำว่า "Identify" เป็น "Determine" และอีกประการหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลง คือ การเรียงร้อยถ้อยคำใหม่ ตัดข้อความท้ายประโยคมาเป็นต้นประโยค ตัดข้อความต้นประโยคไปไว้ท้ายประโยค สุดท้ายก็ปฏิบัติเหมือนเดิม ส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลง และเห็นได้ชัดว่าแตกต่างจาก ISO 9001 : 2000 คือ การกำหนดให้ QMR หรือ MR (Quality Management Representative) ต้องเป็นคนในองค์กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินการ

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

อุปกรณ์

- 1.1.1 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAS-200
- 1.1.2 เครื่อง Total Organic Carbon Analysis ยี่ห้อ Shimdzu รุ่น TOC-VCSH
- 1.1.3 เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ยี่ห้อ Metrohm, ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ คอลัมน์สำหรับแยกแอนไอออน (METROSER ASUPP5_150)
- 1.1.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ศักย์ไฟฟ้าแปรค่าได้ถึง 15 V, กระแสไฟฟ้าแปรค่าได้ถึง 200 แอมแปร์
- 1.1.5 เครื่องย่อยซีโอดี ยี่ห้อ Aqualytic รุ่น thermoreactoc AL125
- 1.1.6 เครื่องวัดค่าซีโอดี ยี่ห้อ Aqualytic รุ่น Aqualytic AL200 COD VARIO
- 1.1.7 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo บริษัท Mettler-Toledo GmbH ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ รุ่น MS204TS
- 1.1.8 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) ยี่ห้อ EUTECH รุ่น pH Testr 30
- 1.1.9 ถังปฏิกรณ์ (กระบอกพลาสติกสี่ขุ่น) ใช้เป็นReactor
- 1.1.10 ขั้วเหล็ก , ขั้วลูมิเนียม และขั้วแกรไฟต์ ขนาดกว้าง 3.8 cm x สูง 7.2 cm x 3 จำนวน หน้าขั้วที่สัมผัส พื้นที่ขั้วทั้งหมด 82.08 m² สำหรับการทดลอง น้ำปริมาตร 500 mL และขนาดกว้าง 16 cm x สูง 18.5 cm x จำนวน 4 หน้าขั้วที่สัมผัส พื้นที่ขั้วทั้งหมด 1,184 m² สำหรับการทดลอง น้ำปริมาตร 4.5 L
- 1.1.11 เครื่องแก้ว และอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเคมีและวัสดุ

- 1.1.20 กรดซัลฟิวริก เกรด Commercial grade
- 1.1.21 สารละลายซีโอดี ความเข้มข้น 15,000 mg/L
- 1.1.22 น้ำปราศจากไอออน (Deionized Water)
- 1.1.23 น้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Water)
- 1.1.24 สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$)
- 1.1.25 สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS)
- 1.1.26 BDS indicator
- 1.1.27 กรดไนตริก

3.2 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น

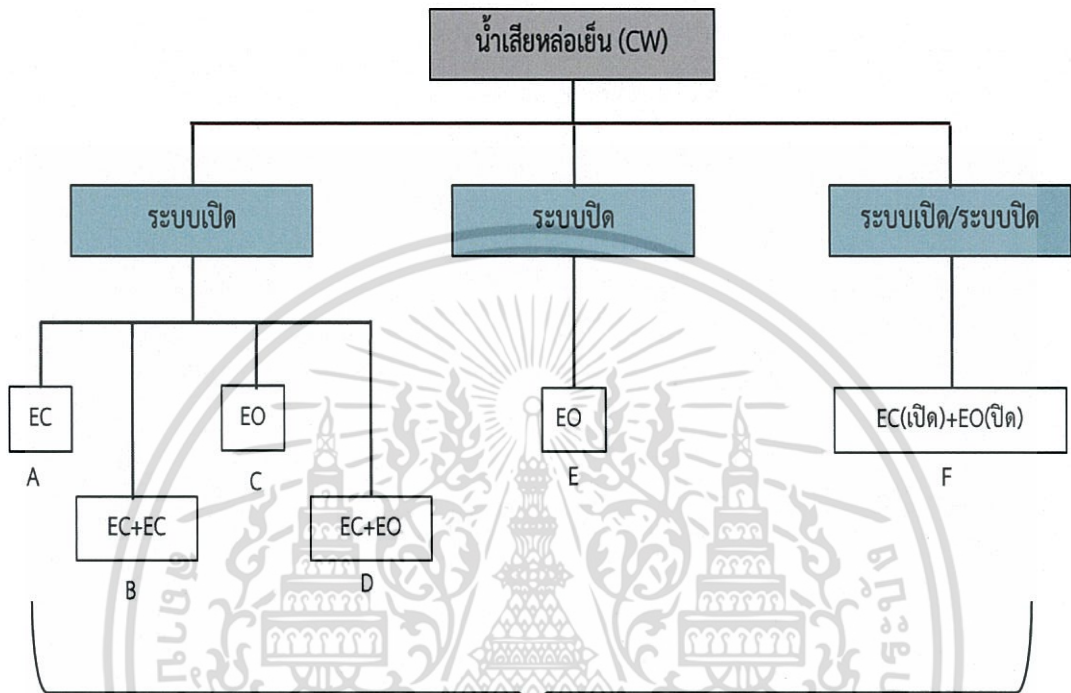
ทำการวิเคราะห์ลักษณะเบื้องต้นของน้ำเสียหล่อเย็น โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ มีดังนี้

ตารางที่ 3.1 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น

พารามิเตอร์	หน่วย
พีเอช	-
ซีโอดี	mg/L
ไขมันและน้ำมัน	mg/L
คลอไรด์	mg/L
ปริมาณเหล็กทั้งหมด	mg/L
อุณหภูมิ	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทดลองเบื้องต้น



ทุกรูปแบบมีการแปรชนิดข้าว, พีเอช, กระแสไฟฟ้า, ระยะเวลา

*ปริมาตร CW = 500 mL

รูปที่ 3.1 ผังการทดลองเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การทดลองเบื้องต้น

รูปแบบ	วิธี	pH	ขั้ว	กระแส (A)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	เวลา (min)	ค่าซีโอดี (mg/L)
A	EC	4	Al	5	14.96	10	15,000
B	EC + EC	5.36	Al	5	11.73	10	12,300
C	EO	6.42	Al + Graphite	3	13.09	120	10,200
D	EC + EO	4.93	Al+ Graphite	5	13.15	120	11,400
E	EO	6.42	Al	3	13.09	300	7,200
F	EC (เปิด) + EO (ปิด)	5.23	Al + Graphite	3	9.72	120	10,000

แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง

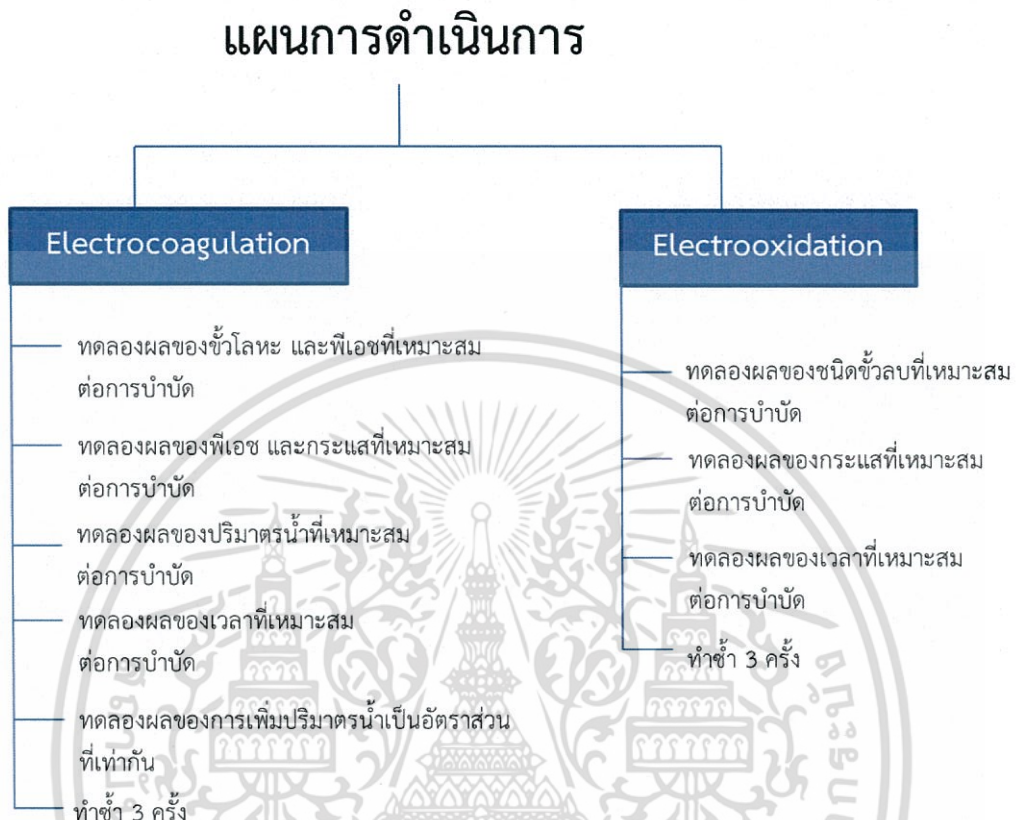


ถังปฏิกรณ์

รูปที่ 3.2 กระบวนการ EO ระบบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เรื่องการบำบัดน้ำ CW โดยใช้กระบวนการ EC เปรียบเทียบกับ EO



รูปที่ 3.3 ผังการดำเนินการ

3.4.1 กระบวนการอิเล็กโทรโคแอกูเลชัน (ระบบเปิด)

3.4.1.1 การเตรียมขั้ว

ใช้ขั้วโลหะ เช่น ขั้วอลูมิเนียม ขั้วเหล็ก ในการทดลอง ขนาดกว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 7.2 เซนติเมตร จำนวน 4 ขั้ว แบ่งออกเป็นขั้วบวกและขั้วลบอย่างละ 2 ขั้ว เมื่อทำการต่อขั้วจึงเกิดผิวสัมผัสระหว่างขั้วบวกและขั้วลบที่ทำปฏิกิริยากันทั้งหมด 3 หน้า มีพื้นที่ขั้วทั้งหมด 82.08 ตารางเซนติเมตร จุ่มผิวหน้าขั้วโลหะลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1% โดยปริมาตร (%v/v) 10-20 วินาที จากนั้นทำให้แห้งแล้วนำมาต่อเข้ากับตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยนำขั้วโลหะมาต่อกับขั้วแอโนดและขั้วแคโทดอย่างละ 2 แผ่น ดังรูปที่ 3.4 การเตรียมขั้วโลหะ



รูปที่ 3.4 การเตรียมชิ้นโลหะก่อนการทดลอง

3.4.1.2 ทดลองชนิดชิ้นโลหะ และ ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับพีเอชให้เท่ากับ 2 ด้วยกรดซัลฟิวริก จากนั้นใส่ขั้วอลูมิเนียมที่ต่อกับตัวจ่ายไฟลงไปในบีกเกอร์ที่มีน้ำ CW ให้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง วัดค่าซีโอดีที่ได้ภายหลังการบำบัด โดยทำการทดลองนี้ซ้ำ แต่เปลี่ยนค่าพีเอชของน้ำ CW เป็น 4, 6, 8, 10 และทำการทดลองเปลี่ยนขั้วเป็นขั้วเหล็ก ตามลำดับ หาค่าพีเอชและขั้วที่เหมาะสมที่เกิดการบำบัดที่ดีในการทดลองขั้นต่อไป

3.4.1.3 ทดลองค่าพีเอช และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร ต่อขั้วโลหะเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยให้จ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2, 5, 7, และ 10 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าซีโอดีที่ได้ภายหลังการบำบัด ผลการทดลองที่เหมาะสมใช้ในขั้นต่อไป

3.4.1.4 ทดลองหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการบำบัด

ทำการทดลองโดยเตรียมน้ำ CW ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 400, 500, 750, 1,000 และ 1,500 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ จากนั้นต่อขั้วโลหะเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า แล้วทำการบำบัดด้วยกระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง วัดค่าซีโอดีภายหลังการบำบัด

3.4.1.5 ทดลองหาเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร โดยใช้ขั้วโลหะต่อเข้ากับเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ เป็นเวลา 5 นาที ทำการทดลองซ้ำ แต่เพิ่มระยะเวลาในการบำบัดเป็น 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ วัดค่าซีไอดีที่ได้ภายหลังการบำบัด จากผลการทดลองได้ระยะเวลาที่เหมาะสมใช้ในทดลองขั้นต่อไป

3.4.1.6 ทดลองผลของการเพิ่มปริมาตรน้ำเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน (Pilot scale)

ทำการเตรียมขั้วโลหะ ทดลองเช่นเดิมในสภาวะที่เหมาะสมที่ได้ทดลองมาก่อนหน้านี้เปลี่ยนขนาดขั้วเป็น ขนาดกว้าง 16 เซนติเมตร ขนาดสูง 18.5 เซนติเมตร และหน้าขั้วที่สัมผัสจำนวน 4 หน้า พื้นที่ขั้วทั้งหมด 1,184 ตารางเซนติเมตร ทดลองในสภาวะที่เหมาะสมคือ ใช้น้ำ CW 4.5 ลิตร กระแสไฟฟ้า 45 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำมากรองผ่านกระดาษกรอง วัดค่าซีไอดีที่ได้ภายหลังการบำบัด

3.4.2 กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (ระบบปิด)

3.4.2.1 การเตรียมขั้ว

ใช้ขั้วโลหะต่างๆ ในการทดลอง ขนาดกว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 7.2 เซนติเมตร จำนวน 4 ขั้ว แบ่งออกเป็นขั้วบวกและขั้วลบอย่างละ 2 ขั้ว เมื่อทำการต่อขั้วจึงเกิดผิวสัมผัสระหว่างขั้วบวก และขั้วลบที่ทำปฏิกิริยากันทั้งหมด 3 หน้า พื้นที่ขั้วทั้งหมด 82.08 ตารางเซนติเมตร จุ่มผิวหน้าขั้วโลหะลงในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1% โดยปริมาตร (%v/v) 10-20 วินาที ไม่ต้องจุ่มขั้วแกรไฟต์ จากนั้นทำให้ขั้วแห้งแล้วนำมาต่อเข้ากับตัวจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยใช้ขั้วลงไปในถังปฏิกรณ์



รูปที่ 3.5 การเตรียมขั้วก่อนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.2 ผลของชนิดขั้วลบที่มีต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในถังปฏิกรณ์ ต่อขั้วแกรไฟต์ (Graphite) ที่มีขนาดกว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 7.2 เซนติเมตร เข้ากับขั้วบวกของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า และขั้วอลูมิเนียม (Aluminium) ขนาดเท่ากับขั้วแกรไฟต์มาต่อเข้ากับขั้วลบของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ทำการทดลองเป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้นเปลี่ยนจากขั้วอลูมิเนียมที่เป็นขั้วลบให้เป็นเหล็ก ทำการทดลองเช่นเดียวกัน วัดค่าซีโอดีภายหลังการบำบัด ในการทดลองขั้นต้น เมื่อได้ผลจึงเลือกขั้วโลหะที่เหมาะสม นำมาทดลองในขั้นต่อไป

3.4.2.3 ทดลองหากระแสที่เหมาะสมต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในถังปฏิกรณ์ ต่อขั้วแกรไฟต์ (Graphite) ขนาด กว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 7.2 เซนติเมตร เข้ากับขั้วบวกของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า และขั้วโลหะที่เหมาะสมเป็นขั้วลบ ทำการทดลองที่กระแสไฟฟ้าแตกต่างกัน ได้แก่ 1 แอมแปร์, 3 แอมแปร์, 5 แอมแปร์ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำการวัดค่าซีโอดีภายหลังการบำบัด

3.4.2.4 ทดลองผลของเวลาต่อการบำบัด

นำน้ำ CW ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ใส่ในถังปฏิกรณ์ ต่อขั้วแกรไฟต์ (Graphite) ขนาด กว้าง 3.8 เซนติเมตร สูง 7.2 เซนติเมตร เข้ากับขั้วบวกของเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า และขั้วโลหะที่เหมาะสมเป็นขั้วลบ ทำการทดลองโดยใช้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 1 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทำการวัดค่าซีโอดีภายหลังการบำบัด

3.4.2.5 การสอบเทียบคุณภาพของการทดลอง

ใช้สารมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate : KHP) มวลโมเลกุลเท่ากับ 204.22 กรัมต่อโมล ในการสอบเทียบ โดยชั่งสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต 850 มิลลิกรัม มาละลายกับน้ำกลั่น โดยใช้ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรได้ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต ที่ถือว่ามีค่า ซีโอดี 10,000 mg/L (ดูตัวอย่างการคำนวณการหาค่าซีโอดี ในภาคผนวก ค) จากนั้นนำไปย่อยแล้ววัดค่าที่ได้ นำมาเทียบกับค่าที่คำนวณได้ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง (%Accuracy) ของผลการทดลอง

$$\text{จากสูตร} \quad \% \text{ Accuracy} = \frac{\text{ค่า COD KHP ที่วัดได้}}{\text{ค่า COD KHP ที่คำนวณ}} \times 100 \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น นำไปหาค่า COD ที่แท้จริงของการทดลองได้

$$\text{จาก COD ที่แท้จริง} = \frac{\text{COD ที่วัดได้}}{\text{Correlative Factor}} \quad (3.2)$$

$$\text{Correlative Factor} = \frac{\text{ค่า COD KHP ที่วัดได้}}{\text{ค่า COD KHP ที่คำนวณ}} \quad (3.3)$$

3.4.2.6 การยืนยันผลการทดลอง

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากการกระบวนการผลิต จึงนำมาทดลองซ้ำ 3 ครั้ง และทำการวัดค่าซีโอดีของน้ำเสียภายหลังการบำบัด เพื่อหาค่าเฉลี่ย (\bar{X}), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน(SD), ค่าความแปรปรวน (%RSD)

3.4.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำ CW ทั้งก่อนและหลังบำบัดด้วย EC และ EO โดยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยใช้ Method ของ AWWA , Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ข้อที่ 3030K, Microwave-Assisted Digestion



รูปที่ 3.6 การย่อยน้ำตัวอย่างด้วยวิธี Microwave-Assisted Digestion

- วิเคราะห์ปริมาณเหล็กของน้ำเสีย วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น AAS-200 ใช้ความยาวคลื่นเท่ากับ 248.3 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ค่า TOC วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analyzer ยี่ห้อ SHIMADZU รุ่น TOC-VCSH
- วิเคราะห์ค่า Cl- วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ยี่ห้อ Metrohm , ประเทศสวิสเซอร์แลนด์
- วิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวัด ซีโอดีสำเร็จรูป รุ่น Aqualytic AL200 COD VARIO โดยใช้หลอดวิเคราะห์ของ Lovibond ชนิด 1,500 mg/L และ ชนิด 15,000 mg/L
สูตรการคำนวณค่า COD

$$\text{ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (\%)} = \frac{\text{ค่าซีโอดีเริ่มต้น} - \text{ค่าซีโอดีสุดท้าย}}{\text{ค่าซีโอดีเริ่มต้น}} \times 100 \quad (\text{mg/L})$$

3.5 การเข้าอบรมหลักสูตร ISO 9001:2015 (By: Advance Consulting Service Co., Ltd.)

ได้เข้าร่วมอบรมหลักสูตร ISO 9001 : 2015 ข้อกำหนด และการประยุกต์ใช้ โดยบริษัท Advance Consulting Service Co., Ltd. โดยข้อกำหนดระบบบริหารคุณภาพในมาตรฐานสากลฉบับนี้ คือ การเสริมซึ่งข้อกำหนดต่างๆ สำหรับผลิตภัณฑ์ และบริการ โดยใช้หลักการ Process Approach, วงจร Plan-Do-Check-Action (P-D-C-A) และแนวความคิดพื้นฐานความเสี่ยง (Risk-Based thinking) โดยมีหัวข้อ ดังนี้

- Process Approach ช่วยให้องค์กรสามารถวางแผนสำหรับกระบวนการต่างๆ
- P-D-C-A Cycle ช่วยให้องค์กรให้มั่นใจได้ว่ากระบวนการมีทรัพยากรอย่างเพียงพอ และได้รับการจัดการ และโอกาสในการปรับปรุงซึ่งถูกข้อกำหนด และดำเนินการ
- Risk-Based Thinking ช่วยให้องค์กรสามารถกำหนดปัจจัยต่างๆที่สามารถเป็นสาเหตุให้กระบวนการต่างๆ เกิดการเบี่ยงเบนจากผลลัพธ์ที่ได้วางแผนไว้ เพื่อกำหนดการควบคุม ป้องกัน เพื่อลดกระทบเชิงลบให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด และสร้างโอกาสมากที่สุดโดยให้พนักงานแบ่งกลุ่มทำ workshop วิเคราะห์ความเสี่ยงของปัญหาในองค์กร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินการ

จากการศึกษาวิจัย เรื่องการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากอุตสาหกรรมผลิตเครื่องจักรกลการเกษตร โดยใช้กระบวนการ EC เปรียบเทียบกับ EO ผลที่ได้จากการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น ผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการบำบัดด้วย EC และผลการทดลองที่ได้จากกระบวนการบำบัดด้วย EO โดยจะคิดออกมาในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ของประสิทธิภาพการบำบัด ที่มีค่าซีโอดีตั้งต้นประมาณ 120,000 mg/L

4.1 การวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางเคมีของน้ำเสียหล่อเย็น

พารามิเตอร์	ค่ามาตรฐาน*	ค่าที่วัดได้	หน่วย
พีเอช	5.5-9.0	6.80	-
ซีโอดี	750	120,000	mg/L
ไขมันและน้ำมัน	10.0	6,800	mg/L
คลอไรด์ในรูป Cl ₂	2000	435.29	mg/L
ปริมาณเหล็กทั้งหมด	10.0	34.78	mg/L
อุณหภูมิ	45.0	36.40	°C

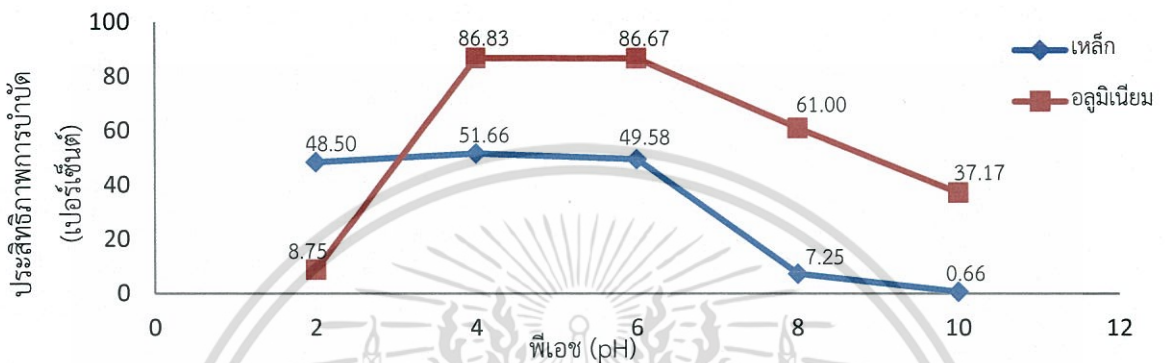
*ที่มา: มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานสู่ระบบน้ำเสียส่วนกลางนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร และอมตะซิตี้

4.2 การบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EC

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต โดยศึกษาผลของชนิดขั้ว และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด, ผลของพีเอช และปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด, ผลของปริมาตรน้ำที่เหมาะสม และผลของเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.2.1 ผลของชนิดขี้โลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด

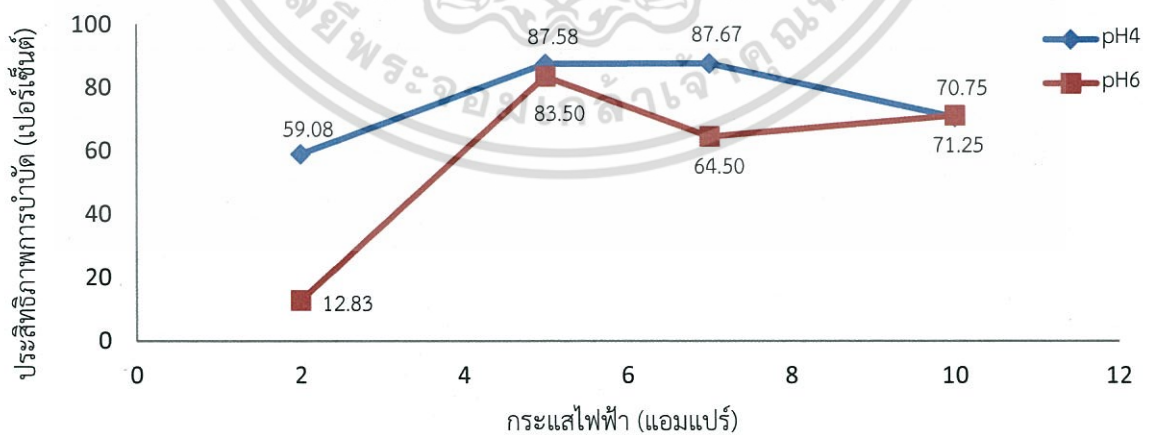
จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดอยู่ในช่วง 4-6 โดยมีค่าซีไอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 15,800 และ 16,000 mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 86.83 และ 86.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งขี้วัวที่ดีที่สุดในการบำบัดแบบ EC คือ ขี้วัวลุมิเนียม ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ปริมาณน้ำ CW, กระแสไฟฟ้า และระยะเวลา



รูปที่ 4.1 ผลของชนิดขี้โลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัด

4.2.2 ผลของพีเอช และ กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด

จากการทดลองพบว่า พีเอชที่บำบัดได้ดีที่สุด คือ พีเอช เท่ากับ 4 ที่กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ มีค่าซีไอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 14,900 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 87.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ปริมาณน้ำ CW, ขี้วัวลุมิเนียม และระยะเวลา

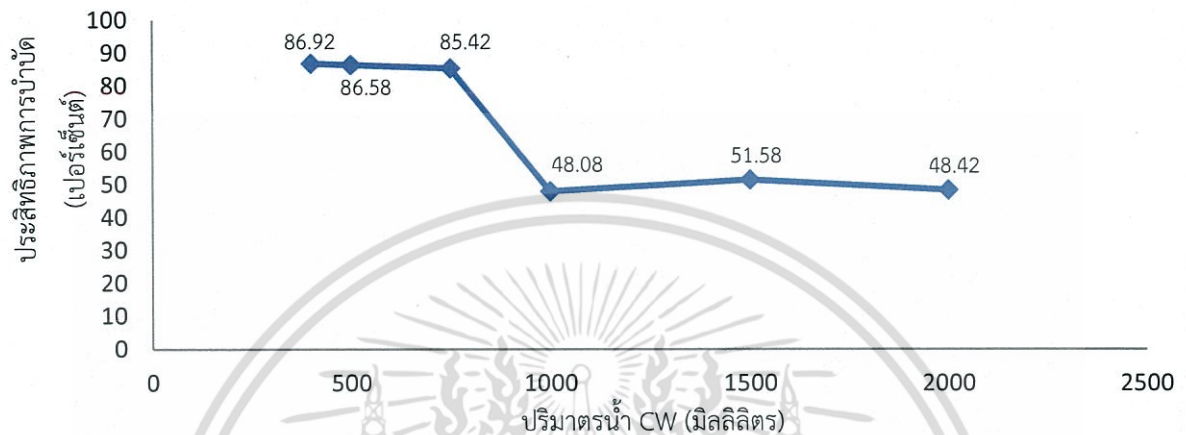


รูปที่ 4.2 ผลของพีเอช และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลของปริมาณน้ำ CW ที่เหมาะสมบำบัด

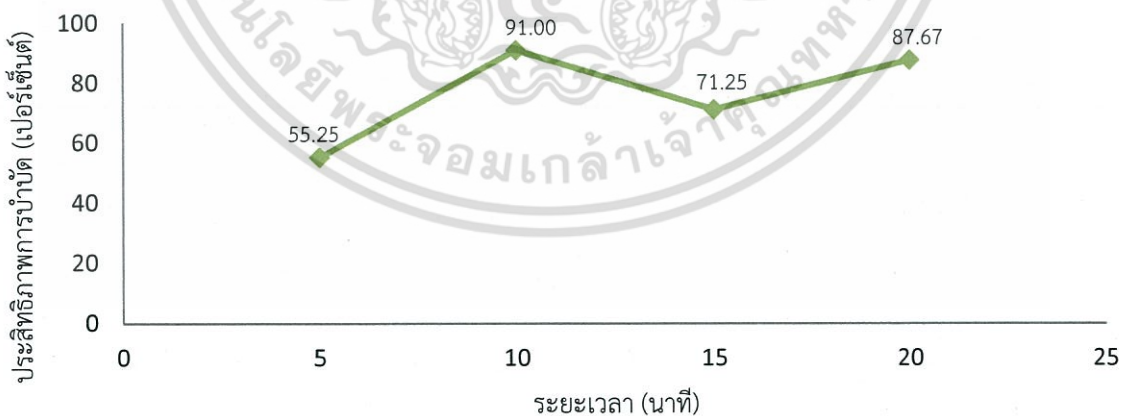
จากการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดต่อการบำบัด คือ 500 มิลลิลิตร มีค่าซีโอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 16,100 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 86.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ขั้วลุ่มิเนียม, กระแสไฟฟ้า และระยะเวลา



รูปที่ 4.3 ผลของปริมาณน้ำ CW ที่เหมาะสมต่อการบำบัด

4.2.4 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด

จากการทดลองพบว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ 10 นาที มีค่าซีโอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 10,800 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 91.00 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ปริมาณน้ำ CW, ขั้วลุ่มิเนียม และกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.5 การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดด้วยกระบวนการ EC จึงนำมาทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ค่าซีโอดีทั้งหมดในตอนเริ่มต้น (COD_T) เท่ากับ 120,000 mg/L ภายหลังจากการบำบัดแยกตะกอนออกแล้ว เมื่อหาค่าซีโอดีของสารที่ละลาย และปนเปื้อนในน้ำในรูป Soluble COD มีเท่ากับ 12,400 , 14,000 และ 15,000 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 89.67, 88.33, และ 87.50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation , SD) เท่ากับ $\pm 1,070.83$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ร้อยละ (Relative Standard Deviation , RSD) เท่ากับ 7.76 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.2 ผลการยืนยันผลการทดลองของกระบวนการ EC

การทดลองครั้งที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ระยะเวลา (นาทีก)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)
1	5	9.86	10	12,400	89.67
2	5	10.56	10	14,000	88.33
3	5	10.10	10	15,000	87.50
ค่าเฉลี่ย				13,800	88.50
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				$\pm 1,070.83$	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์				7.76%	

4.2.6 ผลของการเพิ่มปริมาตรน้ำเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน (Pilot Scale)

ตารางที่ 4.3 ผลของการเพิ่มปริมาตรน้ำเป็นอัตราส่วนที่เท่ากัน (Pilot Scale)

ปริมาตรน้ำ CW (มิลลิลิตร)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ระยะเวลา (นาทีก)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)
4,500	45	10	14,000	88.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EO

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิต โดยศึกษาผลของชนิดขั้ว, ปริมาณกระแสไฟฟ้า และระยะเวลาดำเนินการ ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

4.3.1 ผลของชนิดขั้วลบที่มีผลต่อการบำบัด

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ขั้วบวกเป็นกราไฟต์ และขั้วลบที่แตกต่างกันได้แก่ อลูมิเนียม และเหล็กให้ผลการบำบัดที่ต่างกัน โดยเมื่อใช้อลูมิเนียมเป็นขั้วลบ ค่าซีโอดีที่ได้หลังการบำบัด มีค่าเท่ากับ 11,600 mg/L และเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วลบ ค่าซีโอดีที่ได้หลังการบำบัด มีค่าเท่ากับ 18,300 mg/L จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ขั้วอลูมิเนียมให้ผลการบำบัดที่ดีกว่าเหล็ก ถึง 5.58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ปริมาณน้ำCW, กระแสไฟฟ้า และระยะเวลา



รูปที่ 4.5 (1) ผลของชนิดขั้วลบที่มีผลต่อการบำบัด

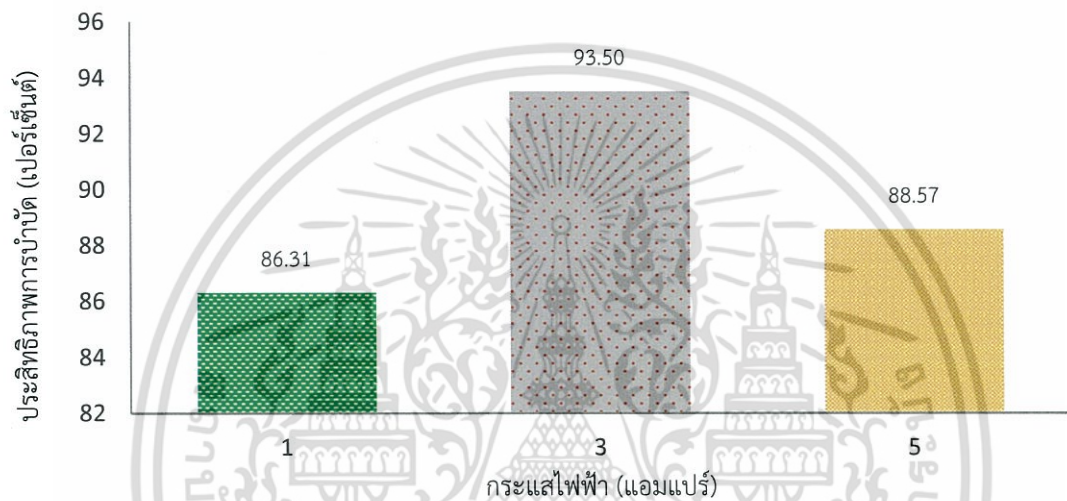


รูปที่ 4.5 (2) หมายเลข 1 คือ รูปขั้วกราไฟต์ (ขั้วบวก) กับ ขั้วอลูมิเนียม (ขั้วลบ)
ส่วนรูปหมายเลข 2 คือ ขั้วกราไฟต์ (ขั้วบวก) กับ ขั้วเหล็ก (ขั้วลบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด

จากการทดลองพบว่า เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน คือ 1, 3 และ 5 แอมแปร์ จะมีผลต่อการบำบัดน้ำ CW ค่าซีโอดีที่ได้หลังการบำบัด มีค่าเท่ากับ 21,000, 9,400 และ 16,700 mg/L ตามลำดับ เห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่ 3 แอมแปร์ให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ดีที่สุด ซึ่งการทดลองนี้ใช้พารามิเตอร์คงที่ได้จากการทดลองเบื้องต้น คือ ปริมาณน้ำ CW, ชนิดขั้วบวกขั้วลบ และระยะเวลา



รูปที่ 4.6 (1) ผลของกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัด

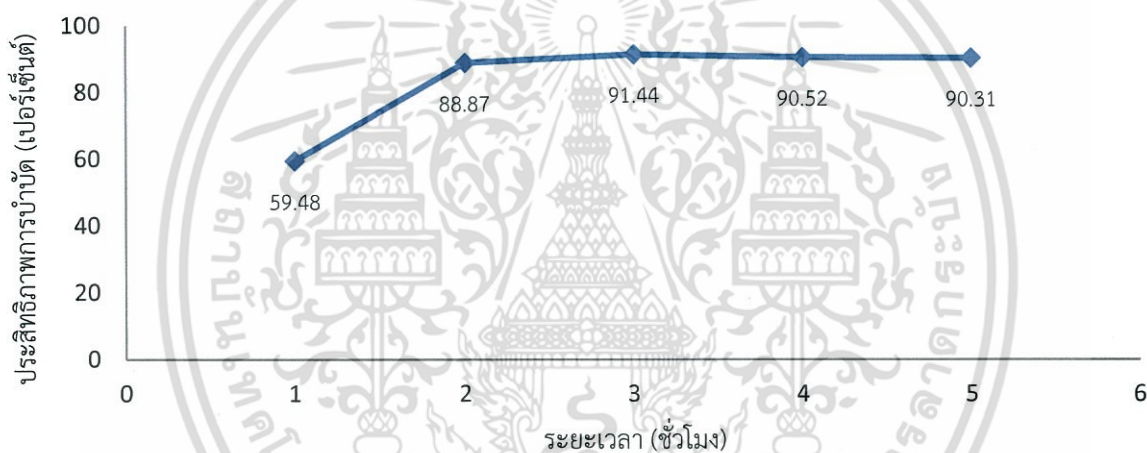


รูปที่ 4.6 (2) ผลของกระแสที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO โดยใช้กระแสที่ 5 แอมแปร์ (ซ้ายมือสุด), กระแส 3 แอมแปร์ (กลาง) และ กระแส 1 แอมแปร์ (ขวามือสุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลของระยะเวลาในการบำบัด

เมื่อได้ผลเรื่องของชีวไฟฟ้า และกระแสที่เหมาะสมแล้ว จึงนำมาทดลองหาผลของระยะเวลาซึ่งเมื่อใช้เวลาในการบำบัดแตกต่างกัน ส่งผลให้ผลของการบำบัดแตกต่างกันด้วย ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดเป็นดังนี้ 1, 2, 3, 4, และ 5 ชั่วโมง พบว่า ค่าซีโอดีที่ได้หลังจากการบำบัด มีค่าเท่ากับ 39,300, 10,800, 8,300, 9,200 และ 9,400 mg/L ตามลำดับ พบว่าเมื่อระยะเวลาในการบำบัดนานขึ้น ค่าซีโอดีที่ได้หลังการบำบัดอาจมีแนวโน้มลดลง สังเกตได้จากผลการทดลองที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมงมีประสิทธิภาพการบำบัดดีกว่าที่ระยะเวลา 4 และ 5 ชั่วโมง เนื่องจากการทดลองนี้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำ CW ระหว่างทดลองปริมาตร 20 มิลลิลิตร ทุกๆ 1 ชั่วโมง อาจส่งผลให้เมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้นน้ำ CW มีปริมาณน้อยลง ความเข้มข้นของน้ำจึงเพิ่มขึ้น ค่าซีโอดีที่วัดได้จึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.7 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัด

4.3.4 การทดลองซ้ำ 3 ครั้ง

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดด้วยกระบวนการ EO จึงนำมาทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง โดยทำซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง ค่าซีโอดีทั้งหมดในตอนเริ่มต้น (COD_T) มีค่าเท่ากับ 120,000 mg/L ภายหลังจากการบำบัดแยกตะกอนออกแล้ว เมื่อหาค่าซีโอดีของสารที่ละลาย และปนเปื้อนในน้ำในรูป Soluble COD มีค่าเท่ากับ 8,400, 8,200 และ 8,400 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด เท่ากับ 92.13, 92.32, และ 92.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, SD) เท่ากับ ± 94.28 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ร้อยละ (Relative Standard Deviation, RSD) เท่ากับ 1.13 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.4 การยืนยันผลการทดลองของกระบวนการ EO

การทดลองครั้งที่	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (เปอร์เซ็นต์)
1	3	12.02	5	8,400	93.00
2	3	13.48	5	8,200	93.17
3	3	13.39	5	8,400	93.00
ค่าเฉลี่ย				8,333.33	93.06
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน				±94.28	
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์				1.13%	

4.4 การวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆ

4.4.1 การวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) ทั้งก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และ EO ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAS-200 ความยาวคลื่น 248.3 นาโนเมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก

ชนิดของตัวอย่าง	เจือจาง	ปริมาณเหล็ก (mg/L)
น้ำ CW ก่อนการบำบัด	25 เท่า	116.15
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EC	25 เท่า	108.15
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EO	5 เท่า	1.18

4.4.2 การวิเคราะห์หาค่า TOC

ทำการวิเคราะห์หาค่า TOC ทั้งก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และ EO ด้วยเครื่อง Total Organic Carbon Analyzer รุ่น TOC-VCSH , Shimadzu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า TOC

ชนิดของตัวอย่าง	เงื่อนจาง	ค่า TOC (mg/L)
น้ำ CW ก่อนการบำบัด	100 เท่า	16,005.00
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EC	10 เท่า	4,400.01
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EO	10 เท่า	2,041.33

4.4.3 การวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ (Cl⁻)

ทำการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์ทั้งก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และ EO ด้วยเครื่อง Ion Chromatograph , Metrohm โดยใช้คอลัมน์สำหรับแยกแอนไอออน

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคลอไรด์

ชนิดของตัวอย่าง	เงื่อนจาง	ปริมาณคลอไรด์ (mg/L)
น้ำ CW ก่อนการบำบัด	100 เท่า	435.29
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EC	10 เท่า	502.11
น้ำ CW หลังการบำบัดด้วย EO	10 เท่า	95.22

4.4.4 การวิเคราะห์น้ำหนักของตะกอน

ในการทดลองบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EC และ EO มีตะกอนเกิดขึ้นจึงทำการกรองเพื่อแยกตะกอนออกมาหาน้ำหนักแห้งของตะกอนรวม โดยปริมาณตะกอนที่นำมาหาน้ำหนักนี้เป็นตะกอนหนัก (Settleable Solids) ซึ่งกระบวนการ EC มีน้ำหนักตะกอนแห้งทั้งหมด 3.2413 กรัม และกระบวนการ EO มีน้ำหนักตะกอนแห้งทั้งหมด 8.2176 กรัม จะเห็นได้ว่ากระบวนการ EO มีปริมาณตะกอนมากกว่า อาจส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการส่งกำจัดมากกว่ากระบวนการ EC

4.4.5 การวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ (%OC)

จากการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์ (OC) ที่เหลืออยู่ในน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และ EO พบว่า กระบวนการ EC มีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำ CW 6.4031 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกระบวนการ EO มีปริมาณสารอินทรีย์เหลืออยู่ในน้ำ CW 0.0550 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งกระบวนการ EO เหลือปริมาณสารอินทรีย์ น้อยกว่ากระบวนการ EC ถึง 6.3481 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าการลงทุนระหว่างกระบวนการ EC และ EO

รายละเอียด \ กระบวนการ	EC	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลูกบาศก์ เมตร)	EO	ค่าใช้จ่าย (บาท/ลูกบาศก์ เมตร)
สารเคมีที่ใช้	กรดซัลฟิวริคเข้มข้น	262.50	-	-
ขี้	Al(+), Al(-)	5,760	Graphite(+), Al(-)	12,960
ค่าไฟฟ้า	กระแส 5 แอมแปร์, ระยะเวลา 10 นาที	67.80	กระแส 3แอมแปร์, ระยะเวลา 5 ชั่วโมง	1,555.20
รวมค่าใช้จ่าย ทั้งหมด	6,090 บาท/ลูกบาศก์เมตร		14,515 บาท/ลูกบาศก์เมตร	

4.5 ผลการอบรมหลักสูตร ISO 9001:2015 ในหัวข้อ Process Approach และ PDCA Cycle

โดยทางบริษัทมุ่งเน้นให้ความสำคัญให้ความรู้แก่พนักงาน เกี่ยวกับ ระบบการบริหารคุณภาพ-ข้อกำหนด ทั้งหมด 10 ข้อ คือ 1) ขอบเขต 2) มาตรฐานอ้างอิง 3) คำศัพท์และนิยาม 4) บริบทขององค์กร 5) ความเป็นผู้นำ 6) การวางแผน 7) สนับสนุน 8) การดำเนินการ 9) การประเมินสมรรถนะ 10) การปรับปรุง

โดยได้อธิบายความหมาย และความสำคัญของระบบการบริหารคุณภาพ-ข้อกำหนดในแต่ละข้อไว้ดังนี้

1. ขอบเขต ในมาตรฐานนานาชาตินี้ คำว่า ผลิตภัณฑ์ หรือบริการใช้สำหรับสินค้า และบริการ
2. มาตรฐานอ้างอิง ISO 9001 : 2015, Quality Management System-Fundamentals and Vocabulary
3. คำนิยามคำจำกัดความ ISO คืออะไร
 - ISO เป็นสัญลักษณ์ที่แทนองค์กร International Organization for Standardization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นมาตรฐานรับรอง ระบบบริหารงาน (QMS : Quality Management System)

4. บริบทขององค์กร

มุ่งเน้นความเข้าใจองค์กรและบริบทขององค์กรเป็นสิ่งสำคัญ องค์กรต้องพิจารณากำหนดปัจจัยภายนอก และภายในที่เกี่ยวข้องโดยพิจารณาจาก จุดประสงค์ขององค์กร ทิศทางกลยุทธ์ และผลกระทบต่อความสามารถขององค์กรในการบรรลุผลลัพธ์ตามที่คาดหวังไว้ต่อระบบการบริหารคุณภาพ

5. ความเป็นผู้นำ

ความเป็นผู้นำและความมุ่งมั่น การมุ่งเน้นลูกค้า การจัดทำนโยบายคุณภาพ การสื่อสารนโยบายคุณภาพ และบทบาท หน้าที่ ความรับผิดชอบ และอำนาจหน้าที่ในองค์กร

ตัวอย่างนโยบายคุณภาพ : มุ่งมั่นเป็นผู้นำในตลาดอุตสาหกรรมยา เวชภัณฑ์ ชีวภัณฑ์ การแพทย์ และไบโอเทคโนโลยี โดยการตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าอย่างยั่งยืน ทั่วทั้งในแง่สินค้า บริการหลังการขาย และพัฒนาคุณภาพของบุคลากร เพื่อให้องค์กรเติบโตอย่างต่อเนื่องและมั่นคง

6. การวางแผน

เน้นในเรื่องของการปฏิบัติการเพื่อจัดการกับความเสี่ยง และโอกาส เมื่อรู้ประเด็นปัญหาแล้วตั้งวัตถุประสงค์คุณภาพ และแผนงานเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ การวางแผนเปลี่ยนแปลง

7. การสนับสนุน

มุ่งเน้นเกี่ยวกับทรัพยากร องค์กรต้องพิจารณากำหนด และจัดหาบุคลากรต่างๆที่มีความจำเป็นสำหรับการนำระบบบริหารคุณภาพไปปฏิบัติอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการดำเนินการควบคุมกระบวนการต่างๆ และองค์กรต้องกำหนดความสามารถ (Competence) ที่จำเป็นของคนทำงานภายใต้การควบคุมที่มีผลต่อสมรรถนะ และประสิทธิผลของระบบบริหารคุณภาพ ทำให้มั่นใจว่าคนเหล่านี้มีคุณวุฒิ (Competent) ตามพื้นฐานการศึกษา, การฝึกอบรม หรือประสบการณ์ที่เหมาะสม และบุคลากรที่ทำงานภายใต้การควบคุมขององค์กร ต้องมีความตระหนักถึง นโยบาย วัตถุประสงค์คุณภาพที่เกี่ยวข้อง การสนับสนุนต่อประสิทธิผลของระบบของการจัดการคุณภาพ และผลกระทบของการไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของระบบบริหารคุณภาพ ทั้งนี้รวมถึงการสื่อสารทั้งภายใน และภายนอกองค์กร

8. การดำเนินการ

ในส่วนของการดำเนินการจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ต้องมี 1) การวางแผนและการควบคุมการดำเนินการ 2) ข้อกำหนดผลิตภัณฑ์และบริการ 3) การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์และบริการ 4) การควบคุมผลิตภัณฑ์และบริการจากภายนอก 5) การผลิตและการให้บริการ 6) การตรวจปล่อยผลิตภัณฑ์และบริการ 7) การควบคุมผลลัพธ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การประเมินสมรรถนะ

การเฝ้าระวังติดตาม การวัด การวิเคราะห์ และการประเมินการตรวจติดตามภายในกำหนดเรื่อง มีพารามิเตอร์อะไรบ้าง ใครเป็นผู้ติดตามตรวจสอบ และการทบทวนโดยฝ่ายบริหาร

10. การปรับปรุง

ควรกำหนดมาตรการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า และมาตรการป้องกันปัญหาเกิดขึ้นซ้ำ องค์กรต้องเก็บรักษาเอกสารสารสนเทศไว้เป็นหลักฐานต่างๆ และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องให้มีความเหมาะสมเพียงพอ และเกิดประสิทธิผลกับระบบบริหารคุณภาพ องค์กรต้องพิจารณาถึงผลจากการวิเคราะห์ และการประเมิน และผลจากการทบทวนฝ่ายบริหารเพื่อกำหนดว่ามีความจำเป็น หรือมีโอกาสดังต้องได้รับการดำเนินการ และปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เมื่อการอบรมเสร็จสิ้นแล้ว ทางบริษัทได้จัดกิจกรรมทบทวนความเข้าใจของผู้เข้าร่วมอบรม ว่ามีความเข้าใจมากน้อยเพียงใด โดยการถามตอบไขข้อสงสัยในทุกกรณี

4.6 ผลการอบรมในหัวข้อ Risk-based thinking

บริษัท Advance Consulting Service Co., Ltd. เน้นให้ความรู้เกี่ยวกับข้อกำหนดใน ISO 9001 : 2015 ที่เกี่ยวข้องกับ Risk-based thinking ว่ามีข้อกำหนดอะไรบ้างที่สำคัญ และเกี่ยวข้อง แต่ส่วนใหญ่ของการอบรมในครั้งนี้ทางบริษัทเน้นจัดกิจกรรมให้พนักงาน ช่วยกันระดมความคิดของแต่ละแผนก ในช่วงเช้าจะให้พนักงานจับกลุ่มกันเป็นแผนก เพื่อมุ่งเน้นการหาหรือปัญหาของแผนกตนเองว่ามีปัญหาใดเกิดขึ้นบ้างทั้งปัญหาภายใน และภายนอกของแผนกนั้น รวมไปถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เมื่อให้ทุกคนช่วยกันระดมความคิดเห็นเพื่อระบุปัญหาแล้วก็ให้ระบุผลกระทบว่า ถ้าเกิดปัญหาเช่นนี้จะส่งผลกระทบต่ออะไรบ้าง ส่วนในช่วงบ่าย เน้นสอนให้พนักงานวิเคราะห์ความเสี่ยงว่าปัญหานี้จัดอยู่ในความเสี่ยงด้านใด หาโอกาสในการเกิดความเสี่ยงของปัญหาที่ได้ระบุไว้ในช่วงเช้าว่ามีโอกาสเกิดขึ้นบ่อยไหม และมีความรุนแรงไหม โดยมีการให้คะแนนโอกาส และความรุนแรง โดยเมื่อคิดคะแนนรวมแล้วจะรู้ได้ว่าปัญหาใดรุนแรง และมีโอกาสเกิดมากที่สุด และสามารถจัดการความเสี่ยงนั้นได้อย่างเหมาะสม

เมื่อกิจกรรมระดมความคิดเสร็จสิ้นแล้ว ได้จัดกิจกรรมทบทวนความรู้ และความเข้าใจของพนักงาน โดยการถามตอบไขข้อสงสัยในทุกกรณี ในส่วนของเนื้อหาที่มีดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Risk-based thinking คือ สิ่งที่จะช่วยทำให้มองเห็นความเสี่ยงในกระบวนการบริหารจัดการขององค์กรชัดเจนขึ้น และเป็นสิ่งที่ช่วยให้เกิดความคิดเกี่ยวกับการกำหนดมาตรการป้องกัน ทั้งในส่วนของงานประจำ และการวางแผนเชิงกลยุทธ์ และยังเป็นแนวความคิดเพื่อช่วยในการบ่งชี้ความเสี่ยง และโอกาส

ข้อกำหนด ISO 9001 : 2015 ที่เกี่ยวข้องกับ Risk-based thinking

- ระบบการบริหารคุณภาพ และกระบวนการ
- ความเป็นผู้นำ และความมุ่งมั่น
- มาตรการเพื่อจัดการความเสี่ยงโอกาส
- การวิเคราะห์ และการประเมิน
- ปัจจัยนำเข้าสู่การทบทวนโดยฝ่ายบริหาร
- สิ่งที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และการแก้ไข

ขั้นตอนการจัดการความเสี่ยง

1. การกำหนดกรอบการจัดการความเสี่ยง
2. การชี้บ่งความเสี่ยงภายใต้กรอบการจัดการความเสี่ยง
3. การวิเคราะห์ และประเมินความเสี่ยงวิธีจัดการความเสี่ยง
4. การติดตาม และทบทวนความเสี่ยง

การกำหนดกรอบการจัดการความเสี่ยง

แสดงว่ากรอบการจัดการความเสี่ยงในระบบบริหารคุณภาพตามมาตรฐาน ISO 9001 : 2015 ประกอบด้วยการจัดการความเสี่ยงในด้านต่างๆต่อไปนี้ คือ ประเด็นปัญหาภายในองค์กร (Internal Issues) ประเด็นปัญหภายนอกองค์กร (External Issues) และข้อกำหนดของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับองค์กร (The Requirements of Interested Parties) เทคนิคการระบุประเด็นปัญหา ได้แก่ SWOT, การระดมสมอง, การสัมภาษณ์, แบบสอบถาม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบ่งชี้ความเสี่ยง

องค์กรต้องทำการระบุถึง แหล่งที่มาของความเสี่ยง และระบุปัจจัยความเสี่ยง ตลอดจนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบเหตุการณ์ และสาเหตุรวมถึงผลที่จะตามมา โดยต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงาน และผู้บริหารทุกระดับ พิจารณาทบทวนประเด็นความเสี่ยงให้ครอบคลุมในทุกประเภทของความเสี่ยงที่อาจส่งผลกระทบต่อการบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กร

การวิเคราะห์ความเสี่ยง

1. ความเสี่ยงด้านกลยุทธ์ (Strategic Risk)
2. ความเสี่ยงด้านปฏิบัติการ (Operation Risk)
3. ความเสี่ยงทางการเงิน (Financial Risk)
4. ความเสี่ยงทางการปฏิบัติตามกฎระเบียบ (Compliance Risk)

การประเมินระดับความเสี่ยง

การประเมินระดับความเสี่ยงจะเป็นข้อมูล เพื่อในการตัดสินใจในการจัดการกับความเสี่ยง โดยการพิจารณาถึงโอกาสในการเกิด (Likelihood) ความรุนแรงของผลกระทบ (Severity)

$$\text{ระดับความเสี่ยง} = \text{โอกาสการเกิด} \times \text{ความรุนแรงของผลกระทบ}$$

การกำหนดวิธีจัดการความเสี่ยง

แนวทางในการจัดการความเสี่ยง ประกอบด้วย การหลีกเลี่ยงความเสี่ยง (Risk Avoidance), การลดความเสี่ยง (Risk Reduction), การแบ่งปันความเสี่ยง (Risk Sharing) และการยอมรับความเสี่ยง (Risk Acceptance)

การติดตาม และทบทวนความเสี่ยง

องค์กรต้องจัดให้มีการเฝ้าการติดตามตรวจสอบ และทบทวนไว้เป็นหนึ่งในกระบวนการจัดการความเสี่ยง โดยจะต้องมีการกำหนดผู้รับผิดชอบ และกรอบเวลาในการดำเนินการไว้อย่างชัดเจน และครอบคลุมในทุกๆ ส่วนของกระบวนการในรอบของการจัดการความเสี่ยง

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัย และการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำ CW โดยศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของกระบวนการ EC เปรียบเทียบกับกระบวนการ EO และศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการบำบัดน้ำ CW ที่ได้จากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EC พบว่า ชนิดขั้วที่เหมาะสมต่อการบำบัด คือ ขั้วลุ่มิเนียม และสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ พีเอช เท่ากับ 4 ปริมาตรน้ำ 500 มิลลิลิตร กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ และระยะเวลา 10 นาที มีค่าซีโอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 13,800 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 88.50 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 จากการทดลองบำบัดน้ำ CW ด้วยกระบวนการ EO พบว่า ชนิดขั้วที่เหมาะสมที่สุดต่อการบำบัด คือ ขั้วบวกคือกราไฟต์ และขั้วลบคือลุ่มิเนียม สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ พีเอชสารตั้งต้นอยู่ในช่วง 6-8 (ไม่ปรับพีเอช) ปริมาตรน้ำ 500 มิลลิลิตร กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ระยะเวลา 5 ชั่วโมง มีค่าซีโอดีหลังการบำบัด เท่ากับ 8,333.33 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้เท่ากับ 93.06 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 จากการพิจารณาถึงประสิทธิภาพ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ พบว่า กระบวนการ EC มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการบำบัดที่น้อยกว่า แต่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่ากระบวนการ EO อีกทั้งยังมีการใช้สารเคมีในการปรับพีเอชน้ำให้เป็นกรด เพื่อให้เหมาะสมต่อการบำบัดด้วยกระบวนการ EC

จากการทดลองสรุปได้ว่า ในการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และ EO สามารถบำบัดน้ำ CW ได้ แต่ยังไม่สามารถทำให้น้ำ CW น้อยในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งที่กฎหมายกำหนด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องมีการบำบัดต่อด้วยกระบวนการที่เหมาะสมต่อไป โดยกระบวนการ EC ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่ากระบวนการ EO

5.1.4 จากการวิเคราะห์หาปริมาณเหล็ก (Fe) ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) จากการตรวจวัดพบว่า น้ำ CW ก่อนการบำบัดมีปริมาณเหล็ก เท่ากับ 116.15 mg/L น้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC มีปริมาณเหล็ก เท่ากับ 108.15 mg/L และน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีปริมาณเหล็ก เท่ากับ 1.18 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดด้วยกระบวนการ EO สามารถกำจัดเหล็กได้มากกว่ากระบวนการ EC เพราะมีปริมาณเหล็กเหลืออยู่น้อยกว่า

5.1.5 จากการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดในน้ำ CW ทั้งก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และกระบวนการ EO พบว่า น้ำ CW ก่อนการบำบัด มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด เท่ากับ 16,005 mg/L น้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด เท่ากับ 4,400.01 mg/L และน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด เท่ากับ 2,041.33 mg/L

จากการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำ CW โดยใช้กระบวนการ EO มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการลดค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (TOC) จาก 16,005 mg/L เหลือเป็น 2,041.33 mg/L ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ EC

5.1.6 จากการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในน้ำ CW ทั้งก่อน และหลังการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และกระบวนการ EO พบว่า น้ำ CW ก่อนการบำบัด มีปริมาณคลอไรด์ เท่ากับ 435.294 mg/L น้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC มีปริมาณอินทรีย์คลอไรด์ เท่ากับ 502.114 mg/L และน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีปริมาณคลอไรด์ทั้งหมด 95.223 mg/L

จากการทดลองสรุปได้ว่า ปริมาณคลอไรด์ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างกันระหว่าง 2 กระบวนการที่นำมาบำบัด โดยจะเห็นได้ว่า กระบวนการ EO มีปริมาณคลอไรด์ลดลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการ EO นั้น มีขั้นตอนของการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้สารที่อยู่ในน้ำเสียในการออกซิไดซ์ โดยจัดว่าเป็นกระบวนการออกซิไดซ์ทางเคมี (Chemical Oxidation) ซึ่งจัดเป็นกระบวนการทางอ้อม

5.1.7 จากการทดลองวิเคราะห์น้ำหนักตะกอน ที่ได้จากกระบวนการบำบัดทั้ง 2 กระบวนการ พบว่า น้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC มีน้ำหนักตะกอนรวม เท่ากับ 3.2413 กรัม (ไม่รวมตะกอนเบาที่ปาดออกก่อนกรอง) และน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีน้ำหนักตะกอนรวม เท่ากับ 8.2176 กรัม

จากการทดลองสรุปได้ว่า ตะกอนที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีน้ำหนักมากกว่าตะกอนที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการ EC

5.1.8 จากการทดลองศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียหล่อเย็น ด้วยวิธี Walkley Black modified acid-dichromate digestion, FeSO_4 titration method พบว่า น้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC มีปริมาณสารอินทรีย์ เท่ากับ 6.4031 เปอร์เซนต์คาร์บอน และน้ำ CW หลังผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีปริมาณสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.0550 เปอร์เซนต์คาร์บอน

จากการทดลองสรุปได้ว่า การบำบัดด้วยกระบวนการ EO มีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่หลังผ่านกระบวนการบำบัดน้อยกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ EC แสดงว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ EO สามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการบำบัดด้วยกระบวนการ EC

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการนำไปบำบัดต่อ เนื่องจากน้ำเสียหล่อเย็นที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการ EC และกระบวนการ EO ยังมีค่าซีโอดีที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งตามที่กฎหมายกำหนด

5.2.2 ควรมีการกำจัดคลอรีน (Cl⁻) ก่อนการบำบัดด้วยกระบวนการ EC

5.2.3 ต้องทำการเปลี่ยนชีว เมื่อชีวผ่านการใช้งานไปแล้วประมาณ 3 ครั้งเพื่อให้การบำบัดมีประสิทธิภาพ

5.3 สรุปการเข้าร่วมอบรม ISO 9001 : 2015

ในการเข้าร่วมอบรม ISO 9001 : 2015 นั้น ทำให้ผู้เข้าร่วมอบรมมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพภายในโรงงาน ทั้งในด้านของเนื้อหาที่อบรม และในด้านของการนำไปใช้งานจริง โดยได้เข้าใจถึงกระบวนการในการจัดทำข้อมูลให้เป็นปัจจุบันที่สุด โดยเป็นไปตามรูปแบบมาตรฐานของปัจจุบันมากที่สุด ทำให้เห็นถึงความร่วมมือกันของบุคลากรภายในองค์กรในการจัดการอบรมนี้ ตั้งแต่เชิญวิทยากรมาบรรยาย การระดมความคิด การหาแนวทางแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น รวมไปถึงติดตามตรวจสอบภายในองค์กร เพื่อให้ได้มาซึ่งงานที่มีคุณภาพ และตรงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

ทวี สิทธิรัฐตระกูล. การหาความสัมพันธ์ของค่า BOD, COD, และ TOC ในน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบบำบัดน้ำเสียชนิดตะกอนเร่ง

[Online]. Available : file:///C:/Users/USER/Downloads/Fulltext%234_52293.pdf

ไพฑูรย์ หมายมันสมสุข. การวิเคราะห์ค่าซีไอดี

[Online]. Available : <http://www2.diw.go.th/Research/เอกสารเผยแพร่/A15-COD-w>

เว็บมาตรฐานคุณภาพน้ำของอมตะนคร. มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาของนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร/อมตะซิตี้

[Online]. Available : http://www.amatawater.com/rule_th.php

เว็บสยามคูโบต้า คอร์ปอเรชั่น จำกัด. รายละเอียดเกี่ยวกับบริษัทสยามคูโบต้า. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560.

[Online]. Available : www.siamkubota.co.th/

เว็บสยามเคมีดอทคอม. น้ำมันหล่อเย็น.

[Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/น้ำมันหล่อเย็น/>

สมพงษ์ หิรัญมาศสุวรรณ. 2551. กระบวนการโคแอกกูเลชันด้วยไฟฟ้า(Electrocoagulation). ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยรังสิต.

Burns, E.R. and Marshall C. 1965. Correction of Chloride Interference in the Chemical Oxygen Demand Test. Wat Pollut. Control. 1716 – 1721.

Dobbs, R.A., and R.T. William. 1963. Elimination of Chloride Interference in the Chemical.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Humberto Rubi-Juárez¹ , Carlos Barrera-Díaz^{2*} , Ivonne Linares-Hernández³ , Cheikh Fall³ , B. Bilyeu⁴. 2015. A Combined Electrocoagulation-Electrooxidation Process for Carwash Wastewater Reclamation. International Journal of ELECTROCHEMICAL SCIENCE. 6754 - 6767
- Leithe, W., and L.N. Linz. 1975. **The Analysis of Organic Pollutants in Water and Wastewater**. 2nd ed. ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan.
- Manuel A. Rodrigo. 2006. **ELECTROCOAGULATION/ELECTROOXIDATION**. Department of Chemical Engineering. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Castilla La Mancha. Campus Universitario s/n. 13071 Ciudad Real. Spain. Oxygen Demand Test. *Analyst. Chem.* 1064 – 1067
- Stone, T. 1974. An Appraisal of the Use of Silver catalyzed Dichromate for the Determination of the Strength of Sewage and the Assessment of Treatment Plant Performance. *Wat. Pollut. Control.* 673 – 684.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

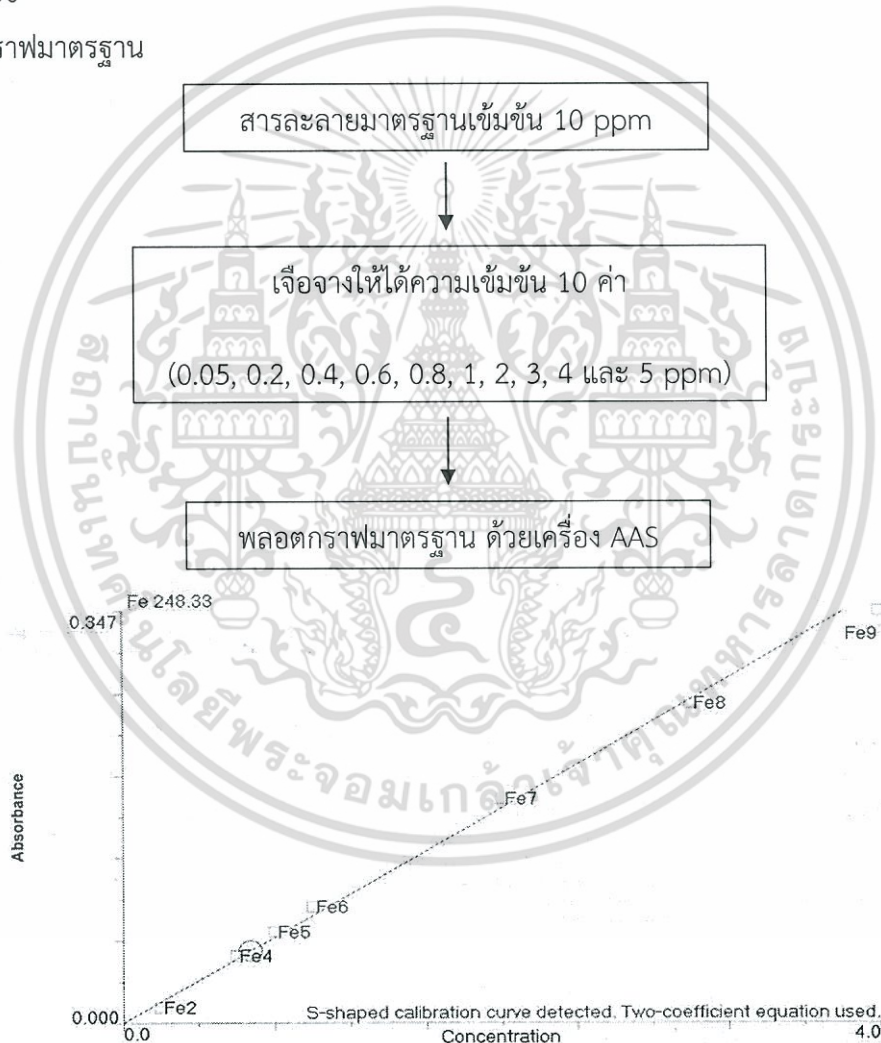
การเตรียมสารมาตรฐาน

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานเหล็ก

1.1. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำเสีย

วิเคราะห์ปริมาณเหล็กในน้ำเสียโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer รุ่น AAS-200

การสร้างกราฟมาตรฐาน



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานเหล็ก

มีค่า $R^2 = 0.997636$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. การวิเคราะห์ปริมาณเหล็ก

ใช้วิธีวิเคราะห์ Methods for the Examination of Water and Wastewater ข้อที่ 3030K.

Microwave-Assisted Digestion

น้ำตัวอย่างที่ผ่านการเก็บอย่างถูกวิธี



วิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์

2.1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 100 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบ 1000 mg/L จำนวน 5 mL



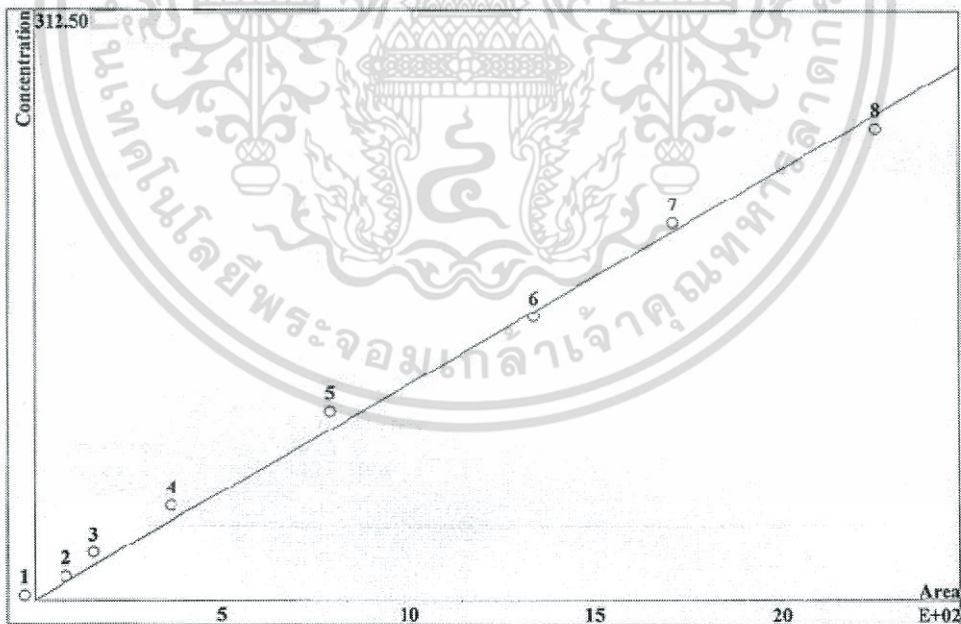
ใส่ในขวดวัดปริมาตร 50 mL และปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง ได้
สารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบความเข้มข้น 100 mg/L

2.2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานคลอไรด์ความเข้มข้น 0.25, 1.25, 2.50, 5.00, 10.00, 15.00, 20.00 และ 25.00 mg/L

ปิเปตสารละลายมาตรฐานผสมของไอออนลบ 100 mg/L
จำนวน 0.0625, 0.3125, 0.6250, 1.2500, 2.5000, 3.7500, 5.0000 และ 6.2500 mL
ใส่ในขวดวัดปริมาตร 25 mL

ปรับปริมาตรด้วยน้ำบริสุทธิ์สูง จะได้สารละลายมาตรฐานคลอไรด์
ที่ความเข้มข้นตามที่กำหนดไว้

ตรวจวัดโดยเครื่อง Ion Chromatography, IC



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานคลอไรด์

ได้สมการความสัมพันธ์ $Q = 0.228652A$ และมีค่า $R^2 = 0.998780$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

4.1 ผลของกระบวนการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยกระบวนการอิเล็กโทรโคแอกกูเลชัน (EC)

ตาราง ข.1 ผลของชนิดขี้โลหะ และค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC

CW (pH)	เหล็ก					อลูมิเนียม				
	กระแสไฟฟ้า (A)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ระยะเวลา (min)	ค่าซีโอดี (mg/L)	% การบำบัด	กระแสไฟฟ้า (A)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ระยะเวลา (min)	ค่าซีโอดี (mg/L)	% การบำบัด
2	5	6.22	10	61,800	48.5	5	4.95	10	109,500	8.75
4	5	10.78	10	58,000	51.66	5	8.92	10	15,800	86.83
6	5	12.17	10	60,500	49.58	5	9.51	10	16,000	86.67
8	5	15.21	10	111,300	7.25	5	15.21	10	46,800	61
10	5	10.87	10	119,200	0.66	5	15.22	10	75,400	37.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.2 ผลของพีเอช และกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC

ขั้ว อลูมิเนียม	กระแสไฟฟ้า (A)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
pH 4	2	4.64	49,100	59.08
	5	9.63	14,900	87.58
	7	13.25	15,400	87.67
	10	13.28	35,100	70.75
pH 6	2	5.43	104,600	12.83
	5	10.79	19,800	83.50
	7	13.9	42,900	64.50
	10	15.21	34,500	71.25

หมายเหตุ : ปริมาตร CW 500 ml คงที่, ระยะเวลา 10 นาที คงที่,
COD เริ่มต้น 120,000 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.3 ผลของปริมาณน้ำที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC

ปริมาณ CW (mL)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
400	8.02	15,700	86.92
500	8.03	16,100	86.58
750	7.29	17,500	85.42
1,000	8.69	62,300	48.08
1,500	7.34	58,100	51.58
2,000	10.38	61,900	48.42

หมายเหตุ : กระแสไฟฟ้า 5 แอมแปร์ คงที่, ระยะเวลา 10 นาที คงที่
COD เริ่มต้น 120,000 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 ผลของเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EC

ศักย์ไฟฟ้า (V)	ระยะเวลา (min)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
9.93	5	53,700	55.25
9.23	10	10,800	91
8.35	15	34,500	71.25
8.98	20	15,400	87.67

หมายเหตุ : ปริมาตร CW 500 ml คงที่, ระยะเวลา 10 นาที คงที่,
COD เริ่มต้น 120,000 mg/L



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการบำบัดน้ำเสียหล่อเย็นจากกระบวนการผลิตด้วยกระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (EO)

ตาราง ข.5 ผลของชนิดขั้วลบที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO

ชนิดขั้วลบ	ชนิดขั้วบวก	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
อลูมิเนียม	กราไฟต์	12.68	11,600	90.33 %
เหล็ก	กราไฟต์	9.90	18,300	84.75 %

หมายเหตุ : ปริมาตร CW 500 ml คงที่, กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ คงที่, ระยะเวลา 3 ชั่วโมง คงที่, COD เริ่มต้น 120,000 mg/L

ตาราง ข.6 ผลของกระแสที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO

กระแส (A)	ชนิดขั้วบวก	ชนิดขั้วลบ	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)
1	กราไฟต์	อลูมิเนียม	9.58	21,000	86.31
3	กราไฟต์	อลูมิเนียม	12.05	9,400	93.50
5	กราไฟต์	อลูมิเนียม	14.43	16,700	88.57

หมายเหตุ : ปริมาตร CW 500 ml คงที่, ระยะเวลา 3 ชั่วโมง คงที่, COD เริ่มต้น 120,000 mg/L

ตาราง ข.7 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการบำบัดด้วย EO

ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ชนิดขั้วบวก	ชนิดขั้วลบ	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าซีโอดี (mg/L)	ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)
1	กราไฟต์	อลูมิเนียม	11.74	39,300	59.48 %
2	กราไฟต์	อลูมิเนียม	9.35	10,800	88.87 %
3	กราไฟต์	อลูมิเนียม	9.84	8,300	91.44 %
4	กราไฟต์	อลูมิเนียม	11.91	9,200	90.52 %
5	กราไฟต์	อลูมิเนียม	12.67	9,400	90.31 %

หมายเหตุ : ปริมาตร CW 500 ml คงที่, กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ คงที่,
COD เริ่มต้น 120,000 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์

ตาราง ข.8 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่มีใน Blank

ครั้งที่	น้ำกลั่น (mL)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (mL)	H ₂ SO ₄ (mL)	ปริมาณที่ใช้ (mL)		
				เริ่มต้น	สุดท้าย	ใช้ไป
1	1	10	10	0.00	16.30	16.30
2	1	10	10	0.00	16.30	16.30
3	1	10	10	0.00	16.30	16.30
ค่าเฉลี่ย						16.30
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						±0.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์						0.00

ตาราง ข.9 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการ EC

ครั้งที่	Coolant (mL)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (mL)	H ₂ SO ₄ (mL)	ปริมาณที่ใช้ (mL)		
				เริ่มต้น	สุดท้าย	ใช้ไป
1	1	10	10	30.50	44.20	13.70
2	1	10	10	16.30	29.70	13.40
3	1	10	10	30.30	44.10	13.80
ค่าเฉลี่ย						13.63
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						±0.20
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์						1.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.10 ผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่ผ่านกระบวนการ EO

ครั้งที่	Coolant (mL)	K ₂ Cr ₂ O ₇ (mL)	H ₂ SO ₄ (mL)	ปริมาณที่ใช้ (mL)		
				เริ่มต้น	สุดท้าย	ใช้ไป
1	1	10	10	13.30	27.50	14.20
2	1	10	10	29.70	43.50	13.80
3	1	10	10	16.30	30.30	14.00
ค่าเฉลี่ย						14.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน						±0.20
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์						1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

4.7 การทดลองวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์

วิธีการคำนวณหาปริมาณสารอินทรีย์

$$\text{ปริมาณสารอินทรีย์ (\%OC)} = \frac{(B-A)N}{B} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{20}{w}$$

เมื่อ A = ปริมาตรของ FAS Sample (mL)

B = ปริมาตรของ FAS Blank (mL)

N = ความเข้มข้นของ FAS (N)

w = ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง (mL)

* 20 คือ ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่ใช้

1) กระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า (Electrocoagulation)

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารอินทรีย์ (\%OC)} &= \frac{(16.30\text{mL} - 14.00\text{mL})(0.5\text{N})}{16.30\text{mL}} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{20}{10} \\ &= 0.0819 \times 1.2987 \times 3 \times 0.1 \times 2 \\ &= 6.4031 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

2) กระบวนการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี (Electrooxidation)

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณสารอินทรีย์ (\%OC)} &= \frac{(16.30\text{mL} - 14.00\text{mL})(0.5\text{N})}{16.30\text{mL}} \times \frac{100}{77} \times 3 \times \frac{100}{10^3} \times \frac{20}{10} \\ &= 0.0706 \times 1.2987 \times 3 \times 0.1 \times 2 \\ &= 0.0550 \text{ เปอร์เซ็นต์} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าต่อการลงทุนระหว่าง EC และ EO

กระบวนการอิเล็กทรอนิกส์ (EC)

1) คำนวณค่าไฟฟ้า โดยใช้กระแส 5 แอมแปร์ ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย 10.17 โวลต์ และ ระยะเวลา 10 นาที

จากสูตร $P = V \times I$

แทนค่า $P = 10.17 \times 5 = 50.85 \text{ watt}$

จากสูตร $P = \frac{w \times Hr}{1000^{w/Kw}}$

แทนค่า $P = \frac{50.85w \times \frac{10}{60}Hr}{1000^{w/Kw}} = 8.475 \times 10^{-3} \text{ KwHr}$

ค่าใช้จ่าย = $8.475 \times 10^{-3} \text{ KwHr} \times 4 \text{ Baht/KwHr}$
 = $0.0339 \text{ Baht/น้ำ CW 500 mL}$

คิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อน้ำ 1 ลูกบาศก์เมตร

$$= \frac{0.0339 \text{ Baht}}{500\text{mL}} \times \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}} \times \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3}$$

$$= 67.80 \text{ Baht/น้ำ CW 1 m}^3$$

2) คำนวณค่าสารเคมี โดยใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ราคา 3.50 บาท/กิโลกรัม ในการปรับพีเอชของน้ำเสีย หล่อเย็นก่อนทำการบำบัด

หาปริมาณกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ต้องใช้ต่อน้ำ CW 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำ CW ปริมาตร 8 ลิตร ต้องปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 0.5 ลิตร

ถ้า น้ำ CW ปริมาตร 1,000 ลิตร ต้องปรับพีเอชด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 62.50 ลิตร

แปลงหน่วยลิตรให้เป็นกิโลกรัม

กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 1,000 ลิตร คิดเป็น 1,200 กิโลกรัม

ถ้า กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 62.50 ลิตร คิดเป็น 75 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดค่าสารเคมีที่ใช้ = $3.50 \text{ บาท/กิโลกรัม} \times 75 \text{ กิโลกรัม} = 262.50 \text{ บาท}$

3) คำนวณค่าขั้ว โดยขั้วที่ใช้คือขั้วลูมิเนียม ขนาด 0.038×0.072 ตารางเมตร ต่อน้ำ CW 500mL

ขั้วลูมิเนียมขนาด 1.22×2.44 ตารางเมตร ราคา 780 บาท

ขั้วลูมิเนียมที่ใช้ขนาด 0.038×0.072 ตารางเมตร ราคา 0.72 บาท

คิดพื้นที่ขั้วต่อน้ำ CW 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำ CW ปริมาตร 0.5 ลิตร ต้องใช้พื้นที่ขั้ว 0.038×0.072 ตารางเมตร

ถ้า น้ำ CW ปริมาตร 1,000 ลิตร ต้องใช้พื้นที่ขั้ว 5.472 ตารางเมตร

คิดราคาขั้วต่อน้ำ CW 1 ลูกบาศก์เมตร

ขั้วลูมิเนียมขนาด 0.038×0.072 ตารางเมตร ราคา 0.72 บาท

ถ้า ขั้วลูมิเนียมขนาด 5.472 ตารางเมตร ราคา 1,440 บาท

ดังนั้นขั้วลูมิเนียม จำนวน 4 ขั้ว คิดเป็นเงิน $1,440 \times 4 = 5760 \text{ บาท/ลูกบาศก์เมตร}$

กระบวนการอิเล็กโทรออกซิเดชัน (EO)

1) คำนวณค่าไฟฟ้าแบบเดียวกันกับกระบวนการ EC แต่เปลี่ยนเป็นใช้กระแสไฟฟ้า 3 แอมแปร์ ศักย์ไฟฟ้าเฉลี่ย 12.96 โวลต์ และ ระยะเวลา 5 ชั่วโมง

2) คำนวณค่าขั้ว โดยใช้ขั้วกราไฟต์กับขั้วลูมิเนียม ขนาด 0.038×0.072 ตารางเมตร ต่อน้ำ CW 500mL

ขั้วกราไฟต์ขนาด 1×1 ตารางเมตร ราคา 920 บาท

ขั้วกราไฟต์ที่ใช้ขนาด 0.038×0.072 ตารางเมตร ราคา 2.52 บาท

คิดพื้นที่ขั้วต่อน้ำ CW 1 ลูกบาศก์เมตร

น้ำ CW ปริมาตร 0.5 ลิตร ต้องใช้พื้นที่ขั้ว 0.038×0.072 ตารางเมตร

ถ้า น้ำ CW ปริมาตร 1,000 ลิตร ต้องใช้พื้นที่ขั้ว 5.472 ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คิดราคาขั้วต่อน้ำ CW 1 ลูกบาศก์เมตร

ขั้วกราไฟต์ขนาด 0.038 x 0.072 ตารางเมตร ราคา 2.52 บาท

ถ้า ขั้วกราไฟต์ขนาด 5.472 ตารางเมตร ราคา 5,040 บาท

ดังนั้นขั้วกราไฟต์ จำนวน 2 ขั้ว คิดเป็นเงิน $5,040 \times 2 = 10,080$ บาท/ลูกบาศก์เมตร

ขั้วอลูมิเนียม จำนวน 2 ขั้ว คิดเป็นเงิน $1,440 \times 2 = 2,880$ บาท/ลูกบาศก์เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

