

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน
รีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์
โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2

THE RELATIONSHIP OF THE OXIDATION-REDUCTION
POTENTIAL AND THE FREE RESIDUAL CHLORINE IN
WATER PURIFICATION PROCESS AT NORTH BANGKOK
POWER PLANT



พรณี อินทร์นุช
อรญา สุเพ็ง
อามีนะห์ สุหลง

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2562
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE RELATIONSHIP OF THE OXIDATION-REDUCTION
POTENTIAL AND THE FREE RESIDUAL CHLORINE IN
WATER PURIFICATION PROCESS AT NORTH BANGKOK
POWER PLANT



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 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2

The Relationship of The Oxidation-Reduction Potential and The Free Residual Chlorine in Water Purification Process at North Bangkok Power Plant

ชื่อนักศึกษา

นางสาวพรรณิ อินทร์นุช รหัสนักศึกษา 59050588

นางสาวอรุณฯ สุเพ็ง รหัสนักศึกษา 59050633

นางสาวอามีนะห์ สุหลง รหัสนักศึกษา 59050639

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

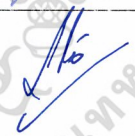
ปีการศึกษา

2562

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กฤษณันท์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ	
นายณัฐ โต๊ะสัมฤทธิ์ กรรมการ	
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ที่ระบบผลิตน้ำผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพรรณิ อินทร์นุช รหัสนักศึกษา 59050588 นางสาวอรุณา สุเพ็ง รหัสนักศึกษา 59050633 นางสาวามีนะห์ สุธลง รหัสนักศึกษา 59050639
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือและศึกษาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ณ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และ 2 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) โดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (FRC) โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ทั้ง 2 ชุด แบ่งเป็นชุดที่ 1 เก็บตัวอย่าง ณ Service tank (หรือจุด A), RO Inlet Bag Filter (หรือจุด B) และชุดที่ 2 ได้แก่ MF Buffer tank (หรือจุด C), RO Outlet Bag Filter (หรือจุด D) ทำการตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC จากการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) และทำการหาความสัมพันธ์ค่า ORP กับค่า FRC จากการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO₃) และทำคลอรีนโปรไฟล์ จากผลการทดลองพบความสัมพันธ์ว่า เมื่อค่า FRC เพิ่มขึ้น ค่า ORP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ในรูปสมการลอการิทึม $y = m \ln(x) + c$ ค่า R² ระหว่าง 0.9778 ถึง 0.9959 และความสัมพันธ์ของปริมาณ NaOCl และ NaHSO₃ กับค่า FRC ที่เหมาะสม ได้สมการความสัมพันธ์ $y = mx + c$ ค่า R² มีค่า 0.9965 ถึง 0.9991 เมื่อนำความสัมพันธ์ค่า FRC จากที่วัดได้ และค่าคำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) มาทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Modified z-score หาความเชื่อมั่นของข้อมูล พบว่าความสัมพันธ์สมการลอการิทึมที่ใช้ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีค่า $|z| < 2$ สำหรับสมการความสัมพันธ์ $y = mx + c$ นำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ณ Service Tank และ MF Buffer Tank สามารถหาปริมาณสารเคมี NaOCl ที่เหมาะสม 0.07-0.11 L/hr ได้ค่า ORP อยู่ในช่วง 500-570 mV และ ปริมาณสารเคมี NaOCl 0.97-1.94 L/hr ทำให้ค่า ORP อยู่ในช่วง 350-500 mV ตามลำดับ ส่วนการหาปริมาณสารเคมี NaHSO₃ ณจุด Service Tank และ จุด MF Buffer Tank ที่เหมาะสม คือ 0.12 และ 0.37 L/hr ทำให้ค่า ORP อยู่ในช่วง 250-350 mV และ ช่วง 200-300 mV ตามลำดับ สำหรับการทำงานของระบบที่เหมาะสม

คำสำคัญ: ค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน (ORP), ค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (FRC), การทดสอบผลทางสถิติด้วยวิธี Modified z-score, สหกิจศึกษา, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Relationship of The Oxidation-Reduction Potential and The Free Residual Chlorine in Water Purification Process at North Bangkok Power Plant		
Students	Miss Phannee Innoot	Student ID 59050588	
	Miss Oraya Supeng	Student ID 59050633	
	Miss Amenah Suhlong	Student ID 59050639	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2019		
Advisor	Asst. Prof. Krongkaew Tippayasak		

Abstract

The objective of this cooperative report was to study the relationship between the Oxidation-Reduction Potential (ORP) and the Free Residue Chlorine (FRC) value and to determine the appropriate amount of chemicals for the pure water production system at the Block I and Block II of the North Bangkok Power Plant, Electric Generating Authority of Thailand (EGAT). To study the relationship between the ORP and the FRC value, water sampling points were set at the water purification systems, At the Block I, samples were collected at Service tank (or point A), RO Inlet Bag Filter (or point B). For Block II, sample points were MF Buffer tank (or point C), RO Outlet Bag Filter (or point D). Various parameters were measured to find the relationship between ORP and FRC from adding sodium hypochlorite (NaOCl) and to determine the ORP and FRC from adding sodium bisulfite addition. (NaHSO₃) and created the chlorine profiles. From the experimental results, it is found that when the FRC increases, the ORP also increases too. The relationship between ORP and FRC in the form of a logarithm equation $y = \ln(x) + c$. The R^2 value were between 0.9778 to 0.9959 and the relationship of NaOCl and NaHSO₃ to the value. The appropriate FRC has the relation equation $y = mx + c$. The values of R^2 were 0.9965 to 0.9991. When the correlations between the measured FRC values and the calculated values from the equations (FRC_{cal}) are statistically tested using Modified z-score find confidence in data. The results found that the logarithm relation, the acceptable equation, is $|z| < 2$. Furthermore, the relation equation $y = mx + c$ is used to calculate the appropriate amount of chemicals in the water purification system at the Service Tank and the MF Buffer Tank. The optimum NaOCl 0.07-0.11 L/hr yielded the ORP in the range of 500-570 mV and the chemical content of NaOCl 0.97-1.94 L/hr resulted in the ORP in the range 350-500 mV respectively. At Service Tank and MF Buffer Tank, suitable NaHSO₃ feeding were 0.12 and 0.37 L/hr, resulting in ORP values in range at 250-350 mV and 200-300 mV, respectively for appropriated operation.

Keywords: Oxidation-Reduction Potential, Free Residual Chlorine, Statistical test results using Modified z-score method, Cooperative education, Electric Generating Authority of Thailand (EGAT).

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจากผู้มีพระคุณหลายท่านที่คอยให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการสหกิจศึกษาจนทำให้โครงการสหกิจศึกษานี้เสร็จสิ้นได้อย่างสมบูรณ์ ทางผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่ปรึกษาโครงการสหกิจศึกษาเป็นอย่างสูงที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำในการทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ ทั้งยังมอบความรู้ และให้ความเอาใจใส่ในทุกรายละเอียดในการทำโครงการสหกิจศึกษานี้ พร้อมทั้งชี้ถึงจุดบกพร่อง และปรับปรุงแก้ไขจนทำให้โครงการสหกิจศึกษาสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ ประธานกรรมการ และคุณณัฐ โຕ๊ะสัมฤทธิ์ กรรมการผู้คุมสอบที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าในการเข้าร่วมรับฟังโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขโครงการสหกิจศึกษาให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณณัฐ โຕ๊ะสัมฤทธิ์ ที่ปรึกษาตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำโครงการสหกิจศึกษาออกสถานที่ ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษาในการทำสหกิจศึกษา และขอขอบพระคุณพี่ ๆ แผนกเคมีทุกท่านที่ให้ความเอาใจใส่และให้คำชี้แนะ ในการทำสหกิจศึกษา ณ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ทั้งยังอำนวยความสะดวกในทุกด้าน เช่น อุปกรณ์ เครื่องมือ สารเคมีที่ใช้สำหรับการศึกษาในการทำโครงการสหกิจศึกษาในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ทางผู้วิจัยได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และข้อควรปฏิบัติต่าง ๆ พร้อมทั้งให้ความใส่ใจเมื่อผู้วิจัยมีข้อสงสัยทุกท่านก็พร้อมให้คำแนะนำทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ใหม่ ๆ และประสบการณ์ที่ดีในการทำโครงการสหกิจศึกษา ณ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ

พรณี อินทร์นุช
อรญา สุเพ็ง
อำมรินทร์ สุธง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ.....	3
2.2 ระบบกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis).....	7
2.3 คลอรีนและคลอรีนอิสระคงเหลือ.....	11
2.4 Oxidation Reduction Potential	21
2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ.....	24
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	30
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	30
3.2 วิธีการทดลอง.....	30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	40
4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	40
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC.....	42
4.3 แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ.....	43
4.4 การหาความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูล.....	44
4.5 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสม.....	48
4.6 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	52
เอกสารอ้างอิง.....	53
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	58
ภาคผนวก ค.....	66
ภาคผนวก ง.....	75
ภาคผนวก จ.....	83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

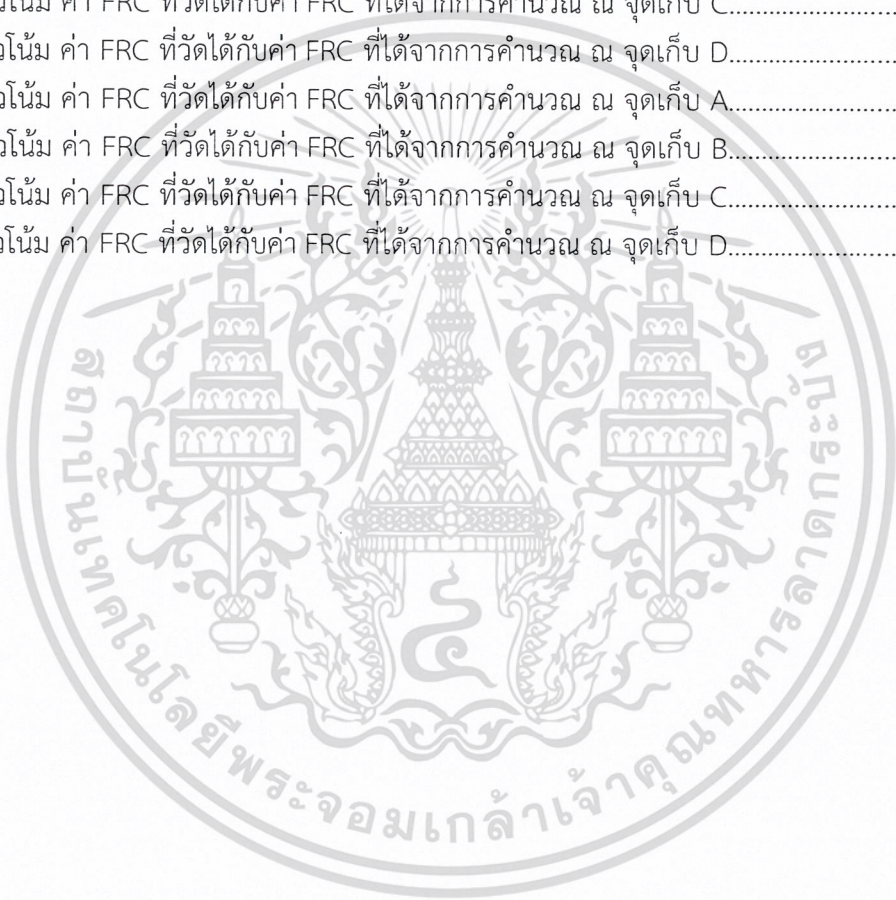
ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา.....	5
2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน.....	6
2.3 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis, RO).....	7
2.4 แสดงผลของ pH และอุณหภูมิ ต่อการแตกตัวของกรดไฮโปคลอรัส.....	14
2.5 แสดงสภาพน้ำไฟฟ้าของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 M ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	25
3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC ในน้ำตัวอย่าง.....	33
4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC ที่จุดเก็บน้ำต่าง ๆ.....	42
4.2 เกณฑ์การประเมินผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score.....	46
4.3 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A.....	48
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC.....	49
4.5 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A.....	50
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุ.....	51
ข-1 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ A.....	58
ข-2 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ B.....	59
ข-3 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ C.....	60
ข-4 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ D.....	61
ข-5 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A.....	62
ข-6 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C.....	63
ข-7 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A.....	64
ข-8 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C.....	65
ค-1 ข้อมูลประจำวัน ค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	66
ค-2 ข้อมูลประจำวัน ค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B.....	67
ค-3 ข้อมูลประจำวัน ค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	69
ค-4 ข้อมูลประจำวัน ค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D.....	70
ค-5 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	71
ค-6 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B.....	72
ค-7 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	73
ค-8 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D.....	74
ง-1 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ A.....	77
ง-2 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ B.....	78
ง-3 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ C.....	79
ง-4 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ D.....	80
ง-5 ตัวอย่างการหาค่า FRC ที่วัดได้ กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A.....	81
จ-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score ณ จุดเก็บ A.....	84

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1.....	3
2.2 กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2.....	4
2.3 กระบวนการออสโมซิสและรีเวอร์สออสโมซิส.....	8
2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบรีเวอร์สออสโมซิส.....	9
2.5 ผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงของชนิดคลอรีนอิสระคงเหลือ.....	13
2.6 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการพักน้ำ.....	17
2.7 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการใช้ถ่านกัมมันต์.....	17
2.8 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์.....	18
2.9 ปฏิกริยารีดอกซ์.....	21
2.10 ORP Sensor.....	23
3.1 แผนภาพของโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1.....	31
3.2 แผนภาพของโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2.....	32
3.3 แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	39
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	40
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B.....	41
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	41
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D.....	41
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	42
4.6 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A โดยใช้ชุดข้อมูลจาก Chlorine Profile.....	43
4.7 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A โดยใช้ชุดข้อมูลประจำวัน.....	44
4.8 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A.....	44
4.9 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B.....	45
4.10 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C.....	45
4.11 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D.....	45
4.12 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ A.....	46
4.13 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ B.....	47
4.14 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ C.....	47
4.15 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ D.....	47
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์กับค่า FRC.....	50
๗-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	58
๗-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B.....	59
๗-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	60
๗-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
ข-5 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	62
ข-6 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	63
ข-7 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A.....	64
ข-8 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C.....	65
ง-1 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A.....	75
ง-2 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B.....	75
ง-3 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C.....	76
ง-4 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D.....	76
ง-5 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A.....	77
ง-6 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B.....	78
ง-7 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C.....	79
ง-8 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D.....	80



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
NTU	หน่วยของความขุ่น (Nephelometric Turbidity Units)
psu	หน่วยของความเค็ม (Practical Salinity Units)
pH	ค่าพีเอช หรือค่าความเป็นกรดและด่าง
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
g	กรัม
L	ลิตร
L/hr	ลิตรต่อชั่วโมง
mL	มิลลิลิตร
M	โมลาร์
N	นอร์มอล
mV	มิลลิโวลต์
ppm	หนึ่งส่วนในล้านส่วน
FRC	ค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (Free Residual Chlorine)
FRC _{cal}	ค่าคลอรีนอิสระคงเหลือที่ได้จากการคำนวณ
ORP	ค่าศักย์ภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction - Potential)
RO	ระบบกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis)
CEDI	ระบบการแยกประจุด้วยไฟฟ้า (Continuous Electrodeionization)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เป็นโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle System) ผลิตกระแสไฟฟ้าจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ (Combustion) ความร้อนและความดันที่ได้จากการเผาไหม้จะถูกส่งไปยังเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยก๊าซร้อนที่เหลือจากการเผาไหม้ของเครื่องกังหันก๊าซจะถูกส่งไปยังเครื่องผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) โดยการนำก๊าซร้อนมาใช้งานใช้เป็นแหล่งพลังงานในการผลิตไอน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) พลังงานที่ได้จากกังหันไอน้ำจะถูกส่งไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนั้นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำจำเป็นต้องใช้น้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงหรือน้ำที่ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized Water) ที่ผลิตจากการนำน้ำดิบมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำและผลิตน้ำบริสุทธิ์สำหรับใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 ได้ใช้น้ำประปาจากการประปานครหลวงมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เริ่มจากการกรองความขุ่นด้วยเมมเบรน (Micro Filtration) โดยน้ำที่ผ่านการกรองความขุ่นแล้วจะถูกส่งผ่านไปยัง Treated Tank เติมแก๊สคลอรีน (Cl₂) แล้วนำไปเก็บไว้ที่ Service Tank เรียกว่าน้ำ Service จากนั้นน้ำ Service จะถูกปั๊มเพื่อเข้าสู่ระบบการกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO) โดยมีการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO₃) ก่อนเข้าสู่ RO และระบบการกรองประจุ (Mixed Bed) ต่อไป โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 ใช้น้ำแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำดิบมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำ เริ่มจากการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ก่อนเข้าสู่ MF Feed Tank และกรองความขุ่นด้วยเมมเบรน (Micro Filtration) โดยน้ำที่ผ่านการกรองความขุ่นแล้วจะถูกส่งไป MF Buffer Tank มีการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ ก่อนนำไปเข้าระบบการกรองแร่ธาตุ และระบบการแยกประจุด้วยไฟฟ้า (Continuous Electrodeionization, CEDI) โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือทั้ง 2 ชุด มีการควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ (Free Residual Chlorine, FRC) ในน้ำก่อนเข้าสู่ระบบการกรองแร่ธาตุให้น้อยกว่า 0.1 ppm โดยใช้ค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP) เป็นตัวเทียบในการควบคุมปริมาณการจ่ายโซเดียมไบซัลไฟต์ ปัญหาที่พบคือค่า ORP ในน้ำ Service Tank ค่อนข้างสูงแต่ปริมาณค่า FRC ที่ตรวจพบมีค่าน้อย ทำให้ปริมาณสารโซเดียมไบซัลไฟต์ที่จ่ายออกไปสูงเกินความจำเป็น ส่งผลให้โซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหลือจากการกำจัด FRC เป็นอาหารของจุลินทรีย์ เกิดปัญหาการอุดตันของเมมเบรน ส่งผลให้ถังกรองและเมมเบรนของระบบการกรองแร่ธาตุมีประสิทธิภาพในการกรองลดลง ต้องมีการทำความสะอาด (Cleaning In Place, CIP) และเปลี่ยนเมมเบรนบ่อยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาครั้งนี้ จึงเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC เพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำก่อนเข้าระบบกรองแร่ธาตุให้อยู่ในเกณฑ์คุณสมบัติที่กำหนด ทำให้ประสิทธิภาพการกรองน้ำที่ดีและเมมเบรนมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (FRC) ที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์
- 2) เพื่อศึกษาหาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ (Water Treatment Plant) ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และ ชุดที่ 2
- 2) ศึกษาและเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ในน้ำก่อนเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ และหลังเติมโซเดียมไบซัลไฟต์
- 3) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด สภาพต่าง ค่าคลอไรด์ และความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถหาแนวโน้มความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างค่า ORP และค่า FRC ในน้ำก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุ
- 2) สามารถนำผลการทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาปรับใช้กับเครื่อง ORP Online
- 3) สามารถลดปริมาณการใช้สารเคมีในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์
- 4) สามารถควบคุมปริมาณการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ เพื่อให้ โซเดียมไบซัลไฟต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนรวมถึงไม่ให้ส่งผลกระทบต่อเมมเบรน เมื่อน้ำเข้าสู่กระบวนการกรองแร่ธาตุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

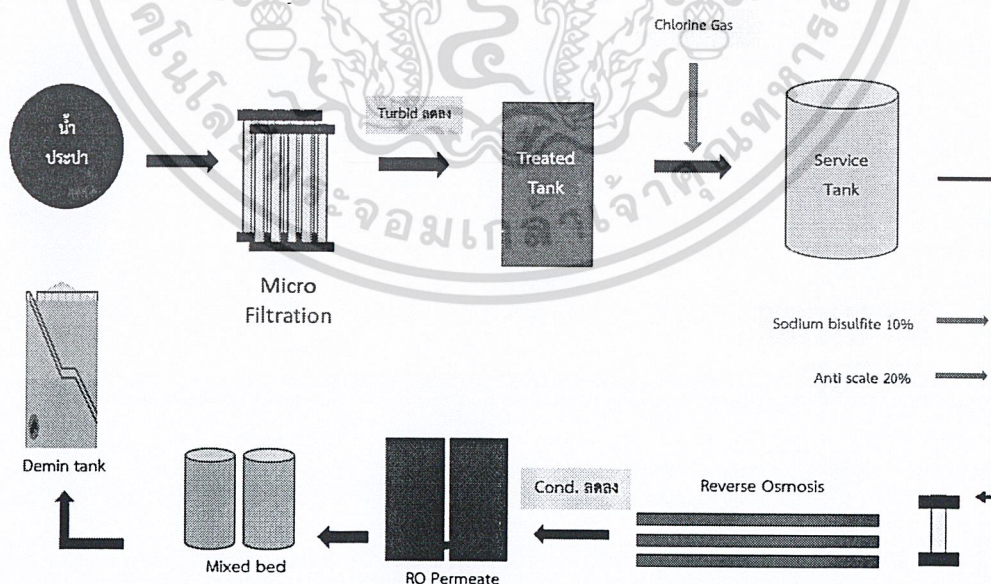
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ

2.1.1 กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีกระบวนการผลิตไฟฟ้าในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เป็นโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle System) ซึ่งใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ (Combustion) ความร้อนและความดันจากการเผาไหม้ที่สูงขึ้นจะถูกส่งไปยังเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยก๊าซความร้อนที่เหลือจากการเผาไหม้และความร้อนที่ผ่านการปันเครื่องกังหันก๊าซจะถูกส่งไปยังเครื่องผลิตไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) โดยนำความร้อนมาใช้ในการต้มน้ำ ไอน้ำที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไปยังเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ไอน้ำที่ผ่านการปันกังหันไอน้ำจะถูกส่งไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป ดังนั้นน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตจะต้องเป็นน้ำที่บริสุทธิ์ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized Water) เพื่อประสิทธิภาพในการต้มน้ำที่ดี และเพื่อป้องกันการชำรุดเสียหายและยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต ทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือจึงจัดตั้งโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ซึ่งโรงผลิตน้ำทั้งสองชุดใช้น้ำในการผลิตที่แตกต่างกัน โดยโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 ใช้น้ำประปาจากการประปานครหลวงในการผลิต และใช้ระบบ Mix bed ในการกรองไอออน ส่วนโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาในการผลิต และใช้ระบบ CEDI (Continuous Electrodeionization) ในการแยกไอออน

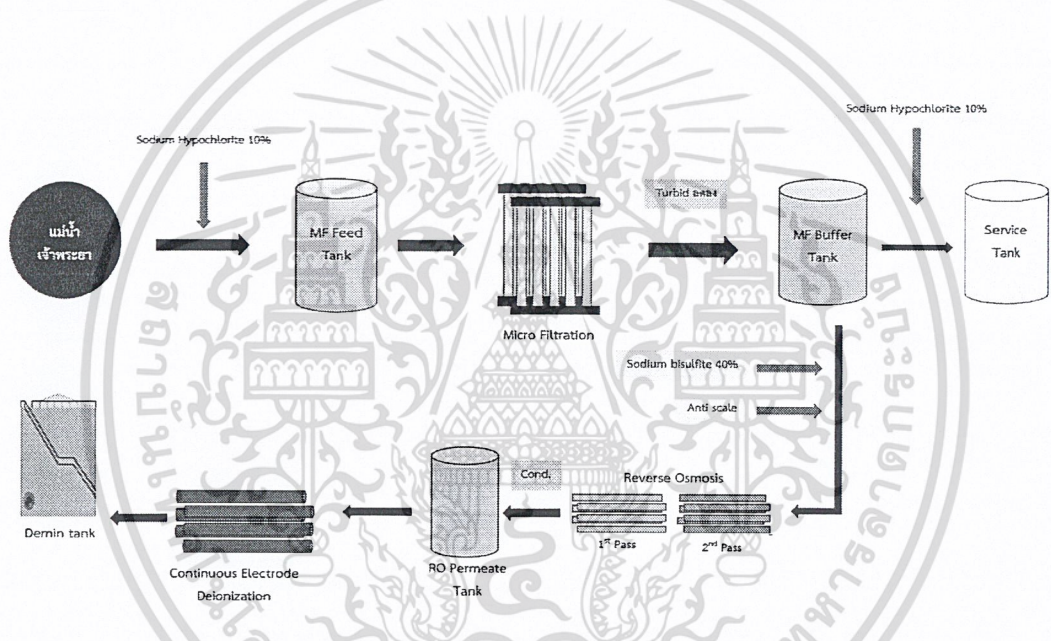


รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 ใช้น้ำประปาในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยขั้นตอนแรกน้ำจะผ่านการกรองความขุ่นระดับไมโคร (Micro Filtration, MF) น้ำที่ได้จะถูกนำไปพักที่ถังพักน้ำใส (Treated Tank) จากนั้นมีการเติมแก๊สคลอรีนลงในน้ำเพื่อฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ Service Tank (Service Water Effluent, SWE) น้ำจาก Service Tank จะแบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนที่ 1 จะถูกนำไปใช้ในระบบสาธารณสุขโรค งานดับเพลิง และส่วนที่ 2 น้ำจะเข้าสู่ระบบการกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO) เพื่อกรองอนุภาค ประจุ เชื้อโรค โลหะหนัก รวมไปถึงแร่ธาตุต่าง ๆ ก่อนเข้าระบบ RO จะมีการเติมสารเคมีโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) เพื่อกำจัดคลอรีนที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ น้ำที่ผ่านการกรองด้วยระบบ RO จะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ Reverse Osmosis Permeated Tank (RO Permeated Tank) จากนั้นน้ำจะถูกส่งเข้าระบบ Mixed bed เพื่อกำจัดไอออนบางส่วนที่ยังคงหลงเหลืออยู่ในน้ำ จะได้น้ำที่บริสุทธิ์ปราศจากไอออนเก็บไว้ที่ Demineralized Tank เพื่อนำไปผลิตไอน้ำ สำหรับปั่นกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.2 กระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2

จากรูปที่ 2.2 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 ใช้น้ำดิบจากแม่น้ำเจ้าพระยาในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ โดยขั้นตอนในการผลิตน้ำบริสุทธิ์จะเริ่มจากการสูบน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยามาแล้วเติมคลอรีนน้ำ โดยเติมในรูปของสารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เพื่อฆ่าเชื้อโรค น้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อจะถูกนำไปพักที่ถังพักน้ำใส (MF Feed Tank) จากนั้นน้ำจะถูกส่งเข้าระบบ MF น้ำที่ผ่านการกรองความขุ่นจะถูกเก็บไว้ที่ Buffer Tank ซึ่งเป็นถังพักน้ำ น้ำส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่ Service Tank ใช้สาธารณสุขโรคและงานดับเพลิงภายในโรงไฟฟ้า น้ำอีกส่วนจะถูกเติมสารโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) จากนั้นน้ำจะถูกส่งเข้าระบบกรอง RO น้ำส่วนนี้จะถูกเก็บไว้ที่ RO Permeate Tank แล้วเข้าสู่ระบบ CEDI (Continuous Electrodeionization) เป็นการแยกไอออนด้วยไฟฟ้า น้ำที่ผ่านระบบ CEDI จะถูกเก็บไว้ที่ Demineralization Tank

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กระบวนการของน้ำที่ใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์

2.1.2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา

มาตรฐานคุณภาพน้ำประปาเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ใช้ในการตรวจวัดน้ำประปา เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำที่ดีและสามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์หรือใช้ในทางสาธารณสุขปโภคในโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ มาตรฐานคุณภาพของน้ำประปาแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำประปา

พารามิเตอร์ (Parameter)	หน่วย (Unit)	เกณฑ์มาตรฐาน คุณภาพน้ำ
1. คุณลักษณะทางกายภาพ		
สีปรากฏ (Apperancecolour)	Pt-Co Unit	15
รสและกลิ่น (Taste and odour)	-	ไม่เป็นที่น่ารังเกียจ
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	4
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.5-8.5
2. คุณลักษณะทางเคมี		
คลอรีนอิสระที่หลงเหลือ (Free Residual Chlorine ,FRC)	mg/L	0.2-2.0
ปริมาณสารที่ละลายทั้งหมด (Total dissolved soli)	mg/L	600
เหล็ก (Iron)	mg/L	0.3
แมงกานีส (Manganese)	mg/L	0.3
ทองแดง (Copper)	mg/L	2.0
สังกะสี (Zinc)	mg/L	3.0
ความกระด้างทั้งหมด (Total hardness as CaCO ₃)	mg/L	300
ซัลเฟต (Sulfate)	mg/L	250
คลอไรด์ (Chloride)	mg/L	250
ฟลูออไรด์ (Fluoride)	mg/L	0.7
ไนเตรตในรูปไนเตรต (Nitrate as NO ₃)	mg/L	50
ไนไตรต์ในรูปไนไตรต์ (Nitrite as NO ₂)	mg/L	3
3. สารที่เป็นพิษ		
ปรอท (Inorganic mercury)	mg/L	0.001
ตะกั่ว (Lead)	mg/L	0.01
สารหนู (Arsenic)	mg/L	0.01
ซีลีเนียม (Selenium)	mg/L	0.01
โครเมียม (Chromium)	mg/L	0.05
แคดเมียม (Cadmium)	mg/L	0.003
แบเรียม (Barium)	mg/L	0.7
ไซยาไนด์ (Cyanide)	mg/L	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค, 2011

2.1.2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน เป็นมาตรฐานที่ใช้ในการควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางการรักษาคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่คงสภาพดี เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ และฟื้นฟูคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่เสื่อมโทรม หรือมีแนวโน้มของการเสื่อมโทรมให้มีสภาพที่ดีขึ้น

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน

พารามิเตอร์ Parameter	หน่วย Unit	เกณฑ์กำหนดสูงสุด ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
		ประเภทที่ 1	ประเภทที่2	ประเภทที่3	ประเภทที่4	ประเภทที่5
1.สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	-	ธ	ธ'	ธ'	ธ'	-
3.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	ธ	5-9	5-9	5-9	-
4.ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ²	มก./ล.	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6.ไนโตรท (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	ธ	5.0			-
7.แอมโมเนีย (NH ₃) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	ธ	0.5			-
8.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	ธ	1.0			-
9.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	ธ	0.005* 0.05**			-
10.ตะกั่ว (Pd)	มก./ล.	ธ	0.05			-
11.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	ธ	0.002			-
12.สารหนู (As)	มก./ล.	ธ	0.01			-
13.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	ธ	0.005			-

ที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, พ.ศ. 2537

หมายเหตุ : ¹/กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้

เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

²/ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ' อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO₃ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ CaCO₃ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 คุณสมบัติของน้ำก่อนเข้าระบบระบบการกรองแร่ธาตุของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ

ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ น้ำที่เก็บใน Service Tank ต้องผ่านระบบการกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO) เพื่อทำการกรองอนุภาคต่าง ๆ อนุภาคที่ทำให้เกิดความกระด้าง สารอินทรีย์ โลหะหนักชนิดเป็นพิษ จุลินทรีย์ สิ่งเจือปนต่าง ๆ ในน้ำ ตลอดจนสารละลายเกลือ ฯลฯ โดยน้ำผ่านถุงกรองเป็นอันดับแรก (Reverse Osmosis Bag Filter) เพื่อกรองอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ จากนั้นจึงผ่านเมมเบรนของระบบ RO เพื่อทำการกรองอนุภาคละเอียดหรืออนุภาคที่มีขนาดเล็ก ซึ่งโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้มีการใช้เมมเบรนของระบบ RO ชนิด Polyamide ซึ่งมีการกำหนดคุณสมบัติของน้ำ (Operating Condition) ก่อนเข้าระบบและน้ำที่ออกจากระบบ ดังตารางที่ 2.3 ดังที่กล่าวมาการกรองน้ำในระบบสามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพเป็นเวลายาวนานจะต้องมีการปรับสภาพน้ำก่อนเข้าระบบ (Pretreatment) เพื่อขจัดตะกอนอนุภาคของสารต่าง ๆ รวมทั้งสารละลายที่มีอยู่ ตลอดจนเชื้อจุลินทรีย์และสารเคมีที่อาจทำให้เกิดการตกผลึกอุดตันบนผิวหน้าเมมเบรนหรือทำให้เนื้อเยื่อของเมมเบรนเสื่อมสภาพ ซึ่งจากตารางที่ 2.3 ยังสามารถตรวจสอบความสามารถในการใช้งานของเมมเบรน RO ได้จากน้ำที่ออกจากระบบ ส่งผลให้ระบบ Mixed/CEDI ทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนประจุหรือไอออนต่าง ๆ ในน้ำสามารถผลิตน้ำได้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของน้ำที่ผ่านระบบกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO)

พารามิเตอร์	ค่าควบคุม	หน่วย
1. น้ำที่เข้าระบบ (Feed Water Quality)		
ดัชนีของสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำ (SDI)	<3	-
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	2-11	-
คลอรีนอิสระที่หลงเหลือ (FRC)	<0.1	ppm
อุณหภูมิ (Temperature)	<40	°C
2. ความดันที่เข้าระบบ (Feed Pressure)	110-300	psi
3. น้ำที่ออกจากระบบ (Final Effluent)		
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	<10	us/cm

ที่มา : North Bangkok Power Plant, n.d.

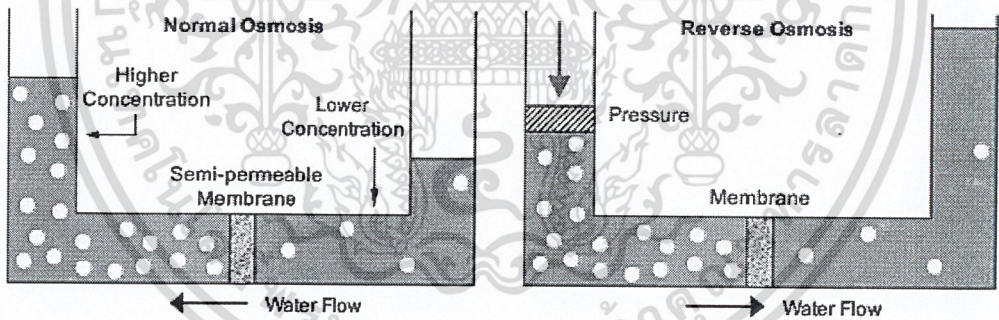
2.2 ระบบกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO)

2.2.1 หลักการกรองผ่านเมมเบรน

ระบบกรองแร่ธาตุ (Reverse Osmosis, RO) คือเทคโนโลยีทำให้น้ำบริสุทธิ์ โดยการใช้เยื่อเลือกผ่าน ในระบบ RO นั้นจะมีการใช้แรงดันเพื่อเอาชนะแรงดันออสโมติกของน้ำและคัดกรองโมเลกุลต่าง ๆ ออกจากน้ำ นอกจากนี้ระบบ RO ยังสามารถใช้ได้กับทั้งกระบวนการทางอุตสาหกรรมและการผลิตน้ำดื่ม ผลลัพธ์ที่ได้จากระบบนี้คือตัวถูกละลาย (Solute) จะค้างอยู่ที่ด้านหนึ่งของเมมเบรนที่มีการใช้แรงดัน ส่วนตัวทำละลาย (Solvent) จะสามารถผ่านเมมเบรนมายังอีกด้านหนึ่งได้ โมเลกุลขนาดใหญ่ หรือไอออนต่าง ๆ จะไม่สามารถผ่านมาได้เนื่องจากเมมเบรนมีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน ในขณะที่โมเลกุลที่เล็กกว่าเช่น ตัวทำละลาย นั้นผ่านมาได้ อนุญาตให้น้ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะเป็นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการออสโมซิสนั้น ตัวทำละลายจะเคลื่อนที่ผ่านเมมเบรนจากที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายต่ำ (High Water Potential) ไปยังที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูง (Low Water Potential) การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายนี้จะทำให้เกิดการลดลงของ Free energy ของระบบโดยการทำให้ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในแต่ละด้านของเมมเบรนนั้นอยู่เท่ากัน จึงเกิดเป็นแรงดันออสโมติกขึ้น การใช้แรงดันภายนอกในทำให้เกิดการเคลื่อนที่ดังกล่าวนี้ในทางตรงกันข้ามเรียกว่า รีเวอร์สออสโมซิส กระบวนการนี้มีความเหมือนกับการประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีเมมเบรนแบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตามความแตกต่างหลัก ๆ ของรีเวอร์สออสโมซิสกับการกรอง คือ กลไกการคัดกรองในการกรองด้วยเมมเบรนนั้นจะทำให้เกิดการขับออกของอนุภาคต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นพารามิเตอร์ของระบบเช่น ความดัน และความเข้มข้น เช่นไรก็ตาม นอกจากนี้ รีเวอร์สออสโมซิส ยังใช้กลไกการแพร่ด้วยดังนั้นประสิทธิภาพในการคัดกรองจึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของตัวถูกละลาย แรงดัน และอัตราการไหลของน้ำ (Water Flux Rate)

ในปัจจุบัน RO เป็นที่นิยมมากสำหรับการนำมาใช้ประโยชน์ในการผลิตน้ำที่ปราศจากไอออนปนเปื้อน หลักการทำงานของ RO เป็นระบบการกรองโดยใช้เยื่อกรองเมมเบรนที่มีความละเอียดถึง 0.0001 ไมครอน หรือเล็กกว่าเส้นผมถึง 500,000 เท่า สามารถกรองได้ถึงไอออน และโมเลกุลของสารละลายที่อยู่ในน้ำ ซึ่งทำให้สารละลาย สิ่งปนเปื้อน รวมทั้งเชื้อโรคต่าง ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่ารูพรุนของเยื่อกรองเมมเบรนไม่สามารถแทรกตัวผ่านไปได้ มีเพียงโมเลกุลของน้ำบริสุทธิ์เท่านั้นที่สามารถไหลผ่าน โดยสารละลายและจะถูกแยกออกจากน้ำดี และกำจัดออกจากระบบ เพื่อป้องกันการตกค้างและสะสมภายในเยื่อเมมเบรน



รูปที่ 2.3 กระบวนการออสโมซิสและรีเวอร์สออสโมซิส (Crittenden. et al. 2005)

2.2.2 กลไกการทำงานของ RO

กลไกการทำงาน มี 2 อย่าง คือ กลไกที่ใช้ในการกำจัดเกลือและกลไกที่ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ กลไกทั้งสองแบบมีความแตกต่างกัน ดังนี้

2.2.2.1 กลไกที่ใช้ในการกำจัดเกลือต่าง ๆ

ระบบ RO จะมีแผ่นเมมเบรน 2 ชั้นหนาประมาณ 100 ไมครอน โดยประกอบด้วยส่วนด้านบนเป็นส่วนที่มีเนื้อแน่นแต่บาง มีความหนาประมาณ 0.25 ไมครอน และมีรูขนาด 0.2 ไมครอนกระจายอยู่ เมมเบรนชั้นนี้ทำหน้าที่ในการกำจัดเกลือแร่และสารอินทรีย์ ส่วนด้านล่างจะมรูพรุนและทำหน้าที่เป็นโครงสร้างไว้รองรับเมมเบรนและขนส่งน้ำบริสุทธิ์ไปยังภายนอก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

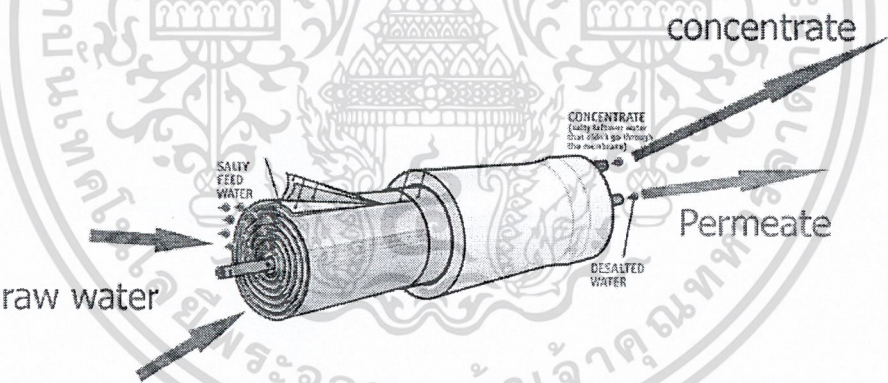
กลไกการกำจัดเกลือแร่ต่าง ๆ เรียกว่า Salt Rejection ขึ้นอยู่กับจำนวนวาเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence electron) ไอออนที่มีวาเลนซ์สูงจะถูกประจุบนผิวเมมเบรนผลักได้ไกลกว่าไอออนที่มีวาเลนซ์ต่ำ ทั้งนี้คุณสมบัติของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างเมมเบรน โดยปกติเมมเบรนจะมีประจุเป็นลบที่ผิวสูงและมีประจุบวกที่ผิวต่ำ การผลักกันระหว่างเกลือและเมมเบรน ทำให้เกิดเป็นชั้นน้ำที่บริสุทธิ์ ปกคลุมผิวหน้าของเมมเบรน ดังนั้นการไหลผ่านเมมเบรนของเกลือจึงไม่สะดวกโดยเฉพาะเกลือไอออนที่มีวาเลนซ์สูง

2.2.2.2 กลไกการกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์ในธรรมชาติ (Natural Organic Matter, NOM) ในแหล่งน้ำมีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการบำบัดน้ำ โดยปกติในแหล่งน้ำผิวน้ำผิวดินมักจะมี NOM ซึ่งอยู่ในรูปกรดฮิวมิก (Humic Acid) และกรดฟุลวิก (Fulvic Acid) ซึ่งเป็นต้นเหตุของการเกิดสีในแหล่งน้ำ ระบบ RO สามารถกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำโดยวิธีการกรอง โดยสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกกำจัดออกจากน้ำเพราะว่าไม่สามารถผ่านเมมเบรนได้

2.2.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบ RO

การทำงานของระบบ RO น้ำไหลผ่านไส้กรอง 5 ไมครอน และเพิ่มความดันน้ำด้วยปั๊มแรงดันสูง (high pressure pump) เพื่อให้น้ำเข้าสู่เมมเบรน (Membrane) แล้วแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ น้ำบริสุทธิ์และน้ำเข้มข้น



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการทำงานของระบบรีเวอร์ออสโมซิส (Crittenden. et al. 2005)

จากรูปที่ 2.4 ส่วนที่ 1 เป็นน้ำบริสุทธิ์ (Permeate) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล เพื่อวัดปริมาณน้ำที่ได้ แล้วเข้าถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ เมื่อน้ำบริสุทธิ์เต็มถัง สวิตช์ลากลอยจะตัด วงจรไฟฟ้า ปั๊มจะหยุดทำงานทันที โดยโซลินอยด์วาล์วจะตัดน้ำอัดโน้มน้ำไม่ให้น้ำไหลเข้าระบบ RO ทำให้ไม่มีน้ำทิ้งไหลออกจาก RO ในขณะที่เครื่องหยุดทำงาน เมื่อเปิดน้ำไปใช้อีกครั้ง น้ำในถังเก็บน้ำบริสุทธิ์ จะลดลง สวิตช์ลากลอยไฟฟ้าจะต่อไฟฟ้าให้ปั๊มทำงานอีกครั้ง และหยุดเมื่อน้ำเต็มถัง และมีระบบตัดไฟฟ้าไม่ให้ปั๊มแรงดันสูงทำงานเมื่อไม่มีน้ำดิบ และเมื่อเกิดแรงดันน้ำสูงในเมมเบรน (เมมเบรนอุดตัน) เพื่อป้องกัน

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 เป็นน้ำเข้มข้น (Concentrate) แยกเป็น 2 ส่วน

ส่วนที่ 1 เป็นน้ำรีไซเคิล (Recirculated) ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล เพื่อวัดปริมาณน้ำกลับมาเข้าปั๊มแรงดันสูง อีกครั้งเพื่อรักษาความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านให้ได้ตามสเปคเมมเบรน เพื่อให้เมมเบรนเกิดการอุดตัน

ส่วนที่ 2 เป็น น้ำทิ้ง (Brine) ผ่านเข้าสู่ชุดควบคุมประมาณน้ำทิ้ง ผ่านเครื่องวัดอัตราการไหล ออกทิ้งอยู่ที่ประมาณ 30% และผ่าน โซลีนอยวาล์ว ที่มีหน้าที่ ผลิตล้างเมมเบรน การผลิตน้ำของเครื่อง RO ระบบจะแบ่งน้ำออกเป็น 2 ส่วนดังที่กล่าวมาแล้ว ในขณะที่เครื่องทำงาน ส่วนของน้ำเข้มข้น จะมีการทิ้งออกตลอดเวลา จึงเปรียบเสมือนมีการล้างเมมเบรน อยู่ตลอด จึงทำให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของ RO มีหลายประการ ได้แก่

1. Concentration Polarization เกิดจากการที่มีการสะสมตัวของสารละลายต่าง ๆ เกิดขึ้นภายใน Boundary Layer ทำให้ความเข้มข้นสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ ดังสมการที่ 2.1

$$\text{ค่า concentration polarization} = C_m/C_e \quad (2.1)$$

โดยที่ C_m คือความเข้มข้นของสารละลายที่ boundary layer และ C_e คือความเข้มข้นเฉลี่ยของน้ำดิบ

ค่า Concentration Polarization จะแสดงให้เห็นถึงการสะสมของสารละลายใน boundary layer ทำให้เกิดผลเสียต่อระบบ RO ดังนี้

- ทำให้แรงดันออสโมติกสูงขึ้น เป็นผลทำให้อัตราการผลิต (หรือ Water flux) ลดลง
- มีการรั่วของสารละลายผ่านเมมเบรน (Salt flux) เพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้น้ำที่ผลิตได้มีสิ่งสกปรกเพิ่มขึ้น
- ทำให้เมมเบรนเสื่อมสภาพเร็วขึ้น
- ทำให้เกิดการตกผลึกของ CaCO_3 , CaSO_4 หรือสารประกอบอื่น ๆ

2. อุณหภูมิและพีเอช อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต (Water flux) ไม่ควรให้สูงเกิน 40 องศาเซลเซียส และ pH ควรอยู่ระหว่างช่วง 3-7

3. แรงดัน แรงดันมีอิทธิพลต่อการผลิตของระบบ RO เป็นอย่างมากแต่ไม่เป็นผลกระทบต่อการรั่วของสารละลาย (Salt flux) ด้วยเหตุนี้การเพิ่มแรงดันจึงมีผลทำให้ระบบ RO สามารถผลิตน้ำสะอาดได้เพิ่มมากขึ้นและทำให้คุณภาพน้ำดีขึ้นด้วย แต่แรงดันก็อาจเกิดผลเสียได้เช่นกัน เพราะจะทำให้โครงสร้าง RO จับตัวกันแน่น (Compaction) น้ำไม่สามารถไหลผ่านได้สะดวกส่งผลต่อการผลิตลดลงเรื่อย ๆ

4. ความเข้มข้นของน้ำดิบ ถ้าความเข้มข้นของน้ำดิบสูงจะทำให้การทำงานของ RO ลดลง และการเพิ่ม % recovery ก็จะทำให้การทำงานของ RO ลดลงเช่นกัน ดังนั้นระบบ RO จึงต้องมีการบำบัดน้ำเบื้องต้นก่อน (Pretreatment)

2.2.5 การเลือกใช้ RO เมมเบรน

ปัจจุบัน RO เมมเบรนมักผลิตจากโพลีเมอร์ 2 ประเภท คือ เซลลูโลส (Cellulose) และโพลีเอไมด์ (Polyamide) เซลลูโลสที่ใช้ในการผลิตเมมเบรนมี 2 ชนิดคือ เซลลูโลสอะซิเตด (Cellulose acetate) และเซลลูโลสไตรอะซิเตด พวกนี้ไม่สามารถทนทานต่อกรด ด่าง และอุณหภูมิที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียสได้ ส่วนเมมเบรนที่ทำจากโพลีเอไมด์จะมีความทนทานต่อพีเอชและอุณหภูมิได้ดีกว่าแต่ทนคลอรีนได้ไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.3 คลอรีน และคลอรีนอิสระคงเหลือ

2.3.1 สมบัติและลักษณะทั่วไปของคลอรีน

Chlorine เป็นก๊าซสีเหลืองอมเขียว มีกลิ่นฉุนแสบจมูก ละลายน้ำได้ดีพร้อมทำปฏิกิริยากับน้ำได้อย่างรวดเร็ว Chlorine มีประโยชน์การใช้ที่สำคัญ คือ ใช้ผลิตสารอินทรีย์สารอนินทรีย์ ใช้ฆ่าเชื้อโรคสำหรับการผลิตน้ำประปาและน้ำสะอาดสำหรับใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ฆ่าเชื้อโรคในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย และใช้สำหรับฟอกขาวเยื่อกระดาษ ในบรรยากาศชั้น Troposphere โมเลกุลของ Chlorine จะถูกย่อยสลายโดยแสงได้ออนุมูลอิสระ Chlorine ซึ่งมีความไวมากจึงทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในอากาศได้อย่างรวดเร็ว

Chlorine ก่อให้เกิดความเป็นพิษเฉียบพลันอย่างรุนแรงต่อมนุษย์ ทำให้เกิดอาการระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง ระบบทางเดินหายใจ และทำให้เสียชีวิตได้ ความรุนแรงเป็นพิษขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ Chlorine และระยะเวลาที่ได้รับสาร การศึกษาในสัตว์ทดลองแสดงให้เห็นว่า Chlorine ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของการสืบพันธุ์ ไม่ทำให้เกิดความผิดปกติของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ไม่เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง บัญชีรายชื่อวัตถุอันตราย พ.ศ. 2546 ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติวัตถุอันตราย พ.ศ. 2535 กำหนดให้ Chlorine เป็นวัตถุอันตรายชนิดที่ 3 หมายความว่า วัตถุอันตรายที่การผลิต การนำเข้า การส่งออก หรือการมีไว้ในครอบครองต้องได้รับใบอนุญาตจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ โดยมีกรมโรงงาน อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบ สำหรับการใช้งาน Chlorine ทางอุตสาหกรรม ในผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในทางประมง และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เพื่อประโยชน์แก่การควบคุม ป้องกันกำจัดจุลินทรีย์ ปรสิตร ีพิษ และสัตว์อื่น โดยมีกรมประมงกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นหน่วยงานรับผิดชอบ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

คลอรีนที่อยู่ในสถานะบรรจุเป็นคลอรีนแห้ง และมีสภาพเป็นของเหลวอยู่ภายใต้ความดันสูง โดยความดันจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่วนที่เป็นของเหลวบริเวณส่วนล่างของภาชนะบรรจุจะเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊ส ตัวอย่างเช่นที่อุณหภูมิ 35 °C ความดันของแก๊สคลอรีนในภาชนะบรรจุจะเท่ากับ 10 เท่าของความดันบรรยากาศ ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 65 °C ความดันแก๊สภายในจะเท่ากับ 20 เท่าของความดันบรรยากาศ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อภาชนะบรรจุ ดังนั้นควรเก็บภาชนะบรรจุคลอรีนในที่ร่มและมีอากาศถ่ายเทสะดวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในธรรมชาติคลอรีนอยู่ในรูปคลอไรด์ไอออน (Chloride ion) หรือเป็นรูปของเกลือซึ่งละลายอยู่ในน้ำทะเลประมาณ 1.9 % ของมวลน้ำทะเลในมหาสมุทร คลอไรด์ไอออนที่พบทั่วไปได้แก่ ฮาไลต์ (Halite-โซเดียมคลอไรด์), ซาลไวต์ (Sylvite-โพแทสเซียมคลอไรด์), คาร์นาลไลต์ (Carnalite-โพแทสเซียม แมกนีเซียม คลอไรด์ เฮกซาไฮเดรต)

ปัจจุบันคลอรีนถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลาสติก พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) ใช้ผลิตน้ำยาทำความสะอาดเสื้อผ้า เป็นส่วนประกอบของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชจำพวก ออร์กาโนคลอรีน คลอรีนมีประโยชน์ดังนี้

1. ใช้ฆ่าเชื้อแบคทีเรียและจุลินทรีย์ในน้ำดื่ม และน้ำในสระว่ายน้ำ
2. ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์กระดาษ ทำยาฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทำสีผสมอาหาร ยาฆ่าแมลง สีย้อมสี ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม พลาสติก เวชภัณฑ์ อุตสาหกรรมเท็กซ์ไทล์
3. ในทางอินทรีย์เคมี ใช้ธาตุนี้เป็นออกซิไดซิงเอเจนต์ และในการแทนที่ ซับสทิทิวชัน (Substitution) เพราะคลอรีนมีคุณสมบัติทางเคมีที่ต้องการในสารประกอบอินทรีย์ เมื่อเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจน (ในการผลิตยางสังเคราะห์)
4. ใช้ในการผลิตสารชนิดต่าง ๆ เช่น คลอโรฟอร์ม (Chloroform), คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon tetrachloride) และใช้ในการสกัด

2.3.2 การเกิดปฏิกิริยาเคมีของการเติมคลอรีนในน้ำ

คลอรีนที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา และในกระบวนการบำบัดน้ำโดยทั่วไปนอกจากอยู่ในรูปแก๊สแล้วยังมีใช้ในรูปของคลอรีนน้ำ และคลอรีนผง ดังนี้

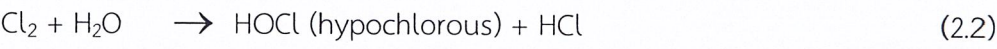
แก๊สคลอรีน (Cl_2) เป็นแก๊สสีเขียว - เหลือง กลิ่นฉุน เหมาะสำหรับระบบการผลิตน้ำที่ต้องมีผู้ดูแลเป็นชำนาญการ และต้องขอใบอนุญาตการใช้

คลอรีนน้ำ (NaOCl) หรือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ความหมายต่างจากแก๊สคลอรีนที่อยู่ในรูปของเหลว มีลักษณะเป็นสารละลายสีเขียวต้องมีปริมาณคลอรีนที่ใช้งานได้อยู่ในช่วง 7 -15 เปอร์เซ็นต์ ชื่อทางการค้าอาจมีหลายชื่อเช่น Liquid Bleach Pure Chlor และ Top Chlor เป็นต้น น้ำยาซักผ้าขาวในท้องตลาดบางยี่ห้อก็มีคลอรีนน้ำเป็นส่วนประกอบ คลอรีนประเภทนี้ใช้งานง่าย แต่ราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับแก๊สคลอรีน ส่วนใหญ่นิยมใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Process Water) ของโรงงานอุตสาหกรรม ไม่นิยมใช้ในงานประปาเนื่องจากราคาค่อนข้างแพง

คลอรีนผง [Ca(OCl)_2] มีลักษณะเป็น ผง เม็ด หรือ เกล็ด สีขาว ปริมาณคลอรีนที่ใช้งานได้อยู่ในช่วง 65-71 เปอร์เซ็นต์ ใช้งานไม่สะดวกเหมือนคลอรีนน้ำ เวลาใช้งานต้องนำมาละลายน้ำ แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไปใช้งาน เหมาะสำหรับงานประปาขนาดเล็กที่อยู่ในพื้นที่ทุรกันดาร เนื่องจากขนส่งง่ายมีความปลอดภัยสูง

คลอรีนอิสระคงเหลือจะเกิดจากปฏิกิริยาการเติมคลอรีนลงไปในน้ำหรือที่เรียกว่ากระบวนการคลอรีเนชัน ส่วนมากพบได้ทั้งในน้ำประปา น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งน้ำจากสระว่ายน้ำ ซึ่งจะต้องมีการควบคุมปริมาณของคลอรีนอิสระคงเหลือให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเพราะถ้าปล่อยให้มีปริมาณที่เกินมาตรฐานจะทำให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งในกระบวนการคลอรีเนชัน

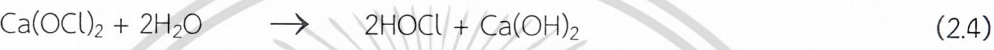
รีเนชันจะเกิดจากการเติมแก๊สคลอรีน คลอรีนน้ำ หรือคลอรีนผง แก๊สคลอรีน (Cl₂) เมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสให้กรดไฮโปคลอรัส และ กรดไฮโดรคลอริก ดังสมการที่ 2.2



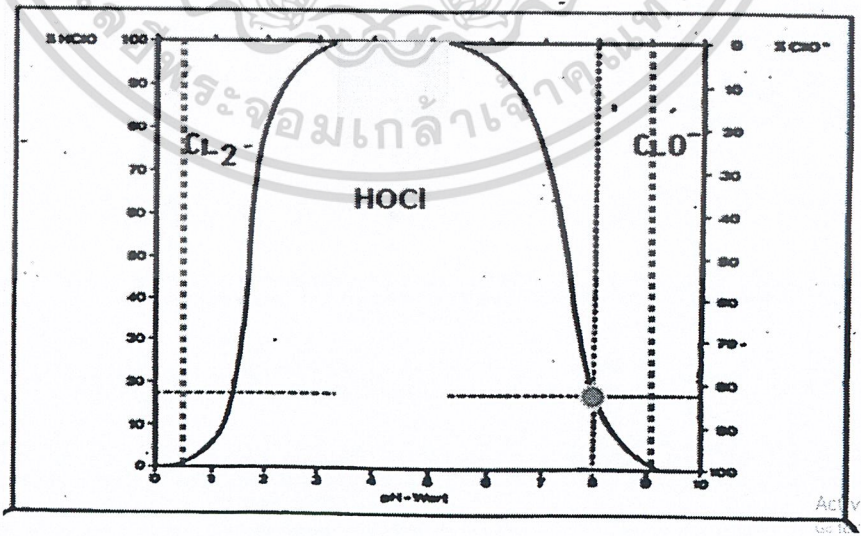
กรด HOCl แตกตัวในน้ำจะให้ hydrogen ion และ hypochlorite ion ดังสมการที่ 2.3



เมื่อเติมโซเดียมหรือแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ลงในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้กรดไฮโปคลอรัส ดังสมการที่ 2.4-2.6



Cl₂ HOCl และ OCl⁻ เรียกว่าคลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual chlorine) ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือชนิดใดจะมากหรือน้อยกว่ากันอยู่ที่ สภาพ pH และอุณหภูมิของน้ำ ที่ pH ของน้ำต่ำกว่า 1 คลอรีนอิสระคงเหลือ จะอยู่ในรูปของคลอรีนแก๊ส (Cl₂) ทั้งหมด และจะระเหยสู่บรรยากาศ ที่ pH 1- 3.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของแก๊ส และ HOCl ที่ pH ในช่วง 3.5 – 5.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูป HOCl ทั้งหมด ที่ pH ในช่วง 5.5- 9 จะอยู่ในรูปของ HOCl และ OCl⁻ และที่ pH ตั้งแต่ 9 ขึ้นไป จะอยู่ในรูป OCl⁻



รูปที่ 2.5 ผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงของชนิดคลอรีนอิสระคงเหลือการ
(ประปานครหลวง, ม.ป.ป.)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามรับรองการปฏิบัติงานเพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น มิใช่ข้อมูลที่ใช้ในการโฆษณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องยกย่องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงผลของ pH และอุณหภูมิ ต่อการแตกตัวของกรดไฮโปคลอรัส

pH	% HOCl		pH	% HOCl	
	0 °C	20 °C		0 °C	20 °C
4	100	100	8	40.1	27.6
5	99.9	99.7	8.5	17.4	10.8
6	98.5	97.4	9	6.3	3.7
7	86.9	79.2	10	0.7	0.4
7.5	67.9	54.7	11	0.07	0.04

ที่มา : การประปาส่วนภูมิภาค, 2011

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าที่ pH ตั้งแต่ 5.0 ลงมาคลอรีนส่วนมากจะอยู่ในรูป HOCl และที่ pH ตั้งแต่ 10.0 ขึ้นไป คลอรีนส่วนมากอยู่ในรูป OCl⁻

คลอรีนอิสระในรูป HOCl มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคมากกว่าคลอรีนในรูป OCl⁻ ถึง 100 เท่า ดังนั้นเพื่อให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง ควรจะมีคลอรีนในรูปของ HOCl เหลืออยู่ในน้ำ ตามคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก สำหรับการฆ่าเชื้อโรคในน้ำทั้งแบคทีเรียและไวรัสโดยทั่วไป ปริมาณคลอรีนอิสระที่เหลืออยู่ในน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที ต้องไม่ต่ำกว่า 0.5 มก./ล. โดยที่ pH ของน้ำต้องไม่สูงกว่า 8 และความขุ่นต้องไม่เกิน 1 NTU

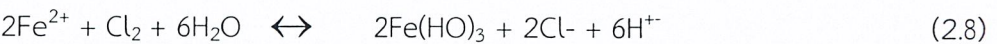
การใช้คลอรีนน้ำและผงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ใช้แก๊สคลอรีน จะเห็นว่าการใช้คลอรีนน้ำ และผงจะทำให้แนวโน้มของค่า pH เป็นไปในทางที่สูงขึ้นเนื่องจากตามสมการเคมีจะมีด่างเกิดขึ้น ดังนั้นการใช้แก๊สคลอรีนจะทำให้แนวโน้มของค่า pH ในน้ำต่ำลง เนื่องจากมีการดเกิดขึ้น ดังนั้นการใช้แก๊สคลอรีนฆ่าเชื้อโรคตามทฤษฎีแล้วจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้คลอรีนรูปอื่น แต่ในทางปฏิบัตินั้น ผลไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะปริมาณคลอรีนที่ใช้้น้อยมากผลกระทบต่อ pH ของน้ำจึงค่อนข้างน้อย

2.3.3 การเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงของคลอรีน

นอกจากทำปฏิกิริยากับน้ำแล้วคลอรีนยังสามารถเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงกับสารอื่น ๆ ในน้ำ ดังนี้

1. ตัวรีดิวซ์อื่น ๆ (Reducing agent)

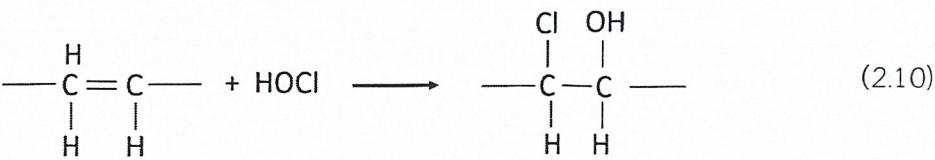
คลอรีนสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารลดออกซิเจนในน้ำ เช่น H₂S, Fe²⁺, Mn²⁺ และ NO₂⁻ ซึ่งเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.7-2.9



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารอินทรีย์ (Organic matter)

คลอรีนหรือ HOCl ยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ซึ่งมีแขนไม่อิ่มตัว (Unsaturated Linkage) ทำให้ความต้องการคลอรีนของน้ำ (Chlorine Demand) สูงขึ้น เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.10



คลอรีนในรูปของ HOCl และ OCl⁻ จะทำปฏิกิริยาธรรมชาติ (Natural Organic Matter : NOM) ที่อยู่ในน้ำทำให้เกิด ไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethane: THM) เป็นสารประกอบที่จัดเป็น Chlorination Disinfection By-Products (DBPs) รูปแบบหนึ่ง มีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (carcinogen) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบกลุ่มฮิวมิก (Humic substance) และกรดฟุลวิก (Fulvic acid) จากการสลายของดินหินตามธรรมชาติและสามารถละลายน้ำได้ สารไตรฮาโลมีเทนที่พบบ่อย มี 4 รูปแบบ คือ

- 2.1 คลอโรฟอร์ม (Chloroform: CHCl₃)
- 2.2 โบโรไดคลอโรมีเทน (Bromodichloromethanes: CHBrCl₂: BDCM)
- 2.3 ไดโบโรคลอโรมีเทน (Dibromochloromethanes: CHBr₂Cl: DBCM),
- 2.4 โบโรฟอร์ม (Bromoform : CHBr₃) เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.11-2.13



นอกจากนี้แล้วฮาโลเจนตัวอื่นเช่น โบโรมีนก็ยังสามารถทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้เกิดเป็น HOBr ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคและทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ได้เร็วกว่าคลอรีน จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้เร็วขึ้น เกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.14



ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสารไตรฮาโลมีเทนแต่ละรูปแบบ

- ปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ (Precursor)
- ปริมาณคลอรีนอิสระที่มีอยู่ในน้ำ
- ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (Contact Time) ระหว่างสารอินทรีย์กับคลอรีนอิสระ
- อุณหภูมิของน้ำในขณะทำปฏิกิริยา : อุณหภูมิสูงจะทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
- ความเป็นกรด-ด่างของน้ำ (pH) : pH สูง จะทำให้เกิดสารไตรฮาโลมีเทนในปริมาณมาก
- ปริมาณโบรมไนด์ไอออน (Br⁻) ที่มีอยู่ในน้ำ : เนื่องจาก Br⁻ ในน้ำสามารถถูกออกซิไดซ์และเกิดปฏิกิริยาแทนที่ได้ดีกว่าคลอรีนอิสระ จึงทำให้เกิดเป็นสารประกอบรูปแบบที่มีโบรมีนเป็นองค์ประกอบ ในปริมาณที่มากกว่า

3. แอมโมเนีย (Ammonia : NH₃)

ในน้ำผิวดินส่วนมากจะมีแอมโมเนียเหลืออยู่ในน้ำซึ่ง Cl₂ หรือ HOCl สามารถทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หลายชนิดซึ่งขึ้นอยู่กับ pH ของน้ำ ปริมาณของแอมโมเนียและ Cl₂ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นคลอรีนอิสระตกค้างอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า คลอรามินหรือคลอรีนอิสระคงเหลือ ได้แก่โมโนคลอรามิน (NH₂Cl) ไดคลอรามิน (NHCl₂) และไตรคลอรามิน (NCl₃) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้ต่างกัน ดังแสดงในสมการที่ 2.15-2.17

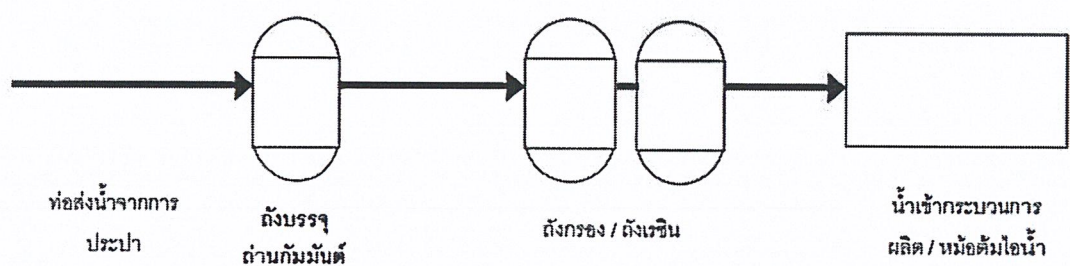


โดยจะใช้โมโนคลอรามินและไดคลอรามินซึ่งมีกำลังในการฆ่าเชื้อโรคมกในการวัดปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในน้ำ

คลอรีนอิสระคงเหลือมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ แต่คงทนอยู่ในน้ำได้ยาวนานกว่าคลอรีนอิสระ คลอรีนอิสระตกค้างและคลอรีนอิสระคงเหลือรวมกันเรียกว่าคลอรีนคงเหลือทั้งหมด (Total residual chlorine)

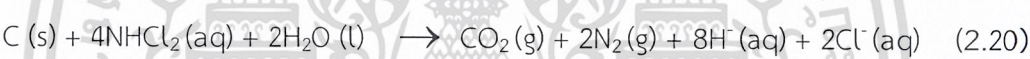
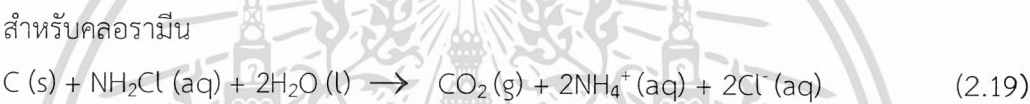
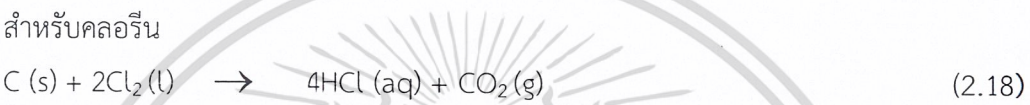
2.3.4 แนวทางการกำจัดคลอรีน (ศุภรักษ์ แสงแก้วและคณะ, พ.ศ.2556)

1. การพักน้ำทิ้งไว้เพื่อให้คลอรีนระเหยออก เนื่องจากคลอรีนเป็นสารที่ระเหยง่าย และสลายเป็นคลอไรด์ซึ่งไม่มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ จึงสามารถกำจัดคลอรีนตกค้างนี้โดยการเก็บกักน้ำประมาณ 1 วัน และข้อมูลปริมาณคลอรีนตกค้าง นอกจากการพักน้ำไว้ยังสามารถใช้การเติมอากาศควบคู่กัน เพื่อเป็นการเพิ่มอัตราการสลายตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.6

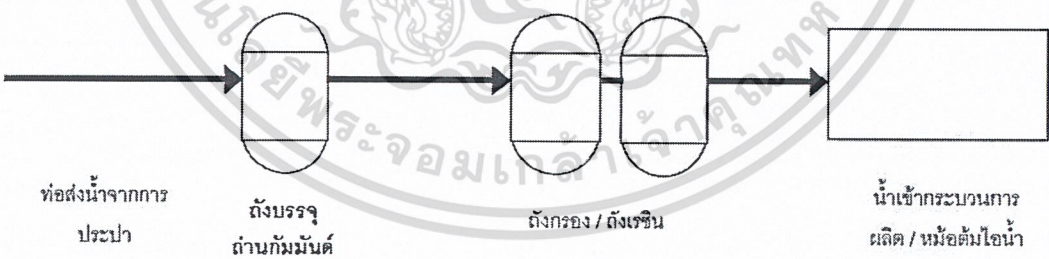


รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการพักน้ำ

2. การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ในการดูดซับคลอรีนตกค้าง ทั้งนี้ปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของถ่านกัมมันต์ ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.18-2.20

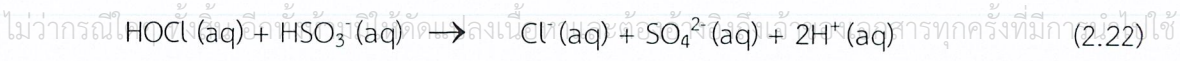
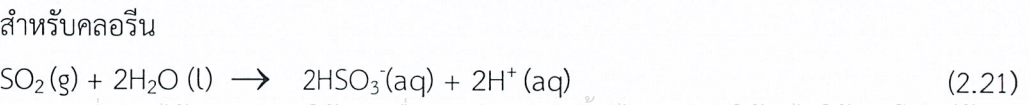


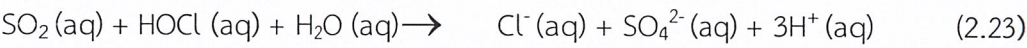
โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมจะมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำอยู่แล้ว อาจเป็นถังกรองทรายและถังเรซิน การกำจัดคลอรีนด้วยวิธีนี้อาจเพิ่มคอลลิ้นที่บรรจุถ่านกัมมันต์ หรือปรับปรุงถังกรองทรายให้เป็นถังกัมมันต์ ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.7



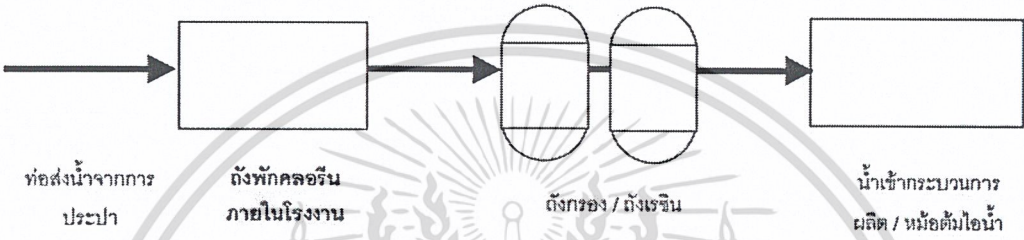
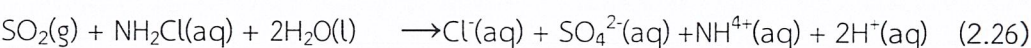
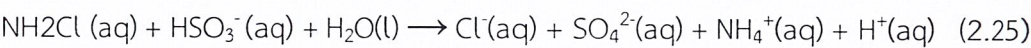
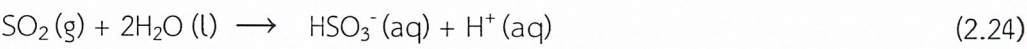
รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านกัมมันต์

3. การเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เพื่อเปลี่ยนรูปสารประกอบคลอรีน ปฏิกริยาจะเกิดขึ้นดังสมการที่ 2.21-2.26





สำหรับคลอรามิน



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการกำจัดคลอรีนก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตโดยการเติมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

4. เติมน้ำประกอบโซเดียมซัลไฟต์ (Sodium sulfite: Na_2SO_3) โซเดียมไรโอซัลเฟต (Sodium tiosulfate) โซเดียมไบซัลไฟต์ (Sodium bisulfite) หรือ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (Sodium metabisulfite, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) ลงในน้ำ ตัวอย่างปฏิกิริยาการสะเทินคลอรีนจะเกิดดังสมการที่ 2.27-2.28



2.3.5 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคลอรีนในน้ำ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำได้แก่

1. pH ของน้ำ ดังได้กล่าวไว้แล้ว ถ้า pH สูง คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ในเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคต่ำลงมาก ยิ่งในกรณีน้ำจากระบบหล่อเย็นซึ่งส่วนใหญ่ pH เกือบถึง 9 ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อโรคเกือบจะหมดไป ดังนั้นการเติมคลอรีนในน้ำหล่อเย็นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจะต่ำมาก

2. อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำด้วยเหตุผลหลัก 2 ประการได้แก่ ปริมาณชนิดของคลอรีนอิสระคงเหลือ กรณีที่อุณหภูมิของน้ำต่ำคลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของ HOCl มาก ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ในทางกลับกัน ถ้าอุณหภูมิของน้ำสูง คลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของ HOCl น้อย อีกประการหนึ่งก็คือ อุณหภูมิสูงจะทำให้คลอรีนสลายตัวได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของคลอรีนต่ำลงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวลา ถ้าเวลาที่สัมผัสน้ำ (Contact time) นานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าเวลาที่สัมผัสน้ำน้อยลงประสิทธิภาพจะต่ำลง

4. ความเข้มข้น เช่นเดียวกับเวลาถ้าความเข้มข้นของคลอรีนสูงประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคจะสูง

5. สารอินทรีย์ในน้ำ ในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์สูงจะทำให้คลอรีนมีประสิทธิภาพด้อยลง เนื่องจากคลอรีนที่เติมลงไปจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ก่อนทำให้เหลือคลอรีนที่จะไปฆ่าเชื้อโรคน้อย นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำยังทำให้เกิดสารจำพวก THMs (Trihalomethane) ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์สูง (วัดได้ในรูปของ TOC) จะต้องกำจัดสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยก่อนที่จะมีการเติมคลอรีน เพื่อที่จะไม่สิ้นเปลืองคลอรีน และไม่ก่อให้เกิดสารพิษ ในกรณีที่ไม่ต้องกำจัดสารอินทรีย์ก่อน เนื่องจากความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต อาจเปลี่ยนสารฆ่าเชื้อโรคจากคลอรีนเป็นชนิดอื่นซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ เช่น คลอรีนไดออกไซด์ ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน

2.3.6 วิธีวิเคราะห์หาคลอรีนอิสระ

1. Starch Iodine Method (หรือ Iodometric Method)

ใช้ในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์ปนอยู่มากและมีปริมาณคลอรีนมากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีนี้เหมาะสำหรับค่า pH ประมาณ 3-4 หากคลอรีนคงเหลือทั้งหมด โดยที่คลอรีนอิสระตกค้างและคลอรีนอิสระคงเหลือ สามารถออกซิไดซ์ I^- เป็น I_2 ดังแสดงในสมการที่ 2.29-2.30



เมื่อไทเทรต I_2 ด้วยสารละลายมาตรฐาน $Na_2S_2O_3$ จะสามารถหาปริมาณของคลอรีนตกค้าง ซึ่ง $Na_2S_2O_3$ จะเป็นตัวลดออกซิเจน เมื่อถึงจุดยุติจะทำให้สีน้ำเงินจางหายไป ดังแสดงในสมการที่ 2.31-2.32

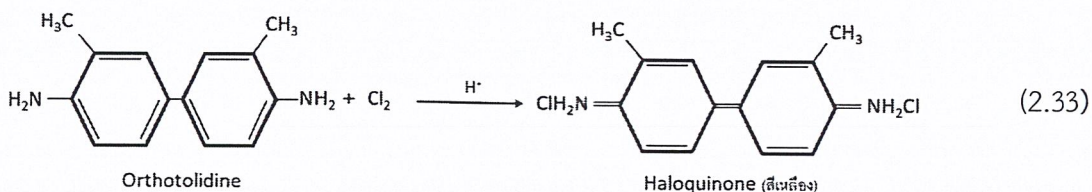


2. Orthotolidine Method

ใช้ในการหาคลอรีนที่มีปริมาณไม่เกิน 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร วิธีนี้ให้ผลถูกต้องได้ดีถ้าไม่มีตัวรบกวนพวกเฟอร์ริก [Iron (III), Fe^{3+}], แมงกานีส [Manganese, Mn^{4+}], สารประกอบไนไตรต์, ลิทโมเซลโลสและพวกแอลจี หากคลอรีนคงเหลือทั้งหมด โดยใช้สารออร์โธทอลิดีนทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่อยู่ในน้ำ ในสภาวะที่เป็นกรด คลอรีน คลอรามีน และตัวเติมออกซิเจนอื่น ๆ จะออกซิไดซ์ออร์โธทอลิดีนให้กลายเป็นฮาโลควิโนน (Haloquinone) ซึ่งเป็นสารสีเหลือง โดยสารฮาโลควิโนนจะเกิดเป็นสีเหลืองที่ pH น้อยกว่า 1.8 และความเข้มของสีจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของคลอรีนตามกฎของเบียร์ (Beer's Law) ดังแสดงในสมการที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ในปัจจุบันไม่มีการใช้วิธีนี้เนื่องจากให้ผลไม่แม่นยำและผิดพลาดมาก

3. Orthotolidine – Arsenite Method (O.T.A. method)

เป็นวิธีที่ใช้ได้ดีแม้มีเหล็กและแมงกานีสปะปนอยู่ในน้ำ ถ้ามีออกซิเจนในปริมาณน้อยสามารถใช้วิธีนี้ได้ หลักการคือ คลอรีนอิสระตกค้างจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรซัลไฟด์ได้ทันที แต่คลอรีนอิสระคงเหลือจะเกิดปฏิกิริยาภายหลัง การวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นสองตอนคือ

ตอนที่ 1 จะหาคลอรีนคงเหลือทั้งหมดก่อน เมื่อเติมบอโรไทลด์ดินจะเกิดปฏิกิริยากับคลอรีนอิสระหลังจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที จึงวัดความเข้มข้นที่ได้ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี (สาเหตุที่ต้องวัดหลังจาก 5 นาที เพราะคลอรีนอิสระคงเหลือจะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับบอโรไทลด์ดินได้ทันที) โดยสารสีเหลืองที่เกิดขึ้นจะเกิดจากคลอรีนอิสระตกค้าง และคลอรีนอิสระคงเหลือ

ตอนที่ 2 จะหาคลอรีนอิสระตกค้างโดยเมื่อเติมออร์โธโทลิดีนจะเกิดปฏิกิริยาทันทีกับคลอรีนอิสระตกค้าง หลังจากนั้นก็เติมโซเดียมอาร์ซีไนด์ (NaAsO_2) ซึ่งเป็นตัวเติมออกซิเจนที่แรงกว่าออร์โธโทลิดีนลงไปเพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาของคลอรีนกับออร์โธโทลิดีน (โซเดียมอาร์ซีไนด์จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนทันที) จึงวัดความเข้มข้นที่ได้ด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี ดังนั้นสารสีเหลืองที่เกิดขึ้นจึงเกิดจากคลอรีนอิสระตกค้างอย่างเดียว ดังนั้นในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 จะสามารถหาคลอรีนอิสระคงเหลือได้ดังนี้

คลอรีนอิสระคงเหลือ = คลอรีนอิสระคงเหลือทั้งหมด - คลอรีนอิสระตกค้าง
(จากตอนที่ 1) (จากตอนที่ 2)

4. Stabilized Neutral Orthotolodine (SNORT) Method

ใช้หาทั้งคลอรีนอิสระคงเหลือและคลอรีนอิสระตกค้าง หลักการก็จะคล้ายกับ Orthotolidine – Asenite Method แต่จะทำให้ไอโอดีนดินสะเทินที่ pH 7 เพื่อลดการขัดขวาง เนื่องจากคลอรีนอิสระคงเหลือ เหล็ก และไนโตรเจน โดยทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างลง และเติมตัว stabilizer ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้สีที่เกิดขึ้นคงตัว

5. Amperometric Titration

วิธีนี้ใช้หาคลอรินคงเหลือทั้งหมด คลอรินอิสระคงเหลือและคลอรินอิสระตกค้าง สารเคมีที่ใช้ และการเตรียมสารจะเหมือนกับวิธี Starch Iodine Method แต่จะแตกต่างกันตรงที่ Starch Iodine Method จะใช้วิธีตรวจสอบจุดยุติด้วยการไทเทรต แต่วิธีนี้จะตรวจสอบจุดยุติด้วยเครื่องแอมเพโรเมตริกไทเทรเตอร์ (Amperometric Titrator) ซึ่งการทำงานของเครื่องนี้จะอาศัยหลักการของโพลารอกราฟี (Polarographic) การตรวจสอบว่าเป็นคลอรินแบบไหนนั้นจะใช้ช่วง pH ในการไทเทรตที่ต่างกัน คือ คลอรินอิสระคงเหลือจะทำปฏิกิริยาที่ pH 3.5-4.5 ส่วนคลอรินอิสระตกค้างจะทำปฏิกิริยาที่ pH 6.5-7.5

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปฏิกิริยารีดอกซ์สามารถแยกออกเป็นปฏิกิริยาย่อยได้ 2 ปฏิกิริยา เรียกว่า ครึ่งปฏิกิริยา ดังนี้

2.4.1.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการสูญเสียอิเล็กตรอนจากวงโคจรให้กับโมเลกุลที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน หรือหมายถึงปฏิกิริยาที่สารมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น สารที่ทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ดังสมการที่ 2.34

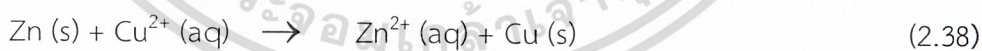


ถ้าพิจารณาเลขออกซิเดชันของ Zn เมื่อให้อิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นปฏิกิริยาที่มีการเพิ่มขึ้นของเลขออกซิเดชัน และอาจกล่าวว่า สารที่สูญเสียอิเล็กตรอนและเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (Zn) นี้ถูกออกซิไดซ์

2.4.1.2 ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่โมเลกุลหรืออะตอมมีการได้รับอิเล็กตรอนจากวงโคจรจากโมเลกุลที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอน หรือหมายถึงปฏิกิริยาที่สารมีเลขออกซิเดชันลดลง สารที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนนี้ว่า ตัวออกซิไดส์ (oxidizing agent) ดังสมการที่ 2.35



Cu^{2+} เมื่อรับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลงจาก +2 เป็น 0 ปฏิกิริยารีดักชันจึงเป็นปฏิกิริยาที่มีการลดลงของเลขออกซิเดชัน และอาจกล่าวว่า สารที่รับอิเล็กตรอนและมีเลขออกซิเดชันลดลง (Cu^{2+}) นี้ถูกรีดิวซ์ เมื่อรวมปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันเข้าด้วยกันจะกลายเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์ ดังสมการที่ 2.36-2.38



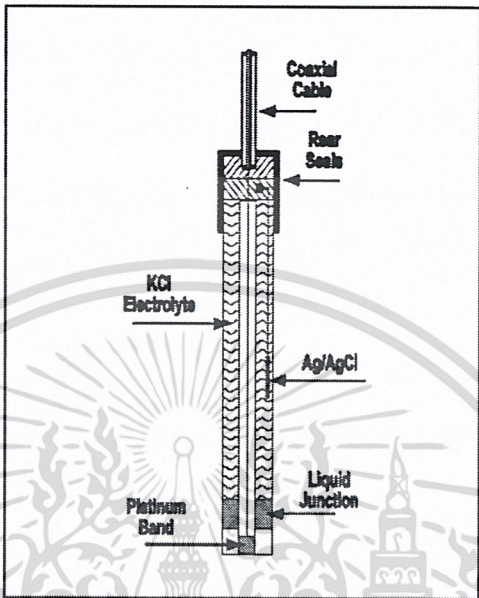
โดย Zn รีดิวซ์ Cu^{2+} ให้เป็น Cu และ Cu^{2+} ออกซิไดซ์ Zn ให้กลายเป็น Zn^{2+} หรืออาจกล่าวว่า Cu^{2+} ถูกรีดิวซ์โดย Zn และ Zn ถูกออกซิไดซ์โดย Cu^{2+} Zn จึงเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และ Cu^{2+} เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent)

ORP เป็นการตรวจวัดศักยภาพการเกิดออกซิเดชันและรีดักชันในน้ำเซอรัสเพื่อควบคุมปริมาณการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ใช้ในการกำจัดคลอรีนอิสระก่อนที่น้ำจะเข้าระบบรีเวอร์สออสโมซิสเพื่อใช้ควบคุมคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของคุณสมบัติระบบรีเวอร์สออสโมซิสสามารถทำให้มีประสิทธิภาพการกรองน้ำที่ดี และทำให้เมมเบรนมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 หลักการวัดค่าศักย์ภาพการเกิดออกซิเดชันและรีดักชัน

ในการตรวจวัดค่า ORP จะใช้ ORP sensors ซึ่งเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีสองเซลล์ โดยใช้แพลทินัม (Pt) เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน (Work electrode) และใช้ ซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver/silver chloride) เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode)



รูปที่ 2.10 ORP Sensor

เมื่ออิเล็กโทรดสัมผัสกับสารละลายที่มีปฏิกิริยาการออกซิเดชันหรือรีดักชัน สารละลายจะแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน ดังนั้นขั้วไฟฟ้าทำงานจะมีค่าศักย์มากกว่าขั้วไฟฟ้าอ้างอิง โวลต์มิเตอร์ที่อยู่ในแนวเดียวกับขั้วไฟฟ้าทั้งสองจะแสดงค่าความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง เมื่อระบบทั้งหมดทำปฏิกิริยาจนถึงจุดสมดุลแล้ว ผลต่างของศักย์ภาพสุทธิที่เกิดขึ้นจะแสดงถึงค่า ORP การอ่านเชิงบวกจะแสดงให้เห็นถึงสารละลายที่มีการออกซิไดซ์ การอ่านเชิงลบจะแสดงให้เห็นถึงสารละลายที่มีการรีดิวซ์ ยิ่งมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบมากเท่าใด สาร oxidant หรือสาร reductant ยิ่งมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.4.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการวัดค่าศักย์ภาพการเกิดออกซิเดชันและรีดักชัน

- การตรวจวัดค่า ORP นั้นมีความแม่นยำ เสถียรและง่าย ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการวัด ORP
- อุณหภูมิมีผลต่อการตรวจวัดค่า ORP ที่อุณหภูมิต่ำ อัตราการเคลื่อนไหวของปฏิกิริยาจะลดลง เวลาในการตรวจวัดค่า ORP จะช้าลง
 - ความหนาแน่นของการแลกเปลี่ยนกระแส (ปริมาณการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่ 1 หน่วยของอิเล็กโทรดที่สัมผัสได้) มีผลต่อการตรวจวัดค่า ORP เมื่อความหนาแน่นต่ำลง การตอบสนองต่อเซนเซอร์ ORP ยิ่งช้าลง
 - ขั้วไฟฟ้าทำงานทำมาจากแพลทินัมซึ่งเป็นโลหะมีสกุล มันจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกับตัวมันเอง แต่เมื่อสัมผัสกับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ มันจะก่อตัวเป็นชั้นออกไซด์บาง ๆ บนพื้นผิวอิเล็กโทรด ซึ่งมีผลต่อการวัดค่า ORP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หากวัดค่า ORP ในสารละลายที่มีค่าการออกซิไดซ์น้อย หลังจากวัดค่า ORP ในสารละลายที่มีค่าออกซิไดซ์มาก ทำให้เซนเซอร์ใช้เวลาในการปรับสมดุลให้เข้ากับน้ำตัวอย่าง การอ่านค่า ORP ช้าลง

- ค่า ORP ที่อ่านได้มีการเบี่ยงเบนจากค่าที่ควรจะเป็น อันเนื่องมาจากการปนเปื้อนบนพื้นผิวอิเล็กโทรด หรือการสะสมของชั้นออกไซด์

2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

จากกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มีการควบคุมคุณภาพน้ำสำหรับการใช้ประโยชน์ในด้านสาธารณสุขปโภคภายในโรงไฟฟ้า และคุณสมบัติของน้ำก่อนเข้าสู่ระบบรีเวอร์สออสโมซิส เพื่อป้องกันการเสื่อมสภาพและการอุดตันของเมมเบรนให้สามารถเกิดการเสื่อมสภาพและอุดตันได้น้อยที่สุด โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์มีดังนี้

2.5.1 ความเป็นกรดและด่าง (pH)

ค่าพีเอชแสดงถึงความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงปริมาณหรือความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนในน้ำ (Hydrogen or Hydronium, H^+ or H_3O^+) ซึ่งเกิดจากสารที่สามารถแตกตัวให้อนุกรด (H^+) หรือด่าง (OH^-) ความเป็นกรด-ด่างมีค่าตั้งแต่ 0-14 ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 7 แสดงถึงน้ำมีสภาพความเป็นกรด ถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 แสดงถึงน้ำมีสภาพเป็นด่าง และถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7 แสดงถึงน้ำมีสภาพเป็นกลาง ค่าความเป็นกรด-ด่างไม่ได้บอกถึงความเป็นพิษต่อร่างกายแต่สามารถบอกให้ทราบถึงประเภทของสิ่งเจือปนในน้ำว่าอยู่ในของสารที่ให้อนุกรดหรือด่างได้ อย่างไรก็ตามค่าความเป็นกรด-ด่างนี้จะเป็นตัวชี้วัดที่มีประโยชน์ในการวัดคุณภาพน้ำโดยที่ภาวะความเป็นกรด-ด่างของน้ำมีผลต่อคุณภาพน้ำปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นและการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตในน้ำ นอกจากนี้ยังบอกถึงคุณสมบัติในการกัดกร่อนของน้ำด้วย ค่ามาตรฐานความเป็นกรด-ด่างของน้ำจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้น้ำ ความเป็นกรด-ด่างเป็นค่าที่ใช้แสดงถึงปริมาณของไฮโดรเจนในสารละลายสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.39

$$pH = -\log[H^+] \quad (2.39)$$

ค่าพีเอชมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตน้ำประปา ตั้งแต่ขั้นตอนการตกตะกอนตลอดจนถึงการทำลายเชื้อโรค โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคของคลอรีนต้องมีค่าไม่เกิน 8 แต่ถ้าหากน้ำที่มีค่าพีเอชต่ำมักมีฤทธิ์กัดกร่อน ดังนั้น เมื่อน้ำที่ป้อนเข้าสู่ระบบเส้นท่อการมีการควบคุมค่าพีเอชเพื่อควบคุมให้เกิดการกัดกร่อนในระบบเส้นท่อน้อยที่สุด ซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมควรควบคุมไว้ที่ระดับ 6.5-8.5

2.5.2 สภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

สภาพการนำไฟฟ้าเป็นพารามิเตอร์หรือดัชนีวัดคุณภาพน้ำชนิดหนึ่งที่สำคัญ โดยบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพการนำไฟฟ้าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่แตกตัวเป็นไอออนได้เมื่อละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของสารละลายขณะตรวจวัด การเคลื่อนที่ของไอออนในสารละลาย และจำนวนประจุของไอออนที่

ละลายในสารละลาย ชนิดและความเข้มข้นของสารที่มีประจุแต่ละชนิดส่วนมากจะเกิดจาก สารประกอบอนินทรีย์ เช่น แอนไอออนของคลอไรด์ (Cl⁻) ไนเตรต (NO₃⁻) ซัลเฟต (SO₄²⁻) และ ฟอสเฟต (PO₄³⁻) แคตไอออนของโซเดียม (Na⁺) แมกนีเซียมไอออน (Mg²⁺) เหล็ก (Fe²⁺,Fe³⁺) และ อะลูมิเนียม (Al³⁺) สารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้ หรือแตกตัวเป็นไอออนได้น้อย จึงมีสภาพการนำไฟฟ้าต่ำเมื่อละลายน้ำ เช่น น้ำมัน ฟีนอล น้ำตาล สภาพการนำไฟฟ้ายังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วยถ้าอุณหภูมิสูงสภาพการนำไฟฟ้าก็จะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ในการรายงานค่าการนำไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องการรายงานที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 2.5 แสดงสภาพนำไฟฟ้าของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 M ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	สภาพนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร)
21	1305
22	1332
23	1359
24	1386
25	1413
26	1441
27	1468
28	1496

ที่มา : ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, ม.ป.ป.

ประโยชน์ของการหาค่าสภาพการนำไฟฟ้า

สภาพการนำไฟฟ้านี้มีประโยชน์ในการประเมินหรือคาดคะเนปริมาณสารบางชนิดหรือคุณภาพของน้ำได้หลายประการ

1. สามารถใช้ในการตรวจสอบความผิดปกติของน้ำในกรณีที่ได้รับผลกระทบจากการประกอบกิจการอุตสาหกรรมที่มีการระบายน้ำทิ้งที่มีสารที่มีประจุอยู่มากลงสู่แหล่งน้ำ
2. ใช้ในการคาดคะเนปริมาณของแข็งทั้งหมดในตัวอย่างน้ำกรณีที่ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งทั้งหมดและสภาพนำไฟฟ้า
3. ใช้ในการคาดคะเนผลของประจุไฟฟ้าต่าง ๆ ที่มีต่อสมดุลทางเคมี ผลทางกายภาพที่มีต่อสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ และผลกระทบต่ออัตราการกักตัวของสารต่าง ๆ
4. ใช้ในการประเมินหรือตรวจสอบความบริสุทธิ์ของน้ำที่ผ่านการบำบัดต่าง ๆ เช่น การกลั่น การกรองหรือการบำบัดแบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นต้น เพื่อให้ทราบว่าน้ำนั้นมีคุณภาพเหมาะที่จะใช้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่
5. ใช้ในการคาดคะเนสารประกอบไอออนิกที่จะใช้ในการตกตะกอนและทำให้สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารเป็นกลางไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids)

ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) หมายถึง ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่เหลือจากการระเหยของน้ำที่ผ่านการกรองเอาสารแขวนลอยออกแล้ว ซึ่งของแข็งที่ละลายน้ำส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอนินทรีย์โดยพบทั้งแคทไอออนและแอนไอออน เช่น แคทไอออนของโซเดียม (Na^+) แมกนีเซียม (Mg^{2+}) แอนไอออนของคลอไรด์ (Cl^-) ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ของแข็งที่ละลายน้ำได้ถ้าพบว่ามีปริมาณความเข้มข้นที่สูงอาจไม่เหมาะกับการนำมาใช้งาน อาจมีกลิ่นหรือรสชาติไม่น่าดื่ม อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนในเส้นท่อหรือเกิดการปนเปื้อนในกระบวนการผลิต

2.5.4 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างของสารละลาย (Alkalinity) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความสามารถในการรับโปรตอนของสารละลาย ซึ่งสภาพด่างของน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากเกลือของกรดอ่อน เช่น คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) บอเรต ($\text{B}_2\text{O}_7^{2-}$) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และซิลิกา (SiO_2) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีเกลือของกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดฮิวมิก เป็นต้น โดยทั่วไปสภาพความเป็นด่างของน้ำจะเกิดจากไบคาร์บอเนต ได้ปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.40



สภาพด่างของน้ำในธรรมชาติหรือน้ำที่ผ่านการบำบัดเพื่อในการอุปโภคบริโภคเกิดจากองค์ประกอบของสารละลายไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ ดังนั้นสภาพความเป็นด่างของน้ำจึงมีความสำคัญในด้านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การผลิตน้ำประปา เป็นต้น

2.5.5 ความกระด้าง (Hardness)

ความกระด้างของน้ำเกิดจากธาตุโลหะอยู่ในสภาพไอออนที่มีประจุบวก (Cation) โดยเฉพาะสภาพไอออนที่มีประจุ +2 เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) เป็นต้น และอาจมีธาตุอื่น เช่น เหล็ก (II) ไอออน (Fe^{2+}) แมงกานีส (II) ไอออน (Mn^{2+}) และสตรอนเทียมไอออน (Sr^{2+}) แต่พบในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของ Ca^{2+} และ Mg^{2+} ในน้ำบาดาลมักมีความกระด้างสูงกว่าน้ำผิวดินเนื่องจากในน้ำบาดาลมีคาร์บอนไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายแคลเซียมและแมกนีเซียมที่มีอยู่ในชั้นดิน น้ำที่มีความกระด้างมากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้เกิดแผ่นคราบในกระบวนการผลิตน้ำได้ เช่น แผ่นคราบในระบบเส้นท่อและถังเก็บน้ำ เป็นต้น และในการต้มน้ำจะทำให้เกิดแผ่นคราบหินปูน (CaCO_3) แต่ถ้าในน้ำมีความกระด้างน้อยกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (น้ำอ่อน หรือ Soft Water) มีโอกาสทำให้เกิดการกัดกร่อนในเส้นท่อและอาจส่งผลเสียต่อระบบเส้นท่อของน้ำประปาได้ ความกระด้างของน้ำที่มีอยู่ทุกประเภท จะเรียกรวมว่า ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness) สามารถแบ่งตามไอออนที่มีอยู่ในน้ำได้ 2 ประเภท ดังนี้

1.แบ่งตามไอออนประจุลบที่มีอยู่ในน้ำ สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภท

1.1 ความกระด้างคาร์บอเนต หรือความกระด้างชั่วคราว (Carbonate Hardness or Temporary Hardness) ได้แก่ คาร์บอเนตไอออน (CO_3^{2-}) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) โดย

ส่วนใหญ่ในน้ำจะพบเป็นพวก HCO_3^- และเมื่อทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะสามารถกำจัดความกระด้างประเภทนี้ได้

1.2 ความกระด้างที่ไม่ใช่คาร์บอเนต หรือความกระด้างถาวร (Non-Carbonate Hardness or Permanent Hardness) ได้แก่ ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-}) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ความกระด้างประเภทนี้ไม่สามารถกำจัดได้ จำเป็นต้องใช้วิธีทางเคมีในการแก้ไข

2. แบ่งตามไอออนประจุบวกที่มีอยู่ในน้ำ ส่วนใหญ่เป็น Ca^{2+} เรียกว่า Calcium Hardness และ Mg^{2+} เรียกว่า Magnesium Hardness

2.5.6 คลอไรด์ (Chloride)

คลอไรด์ในรูปของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ถ้ามีปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ น้ำมีรสชาติที่เค็มหรือกร่อนได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของไอออนบวก (Cation) ในน้ำด้วย ถ้าน้ำประปาในเส้นท่อของระบบประปามีคลอไรด์สูง จะทำให้อัตราการกัดกร่อนโลหะในระบบเส้นท่อเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับความเปราะต่างของน้ำ และคลอไรด์ยังเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นการปนเปื้อนโลหะในน้ำประปาสูงขึ้น น้ำบริโภคที่มีปริมาณคลอไรด์มากกว่า 250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีรสเค็ม จึงกำหนดมาตรฐานน้ำ บริโภคให้พบคลอไรด์ได้ไม่เกิน 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 นาฏอนงค์ เจริญสันติสุขและคณะ (2561) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากสะพานปลาและผลกระทบของ คลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากตลาดปลาสด กรม ประมงแม่ฮ่อง จังหวัดสมุทรสงคราม ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-85 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที จากการศึกษา พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-50 mg/L ตรวจไม่พบปริมาณคลอรีน คงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย และพบปริมาณคลอรีนคงเหลือที่ระดับความเข้มข้น 55 mg/L เป็นต้น โดยที่ระดับความ เข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 85 มีปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดมากที่สุด และที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 70 mg/L มีปริมาณคลอรีนคงเหลือน้อยที่สุด และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนคงเหลือและการลดลงของ แบคทีเรียที่ระดับความเข้มข้นตั้งต้น 55-70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นปริมาณคลอรีนคงเหลือจะลดลงในทุกระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รวมทั้งเมื่อระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้แบคทีเรียถูกทำลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

2.6.2 ศุภรักษ์และคณะ (2559) ศึกษาการจำลองปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อจ่ายน้ำประปาโดยพื้นที่ศึกษาอยู่ใน พื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานประปาสาขาลาดพร้าว การประปานครหลวง และได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ 1) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สถานีสูบน้ำลาดพร้าวกับจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง 12-03-05 ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่ปริมาณคลอรีนอิสระ คงเหลือในการเดินทางจากสถานีสูบน้ำลาดพร้าวไปถึงจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษาประมาณ 30 นาที 2) การศึกษาการกระจายตัวของคลอรีนในระบบท่อจ่ายน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังถึงระดับจุดผู้ใช้น้ำ พบว่าโปรแกรม EPANET มีข้อจำกัดในเรื่อง

การคำนวณอายุน้ำ คือค่าอายุน้ำในแต่ละเส้นท่อต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1 นาที จึงทำให้ต้องมีการรวมเส้นท่อที่มีอายุการใช้งานไม่ผ่านเกณฑ์เข้าด้วยกันก่อนวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าอายุน้ำกับอัตราการไหลของน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวังมีความสัมพันธ์ผกผันกันอย่างชัดเจน ในช่วงเวลากลางคืนที่อัตราการไหลมีค่าลดลงและต่ำสุด ณ เวลา 4.00 น. นั้น อายุน้ำจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดย ณ จุดวัดคลอรีนไกลสุดภายในพื้นที่มีค่าสูงสุด เท่ากับ 4.5 ชั่วโมง ณ เวลา 5.00 น. รวมทั้งพบว่าปริมาณคลอรีนที่จุดจ่ายน้ำเข้าอยู่ในช่วง 0.20-1.00 มก./ลิตร ได้สลายตัวและคงเหลือ ณ จุดวัดไกลสุดอยู่ในช่วง 0.05-0.60 มก./ลิตร

2.6.3 สุธีร์และคณะ (2560) ศึกษาการสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องจ่ายคลอรีนจากปริมาณน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจ่ายคลอรีนจากปริมาณน้ำ วิธีดำเนินการวิจัยประกอบด้วย ศึกษาและรวบรวมข้อมูล ออกแบบ สร้าง และทดสอบเครื่องจ่ายคลอรีน จากปริมาณน้ำเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลวิจัย คือ แบบบันทึกข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้ผลการ ทดลองเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้ โดยใช้การหาค่าเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง ผลการวิจัยพบว่า เครื่องจ่ายคลอรีนจากปริมาณน้ำมีระบบการทำงาน 2 ระบบ 1) ระบบการจ่ายคลอรีนผสมกับน้ำแบบ อัตโนมัติตามปริมาณน้ำที่ต้องการ ใช้เซนเซอร์วัดการไหลของน้ำส่งสัญญาณพัลส์ออกมา ยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่เข้ามา และสั่งจ่ายคลอรีนผ่านปั๊มแรงดันสูง ในอัตราส่วนที่ตั้งไว้ ซึ่งมีค่าความถูกต้องในระดับสูง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย เท่ากับ 98.18% และคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ยเท่ากับ 1.03 มิลลิกรัมต่อลิตร 2) ระบบการจ่ายคลอรีนจากปริมาณน้ำที่กำหนดใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งจ่ายคลอรีนผ่านปั๊ม แรงดันสูง ในปริมาณที่กำหนด ซึ่งมีค่าความถูกต้องใน ระดับสูง คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องเฉลี่ย เท่ากับ 96.50% และคลอรีนอิสระคงเหลือเฉลี่ย เท่ากับ 0.52 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.6.4 Jacques M. Steininger. (1996) การบำรุงรักษาสระว่ายน้ำและบ่อน้ำพุธรรมชาติที่เหมาะสมต้องมีการทดสอบค่า pH และระดับการฆ่าเชื้อในน้ำบ่อยครั้ง ด้วยชุดทดสอบสีซึ่งเป็นวิธีดั้งเดิม ทุกวันนี้มีสระว่ายน้ำและบ่อน้ำพุธรรมชาติจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ ที่ใช้ระบบอัตโนมัติทางเคมี ซึ่งอาศัยการใช้เซนเซอร์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมักจะเป็นข้อไฟฟ้า pH และ ORP จากการศึกษาจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า ORP เป็นเครื่องตรวจสอบกิจกรรมทางเคมีของเครื่องฆ่าเชื้อโรคที่หยอดเยิ้มด้วยเงื่อนไขทางชีววิทยาของน้ำ ตามข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติการทำงานของเซนเซอร์ ORP มีน้อยมาก การศึกษาค้นคว้าจึงถูกออกแบบมาเพื่อประเมินการตอบสนองของเซนเซอร์ ORP ในน้ำคลอรีนในแง่ของความสามารถในการทำซ้ำและความน่าเชื่อถือและการตอบสนองต่อพารามิเตอร์การดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อสร้างข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเปรียบเทียบกับวิธีการทดสอบทั่วไปการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการเพื่อตรวจสอบความแม่นยำและความน่าเชื่อถือของการไทเทรตแอมเพอโรเมตริก การวิเคราะห์สี และชุดทดสอบ DPD ความสามารถในการทำซ้ำของการอ่านเซนเซอร์ ORP ถูกกำหนดโดยการแช่เซนเซอร์ใหม่ 10 ตัวในสารละลายน้ำคลอรีนเดียวกัน ตัวเซนเซอร์แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 5, 4 และ 1.9 มิลลิโวลต์ตามลำดับ หลังจาก 5 นาที, 20 นาทีและ 16 ชั่วโมงของการแช่ ความเข้มข้นของของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงถึง 3,500 ppm (mg / l) ของโซเดียมคลอไรด์ NaCl ซึ่งไม่มีผลต่อการตอบสนองของ ORP ก่อนการปรับเซนเซอร์ ORP จะทำการแช่เซนเซอร์ ORP ในคลอรีนอิสระที่มีความเข้มข้น 0.2 และ 3.0 ppm ต้องใช้เวลาอย่างน้อย 10 – 12 นาที เพื่อให้ตัวเซนเซอร์เกิดความเสถียรในการอ่านค่า การตอบสนองของเซนเซอร์ ORP เกี่ยวข้องกับค่า pH จึงได้

ทำการศึกษาความเข้มข้นของคลอรีนที่ 0.2 ppm (mg/l) และ 10 ppm (mg/l) ศึกษาค่า pH ที่ 6.5 และ 8.5 ผลลัพธ์ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหน้านี้ และถูกนำมาวิเคราะห์ตามทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน

2.6.5 Heather Rekalske. การวัดความเข้มข้นของคลอรีนอิสระเป็นวิธีที่นิยมในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำ และควบคุมผลิตภัณฑ์ที่จะเกิดขึ้น แต่ยังมีวิธีอื่นที่สามารถตรวจวัดได้ คลอรีนอิสระทำงานโดยผ่านการออกซิเดชัน ดังนั้น การวัดค่า ORP (Oxidation Reduction Potential) สามารถใช้ในการตรวจสอบและควบคุมประสิทธิภาพของคลอรีนอิสระ การวัดค่า ORP เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้น เมื่ออิเล็กโทรดถูกสัมผัสกับสารละลายที่มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน ค่า ORP ดังกล่าวสามารถอธิบายขนาดและทิศทางการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างคู่สายสัมพันธ์ทางเคมี ปฏิกิริยารีดอกซ์ คือปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างสารตั้งต้นทำให้เลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะทำให้มีอะตอมของธาตุบางตัวสูญเสียหรือได้รับอิเล็กตรอนเพื่อสร้างวามเสถียรให้กับโมเลกุล โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดควบคู่กับ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) เสมอ ตัวที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวรีดิวซ์ (Reducing Agent) ตัวที่ทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนเรียกว่า ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing Agent) ดังนั้นค่า ORP จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของคลอรีนอิสระคงเหลือ ซึ่งเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และกระบวนการทางอุตสาหกรรม

2.6.6 Suslow, Trevor V. (2004) ปกติการวัดค่า Oxidation-Reduction Potential หรือค่า ORP หน่วยเป็น มิลลิโวลต์ ไม่ใช่ความสัมพันธ์เชิงเส้นตามที่ใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรมการผลิต โดยทั่วไปแม้ความเข้มข้นของคลอรีนหรือคลอรีนอิสระจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 เท่า ก็ไม่ส่งผลต่อสัดส่วนการเพิ่มขึ้น ORP นั้นสอดคล้องกัน ปัญหาคือ เราคุ้นเคยกับความสะดวกสบายจึงอาจส่งผลต่อระบบมาตรฐานความปลอดภัย สำหรับน้ำสะอาด คลอรีนอิสระ 3 ถึง 5 ppm จะส่งผลต่อการกำจัดแบคทีเรียในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ คุณภาพน้ำที่ค่า pH อยู่ในช่วง 6.5-7 ค่า ORP ที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากในน้ำมี กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) ในปริมาณมาก แต่หากน้ำมีค่า pH ประมาณ 8 ค่า ORP จะลดลงเนื่องจากในน้ำมี ไฮโปคลอไรต์ไอออน (OCl⁻) มากขึ้น การควบคุมค่า pH ให้คงที่ แต่มีการเพิ่มคลอรีนทำค่า ORP สูงขึ้น 900-950 mV โดยทั่วไป HOCl จะอยู่ที่ 25 ppm คลอรีนที่มีมากเกินไปอาจส่งผลต่อความปลอดภัยของพนักงาน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

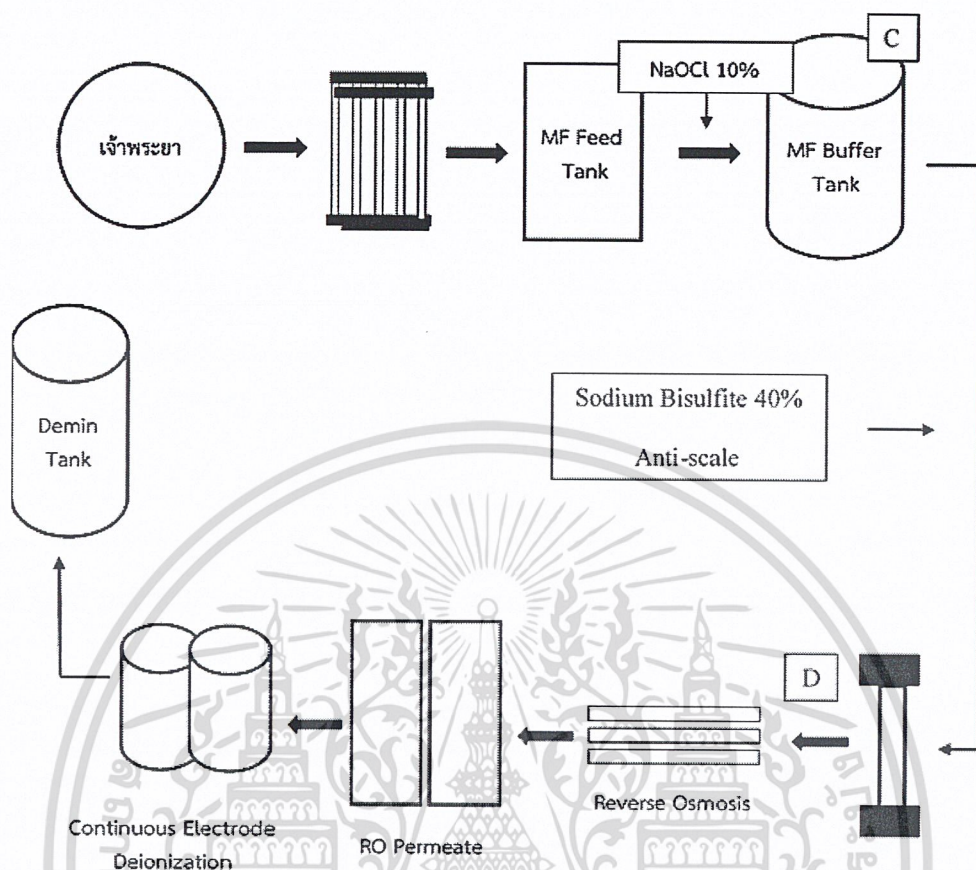
3.1.1 วัสดุและสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.02 N ยี่ห้อ Colo Erba (AR)
2. สารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติก 0.01 M ยี่ห้อ Merck (AR)
3. สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต 0.0141 N ยี่ห้อ HACH (AR)
4. สารละลายแคลเซียมบัฟเฟอร์ ยี่ห้อ Merck (AR)
5. สารละลาย Hardness Buffer ยี่ห้อ Merck (AR)
6. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (conc. H₂SO₄) ยี่ห้อ SDFCL sd fine – chem Limited (AR)
7. อินดิเคเตอร์ เมอร์เรกไซด์ (Murexide Indicator) ยี่ห้อ Merck
8. อินดิเคเตอร์ บรอมครีซอลกรีนเมทิลเรด (BGMR Indicator) ยี่ห้อ Merck
9. อินดิเคเตอร์ โพแทสเซียมโครเมต (K₂CrO₄ Indicator) ยี่ห้อ Merck
10. อินดิเคเตอร์ อีริโอโครมแบล็คที (Eriochrome black T indicator) ยี่ห้อ Merck
11. สาร DPD (N, N-Diethyl P Phenylenediamine) ยี่ห้อ Lovibond
12. Buffer solution pH 4.01, pH 7.00, pH 9.21 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO
13. electrolyte solution KCl 3 mol/L ยี่ห้อ METTLER TOLEDO
14. Conductivity standard 1413 μ S / cm ยี่ห้อ METTLER TOLEDO
15. Redox Buffer Solution 220 mV ยี่ห้อ METTLER TOLEDO
16. น้ำกลั่น

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Compact
2. เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น Seven Compact
3. เครื่องวัดความขุ่น (Turbidity meter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100P
4. เครื่องวัด DO ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น S9-Field Kit
5. เครื่องวัด ORP ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น InLab sensor
6. ชุดทดสอบ FRC (test kit) ยี่ห้อ Lovibond รุ่น MD 200
7. ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert รุ่น UF110
8. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB204 - S
9. ตู้ดูดควัน ยี่ห้อ PROLAB รุ่น FH120/2014 SE-PP
10. กระบอกตวง ขนาด 50 ml
11. ขวดเก็บตัวอย่างชนิด HDPE (High Density Polyethylene) ขนาด 500 มิลลิลิตร
12. เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพของโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2

จากรูปที่ 3.2 จุด C คือจุดเก็บตัวอย่างน้ำ Buffer Tank เป็นจุดก่อนเติม โซเดียมไบซัลไฟต์ จุด D คือ จุดเก็บน้ำ RO Outlet Bag Filter เป็นจุดที่น้ำผ่านการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์

3.2.1.2 การตรวจวัดพารามิเตอร์

การเก็บตัวอย่างน้ำ เก็บเมื่อโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เริ่มทำงาน โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 500 มิลลิลิตร เก็บจุดละ 1 ขวด ทั้งหมด 4 จุด ตามตำแหน่งในแผนภาพรูปที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งจะทำการเก็บตัวอย่างน้ำวันละ 1 ครั้ง และนำน้ำตัวอย่างไปตรวจวัดพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC ในน้ำตัวอย่าง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดตัวอย่างน้ำ	วิธีการวิเคราะห์*
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	Electrometric Measurement
ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity)	Instrumental Measurements
ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	Instrumental Measurements
ค่าความขุ่น (Turbidity)	Nephelometric Method
สภาพด่าง (Alkalinity)	Titration Method
ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)	EDTA Titrimetric Method
ความกระด้าง (Calcium Hardness)	EDTA Titrimetric Method
การหาค่าคลอไรด์ (Cl ⁻)	Argentometric

ที่มา : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1999.

3.2.2 การวิเคราะห์ค่า FRC (Free residual chlorine)

3.2.2.1 วิธีการตรวจวัดค่า FRC ในน้ำตัวอย่าง

- 1) ต่อสายยางเข้ากับจุดที่ต้องการเก็บตัวอย่างน้ำ แล้วเปิดน้ำทิ้งไว้ประมาณ 3 – 5 นาที
- 2) เปิดเครื่องวัด FRC (แบบ Test kit) ใส่ตัวอย่าง 10 มิลลิลิตรใน Cell แก้ว ทำการ set blank
- 3) ใส่ DPD (N, N-Diethyl P Phenylenediamine) ชนิดเม็ดในน้ำตัวอย่างบดให้ละเอียด ปิดฝาแล้วทำการวัดค่า การดูดกลืนแสง และบันทึกผล ต้องทำด้วยความรวดเร็ว (การวัดค่า FRC และค่า ORP ทำการทดลองพร้อมกัน)

3.2.3 การวิเคราะห์ค่า ORP (Oxidation reduction potential) ในน้ำตัวอย่าง

3.2.3.1 วิธีการตรวจวัดค่า ORP ในน้ำตัวอย่าง

- 1) ต่อสายยางเข้ากับจุดที่ต้องการเก็บน้ำตัวอย่าง แล้วเปิดน้ำทิ้งไว้ประมาณ 3 – 5 นาที
- 2) เก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 500 มิลลิลิตร ให้เต็มขวด
- 3) เปิดเครื่อง Portable ORP ล้างหัวโพรบ ORP ด้วยน้ำกลั่น ใช้ทิชชูซับให้แห้ง จากนั้นนำหัวโพรบ ORP มาวัดกับ Solution standard 220 mV ล้างหัวโพรบด้วยน้ำกลั่นแล้วซับให้แห้งด้วยทิชชูอีกครั้ง จึงทำการวัดค่า ORP ของน้ำตัวอย่าง พร้อมบันทึกผล (การวัดค่า FRC และค่า ORP ควรทำการทดลองพร้อมกัน)

3.2.4 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP

3.2.4.1 สภาพด่าง (Alkalinity)

- 1) การเตรียมอินดิเคเตอร์ บรอมครีซอลกรีนเมทิลเรด (BGMR Indicator) ละลาย Brom cresol green 0.100 g และ Methyl red sodium salt 0.020 g ในน้ำกลั่น 100 mL
- 2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) 0.1 N ปิเปต conc. H₂SO₄ 3 mL ลงในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 mL

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.02 N ตวงสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 N 200 mL แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 mL (สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกในที่นี้ผู้วิจัยใช้เป็นแบบสำเร็จรูป ยี่ห้อ Colo Erba, AR)
- 4) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 mL ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 150 mL หยด บรอมครีซอลกรีนเมทิลเรด เป็นอินดิเคเตอร์ (BGMR Indicator) ลงในน้ำตัวอย่าง 3 – 4 หยด จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน 0.02 N จนกระทั่งสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีชมพูอ่อน บันทึกปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ในการไทเทรตและคำนวณค่าสภาพต่าง ในหน่วย mg/L as CaCO_3
- 5) การคำนวณ

$$1) \text{ Phenolphthalein alkalinity, mg/L CaCO}_3 = \frac{A \times N \times 50,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.1)$$

$$\text{หรือ} \quad A \text{ reading, mL} = \frac{A \times 1,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.2)$$

$$2) \text{ Total alkalinity, mg/L CaCO}_3 = \frac{B \times N \times 50,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.3)$$

$$\text{หรือ} \quad \text{MO reading, mL} = \frac{B \times 1,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.4)$$

เมื่อ A, B = ปริมาตรของ H_2SO_4 ที่ใช้ในการไทเทรตถึง phenolphthalein และ BGMR end point ตามลำดับ

N = ความเข้มข้นของ H_2SO_4

3.2.4.2 ความกระด้างทั้งหมด (Total Hardness)

1) การเตรียม Hardness buffer

- 1.1) ชั่ง EDTA disodium salt 0.83 g และ $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.50 g ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย
- 1.2) ค่อย ๆ เทกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc. HCl) 40 mL ในน้ำกลั่น 500 mL
- 1.3) จากนั้นค่อย ๆ เติม 300 mL Monoethanolamine ลงใน ข้อที่ 1.2)
- 1.4) นำสารละลายจากข้อที่ 1 เติมลงไปใน ข้อที่ 1.2)
- 1.5) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1000 mL

2) การเตรียม Hardness indicator

ชั่งสาร Eriochrome black T 0.5 g. และ Hydroxylamine hydrochloride 4.5 g. ละลายของผสมดังกล่าวใน 95% ethanol หรือ iso – propyl alcohol 100 mL

3) การเตรียมน้ำตัวอย่าง

ตวงน้ำตัวอย่าง 50 mL. ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 150 mL เติม Hardness buffer

3 mL และ Eriochrome black T Indicator 3 – 4 หยด จากนั้นทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซิติกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (EDTA) ใช้

0.01 M กระทั่งสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีไวน์แดงเป็นสีน้ำเงิน ป็นที่กปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต และคำนวณเป็นความเข้มข้นจะได้ความเข้มข้นในหน่วย mg/L as CaCO_3

3.2.4.3 ความกระด้าง (Calcium Hardness)

- 1) การเตรียม Calcium buffer ชั่ง NaOH 40 g. ละลายในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 mL
- 2) การเตรียม Calcium Indicator ชั่ง Murexide 0.23 g. ละลายในน้ำกลั่น 30 mL
- 3) การเตรียมสารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติก (EDTA) 0.01 M ชั่ง EDTA disodium salt 3.723 g. ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อย แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1,000 mL หาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติก 0.01 M โดยทำการ Standardize กับสารละลายมาตรฐานแคลเซียมที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน
- 4) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 mL ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 150 mL เติม Calcium buffer 3 mL และ Murexide Indicator 3 – 4 หยด จากนั้นทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานเอทิลีนไดเอมีนเตตระอะซีติกที่ทราบความเข้มข้นแน่นอน (EDTA) 0.01 M กระทั่งสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีม่วง ป็นที่กปริมาตรของ EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต และคำนวณเป็นความเข้มข้นจะได้ความเข้มข้นในหน่วย mg/L as CaCO_3
- 5) การคำนวณ

$$\text{Calcium Hardness, mg/L as CaCO}_3 = \frac{A \times B \times 1,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.4)$$

โดย A = ปริมาณ EDTA ที่ใช้ในการไทเทรต

B = mg CaCO_3 ซึ่งสมมูลกับ 1.0 mL EDTA

3.2.4.4 การหาค่าคลอไรด์ (Chloride)

- 1) การเตรียมสารละลายมาตรฐาน Silver nitrate (AgNO_3) 0.0141 N (500 mg/L)
ชั่ง AgNO_3 อย่างละเอียดจำนวน 2.395 g. ละลายในน้ำกลั่นเจือจางให้เป็น 1 L เก็บในขวดสีชา (สารละลายนี้ 1.00 mL = 500 $\mu\text{g Cl}^-$) ทำการ Standardize ด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.0141 N โดยทำการปิเปต NaCl 10 mL ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 mL เติมน้ำกลั่น 90 mL แล้วนำไปไทเทรตกับ AgNO_3 0.0141 N
- 2) การเตรียมสารละลายมาตรฐานโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 0.0141 N (500 mg/L)
ชั่งอย่างละเอียด NaCl ซึ่งผ่านการอบที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มา 824.0 mg. ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 L
- 3) การเตรียม Potassium chromate Indicator (K_2CrO_4)

ชั่งโพแทสเซียมโครเมต (K_2CrO_4) 50 g. ละลายด้วยน้ำกลั่นเล็กน้อย เติมสารละลาย AgNO_3 จนกระทั่งเกิดตะกอนแดง ตั้งทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง จากนั้นกรองตะกอนออกแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 1 L (สารละลายมาตรฐาน Silver nitrate (AgNO_3) 0.0141 N ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ที่นี้ผู้วิจัยใช้เป็นแบบสำเร็จรูป ยี่ห้อ Colo Erba, AR)

4) ตวงน้ำตัวอย่าง 50 mL ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 150 mL หยด Potassium chromate Indicator 3 – 4 หยด แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน Silver nitrate จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเหลืองอมส้ม บันทึกปริมาตร Silver nitrate ที่ใช้ในการไทเทรต

5) การคำนวณ

$$\text{mg/L Cl} = \frac{(A - B) \times N \times 35.45 \times 1,000}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.6)$$

$$= \frac{500 \times (A - B)}{\text{sample volume, mL}} \quad (3.7)$$

โดย A = ปริมาตร Silver nitrate ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง, mL

B = ปริมาตร Silver nitrate ที่ใช้ในการไทเทรต blank, mL

N = ความเข้มข้นของ Silver nitrate ที่ใช้, N = 0.0141 N

3.2.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORC กับค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์

3.2.5.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ณ จุดเก็บ A (Service Tank)

- 1) ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง Service ใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 1000 mL ให้เต็มขวด หลังจากระบบหยุดเดิน 1 ชั่วโมง และเปิดฝาดังทิ้งไว้อีก 3 ชั่วโมง
- 2) เมื่อตั้งน้ำตัวอย่างทิ้งไว้ครบ 3 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่า FRC และค่า ORP เริ่มต้น ของน้ำตัวอย่าง บันทึกค่าที่วัดได้
- 3) เตรียมน้ำตัวอย่าง Service 500 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 mL เติมสารละลาย NaOCl 0.01% (ภาคผนวก ก-1 ข้อ 2) จำนวน 0, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 และ 3.5 mL ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่าง
- 4) ทำการวัดค่า FRC โดยการบดเม็ด DPD (N, N – Diethyl P Phenylenediamine) ใน Cell แก้วให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำตัวอย่างใส่ Cell แก้วที่มี DPD บดละเอียดอยู่ให้ได้ ปริมาตร 10 mL เขย่าให้ DPD ละลาย แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง บันทึกค่าที่ได้
- 5) หลังจากวัดค่า FRC เรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างน้ำที่เหลือจะนำไปวัดค่า ORP ต่อทันที แล้ว บันทึกค่าที่วัดได้
- 6) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์แล้วนำมาคำนวณเพื่อหา ปริมาณ NaOCl ที่เหมาะสม

3.2.5.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ณ จุดเก็บ C (Buffer Tank)

- 1) ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง Buffer ใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 1000 mL ให้เต็มขวด หลังจากระบบหยุดเดิน 1 ชั่วโมง และเปิดฝาดังทิ้งไว้อีก 3 ชั่วโมง
 - 2) เมื่อตั้งน้ำตัวอย่างทิ้งไว้ครบ 3 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่า FRC และค่า ORP เริ่มต้น บันทึกค่าที่วัดได้
- เอกสารนี้เป็นเอกสารนำร่อง ไม่ควรนำไปใช้จริง หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ จะต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เตรียมน้ำตัวอย่าง Buffer 500 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 mL เติมสารละลาย NaOCl 0.1% (ภาคผนวก ก-1 ข้อ 1) จำนวน 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 mL ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่าง
- 4) ทำการวัดค่า FRC โดยการบดเม็ด DPD (N, N – Diethyl P Phenylenediamine) ใน Cell แก้วให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำตัวอย่างใส่ Cell แก้วที่มี DPD บดละเอียดอยู่ให้ได้ปริมาตร 10 ml เขย่าให้ DPD ละลาย แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง บันทึกค่าที่ได้
- 5) หลังจากวัดค่า FRC เรียบร้อยแล้ว น้ำตัวอย่างที่เหลือจะนำไปวัดค่า ORP ต่อทันที แล้วบันทึกค่าที่วัดได้
- 6) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณ NaOCl ที่เหมาะสม

3.2.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์

3.2.6.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ ณ จุดเก็บ A (Service Tank)

- 1) ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง Service ใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 1000 mL ให้เต็มขวด หลังจากระบบหยุดเดิน 1 ชั่วโมง และเปิดฝาดังทิ้งไว้อีก 3 ชั่วโมง
- 2) เมื่อตั้งน้ำตัวอย่างทิ้งไว้ครบ 3 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่า FRC และค่า ORP เริ่มต้น บันทึกค่าที่วัดได้
- 3) เตรียมน้ำตัวอย่าง Service 500 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 ml เติมสารละลาย NaOCl 0.01% (ภาคผนวก ก-1 ข้อ 2) 5.0 mL จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) 0.01% (ภาคผนวก ก-2 ข้อ 2) จำนวน 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 และ 6.0 mL ตามลำดับ แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่าง
- 4) ทำการวัดค่า FRC โดยการบดเม็ด DPD (N,N – diethyl P Phenylenediamine) ในคิเวตแบบมีฝาปิดให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำตัวอย่างใส่ในคิเวตที่มี DPD บดละเอียดอยู่ให้ได้ปริมาตร 10 mL เขย่าให้ DPD ละลายแล้ววัดค่า FRC แบบการดูดกลืนแสง บันทึกค่าที่วัดได้
- 5) หลังจากวัดค่า FRC เรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างที่น้ำที่เหลือจะนำไปวัดค่า ORP ทันทีแล้วบันทึกค่าที่วัดได้
- 6) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณ NaHSO_3 ที่เหมาะสม

3.2.6.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ ณ จุดเก็บ C (Buffer Tank)

- 1) ทำการเก็บน้ำตัวอย่าง Buffer ใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 1000 mL ให้เต็มขวด หลังจากระบบหยุดเดิน 1 ชั่วโมง และเปิดฝาดังทิ้งไว้อีก 3 ชั่วโมง
- 2) เมื่อตั้งน้ำตัวอย่างทิ้งไว้ครบ 3 ชั่วโมง จึงทำการวัดค่า FRC และค่า ORP เริ่มต้น บันทึกค่าที่วัดได้
- 3) เตรียมน้ำตัวอย่าง Buffer 500 mL ใส่ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 1000 mL เติม NaOCl 0.1% (ภาคผนวก ก-1 ข้อ 1) 3.0 mL จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์

- ซัลไฟต์ (NaHSO_3) 0.1% (ภาคผนวก ก-2 ข้อ 1) จำนวน 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 2.50 mL ตามลำดับ แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำตัวอย่าง
- 4) ทำการวัดค่า FRC โดยการบดเม็ด DPD (N, N – diethyl P Phenylendiamine) ใน Cell แก้วให้ละเอียด จากนั้นเติมน้ำตัวอย่างใส่ใน Cell ที่มี DPD บดละเอียดอยู่ให้ได้ปริมาตร 10 ml เขย่าให้ DPD ละลายแล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง บันทึกค่าที่วัดได้
 - 5) หลังจากวัดค่า FRC เรียบร้อยแล้ว น้ำตัวอย่างที่เหลือจะนำไปวัดค่า ORP ทันทีแล้วบันทึกค่าที่วัดได้
 - 6) นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์แล้วนำมาคำนวณเพื่อหาปริมาณ NaHSO_3 ที่เหมาะสม

3.2.7 การทำคลอรีนโปรไฟล์ (Chlorine Profiled)

กำหนดจุดเก็บน้ำเพื่อทำการวัด Chlorine Profiled โดยโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 จะทำการตรวจวัด Chlorine Profiled ณ จุดเก็บ A (Service tank) และจุดเก็บ B (RO Inlet Bag Filter) ส่วนโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 จะทำการตรวจวัดค่า Chlorine Profiled ณ จุดเก็บ C (MF Buffer tank) และจุดเก็บ D (RO Outlet Bag Filter) ทางผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดค่า Chlorine Profiled ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือที่ละชุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

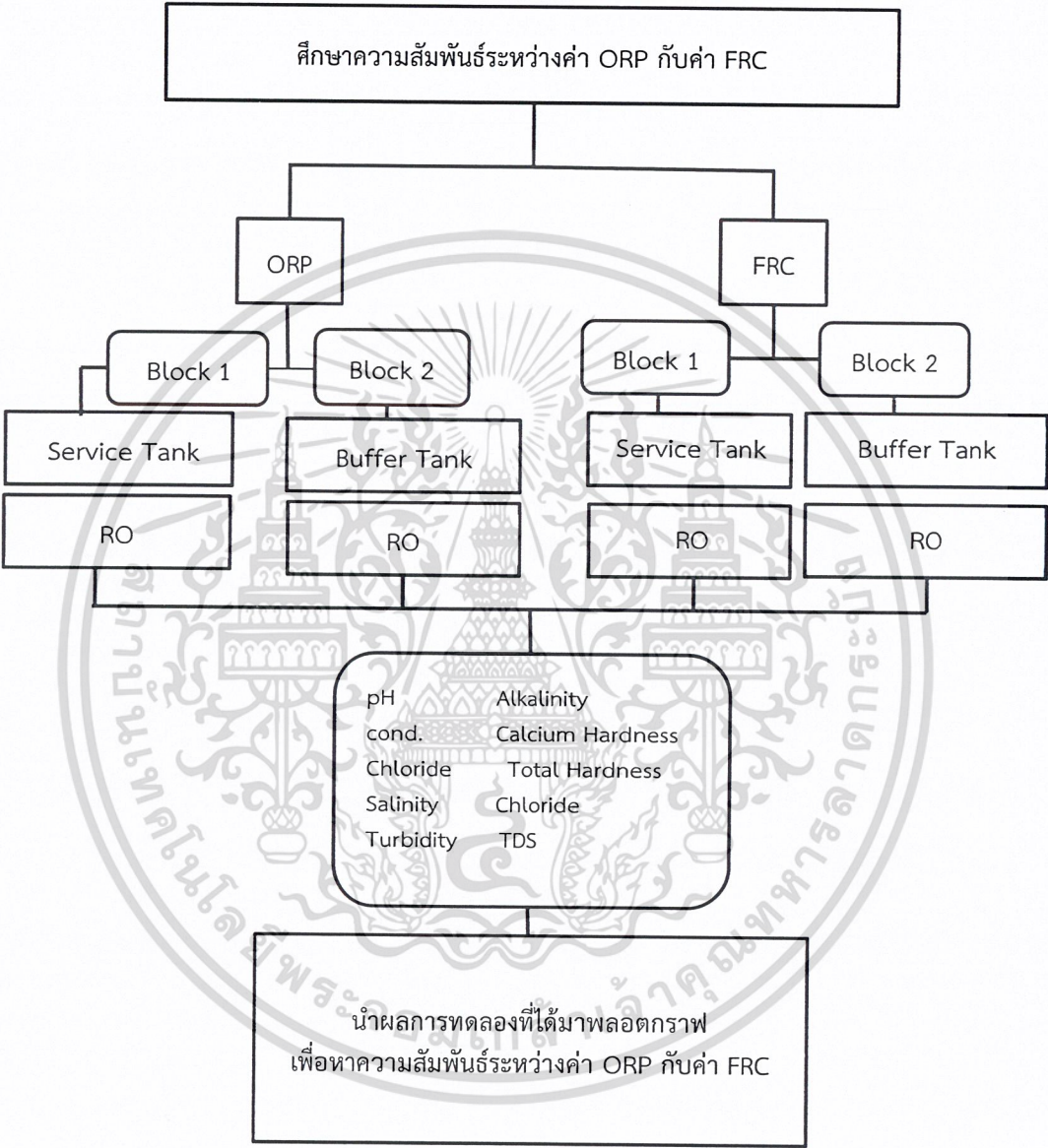
- 1) ทำการเปิดน้ำทิ้งไว้ 3-5 นาที จากนั้นทำการรองน้ำตัวอย่างด้วยขวดเก็บพลาสติกน้ำโดยปล่อยให้ไหลตลอดเวลา
- 2) เปิดเครื่องวัด FRC (แบบ Test kit) ใส่ตัวอย่าง 10 mL ใน Cell แก้ว ทำการ set blank
- 3) ใส่ DPD (N, N-Diethyl P Phenylendiamine) ชนิดเม็ดในน้ำตัวอย่างบดให้ละเอียด ปิดฝาแล้วทำการวัดค่า การดูดกลืนแสง และบันทึกผล ต้องทำด้วยความรวดเร็ว
- 4) เปิดเครื่อง Portable ORP ล้างหัวโพรบ ORP ด้วยน้ำกลั่น ใช้ทิชชูซับให้แห้ง จากนั้นนำหัวโพรบ ORP มาวัดกับ Solution standard 220 mV ล้างหัวโพรบด้วยน้ำกลั่นแล้วซับให้แห้งด้วยทิชชูอีกครั้ง จึงทำการวัดค่า ORP ของน้ำตัวอย่าง พร้อมบันทึกผล
- 5) การตรวจวัดค่า FRC กับค่า ORP จะต้องทำการตรวจวัดพร้อมกันทุก ๆ 10 นาที
- 6) นำค่า FRC ที่วัดได้จากการตรวจวัดค่า Chlorine Profiled มาพล็อตกราฟเทียบกับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ (ภาคผนวก ค-2)

3.2.8 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

1) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1999.

2) นำเข้าสู่การทดสอบทางสถิติโดยวิธี Modified z – score เพื่อหาความน่าเชื่อถือของชุดข้อมูลที่สามารถยอมรับได้

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพสรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

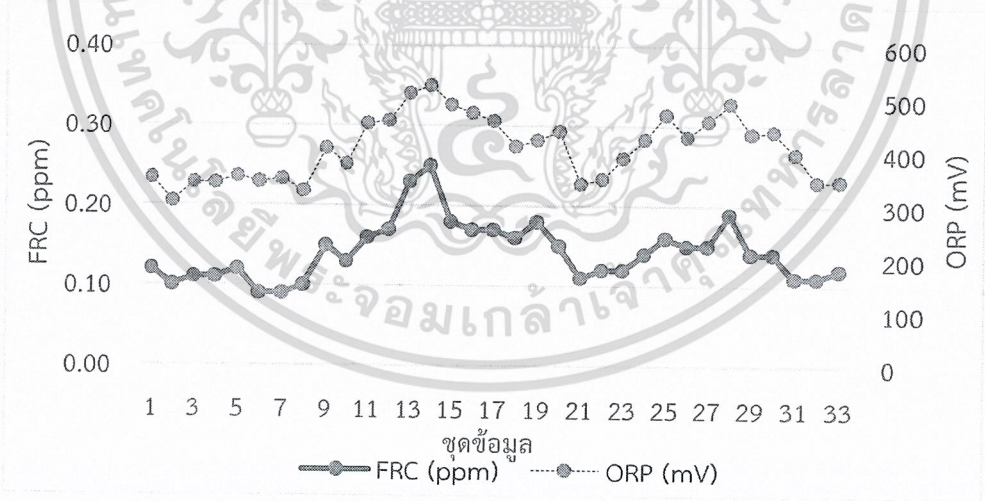
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

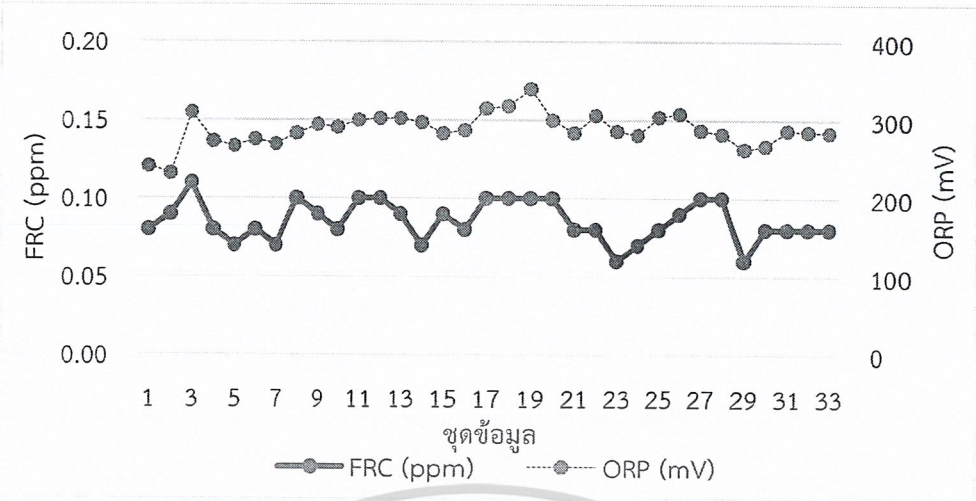
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันและค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ และศึกษาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

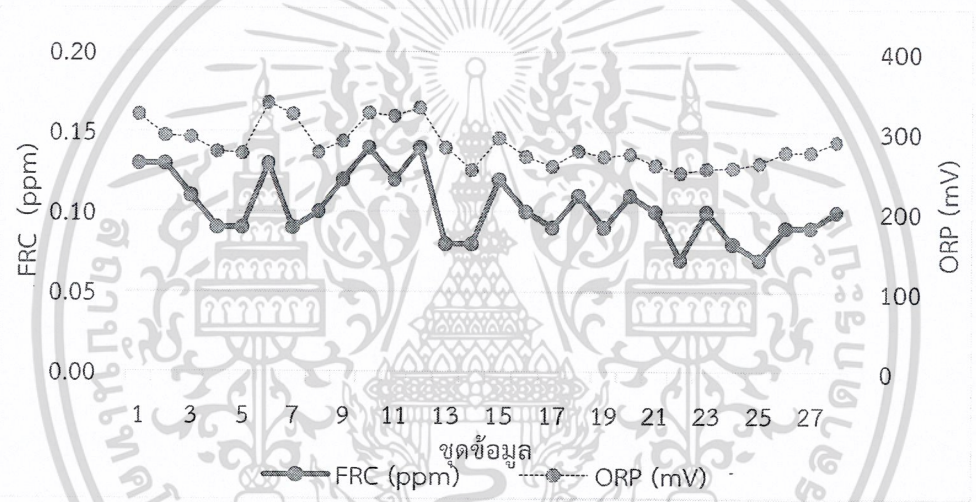
การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประจำวัน ณ จุดเก็บ A,B,C และ D ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มาตรวจวัดค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันและค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ โดยจะทำการตรวจวัดที่จุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่วันที่ 4 ตุลาคม ถึง 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แล้วนำค่าข้อมูลที่วัดได้มาพล็อตในโปรแกรม Excel เพื่อหาแนวโน้มหรือความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับ ค่า FRC มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.1-4.4 ซึ่งได้นำค่า ORP การตรวจวัดไปคำนวณหาค่า FRC_{Cal} โดยเทียบกับค่า FRC จากการวัดโดยตรง



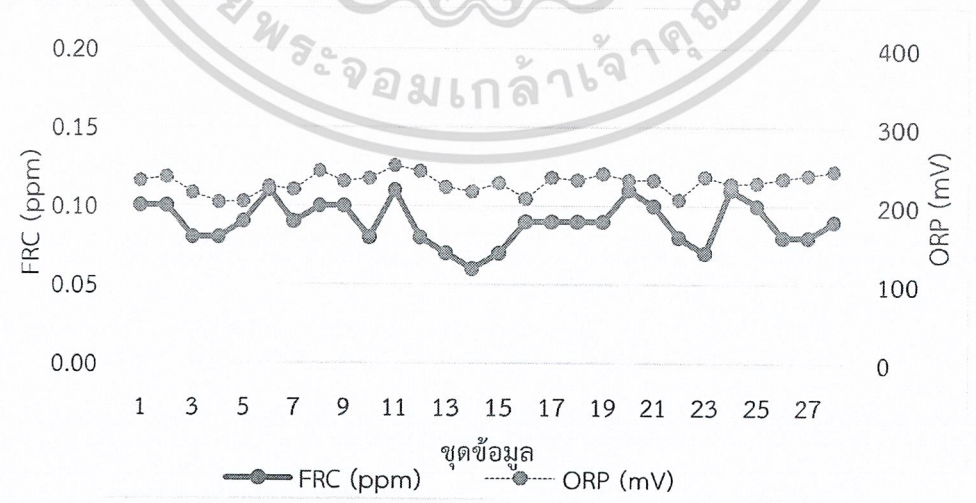
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B



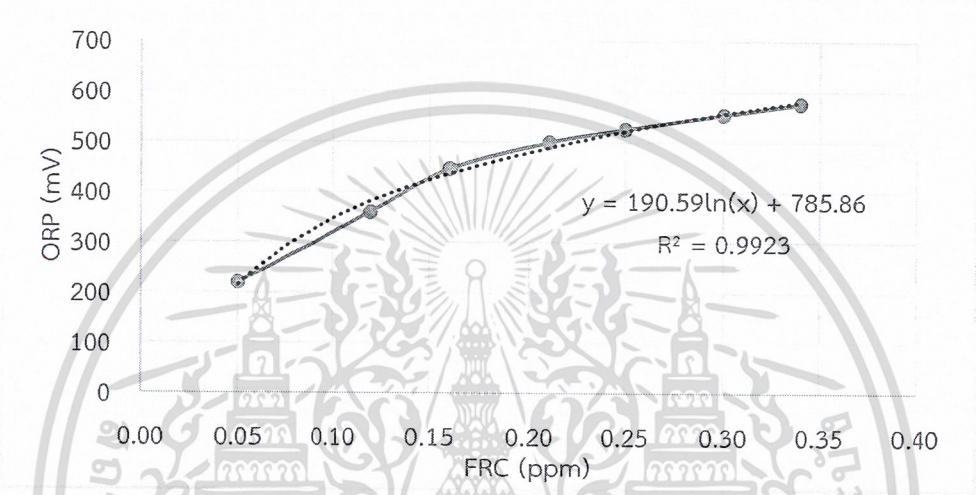
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC

นอกจากที่ทางผู้วิจัยจะทำการเก็บตัวอย่างประจำวันแล้ว ยังได้มีการเก็บน้ำตัวอย่างมาเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยทางผู้วิจัยทำการเก็บน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บ A, B, C และจุด D ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 มาสังเคราะห์โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และโซเดียมไบซัลไฟต์ ลงไปในน้ำตัวอย่าง แล้วทำการตรวจวัดค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชัน กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ และบันทึกผล จากนั้นนำผลข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นกราฟ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ที่จุดเก็บ A

จากรูปที่ 4.5 เห็นได้ว่าที่ค่า FRC สูงขึ้นค่า ORP ก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามไปด้วย จนถึงจุดหนึ่งค่า FRC ยังคงเพิ่มขึ้นแต่ค่า ORP เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ชุดข้อมูลที่ได้มีลักษณะเข้าใกล้เส้นโค้ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้เป็นสมการลอการิทึม สมการที่ได้คือ $y = 190.59 \ln(x) + 785.86$ และ $R^2 = 0.9923$

ซึ่งจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ณ จุด B,C และ D ชุดข้อมูลมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นโค้งเช่นเดียวกัน

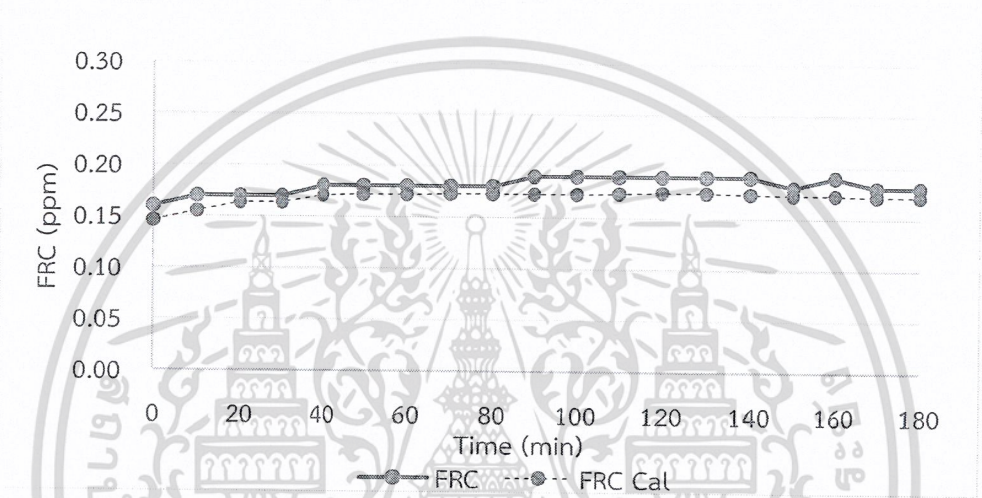
ตารางที่ 4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC ที่จุดเก็บน้ำต่าง ๆ

จุดเก็บน้ำ	สมการ	R ²	สมการที่
A	$y = 190.59 \ln(x) + 785.86$	0.9923	4.1
B	$y = 179.74 \ln(x) + 753.38$	0.9959	4.2
C	$y = 139.59 \ln(x) + 602.51$	0.9778	4.3
D	$y = 139.46 \ln(x) + 595.07$	0.9849	4.4

4.3 แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ

4.3.1 Chlorine Profile

เมื่อเราทำการสังเคราะห์น้ำตัวอย่าง และได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORO และค่า FRC พร้อมทั้งสมการดังแสดงตามตารางที่ 4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และค่า FRC ที่จุดเก็บน้ำ แล้วนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตรวจสอบแนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้ กับ FRC ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ชุดข้อมูลจากการทำ Chlorine Profile ในแต่ละจุด โดย Chlorine Profile ณ จุดเก็บ A แทนในสมการที่ 4.1, Chlorine Profile ณ จุดเก็บ B แทนในสมการที่ 4.2, Chlorine Profile ณ จุดเก็บ C แทนในสมการที่ 4.3, Chlorine Profile ณ จุดเก็บ D แทนในสมการที่ 4.4

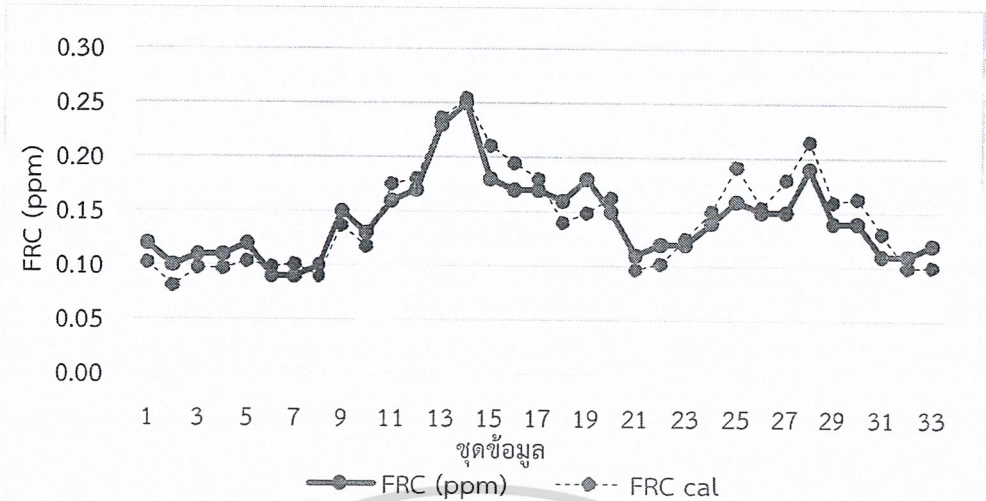


รูปที่ 4.6 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่คำนวณได้ ณ จุดเก็บ A โดยใช้ชุดข้อมูลจาก Chlorine Profile

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า แนวโน้มของค่า FRC ที่วัดได้และค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณค่อนข้างเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลแนวโน้มของค่า FRC ที่วัดได้และค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B,C และจุด D ชุดข้อมูลมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

4.3.2 ข้อมูลประจำวัน

เมื่อทำการตรวจแนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้ กับ FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A,B,C และจุด D พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เราจึงนำข้อมูลประจำวันที่วัดได้แทนในสมการเส้นโค้ง โดยข้อมูลประจำวัน ณ จุดเก็บ A แทนในสมการที่ 4.1, ข้อมูลประจำวัน ณ จุดเก็บ B แทนในสมการที่ 4.2, ข้อมูลประจำวัน ณ จุดเก็บ C แทนในสมการที่ 4.3, และข้อมูลประจำวัน ณ จุดเก็บ D แทนในสมการที่ 4.4



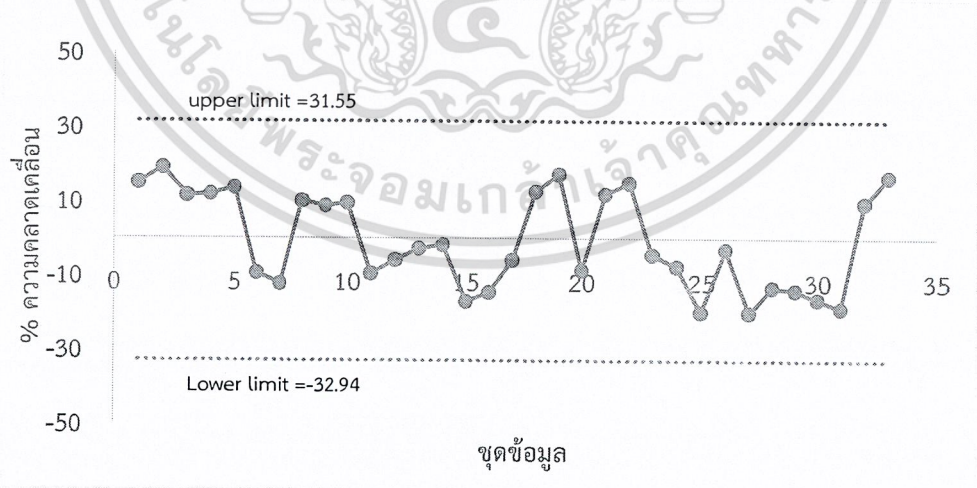
รูปที่ 4.7 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A โดยใช้ชุดข้อมูลประจำวัน

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าแนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้จริงกับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณค่อนข้างเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งผลแนวโน้มของค่า FRC ที่วัดได้และค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุด B,C และจุด D ชุดข้อมูลมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

4.4 การหาความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูล

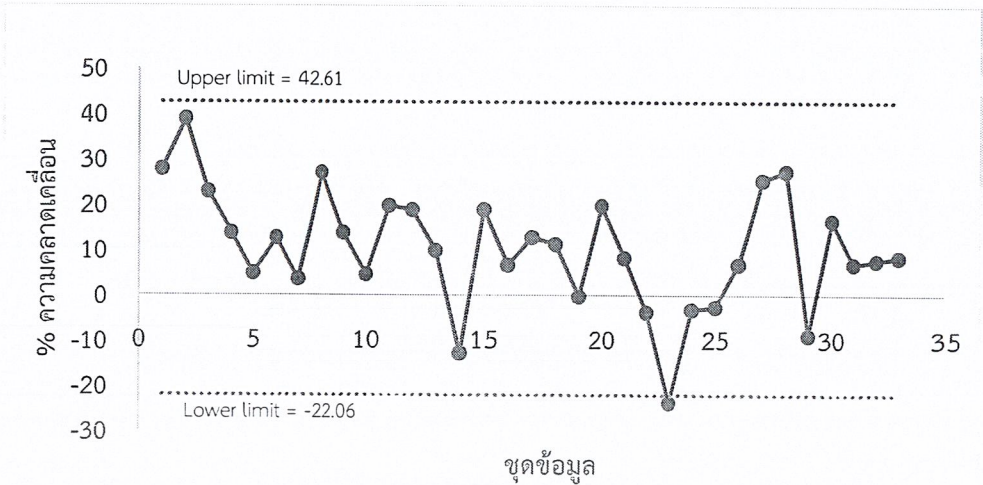
4.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

นำข้อมูล FRC ที่วัดได้จริงกับข้อมูล FRC ที่ได้จากการคำนวณชุดข้อมูลประจำวัน ณ จุดเก็บ A, B, C และ D มาหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

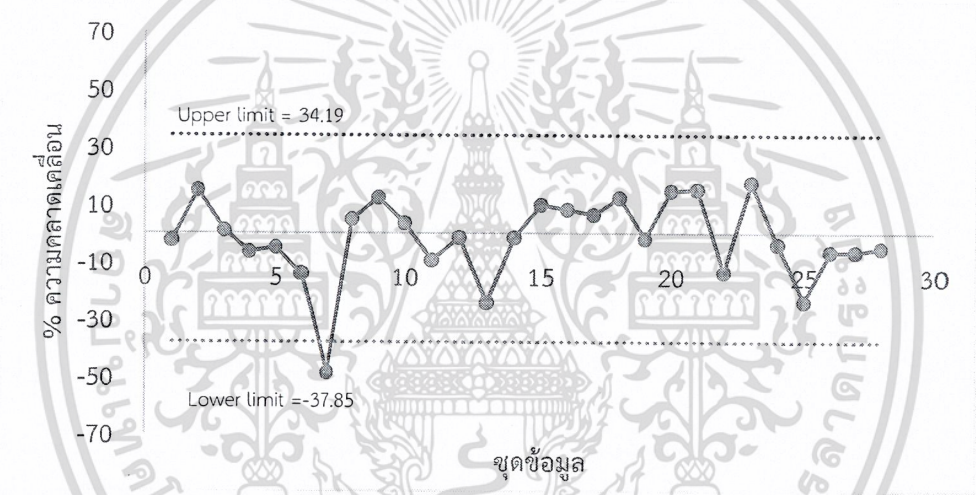


รูปที่ 4.8 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล อยู่ในช่วงที่รับได้คือไม่เกิน +31.55 % และ -32.94 % ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ชุดข้อมูล ณ จุดเก็บ B, C และจุด D อยู่ในช่วงที่รับได้เช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.9-4.11



รูปที่ 4.9 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุด B



รูปที่ 4.10 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C



รูปที่ 4.11 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้ผู้อื่นใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การทดสอบผลทางสถิติโดยการ Modified z-scores

นำเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลประจำวันของแต่ละจุดเก็บ มาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score เพื่อหาช่วงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ โดยมีเกณฑ์การประเมินดังตารางที่ 4.2

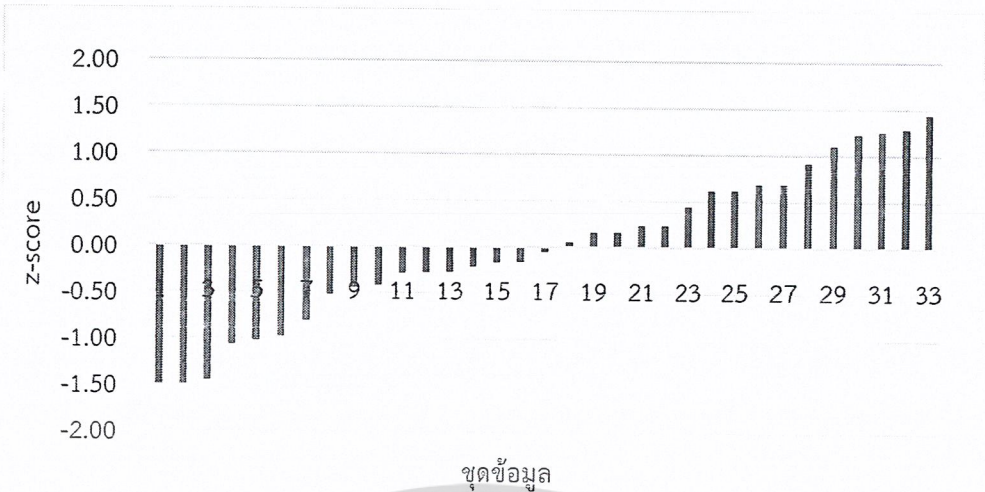
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การประเมินผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score

$ z \leq 2$	ผลประเมินน่าพอใจ
$ z < x < 3$	ผลประเมินยังเป็นปัญหา
$ z \geq 3$	ผลประเมินไม่น่าพอใจ



รูปที่ 4.12 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ A

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า เมื่อนำเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของ ค่า FRC ที่วัดได้ และค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ มาทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ผลปรากฏว่า การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ A อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณของชุดข้อมูล ณ จุดเก็บ B, C และจุด D อยู่ในช่วงที่รับได้เช่นเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4.13-4.15



รูปที่ 4.13 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ B



รูปที่ 4.14 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ C



รูปที่ 4.15 การทดสอบผลทางสถิติโดยวิธีการ Modified z-score ณ จุดเก็บ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

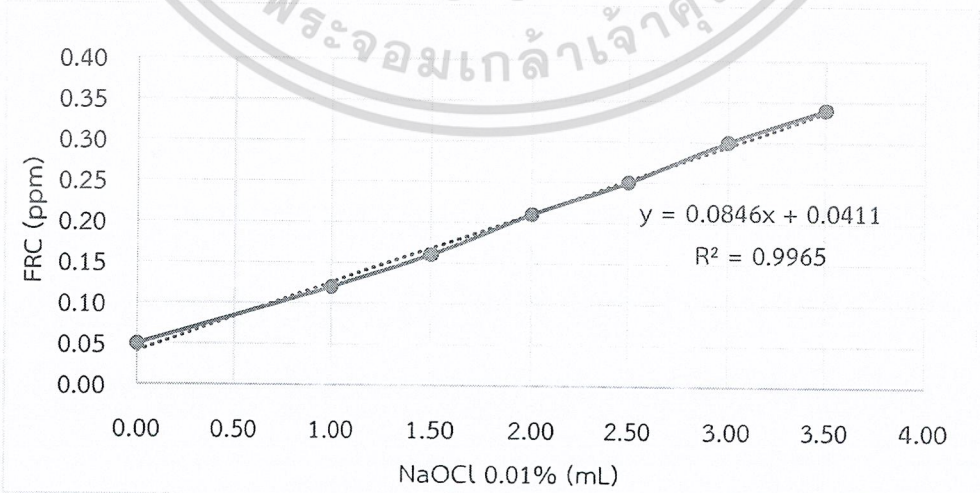
4.5 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสม

ทางโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้มีการควบคุมค่า FRC ใน น้ำ Service Tank (จุด A) และน้ำ Buffer Tank (จุด C) ให้มีค่าอยู่ที่ 0.2-0.3 ppm เพื่อให้มั่นใจว่า ปราศจากเชื้อโรค โดยทางผู้วิจัยได้มีการเก็บน้ำตัวอย่างมาเพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ กับค่า FRC โดยทางผู้วิจัยทำการเก็บน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บ A และจุด เก็บ C มาทำการสังเคราะห์โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ลงไปในน้ำตัวอย่างปริมาณ 1 ลิตร จากนั้นสามารถนำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณที่เหมาะสมในการเติมสารเคมีเพื่อให้ได้ช่วง FRC ที่เหมาะสมได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

Service Tank		
NaOCl (mL)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0.0	0.05	220
1.0	0.12	360
1.5	0.16	446
2.0	0.21	499
2.5	0.25	525
3.0	0.30	554
3.5	0.34	576

จากตารางที่ 4.3 เมื่อนำน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บ A มาทำการสังเคราะห์เพื่อหาค่า FRC โดยการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ความเข้มข้น 0.01% แต่ละ ขวดในปริมาณที่แตกต่างกัน และทำการวัด ค่า FRC จะพบว่าเมื่อเติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในปริมาณที่มากขึ้น ค่า FRC ก็จะมีมากขึ้นเช่นเดียวกัน ชุดข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสมการเส้นตรง ดังแสดงรูปที่ 4.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ NaOCl กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ค่า FRC ที่ต้องการอยู่ในช่วง 0.21-0.30 ppm โดยใช้ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 0.01% 2.0-3.0 mL โดยน้ำที่ไหลจากจุด Treated Tank ไปยังจุด Service Tank แรงดันป้อนน้ำมีขนาดการจ่ายน้ำ = 35 m³/hr หรือ 35,000 L/hr ดังนั้นเราสามารถคำนวณย้อนกลับได้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC

ต้องการค่า FRC ~ 0.20 ppm

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ใช้ NaOCl 0.01% ปริมาณ = 2 mL

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ = 0.01(2)/10 = 0.002 mL หรือ 0.000002 L

ถ้าน้ำตัวอย่าง 35,000 L/hr → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ = 0.000002 L x 35000 L/hr
Stroke = 0.07 L/hr

ต้องการค่า FRC ~ 0.30 ppm

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ใช้ NaOCl 0.01% ปริมาณ = 3 mL

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ 0.01(3)/10 = 0.003mL หรือ 0.000003 L

ถ้าน้ำตัวอย่าง 35,000 L/hr → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ = 0.000003 L x 35000 L/hr
Stroke = 0.11 L/hr

ดังนั้น ณ จุดเก็บ A ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการ อยู่ที่ 0.07-0.11 L/hr ซึ่งผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ณ จุด C ชุดข้อมูลมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นตรงเช่นเดียวกัน เมื่อนำปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C มาคำนวณย้อนกลับผลที่ได้คือ ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการคือ 0.97-1.94 L/hr

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC

จุดเก็บน้ำ	สมการ	R ²	สมการที่
A	y = 0.0846x + 0.0411	0.9965	4.5
C	y = 0.1493x + 0.0532	0.9991	4.6

4.6 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม

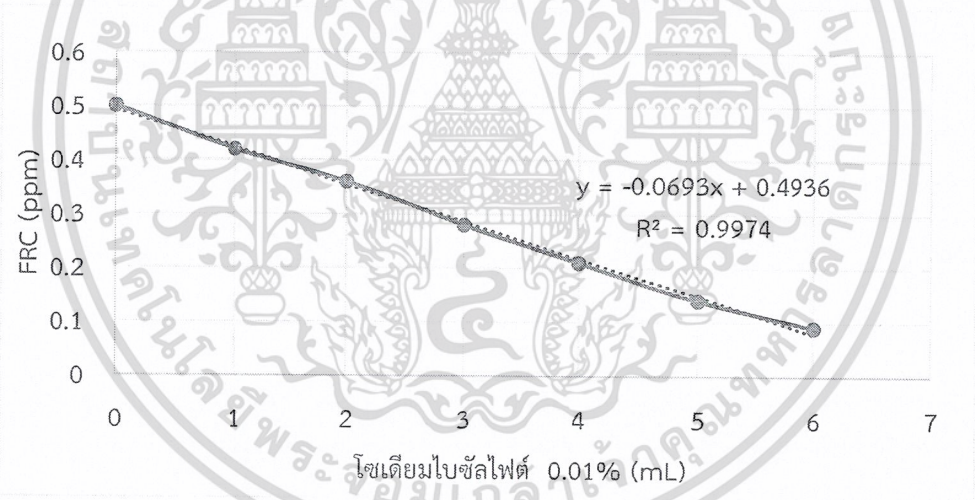
ทางโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ได้มีการควบคุมค่า FRC ในน้ำก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุ (จุด B,D) ให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 ppm เนื่องจากเมมเบรนของ RO ไม่สามารถทนค่าคลอรีนได้ต่ำ หากไม่มีการควบคุมจะทำให้ RO membrane มีอายุการใช้งานที่สั้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้มีการศึกษาปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการ โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำ จุด A และจุด C มาเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ในน้ำตัวอย่างปริมาตร 1 ลิตร และวัดปริมาณ FRC ที่ลดลง นำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการ ได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.4

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

Service Tank		
NaHSO ₃ (mL)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0	0.50	618
1	0.42	599
2	0.36	578
3	0.28	530
4	0.21	468
5	0.14	406
6	0.09	315

จากตารางที่ 4.4 เมื่อนำน้ำตัวอย่างที่มีปริมาณความเข้มข้นของค่า FRC ~ 0.5 ppm มาทำการทดลองโดยเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 0.01 % แต่ละขวดในปริมาณที่แตกต่างกัน และทำการวัดค่า FRC จะพบว่าเมื่อเติมโซเดียมไบซัลไฟต์ในปริมาณที่มากขึ้น ค่า FRC จะมีแนวโน้มลดลง ชุดข้อมูลที่ได้นี้มีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นตรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกสมการเส้นตรง แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์กับค่า FRC

จากตารางที่ ค่า FRC ที่ต้องการให้มีค่าน้อยกว่า 0.1 ppm โดยใช้ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ 0.1% 6 mL. โดยน้ำที่ไหลจาก Service Tank ไปยัง RO Inlet Bag Filter แรงดันปั้มน้ำมีขนาดการจ่ายน้ำ = 20 m³/hr หรือ 20,000 L/hr ดังนั้นเราสามารถคำนวณย้อนกลับได้

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC
ต้องการค่า FRC ~ 0.10 ppm

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ใช้ NaOCl 0.01% ปริมาณ = 6 mL

ในน้ำตัวอย่าง 1 L → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ = 0.01(6)/10 = 0.006 mL หรือ 0.000006 L

ถ้าตัวอย่าง 20,000 L/hr → ต้องใช้ NaOCl 10% ปริมาณ = 0.000006 L x 20000 L/hr

Stroke = 0.12 L/hr

ดังนั้น ณ จุดเก็บ A ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุ อยู่ที่ 0.12 L/hr ซึ่งผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์กับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ณ จุดเก็บ C ก่อนเข้าระบบกรองแร่ธาตุ ชุดข้อมูลมีแนวโน้มเข้าใกล้เส้นตรงเช่นเดียวกัน เมื่อนำปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C มาคำนวณย้อนกลับผลที่ได้คือ ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ต้องการก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุคือ 0.37 L/hr

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ก่อนเข้าสู่ระบบกรองแร่ธาตุ

จุดเก็บน้ำ	สมการ	R ²	สมการที่
A	y=-0.0693x + 0.4936	0.9974	4.7
C	y=-0.2743x + 0.5071	0.9983	4.8

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน และค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ และการศึกษาปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ครั้งนี้สามารถสรุปผลงานวิจัยและมีข้อเสนอแนะเพื่อที่จะทำการศึกษาและวิจัยต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเกิดศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันและค่าคลอรีนอิสระคงเหลือที่ระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 และศึกษาปริมาณสารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรท์และโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมในระบบผลิตน้ำบริสุทธิ์ สามารถสรุปเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

1. ค่า FRC สูงขึ้น ค่า ORP ก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย
2. เมื่อต้องการทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP สามารถใช้สมการที่ 1, 2, 3 และ 4 ในการทำนายได้
3. การคำนวณหาปริมาณสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC ที่ 0.2-0.3 ppm สามารถใช้สมการที่ 5 และ 6 ในการคำนวณ
4. การคำนวณปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมต่อค่า FRC น้อยกว่า 0.1 ppm สามารถใช้สมการที่ 7 และ 8 ในการคำนวณ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ผลการทดลองนี้สามารถใช้ในช่วงคุณภาพน้ำที่ เดือน ตุลาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ควรทำการการศึกษาวิจัยในช่วงคุณภาพน้ำฤดูอื่น เพื่อศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ในน้ำ ที่อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าการเกิดศักยภาพออกซิเดชัน-รีดักชันและค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ
2. สมการความสัมพันธ์ที่ได้อาจยังไม่สามารถนำมาใช้ได้ทันทีเนื่องจากทางผู้วิจัยและทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือยังไม่เคยนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้ ไปทดลองใช้จริงสมการความสัมพันธ์ที่ได้เป็นเพียงการหาแนวโน้มเท่านั้น
3. สำหรับน้ำประปาที่คุณภาพน้ำเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สามารถนำสมการแนวโน้มค่า ORP และค่า FRC ไปใช้ได้
4. ก่อนนำสมการที่ได้ไปใช้ ต้องดูความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP Online กับค่า ORP ที่วัดได้มาเปรียบเทียบ
5. โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ชุดที่ 1 ใช้แก๊สคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค แต่ในการทดลองทางผู้วิจัยใช้คลอรีนน้ำในการทดลอง ดังนั้นไม่สามารถใช้สมการที่ 5 ในการคำนวณหาปริมาณคลอรีนที่เหมาะสมที่จุด Service Tank ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2558. “มลพิษทางน้ำและผลกระทบต่อสุขภาพ.” กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด.

การประปานครหลวง. ม.ป.ป. “เกณฑ์กำหนดคุณภาพน้ำประปา.” กรุงเทพฯ : การประปานครหลวง. เอกสารอัดสำเนา.

จันทร์ตัน วรสรรพวิทย และนวัรัฐ เทศพิทักษ์. ม.ป.ป. “การเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Modified z-scores”. วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. เอกสารอัดสำเนา

ดารินทร์ กิ่งงาม, เบญจรัตน์ นรสิงห์ และนุตรา ตริยะศรี. 2547. “คลอรีน (Chlorine).” การศึกษาการเตรียมหลอดวัดปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำตัวอย่าง. 1(1): 8

ธารรัตน์ ตั้งจิตร์ และคณะ. 2562. “ค่าการนำไฟฟ้ากับการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม.” ฝ่ายมาตรวิทยาเคมีและชีวภาพ. สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ.

ธีรวิทย์ ปู่ฟ้า, ยิ่งเจริญ ศุภกุลรัตน์ และสรพจน์ กนกกันพงษ์. 2548. “ปัญหาคลอรีน คลอไรต์ในน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมและแนวทางการแก้ไข.” มจก.วิชาการ. 8(16 มกราคม – มิถุนายน 2548) : 97-102.

นาฏอนงค์ เจริญสันติสุขและคณะ. 2561. “คลอรีนคงเหลือ และผลกระทบของคลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา.”

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. ม.ป.ป. “การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น”. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. เอกสารอัดสำเนา

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. ม.ป.ป. “ความกระด้าง (Hardness)”. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. เอกสารอัดสำเนา

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. ม.ป.ป. “สภาพด่าง (Alkalinity)”. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม. เอกสารอัดสำเนา

พรชวรณ ศรีนาค. 2559. “การควบคุมมลพิษทางน้ำ”. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ศุภรักษ์ แก้วแสง และคณะ. 2556. “การศึกษาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อจ่ายน้ำประปา”. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์. 2559. “เคมีพื้นฐานของน้ำ”. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

Crittenden. et al. 2005. “Water Treatment Principles and Design”. 2nd ed. John Wiley and Sons : New Jersey.

Jacques M. Steininger and Catherine Pareja. 1996. “ORP SENSOR RESPONSE IN CHLORINATED WATER”. Santa Barbara : NSPI Symposium Series.

Heather Rekalske. n.d. “ORP vs. Free Chlorine”. [Online]. Available : [https://www.awt.org > pub](https://www.awt.org/pub)

North Bangkok Power Plant. n.d. Water treatment plant NBCC-1. [Slide]. Nonthaburi: North Bangkok Power Plant.

North Bangkok Power Plant. n.d. Water treatment plant NBCC-2. [Slide]. Nonthaburi: North Bangkok Power Plant.

Trevor V. 2004. “Oxidation-Reduction Potential (ORP) for water Disinfection Monitoring, Control, and Documentation”. California: University of California.



ภาคผนวก

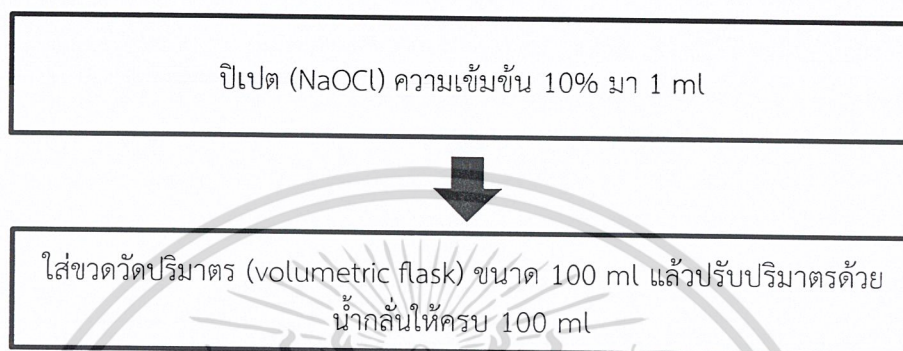
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

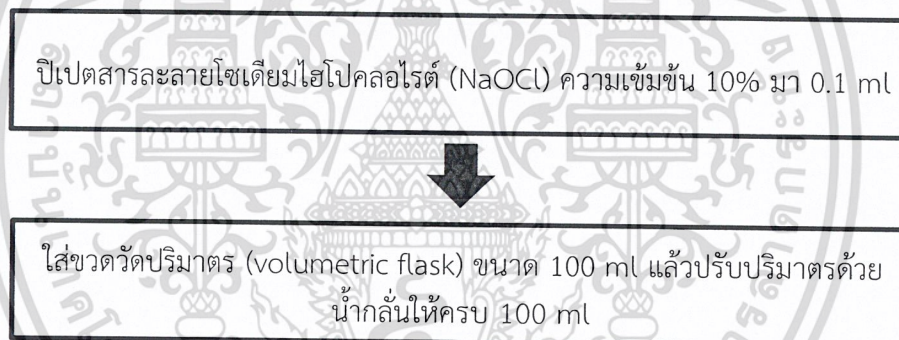
การเตรียมสารเคมี

ก-1 การเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์

1. การเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 0.1%

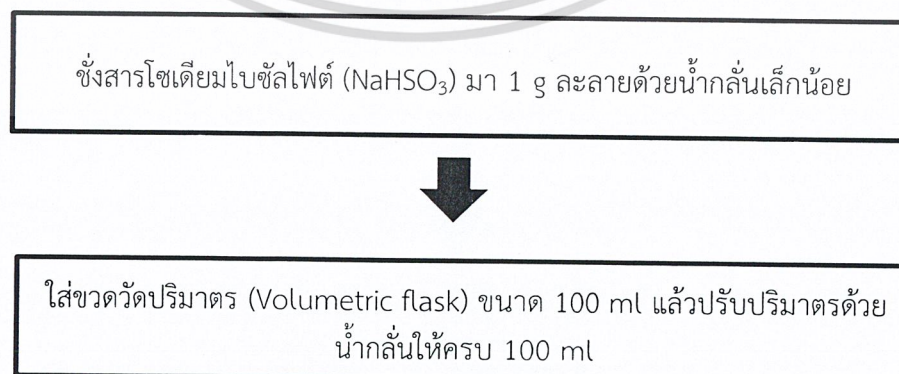


2. การเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) 0.01%



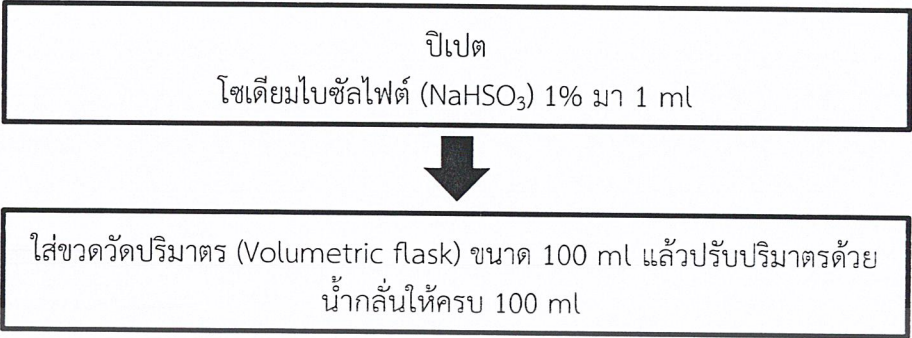
ก-2 การเตรียมโซเดียมไบซัลไฟต์

1. การเตรียมโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO₃) 1%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเตรียมโซเดียมไบซัลไฟต์ (NaHSO_3) 0.01%



ภาคผนวก ข

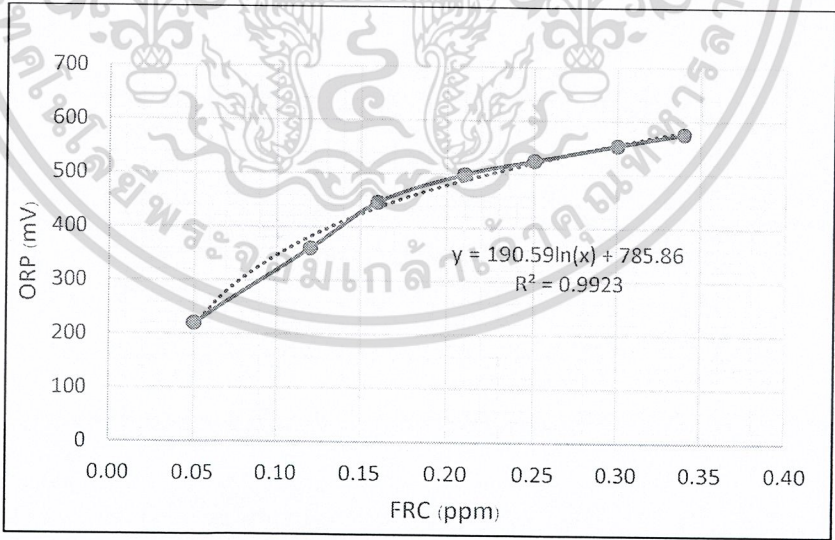
กราฟความสัมพันธ์

ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC

1. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC โดยการเติม ณ จุดเก็บ A

ตารางที่ ข-1 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ A

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.63	240.6	120.3	0.12	0.15
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
80	94	66	12	

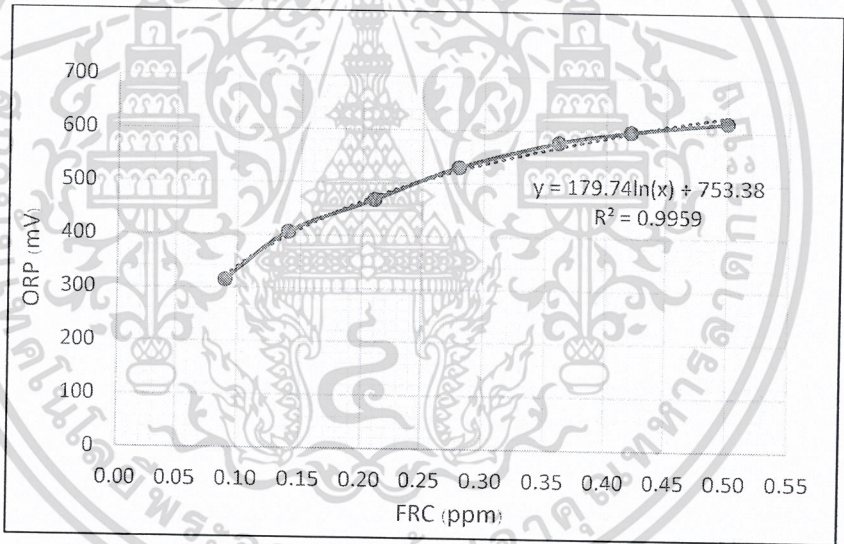


รูปที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A

2. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B

ตารางที่ ข-2 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ B

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.63	240.6	120.3	0.12	0.15
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
80	94	66	12	

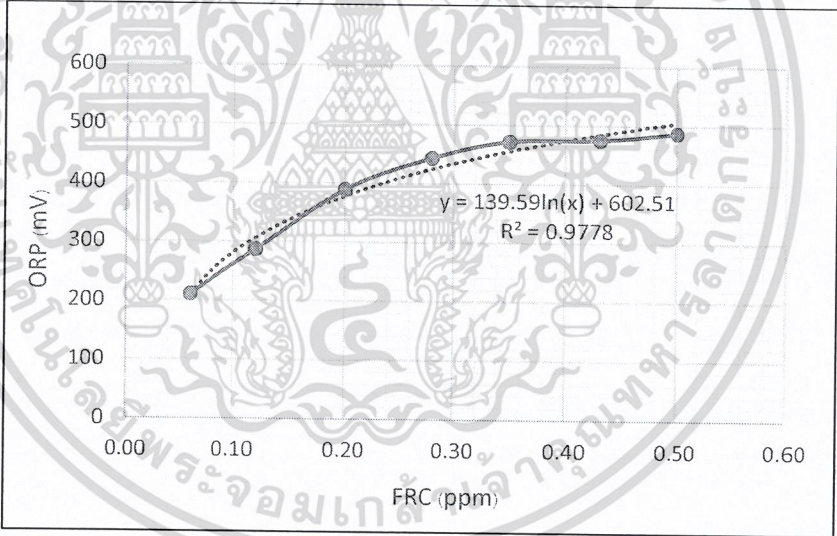


รูปที่ ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บน้ำ B

3. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

ตารางที่ ข-3 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ C

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.55	1524	762.0	0.77	0.24
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
85	200	80	470	

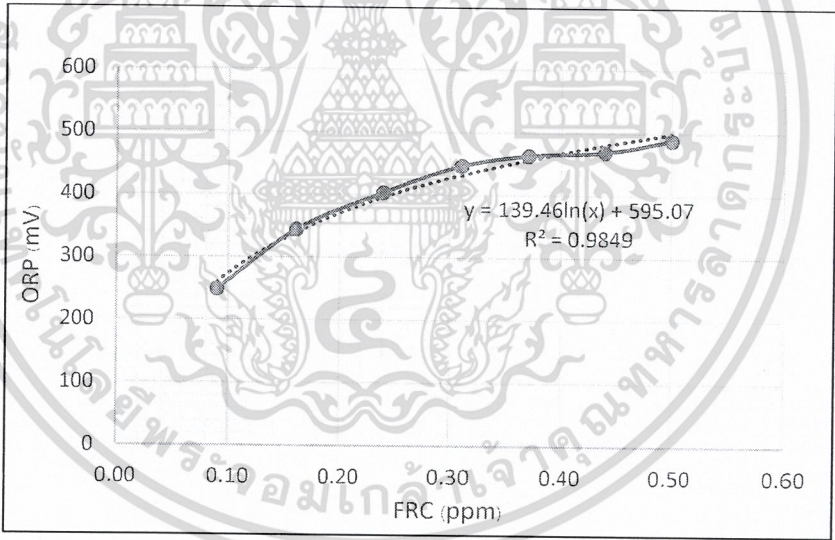


รูปที่ ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

4. ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D

ตารางที่ ข-4 คุณภาพน้ำวันที่ทำการทดลอง ณ จุดเก็บ D

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.55	1524	762.0	0.77	0.24
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
85	200	80	470	

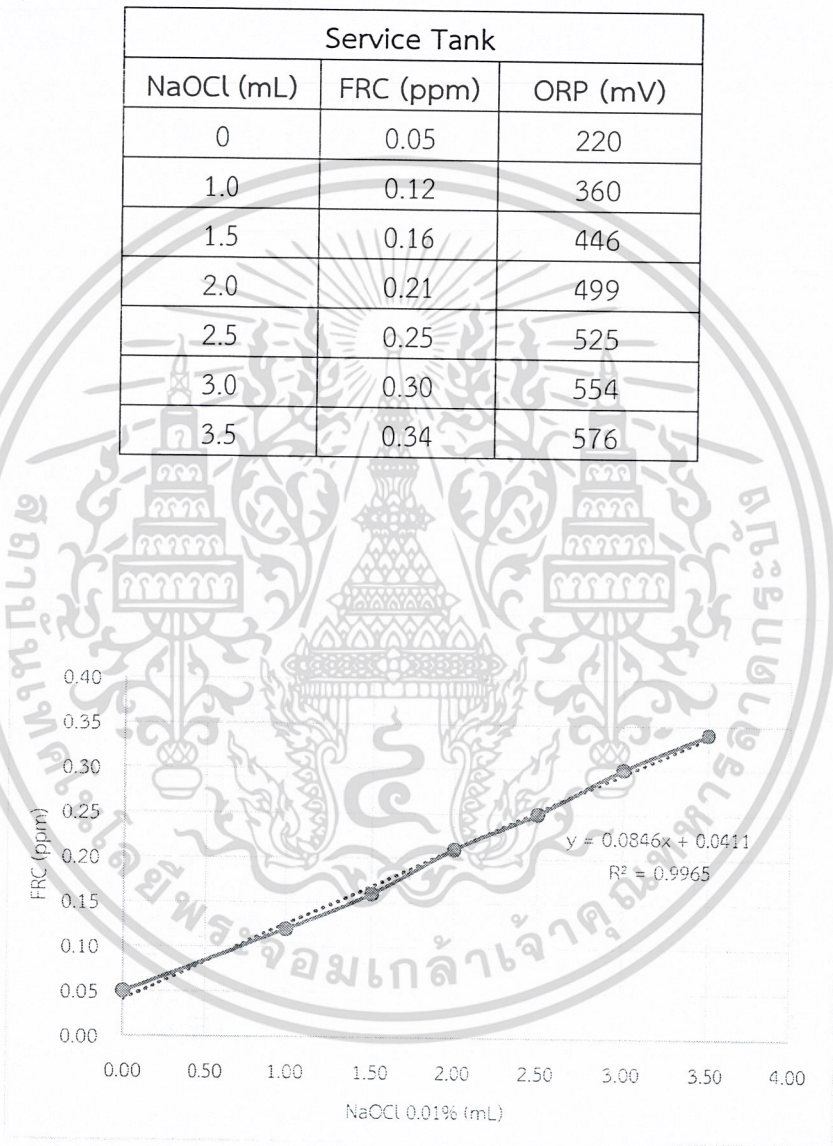


รูปที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D

ข-2 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่เหมาะสม

- 1. ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

ตารางที่ ข-5 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

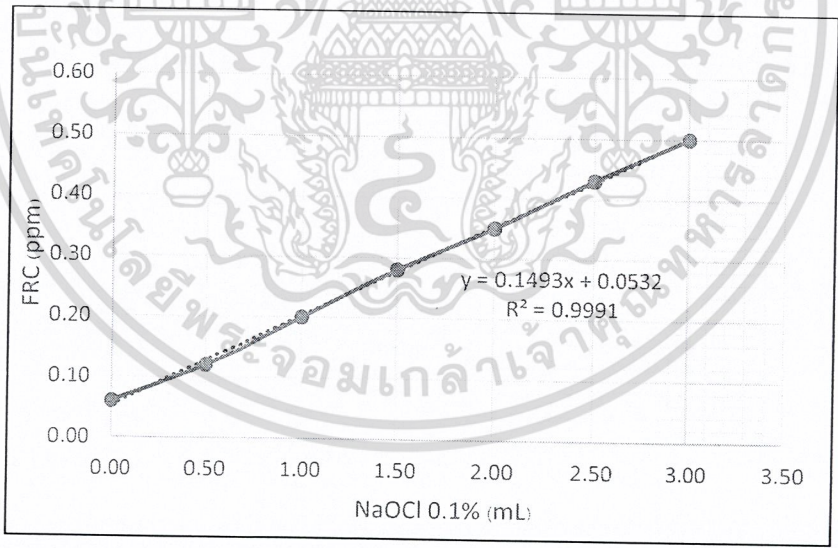


รูปที่ ข-5 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A

2. ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C

ตารางที่ ข-6 ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C

Buffer Tank		
NaOCl (mL)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0	0.06	211
0.5	0.12	287
1.0	0.20	389
1.5	0.28	443.4
2.0	0.35	472.1
2.5	0.43	475.1
3.0	0.50	487.8

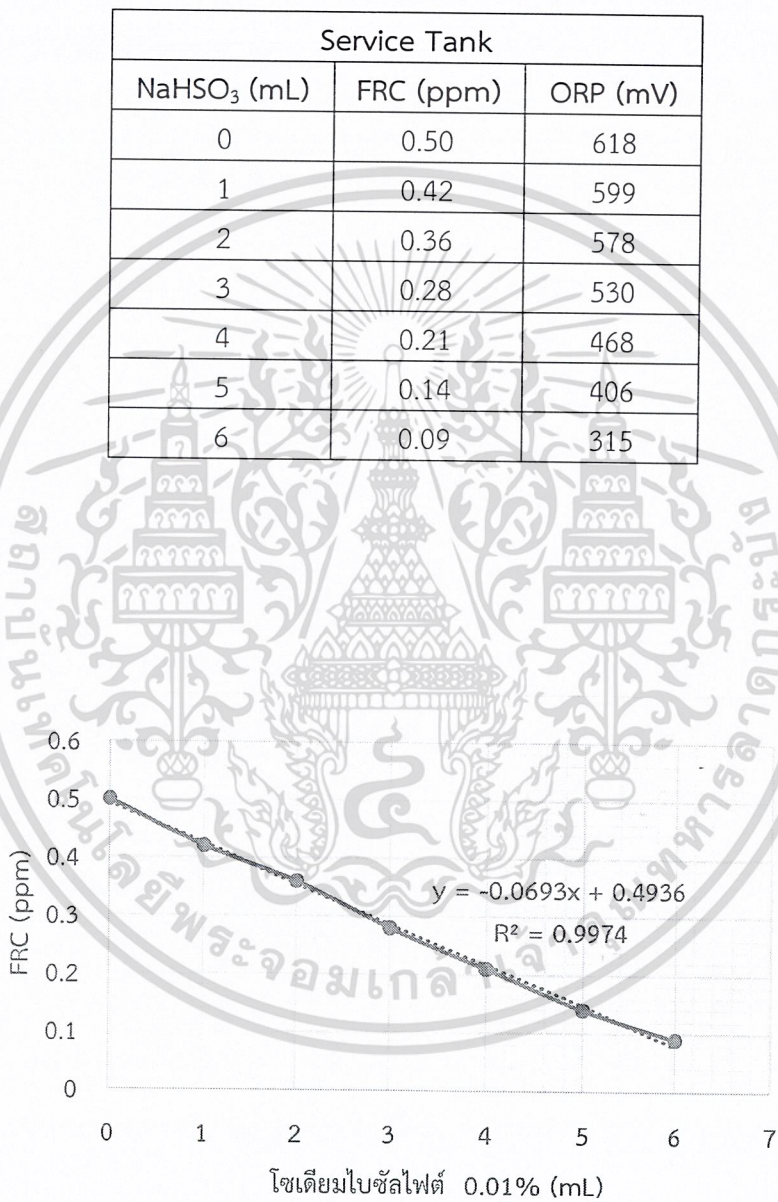


รูปที่ ข-6 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

ข-2 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม

1. ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

ตารางที่ ข-7 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ A

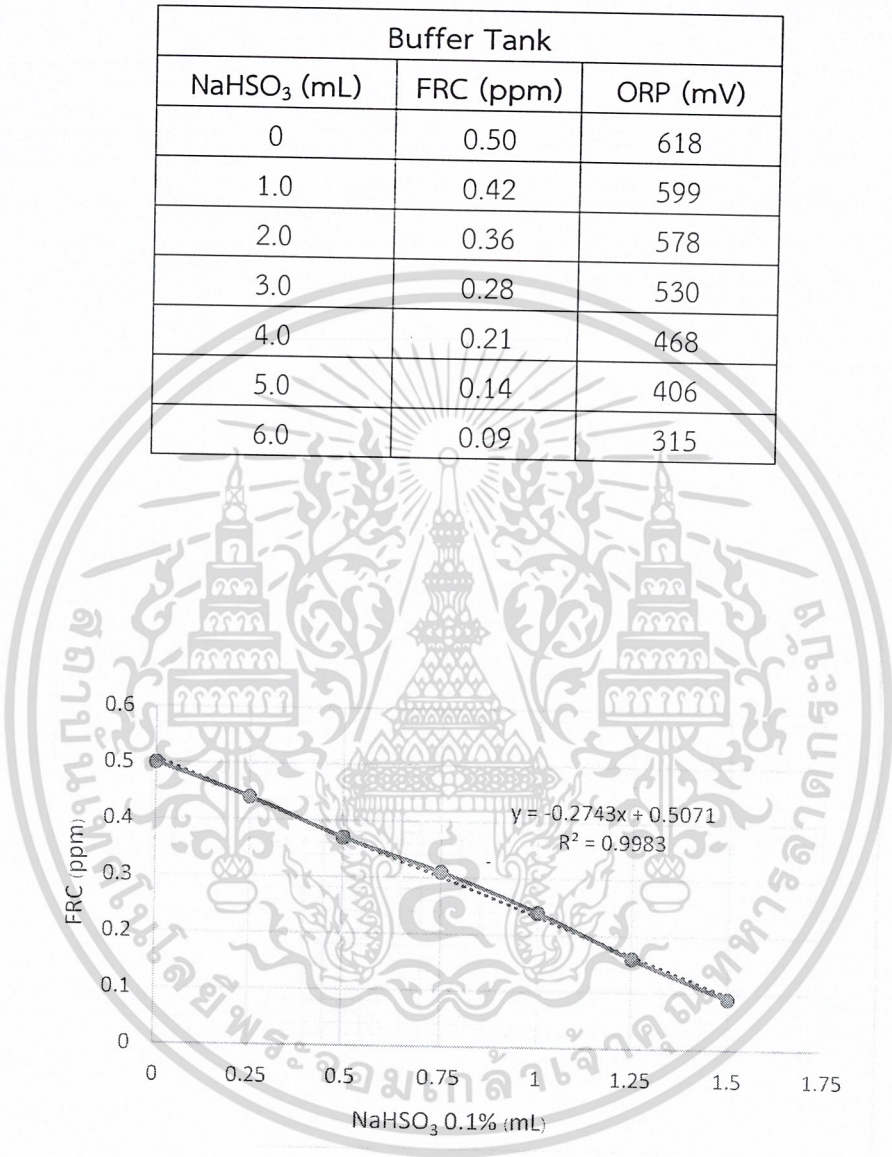


รูปที่ ข-7 ผลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C

ตารางที่ ข-8 ปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์ และค่า FRC ที่ได้จากการทดลอง ณ จุดเก็บ C



รูปที่ ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโซเดียมไบซัลไฟต์กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

ภาคผนวก ค

ข้อมูลผลการทดลอง

ค-1 ข้อมูลประจำวันที่ตรวจวัดของค่า ORP กับค่า FRC

ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 (ตั้งแต่เดือน ตุลาคม - พฤศจิกายน พ.ศ. 2562) โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลออกจาก Service Tank (จุด A) และ RO Inlet Bag Filter (จุด B) โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และทำการเก็บน้ำตัวอย่างจาก Buffer Tank (จุด C) กับจุด RO Outlet Bag Filter (จุด D) โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลประจำวัน ค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
1	351	0.12	7.47	226.5	113.2	0.11	0.17	14
2	307	0.10	7.42	204.3	102.2	0.10	0.11	10
3	342	0.11	7.39	204.9	102.4	0.10	0.11	10
4	341	0.11	7.39	202.8	101.4	0.10	0.16	12
5	354	0.12	7.37	201.8	100.9	0.10	0.12	12
6	344	0.09	7.39	206.5	103.2	0.10	0.15	10
7	349	0.09	7.45	204.2	102.1	0.10	0.17	10
8	327	0.10	7.44	223.3	111.7	0.11	0.17	13
9	407	0.15	7.41	225.0	112.5	0.11	0.17	12
10	378	0.13	7.45	209.6	104.8	0.10	0.12	10
11	454	0.16	7.48	208.7	104.4	0.10	0.15	8
12	459	0.17	7.48	207.6	103.8	0.10	0.12	8
13	511	0.23	7.49	205.6	102.8	0.10	0.17	8
14	525	0.25	7.49	207.6	103.8	0.10	0.14	8
15	489	0.18	7.56	215.7	107.8	0.10	0.13	10
16	474	0.17	7.53	217.5	108.7	0.11	0.11	10
17	459	0.17	7.41	217.4	108.7	0.11	0.10	8
18	411	0.16	7.49	218.7	109.4	0.11	0.10	9
19	423	0.18	7.56	220.5	110.3	0.11	0.18	9
20	440	0.15	7.61	216.2	108.1	0.11	0.18	9
21	341	0.11	7.56	220.6	110.3	0.11	0.13	7
22	351	0.12	7.53	216.7	108.4	0.11	0.12	8

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลประจำวันค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
23	390	390	0.12	7.57	224.1	112.0	0.11	8
24	425	425	0.14	7.60	225.7	112.9	0.11	7
25	471	471	0.16	7.59	225.1	112.5	0.11	7
26	430	430	0.15	7.56	226.2	113.1	0.11	7
27	459	459	0.15	7.63	223.6	111.8	0.11	9
28	493	493	0.19	7.73	222.6	111.3	0.11	9
29	436	436	0.14	7.60	227.2	113.6	0.11	9
30	440	440	0.14	7.60	227.8	113.9	0.11	9
31	398	398	0.11	7.63	242.6	121.3	0.12	11
31	346	346	0.11	7.63	240.6	120.3	0.12	11
33	347	347	0.12	7.64	241.8	120.9	0.13	12
MAX	525	0.25	7.73	242.6	121.3	0.13	0.24	12
AVERAGE	408.24	0.14	7.52	218.5	109.2	0.11	0.14	8.89
MIN	307	0.09	7.37	201.8	100.9	0.10	0.10	7

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลประจำวันค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
1	241	0.08	7.37	209.5	104.7	0.10	0.10	8
2	232	0.09	7.42	207.1	103.5	0.10	0.11	10
3	310	0.11	7.34	209.7	104.9	0.10	0.11	10
4	273	0.08	7.35	209.1	104.5	0.10	0.16	10
5	266	0.07	7.35	204.8	102.4	0.10	0.13	10
6	275	0.08	7.32	211.0	105.5	0.10	0.20	10
7	269	0.07	7.41	208.4	104.2	0.10	0.13	10
8	283	0.10	7.35	234.4	117.2	0.11	0.16	12
9	294	0.09	7.39	228.4	114.2	0.11	0.14	12
10	291	0.08	7.38	215.3	107.6	0.10	0.11	10
11	300	0.10	7.50	212.5	106.2	0.10	0.14	7
12	302	0.10	7.47	210.4	105.2	0.10	0.10	7
13	302	0.09	7.46	208.6	104.3	0.10	0.14	7
14	297	0.07	7.45	209.1	104.5	0.10	0.13	7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลประจำวันค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
15	283	0.09	7.56	218.9	109.4	0.11	0.12	7
16	287	0.08	7.52	222.8	111.4	0.11	0.11	7
17	315	0.10	7.31	224.6	112.4	0.11	0.08	9
18	318	0.10	7.37	219.1	109.6	0.11	0.12	9
19	340	0.10	7.64	218.4	109.2	0.11	0.19	8
20	300	0.10	7.52	216.6	108.3	0.11	0.15	8
21	284	0.08	7.61	222.2	111.1	0.11	0.17	8
22	306	0.08	7.56	220.8	110.5	0.11	0.14	8
23	286	0.06	7.53	231.0	115.5	0.11	0.12	6
24	281	0.07	7.55	227.1	113.5	0.11	0.13	6
25	304	0.08	7.55	230.4	115.2	0.11	0.20	6
26	308	0.09	7.56	227.2	113.6	0.11	0.19	6
27	287	0.10	7.67	227.9	114.0	0.11	0.10	8
28	282	0.10	7.65	226.3	113.1	0.11	0.09	6
29	263	0.06	7.66	230.8	115.4	0.11	0.10	11
30	267	0.08	7.56	229.6	114.8	0.11	0.11	10
31	287	0.08	7.60	246.7	123.3	0.12	0.12	12
32	285	0.08	7.61	245.1	122.5	0.12	0.13	13
33	284	0.08	7.61	243.8	121.9	0.12	0.14	11
MAX	340	0.11	7.67	246.7	123.3	0.12	0.20	13
AVERAGE	288	0.09	7.49	221.4	110.7	0.11	0.13	8.36
MIN	232	0.06	7.31	204.8	102.4	0.10	0.08	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลประจำวันค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
1	321	0.13	7.54	320.4	160.2	0.15	0.16	20
2	295	0.13	7.52	323.6	161.1	0.16	0.32	20
3	293	0.11	7.47	295.0	147.5	0.14	0.14	20
4	275	0.09	7.55	288.9	144.4	0.14	0.14	20
5	273	0.09	7.52	285.9	143.0	0.14	0.13	20
6	336	0.13	7.42	303.8	151.9	0.15	0.20	19
7	322	0.09	7.43	307.3	153.7	0.15	0.22	19
8	274	0.10	7.56	345.0	172.5	0.17	0.20	26
9	288	0.12	7.43	354.1	177.0	0.17	0.17	26
10	323	0.14	7.40	364.3	182.2	0.18	0.15	27
11	319	0.12	7.44	379.0	189.5	0.18	0.22	26
12	330	0.14	7.40	384.3	192.1	0.19	0.17	26
13	280	0.08	7.46	330.3	165.1	0.16	0.14	20
14	252	0.08	7.48	339.4	169.7	0.16	0.24	22
15	292	0.12	7.43	345.0	172.5	0.17	0.25	22
16	269	0.10	7.47	346.5	173.2	0.17	0.18	22
17	257	0.09	7.42	343.9	172.0	0.17	0.24	21
18	276	0.11	7.44	347.3	173.6	0.17	0.27	23
19	269	0.09	7.52	344.3	172.2	0.17	0.26	23
20	272	0.11	7.47	354.4	177.2	0.17	0.12	23
21	258	0.10	7.43	354.4	177.2	0.17	0.11	23
22	249	0.07	7.44	358.9	179.5	0.17	0.13	24
23	254	0.10	7.47	366.0	183.0	0.18	0.10	26
24	255	0.08	7.48	367.5	183.7	0.18	0.10	26
25	261	0.07	7.49	366.1	183.1	0.18	0.11	25
26	275	0.09	7.54	1039.0	519.0	0.51	0.10	202
27	275	0.09	7.59	1012.0	505.9	0.50	0.10	192
28	288	0.10	7.57	994.6	497.3	0.49	0.12	190
MAX	336	0.14	7.59	1039.0	519.0	0.51	0.32	202
AVERAGE	283	0.10	7.48	412.9	206.4	0.20	0.17	55.25
MIN	249	0.07	7.40	285.9	143.0	0.14	0.10	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลประจำวันค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	pH	Cond. (µs/cm)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)
1	321	0.13	7.50	327.9	163.9	0.16	0.12	20
2	295	0.13	7.41	327.2	163.6	0.16	0.15	20
3	293	0.11	7.43	308.6	154.3	0.15	0.13	20
4	275	0.09	7.48	298.3	149.1	0.14	0.15	20
5	273	0.09	7.49	295.5	147.7	0.14	0.13	20
6	336	0.13	7.38	308.7	154.4	0.15	0.19	19
7	322	0.09	7.33	312.9	156.5	0.15	0.14	19
8	274	0.10	7.54	351.4	175.7	0.17	0.16	30
9	288	0.12	7.34	357.1	178.5	0.17	0.12	30
10	323	0.14	7.30	370.6	185.3	0.18	0.15	26
11	319	0.12	7.39	374.5	187.3	0.18	0.19	26
12	330	0.14	7.34	384.4	192.2	0.19	0.16	26
13	280	0.08	7.42	349.1	174.5	0.17	0.18	22
14	252	0.08	7.37	349.1	174.6	0.17	0.15	20
15	292	0.12	7.41	351.1	175.8	0.17	0.14	20
16	269	0.10	7.38	348.5	174.3	0.17	0.17	22
17	257	0.09	7.40	348.4	174.2	0.17	0.12	21
18	276	0.11	7.48	348.7	174.4	0.17	0.14	22
19	269	0.09	7.39	347.8	173.9	0.17	0.18	22
20	272	0.11	7.45	375.3	187.6	0.18	0.09	23
21	258	0.10	7.39	367.6	183.8	0.18	0.13	23
22	249	0.07	7.43	364.3	182.2	0.18	0.10	23
23	254	0.10	7.43	378.9	189.5	0.18	0.11	25
24	255	0.08	7.40	372.5	186.3	0.18	0.13	25
25	261	0.07	7.41	373.2	186.6	0.18	0.11	25
26	275	0.09	7.43	1132.0	554.9	0.55	0.18	220
27	275	0.09	7.42	1110.0	554.9	0.55	0.15	224
28	288	0.10	7.44	1084.0	541.9	0.54	0.17	210
MAX	251	0.11	7.54	1132.0	554.9	0.55	0.19	224
AVERAGE	229.20	0.09	7.41	429.2	214.21	0.21	0.14	59.19
MIN	204	0.06	7.30	295.5	147.7	0.14	0.09	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค-2 ข้อมูล Chlorine Profile ที่ตรวจวัดของค่า ORP กับค่า FRC

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยทำการเก็บน้ำตัวอย่างที่ไหลออกจาก Service Tank (จุด A) และ RO Inlet Bag Filter (จุด B) โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และทำการเก็บน้ำตัวอย่างจาก Buffer Tank (จุด C) กับจุด RO Outlet Bag Filter (จุด D) โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อทำการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชันรีดักชันกับค่าคลอรีนอิสระคงเหลือ ณ ตัวอย่างที่มีคุณภาพน้ำชุดเดียวกัน

ตารางที่ ค-5 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ A

Time (min)	ORP (mV)	FRC (ppm)
0	419	0.16
10	431	0.17
20	441	0.17
30	441	0.17
40	449	0.18
50	450	0.18
60	450	0.18
70	451	0.18
80	451	0.18
90	451	0.19
100	451	0.19
110	452	0.19
120	453	0.19
130	453	0.19
140	452	0.19
150	451	0.18
160	451	0.19
170	450	0.18
180	450	0.18
MAX	453.00	0.19
AVERAGE	447.21	0.18
MIN	419.00	0.16

ตารางที่ ค-6 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ B

Time (min)	ORP (mV)	FRC (ppm)
0	344	0.10
10	344	0.09
20	345	0.10
30	345	0.10
40	346	0.09
50	346	0.10
60	345	0.10
70	345	0.10
80	345	0.10
90	345	0.11
100	346	0.10
110	346	0.10
120	346	0.11
130	346	0.09
140	346	0.10
150	346	0.10
160	346	0.09
170	346	0.11
180	346	0.11
MAX	346.00	0.11
AVERAGE	345.47	0.10
MIN	344.00	0.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-7 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ C

Time (min)	ORP (mV)	FRC (ppm)
0	270	0.08
10	272	0.08
20	273	0.08
30	274	0.08
40	275	0.08
50	277	0.09
60	280	0.09
70	282	0.10
80	283	0.10
90	283	0.10
100	283	0.10
110	284	0.10
120	284	0.10
130	284	0.10
140	285	0.10
150	286	0.10
160	288	0.11
170	289	0.11
180	293	0.11
MAX	293	0.11
AVERAGE	281.316	0.10
MIN	270	0.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-8 ข้อมูล Chlorine Profile ของค่า ORP กับค่า FRC ณ จุดเก็บ D

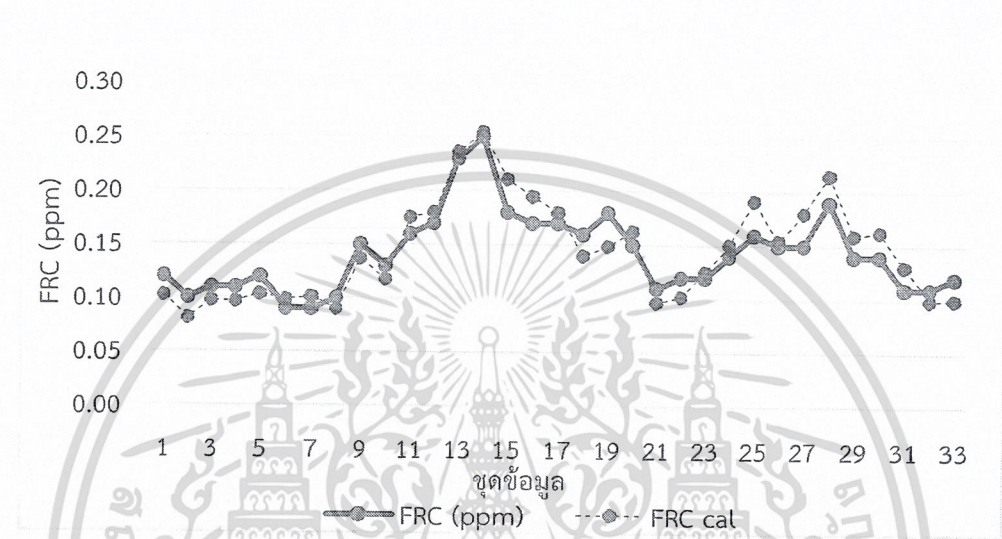
Time (min)	ORP (mV)	FRC (ppm)
0	218	0.06
10	218	0.06
20	195	0.05
30	169	0.05
40	167	0.05
50	164	0.05
60	162	0.05
70	162	0.05
80	165	0.05
90	168	0.05
100	174	0.05
110	178	0.06
120	176	0.06
130	176	0.05
140	176	0.06
150	206	0.06
160	213	0.06
170	222	0.07
180	232	0.08
MAX	232	0.08
AVERAGE	186.3684211	0.06
MIN	162	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

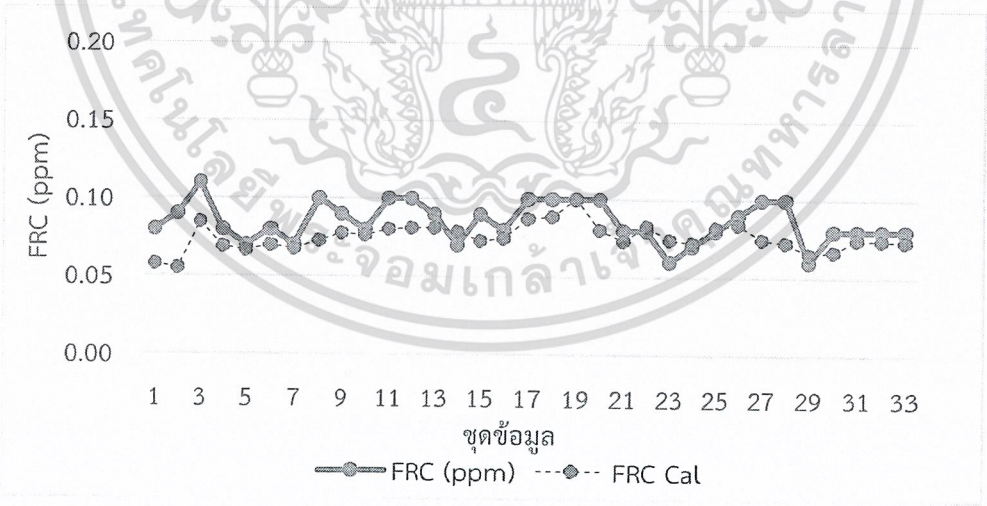
ภาคผนวก ง

การคำนวณผลการทดลอง

ง-1 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ชุดข้อมูลประจำวัน

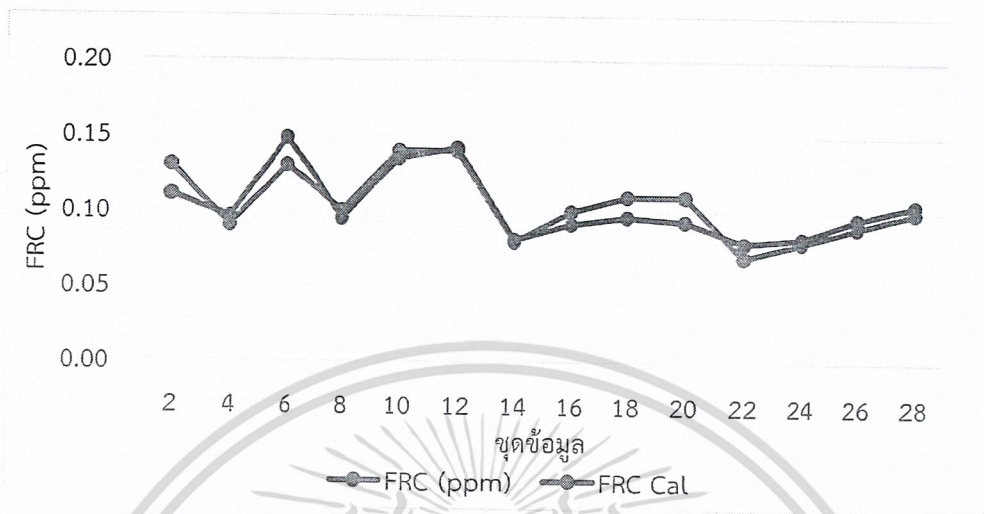


รูปที่ ง-1 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A

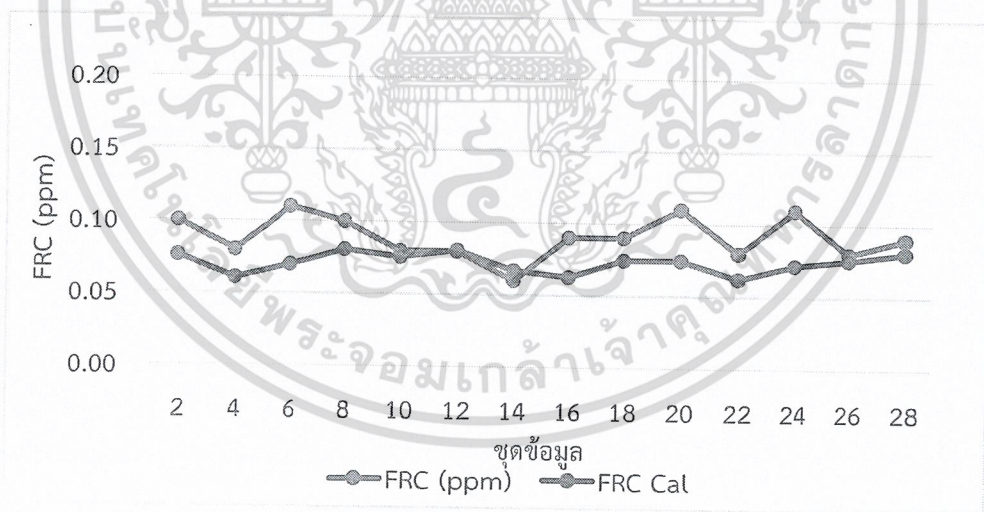


รูปที่ ง-2 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-3 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C



รูปที่ ง-4 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D

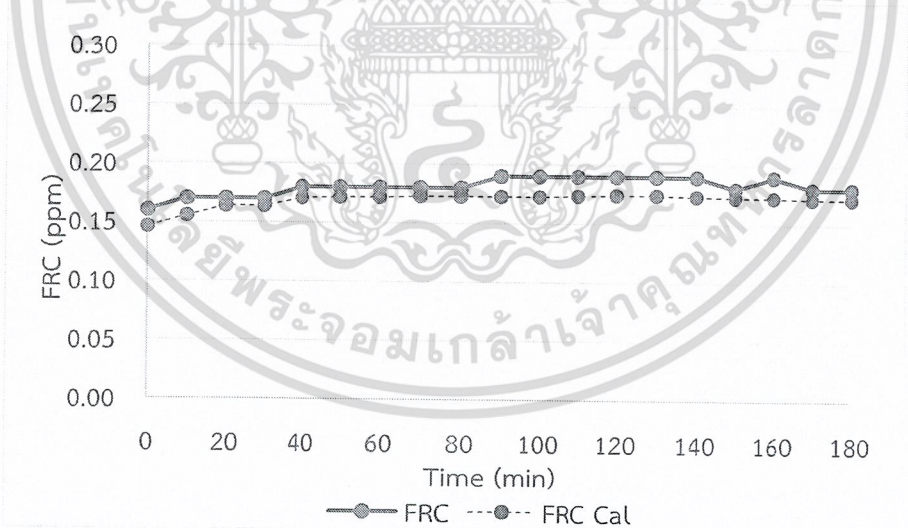
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-2 แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้ชุดข้อมูลของ Chlorine Profile

1. แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ชุดข้อมูล Chlorine Profile ณ จุดเก็บ A

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ A

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.75	227.7	113.8	0.11	0.10
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
93	103	70	13	



รูปที่ ง-5 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่คำนวณได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ชุดข้อมูล Chlorine Profile ณ จุดเก็บ B

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ B

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.61	230	115.3	0.11	0.11
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
90	112	71	13	



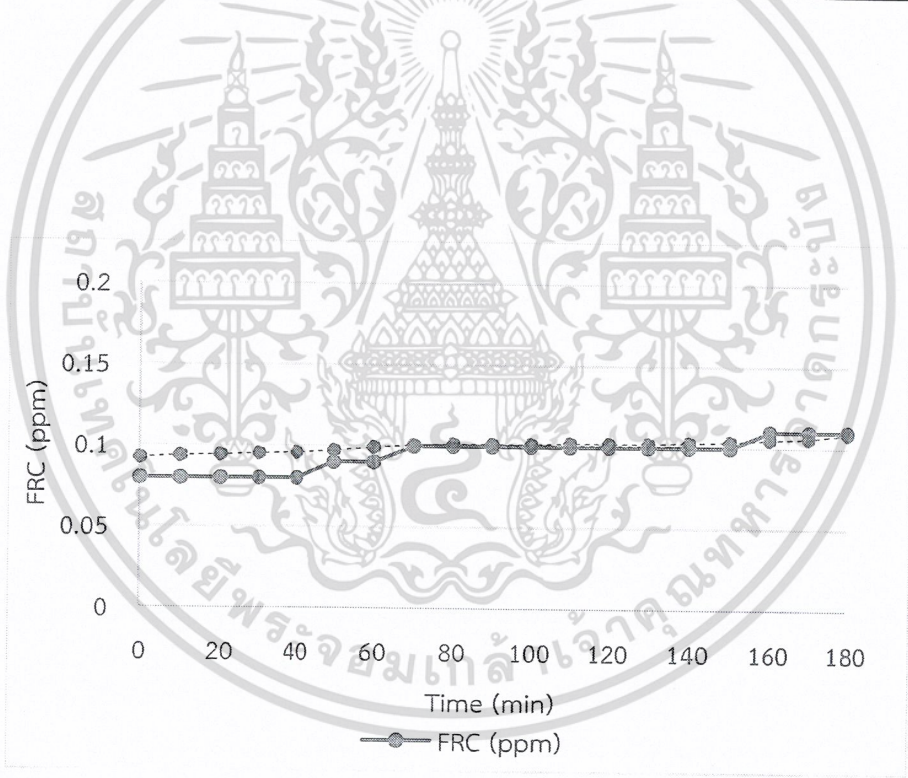
รูปที่ ง-6 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่คำนวณได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ชุดข้อมูล Chlorine Profile ณ จุดเก็บ C

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ C

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.28	9478	4739	5.31	0.19
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
118	974	184	2900	



รูปที่ ง-7 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่คำนวณได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แนวโน้มค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ชุดข้อมูล Chlorine Profile ณ จุดเก็บ D

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ จุดเก็บ D

pH	Cond. uS/cm	TDS mg/L	Salinity psu	Turbidity NTU
7.28	9478	4739	5.31	0.19
Alkaline mg/L	Hardness mg/L	Calcium mg/L as Ca	Chloride mg/L	
118	974	184	2900	



รูปที่ ง-8 แนวโน้ม ค่า FRC ที่วัดได้กับค่า FRC ที่ค่าได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-3 การหาค่า FRC ที่วัดได้ กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ % ความคลาดเคลื่อน =
$$\frac{\text{ค่า FRC ที่วัดได้} - \text{ค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ}}{\text{ค่า FRC ที่วัดได้}} \times 100$$

ตารางที่ ง-5 ตัวอย่างการหาค่า FRC ที่วัดได้ กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	FRC cal (ppm)	% ความคลาดเคลื่อน
1	351	0.12	0.10	14.90
2	307	0.10	0.08	18.94
3	342	0.11	0.10	11.45
4	341	0.11	0.10	11.91
5	354	0.12	0.10	13.55
6	344	0.09	0.10	-9.37
7	349	0.09	0.10	-12.28
8	327	0.10	0.09	9.97
9	407	0.15	0.14	8.67
10	378	0.13	0.12	9.50
11	454	0.16	0.18	-9.57
12	459	0.17	0.18	-5.86
13	511	0.23	0.24	-2.79
14	525	0.25	0.25	-1.78
15	489	0.18	0.21	-17.02
16	474	0.17	0.19	-14.53
17	459	0.17	0.18	-5.86
18	411	0.16	0.14	12.56
19	423	0.18	0.15	17.23
20	440	0.15	0.16	-8.59
21	341	0.11	0.10	11.91
22	351	0.12	0.10	14.90
23	390	0.12	0.13	-4.42
24	425	0.14	0.15	-7.54
25	471	0.16	0.19	-19.79
26	430	0.15	0.15	-3.04
27	459	0.15	0.18	-19.98
28	493	0.19	0.22	-13.22
29	436	0.14	0.16	-13.93

ตารางที่ ค-1 การหาค่า FRC ที่วัดได้ กับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ ณ จุดเก็บ A (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ORP (mV)	FRC (ppm)	FRC cal (ppm)	% ความคลาดเคลื่อน
30	440	0.14	0.16	-16.35
31	398	0.11	0.13	-18.79
32	346	0.11	0.10	9.57
33	347	0.12	0.10	16.67



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองทางสถิติ

จ-1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score

1. นำข้อมูลทั้งหมด (X_i) มาเรียงจากค่าน้อยไปหามากเพื่อหาค่ามัธยฐาน (คือค่าเริ่มต้นของการคำนวณ Robust Mean (μ) ข้อมูลที่ $(n+1)/2$ สำหรับจำนวนข้อมูลที่เป็นเลขคี่)

2. ค่ามัธยฐานที่ได้นำไปคำนวณค่า Absolute Deviation ของ X_i

$$\text{จากสูตร } |X_i - \text{Median}(X_i)|$$

3. นำค่ามาเรียงจากน้อยไปหามากเพื่อหา Median Absolute Deviation (MAD)

4. นำค่า MAD ที่ได้มาคำนวณหา Robust Standard Deviation (σ)

$$\text{จากสูตร } \sigma = \text{MAD}/0.6746$$

5. นำค่า σ มากำหนด Cut - Off เพื่อปรับค่า X_i ใหม่ โดย

ถ้า $X_i < \mu - 1.5\sigma$ ให้แทน X_i ด้วย $\mu - 1.5\sigma$

ถ้า $X_i > \mu + 1.5\sigma$ ให้แทน X_i ด้วย $\mu + 1.5\sigma$

6. นำข้อมูลทั้งหมดมาหาเฉลี่ยเพื่อหาค่า New μ

$$\text{จากสูตร } \text{New } \mu = \sum_{i=1}^p X_i/p$$

7. นำค่า Cut - Off ที่ได้มาปรับค่า X_i ซ้ำอีกครั้ง โดยใช้เงื่อนไขเดิม

$$\text{New } \mu - 1.5\sigma$$

$$\text{New } \mu + 1.5\sigma$$

8. นำค่า Cut - Off ที่ได้มาปรับค่า X_i ซ้ำอีกครั้ง โดยใช้เงื่อนไขเดิม

$$\text{New } \mu - 1.5\sigma$$

$$\text{New } \mu + 1.5\sigma$$

9. นำข้อมูลที่ได้เข้าการคำนวณแบบวนซ้ำ (Iterative Calculation) ตามขั้นตอน 6, 7, 8 จนมั่นใจว่าค่า New μ ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก

10. นำค่า New μ ที่ได้มาคำนวณค่า Modified z - score ของแต่ละจุดเก็บน้ำได้

$$\text{จากสูตร } MZ = \frac{X_i - \mu}{\sigma}$$

ตารางที่ จ-1 ตัวอย่างการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Modified z-score ณ จุดเก็บ A

ชุดข้อมูล	X_i	$ X_i - \text{MEDAIN} $	X_i	z-score
27	-19.98	16.93	-19.98	-0.91
25	-19.79	16.75	-19.79	-0.90
31	-18.79	15.75	-18.79	-0.84
15	-17.02	13.98	-17.02	-0.75
30	-16.35	13.31	-16.35	-0.71
16	-14.53	11.49	-14.53	-0.61
29	-13.93	10.89	-13.93	-0.58
28	-13.22	10.17	-13.22	-0.54
7	-12.28	9.23	-12.28	-0.49
11	-9.57	6.52	-9.57	-0.35
6	-9.37	6.33	-9.37	-0.34
20	-8.59	5.55	-8.59	-0.30
24	-7.54	4.50	-7.54	-0.24
12	-5.86	2.82	-5.86	-0.15
17	-5.86	2.82	-5.86	-0.15
23	-4.42	1.38	-4.42	-0.07
26	-3.04	0.00	-3.04	0.00
13	-2.79	0.25	-2.79	0.01
14	-1.78	1.27	-1.78	0.07
9	8.67	11.71	8.67	0.63
10	9.50	12.54	9.50	0.67
32	9.57	12.61	9.57	0.67
8	9.97	13.01	9.97	0.70
3	11.45	14.49	11.45	0.77
4	11.91	14.96	11.91	0.80
21	11.91	14.96	11.91	0.80
18	12.56	15.61	12.56	0.83
5	13.55	16.60	13.55	0.89
1	14.90	0.00	14.90	0.96
22	14.90	17.95	14.90	0.96
33	16.67	19.71	16.67	1.05
19	17.23	20.27	17.23	1.08
2	18.94	21.98	18.94	1.18
MEDAIN	-3.04	12.61	-3.04	
σ	18.70			
$1.5 \cdot \sigma$			28.05	
MEDAIN-($1.5 \cdot \sigma$)			-31.09	
MEDAIN+($1.5 \cdot \sigma$)			25.01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่อย่างกรณีใด N ingsin อีกที่ห้ามมี 33 ติดแบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้