

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณคลอรีนอิสระและค่า
ความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำหล่อเย็น
โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ

THE RELATIONSHIP OF THE FREE RESIDUAL CHLORINE
(FRC) AND THE OXIDATION-REDUCTION POTENTIAL
(ORP) IN COOLING TOWER WATER AT
NORTH BANGKOK POWER PLANT



จิราวรรณ ปาณลักษณ์
รัตดาวรรณ จุลทองไสย
วรรณนภา ไชยงามพานิช

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดต่อหรือแก้ไขเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจำปีการศึกษา 2562

THE RELATIONSHIP OF THE FREE RESIDUAL CHLORINE
(FRC) AND THE OXIDATION-REDUCTION POTENTIAL
(ORP) IN COOLING TOWER WATER 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ACADEMIC YEAR 2019 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณคลอรีนอิสระและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำหล่อเย็นโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ

The Relationship of the Free Residual Chlorine (FRC) and the Oxidation - Reduction Potential (ORP) in Cooling Tower Water at North Bangkok Power Plant

ชื่อนักศึกษา

นางสาว จีราวรรณ ปาณลักษณ์ รหัสนักศึกษา 59050541
นางสาว รัตดาวรรณ จุลทองไสย รหัสนักศึกษา 59050603
นางสาว วรณนภา ไชยงามพานิช รหัสนักศึกษา 59050606

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2562

คณะ

วิทยาศาสตร์

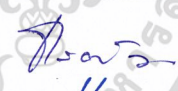

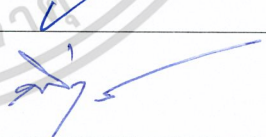
มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
นาย ญัฐ โต๊ะสัมฤทธิ์ กรรมการ	
ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้จบเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังใช้เป็นเครื่องมือและสื่ออ้างอิงถึงผลของการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อสหกิจศึกษา	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณคลอรีนอิสระและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำหล่อเย็นโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจีราวรรณ ปาณลักษณ์ รหัสประจำตัว 59050541 นางสาวรัตดาวรรณ จุลทองไสย รหัสประจำตัว 59050603 นางสาววรรณภา ไชยงามพานิช รหัสประจำตัว 59050606
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2562
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กลั่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณคลอรีนอิสระ (Free Residual Chlorine: FRC) และค่าศักยภาพในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential: ORP) ของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยกำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด แบ่งเป็น 2 ชุด โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 (Block 1) ได้แก่ Cooling Outlet Condenser (A), Bleed off (D) และโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 (Block 2) ได้แก่ Cooling Outlet Condenser Train 21 (B) และ Cooling Outlet Condenser Train 22 (C) และ Bleed off (E) ตรวจวัดค่า ORP, FRC และพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และ ORP จากผลการทดลองพบว่า FRC และ ORP มีความสัมพันธ์เป็นไปในทางเดียวกัน เมื่อทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และ ORP เป็นสมการลอการิทึม $y = m \ln(x) + c$ โดยทุกสมการมีค่า R^2 เข้าใกล้ 1 พบว่าได้สมการ $y = 172.04 \ln(x) + 562.95$ ที่จุด A, สมการ $y = 117.93 \ln(x) + 534.17$ ที่จุด B, สมการ $y = 149.12 \ln(x) + 627.51$ ที่จุด C, สมการ $y = 168.41 \ln(x) + 527.5$ ที่จุด D และสมการ $y = 149.85 \ln(x) + 523.71$ ที่จุด E คำนวณหาค่า Z-Score โดยใช้ความสัมพันธ์สมการลอการิทึมของคลอรีนโปรไฟล์ Cooling Outlet Condenser จำนวน 3 จุด คือ จุด A, B และ C ผลการศึกษาพบว่า ณ จุดเก็บ A และ B ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำในแต่ละช่วงเวลามีผลต่อความน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง FRC และ ORP ในขณะที่จุด C ข้อมูลเชื่อถือได้

คำสำคัญ : สหกิจศึกษา, การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, คลอรีนอิสระ, ความสามารถการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของโครงการสหกิจศึกษาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่แจ้งออกซิเดชัน-รีดักชันเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	The Relationship of the Free Residual Chlorine (FRC) and the Oxidation-Reduction Potential (ORP) in Cooling Tower Water at North Bangkok Power Plant		
Students	Miss Jeerawan Panlak	Student ID 59050541	
	Miss Ratdawan Julthongsai	Student ID 59050603	
	Miss Wannapa Chaingampanich	Student ID 59050606	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2019		
Advisor	Glinsukol Suwannarat		

Abstract

The objective of this study was investigated the relationship between Free Residual Chlorine (FRC) and the Oxidation-Reduction Potential (ORP) of the water from the cooling tower system, North Bangkok Power Plant. The water sample were collected at 5 points which are divided into 2 blocks. North Bangkok Power Plant Block 1 consists of Cooling Outlet Condenser (A), Bleed off (D). North Power Plant Block 2 consists of Cooling Outlet Condenser Train 21 (B), Cooling Outlet Condenser Train 22 (C) and Bleed off (E). FRC, ORP and related parameters were measured. The result were indicated that the relationships between FRC and ORP were in the same direction. The graph of the relationship between FRC and ORP is a logarithmic equation $y = m\ln(x) + c$, where every equation has R^2 approaches 1. The results revealed that the equation $y = 172.04\ln(x) + 562.95$ was obtained at point A, the equation $y = 117.93\ln(x) + 534.17$ was obtained at point B, the equation $y = 149.12\ln(x) + 627.51$ was obtained at point C, the equation $y = 168.41\ln(x) + 527.5$ was obtained at point D and the equation $y = 149.85\ln(x) + 523.71$ was obtained at point E. The Z-Score were examined by using the logarithm relation of chlorine profile from cooling outlet condenser at 3 points (point A, B and C). The result of shown that at the point A and B water quality factors in each period had an effect on the reliability of the equation between FRC and ORP while at point C was reliable.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: Cooperative Education, Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT),
Free Residual Chlorine, Oxidation-Reduction Potential



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาเรื่องศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณคลอรีนอิสระและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำจากระบบหอหล่อเย็น โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ มีความสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ดร.กลินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ อาจารย์ประจำสาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ที่ให้ข้อเสนอแนะ การตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอนทำให้รายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบสหกิจศึกษา ผศ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ที่ได้ให้ข้อเสนอแนะ วิจารณ์ผล เพื่อปรับปรุงรวมทั้งแก้ไขรูปเล่มให้สมบูรณ์มากขึ้น ขอขอบพระคุณ คุณบัวแก้ว สุขไสว, คุณณัฐ โต๊ะสัมฤทธิ์ และคุณจุติมา อินธิชิต ที่ได้ให้คำปรึกษาและควบคุมดูแลตลอดช่วงเวลาสหกิจศึกษาและขอขอบคุณทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยที่เอื้อเฟื้อสถานที่ และเครื่องมือในการวิเคราะห์ที่เป็นประโยชน์ต่อรายงานสหกิจศึกษาเล่มนี้ และขอขอบคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับอุปกรณ์ และเครื่องมือในการวิจัยขอขอบคุณครอบครัวที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และ ให้กำลังใจตลอดมา

ทางผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาจากทุกท่านที่กล่าวนามมา รวมถึงผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึง และขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

จิรวรรณ	ปานลักษณ์
รัตดาวรรณ	จุลทองไสย
วรรณภา	ไชยงามพานิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ข้อมูลโรงไฟฟ้า.....	3
2.1.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1.....	4
2.1.2 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2.....	5
2.2 ระบบหล่อเย็น.....	6
2.2.1 หลักการทำงานของหอหล่อเย็น.....	7
2.2.2 ชนิดของหอหล่อเย็น.....	7
2.2.3 สมดุลของระบบน้ำหล่อเย็น.....	10
2.2.4 การเกิดตะกรัน.....	10
2.2.5 ป้องกันการเกิดตะกรัน.....	11
2.2.6 การกัดกร่อน.....	12
2.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.3.1 สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity).....	14
2.3.2 ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve Solid, TDS).....	15
2.3.3 ความเค็มของน้ำ (Salinity).....	15
2.3.4 พีเอช (pH).....	16
2.3.5 ค่าความขุ่นของน้ำ (Turbidity).....	16
2.3.6 น้ำเสีย.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
2.3.7 น้ำทิ้ง	16
2.3.8 คลอไรด์	18
2.4 คลอรีน (Chlorine, Cl ₂)	18
2.4.1 คลอรีนอิสระที่หลงเหลือ (Free Residual Chlorine, FRC)	19
2.5 ศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP)	24
2.6 ปัญหาความขุ่นและสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)	27
2.7 หลักการทางสถิติสำหรับวิเคราะห์ผลการศึกษา	28
2.8 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	32
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	32
3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ	32
3.1.2 สารเคมี	32
3.2 วิธีการทดลอง	32
3.2.1 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง	32
3.2.2 การวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระ	34
3.2.3 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน	35
3.2.4 การหาปริมาณคลอไรด์โดยวิธี Argentometric	35
3.2.5 คำนวณหาปริมาณคลอไรด์	35
3.2.6 การทำคลอรีนโปรไฟล์ (Chlorine Profile)	36
3.2.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	36
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ	38
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ในระบบน้ำหล่อเย็น	40
4.3 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC _{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC _{cal})	42
4.3.1 ศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และ ORP	42
4.3.2 Chlorine Profile	49
4.4 การหาความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลและประเมินผลโดยใช้วิธีทางสถิติ	51
4.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน	51
4.4.2 การทดสอบผลทางสถิติจากการหาค่า Z-Score โดยวิธี Algorithm A	52

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	55
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	55
เอกสารอ้างอิง.....	56
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59
ภาคผนวก ข.....	65
ภาคผนวก ค.....	95
ภาคผนวก ง.....	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ.....	3
2.2 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม.....	4
2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่1.....	4
2.4 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่2.....	5
2.5 หลักการทำงานของหอหล่อเย็น.....	7
2.6 หอหล่อเย็นแบบธรรมชาติ (Natural Draft Cooling Tower).....	8
2.7 หอหล่อเย็นแบบบังคับทางลม (Force Draft).....	8
2.8 หอหล่อเย็นแบบชักนำลม (Induced Draft) แบบ Counter Flow.....	9
2.9 หอหล่อเย็นแบบชักนำลม (Induced Draft) แบบ Cross Flow.....	9
2.10 การเกิดตะกอนของหินปูนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน.....	10
2.11 ผลึกของหินปูน (CaCO ₃).....	11
2.12 ปฏิริยาการกัดกร่อน.....	12
2.13 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก.....	13
2.14 การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม.....	13
2.15 การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยคลอไรด์.....	14
2.16 ผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอไรด์อิสระคงที่.....	20
2.17 แสดงผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอไรด์อิสระคงที่เหลือ.....	21
2.18 โครงสร้างเซ็นเซอร์ ORP	24
2.19 เครื่องมือวัด ORP แบบพกพาอย่างง่าย.....	26
3.1 แผนภาพผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2.....	32
3.2 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย.....	37
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด A.....	39
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด B.....	39
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด C.....	39
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด D.....	40
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด E	40
4.6 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP แต่ละจุดเก็บ.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

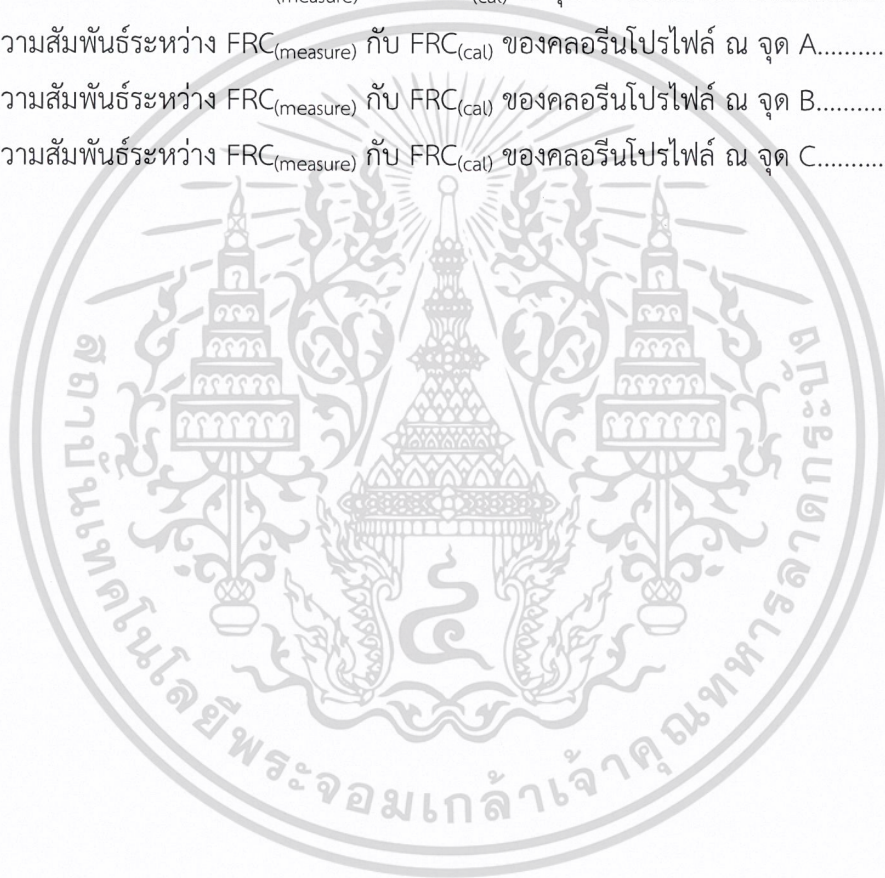
สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจาก สมการ(FRC_{cal}) ณ จุด A.....	43
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจาก สมการ(FRC_{cal}) ณ จุด B.....	44
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจาก สมการ(FRC_{cal}) ณ จุด C.....	46
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจาก สมการ(FRC_{cal}) ณ จุด D.....	47
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจาก สมการ(FRC_{cal}) ณ จุด E.....	48
4.12 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A.....	49
4.13 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B.....	50
4.14 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C.....	50
4.15 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} ณ จุด A.....	51
4.16 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} ณ จุด B.....	51
4.17 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} ณ จุด C.....	52
4.18 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A Chlorine ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A.....	53
4.19 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A Chlorine ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B.....	53
4.20 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A Chlorine ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C.....	54
ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด A.....	60
ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด B.....	61
ก-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด C.....	62
ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด D.....	63
ก-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด E.....	64
ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{\text{(measure)}}$ และ $FRC_{\text{(cal)}}$ ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน.....	77
ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{\text{(measure)}}$ และ $FRC_{\text{(cal)}}$ ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน.....	78
ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{\text{(measure)}}$ และ $FRC_{\text{(cal)}}$ ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน.....	80
ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{\text{(measure)}}$ และ $FRC_{\text{(cal)}}$ ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน.....	82
ข-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน.....	83
ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน.....	84
ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด D หลังเติมคลอรีน.....	86
ข-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน.....	87
ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด E หลังเติมคลอรีน.....	89
ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ กับ $FRC_{(cal)}$ ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A.....	91
ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ กับ $FRC_{(cal)}$ ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B.....	92
ข-13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ กับ $FRC_{(cal)}$ ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C.....	93



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	34
4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ณ จุดเก็บน้ำต่าง ๆ.....	42
4.2 เกณฑ์การประเมินผลทางสถิติโดยวิธี Algorithm A.....	52
ก-1 คุณภาพน้ำ ณ จุด A.....	60
ก-2 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด A.....	60
ก-3 คุณภาพน้ำ ณ จุด B.....	61
ก-4 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด B.....	61
ก-5 คุณภาพน้ำ ณ จุด C.....	62
ก-6 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด C.....	62
ก-7 คุณภาพน้ำ ณ จุด D.....	63
ก-8 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด D.....	63
ก-9 คุณภาพน้ำ ณ จุด E.....	64
ก-10 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด E.....	64
ข-1 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน.....	65
ข-2 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน.....	66
ข-3 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน.....	67
ข-4 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน.....	68
ข-5 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน.....	69
ข-6 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน.....	70
ข-7 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน.....	71
ข-8 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด D ไม่เติมคลอรีน.....	72
ข-9 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน.....	73
ข-10 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E ไม่เติมคลอรีน.....	74
ข-11 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน.....	77
ข-12 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน.....	79
ข-13 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ข-14 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน.....	81
ข-15 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน.....	83
ข-16 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน.....	84
ข-17 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน.....	85
ข-18 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด D หลังเติมคลอรีน.....	86
ข-19 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน.....	87
ข-20 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ _(measure) , FRC จากการคำนวณ _(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E หลังเติมคลอรีน.....	89
ข-21 คุณภาพน้ำ ณ จุด A.....	91
ข-22 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A.....	92
ข-23 คุณภาพน้ำ ณ จุด B.....	92
ข-24 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B.....	93
ข-25 คุณภาพน้ำ ณ จุด C.....	93
ข-26 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C.....	94
ง-1 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ณ จุด A.....	97
ง-2 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ณ จุด B.....	99
ง-3 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ณ จุด A.....	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
FRC	ค่าคลอรีนอิสระ (Free Residual Chlorine)
ORP	ความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential)
FRC _(cal)	ค่าคลอรีนอิสระที่ได้จากการคำนวณ (Calculation)
FRC _(measure)	ค่าคลอรีนอิสระที่ได้จากการวัด (Measurement)
Demin	น้ำปราศจากไอออน (Demineralized water)
pH	ค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรดและด่าง
TDS	ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด
$\mu\text{S/cm}$	ไมโครซีเมนต์ต่อเซนติเมตร
Treated Tank	ถังบรรจุน้ำที่ออกจากระบบ Micro Filtration
mg/L	มิลลิกรัมต่อลิตร
ppm	หนึ่งในล้านส่วน
mV	มิลลิโวลต์
Service Tank	ถังบรรจุน้ำประปา
μm	ไมโครเมตร, ไมครอน
CEDI	ระบบการกำจัดประจุด้วยไฟฟ้า (Continuous Electrode Deionization)
PSU	หน่วยวัดความเค็ม (Practical Salinity Units)
NTU	หน่วยวัดความขุ่น (Nephelometric Turbidity Units)
N	จำนวนกรัมสมมูลของสารในสารละลาย 1 ลิตร(นอร์มอล)
ml	มิลลิลิตร
X _{pt}	ค่าเฉลี่ยโรบัสต์
σ_{pt}	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโรบัสต์
Z-Score	คะแนนมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือหน่วยงานในสังกัดการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (Combined Cycle System) ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงเพียงชนิดเดียวในการผลิตไฟฟ้า โดยแบ่งเป็นโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 โรงไฟฟ้าทั้ง 2 ชุด ทำงานโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซในเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นแหล่งพลังงานต่อเพลลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และมีอีกหนึ่งแหล่งพลังงานที่ใช้เป็นต้นกำเนิดในการผลิตกระแสไฟฟ้าคือ ใช้น้ำบริสุทธิ์ที่ได้มาจากน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงหรือน้ำที่ปราศจากแร่ธาตุ (Demineralized water) ที่ผลิตจากโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือไปต้มในหม้อน้ำจนเกิดเป็นไอบริสุทธิ์ที่มีพลังงานความร้อนและแรงดันสูงเพียงพอและใช้ไอร้อน (Hot Air) ที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการผลิตไอน้ำที่เครื่องผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Heat Recovery Steam Generator, HRSG) เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนไอน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจากเครื่องกังหันไอน้ำจะถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำอีกครั้งโดยผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) และใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำหล่อเย็นแล้วจึงนำไปผ่านหอหล่อเย็น (Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิก่อนจะปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยาอีกครั้งและกำหนดให้มีอุณหภูมิต่างจากแม่น้ำเจ้าพระยาไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส เป็นไปตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินซึ่งกำหนดให้น้ำทิ้งที่ปล่อยออกต้องไม่ทำให้อุณหภูมิของแหล่งน้ำเพิ่มขึ้นเกิน 3 องศาเซลเซียส

ระบบหล่อเย็นเป็นกระบวนการสำคัญในการกำจัดความร้อนส่วนเกิน ปัญหาที่พบในการเดินระบบหล่อเย็นส่วนใหญ่ ได้แก่ การกัดกร่อน การเกิดตะกอน และการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ดังนั้นโรงไฟฟ้าทั่วไปมักแก้ไขปัญหาเหล่านี้ด้วยการเติมสารเคมีเพิ่มเติมเข้าไปในน้ำหล่อเย็นเพื่อยับยั้งปัญหาต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งส่งผลทำให้ปริมาณของแข็งละลายน้ำในระบบสูงขึ้น และความเข้มข้นของไอออนบางชนิดที่เป็นค่าควบคุมของระบบหล่อเย็นมีค่าสูงขึ้น เช่น แคลเซียม คลอไรด์ ความกระด้าง และซิลิกา เป็นต้น โดยเฉพาะคลอไรด์ไอออนจากสารเคมีที่ใช้ควบคุมจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบคลอรีน ทำให้ต้องเพิ่มอัตราการระบายน้ำทิ้งเพื่อควบคุมความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน อีกทั้งยังทำให้เกิดสารพลอยได้จากการฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ วนเวียนอยู่ในระบบหล่อเย็น ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษาครั้งนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP โดยควบคุมการปริมาณคลอรีนอิสระในน้ำหล่อเย็นโดยทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ และใช้น้ำหล่อเย็นจริงจากโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 การระบายน้ำจากโรงไฟฟ้าลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยามีความสำคัญที่จะต้องควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระ (Free Residue Chlorine, FRC)

ในน้ำให้มีค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.5-1 ส่วนในล้านส่วน เพื่อเป็นไปตามการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ โดยอ้างอิงจากประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานและประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากจะส่งผลต่อคุณภาพน้ำและสิ่งมีชีวิตในแม่น้ำเจ้าพระยา ดังนั้นโรงไฟฟ้าพระนครเหนือต้องควบคุมปริมาณการเติมคลอรีนให้มีค่าคงที่มากที่สุด

ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าพระนครเหนือสามารถทราบค่า FRC ได้โดยใช้หลักการ Spectrophotometry ปัญหาที่พบ คือ ค่า FRC มีปริมาณไม่คงที่ หรือไม่อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับคุณภาพน้ำของแม่น้ำเจ้าพระยาตามฤดูกาล, ค่า pH, ความขุ่น, ค่าการนำไฟฟ้า และค่าคลอไรด์ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และ ORP เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการเติมคลอรีนที่เหมาะสมในระบบน้ำหล่อเย็นที่สูบน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในโรงไฟฟ้าพระนครเหนือต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ของน้ำจากระบบหล่อเย็นโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ออกมาในรูปแบบของสมการ
- 2) สามารถนำสมการมาใช้ตรวจสอบค่า FRC ได้ตลอดเวลาโดยผ่านเครื่อง Monitoring Online
- 3) ควบคุมค่าปริมาณคลอรีนอิสระในระบบหล่อเย็น และน้ำปล่อยออกให้มีค่าคงที่และอยู่ในมาตรฐานสิ่งแวดล้อมไม่เกินที่กฎหมายกำหนด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ในระบบหล่อเย็น (Cooling tower) ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยใช้ระยะเวลาในการศึกษาเป็นเวลา 2 เดือน (ตุลาคม-พฤศจิกายน 2562) ใช้ห้องปฏิบัติการของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 เป็นสถานที่ในการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ค่า FRC และ ORP ต่อเนื่องตลอดเวลาที่ทำการศึกษา
- 2) นำสมการความสัมพันธ์ไปประยุกต์ใช้หาค่าคลอรีนอิสระที่เหมาะสม
- 3) ใช้ทำนายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องมาจากค่า FRC ที่ปล่อยออกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ มีประวัติความเป็นมาเคียงคู่กับ “การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย” (กฟผ.) เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติจากแหล่งสหภาพเมียนมาร์ (ฝั่งตะวันตก) และแหล่งอ่าวไทย (ฝั่งตะวันออก) เริ่มดำเนินการก่อสร้างเมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ.2549 ทำพิธีเปิดอย่างเป็นทางการในเดือนกันยายน พ.ศ.2553 และตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2547-2558 จึงได้มีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 ขึ้นตามสถานการณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยที่สูงขึ้นโดยได้รับอนุมัติโครงการฯ จากคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ.2555 และได้จ่ายไฟเข้าระบบเชิงพาณิชย์เมื่อวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2559

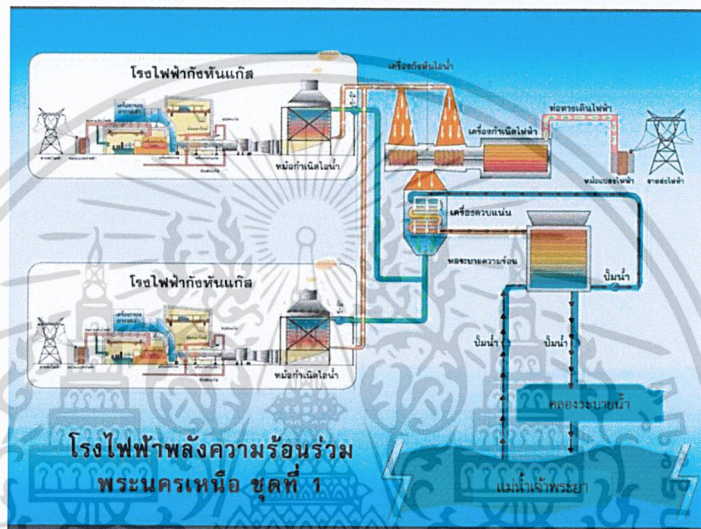


รูปที่ 2.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2562)

โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ เป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combined Cycle System) ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงชนิดเดียวในการผลิตไฟฟ้า ทำงานโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงก๊าซในเครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นแหล่งพลังงานต่อเพลาเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และใช้ไอร้อน (Hot Air) ที่ออกจากเครื่องกังหันก๊าซเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการผลิตไอน้ำที่เครื่องผลิตไอน้ำแรงดันสูง (Heat Recovery Steam Generator, HRSG)

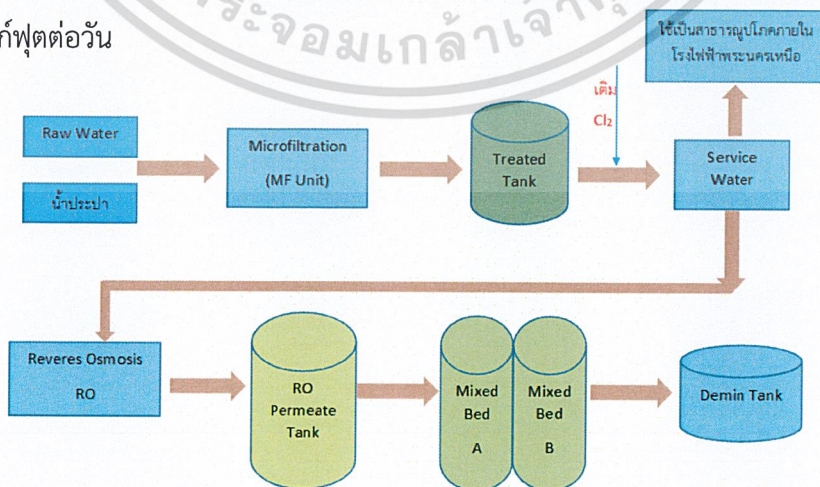
เพื่อขับเคลื่อนเครื่องกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การนำความร้อนที่เหลือจากการปั่นกังหันแก๊สมาใช้ในการต้มน้ำในหม้อน้ำโดยนำไอน้ำที่ปราศจากความชื้น (Steam) มาปั่น

กังหันไอน้ำซึ่งเป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งนั้น น้ำที่นำมาต้มในหม้อน้ำต้องเป็นน้ำที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปนและแร่ธาตุ (Demineralized Water) เพื่อป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือจึงจัดตั้งโรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ 2 ชุดเพื่อใช้ในการผลิตน้ำที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปนและแร่ธาตุ ได้แก่ โรงผลิตน้ำบริสุทธิ์ ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ส่วนไอน้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วจากเครื่องกังหันไอน้ำจะถูกเปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นน้ำเพื่อนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำอีกครั้งโดยผ่านเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) และใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำหล่อเย็น แล้วจึงนำไปผ่านหอหล่อเย็น (Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.2 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ, 2562)

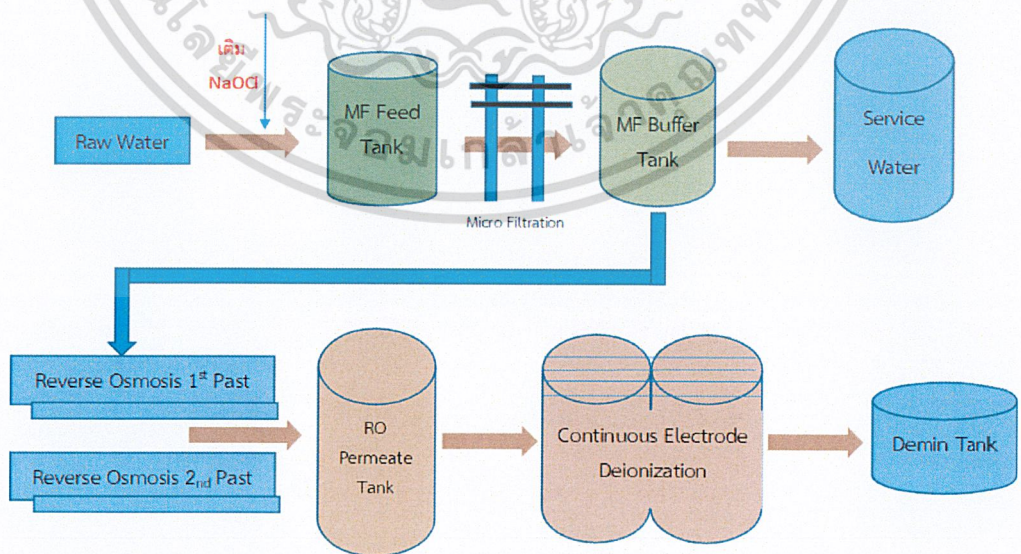
2.1.1 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1 มีกำลังผลิตสุทธิ 704 เมกะวัตต์ ทำงานเป็นแบบลักษณะแบบแกนร่วม (Multi Shaft Combine Cycle) ประกอบด้วย เครื่องกังหันก๊าซ จำนวน 2 เครื่อง และ เครื่องกังหันไอน้ำ จำนวน 1 เครื่อง มีปริมาณความต้องการใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตประมาณ 125 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.3 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 1

จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นว่าน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 คือ เจ้าพระยาหรือน้ำประปา ซึ่งได้มีการปรับปรุงคุณภาพน้ำขั้นแรก โดยการกรองความขุ่นด้วยระบบ Microfiltration เป็นการกรองสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำอนุภาคขนาด $0.1 \mu\text{m}$ เช่น ตะกอน แบคทีเรีย ขนาดใหญ่ เป็นต้น น้ำที่ผ่านการกรองจะนำไปเก็บที่ Treated Tank จากนั้นมีการเติมแก๊สคลอรีนเข้าไปเพื่อฆ่าเชื้อโรคและนำไปเก็บไว้ใน Service Tank ซึ่งลักษณะทางกายภาพของน้ำเป็นน้ำใส โดยน้ำที่เก็บใน Service Tank สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นสาธารณูปโภคภายในโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ และใช้ในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ Demineralized Water น้ำที่ไหลออกจาก Service Tank ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไอน้ำบริสุทธิ์ต้องผ่านเข้า Reverse Osmosis ซึ่งเมมเบรนมีความละเอียดมาก กรองสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำอนุภาคขนาด $0.0001 \mu\text{m}$ ทำให้ค่าความขุ่นและค่าการนำไฟฟ้าลดลงจึงได้น้ำบริสุทธิ์ที่ยังมีไอออนหลงเหลืออยู่มาเก็บไว้ใน RO Permeate Tank จากนั้นจึงนำน้ำเข้าระบบ Mixed Bed เพื่อทำการกำจัดไอออนออกจากน้ำโดยใช้เรซินเป็นตัวกรองแคตไอออนและแอนไอออน เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 ได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปนและแร่ธาตุต่าง ๆ เก็บไว้ใน Demin Tank เพื่อนำไปผลิตไอน้ำแรงดันสูงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

2.1.2 โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2 มีกำลังผลิตสุทธิ 848.3 เมกะวัตต์ ทำงานเป็นแบบ ลักษณะแบบแกนเพลลาเดี่ยว (Single Shaft Combine Cycle) ประกอบด้วย เครื่องกังหันก๊าซ จำนวน 2 เครื่อง และเครื่องกังหันไอน้ำ จำนวน 2 เครื่อง มีปริมาณความต้องการใช้ก๊าซในกระบวนการผลิตประมาณ 144 ล้านลูกบาศก์ฟุตต่อวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.4 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์โรงไฟฟ้าพระนครเหนือ ชุดที่ 2

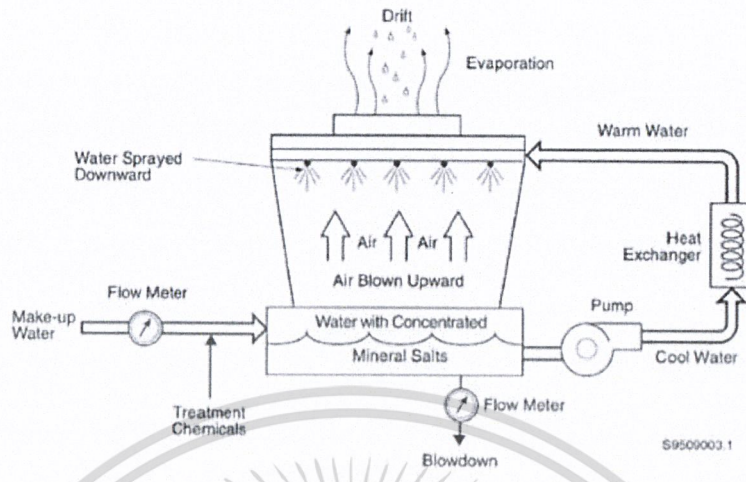
จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าน้ำดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำบริสุทธิ์ โรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 คือ น้ำจากแม่เจ้าพระยาได้มีการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความเข้มข้น 10 % โดยมวล เพื่อฆ่าเชื้อโรคแล้วเก็บน้ำที่ได้ไว้ใน MF Feed Tank น้ำจาก MF Feed Tank จะผ่านการกรองคุณภาพน้ำขั้นแรกโดยการกรองความขุ่นด้วยระบบ Microfiltration เป็นการกรองสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำอนุภาคขนาดใหญ่ในระดับไมโครเมตร เช่น โคลน ฝุ่น เป็นต้น จากนั้นจะถูกเก็บไว้ใน MF Buffer Tank เรียกว่า Treated Water น้ำจาก MF Buffer Tank มีลักษณะทางกายภาพของน้ำเป็นน้ำใสบางส่วนจะถูกเก็บใน Service Take เพื่อนำไปใช้ประโยชน์เป็นสาธารณูปโภคภายในโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ อีกส่วนจะเข้าสู่กระบวนการ Reverse Osmosis ซึ่งเมมเบรนมีความละเอียดมากกรองสิ่งเจือปนที่อยู่ในน้ำอนุภาคขนาด 0.0001 um มีรูปแบบการทำงานเป็นแบบ 2 Passes 2 stage (Double Pass Ro) เป็นการต่อแบบ 2 ขั้นตอนเพื่อเพิ่มความบริสุทธิ์ของน้ำทำให้ค่าความขุ่น และค่าการนำไฟฟ้าลดลงจึงได้น้ำบริสุทธิ์ที่ยังมีไอออนหลงเหลืออยู่มาเก็บไว้ใน RO Permeate Tank จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการ Continuous Electrode Deionization (CEDi) เป็นวิธีการแยกไอออนออกจากน้ำโดยใช้หลักการไฟฟ้าเพื่อสร้างความต่างศักย์ที่ขั้วปลายทั้งสองข้างของแผ่นแอโนด และแคโทด โดยไม่ต้องฟื้นฟูสภาพเรซินโดยใช้สารเคมี เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 จึงได้น้ำที่มีความบริสุทธิ์ปราศจากสิ่งเจือปนและแร่ธาตุต่าง ๆ (Demineralization water) เก็บไว้ใน Demin Tank เพื่อนำไปผลิตไอน้ำแรงดันสูงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป

2.2 ระบบหล่อเย็น

น้ำเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในการระบายความร้อนมากที่สุดในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ระบบระบายความร้อน เช่น เครื่องควบแน่นหรือเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอื่น ๆ เครื่องอัดอากาศ เตาถลุงเหล็ก และระบบทำความเย็น เป็นต้น ในจำนวนตัวกลางที่ใช้ระบบระบายความร้อน น้ำเป็นตัวกลางที่มีความนิยมมากที่สุด เนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูกกว่าตัวกลางชนิดอื่นและมีค่าความจุความร้อนสูงโดยค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ (Latent heat of evaporation) เท่ากับ 2,431 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือ 1,000 บีทียูต่อปอนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 หลักการทำงานของหอหล่อเย็น



รูปที่ 2.5 หลักการทำงานของหอหล่อเย็น (Energy, 1995)

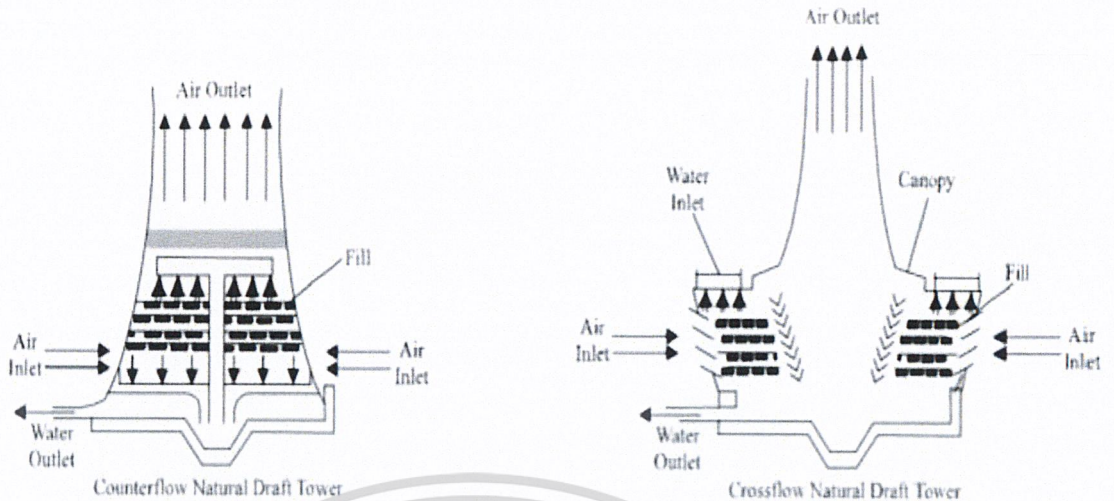
การทำงานของหอหล่อเย็นดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยการดึงน้ำเย็นมาผ่านตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เพื่อระบายความร้อนจากเครื่องจักร น้ำเย็นจะมีอุณหภูมิสูงซึ่งกลายเป็นน้ำอุ่นแล้วถูกส่งกลับไปหอหล่อเย็น เพื่อนำมาฉีดออกให้เป็นฝอยในทิศทางสวนทางกับอากาศที่เคลื่อนที่ขึ้น น้ำจะมีอุณหภูมิลดลงจากกระบวนการกลายเป็น (Evaporation) แรงขับเคลื่อนที่ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมแล้วน้ำเย็นก็จะถูกส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนหมุนเวียนอยู่ในระบบต่อไป (เอกชัย, 2552)

2.2.2 ชนิดของหอหล่อเย็น

1) หอหล่อเย็นแบบธรรมชาติ (Natural Draft Cooling Tower)

หอหล่อเย็นแบบธรรมชาติ เป็นหอหล่อเย็นแบบเก่าที่สุดเป็นการระบายความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หลักการทำงานคือการสูบน้ำร้อนขึ้นมาจากบ่อ และปล่อยผ่านหัวฉีด (Nozzle) ปล่อยให้ไหลลงมาถึงรองรับน้ำ (Basin) ด้านล่าง ส่วนที่ด้านข้างของหอจะมีช่องลมที่บังคับให้ลมไหลผ่านหอมากที่สุด จากนั้นน้ำเย็นก็จะถูกส่งไปแลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป ซึ่งต่อมามีการติดตั้งตัวกลาง (Packing) เพื่อชะลอการไหลของน้ำ และเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน และลดพื้นที่ของหอลงได้ โดยอัตราการสูญเสียน้ำเนื่องจากลมพัดมีค่าประมาณร้อยละ 0.2-1 ของอัตราน้ำหล่อเย็นอัตราการสูญเสียเนื่องจากการกลายเป็นไอสูงถึงร้อยละ 0.85-1 ของอัตราน้ำหล่อเย็นต่อทุก ๆ 10 องศาฟาเรนไฮต์ของอุณหภูมิที่ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

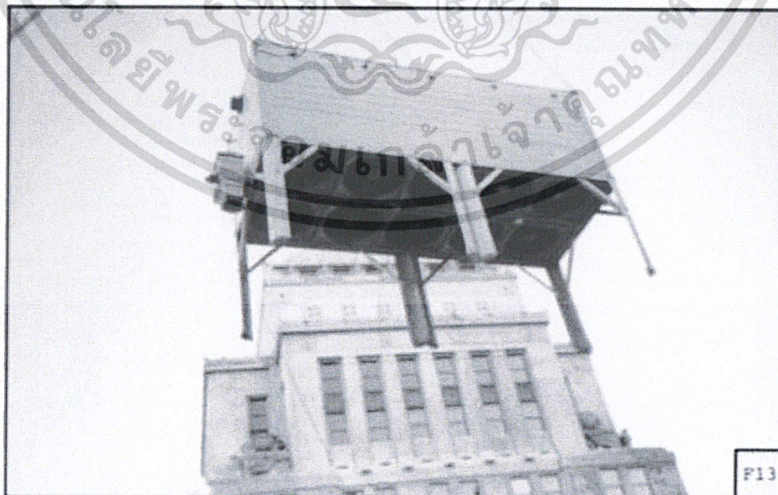


รูปที่ 2.6 หอหล่อเย็นแบบธรรมชาติ (Natural Draft Cooling Tower) (U.S.EPA, 1995)

2) หอหล่อเย็นแบบกล (Mechanical Draft Cooling Tower)

หอหล่อเย็นแบบกล มีอัตราการระบายความร้อนสูงชันกว่าหอหล่อเย็นแบบธรรมชาติ ทำให้มีขนาดเล็กลง การระบายความร้อนเกิดจากการกลายเป็นไอสูงถึงร้อยละ 85-90 ความร้อนที่เหลือเกิดจากการถ่ายเทความร้อนโดย Convection ให้กับอากาศโดยรอบ ดังนั้นอัตราการสูญเสียน้ำจากการกลายเป็นไอจะสูงถึงร้อยละ 0.85-1 ของอัตราน้ำหล่อเย็นต่อทุก ๆ 10 องศาฟาเรนไฮต์ของอุณหภูมิที่ลดลง โดยหอหล่อเย็นแบบกลแบ่งออกเป็น 2 แบบย่อย ดังนี้

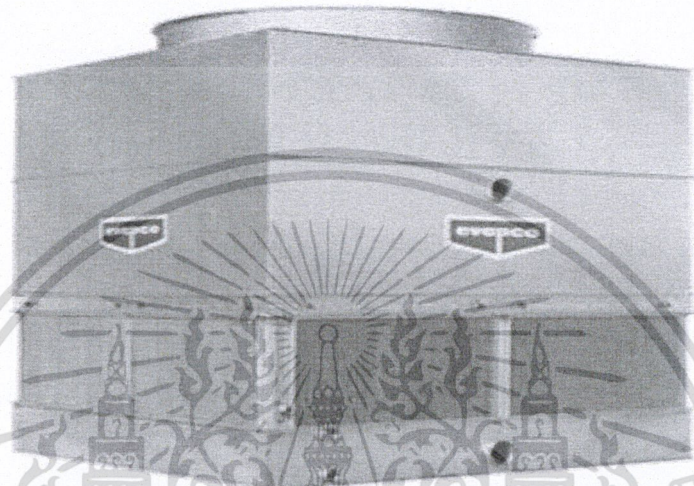
ก) แบบบังคับทางลม (Forced Draft) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 เป็นแบบที่มีพัดลมที่ด้านล่างของหอบังคับให้ลมไหลสวนกับน้ำที่โปรยลงมาจากด้านบนทำให้บำรุงรักษาได้ง่าย



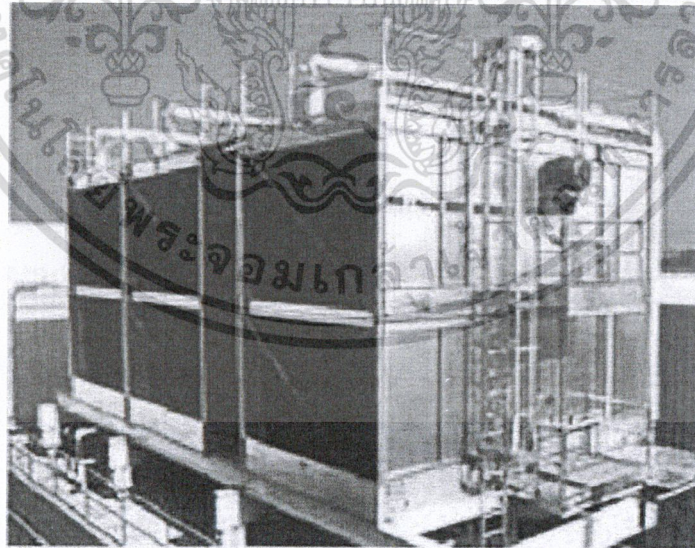
รูปที่ 2.7 หอหล่อเย็นแบบบังคับทางลม (Force draft) (Standford, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อการค้า
 ข) แบบชักน้ำลม (Induced Draft) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 มีพัดลมติดตั้งที่ด้านบนเพื่อเป่าลมออกภายนอก โดยน้ำจะไหลสวนกับทิศทางการไหลของอากาศ (Counter Flow) ส่วนมากจะมีการ

ติดตั้งตัวกลางที่เป็นพีวีซีเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัส พบว่าตัวกลางขนาด 1 เมตร จะเท่ากับ 10 เมตรของ หอหล่อเย็นที่ไม่มีตัวกลาง แต่ต้องระวังไม่ให้ตัวกลางนี้ถูกแสงแดดเพราะจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโต บนตัวกลาง ส่วนแบบน้ำไหลขวางทิศทางลม (Cross Flow) อากาศจะไหลมาจากด้านข้างแล้วไหลขึ้นไปตามแนวตั้งด้วยพัดลม ส่วนน้ำจะออกจากด้านบนสวนกับอากาศลงมาด้านล่าง โดยหอหล่อเย็น ชนิดนี้นิยมใช้ในโรงเหล็ก



รูปที่ 2.8 หอหล่อเย็นแบบชักนำลม (Induced Draft) แบบ Counter Flow (Standford, 2003)



รูปที่ 2.9 หอหล่อเย็นแบบชักนำลม (Induced Draft) แบบ Cross Flow (Standford, 2003)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

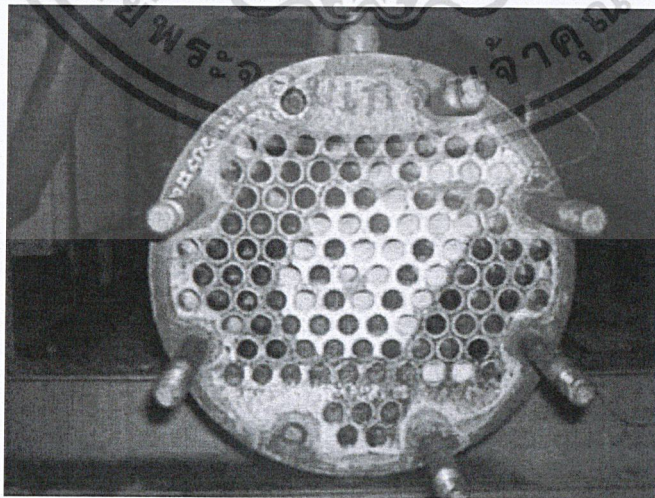
2.2.3 สมดุลของระบบน้ำหล่อเย็น

น้ำในหอหล่อเย็นที่มีการหมุนเวียนแบบเปิด แบ่งออกเป็น 6 ชนิด ดังนี้

- 1) น้ำทดแทน (Make up) คือ น้ำที่ใส่เติมให้กับหอหล่อเย็น เพื่อทดแทนปริมาณน้ำที่สูญเสียไปของระบบ โดยทั่วไปอัตราการเติมน้ำทดแทนจะเท่ากับร้อยละ 6-10 ของอัตราการหมุนเวียนของน้ำหล่อเย็น
- 2) น้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) คือ น้ำที่หมุนเวียนอยู่ในระบบที่ใช้ในการระบายความร้อน
- 3) โบล์ดาวน์หรือบลีดออฟ (Blowdown/Bleed Off) คือ น้ำหล่อเย็นที่ระบายทิ้งเพื่อรักษาความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นไม่ให้สูงเกินไป ซึ่งเป็นน้ำทิ้งของระบบ
- 4) น้ำระเหย (Evaporation) คือ น้ำหล่อเย็นที่ระเหยกลายเป็นไอในช่วงการระบายความร้อนออกจากหอหล่อเย็น
- 5) ละอองน้ำ (Drift) คือ น้ำหล่อเย็นที่ถูกกระแสนลมพัดออกไปจากหอหล่อเย็นในรูปของละอองน้ำ โดยถือว่าน้ำส่วนนี้เป็นการโบล์ดาวน์
- 6) น้ำดิบ คือ แหล่งที่ใช้ผลิตน้ำทดแทน เช่น น้ำประปา น้ำผิวดิน หรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว

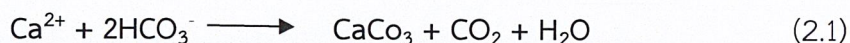
2.2.4 การเกิดตะกรัน

Akkarak (2013) กล่าวว่า ตะกรันเกิดจากความเข้มข้นของสารในน้ำมีค่าสูงกว่าความสามารถในการละลายน้ำของมันเอง เมื่ออุณหภูมิที่สูงขึ้นความสามารถในการละลายน้ำก็จะลดลงไปด้วย ปัญหาสำคัญของการเกิดตะกรัน คือ การลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยตะกรันในระบบน้ำหล่อเย็นที่พบบ่อย คือ ตะกรันแคลเซียมคาร์บอเนต ตะกรันแคลเซียมฟอสเฟต ตะกรันแคลเซียมซัลเฟต และตะกรันที่เกิดจากซิลิกา



รูปที่ 2.10 การเกิดตะกรันของหินปูนที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (M Seneviratne, 2006) การทำความสะอาดและการกำจัดตะกรันเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบน้ำหล่อเย็น อย่างไรก็ตาม การกำจัดตะกรันอาจทำได้หลายวิธี ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ลักษณะผลึกดังแสดงในรูปที่ 2.11 เป็นปัญหาหลักของระบบหล่อเย็นเพราะแคลเซียม (Ca) และคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) เป็นไอออนที่พบทั่วไปในน้ำธรรมชาติ น้ำที่มีความกระด้างมากและอุณหภูมิสูงช่วยเร่งการเกิดตะกรัน ดังแสดงในสมการที่ 2.1



รูปที่ 2.11 ผลึกของหินปูน (CaCO_3) (M Seneviratne, 2006)

2) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) พบมากในรูปของยิบซั่ม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ไม่เป็นปัญหามากเท่าแคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากแคลเซียมซัลเฟตละลายน้ำได้มากกว่า 100 เท่าที่อุณหภูมิปกติ ดังนั้นในน้ำหล่อเย็นอาจพบซัลเฟตสูงแต่ไม่ทำให้เกิดตะกรัน

3) แคลเซียมออร์โธฟอสเฟต ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ฟอสเฟตมักเป็นสารเคมีที่ใช้ในน้ำหล่อเย็นจึงอาจเกิดตะกรันแคลเซียมออร์โธฟอสเฟตได้ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การละลายน้ำ (K_{sp}) ต่ำ

4) สารประกอบซิลิเกต แม้ตะกรันแคลเซียมซิลิเกตและแมกนีเซียมซิลิเกตจะเกิดขึ้นยาก แต่หากเกิดแล้วไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีเคมีเพราะเป็นตะกรันที่แข็งมาก จึงควรควบคุมไม่ให้ซิลิเกตในน้ำหล่อเย็นเกิน 175 มก./ล. และผลคูณความเข้มข้นของแมกนีเซียม และซิลิเกตไม่เกิน 35,000 ตะกรันซิลิเกตจะไม่เกิดขึ้น

2.2.5 ป้องกันการเกิดตะกรัน (Akkalak, 2013)

1) การเติมกรด

การเติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นวิธีที่นิยมในการลดการเกิดตะกรัน ลดพีเอชดังแสดงในสมการที่ 2.2 ซึ่งแคลเซียมซัลเฟต (CaSO_4) มีความสามารถในการละลายน้ำมากกว่าหินปูน 50 เท่า แต่อย่างไรก็ดีวิธีนี้อาจทำให้เกิดตะกรันชนิดอื่นและปัญหาด้านความปลอดภัย

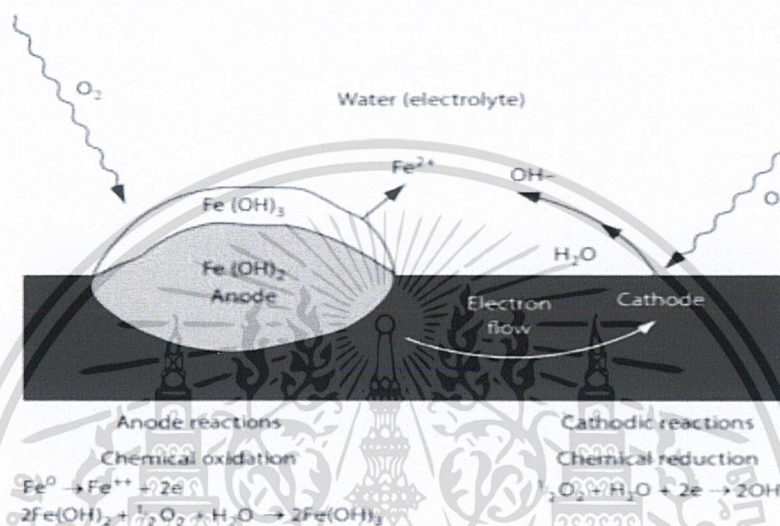
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



2) สารเคมียับยั้งการเกิดตะกรัน

สารเคมีในกลุ่มนี้จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมในน้ำจับตัวกันเป็นตะกรัน เช่น EDTA NTA หรือย้อมให้เกิดตะกรัน แต่ทำให้ตะกรันน้ำไม่จับกับผิวโลหะซึ่งส่วนมากจะเป็นกลุ่มฟอสโฟเนต และโพลีเมอร์ เช่น aminomethyl phosphonate (AMP) หรือ polyacrylate เป็นต้น

2.2.6 การกัดกร่อน



รูปที่ 2.12 ปฏิกิริยาการกัดกร่อน (Zahid Amjad et al., 2010)

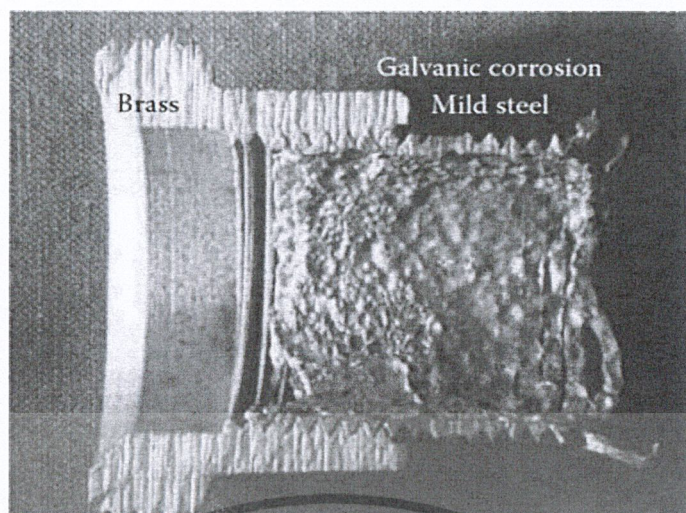
การกัดกร่อนเป็นการสลายตัวหรือสูญเสียเนื้อโลหะด้วยปฏิกิริยาทางเคมี หรือไฟฟ้าเคมี ซึ่งทำให้อุปกรณ์เสียหายดังแสดงในรูปที่ 2.12 โดยการกัดกร่อนมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดที่ขั้วบวก เกิดการฟุกร่อนของโลหะโดยการเปลี่ยนโลหะเป็นไอเล็คตรอน และไอออนบวก
- 2) การเคลื่อนที่ของไอเล็คตรอนไปที่ขั้วลบ
- 3) ปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วลบเป็นการรับไอเล็คตรอนจากการฟุกร่อน
- 4) การไหลของประจุไฟฟ้าจากขั้วลบไปขั้วบวกทำให้เซลล์ไฟฟ้าครบวงจร

โดยลักษณะการกัดกร่อนที่พบได้ทั่วไปในหอหล่อเย็น คือ การกัดกร่อนแบบกัลป์วานิก การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม และการกัดกร่อนเนื่องจากแรงดัน

1) การกัดกร่อนแบบกัลป์วานิก (Galvanic Corrosion) เกิดในกรณีที่โลหะต่างชนิดเชื่อมต่อกันอยู่ในน้ำ เช่น ท่อเหล็กที่เชื่อมกับข้อต่อทองแดง ในลักษณะเช่นนี้เหล็กจะเป็นขั้วบวก ส่วนทองแดงเป็นขั้วลบ ดังนั้นทองแดงจึงไม่ถูกกัดกร่อน ตัวอย่างการกัดกร่อนแบบกัลป์วานิกดังแสดงในรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



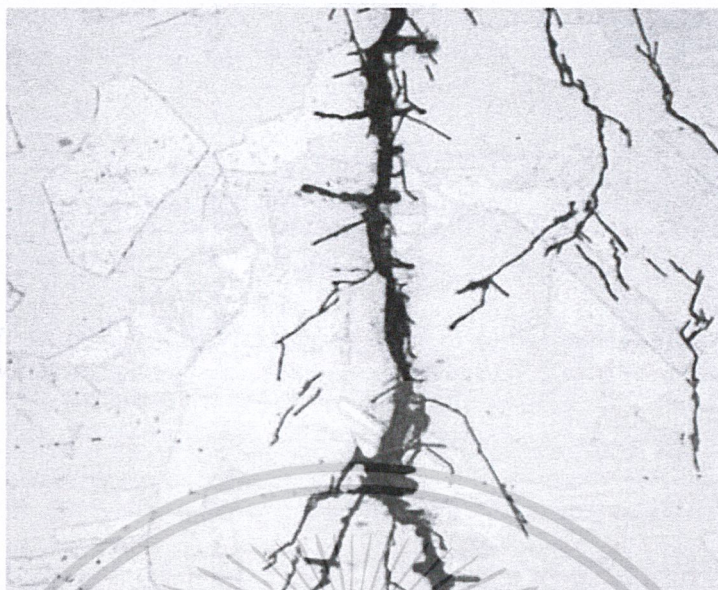
รูปที่ 2.13 การกัดกร่อนแบบกัลป์วานิก (Zahid Amjad et al., 2010)

2) การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Pitting Corrosion) เกิดปริมาณความเข้มข้นของไอออนหรือออกซิเจนละลายในน้ำไม่เท่ากัน เช่น สังกะสีอยู่ในน้ำ แล้วการแตกตัวของไอออนในน้ำไม่เท่ากันทำให้เกิดเซลล์ไฟฟ้า จุดที่มีความเข้มข้นไอออนน้อยจะเกิดการกัดกร่อนตัวอย่างการกัดกร่อนแบบเป็นหลุมดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การกัดกร่อนแบบเป็นหลุม (Zahid Amjad et al., 2010)

3) การกัดกร่อนเนื่องจากแรงดัน (Stress Corrosion) เกิดจากการที่โลหะได้รับแรงกดดันจากภายนอก เช่น แรงดัน อุณหภูมิ ปริมาณคลอไรด์สูง ตัวอย่างการกัดกร่อนเนื่องจากแรงดันเอกสารนี้แสดงในรูปที่ 2.15 ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การกักร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมด้วยคลอไรด์ (Zahid Amjad et al., 2010)

2.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity)

สภาพนำไฟฟ้าเป็นคุณลักษณะ หรือดัชนีคุณภาพน้ำที่สำคัญชนิดหนึ่ง โดยบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า สภาพนำไฟฟ้านี้จะมีค่ามาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายชนิดตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุและความเข้มข้นของสารที่มีประจุแต่ละชนิดซึ่งส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอนินทรีย์มากกว่าสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำนั้นด้วย หน่วยพื้นฐานที่ใช้วัดการนำไฟฟ้า คือ โมห์ (mho) หรือ ซีเมนส์ (siemens) ค่าการนำไฟฟ้าวัดเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{mhos/cm}$) หรือไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร ($\mu\text{s/cm}$) ค่าการนำไฟฟ้ามีประโยชน์ในการตรวจวัดคุณภาพแหล่งน้ำ เมื่อติดตามเผ่าระวังมักพบว่าแหล่งน้ำแต่ละแหล่งจะมีพิสัยของค่าการนำไฟฟ้าค่อนข้างคงที่และสามารถนำมาใช้เป็นค่าพื้นฐานของสภาพแหล่งน้ำในภาวะปกติได้ การเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้าอย่างมีนัยสำคัญสามารถเป็นตัวชี้วัดว่าน้ำทิ้ง หรือมลพิษจากแหล่งอื่นได้ไหลลงสู่แหล่งน้ำนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve Solid, TDS)

ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve Solid, TDS) เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงปริมาณของสารอินทรีย์ (Organic) และอนินทรีย์ (Inorganic) ทั้งหมดที่สามารถละลายอยู่ในน้ำหรือพวกแร่ธาตุ โลหะ และเกลือ อีกทั้งยังเป็นเครื่องบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของน้ำ โดย TDS เกิดมาจากแหล่งธรรมชาติ เช่น หินหรือแร่ธาตุต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำหรือสารเคมีที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น เคมีภัณฑ์ที่บรรจุสารอินทรีย์ระเหยง่ายโดยส่วนใหญ่องค์ประกอบของ TDS ที่พบเป็นพวกแร่ธาตุ เนื่องจากธรรมชาติของน้ำมีความเป็นกรดเล็กน้อยในขณะที่น้ำไหลผ่านหินที่อยู่ในดินอาจทำให้หินเกิดการกัดกร่อนและละลายลงสู่น้ำในรูปของเหลวซึ่งแร่ธาตุเหล่านี้ รวมถึงแคลเซียม (Ca^{2+}) แมกนีเซียม คลอไรด์ (MgCl_2) และซิลิกา (SiO_2) ปริมาณ TDS ยังขึ้นอยู่กับค่าการนำไฟฟ้าโดยค่า TDS สามารถบอกได้ว่าน้ำตัวอย่างมีความสามารถนำไฟฟ้าได้มาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่แตกตัวเป็นประจุไฟฟ้าในน้ำซึ่งพวกอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำสามารถแตกตัวเป็นไอออนที่มีประจุไฟฟ้าทำให้เกิดการนำไฟฟ้าขึ้น และการวัดค่าการนำไฟฟ้าถือได้ว่าเป็นวิธีการประมาณค่าของสารต่างๆที่ละลายอยู่ในน้ำได้ใกล้เคียงความจริงมากโดยค่า TDS สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$\text{ปริมาณ TDS (mg/L)} = \text{สภาพการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนต์/ซม. ที่ } 25^\circ\text{C)} \times \text{ค่าคงที่} \quad (2.3)$$

$$\text{ค่าคงที่} = 0.55 - 0.7$$

จากสมการที่ 2.3 ค่าคงที่ที่ได้มาจากอัตราส่วนระหว่างค่า TDS ซึ่งมาจากการคำนวณต่อค่าการนำไฟฟ้า ในกรณีที่อัตราส่วนได้น้อยกว่า 0.55 แสดงว่ามีไอออนรวมตัวสามารถเกิดได้จากแอมโมเนียม (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) ละลายอยู่ในน้ำและในกรณีที่อัตราส่วนมีค่ามากกว่า 0.7 แสดงว่ามีไอออนรวมสูงซึ่งสามารถเกิดจากการแตกตัวของแคลเซียม (Ca^{2+}) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ได้น้อย ของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดมีหน่วยที่ใช้ คือ หนึ่งในล้านส่วนหรือพีพีเอ็ม (ppm) ถ้าเทียบกับความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หน่วยที่ได้ คือ มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมาตรฐานของน้ำประปាកำหนดค่าของแข็งทั้งหมดน้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ U.S. Public Health Service อนุโลมให้มีมากที่สุดไม่เกิน 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรองแก้ว, 2559)

2.3.3 ความเค็มของน้ำ (Salinity)

การตรวจวัดความเค็ม เป็นการตรวจวัดปริมาณเกลือที่ละลายน้ำที่พบในน้ำเค็ม หรือน้ำกร่อย โดยมีหน่วยเป็นส่วนในหนึ่งพันส่วน (part per thousand, ppt) ความเค็มของน้ำทะเลของโลกรวมมีค่าเฉลี่ย 35 ppt น้ำจืดมีค่าไม่เกิน 0.5 ppt น้ำกร่อยมีค่า 0.5-25 ppt ค่าความเค็มจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหยาดน้ำฟ้า น้ำจากหิมะละลาย หรือบริเวณรอยต่อระหว่างน้ำเค็มกับน้ำจืด เช่น บริเวณปากแม่น้ำ ปริมาณของเกลือในน้ำเป็นตัวการสำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ชี้บ่งว่าจะพบสิ่งมีชีวิตชนิดใดในบริเวณแหล่งน้ำนั้น ดังนั้นชนิดสิ่งมีชีวิตที่อาศัยในน้ำจืดและที่อาศัยในน้ำเค็มจึงแตกต่างกันมาก พืชหรือสัตว์ที่อาศัยในน้ำจืดจะมีเกลือในเซลล์มากกว่าในแหล่งน้ำที่อาศัยอยู่ สิ่งมีชีวิตเหล่านี้จะกำจัดเกลือออกมาเป็นของเสีย ส่วนพืชหรือสัตว์ที่อาศัยในน้ำทะเลมีปริมาณของเกลือเท่ากับ หรือน้อยกว่า

สิ่งแวดล้อมที่อาศัยอยู่และมีกลไกของร่างกายที่จะยังคงสภาพสมดุลของเกลือ นอกจากนี้สิ่งมีชีวิตเหล่านี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงความเค็มในแหล่งน้ำที่อาศัยอยู่ได้

2.3.4 พีเอช (pH)

คำว่า pH ย่อมาจาก Positive potential of the Hydrogen ions เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ใช้บอกความเป็นกรด-ด่างของสาร โดยค่า pH จะกำหนดเป็นตัวเลข มีค่าตั้งแต่ 0-14 เพื่อแสดงถึงปริมาณความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ในน้ำบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิ 25 °C มีค่าจากการคำนวณลอการิทึม ปริมาณความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน เท่ากับ 7 ถือว่ามีสภาพเป็นกลาง คือไม่มีความเป็นกรด-ด่าง ดังนั้น สรุปได้ว่า pH < 7 มีค่าเป็น กรด, pH = 7 มีค่าเป็น กลางและ pH > 7 มีค่าเป็น ด่าง

2.3.5 ค่าความขุ่นของน้ำ (Turbidity)

ค่าความขุ่นของน้ำ หมายถึง ความสามารถของน้ำที่สกัดกั้น หรือดูดซับปริมาณแสงแสงที่ส่องผ่านไว้ได้ สิ่งที่ทำให้น้ำขุ่น ได้แก่ อินทรีย์ และอนินทรีย์สารในน้ำ ตลอดจนสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ โดยปรากฏอยู่ในลักษณะสารแขวนลอย เช่น อนุภาคของดิน ทราย แพลงก์ตอน แบคทีเรีย เป็นต้น ความขุ่นมีหน่วยเป็น NTU (Nephelometric Turbidity Units)

2.3.6 น้ำเสีย

ตามพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 ได้ให้ความหมายของน้ำเสีย คือ ของเหลวซึ่งผ่านการใช้แล้วทั้งที่มีกาก และไม่มีกากหรือของเสียที่อยู่ในสภาพเป็นของเหลวรวมทั้งมวลสารที่ปะปนหรือปนเปื้อนในของเหลวในปริมาณสูง จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ และเป็นที่น่ารังเกียจของคนทั่วไปที่พบเห็น ไม่เหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์ต่อไปอีกหรือถ้าปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติ ก็จะทำให้คุณภาพของธรรมชาติเสียหายได้ สิ่งเจือปนที่ทำให้กลายเป็นน้ำเสียได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ กรด ด่าง ของแข็งหรือสารแขวนลอย และสิ่งที่ลอยปนอยู่ในน้ำ เช่น น้ำมัน ไขมัน เกลือ และแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่น โลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สี กลิ่น เป็นต้น (พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2535)

2.3.7 น้ำทิ้ง

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นในโรงงานอุตสาหกรรม โดยน้ำทิ้งต้องเป็นไปตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0
- 2) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้
 - 2.1) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 2.2) น้ำทิ้งซึ่งระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันจากที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้งหรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4) โลหะหนักมีค่าดังนี้
 - 4.1)ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.2) เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.3) แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.4) ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.5) อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.6) โครเมียม (Chromium)
 - 4.6.1) Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.6.2) Trivalent Chromium ไม่มากกว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.7) บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.8) นิกเกิล (Nickel) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.9) ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.10) สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
 - 4.11) แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 6) ไซยาไนด์ (Cyanide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 7) ฟอรัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัม
- 8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 9) คลอรีนอิสระ (Free Chlorine) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมออกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 10) เพสตีไซด์ (Pesticide) ต้องไม่มี
- 11) อุณหภูมิไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- 12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- 13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- 14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตรหรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดแต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 15) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 16) ค่าไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (พระราชบัญญัติโรงงาน, 2535)

2.3.8 คลอไรด์

คลอไรด์เป็นไอออนของคลอรีนซึ่งเป็นไอออนลบ สร้างขึ้นมาจากการที่คลอรีนได้รับอิเล็กตรอนหรือสารประกอบ เช่น ไฮโดรเจนคลอไรด์ละลายในน้ำหรือตัวทำละลายมีขั้วอื่น ๆ สามารถพบได้ในเกลือคลอไรด์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นในการดำรงชีวิต เกลือคลอไรด์มักจะสามารถละลายน้ำได้ คลอไรด์พบอยู่ในน้ำตามธรรมชาติทั่ว ๆ ไปด้วยความเข้มข้นต่าง ๆ กัน โดยปริมาณของคลอไรด์เพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนกับปริมาณของเกลือแร่ที่เพิ่มขึ้น

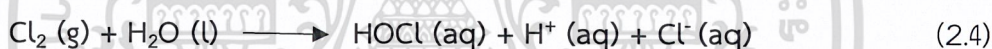
2.4 คลอรีน (Chlorine, Cl₂) (การประปานครหลวง, 2562)

คลอรีน (Chlorine, Cl₂) เป็นธาตุที่อยู่ในกลุ่มฮาโลเจนหรือหมู่ 7 ในตารางธาตุซึ่งมีลักษณะเป็นก๊าซสีเหลืองแกมเขียว มีกลิ่นฉุนและไม่พบในธรรมชาติ โดยทั่วไปคลอรีนอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิ ความดันปกติ และมีลักษณะของก๊าซเป็นสีเขียวตองอ่อน ในสภาวะภายใต้ความดันปกติสีของคลอรีน เปลี่ยนเป็นของเหลวสีอำพัน และไม่มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่มีความชื้น ถ้าหากคลอรีนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง และช่วยให้เกิดการติดไฟเหมือนก๊าซออกซิเจนได้แต่ไม่สามารถทำให้เกิดระเบิดซึ่งคุณสมบัติของ

คลอรีนสามารถเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงเมื่อละลายน้ำคลอรีนสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดการแตกตัวให้อนุพันธ์ของคลอรีนโดยอนุพันธ์ของคลอรีนที่แตกตัวสามารถทำลายเชื้อโรค เชื้อจุลินทรีย์ รวมทั้งสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ ทำลายสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี รสชาติ กลิ่นในน้ำ และช่วยตกตะกอน กำจัดพวก แอมโมเนีย เหล็ก แมงกานีส และซัลไฟด์ได้ คลอรีนที่อยู่ในสถานะบรรจุเป็นคลอรีนแห้ง และมีสถานะเป็นของเหลวเมื่ออยู่ภายใต้ความดันสูงโดยความดันสูงสามารถเพิ่มขึ้นได้ตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นส่วนที่เป็นของเหลวบริเวณด้านล่างของภาชนะบรรจุสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ ดังนั้น ควรเก็บภาชนะบรรจุคลอรีนในที่ร่ม และมีอากาศถ่ายเทสะดวก

2.4.1 คลอรีนอิสระที่หลงเหลือ (Free Residual Chlorine, FRC)

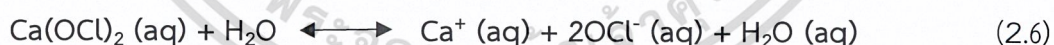
คลอรีนอิสระที่หลงเหลือเกิดจากปฏิกิริยาการเติมคลอรีนลงไปในน้ำ เรียกว่า กระบวนการคลอรีเนชัน (Chlorination) ส่วนมากสามารถพบได้ทั้งในน้ำประปา น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแม้กระทั่งน้ำจากสระว่ายน้ำ ซึ่งมีการควบคุมปริมาณของคลอรีนอิสระที่หลงเหลือให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเนื่องจาก ถ้ามีการเติมคลอรีนในปริมาณที่เกินมาตรฐานสามารถทำให้เกิดอันตรายได้โดยกระบวนการคลอรีเนชันสามารถเกิดจากการเติมแก๊สคลอรีน สารละลายคลอรีน หรือคลอรีนผง แก๊สคลอรีนเมื่อละลายน้ำ สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้กรดไฮโปคลอรัส (HOCl) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ดังแสดงในสมการที่ 2.4



กรดไฮโปคลอรัสแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนและไฮโปคลอรัสไอออนดังแสดงในสมการที่ 2.5

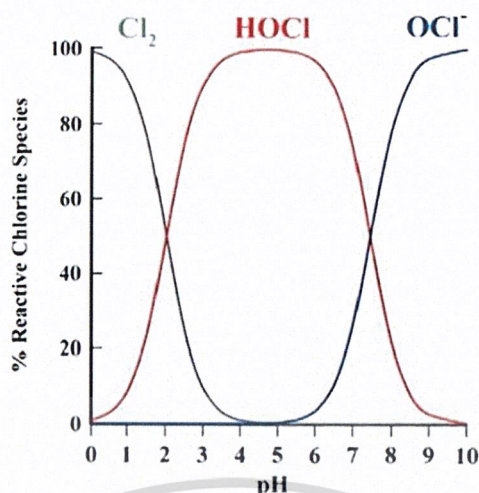


ในกรณีที่เติมแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$ ลงในน้ำการละลายเกิดขึ้นดังแสดงในสมการที่ 2.6



จากสมการที่ 2.4-2.6 คลอรีน, ไฮโปคลอรัส และไฮโปคลอรัสไอออน คือ คลอรีนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ ปริมาณของคลอรีนอิสระที่หลงเหลือชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าพีเอชของน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ค่าพีเอชของน้ำต่ำกว่า 1.0 คลอรีนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในรูปของแก๊สคลอรีนทั้งหมด และระเหยสู่บรรยากาศ ค่าพีเอชเท่ากับ 1.0-3.5 คลอรีนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในรูปของแก๊สคลอรีน และไฮโปคลอรัส ค่าพีเอชเท่ากับ 3.5-5.5 คลอรีนอิสระที่หลงเหลืออยู่ในรูปไฮโปคลอรัสทั้งหมด ค่าพีเอชเท่ากับ 5.5-9.0 อยู่ในรูปของไฮโปคลอรัสและไฮโปคลอรัสไอออนและพีเอชที่มีค่าตั้งแต่ 9.0 ขึ้นไปอยู่ในรูปไฮโปคลอรัสไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีนอิสระคงที่ (USDA, 2015)

ประเภทของคลอรีน

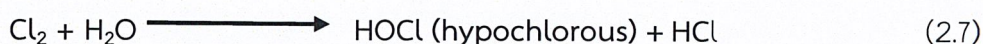
คลอรีนที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา นอกจากอยู่ในรูปก๊าซแล้ว ยังมีจำหน่ายในรูปของคลอรีนน้ำและคลอรีนผง

คลอรีนน้ำ (NaOCl) หรือโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ความหมายต่างจากคลอรีนก๊าซที่อยู่ในรูปของเหลว มีลักษณะเป็นสารละลายสีเขียวตองมีปริมาณคลอรีนที่ใช้งานได้ในช่วง 7-15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทางการค้าอาจมีหลายชื่อเช่น Liquid Bleach Pure Chlor และ Top Chlor เป็นต้น น้ำยาซักผ้าขาวในท้องตลาดบางยี่ห้อก็มีคลอรีนน้ำเป็นส่วนประกอบ คลอรีนประเภทนี้ใช้งานง่ายแต่ราคาค่อนข้างแพงเมื่อเทียบกับคลอรีนก๊าซ ส่วนใหญ่นิยมใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Process Water) ของโรงงานอุตสาหกรรม ไม่นิยมใช้ในงานประปาเนื่องจากราคาค่อนข้างแพง

คลอรีนผง [Ca(OCl)₂] มีลักษณะเป็นผง เม็ด หรือเกล็ดสีขาว ปริมาณคลอรีนที่ใช้งานได้ในช่วง 65-71 เปอร์เซ็นต์ ใช้งานไม่สะดวกเหมือนคลอรีนน้ำ เวลาใช้งานต้องนำมาละลายน้ำ แล้วนำส่วนที่เป็นของเหลวไปใช้งาน เหมาะสำหรับงานประปาขนาดเล็กที่อยู่ในพื้นที่ทุรกันดาร เนื่องจากขนส่งง่ายมีความปลอดภัยสูง

ปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ

คลอรีนก๊าซ (Cl₂) ก๊าซคลอรีนเมื่ออยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ให้กรดไฮโปคลอรัส และกรดไฮโดรคลอริกดังแสดงในสมการที่ 2.7

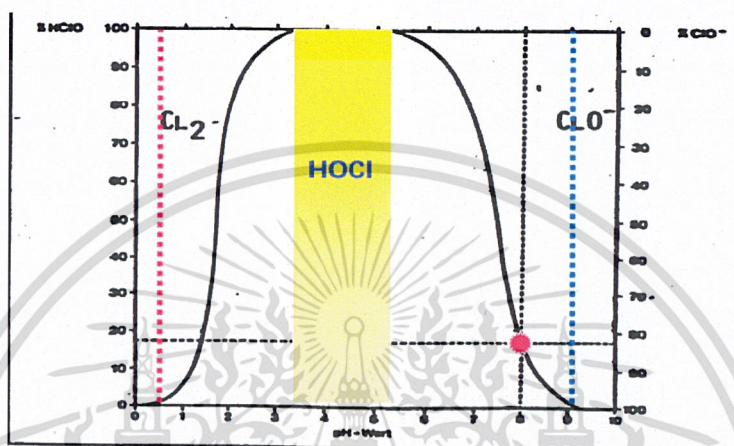


กรด HOCl แตกตัวในน้ำจะให้ hydrogen ion และ hypochlorite ion ดังแสดงในสมการที่ 2.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

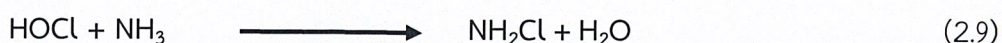
Cl_2 , HOCl และ OCl^- เรียกว่า คลอรีนอิสระคงเหลือ (Free residual Chlorine) ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือชนิดใดจะมากหรือน้อยกว่ากันอยู่ที่สภาพ pH ของน้ำ ที่ pH ของน้ำต่ำกว่า 1 คลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของคลอรีนก๊าซ (Cl_2) ทั้งหมด และจะระเหยสู่บรรยากาศที่ pH 1-3.5 คลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของก๊าซ และ HOCl 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 2.17 แสดงผลของ pH และการเปลี่ยนแปลงชนิดของคลอรีนอิสระคงเหลือ

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

ในน้ำประปาซึ่งผลิตจากน้ำผิวดิน ส่วนมากจะมีแอมโมเนียเหลืออยู่ในน้ำเมื่อทำปฏิกิริยากับคลอรีน (HOCl) จะได้คลอรีนอิสระคงเหลืออีกชนิดหนึ่งเรียกว่า คลอรามิน หรือ combined residual chlorine ได้แก่ โมโนคลอรามิน (NH_2Cl), ไดคลอรามิน (NHCl_2) และ ไตรคลอรามิน (NCl_3) ดังแสดงในสมการที่ 2.9-2.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Combined Residual Chlorine มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่ำ แต่คงทนอยู่ในน้ำได้ยาวนานกว่าคลอรีนอิสระทั้ง Free Residual Chlorine และ Combined Residual Chlorine รวมกันเรียกว่าคลอรีนคงเหลือทั้งหมด (Total Residual Chlorine)

สำหรับคลอรีนน้ำและคลอรีนผงปฏิกิริยาในน้ำดังแสดงในสมการที่ 2.12-2.13



การใช้คลอรีนน้ำและผง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้คลอรีนก๊าซ จะเห็นว่าการใช้คลอรีนน้ำและผงจะทำให้แนวโน้มของค่า pH เป็นไปในทางที่สูงขึ้น เนื่องจากตามสมการเคมีจะมีต่างเกิดขึ้น แต่การใช้คลอรีนก๊าซจะทำให้แนวโน้มของค่า pH ในน้ำต่ำลงเนื่องจากมีการเกิดขึ้น ดังนั้นการใช้คลอรีนก๊าซฆ่าเชื้อโรคตามทฤษฎีแล้วจะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้คลอรีนรูปอื่น แต่ในทางปฏิบัตินั้นผลไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะปริมาณคลอรีนที่ใช้้น้อยมากผลกระทบต่อ pH ของน้ำจึงค่อนข้างน้อยสรุป คลอรีนในน้ำประปาทั่วไปจะมีทั้ง Free Residual Chlorine (HOCl และ OCl⁻)

และ Combined residual chlorine

Total Residual Chlorine = Free Residual Chlorine + Combined Residual Chlorine

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำ

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำ ได้แก่

1) pH ของน้ำ ดังได้กล่าวไว้แล้วว่า ถ้า pH สูงคลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl⁻ ในเปอร์เซ็นต์ค่อนข้างสูง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อโรคต่ำลงมาก ยิ่งในกรณีน้ำจากระบบหล่อเย็นซึ่งส่วนใหญ่ pH เกือบถึง 9 ประสิทธิภาพการทำลายเชื้อโรคเกือบจะหมดไป ดังนั้นการเติมคลอรีนในน้ำหล่อเย็นประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจะต่ำมาก

2) อุณหภูมิ อุณหภูมิมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของคลอรีนในน้ำด้วยเหตุผลหลัก 2 ประการ ได้แก่ ปริมาณชนิดของคลอรีนอิสระคงเหลือ กรณีที่อุณหภูมิของน้ำต่ำคลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของ HOCl มาก ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิของน้ำสูงคลอรีนอิสระคงเหลือจะอยู่ในรูปของ HOCl น้อย อีกประการหนึ่งก็คืออุณหภูมิสูงจะทำให้คลอรีนสลายตัวได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของคลอรีนต่ำลงด้วย

3) เวลา ถ้าเวลาที่สัมผัสน้ำ (Contact time) นานขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีนสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าเวลาที่สัมผัสน้ำน้อยลงประสิทธิภาพจะต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความเข้มข้น เช่นเดียวกับเวลาถ้าความเข้มข้นของคลอรีนสูงประสิทธิภาพฆ่าเชื้อโรคจะสูง โดยทั่วไปเมื่อต้องการจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อโรคในน้ำปัจจัยที่ควรพิจารณา คือค่า C.T (มก.-นาทีลิตร⁻¹)

โดย $C =$ ความเข้มข้นของคลอรีนที่เหลือ (มก./ลิตร)

$T =$ เวลาสัมผัส (นาที)

ตัวอย่างเช่น สาร A และสาร B มีค่า C.T ในการฆ่าเชื้อโรค C เท่ากับ 5 และ 6 มก./นาที/ลิตรตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่า สาร A มีประสิทธิภาพมากกว่าสาร B ในกรณีสารชนิดเดียวกันถ้ารู้ค่า C.T เราสามารถจะเลือกได้ว่าจะให้มีเวลาสัมผัสนานเท่าไรโดยใช้วิธีการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นที่เหลือ ตัวอย่างเช่น ค่า C.T ของคลอรีนในการฆ่าเชื้อโรค H เท่ากับ 3 มก./นาทีลิตร⁻¹ หมายความว่าในเวลา 10 นาทีจะต้องเติมคลอรีนลงในน้ำแล้ววัดคลอรีนที่เหลือให้ได้ 0.3 มก./ลิตร หรือถ้าต้องการใช้เวลาสั้นลงเหลือ 1 นาทีจะต้องเติมคลอรีนแล้วให้มีคลอรีนเหลืออยู่ในน้ำ 3 มก./ลิตร เป็นต้น

5) สารอินทรีย์ในน้ำ ในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์สูงจะทำให้คลอรีนมีประสิทธิภาพด้อยลงเนื่องจากคลอรีนที่เติมลงไปจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ก่อนทำให้เหลือคลอรีนที่จะไปฆ่าเชื้อโรคน้อย นอกจากนี้ปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำยังทำให้เกิดสารจำพวก THMs (Trihalomethane) ซึ่งเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนั้นในกรณีที่น้ำมีสารอินทรีย์สูง (วัดได้ในรูปของ TOC) จะต้องกำจัดสารอินทรีย์ให้เหลือน้อยก่อนที่จะมีการเติมคลอรีนเพื่อที่จะไม่สิ้นเปลืองคลอรีนและไม่ก่อให้เกิดสารพิษ ในกรณีที่ไม่ง่ายกำจัดสารอินทรีย์ก่อน เนื่องจากความยุ่งยากในการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตอาจเปลี่ยนสารฆ่าเชื้อโรคจากคลอรีนเป็นชนิดอื่นซึ่งไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ เช่น คลอรีนไดออกไซด์ก็สามารถทำได้เช่นเดียวกัน

ข้อดีของคลอรีน

คลอรีนมีข้อได้เปรียบสารอื่น ๆ ที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำหลายประการ ได้แก่

- 1) ราคาถูกเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจของสังคมไทยเมื่อเทียบกับสารที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคชนิดอื่น ๆ เช่น โอโซน คลอรีนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น
- 2) หาซื้อง่ายมีจำหน่ายทั่วไป
- 3) มีให้เลือกใช้หลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็นคลอรีนก๊าซ คลอรีนน้ำ และคลอรีนผง ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำผลิต
- 4) การเติมคลอรีนลงในน้ำค่อนข้างง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ข้อเสียของคลอรีน

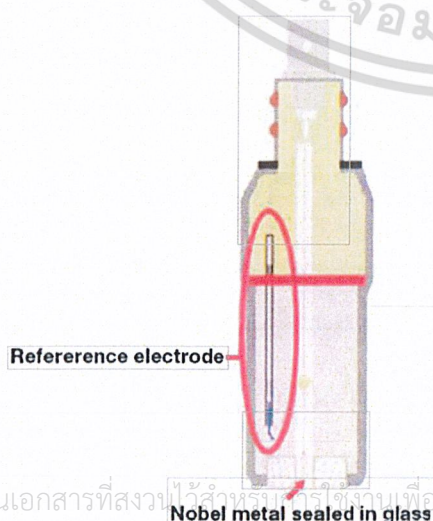
คลอรีนถึงแม้จะมีข้อดีหลายอย่างแต่ก็มีข้อด้อยเช่นกัน ได้แก่

- 1) กรณีที่น้ำมีปริมาณสารอินทรีย์สูงจะทำให้สิ้นเปลืองคลอรีนมาก เพราะคลอรีนส่วนหนึ่งจะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ นอกจากนี้คลอรีนที่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์จะให้ผลิตภัณฑ์พลอยได้พวก THMs ซึ่งเป็นสารพิษมีโทษต่อร่างกาย
- 2) ในกรณีที่มีค่า pH สูงเกิน 8 ขึ้นไปประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อโรคจะลดลง เนื่องจากคลอรีนอิสระจะอยู่ในรูปของ OCl^- ดังนั้นการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนต้องปรับ pH ไม่ให้สูงเกินไป
- 3) คลอรีนไม่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ Protozoa จำพวก *Giardia sp.* และ *Cryptosporidium sp.*

2.5 ศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation Reduction Potential, ORP)

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าหน่วย mV ที่สร้างขึ้นเมื่ออิเล็กโทรดสัมผัสกับสารละลายที่มีสารออกซิแดนต์ (Oxidant) และรีดักแทนท์ (Reductant) ORP อธิบายขนาดและทิศทางของการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างคู่ของสายพันธะทางเคมีที่เรียกว่าคูรีดอกซ์ (Redox reaction) ในคูรีดอกซ์ สารเคมีหนึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนในขณะที่สารเคมีอื่น ๆ ได้รับอิเล็กตรอน สารเคมีในการแลกเปลี่ยนรีดอกซ์ที่ได้รับอิเล็กตรอนเรียกว่าอนุมูลอิสระ (HOCl , OCl^- , ClO_2 , โบรมีน, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์) สารเคมีในการแลกเปลี่ยนรีดอกซ์ที่ให้อิเล็กตรอนเรียกว่ารีดักแทนท์ (Li^+ , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} ฯลฯ)

ออกซิแดนต์ที่ได้รับอิเล็กตรอนผ่านกระบวนการลด ส่วนรีดักแทนท์ (Reductants) สูญเสียอิเล็กตรอนผ่านกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation reaction) เช่น กลายเป็นออกซิไดซ์ (Oxidizing) เซ็นเซอร์ ORP นั้นโดยทั่วไปแล้วจะมีเซลล์ครึ่งเคมีไฟฟ้าสองเซลล์ : อิเล็กโทรดวัดที่สัมผัสกับสารละลายที่ถูกวัดและอิเล็กโทรดอ้างอิงในการสัมผัสกับสารละลายเกลือเข้มข้นสูงดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 โครงสร้างเซ็นเซอร์ ORP เซลล์อิเล็กโทรดอ้างอิงมักจะสร้างขึ้นจากเงิน / ซิลเวอร์คลอไรด์และอิเล็กโทรดการวัดมักจะสร้างจากทองคำขาว (Heather Rekalske et al., 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสารละลายที่วัดมีความเข้มข้นของตัวออกซิไดซ์สูง (oxidizing agent) จะรับอิเล็กตรอนได้มากกว่าที่สูญเสียไปเพื่อให้อิเล็กโทรดการวัดพัฒนาศักย์ไฟฟ้าให้สูงกว่าอิเล็กโทรดอ้างอิง โวลต์มิเตอร์ที่อยู่ในแนวเดียวกับขั้วไฟฟ้าทั้งสองแสดงความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง เมื่อระบบทั้งหมดมาถึงจุดสมดุลผลต่างศักย์ที่เกิดขึ้นหมายถึงศักย์ภาพในการลดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential, ORP) การอ่านเชิงบวกแสดงให้เห็นถึงการออกซิไดซ์ และการอ่านเชิงลบหมายถึงการลดลงหรือตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ยังมีค่าเป็นบวกหรือลบมากเท่าไรก็ยังทำให้สารออกซิไดซ์หรือรีดักแทนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ความเข้มข้นก็จะมากขึ้น

ORP สามารถใช้เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อทางเคมีที่ทำงานผ่านการออกซิเดชัน (Oxidation) หรือการรีดักชัน (Reduction) ของโครงสร้างของสารปนเปื้อนจุลินทรีย์ เนื่องจาก ORP ทำการวัดกิจกรรมทางเคมีทั้งหมดของสารละลาย ORP จึงวัดประสิทธิภาพโดยรวมของการออกซิไดซ์และการลดปริมาณสารฆ่าเชื้อในสารละลาย: กรดไฮโปคลอรัส, โมโนคลอโรมิน, ไดคลอโรมิน, กรดไฮโปโบรไมด์โซเดียมไฮโปคลอไรด์, UV, โอโซน, กรดเปอร์อะซิติก, bromochlorodimethylhydantoin เป็นต้น ORP บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อผ่านการออกซิเดชันและการรีดักชัน ORP ไม่สามารถใช้เพื่อตรวจสอบการมีอยู่ของสารเคมีหรือสารเคมีชนิดใดชนิดหนึ่งได้โดยเฉพาะและไม่สามารถใช้เพื่อตรวจสอบความเข้มข้นของสารเคมีในสารละลายได้ ซึ่งหมายความว่าถึงแม้ว่า ORP เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรู้ว่าน้ำยาฆ่าเชือนั้นทำงานได้หรือไม่แต่ก็ไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นน้ำยาฆ่าเชื้อประเภทใดหรือใช้งานได้เท่าใด

ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการวัดค่า ORP

ในขณะที่ความแม่นยำของเซ็นเซอร์ ORP ค่อนข้างเสถียร (ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้ไม่ต้องสอบเทียบบ่อยครั้ง) มีปัจจัยที่มีผลต่อเวลาตอบสนองของเซ็นเซอร์ ORP คือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสามารถส่งผลกระทบต่อเวลาตอบสนองโดยการเปลี่ยนแปลงอัตราการเคลื่อนไหวของปฏิกิริยาที่ถูกวัด อุณหภูมิต่ำลดอัตราการเคลื่อนไหวและยืดเวลาตอบสนองของเซ็นเซอร์ให้ยาวนานขึ้น

อิเล็กโทรดจะเปลี่ยนแปลงเวลาตอบสนองโดยการเปลี่ยน “ความหนาแน่นกระแสแลกเปลี่ยน” (ปริมาณของอิเล็กตรอนที่แลกเปลี่ยนต่อหน่วยพื้นที่ของอิเล็กโทรดที่สัมผัส) ความหนาแน่นกระแสแลกเปลี่ยนที่ต่ำลงยิ่งทำให้การตอบสนองของเซ็นเซอร์ช้าลง อิเล็กโทรดการวัดทั่วไปทำจากทองคำขาวบริสุทธิ์ (Pt) เพราะเป็นโลหะชั้นสูงดังนั้นจึงไม่มีปฏิกิริยาสูงนั่นคือศักย์ภาพในการวัดนั้นน่าจะเกิดจากกิจกรรมของสารเคมีในน้ำและไม่เกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกับตัวทองคำขาวบริสุทธิ์ แม้ว่าทองคำขาวบริสุทธิ์จะเป็นโลหะชั้นสูง แต่มันก็จะก่อตัวเป็นชั้นออกไซด์บางๆ บนพื้นผิวของทองคำขาวเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ชั้นออกไซด์นี้ช่วยให้การวัด ORP ง่ายขึ้นนอกจากนี้โมเลกุลที่ดูดซับก็ทำให้เกิด “memory effect” หากวางเซ็นเซอร์ไว้ในสารละลาย

ออกซิไดซ์ที่น้อยลงหลังจากวัดสารละลายออกซิไดซ์ที่มากขึ้นก็อาจใช้เวลาานมากสำหรับเซ็นเซอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อปรับสมดุลให้กับตัวอย่างใหม่ แม้ว่าเวลาตอบสนองของเซ็นเซอร์จะช้ากว่ามากแต่การอ่าน ORP ขั้นสุดท้ายจะเหมือนกัน

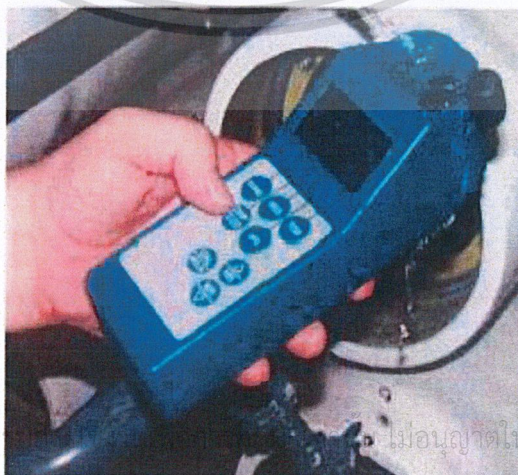
อิเล็กโทรด ORP ไม่ต้องการการปรับเทียบใหม่ (เช่นเดียวกับเซ็นเซอร์ pH) การเบี่ยงเบนจากการอ่านที่คาดว่าเป็นไปได้มากที่สุดอาจเกิดจากการปนเปื้อนของพื้นผิวอิเล็กโทรดหรือการสะสมของชั้นออกไซด์ซึ่งทั้งสองอย่างนี้สามารถแก้ไขได้โดยการทำความสะอาดด้วย Softscrub

ORP สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์เทียบสำหรับค่าคลอรีนอิสระได้ เนื่องจากการวัดค่า ORP เป็นการวัดค่าพลังงานการออกซิไดซ์ และความแรงที่เหลือจากการฆ่าเชื้อที่แท้จริงของสารละลายที่กำลังทดสอบว่ามีคลอรีนอยู่มากน้อยเพียงใดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำเช่น pH เปลี่ยนผลการออกซิไดซ์ของคลอรีนได้อย่างมาก ดังนั้นประสิทธิภาพของมันไม่เปลี่ยนแปลงว่ามีคลอรีนมากแค่ไหน เมื่อมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์การควบคุมการฆ่าเชื้อโรคที่กำหนดขึ้น การวัดประเภทนี้ให้ภาพที่แม่นยำมากของกิจกรรมการฆ่าเชื้อสำหรับความสัมพันธ์นี้จะถูกต้อง น้ำที่ผ่านการบำบัดจะต้องมีลักษณะเพื่อให้ออกไซด์ประกอบทางเคมีทั้งหมดเป็นที่รู้จักซึ่งควรรายงานค่า pH และอุณหภูมิอย่างต่อเนื่อง

ORP จะรายงานค่าเป็นตัวเลขจำนวนมากที่บ่งบอกว่าน้ำยาฆ่าเชือนั้นทำงานอย่างไร สิ่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ส่งผลต่อการดูแล เมื่อความสัมพันธ์ถูกสร้างขึ้นในระบบที่มีเสถียรภาพ ORP เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและได้ผลในการตรวจสอบการควบคุมจุลินทรีย์

ORP ได้ถูกนำมาใช้นานแล้วในน้ำอาบน้ำซึ่งเป็นวิธีการเดียวสำหรับการใช้สารเคมีอัตโนมัติ ในความเป็นจริงองค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำค่า ORP ระหว่าง 680-720 mV ขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ และบริบทเฉพาะสำหรับน้ำอาบน้ำที่ปลอดภัยในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำดื่มจำเป็นต้องมีค่า ORP ถึง 800 mV

สำหรับวัตถุประสงค์ของการตรวจหาระดับคลอรีนก่อนที่จะสัมผัสกับเยื่อ RO ที่ไว้ต่อคลอรีน ต้องมีการตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลก่อนเพื่อพิจารณาว่ามีสารเคมีใดบ้างที่มีอยู่นอกเหนือจากคลอรีน การรบกวนเหล่านี้มีเฉพาะค่า pH และอุณหภูมิคงที่ ORP สามารถสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารฆ่าเชื้อ เช่น คลอรีน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 2.19 เครื่องมือวัด ORP แบบพกพาอย่างง่าย

ORP เป็นการวัดที่รวดเร็ว และง่ายกว่าการไทเทรตด้วย DPD หรือวิธีการอื่น ๆ และในหลาย ๆ กรณีมันจะให้ภาพที่แม่นยำที่สุดของการออกซิไดซ์ และการรีดิวซ์สารเคมีในสารละลาย อีกทั้งไม่จำเป็นต้องมีความรู้เชิงลึกหรือการฝึกอบรมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง เพราะการอ่าน ORP ไม่จำเป็นต้องมีการตีความและไม่จำเป็นต้องทำการสอบเทียบ การใช้การควบคุมสารฆ่าเชื้อ ORP สามารถทำได้โดยอัตโนมัติและเซ็นเซอร์ ORP ค่อนข้างบำรุงรักษาต่ำ เมื่อพิจารณาใช้ ORP เพื่อตรวจสอบและควบคุมการเติมสารเคมีที่ทำงานผ่านรีดอกซ์ (Redox) การใช้งานจะช่วยประหยัดเวลาความยุ่งยากและเงินในระยะสั้นและระยะยาว (Heather Rekalske *et al.*, 2013)

2.6 ปัญหาความขุ่นและสารอินทรีย์ธรรมชาติ (Natural organic matter, NOM)

NOM หมายถึง กลุ่มสารเชิงซ้อนที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่พบในน้ำธรรมชาติ บทบาทของ NOM ในแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมที่ต้องให้ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจาก NOM มีผลต่อการฆ่าเชื้อโรค นอกจากนี้ NOM ยังมีผลกระทบต่อความเสถียรภาพทางชีวภาพของน้ำภาพรวมที่มองเห็นจากผลกระทบของ NOM คือ เกิดสี กลิ่น และรสในน้ำ เป็นต้น

แหล่งกำเนิดของสารอินทรีย์ธรรมชาติ

สารอินทรีย์ในน้ำมีบทบาทสำคัญในงานด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2547) โดยทั่วไปสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) สารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของอินทรีย์สาร ซากพืช ซากสัตว์ในน้ำธรรมชาติที่เรียกว่า Natural Organic Matter (NOM) เกิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กจนสามารถละลายน้ำได้ เช่น สารกลุ่มฮิวมิก (Humic Acid) และฟลูวิก (Fulvic Acid) ซึ่งสารทั้งสองนี้ยังมีส่วนทำให้เกิดสีในน้ำ (สีน้ำตาลอ่อนหรือสีชา)

2) สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นด้วยจุลินทรีย์ ประกอบด้วย โปรโตซัว แบคทีเรีย เชื้อรา และสาหร่ายเซลล์เดียว สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นนี้อาจละลายปนเปื้อนมากับน้ำโดยตรงหรือเกิดจากซากจุลินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายทำให้สารอินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ละลายปนมากับน้ำ ตัวอย่าง เช่น สารกลุ่มไมโครซีสติน (Microcystin) ที่เกิดจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว Microcystin Aeruginose ซึ่งสารกลุ่มนี้บางตัวเป็นสารพิษ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวชื่อโอเชียลาโตเรีย ลิโมสา (Oseillatoria Limosa) จะผลิตสารกลุ่มที่เกิดจากการเผาผลาญในเซลล์ของสาร Methylisorneol ซึ่งเป็นสารที่ทำให้มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เป็นต้น

3) สารอินทรีย์ที่เกิดจากน้ำเสียชุมชน กิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ตลอดจนการขับถ่าย ขำระล้างร่างกายของมนุษย์มีส่วนทำให้มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนไปกับน้ำได้ รวมทั้งสารเคมี ยาฆ่าแมลง และปุ๋ย เป็นต้น

4) สารอินทรีย์ที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียและระบบปรับสภาพน้ำ เช่น สารเร่ง การตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสีย นอกจากนี้ในระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์

ที่จุลินทรีย์ไม่อาจย่อยสลายได้ ตลอดจนซากจุลินทรีย์หลงเหลือปนเปื้อนในน้ำที่ผ่านระบบบำบัด เมื่อผ่านระบบการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีนอาจทำให้สารเหล่านี้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความเป็นพิษเพิ่มมากขึ้นได้ เช่น ทำให้เกิดสารในกลุ่มไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes: THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่ง

ปัญหาความขุ่นเกิดจากสารพวกที่แขวนลอยในน้ำ เช่น ดินโคลน ทรายละเอียด และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจำพวกสาหร่ายเซลล์เดียว แพลงก์ตอน ปริมาณของแข็งแขวนลอยจะพบมากในแหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ส่วนน้ำบาดาลจะค่อนข้างใส เนื่องจากผ่านการกรองโดยชั้นดิน โดยจะใช้คลอรีนซึ่งเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อในน้ำประปา และสระว่ายน้ำ โดยสารตกค้างที่เกิดขึ้นจากการฆ่าเชื้อด้วยคลอรีน (DBPs) นั้นจะเกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนกับสารอินทรีย์ในน้ำ โดยปฏิกิริยาของสารอินทรีย์กับคลอรีนดังแสดงในสมการที่ 2.14



2.7 หลักการทางสถิติสำหรับวิเคราะห์ผลการศึกษา

การคำนวณสถิติมาตรฐาน ISO 13528: 2015, Algorithm A ซึ่งจะได้ค่า Robust mean (x_{pt}), Robust SD (σ_{pt}) วิธีการอย่างย่อตามวิธี Algorithm A ใน ISO 13528: 2015 ขั้นตอนแรกนำข้อมูลมาเรียงจากน้อยไปหามาก แล้วคำนวณหาค่า x^* (median) ค่า s^* (จากสูตร $s^* = 1.483 \times \text{median } |x_i - x^*|$; x_i คือ ข้อมูลค่าในแต่ละชุด (Iteration) โดยปรับค่า x_i ที่อยู่นอกช่วง lower limit ($x^* - \delta$) ถึง upper limit ($x^* + \delta$) โดย $\delta = 1.5s^*$ ให้อยู่ในช่วง ทำซ้ำใน Iteration ต่อ ๆ ไปจนทั้งค่า new x^* และ new s^* คงที่ (ตัวเลขไม่เปลี่ยนแปลงถึงทศนิยมที่กำหนด อย่างน้อย 3 เลขนัยสำคัญ) ซึ่งค่า new x^* (robust mean) คือ ค่า assigned value ที่ได้ และ new s^* (robust SD) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งใช้เป็นค่ากำหนด x_{pt} และ σ_{pt} ตามลำดับ เพื่อใช้คำนวณสถิติ z-score ประเมินผลความสามารถทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการในขั้นตอนต่อไป

2.8 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ศุภรักษ์และคณะ (2559) ศึกษาการจำลองปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในระบบท่อจ่ายน้ำประปา โดยพื้นที่ศึกษาอยู่ในพื้นที่รับผิดชอบของสำนักงานประปาสาขาลาดพร้าว การประปานครหลวง และได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือที่สถานีสูบน้ำลาดพร้าวกับจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวัง 12-03-05 ผลการศึกษาพบว่าระยะเวลาที่ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือในการเดินทางจากสถานีสูบน้ำลาดพร้าวไปถึงจุดจ่ายน้ำเข้าพื้นที่ศึกษาประมาณ 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การศึกษาการกระจายตัวของคลอรีนในระบบท่อจ่ายน้ำในพื้นที่เฝ้าระวังถึงระดับจุดผู้ใช้ น้ำ พบว่าโปรแกรม EPANET มีข้อจำกัดในเรื่องการคำนวณอายุน้ำ คือ ค่าอายุน้ำในแต่ละเส้นท่อต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1 นาที จึงทำให้ต้องมีการรวมเส้นท่อที่อายุน้ำไม่ผ่านเกณฑ์เข้าด้วยกันก่อน วิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าอายุน้ำกับอัตราการไหลของน้ำเข้าพื้นที่เฝ้าระวังมีความสัมพันธ์แบบ ผกผันกันอย่างชัดเจน รวมทั้งพบว่าปริมาณคลอรีนที่จุดจ่ายน้ำเข้าอยู่ในช่วง 0.20-1.00 มิลลิกรัม ต่อลิตร ได้สลายตัวและคงเหลือ ณ จุดวัดไกลสุดอยู่ในช่วง 0.05-0.60 มิลลิกรัมต่อลิตร

นางอุณงค์ เจริญสันติสุข และคณะ (2561) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณ คลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากสะพานปลา และผลกระทบของคลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อ แบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-85 mg/L ที่ระยะเวลา สัมผัส 30 นาที จากการศึกษาพบว่าที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-50 mg/L ตรวจไม่พบ ปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย และพบปริมาณคลอรีนคงเหลือที่ระดับความเข้มข้น 55 mg/L เป็นต้นไปโดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 85 มีปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดมากที่สุด และที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 70 mg/L มีปริมาณคลอรีนคงเหลือที่น้อยที่สุด และเมื่อ หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนคงเหลือและการลดลงของแบคทีเรียที่ระดับความเข้มข้น คลอรีนตั้งต้น 55-70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าเมื่อ ระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นปริมาณคลอรีนคงเหลือจะลดลงในทุกระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) รวมทั้งเมื่อระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น เพิ่มขึ้นจะทำให้แบคทีเรียถูกทำลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

Naohiro Kihida, et al. (2013) เครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องขนาดใหญ่สองเครื่อง (SBRs) ถูกดำเนินการในการศึกษาระยะเวลากักเก็บไฮดรอลิกแบบคงที่เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของ ศักยภาพในการลดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential, ORP) pH และออกซิเจน ที่ละลายในน้ำเป็นพารามิเตอร์ในการบ่งบอกถึงการแยกตัวออกตามด้วยไนตริฟิเคชันใน SBRs สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากสุกร ORP และ pH ได้รับการตรวจสอบและประเมินผลภายใต้เงื่อนไขความ แตกต่างกันของดีไนตริฟิเคชัน (denitrification) และไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยมีและไม่มี แหล่งคาร์บอนเสริมด้วยอัตราส่วน C/N ต่ำ และการใช้การควบคุมการปรับอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสม ORP และ pH สามารถใช้เป็นพารามิเตอร์การตรวจสอบและควบคุมทั้งในขั้นตอนที่เป็น พืชและออกซิไดซ์สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากสุกรได้ พบการสะสมไนเตรตระดับสูงโดยไม่มีการปรับ อัตราส่วน C/N ใดๆ ในกรณีนี้ ORP และ pH ไม่ได้มีประโยชน์สำหรับการตรวจสอบดีไนตริฟิเคชัน และไนตริฟิเคชันใน SBRs จากการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดไนโตรเจน (N) จะเป็นการดีกว่าถ้าใช้ pH เป็นพารามิเตอร์ในช่วงใช้ออกซิเจนในรูปแบบ O_2 (oxic phase) และ ORP เป็นพารามิเตอร์ในช่วงไม่ ใช้ออกซิเจนในรูปแบบ O_2 (anoxic phase) เมื่อใช้การปรับอัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมในอิทธิพลโดย การเพิ่มสารละลายของสุกรประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมสูงถึง 95.5 % พบว่าในกรณีนี้

การใช้ ORP และ pH เป็นพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการควบคุมแบบเรียลไทม์สามารถทำได้ในน้ำเสียของสุกร

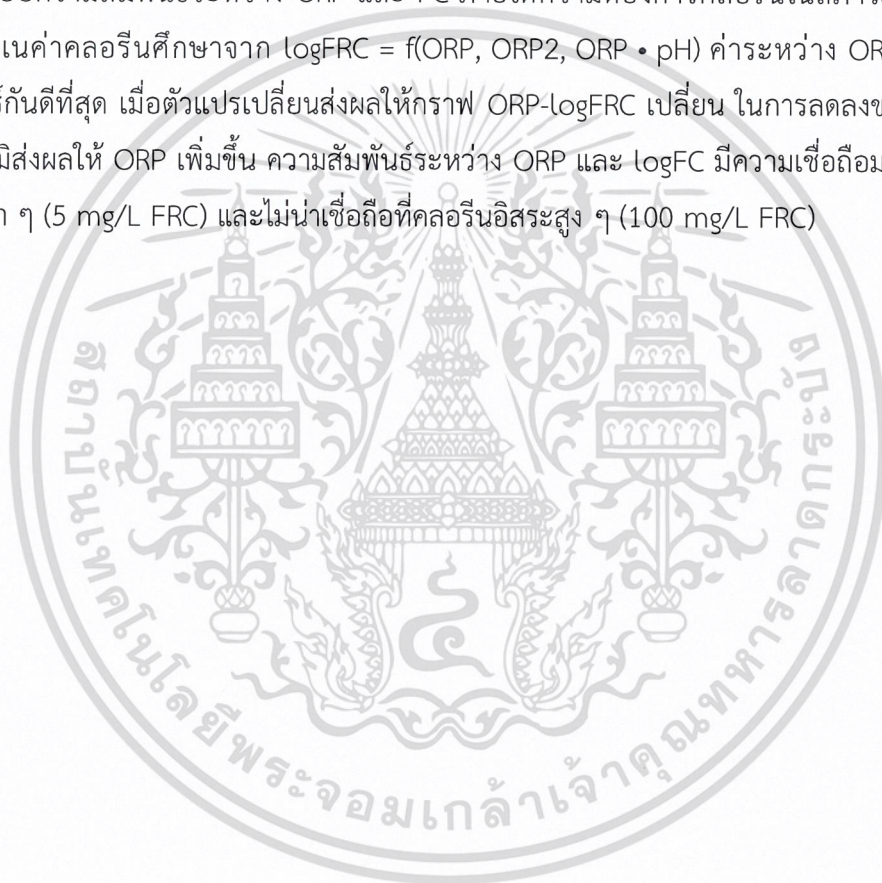
Kayla Murray, *et al.* (2017) การเปลี่ยนแปลงของระดับคลอรีนอิสระ (FC) ภายในกระบวนการล้างผักกาดหอมเชิงพาณิชย์จะมีการล้างผักกาดหอมในถังล้างที่ 1 และตามด้วยน้ำล้างชีวภาพในถังล้างที่ 2 โดยความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (FC) ของการล้างในถังล้างที่ 1 มีความผันผวน ตั้งแต่ 4-27 ppm และจะมีค่าลดลงในถังล้างที่ 2 โดยค่าคลอรีนอิสระจะต่ำถึง 0.1 ppm แม้ว่าจะมีความผันผวนของค่าคลอรีนอิสระ (FC) แต่ค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ของถังล้างผักกาดหอมถังที่ 1 มีค่าคงที่ ดังนั้น ค่าคลอรีนอิสระ (FC) และค่าศักยภาพการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP) ไม่มีความสัมพันธ์กัน ($r^2 = 0.37$)

Tong-Jen Fu, *et al.* (2018) การศึกษาครั้งนี้ตรวจสอบปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการล้างผลผลิตในการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* O157: H7 โดยใช้ผักกาดหอมสด (8 หรือ 20 กรัม) นำมาเติมเชื้อ *E. coli* O157: H7 $7 \log \text{CFU/g}$ ใช้ระบบ Green Fluorescence Protein (GFP) ในการตรวจผลการฝากถ่ายยีน นำผักกาดหอมที่ไม่ผ่านการตัด (800 หรือ 2,000 กรัม) ล้างในน้ำ 40 ลิตร นาน 2 นาที การทดลองนี้ได้ใช้ทั้งน้ำประปาที่ผ่านการฆ่าเชื้อ และน้ำที่เก็บจากจากโรงงานแปรรูปผักใบเขียวในเชิงพาณิชย์ ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ล้างในน้ำที่มีคลอรีนอิสระ (0, 5, 20 และ 30 ppm) อุณหภูมิของน้ำ (3 และ 20 °C) อัตราส่วนใบต่อน้ำ (1 : 20 และ 1 : 50) และอัตราการไหลของน้ำ (เร็ว, ปานกลาง และช้า) ประสิทธิภาพของการล้างด้วยคลอรีนนั้นสูงมากโดยมีผลมาจากระดับคลอรีนอิสระและคุณภาพของน้ำที่ใช้ล้าง, อุณหภูมิ, อัตราส่วนผักกาดต่อน้ำ หรืออัตราการไหลของน้ำไม่มีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อผักกาดหอมถูกล้างในน้ำประปา ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระที่ใช้ล้าง 10 หรือ 20 ppm จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อ *E. coli* O157: H7 และต้องใช้คลอรีน 30 ppm เพื่อป้องกันการปนเปื้อนระหว่างการล้างในน้ำจากอุตสาหกรรม การเพิ่มขึ้นของสารอินทรีย์ส่งผลให้คลอรีนลดลงและของแข็งทำให้เชื้อโรคสามารถอยู่รอดได้ดี นำไปสู่การการฆ่าเชื้อโรคด้วยคลอรีน ORP ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับคลอรีนอิสระ พบการปนเปื้อนของ *E. coli* O157: H7 เมื่อ ORP เกิน 650 mV บ่งชี้ได้ว่า ค่า ORP ไม่ควรเกิน 650 mV

Yaguang Luo, *et al.* (2018) ความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (FC) ที่มีประสิทธิภาพน้อยที่สุดเพื่อป้องกันการรอดชีวิตของเชื้อโรค และการปนเปื้อนระหว่างการล้างผลผลิตเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการพัฒนาด้านความปลอดภัยของอาหาร โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (FC) แบบไดนามิกและการอยู่รอดของแบคทีเรีย ได้รับการคิดค้นในระหว่างการล้างเชิงพาณิชย์ของผักกาดหอมสับ ผักกาดแก้วหั่นเป็นชิ้น และกะหล่ำปลีหั่นสี่เหลี่ยมลูกเต๋า จากการศึกษาโดยการสุ่มตัวอย่างน้ำล้างทุก 30 นาที และทำการทดสอบการรับภาระสารอินทรีย์ (Organic loading) คลอรีนอิสระ (FC) และแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิอบอุ่น (Mesophilic bacteria) หลังจากการล้างผักกาดหอมด้วยคลอรีน คลอรีนรวม (Combined chlorine) จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่คลอรีน

อิสระ (FC) มีความผันผวนต่ออัตราการเติมคลอรีน การเติมผลผลิต และการเติมน้ำ การรอดชีวิตของแบคทีเรียทั้งหมดความสัมพันธ์กับความเข้มข้น FC แบบ Real Time ภายใต้ความเข้มข้นประมาณ 10 mg/L การเพิ่มขึ้นของคลอรีนอิสระ (FC) จะช่วยลดความถี่และจำนวนแบคทีเรียที่รอดชีวิต การศึกษานี้ยืนยันว่าค่าความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ (FC) อย่างน้อย 10 mg/L ในน้ำล้างจะลดโอกาสในการรอดชีวิตของแบคทีเรียและการปนเปื้อนของผลผลิตได้เป็นอย่างดี

SamVan Haute, *et al.* (2019) การควบคุมปริมาณคลอรีนอิสระที่ค่า pH ที่เหมาะสมเป็นวิธีการควบคุมเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของเชื้อโรค ความสามารถในการให้อิเล็กตรอนและการรับอิเล็กตรอน (ORP) เป็นการวัดที่รวดเร็วใช้ในการประมาณค่าคลอรีนอิสระ การศึกษานี้เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง ORP และ FC ภายใต้ความต้องการคลอรีนในสภาวะอิสระ การคาดคะเนค่าคลอรีนศึกษาจาก $\log FRC = f(ORP, ORP2, ORP \cdot pH)$ ค่าระหว่าง ORP และ FRC สัมพันธ์กันดีที่สุด เมื่อตัวแปรเปลี่ยนส่งผลให้กราฟ ORP-logFRC เปลี่ยน ในการลดลงของ pH และอุณหภูมิส่งผลให้ ORP เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง ORP และ logFC มีความเชื่อถือมากที่คลอรีนอิสระต่ำ ๆ (5 mg/L FRC) และไม่น่าเชื่อถือที่คลอรีนอิสระสูง ๆ (100 mg/L FRC)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

- 1) ชุดทดสอบ FRC (est kit) ยี่ห้อ Lovibond รุ่น MD 200
- 2) เครื่องวัดความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (ORP meter) ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น InLab sensor
- 3) เครื่องมือวัดความเป็นกรดต่าง (pH meter) ยี่ห้อ Seven Compact pH รุ่น ION S220
- 4) เครื่องมือวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conduct meter) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO pH รุ่น Seven Compact
- 5) เครื่องมือวัดค่าความขุ่น (Turbidity meter) ยี่ห้อ HACH รุ่น 2100Q
- 6) บิวเรต
- 7) เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

- 1) DPD (N, N-Diethyl P Phenylenediamine) ยี่ห้อ Lovibond, Tintometer group เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
- 2) สารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) 0.0141 N reagent group ยี่ห้อ HACH เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
- 3) โพแทสเซียมโครเมต อินดิเคเตอร์ (K_2CrO_4 Indicator) ยี่ห้อ Merck เกรดวิเคราะห์ (AR grade)
- 4) สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl_2)

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 จุดเก็บน้ำตัวอย่าง

3.2.1.1 ตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการหาค่าความสามารถในการออกซิเดชัน-รีดักชันและการหาค่าคลอรีนอิสระ

การเก็บน้ำตัวอย่างในโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เก็บทั้งหมด 2 เวลา คือ ขณะเติมคลอรีนและไม่เติมคลอรีน ซึ่งเก็บตามจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนด คือ ชุดที่ 1 เก็บน้ำ Raw water, Cooling tower และ Bleed off และชุดที่ 2 เก็บ Cooling tower และ Bleed off โดยเก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร เก็บจุดละ 1 ขวด โดยเก็บน้ำตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดดังแสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานที่ผิดพลาด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.1 จุด R คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำดิบที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตน้ำบริสุทธิ์และแลกเปลี่ยนความร้อนที่ระบบหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือ จุด A, B และ C คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำจากระบบหอหล่อเย็น คือ Cooling Outlet Condenser มีการเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค จุด D และ E คือ จุดเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนจากระบบหอหล่อเย็นแล้วก่อนที่จะปล่อยออกสู่อ่างน้ำเจ้าพระยา

3.2.1.2 ตัวอย่างที่ใช้ตรวจวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการหาค่าความสามารถในการออกซิเดชัน-รีดักชันและการหาค่าคลอรีนอิสระ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

Parameter	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ				
	Electro-Metric	Nephelometric	Argento-metric	Calculation	DPD Colorimetric
pH	✓				
Conductivity	✓				
Turbidity		✓			
TDS				✓	
Salinity	✓				
Chloride			✓		
Temperature	✓				
FRC					✓
ORP	✓				

ที่มา : การประปานครหลวง, 2019

3.2.2 การวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระ

เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ เปิดน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้ 5-10 นาที เก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวดขนาด 10 มิลลิลิตร เพื่อทำการ set blank หลังจากนั้นใส่ DPD (N, N-Diethyl P Phenylenediamine) ชนิดเม็ดลงในน้ำตัวอย่าง บดเม็ด DPD ให้ละเอียด รีบปิดฝา (ควรทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการระเหยของคลอรีน) ทำการวัดค่าและบันทึกผลที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน

เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ เปิดน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้ 5-10 นาที เก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 500 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์โดยล้างหัววัด ORP ด้วยน้ำกลั่นใช้ทิชชูซับให้แห้ง จากนั้นจุ่มหัววัดลงไปในน้ำตัวอย่าง รอจนค่าที่อ่านคงที่และบันทึกผลที่ได้

3.2.4 การหาปริมาณคลอไรด์โดยวิธี Argentometric

3.2.4.1 การทดสอบ Reagent Blank

ตวงน้ำกลั่น 100 ml ลงใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml เติมสารละลาย K_2CrO_4 1.0 ml ไทเทรตกับ Standard $AgNO_3$ 0.0141 N (titrant) จนได้สีเหลืองอมส้ม (Light burnt orange) ถือว่าเป็น end point บันทึกปริมาตรที่ใช้ ซึ่งค่า blank ควรอยู่ระหว่าง 0.3-0.5 ml

3.2.4.2 ทดสอบตัวอย่าง

ตวงตัวอย่างน้ำ 100 ml ใส่ Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml

* ถ้าความเข้มข้นสูงกว่า 5 mg/l ให้ตวงตัวอย่างน้ำ 50 ml

* ถ้าความเข้มข้นน้อยกว่า 5 mg/l ให้ตวงตัวอย่างน้ำ 100 ml

หยด phenolphthalein indicator เล็กน้อย ถ้าสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูให้หยดกรด H_2SO_4 จนกระทั่งสีชมพูหายไป แต่ถ้าหลังหยด phenolphthalein indicator แล้วสารละลายไม่มีสีให้หยด NaOH จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพูจากนั้นหยดกรด H_2SO_4 1-2 หยด จนกระทั่งสีชมพูหายไป เติมสารละลาย K_2CrO_4 1.0 ml นำไปไทเทรตกับ Standard $AgNO_3$ 0.0141 N (titrant) จนได้สีเหลืองอมส้ม (Light burnt orange) ถือว่าเป็น end point บันทึกปริมาตรที่ใช้
หมายเหตุ ตัวอย่างน้ำควรมีค่า pH ในช่วง 7-10 ถ้า pH ไม่อยู่ในช่วงดังกล่าว ให้ปรับ pH ด้วยสารละลาย H_2SO_4 หรือ NaOH โดยใช้ phenolphthalein เป็น indicator

3.2.5 คำนวณหาปริมาณคลอไรด์

$$[Cl^-], \text{mg/L} = \frac{(A-B) \times 35.45 \times 1000}{\text{sample volume, ml}} \quad (3.1)$$

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

โดย A = ปริมาตร Silver nitrate ที่ใช้ในการไทเทรตกับตัวอย่าง, ml

B = ปริมาตร Silver nitrate ที่ใช้ในการไทเทรต blank, ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
N = ความเข้มข้นของ Silver nitrate ที่ใช้, N = 0.0141 N
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 การทำคลอรีนโปรไฟล์ (Chlorine Profile)

การศึกษาคลอรีนโปรไฟล์ เป็นการวัดค่า FRC และ ORP มีระยะเวลาในการทำการทดลองเพียง 1 วัน เริ่มทำการเก็บข้อมูลก่อนการเติมคลอรีน 30 นาที ไปจนถึงหลังการเติมคลอรีน 30 นาที โดยทำการเก็บค่าทุก ๆ 10 นาที ซึ่งผู้ทำการทดลอง 2 คนจะทำการวัดค่า FRC และ ORP พร้อมกัน

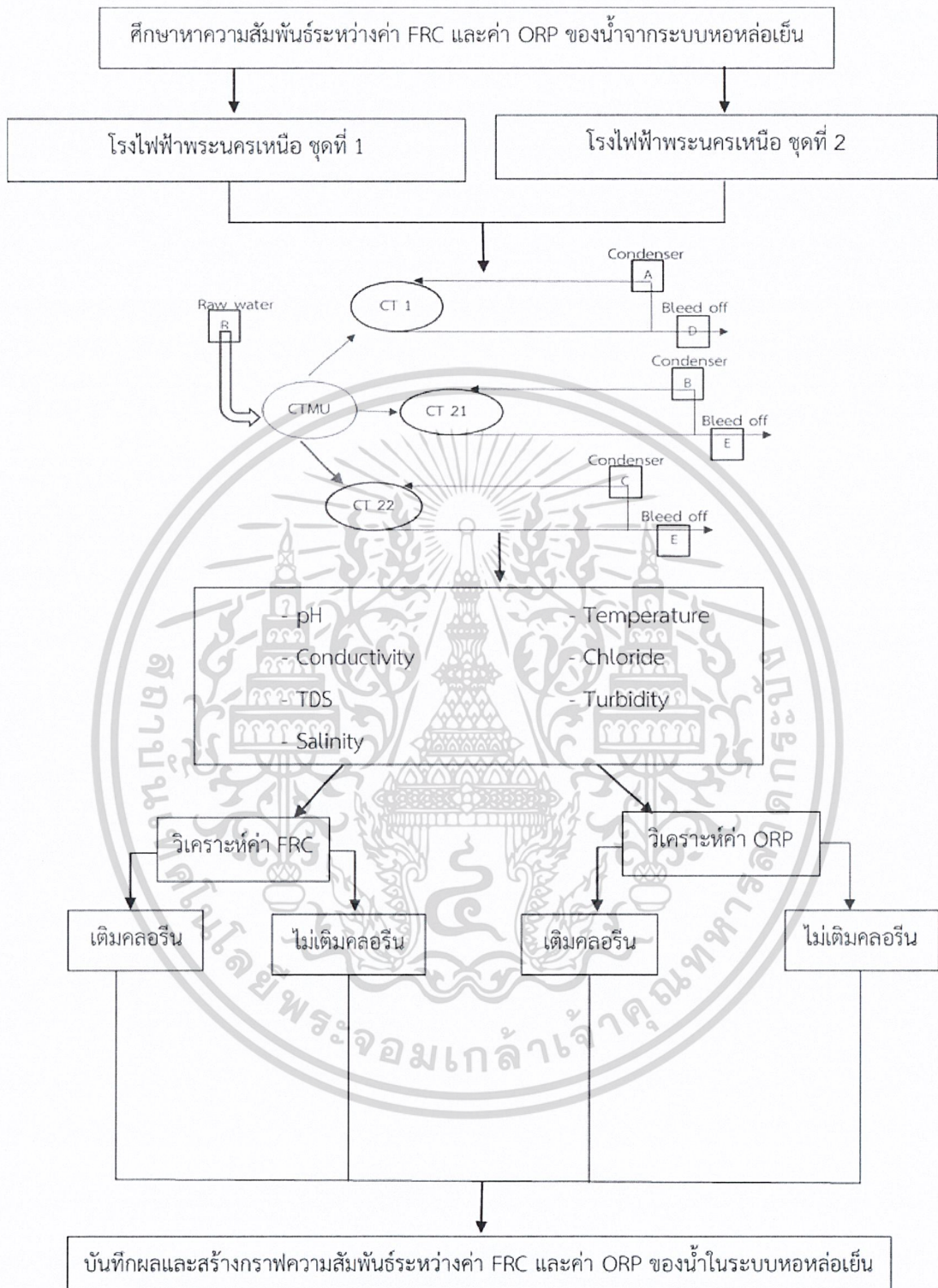
กำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อทำการวัดคลอรีนโปรไฟล์ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยจะทำการตรวจวัด ณ จุดเก็บ A (Cooling Outlet Condenser Block 1), B (Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 21) และ C (Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 22) ซึ่งมีวิธีการตรวจวัด ดังนี้

เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระ เปิดน้ำ ณ จุดเก็บตัวอย่างทิ้งไว้ 5-10 นาที เก็บน้ำตัวอย่างใส่ขวดขนาด 10 มิลลิลิตร ทำการ set blank หลังจากนั้นใส่ DPD (N, N-Diethyl P Phenylenediamine) ชนิดเม็ดในน้ำตัวอย่างบดเม็ด DPD ให้ละเอียด รีบปิดฝา (ควรทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการระเหยของคลอรีน) แล้วทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง และบันทึกผล ผู้ทำการทดลองอีกคน เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน เก็บน้ำใส่ขวดพลาสติกชนิด HDPE ขนาด 500 มิลลิลิตร มาวิเคราะห์โดยล้างหัวโพรบ ORP ด้วยน้ำกลั่นใช้ที่ชุบซับให้แห้ง จากนั้นนำหัววัด ORP จุ่มลงไปวัดค่าของน้ำตัวอย่าง รอจนค่าที่อ่านคงที่และบันทึกผล ในการตรวจวัดค่า FRC กับค่า ORP จะต้องทำการตรวจวัดพร้อมกันทุก ๆ 10 นาที จนครบกำหนดเวลา ก่อนเติมคลอรีน 30 นาที จนถึงหลังเติมคลอรีน 30 นาที นำค่า FRC ที่วัดได้จากการตรวจวัดค่าคลอรีนโปรไฟล์มาพล็อตกราฟเทียบกับค่า FRC ที่ได้จากการคำนวณ (ภาคผนวก ข-3)

3.2.7 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

- 1) ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1999
- 2) กรณีที่มีการใช้กราฟมาตรฐาน $R^2 = 0.9950$
- 3) ตรวจสอบค่านัยสำคัญทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระและความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบน้ำหล่อเย็น เพื่อนำสมการความสัมพันธ์มาใช้ตรวจสอบค่า FRC ได้ตลอดเวลาโดยผ่านเครื่อง Monitoring Online ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ทำการเก็บข้อมูล 2 ช่วงเวลา คือขณะเติมคลอรีน และไม่เติมคลอรีน โดยเก็บทั้งหมด 6 จุดเก็บ ซึ่งจะนำจุดที่โรงไฟฟ้าพระนครเหนือต้องการที่จะติดตั้งเครื่องออนไลน์มาสรุปผลทั้งหมดมี 5 จุด ได้แก่

จุด (A) Cooling Outlet Condenser Block 1

จุด (B) Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 21

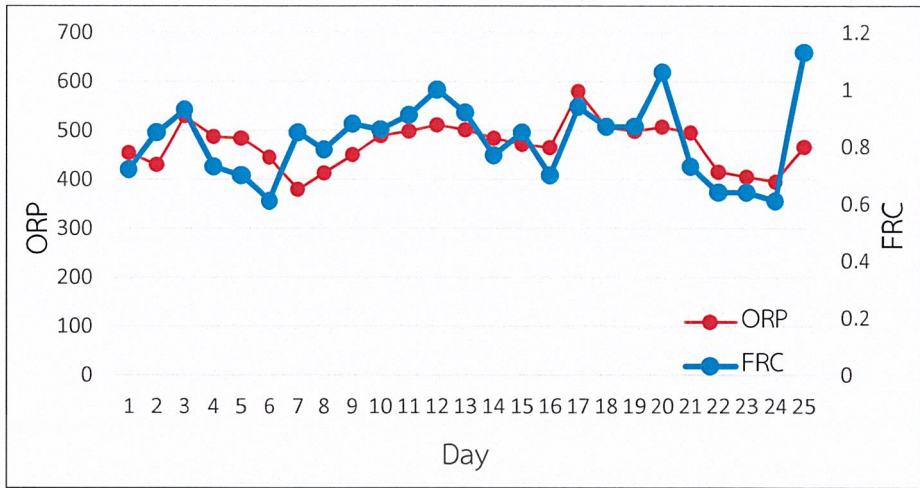
จุด (C) Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 22

จุด (D) Bleed off Block 1

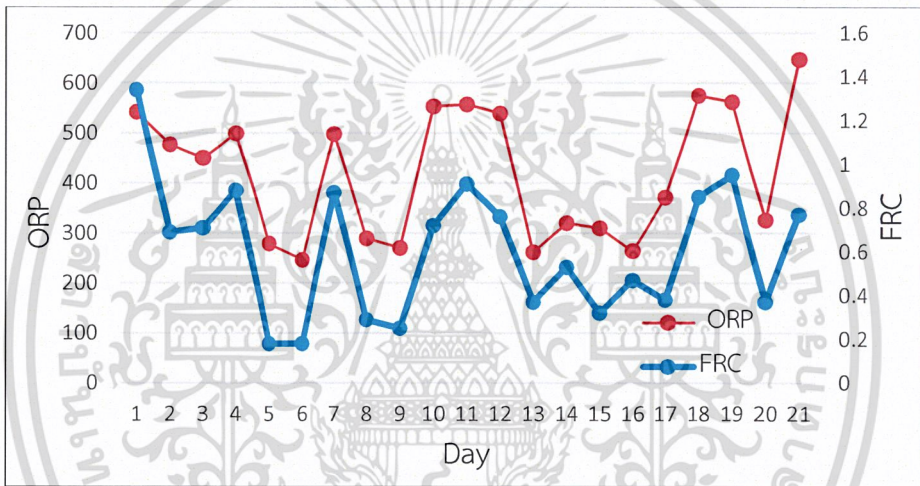
จุด (E) Bleed off Block 2

4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ

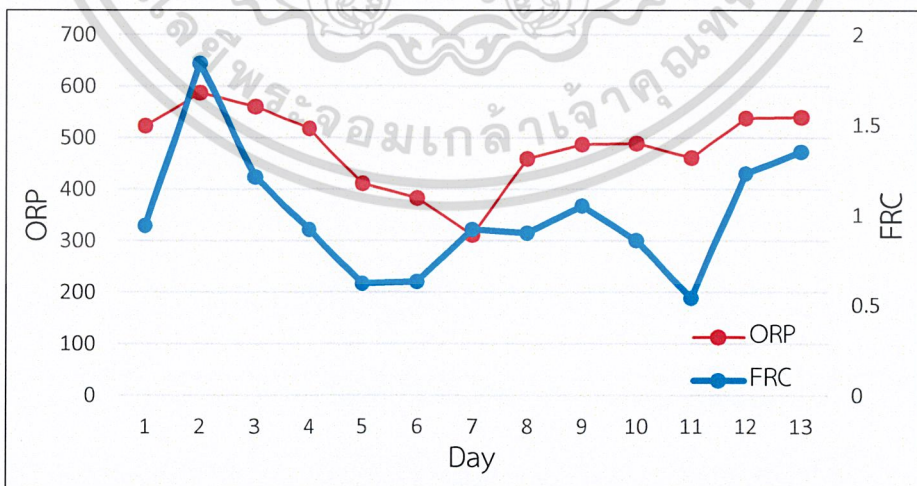
การดำเนินงานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำประจำวัน ณ จุดเก็บ A, B, C, D และ E ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยทำการเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 25, 21, 13, 25 และ 34 วัน ตามลำดับ เพื่อวิเคราะห์ค่าคลอรีนอิสระคงเหลือและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน ในแต่ละจุดเก็บมีจำนวนวันที่เก็บตัวอย่างต่างกัน เนื่องจากโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 2 ได้มีการหยุดเดินระบบและซ่อมบำรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานมากขึ้น ซึ่งผู้ทำการวิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำตั้งแต่วันที่ 4 ตุลาคม ถึง 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แล้วนำข้อมูลที่วัดได้พล็อตลงโปรแกรม Excel เพื่อหาแนวโน้มค่าคลอรีนอิสระคงเหลือและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน แสดงดังรูปที่ 4.1-4.5 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ของค่า ORP และค่า FRC มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อค่า ORP สูง ส่งผลให้ FRC ก็สูงขึ้นด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด A

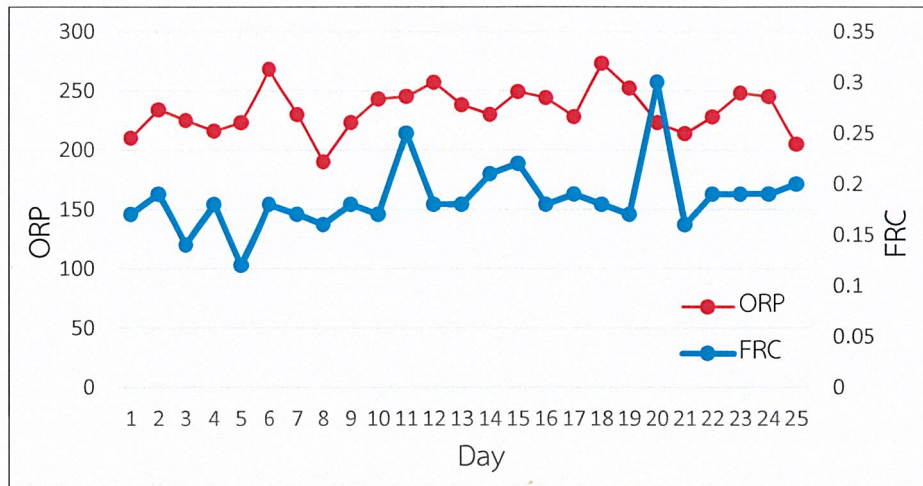


รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด B

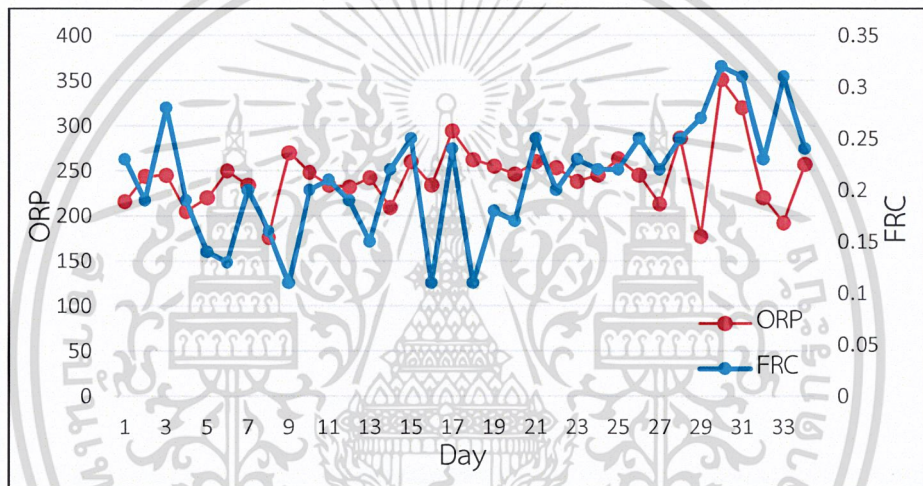


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด D

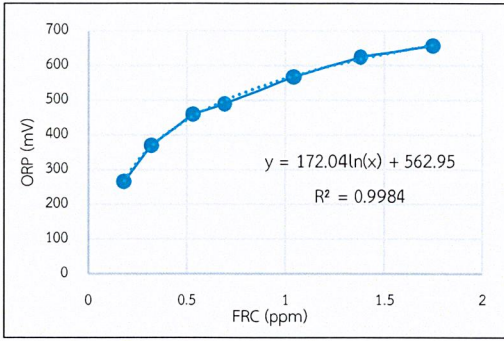


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด E

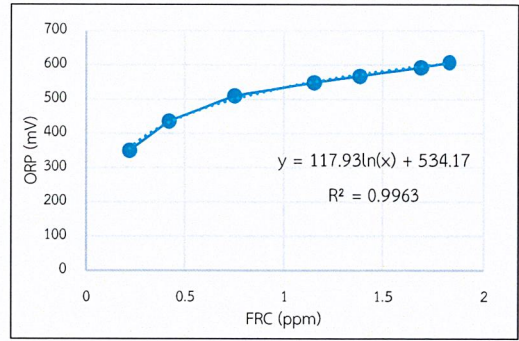
4.2 ผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ในระบบน้ำหล่อเย็น

ในการศึกษานี้นอกจากผู้วิจัยจะทำการเก็บข้อมูลประจำวันแล้ว ยังได้มีการเก็บน้ำตัวอย่าง ณ จุดเก็บ A, B, C, D และ E ของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์ ลงไปในน้ำ ตัวอย่าง ทำการตรวจวัดค่าคลอรีนอิสระคงเหลือและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน และบันทึกผล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.6

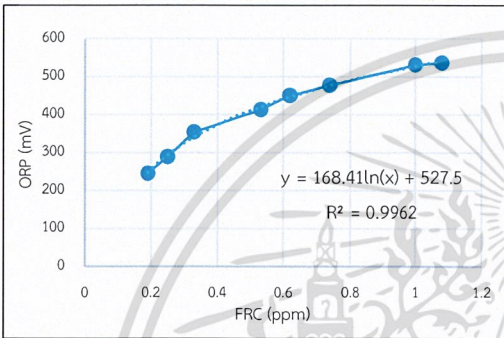
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



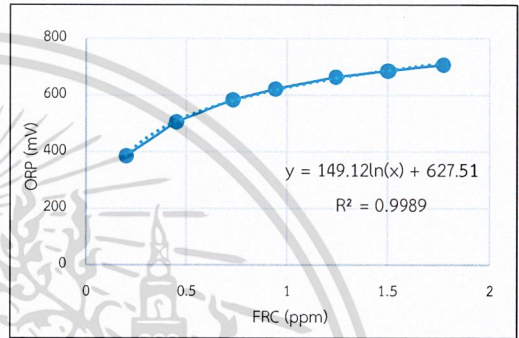
(ก) จุดเก็บ A



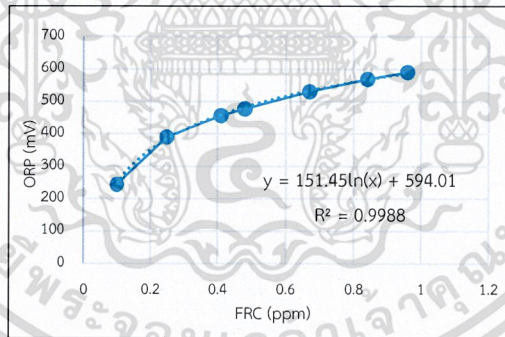
(ข) จุดเก็บ B



(ค) จุดเก็บ C



(ง) จุดเก็บ D



(จ) จุดเก็บ E

รูปที่ 4.6 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP แต่ละจุดเก็บ

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า เมื่อปริมาณการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรด์มากขึ้นค่า FRC และค่า ORP จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามลำดับ (ข้อมูลดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-2, ก-4, ก-6, ก-8, และ ก-10) ชุดข้อมูลที่ได้มีลักษณะเข้าใกล้เส้นโค้ง จึงเลือกใช้สมการลอการิทึมจากข้อมูลที่ได้สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ แสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 4.1 สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ณ จุดเก็บน้ำต่าง ๆ

จุดเก็บน้ำ	สมการ	R ²	สมการที่
A	$y = 172.04\ln(x) + 562.95$	R ² = 0.9984	4.1
B	$y = 117.93\ln(x) + 534.17$	R ² = 0.9963	4.2
C	$y = 149.12\ln(x) + 627.51$	R ² = 0.9989	4.3
D	$y = 168.41\ln(x) + 527.5$	R ² = 0.9962	4.4
E	$y = 149.85\ln(x) + 523.71$	R ² = 0.9988	4.5

4.3. ผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal})

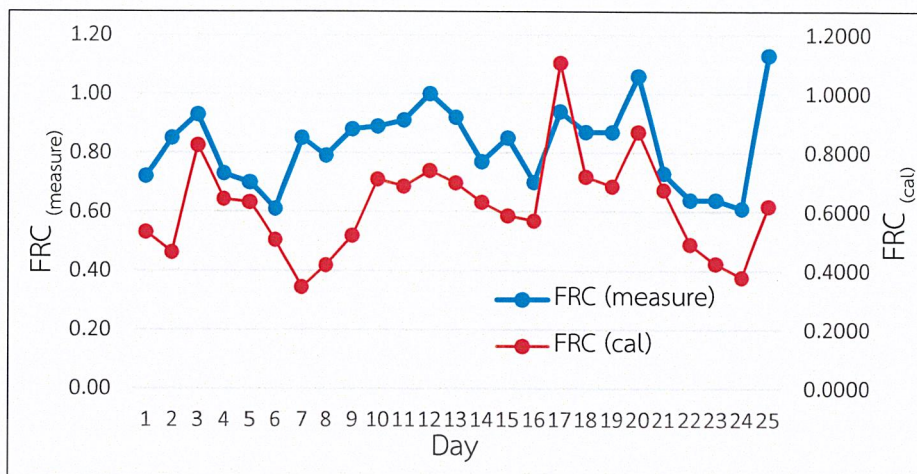
เมื่อนำค่า ORP ที่ได้จากการวัดแทนลงในสมการสมการลอการิทึม ดังสมการที่ 4.1-4.5 จะได้ผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ในระบบน้ำหล่อเย็น โดยจะนำจุดที่โรงไฟฟ้าพระนครเหนือต้องการที่จะติดตั้งเครื่องออนไลน์มาสรุปผลทั้งหมดมี 5 จุด ได้แก่ จุด A-E ซึ่งแสดงในหัวข้อที่ 4.3.1-4.3.2

4.3.1 ศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และ ORP

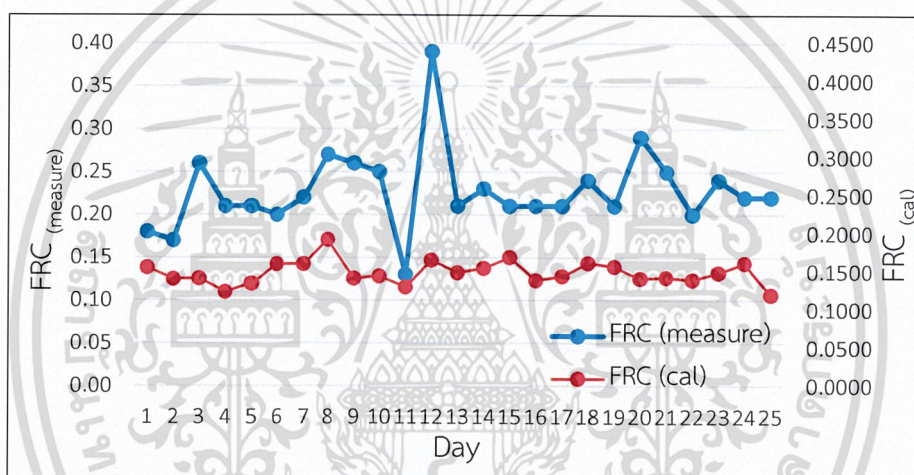
นำข้อมูลการตรวจวัดค่า FRC และ ORP ที่ได้ในช่วงทำการศึกษามาทำการพล็อตกราฟเพื่อศึกษาแนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูล

4.3.1.1 จุด A (Cooling Outlet Condenser Block 1)

จากข้อมูลค่า FRC และ ORP ในช่วงที่ทำการศึกษา 25 วัน (ดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-1 และข-2) พบว่ามีค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.13-1.13 ppm และค่า ORP อยู่ระหว่าง 171-580 mV เมื่อนำค่า ORP ทั้งหมดแทนในสมการที่ 4.1 ที่ได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน ณ จุด A จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ดังแสดงในรูปที่ 4.7



ก. เติมคลอรีน



ข. ไม่เติมคลอรีน

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ณ จุด A

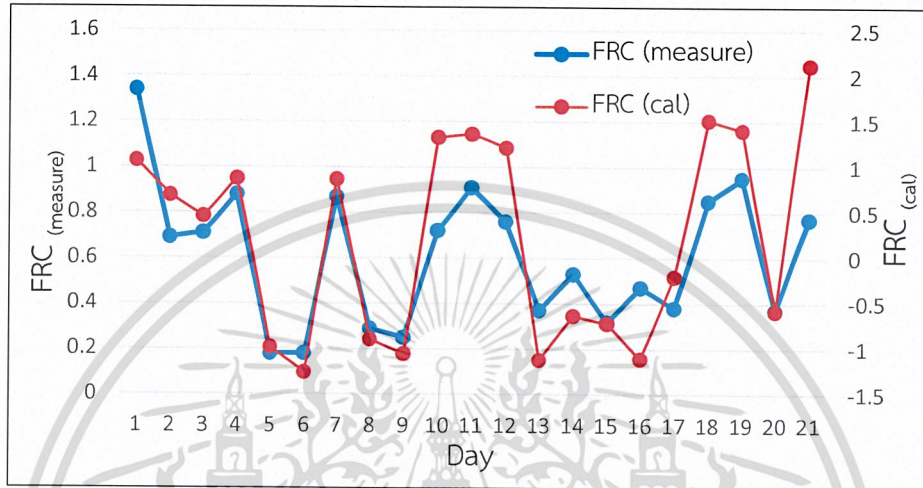
จากรูปที่ 4.7 (ก) ขณะที่มีการเติมคลอรีนค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC ไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่า FRC_{cal} จะไม่ทับค่า FRC_{measure} ทั้งหมด

จากรูปที่ 4.7 (ข) ไม่เติมคลอรีน เมื่อพิจารณาจากค่า FRC_{measure} และค่า FRC_{cal} จะเห็นว่าค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC เป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่กราฟมีช่องว่างความต่างของเส้นกราฟสูง ไม่น่าเชื่อถือเนื่องจากเครื่องวัด ORP จะสามารถอ่านค่าได้สูงในน้ำตัวอย่างที่มีการเติมคลอรีนอยู่ตลอดเวลาทำให้เมื่อวัด ORP ขณะไม่เติมคลอรีนค่า ORP ที่วัดออกมาจึงมีค่าน้อย เมื่อนำค่า ORP มาแทนในสมการที่ 4.1 ทำให้มีค่าความคาดเคลื่อนมากกว่าขณะที่มีการเติมคลอรีน กราฟรูป ข. จึงมีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} น่าเชื่อถือน้อยกว่า

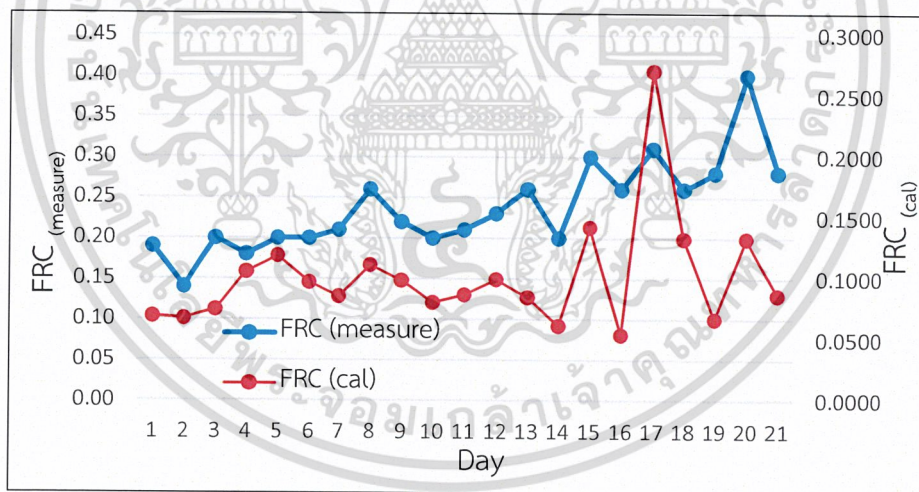
เอกสารนี้เป็นของ รพ. รามาธิบดี จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่รูปรูปใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 จุด B (Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 21)

เมื่อนำข้อมูลค่า FRC และ ORP ที่ได้ในช่วงทำการศึกษา 21 วัน (ดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-3 และข-4) มาวิเคราะห์พบว่า มีค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.14-1.34 ppm และค่า ORP อยู่ระหว่าง 190-647 mV เมื่อนำค่า ORP ทั้งหมดแทนในสมการที่ 4.2 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ดังแสดงในรูปที่ 4.8



ก. เต็มคลอรีน



ข. ไม่เต็มคลอรีน

รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด ($FRC_{measure}$) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ณ จุด B

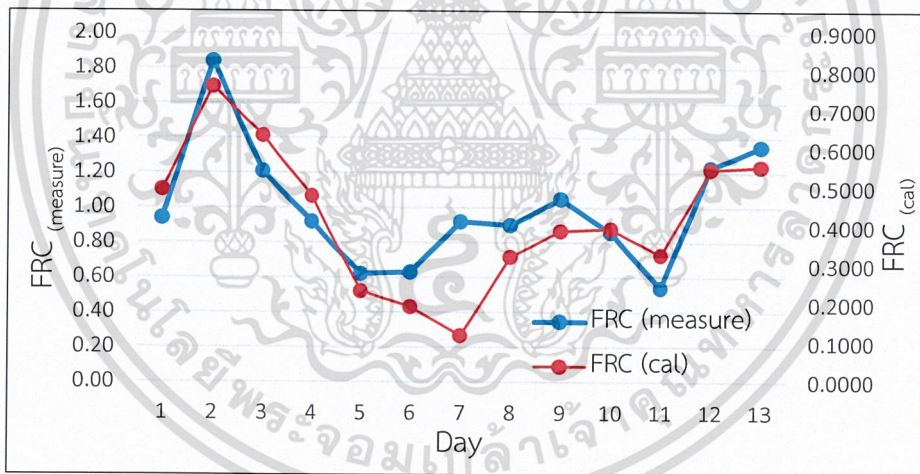
จากรูปที่ 4.8 (ก) ขณะที่มีการเติมคลอรีนค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC ไปในทิศทางเดียวกัน แต่เส้นกราฟค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} จะไม่ทับกันทั้งหมด เนื่องจากชุดข้อมูลที่ 5, 6, 8, 9 และ 13-17 ระบบจ่ายคลอรีนมีปัญหาจึงไม่สามารถจ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นไปเซประยชนดานการค้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลอรีนเข้าสู่ระบบหอหล่อเย็นได้ เมื่อนำค่า ORP ที่วัดได้จากชุดข้อมูลดังกล่าวแทนลงในสมการที่ 4.2 ส่งผลให้มีค่า FRC_{cal} ตีตกและมีความคลาดเคลื่อนสูง

จากรูปที่ 4.8 (ข) ไม่เติมคลอรีน จะเห็นได้ว่าค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC เป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่ข้อมูลมีความไม่น่าเชื่อถือเนื่องจาก $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} มีค่าความคลาดเคลื่อนและช่องว่างความต่างของเส้นกราฟสูงเพราะเครื่องวัด ORP จะสามารถอ่านค่าได้สูงในน้ำตัวอย่างที่มีการเติมคลอรีนอยู่ตลอดเวลาทำให้เมื่อวัด ORP ขณะไม่เติมคลอรีน ค่า ORP ที่วัดออกมาจึงมีค่าน้อย เมื่อนำค่า ORP มาแทนในสมการทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าขณะที่มีการเติมคลอรีน

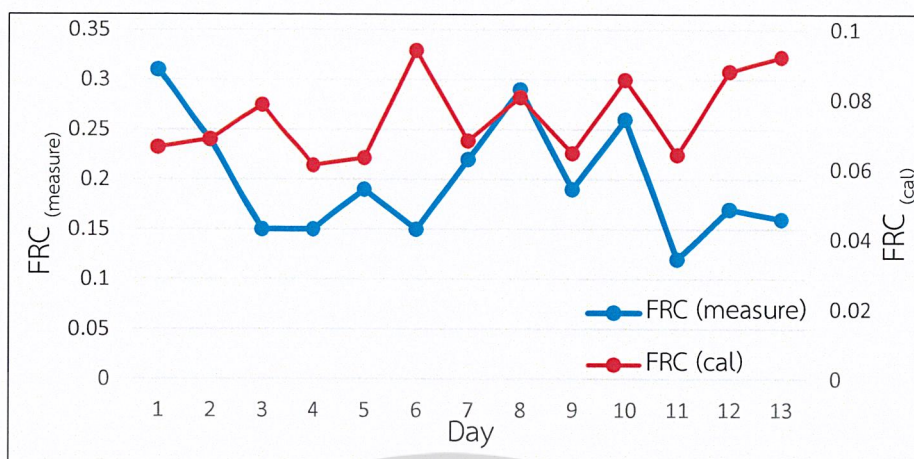
4.3.1.3 จุด C (Cooling Outlet Condenser Block 2 Train 22)

จากการทำการทดลองได้นำข้อมูลค่า FRC และค่า ORP ที่ได้ในช่วงทำการศึกษา 13 วัน (ตั้งภาคผนวก ข ตารางที่ ข-5 และข-6) มาวิเคราะห์พบว่าค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.10-1.84 ppm และค่า ORP อยู่ระหว่าง 162-587 mV เมื่อนำค่า ORP ทั้งหมดแทนในสมการที่ 4.3 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ดังแสดงในรูปที่ 4.9



ก.เติมคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข. ไม่เติมคลอรีน

รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่ได้จากการวัด ($FRC_{measure}$) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ณ จุด C

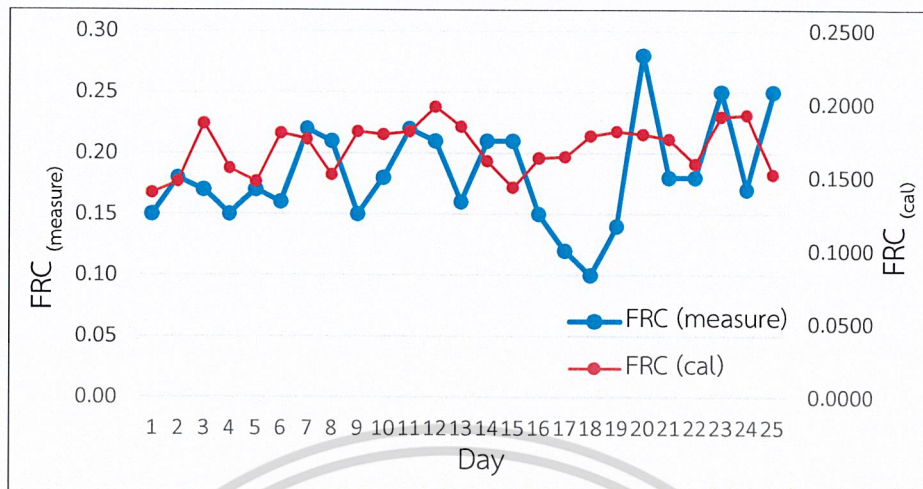
รูปที่ 4.9 (ก) ขณะที่มีการเติมคลอรีนค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC ไปในทิศทางเดียวกันแต่ค่า FRC_{cal} อาจจะไม่ทับเส้นค่า $FRC_{measure}$ ทั้งหมด

รูปที่ 4.9 (ข) ไม่เติมคลอรีน จะเห็นได้ว่าคุณค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC เป็นไปในทิศทางเดียวกันแต่กราฟมีความไม่น่าเชื่อถือเนื่องจากเครื่องวัด ORP จะสามารถอ่านค่าได้สูงในน้ำตัวอย่างที่มีการเติมคลอรีนอยู่ตลอดเวลาทำให้เมื่อวัด ORP ขณะไม่เติมคลอรีน ค่า ORP ที่วัดออกมาจึงมีค่าน้อย เมื่อนำค่า ORP มาแทนลงในสมการที่ 4.3 ทำให้กราฟรูป ข. มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่ากราฟรูป ก.

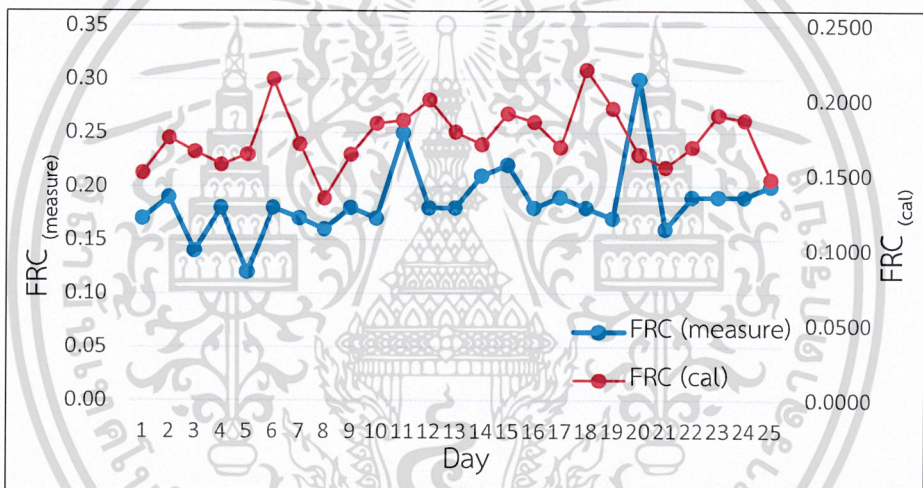
4.3.1.4 จุด D (Bleed off Block 1)

จากการทำการทดลองได้นำข้อมูลค่า FRC และ ORP ที่ได้ในช่วงทำการศึกษาค้นคว้า 25 วัน (ตั้งภาคผนวก ข ตารางที่ ข-7 และข-8) มาวิเคราะห์พบว่าค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.10-0.30 ppm และค่า ORP อยู่ระหว่าง 196-273 mV เมื่อนำค่า ORP ทั้งหมดแทนในสมการที่ 4.4 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ดังแสดงในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. ก่อนเติมคลอรีน



ข. หลังเติมคลอรีน

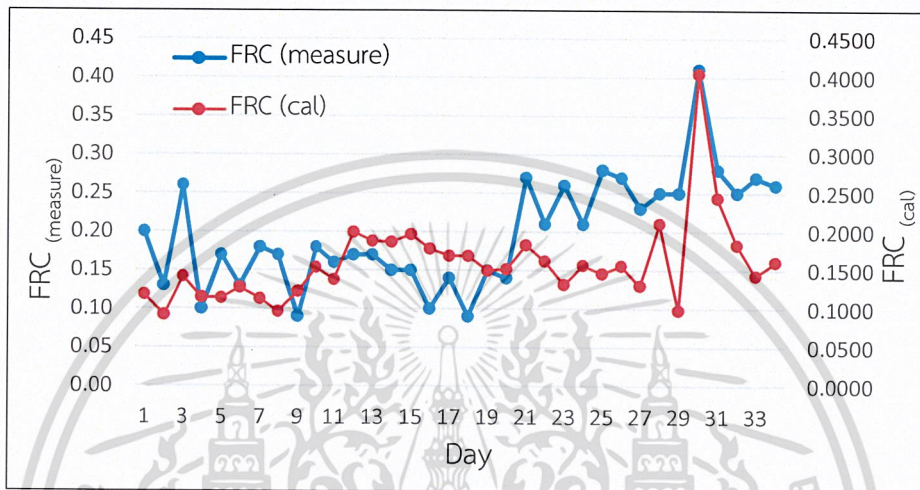
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่วัดจริง (FRC_{measure}) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ณ จุด D

รูปที่ 4.10 (ก) และ (ข) จะเห็นได้ว่าค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 รูป เพราะการสร้างกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ณ จุด D มีการเติมปริมาณ NaOCl ลงไปในน้ำตัวอย่าง D โดยกำหนดให้มีค่า $FRC < 1$ ppm ซึ่งโดยปกติน้ำ Bleed off จะไม่มีการเติมคลอรีนเนื่องจากเป็นน้ำที่ปล่อยออกจากโรงงานโดยควบคุม FRC ให้มีค่า < 1 ppm เช่นเดียวกัน เมื่อนำค่า ORP แทนลงในสมการที่ 4.4 ทำให้ FRC_{measure} และ FRC_{cal} มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นจึงสามารถใช้สมการดังกล่าวเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} ณ จุด D ได้

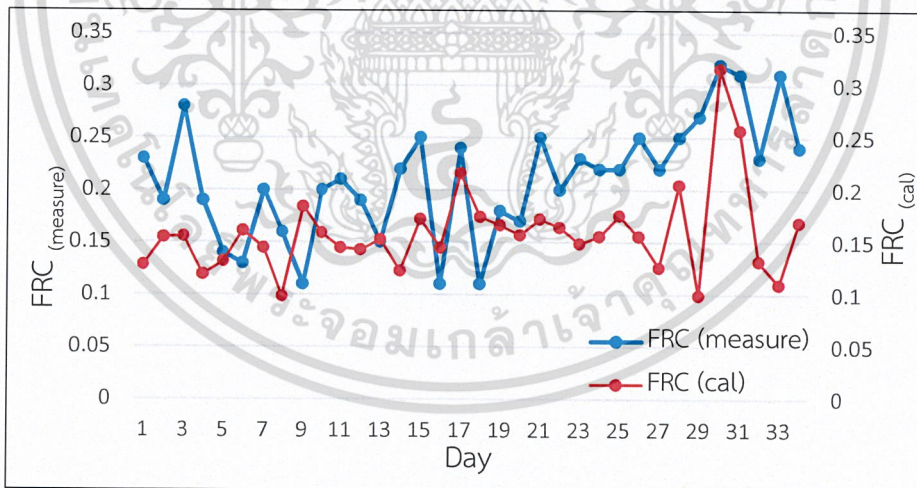
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.5 จุด E (Bleed off Block 2)

จากการทำการทดลองได้นำข้อมูลค่า FRC และ ORP ที่ได้ในช่วงทำการศึกษาค้นคว้า 34 วัน (ดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-9 และข-10) มาวิเคราะห์พบว่าค่า FRC อยู่ระหว่าง 0.10-0.32 ppm และ ORP อยู่ระหว่าง 166-351 mV เมื่อนำค่า ORP ทั้งหมดแทนในสมการที่ 4.5 จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ดังแสดงในรูปที่ 4.11



ก. ก่อนเติมคลอรีน



ข. หลังเติมคลอรีน

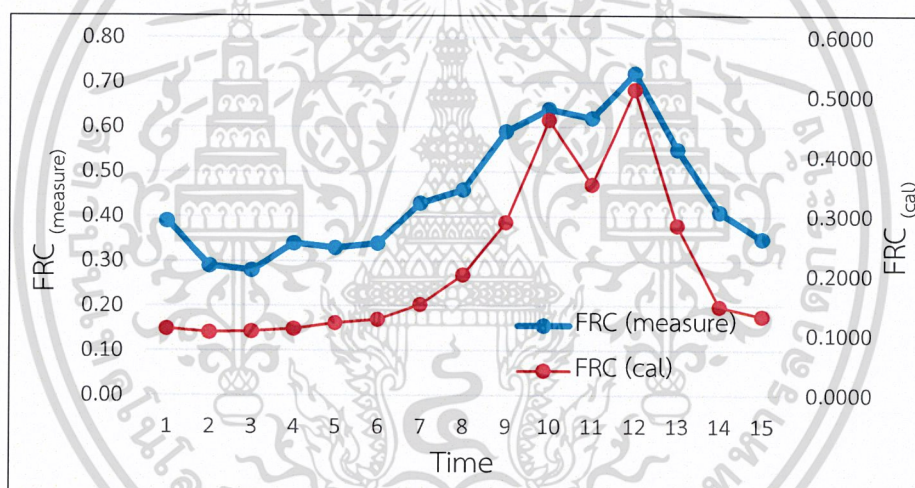
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC ที่วัดจริง ($FRC_{measure}$) และค่า FRC ที่คำนวณจากสมการ (FRC_{cal}) ณ จุด E

รูปที่ 4.11 (ก) และ (ข) เมื่อพิจารณาจากค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC เป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 2 รูป เพราะการทำการกราฟมาตรฐาน ณ จุด E มีการเติมปริมาณ NaOCl ลงไปในน้ำตัวอย่าง E โดยกำหนดให้มีค่า FRC < 1 ppm ซึ่งน้ำ Bleed off

จะไม่มี การเติมคลอรีน เพราะเป็นน้ำที่ปล่อยออกจากโรงงานโดยควบคุม FRC ให้มีค่า < 1 ppm เช่นเดียวกัน เมื่อนำค่า ORP แทนลงในสมการ 4.5 ทำให้ FRC_{measure} และ FRC_{cal} มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการดังกล่าวเพื่อดูแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC_{measure} และ FRC_{cal} ของจุด E ได้

4.3.2 Chlorine Profile

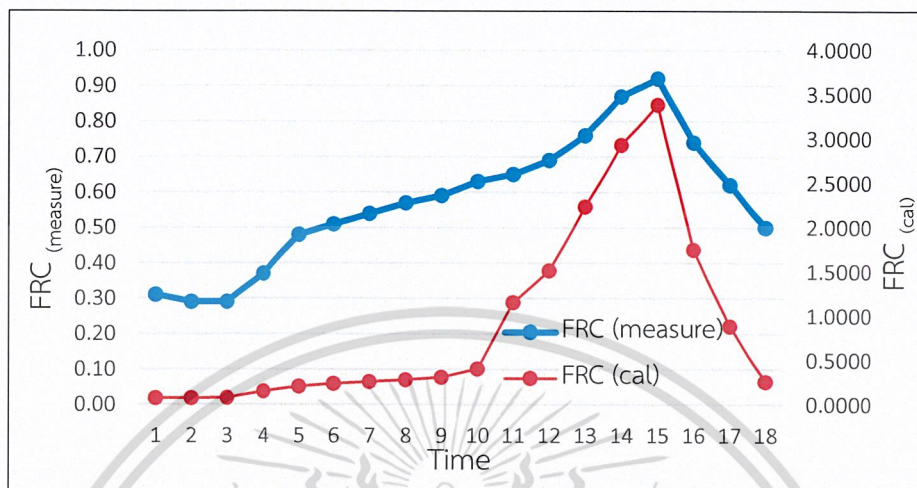
เมื่อทราบผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC_{measure} และค่า FRC_{cal} ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.11 จะเห็นได้ว่าสมการ $\log = \ln(x)$ ที่จุดเก็บน้ำ A, B และ C ไม่สามารถอธิบายแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC ให้เป็นไปในทิศทางเดียวกันได้ทั้งหมด ผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำการศึกษาคลอรีนโปรไฟล์เพิ่มเติมโดยเป็นการวัดค่า FRC และค่า ORP โดยมีระยะเวลาในการทำเพียง 1 วัน ทำการเริ่มเก็บข้อมูลก่อนการเติมคลอรีน 30 นาที ไปจนถึงหลังการเติมคลอรีน 30 นาที และทำการเก็บค่าทุก ๆ 10 นาที



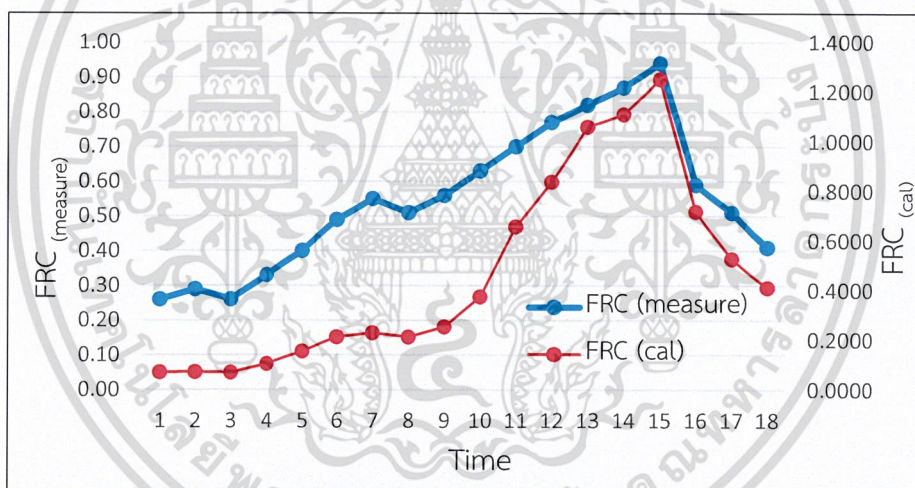
รูปที่ 4.12 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A

รูปที่ 4.12 เมื่อเริ่มเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเติมคลอรีน 30 นาทีจนถึงหลังเติมคลอรีน 30 นาที จะเห็นว่าค่า FRC และค่า ORP ที่ได้จากการวัดมีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันทุก ช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่าง กล่าวคือเมื่อค่า FRC มีค่าน้อย ค่า ORP จะน้อยตามไปด้วยเมื่อถึงเวลาที่เริ่มมีการเติมคลอรีนค่า FRC และค่า ORP ที่วัดได้จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ จนเมื่อถึงเวลาที่มีการเติมคลอรีนมากที่สุดก่อนจะทำการหยุดเติมคลอรีน ค่า FRC และค่า ORP ที่วัดได้จะมีค่ามากที่สุด หลังจากนั้นค่า FRC และค่า ORP ที่วัดได้จะค่อย ๆ ลดลงตามลำดับ (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-22) เมื่อครบเวลา 30 นาที หลังทำการเติมคลอรีนเสร็จค่า FRC และค่า ORP ที่วัดได้จะมีค่าคงที่เทียบเท่าตอนที่ไม่มี การเติมคลอรีน เมื่อนำค่าคลอรีนโปรไฟล์ของจุด A มาหาค่า FRC_{cal} คือนำค่า ORP ทั้งหมดแทนลงในสมการที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า FRC_{cal} มีแนวโน้มความสัมพันธ์เป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่า FRC_{measure} แต่ค่า FRC_{cal} ก็ยังคงไม่ทับค่า FRC_{measure} ทั้งหมด ทั้งนี้อาจเกิด

จากคุณภาพน้ำ ณ วันที่ทำกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP มีความแตกต่างจากคุณภาพน้ำ ณ วันที่ทำคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ก ตารางที่ ก-1 และภาคผนวก ข ตารางที่ ข-21)



รูปที่ 4.13 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B



รูปที่ 4.14 คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C

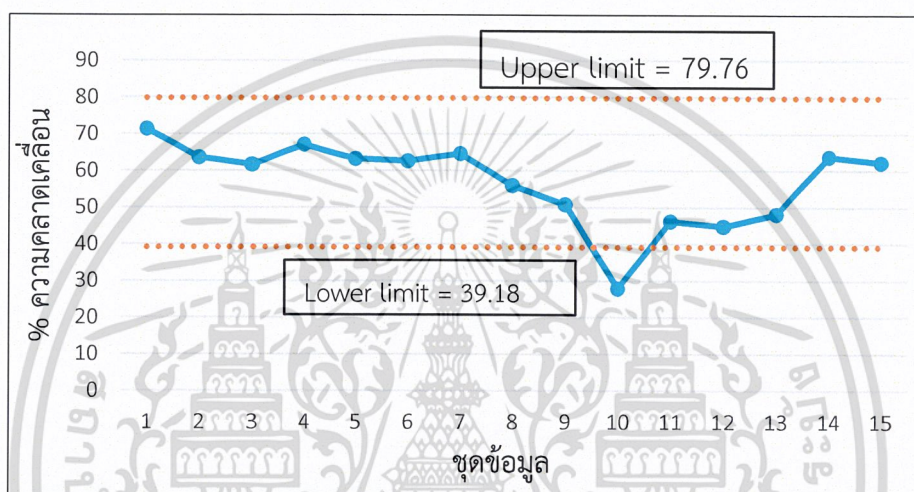
รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 จากข้อมูลค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} มีแนวโน้มเป็นไปในทางเดียวกันกับรูปที่ 4.12 โดยคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B แทนในสมการที่ 4.2 และคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C แทนในสมการที่ 4.3 ซึ่งอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ได้เช่นเดียวกับรูปที่ 4.12

4.4 การหาความคลาดเคลื่อนของชุดข้อมูลและประเมินผลโดยใช้วิธีทางสถิติ

เพื่อยืนยันความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการจัดทำคอลรีนโปรไฟล์ โดยใช้ Lower limit และ Upper limit เป็นเกณฑ์ในการวิเคราะห์ และนำเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ได้ไปหาค่า Z-Score เพื่อประเมินผลทางสถิติโดยวิธี Algorithm A ดังแสดงในข้อที่ 4.4.1-4.4.2

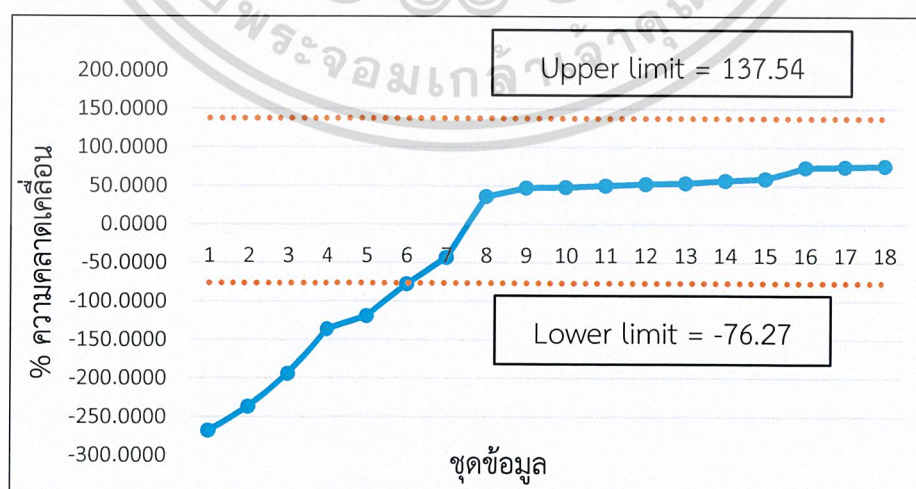
4.4.1 การหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

นำข้อมูลค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} ณ จุด A, B และ C มาหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 4.15 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} ณ จุด A

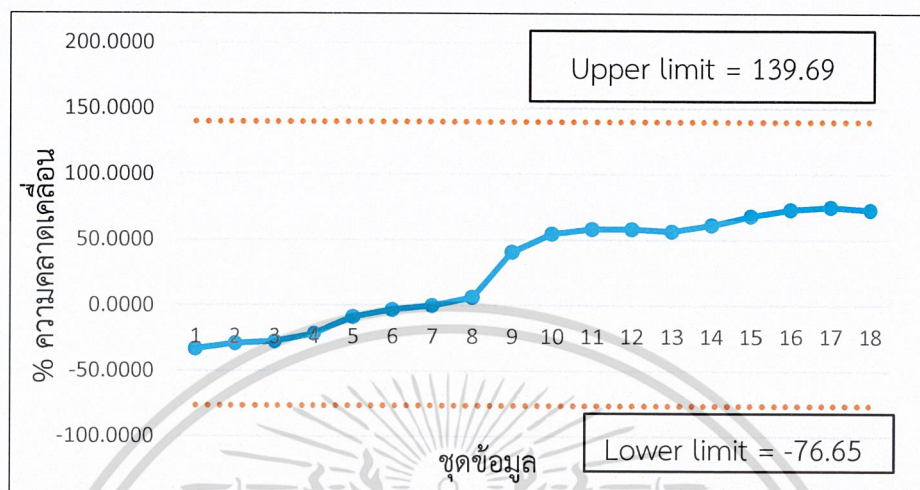
จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดที่ 10 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า Lower limit ซึ่ง Lower limit = 39.18 ข้อมูลชุดนี้จึงเป็นชุดข้อมูลที่ไม่สามารถยอมรับได้



รูปที่ 4.16 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} ณ จุด B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลชุดที่ 1-5 มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า Lower limit ซึ่ง Lower limit = -76.27 จึงไม่สามารถยอมรับได้ และชุดข้อมูลที่ 6 เส้น Lower limit ตัดกับจุดพอดีจึงทำให้ชุดข้อมูลที่ 6 เป็นข้อมูลที่ยังเป็นปัญหา



รูปที่ 4.17 ความคลาดเคลื่อนระหว่างค่า $FRC_{measure}$ และ FRC_{cal} ณ จุด C

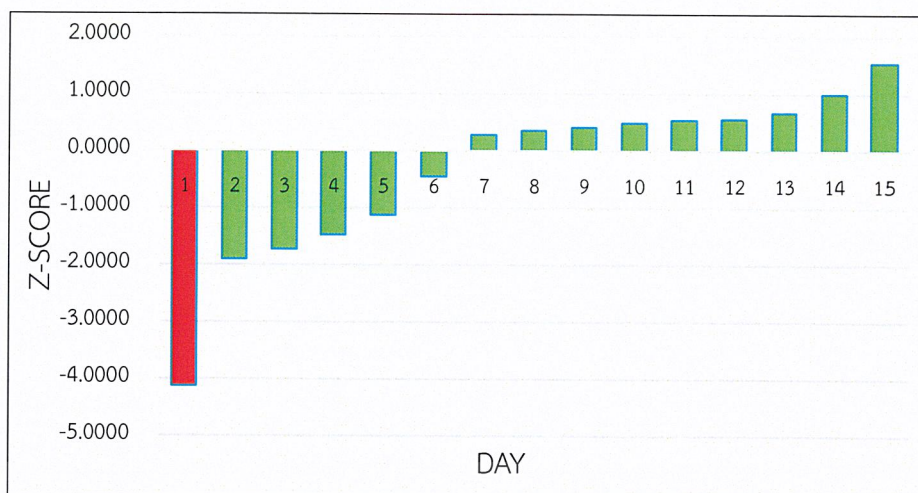
จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าทุกชุดข้อมูลจะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ คืออยู่ระหว่าง 139.69 % และ -76.65 %

4.4.2 การทดสอบผลทางสถิติจากการหาค่า Z-Score โดยวิธี Algorithm A

นำเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A, B และ C มาวิเคราะห์หาค่า Z-Score เพื่อหาช่วงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ โดยมีเกณฑ์ แสดงดังตารางที่ 4.2

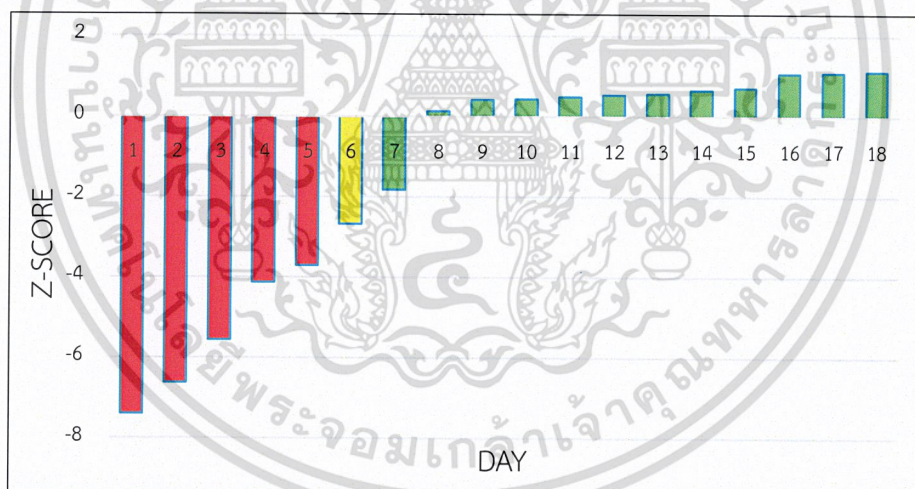
ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การประเมินผลทางสถิติโดยวิธี Algorithm A

$ Z \leq 2$	ผลประเมินยอมรับได้
$2 < Z < 3$	ผลประเมินยังเป็นปัญหา
$ Z \geq 3$	ผลประเมินไม่สามารถยอมรับได้



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A Chlorine ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A

นำค่าความคลาดเคลื่อนไปทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ โดยใช้วิธี Algorithm A ได้เป็นค่า Z-Score ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ผลที่ได้ คือ ทุกช่วงเวลาข้อมูลสามารถยอมรับได้ทั้งหมด แต่มีเพียงข้อมูลเดียวเท่านั้น คือ ข้อมูลชุดที่ 1 (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-22) ซึ่งเป็นชุดข้อมูลที่น่ามาคำนวณ % Error แล้วมีค่าต่ำกว่า Lower limit จึงทำให้ข้อมูลชุดนี้ตกอยู่ในช่วงข้อมูลที่ไม่สามารถยอมรับได้

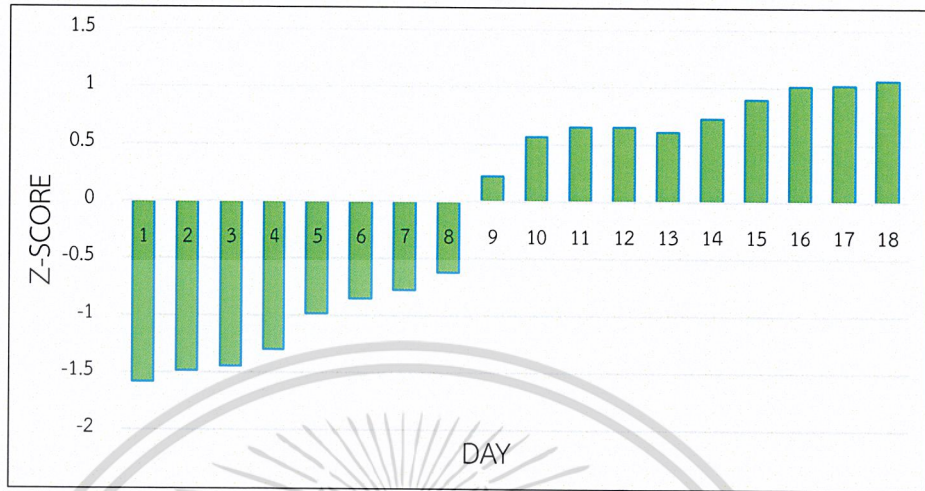


รูปที่ 4.19 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนไปทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ โดยวิธี Algorithm A ได้ค่า Z-Score ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ผลที่ได้ คือ ณ ช่วงเวลา 10.00-10.40 (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-24) ตรงกับชุดข้อมูลที่ 1-5 เป็นช่วงเวลาที่มีการเติมคลอรีนมากที่สุด แต่เนื่องจากคุณภาพน้ำวันนี้มีค่าการนำไฟฟ้าและค่าความขุ่นสูงมาก ส่งผลให้วัดค่า FRC ออกมาได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งคุณภาพน้ำดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการวัดค่า ORP ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณ % Error พบว่ามีค่าต่ำกว่า Lower limit จึงทำให้ข้อมูลชุดที่ 1-5 ตกอยู่ในช่วงข้อมูลที่ไม่สามารถยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ทางหน่วยงานผู้จัดทำเอกสารนี้ขอสงวนไว้เพื่อใช้ในการดำเนินงานต่อไปของหน่วยงานผู้จัดทำเอกสารนี้โดยไม่หวังผลตอบแทน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนข้อมูล ณ เวลา 9.50 น. ตรงกับชุดข้อมูลที่ 6 เมื่อนำมาคำนวณ %Error พบว่ามีค่าต่ำกว่า Lower limit เพียงเล็กน้อยจึงทำให้ข้อมูลนี้ตกอยู่ในช่วงข้อมูลที่น่าสงสัย



รูปที่ 4.20 ผลการทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Algorithm A ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C

เมื่อนำค่าความคลาดเคลื่อนไปทดสอบด้วยวิธีทางสถิติ โดยใช้ Algorithm A ได้ค่า Z-Score ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ผลที่ได้ คือ ทุกช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มทำการเติมคลอรีนจนถึงเติมคลอรีนเสร็จ ข้อมูลสามารถยอมรับได้ทั้งหมด (ข้อมูลแสดงดังภาคผนวก ข ตารางที่ ข-26) เนื่องจากผู้วิจัยได้ทราบถึงปัญหาของคุณภาพน้ำที่จะส่งผลต่อการวัดค่า FRC จากการทำคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C ทำให้ทางโรงไฟฟ้าพระนครเหนือเพิ่มปริมาณการเติมคลอรีนจากเดิม คือ 30 Kg/hr เป็น 35 Kg/hr ส่งผลให้ค่า FRC ที่วัดได้มีค่ามากขึ้น เมื่อนำมาคำนวณ % Error พบว่าไม่มีข้อมูลใดเกินเกณฑ์ Lower limit และ Upper limit จึงทำให้ข้อมูลอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทั้งหมด

จากการศึกษาผลของความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP ในน้ำหอหล่อเย็นทั้งหมด พบว่าสมการที่ 4.1-4.5 (ดังแสดงในตารางที่ 4.1) สามารถใช้บอกแนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า FRC และค่า ORP ได้ แต่การใช้สมการดังกล่าวเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มความสัมพันธ์ของค่า $FRC_{measure}$ และค่า FRC_{cal} อาจมีความไม่แม่นยำของผลการทดลองเนื่องจากผู้ทำการวิจัยไม่ได้ศึกษาสารอินทรีย์ที่พบในแหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลต่อการฆ่าเชื้อโรคและกระบวนการออกซิเดชันรวมถึงไม่ได้ศึกษาปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำอย่างละเอียด จึงทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระและความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันในระบบน้ำหอหล่อเย็น ครั้งนี้สามารถสรุปผลงานวิจัยและมีข้อเสนอแนะเพื่อที่จะทำการศึกษาต่อไปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระ (Free Residual Chlorine, FRC) และความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Potential, ORP) ในระบบน้ำหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพระนครเหนือชุดที่ 1 และชุดที่ 2 สรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ค่า FRC และค่า ORP แปรผันตรงกันกล่าวคือ เมื่อ FRC มีค่าสูง ORP ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP มีลักษณะเข้าใกล้เส้นโค้ง ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการลอการิทึม ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 โดย ณ จุด A ได้สมการ $y = 172.04\ln(x) + 562.95$, จุด B ได้สมการ $y = 117.93\ln(x) + 534.17$, จุด C ได้สมการ $y = 149.12\ln(x) + 627.51$, จุด D ได้สมการ $y = 168.41\ln(x) + 527.5$ และจุด E ได้สมการ $y = 149.85\ln(x) + 523.71$ โดยในจุด C มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดเนื่องจากผลประเมินทางสถิติ ข้อมูลสามารถยอมรับได้ทั้งหมด ซึ่งจุดที่เหลือ คือ จุด A, B, D และ E ควรทำการวิเคราะห์ในช่วงคุณภาพน้ำเดียวกันทั้งหมด และทำการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความแม่นยำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) เนื่องจากคุณภาพน้ำมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี ควรทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า FRC และ ORP รวมถึงการทำคลอรีนโปรไฟล์ควบคู่ไปด้วย
- 2) ควรเพิ่มจำนวนครั้งในการศึกษาคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุดเก็บ A, B และ C ในช่วงที่คุณภาพน้ำมีค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันมาก
- 3) ควรทำกราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างค่า FRC และค่า ORP และคลอรีนโปรไฟล์ภายในวันเดียวกันจะทำให้สมการที่ได้มีแม่นยำมากขึ้น
- 4) ควรทำการศึกษาปัจจัยที่อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลอรีนอิสระและค่าความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชันของน้ำในระบบน้ำหอหล่อเย็น เช่น “สารอินทรีย์ในแหล่งน้ำดิบ” เพื่ออธิบายสมการให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- การประปานครหลวง. ม.ป.ป. “คลอรีน (Chlorine).” กรุงเทพฯ : การประปานครหลวง.
เอกสารอัดสำเนา.
- การประปานครหลวง. 2557. “การนำไฟฟ้า (Conductivity) คืออะไรและมีความสำคัญ
อย่างไร?” กรุงเทพฯ : การประปานครหลวง.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. ม.ป.ป. เกี่ยวกับกฟผ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก :
[https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=140
&Itemid=178](https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=140&Itemid=178).
- รินทวัฒน์ สมบัติศิริ. ม.ป.ป. “การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำหล่อเย็น.” กรุงเทพฯ : สำนัก
เทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน. เอกสารอัดสำเนา.
- ฝ่ายเคมี. 2555. วิเคราะห์น้ำ-น้ำทิ้งโรงไฟฟ้า. 1. นนทบุรี : กองผลิตสื่อประชาสัมพันธ์ ฝ่ายสื่อสาร
องค์กร กฟผ.
- สุกุลยา ทับอุไร. 2554. “การประยุกต์ใช้กระบวนการอัลตราฟิลเตรชันสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์
ธรรมชาติในกระบวนการผลิตน้ำประปา.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุรชัย ลิปิวัฒนาการ, ศุภรักษ์ แก้วแสง และอดิษฐ์ พรพรหมินทร์. 2017. “การศึกษาปริมาณคลอรีน
อิสระคงเหลือในระบบท่อจ่ายน้ำประปา.” วิศวกรรมสาร มก. 29(96) : 25-26
- สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2561. “ค่ากำหนด (Assigned value) โดย
Robust Statistic (Algorithm A).” กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาล
ทราย. เอกสารอัดสำเนา
- เอกลักษณ์ เข้มเพชร. 2556. “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดการใช้สารเคมีจุลินทรีย์ในหอ
หล่อเย็นของโรงงานผลิตโอเลฟินส์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิชน วัชรินทร์วงศ์ และยศพล ไบเหลืออง. 2560. “การใช้สารอินทรีย์รวมตะกอนร่วมกับสาร
แม่เหล็กรวมตะกอนในการกำจัดอนุภาคแขวนลอยในน้ำดิบสำหรับระบบผลิตน้ำประปา.”
รายงานการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี.
- Heather Rekalske, Myron L Company. 2013. “ORP vs. Free Chlorine: What ORP Is
and When and How to Use It Instead of Free Chlorine.” Key West : Rockville.
Technical Report CSE-TR-31-89.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Kayla Murray, Huda Aldossari, Fan Wu and Keith Warriner. 2018. "Dynamic changes in free-chlorine levels within a commercial post harvest wash and prevention of cross-contamination between shredded lettuce batches." Food Control 85 (2018) 127-134
- Tong-Jen Fua, Yichen Li, Deena Awad, Ting-Yang Zhou and Lyurui Liu. 2018. "Factors affecting the performance and monitoring of a chlorine wash in preventing Escherichia coli O157:H7 cross-contamination during postharvest washing of cut lettuce." Food Control 94 (2018) : 212-221
- USDA. 2015. Technical Evaluation Report. United States : Agricultural Marketing Service
- Yaguang Luo, Bin Zhou, Sam Van Haute, Xiangwu Nou, Boce Zhang, Zi Teng, Ellen R. Turner, Qin Wang and Patricia D. Millner. 2018. "Association between bacterial survival and free chlorine concentration during commercial fresh-cut produce wash operation." Food Microbiology 70 (2018) 120-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



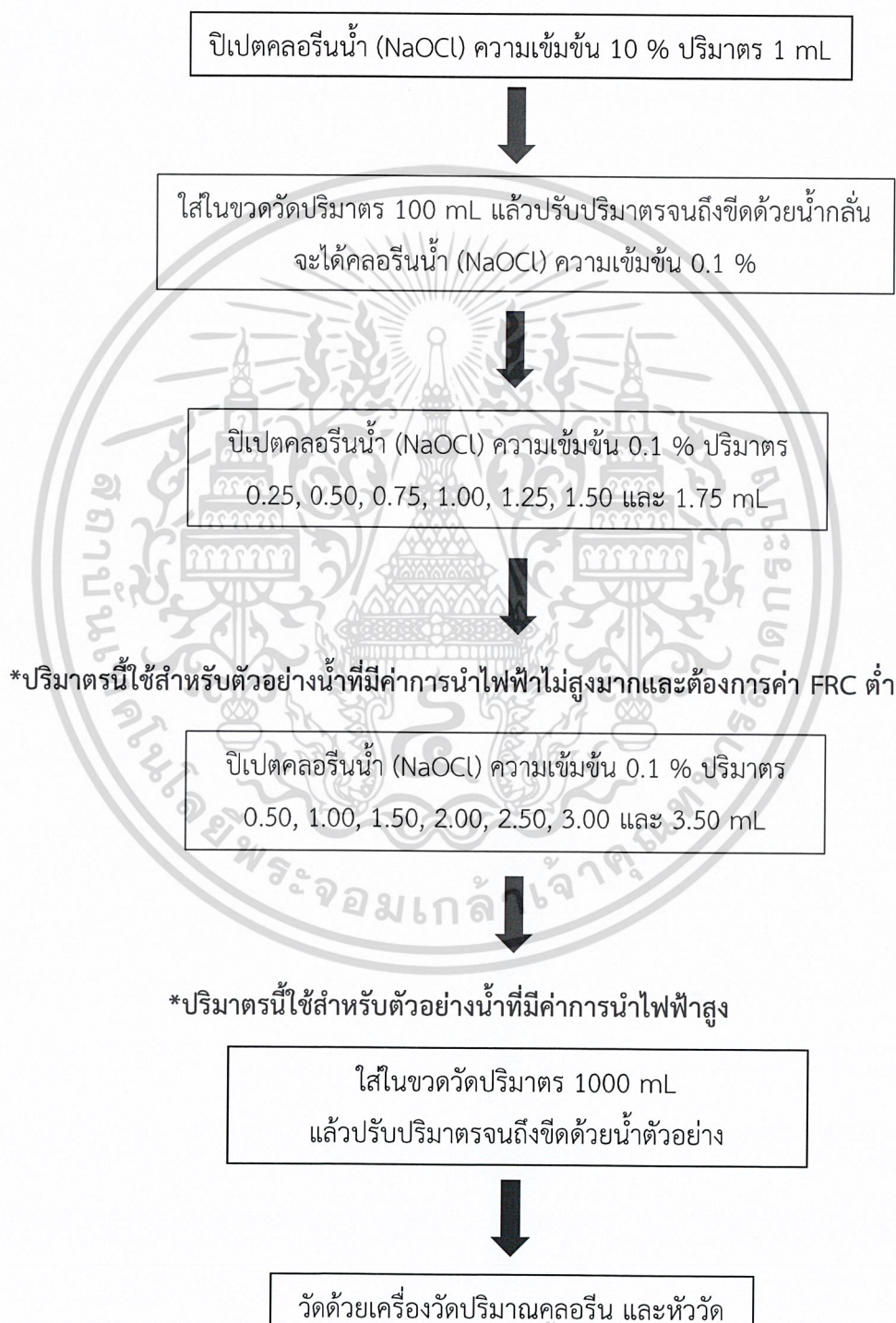
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมกราฟมาตรฐาน

ก-1 การเตรียมกราฟมาตรฐานคลอรีน

การเตรียมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) 0.1 %

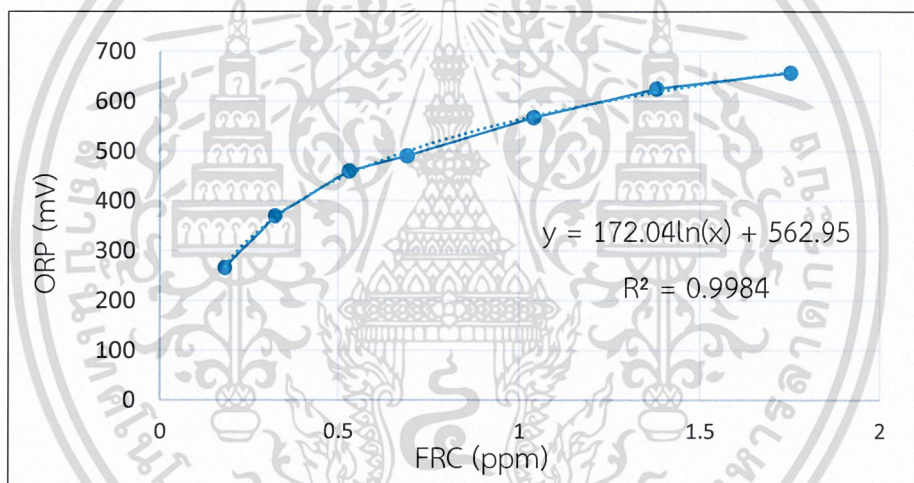


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP กับค่า FRC

1) กราฟมาตรฐาน ณ จุด A
 ตารางที่ ก-1 คุณภาพน้ำ ณ จุด A

คุณภาพน้ำ ณ จุด A (27/11/2019)			
pH	8.23	Total Alkalinity	144
Conductivity	4810	Total Hardness	632
TDS	2410	Calcium Hardness	258
Salinity	2.59	Chloride	1320
Turbid	43.3		
Temp	33.2		



รูป ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด A

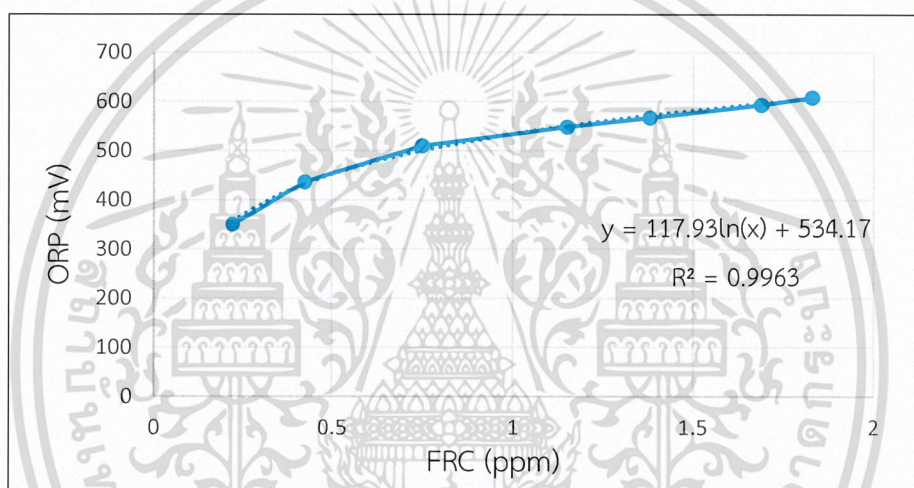
ตารางที่ ก-2 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด A

NaOCl (mL)	FRC (ppm)	ORP (mV)
1	0.18	266
2	0.32	370
3	0.53	460
4	0.69	490
5	1.04	567

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกา 6 ใช้งานเพื่อการศึ 1.38 เท่านั้น ไม่ 625 ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ด 7 แปลงเนื้อหาแล 1.75 อย่างถึงเจ้ 657 เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) กราฟมาตรฐาน ณ จุด B
ตารางที่ ก-3 คุณภาพน้ำ ณ จุด B

คุณภาพน้ำ ณ จุด B (13/11/2019)			
pH	8.43	Total Alkalinity	150
Conductivity	759	Total Hardness	216
TDS	380	Calcium Hardness	144
Salinity	0.37	Chloride	216
Turbid	73.9		
Temp	28.3		



รูป ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด B

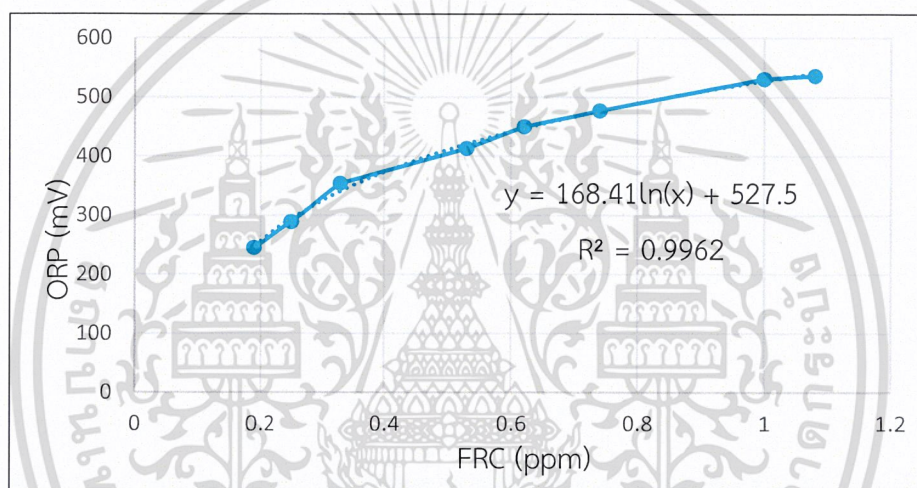
ตารางที่ ก-4 ตารางค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด B

NaOCl (mL)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0.50	0.22	350
1.00	0.42	436
1.50	0.75	510
2.00	1.15	548
2.50	1.38	567
3.00	1.69	593
3.50	1.83	608

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) กราฟมาตรฐาน ณ จุด C
ตารางที่ ก-5 คุณภาพน้ำ ณ จุด C

คุณภาพน้ำ ณ จุด C (24/11/2019)			
pH	8.38	Total Alkalinity	88
Conductivity	2420	Total Hardness	356
TDS	1211	Calcium Hardness	172
Salinity	1.24	Chloride	120
Turbid	86.7		
Temp	28.8		



รูป ก-3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด C

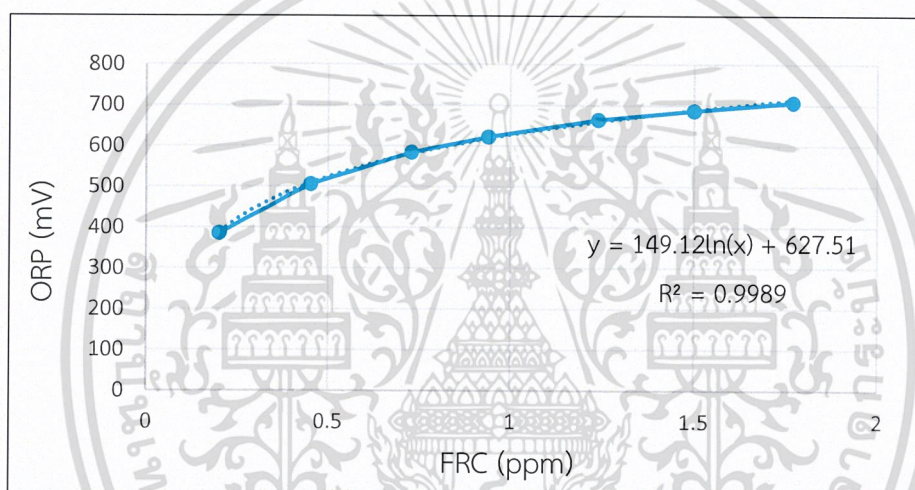
ตารางที่ ก-6 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด C

NaOCl (ml)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0.25	0.19	245
0.50	0.25	289
1.00	0.33	354
1.25	0.53	413
1.50	0.62	450
1.75	0.74	477
2.25	1.00	531
2.50	1.08	536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรทำงานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) กราฟมาตรฐาน ณ จุด D
ตารางที่ ก-7 คุณภาพน้ำ ณ จุด D

คุณภาพน้ำ ณ จุด D (26/11/2019)			
pH	8.26	Total Alkalinity	130
Conductivity	3210	Total Hardness	504
TDS	1606	Calcium Hardness	184
Salinity	1.68	Chloride	860
Turbid	59.6		
Temp	27.9		



รูป ก-4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด D

ตารางที่ ก-8 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด D

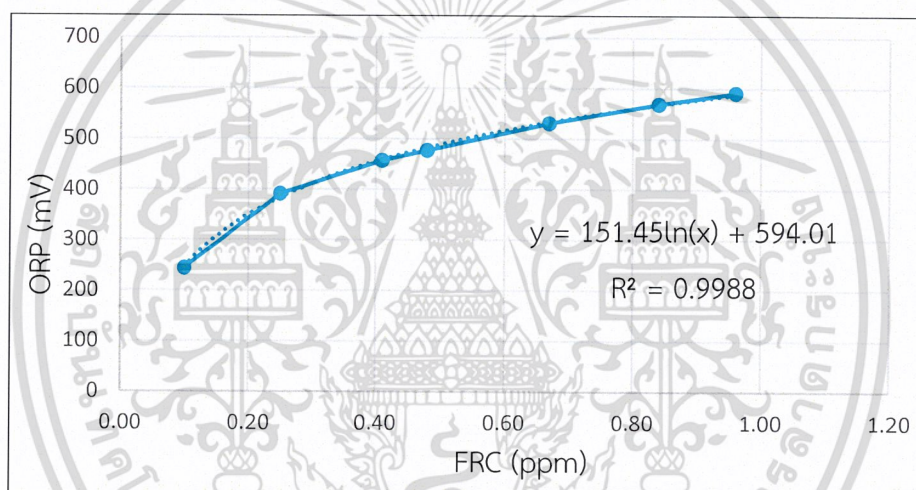
NaOCl (ml)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0.50	0.20	386
1.00	0.45	506
1.50	0.73	584
2.00	0.94	622
2.50	1.24	664
3.00	1.50	686
3.50	1.77	707

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) กราฟมาตรฐาน ณ จุด E

ตารางที่ ก-9 คุณภาพน้ำ ณ จุด E

คุณภาพน้ำ ณ จุด E (24/11/2019)			
pH	8.02	Total Alkalinity	152
Conductivity	2490	Total Hardness	440
TDS	1246	Calcium Hardness	172
Salinity	1.28	Chloride	160
Turbid	85.9		
Temp	28		



รูป ก-5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ORP และ FRC ณ จุด E

ตารางที่ ก-10 ค่า FRC และ ORP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ จุด E

NaOCl (ml)	FRC (ppm)	ORP (mV)
0.50	0.10	244
1.00	0.25	391
1.50	0.41	457
2.00	0.48	477
2.50	0.67	531
3.00	0.84	569
3.50	0.96	591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลผลการทดลอง

ข-1 ข้อมูลประจำวันค่า FRC และ ORP ของจุดเก็บน้ำต่าง ๆ

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.33	446	223	0.22	45.7	35	0.72	454
07/10/2562	8.29	429	215	0.21	46.1	33	0.85	430
08/10/2562	8.26	427	214	0.21	47.9	32	0.93	530
09/10/2562	8.37	463	231	0.22	43.1	40	0.73	487
10/10/2562	8.46	486	243.2	0.23	47.9	44	0.70	484
11/10/2562	8.32	516	258	0.25	31.8	42	0.61	445
15/10/2562	8.41	543	272	0.26	22.6	44	0.85	379
16/10/2562	8.32	557	279	0.27	27.3	36	0.79	413
17/10/2562	8.40	569	285	0.28	24.8	47	0.88	450
21/10/2562	8.32	548	274	0.27	30.6	46	0.89	504
22/10/2562	8.37	527	203	0.26	39.0	42	0.91	498
24/10/2562	8.42	507	253	0.25	27.6	39	1.00	511
25/10/2562	8.26	530	265	0.26	25.1	51	0.92	501
29/10/2562	8.33	541	270	0.26	21.5	45	0.77	484
30/10/2562	8.33	552	223	0.27	23.8	45	0.85	471
31/10/2562	8.36	521	215	0.25	21.2	44	0.70	466
06/11/2562	8.29	576	214	0.28	24.7	49	0.94	580
07/11/2562	8.38	560	231	0.27	20.0	44	0.87	506
08/11/2562	8.38	566	243	0.27	25.9	44	0.87	498
11/11/2562	8.41	595	258	0.29	26.5	51	1.06	539
12/11/2562	8.33	606	272	0.30	41.4	51	0.73	495
13/11/2562	8.40	702	279	0.34	56.6	77	0.64	440
14/11/2562	8.36	741	285	0.36	63.9	85	0.64	415
15/11/2562	8.35	1070	535	0.53	60.4	174	0.61	395
18/11/2562	8.28	1228	614	0.61	62.5	180	1.13	480

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.42	460	230	0.22	58.8	32	0.18	243
07/10/2562	8.34	435	218	0.21	62.5	33	0.17	225
08/10/2562	8.43	448	224	0.22	59.2	33	0.26	226
09/10/2562	8.37	463	231	0.22	56.9	34	0.21	203
10/10/2562	8.34	554	277	0.27	44.8	53	0.21	218
11/10/2562	8.40	527	263	0.26	37.6	43	0.20	248
15/10/2562	8.44	559	279	0.27	29.1	46	0.22	215
16/10/2562	8.52	577	288	0.28	35.1	49	0.27	171
17/10/2562	8.47	606	303	0.29	27.6	56	0.26	226
21/10/2562	8.50	592	296	0.29	28.1	52	0.25	230
22/10/2562	8.50	548	274	0.27	44.4	44	0.13	239
24/10/2562	8.53	524	262	0.25	35.8	40	0.39	253
25/10/2562	8.45	522	261	0.25	43.1	43	0.21	235
29/10/2562	8.47	558	279	0.27	28.9	54	0.23	242
30/10/2562	8.47	573	287	0.28	29.0	46	0.21	257
31/10/2562	8.49	577	289	0.28	31.0	48	0.21	223
06/11/2562	8.45	579	290	0.28	40.8	49	0.21	230
07/11/2562	8.43	579	289	0.28	33.6	48	0.24	249
08/11/2562	8.44	577	289	0.28	41.9	46	0.21	244
11/11/2562	8.45	618	209	0.3	34.7	56	0.29	226
12/11/2562	8.40	626	313	0.31	48.3	53	0.25	228
13/11/2562	8.50	741	371	0.36	63.1	81	0.20	224
14/11/2562	8.39	720	360	0.35	74.1	78	0.24	235
15/11/2562	8.42	1189	594	0.59	68.5	217	0.22	249
18/11/2562	8.40	1980	990	0.99	81.8	356	0.22	198

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
29/10/2562	8.31	576	288	0.28	33.0	49	1.34	542
30/10/2562	8.39	592	296	0.29	31.4	51	0.69	477
31/10/2562	8.43	605	303	0.29	31.7	53	0.71	450
01/11/2562	8.31	582	291	0.28	31.9	50	0.88	499
06/11/2562	8.48	612	306	0.30	38.2	64	0.18	279
07/11/2562	8.31	605	303	0.29	28.9	55	0.18	246
08/11/2562	8.47	580	290	0.28	31.3	48	0.17	259
11/11/2562	8.30	628	314	0.31	57.0	55	0.29	289
12/11/2562	8.30	638	319	0.32	69.0	54	0.25	270
13/11/2562	8.41	705	352	0.34	70.6	68	0.72	553
14/11/2562	7.76	732	366	0.36	67.2	84	0.91	557
15/11/2562	8.57	792	396	0.39	80.1	96	0.76	539
18/11/2562	8.37	2120	1060	1.17	70.7	348	0.37	262
19/11/2562	8.34	2650	1324	1.37	73.6	460	0.53	320
20/11/2562	8.34	3590	1795	1.88	78.2	880	0.32	310
21/11/2562	8.38	4760	2380	2.55	62.4	980	0.47	264
25/11/2562	8.28	3200	1602	1.67	79.4	780	0.38	371
26/11/2562	8.06	3820	1909	2.01	63.4	1000	0.85	575
27/11/2562	8.23	4980	2490	2.67	73.7	1320	0.95	562
28/11/2562	8.35	5950	2980	3.24	69.8	1680	0.37	326
29/11/2562	7.26	7300	3650	4.02	45.4	2040	0.77	647

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
29/10/2562	8.45	573	286	0.28	28.5	50	0.19	219
30/10/2562	8.36	574	287	0.28	33.5	47	0.14	216
31/10/2562	8.41	610	305	0.30	36.6	54	0.20	228
01/11/2562	8.36	580	290	0.28	35.9	50	0.18	269
06/11/2562	8.47	608	304	0.29	38.0	62	0.20	283
07/11/2562	8.47	580	290	0.28	31.3	55	0.20	259
08/11/2562	8.45	577	289	0.28	31.8	48	0.19	254
11/11/2562	8.40	642	321	0.32	60.0	61	0.26	275
12/11/2562	8.44	670	335	0.33	76.0	68	0.22	261
13/11/2562	8.46	758	379	0.37	78.1	80	0.20	237
14/11/2562	8.46	722	361	0.35	75.4	77	0.21	246
15/11/2562	8.44	865	432	0.42	85.3	121	0.23	262
18/11/2562	8.45	2199	1099	1.23	82.4	382	0.26	243
19/11/2562	8.47	2530	1264	1.30	81.5	460	0.20	205
20/11/2562	8.29	3620	1810	1.89	77.7	910	0.30	304
21/11/2562	8.38	4680	2340	2.50	75.5	540	0.26	190
25/11/2562	7.69	2950	1475	1.56	67.8	729	0.31	380
26/11/2562	8.25	3940	1968	2.08	64.6	1040	0.26	296
27/11/2562	8.38	4900	2450	2.62	82.6	3300	0.28	215
28/11/2562	8.32	5970	2990	3.24	91.0	1660	0.40	296
29/11/2562	8.32	7050	3530	3.86	71.4	2020	0.28	245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.37	485	242	0.23	61.5	46	0.94	523
07/10/2562	8.01	499	250	0.24	76.9	47	1.84	587
08/10/2562	8.22	459	230	0.22	86.1	37	1.21	560
09/10/2562	7.84	488	244	0.24	71.1	40	0.92	518
10/10/2562	8.23	508	254	0.25	53.6	42	0.62	411
11/10/2562	8.23	534	267	0.26	46.2	45	0.63	383
15/10/2562	8.30	607	303	0.30	41.5	53	0.92	311
16/10/2562	8.22	635	317	0.31	46.5	56	0.90	459
17/10/2562	8.06	699	349	0.34	49.8	67	1.05	487
21/10/2562	8.43	700	350	0.34	42.6	62	0.86	489
22/10/2562	8.40	652	326	0.32	37.8	60	0.54	461
24/10/2562	8.37	619	310	0.30	46.2	54	1.23	538
25/10/2562	8.36	603	302	0.29	44.2	52	1.35	540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-6 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.40	464	232	0.22	46.7	37	0.16	206
07/10/2562	8.35	498	249	0.24	64.6	41	0.32	318
08/10/2562	8.41	437	218	0.21	71.3	34	0.16	255
09/10/2562	8.34	447	224	0.22	60.7	35	0.18	203
10/10/2562	8.41	477	238	0.23	46.8	35	0.17	204
11/10/2562	8.38	504	252	0.24	34.5	39	0.11	233
15/10/2562	8.49	559	279	0.27	34.5	44	0.19	204
16/10/2562	8.45	664	322	0.31	35.0	56	0.19	162
17/10/2562	8.43	597	298	0.29	33.9	50	0.15	220
21/10/2562	8.43	688	344	0.34	40.3	56	0.21	265
22/10/2562	8.46	595	298	0.30	30.7	49	0.18	215
24/10/2562	8.50	563	281	0.27	31.7	42	0.10	229
25/10/2562	8.38	580	290	0.28	40.3	48	0.25	285

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-7 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.43	417	208	0.20	37.0	28	0.15	196
07/10/2562	7.94	401	200	0.19	31.1	27	0.18	205
08/10/2562	8.29	396	198	0.19	46.0	28	0.17	245
09/10/2562	8.47	397	198	0.19	42.8	32	0.15	215
10/10/2562	8.43	458	229	0.22	35.3	34	0.17	205
11/10/2562	8.43	453	226	0.22	25.2	36	0.16	282
15/10/2562	8.42	502	251	0.24	20.4	39	0.22	235
16/10/2562	8.47	523	262	0.25	24.4	41	0.21	210
17/10/2562	8.49	523	262	0.25	28.2	42	0.15	240
21/10/2562	8.51	530	266	0.26	31.4	43	0.18	238
22/10/2562	8.48	522	262	0.25	45.2	46	0.22	240
24/10/2562	8.53	480	240	0.23	27.6	37	0.21	255
25/10/2562	8.47	478	239	0.23	23.5	36	0.16	243
29/10/2562	8.46	497	248	0.24	17.4	39	0.21	220
30/10/2562	8.49	500	250	0.24	23.6	41	0.21	200
31/10/2562	8.44	508	254	0.25	28.1	39	0.15	222
06/11/2562	8.52	505	253	0.25	20.2	41	0.12	223
07/11/2562	8.48	534	267	0.26	16.2	40	0.10	237
08/11/2562	8.48	540	270	0.26	22.3	47	0.14	240
11/11/2562	8.32	552	276	0.27	19.9	45	0.28	238
12/11/2562	8.62	601	303	0.30	49.6	50	0.18	235
13/11/2562	8.54	630	315	0.31	48.3	65	0.18	218
14/11/2562	8.44	596	298	0.29	62.9	56	0.25	249
15/11/2562	8.57	694	347	0.34	50.8	77	0.17	250
18/11/2562	8.42	1184	592	0.59	60.2	180	0.25	210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด D หลังเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.24	449	225	0.22	58.2	34	0.17	210
07/10/2562	8.45	433	216	0.21	59.6	33	0.19	234
08/10/2562	8.49	448	224	0.22	62.7	34	0.14	225
09/10/2562	8.46	460	230	0.22	50.8	36	0.18	216
10/10/2562	8.48	471	236	0.23	39.0	41	0.12	223
11/10/2562	8.41	495	247	0.24	37.3	43	0.18	268
15/10/2562	8.51	531	266	0.26	32.0	48	0.17	230
16/10/2562	8.47	522	261	0.25	33.8	47	0.16	190
17/10/2562	8.57	557	278	0.27	28.3	52	0.18	223
21/10/2562	8.55	564	282	0.28	36.5	51	0.19	243
22/10/2562	8.54	555	278	0.27	46.0	48	0.25	245
24/10/2562	8.55	510	255	0.25	36.2	42	0.18	257
25/10/2562	8.55	489	244	0.24	42.1	42	0.18	238
29/10/2562	8.56	536	268	0.26	28.2	46	0.21	230
30/10/2562	8.52	581	290.0	0.28	26.9	50	0.22	249
31/10/2562	8.56	541	270	0.26	30.5	49	0.18	244
06/11/2562	8.50	583	207	0.28	37.8	46	0.19	228
07/11/2562	8.51	559	279	0.27	32.0	47	0.18	273
08/11/2562	8.51	589	294	0.29	38.7	47	0.17	252
11/11/2562	8.48	602	301	0.29	36.7	51	0.30	223
12/11/2562	8.53	590	295	0.29	43.8	53	0.16	214
13/11/2562	8.55	731	365	0.36	58.8	82	0.19	228
14/11/2562	8.53	730	365	0.36	73.8	80	0.19	248
15/11/2562	8.45	1127	564	0.56	67.2	205	0.19	245
18/11/2562	8.38	1865	933	0.92	80.0	345	0.20	205

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-9 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.42	457	229	0.22	51.6	35	0.20	204
07/10/2562	8.35	455	227	0.22	43.9	35	0.13	166
08/10/2562	8.43	444	222	0.21	71.2	34	0.26	231
09/10/2562	8.36	445	222	0.22	62.6	36	0.10	199
10/10/2562	8.44	487	244	0.24	50.0	37	0.17	198
11/10/2562	8.42	501	250	0.24	36.6	40	0.13	215
15/10/2562	8.33	575	287	0.28	33.6	52	0.18	197
16/10/2562	8.47	601	301	0.29	34.2	50	0.17	173
17/10/2562	8.41	628	314	0.31	29.9	51	0.09	209
21/10/2562	8.47	630	315	0.31	28.7	47	0.18	243
22/10/2562	8.45	622	311	0.30	26.9	49	0.16	227
24/10/2562	8.44	569	283	0.27	32.4	47	0.17	282
25/10/2562	8.43	581	290	0.28	31.5	47	0.17	273
29/10/2562	8.29	573	287	0.28	16.0	46	0.15	272
30/10/2562	8.26	570	285	0.29	22.1	48	0.15	280
31/10/2562	8.33	629	314	0.20	17.8	50	0.10	265
01/11/2562	8.42	577	288	0.28	34.7	48	0.14	257
06/11/2562	8.37	597	298	0.29	31.1	51	0.09	257
07/11/2562	8.38	584	292	0.28	24.7	52	0.15	239
08/11/2562	8.48	606	303	0.29	31.7	50	0.14	241
11/11/2562	8.32	620	310	0.30	62.9	59	0.27	269
12/11/2562	8.33	654	327	0.32	61.4	57	0.21	251
13/11/2562	8.41	765	383	0.37	89.5	85	0.26	220
14/11/2562	8.43	714	357	0.35	55.8	74	0.21	246
15/11/2562	8.32	796	398	0.39	68.1	97	0.28	235
18/11/2562	8.37	2180	1088	1.20	77.7	360	0.27	245
19/11/2562	8.39	2880	1438	1.49	45.7	540	0.23	218
20/11/2562	8.37	3840	1921	2.03	50.0	975	0.25	290

ตารางที่ ข-9 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน (ต่อ)

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
21/11/2562	8.37	5140	2570	2.76	65.3	1040	0.25	176
25/11/2562	8.08	2980	1488	1.54	71.1	748	0.41	388
26/11/2562	8.23	4110	2055	2.14	65.2	1070	0.28	312
27/11/2562	8.18	3370	1685	1.77	72.3	840	0.25	269
28/11/2562	8.41	3720	1861	1.96	55.0	960	0.27	232
29/11/2562	8.24	7315	3658	4.02	70.1	2049	0.26	250



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-10 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E หลังเติมคลอรีน

วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
04/10/2562	8.45	469	234.5	0.23	56.3	51	0.23	216
07/10/2562	8.45	461	230	0.22	99.6	43	0.19	244
08/10/2562	8.46	462	231	0.22	84.4	38	0.28	245
09/10/2562	8.47	492	246	0.24	68.7	42	0.19	205
10/10/2562	8.40	495	247	0.24	49.4	44	0.14	220
11/10/2562	8.44	520	260	0.25	47.4	48	0.13	250
15/10/2562	8.51	559	279	0.27	35.3	52	0.20	234
16/10/2562	8.55	566	283	0.28	30.7	47	0.16	176
17/10/2562	8.45	557	279	0.27	34.9	69	0.11	270
21/10/2562	8.52	612	307	0.30	30.3	48	0.20	248
22/10/2562	8.46	585	292	0.28	39.8	45	0.21	234
24/10/2562	8.55	572	286	0.28	41.4	48	0.19	232
25/10/2562	8.52	542	271	0.26	44.3	50	0.15	242
29/10/2562	8.47	584	292	0.28	45.8	49	0.22	209
30/10/2562	8.43	585	293	0.28	30.9	50	0.25	260
31/10/2562	8.50	613	307	0.30	31.2	50	0.11	234
01/11/2562	8.47	585	292	0.28	34.8	51	0.24	294
06/11/2562	8.38	603	301	0.29	30.9	51	0.11	262
07/11/2562	8.37	595	297	0.29	26.0	54	0.18	255
08/11/2562	8.43	620	310	0.30	33.5	53	0.17	246
11/11/2562	8.41	638	319	0.31	60.2	61	0.25	260
12/11/2562	8.35	659	329	0.32	65.0	58	0.20	253
13/11/2562	8.49	616	308	0.30	71.6	79	0.23	238
14/11/2562	8.40	714	352	0.35	65.3	83	0.22	245
15/11/2562	8.50	836	418	0.41	72.6	103	0.22	263
18/11/2562	8.38	2189	1094	1.23	83.1	382	0.25	245
19/11/2562	8.42	2550	1274	1.31	75.5	500	0.22	213

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-10 ข้อมูลค่า FRC และ ORP ประจำวัน ณ จุด E หลังเติมคลอรีน (ต่อ)

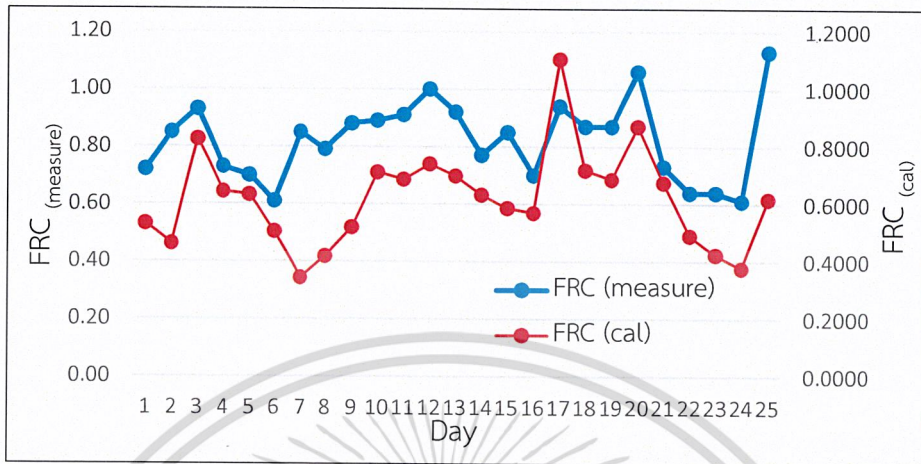
วันที่	pH	Cond. ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	TDS (mg/l)	Salinity (psu)	Turbidity (NTU)	Chloride (mg/l)	FRC (ppm)	ORP (mV)
21/11/2562	8.39	4630	2310	2.47	71.5	440	0.27	177
25/11/2562	8.29	3015	1507	1.59	73.0	756	0.32	351
26/11/2562	8.26	3930	1964	2.07	58.3	1020	0.31	320
27/11/2562	8.26	3220	16120	1.68	83.1	880	0.23	220
28/11/2562	8.34	3510	1755	1.85	62.8	960	0.31	192
29/11/2562	8.34	7140	3570	3.90	67.5	2060	0.24	257



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2 ข้อมูลค่า $FRC_{(measure)}$, $FRC_{(cal)}$ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

ข-2.1 ข้อมูลค่า $FRC_{(measure)}$, $FRC_{(cal)}$ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ณ จุด A



รูป ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน

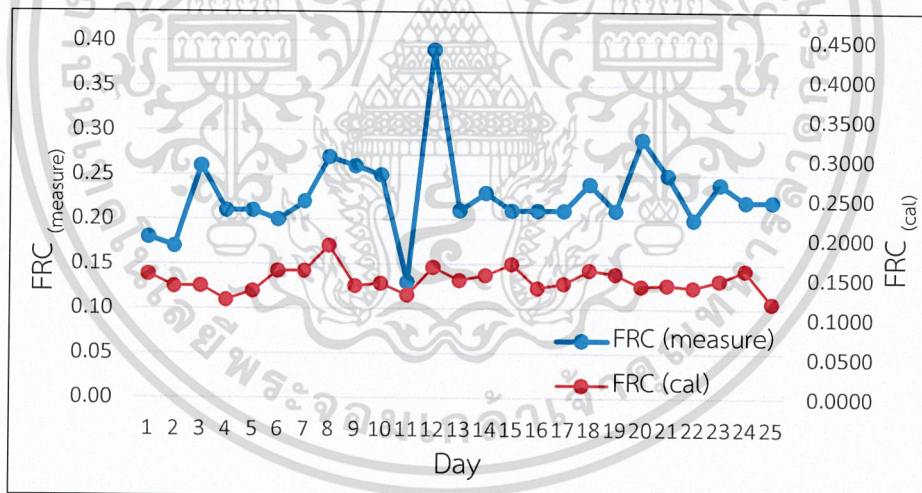
ตารางที่ ข-11 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ ($FRC_{(measure)}$), FRC จากการคำนวณ ($FRC_{(cal)}$) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน

Date	$FRC_{(measure)}$	$FRC_{(cal)}$	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.72	0.6856	498	4.7842
07/10/2019	0.85	0.8257	530	2.8590
08/10/2019	0.93	1.1106	581	-19.4214
09/10/2019	0.73	0.6431	487	11.9052
10/10/2019	0.70	0.6320	484	9.7178
11/10/2019	0.61	0.5038	445	17.4115
15/10/2019	0.85	0.4617	430	45.6794
16/10/2019	0.79	0.8905	543	-12.7227
17/10/2019	0.88	0.8451	534	3.9635
21/10/2019	0.89	0.9221	549	-3.6084
22/10/2019	0.91	0.9548	555	-4.9276
24/10/2019	1.00	0.8905	543	10.9490
25/10/2019	0.92	1.1434	586	-24.2794
29/10/2019	0.77	0.6320	484	17.9253
30/10/2019	0.85	0.5860	471	31.0611
31/10/2019	0.70	0.5692	466	18.6864

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินส่วนราชการซึ่งงานที่... ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากล่าวโทษผู้พิมพ์หรือผู้จัดพิมพ์แต่ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลของเอกสารทุกฉบับที่ปรากฏในเล่ม

ตารางที่ ข-11 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด A ขณะเติมคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
06/11/2019	0.94	1.1042	580	-17.4662
07/11/2019	0.87	0.7182	506	17.4500
08/11/2019	0.87	0.6856	498	21.2007
11/11/2019	1.06	0.8700	539	17.9204
12/11/2019	0.73	0.6737	495	7.7120
13/11/2019	0.64	0.4894	440	23.5377
14/11/2019	0.64	0.5659	465	11.5787
15/11/2019	0.61	0.5561	462	8.8338
18/11/2019	1.13	1.3299	612	-17.6908



รูป ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน

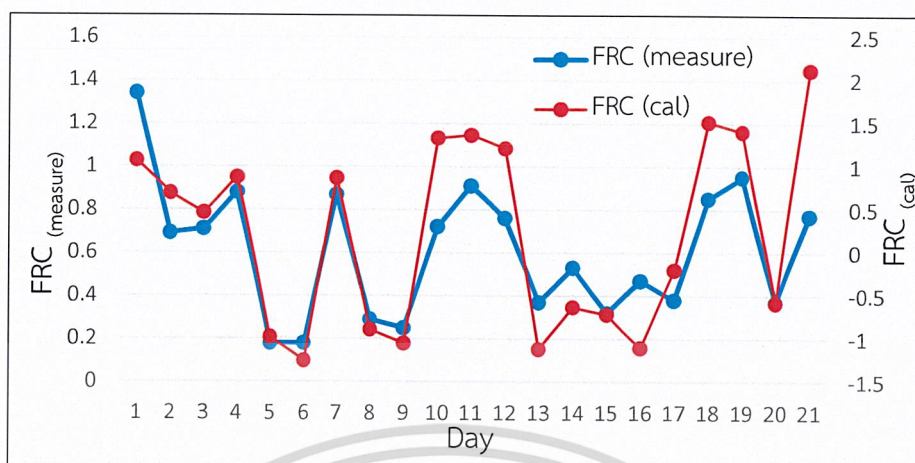
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-12 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด A ไม่เติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.18	0.1557	243	13.4929
07/10/2019	0.17	0.1402	225	17.5033
08/10/2019	0.26	0.1411	226	45.7454
09/10/2019	0.21	0.1234	203	41.2335
10/10/2019	0.21	0.1347	218	35.8797
11/10/2019	0.20	0.1603	248	19.8477
15/10/2019	0.22	0.1603	248	27.1342
16/10/2019	0.27	0.1920	279	28.9051
17/10/2019	0.26	0.1411	226	45.7454
21/10/2019	0.25	0.1444	230	42.2480
22/10/2019	0.13	0.1300	212	-0.0288
24/10/2019	0.39	0.1650	253	57.6841
25/10/2019	0.21	0.1486	235	29.2201
29/10/2019	0.23	0.1548	242	32.6912
30/10/2019	0.21	0.1689	257	19.5648
31/10/2019	0.21	0.1386	223	33.9888
06/11/2019	0.21	0.1444	230	31.2476
07/11/2019	0.24	0.1612	249	32.8170
08/11/2019	0.21	0.1566	244	25.4188
11/11/2019	0.29	0.1411	226	51.3579
12/11/2019	0.25	0.1427	228	42.9154
13/11/2019	0.20	0.1394	224	30.2842
14/11/2019	0.24	0.1486	235	38.0676
15/11/2019	0.22	0.1612	249	26.7095
18/11/2019	0.22	0.1199	198	45.5115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-2.2 ข้อมูลค่า $FRC_{(measure)}$, $FRC_{(cal)}$ และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ณ จุด B



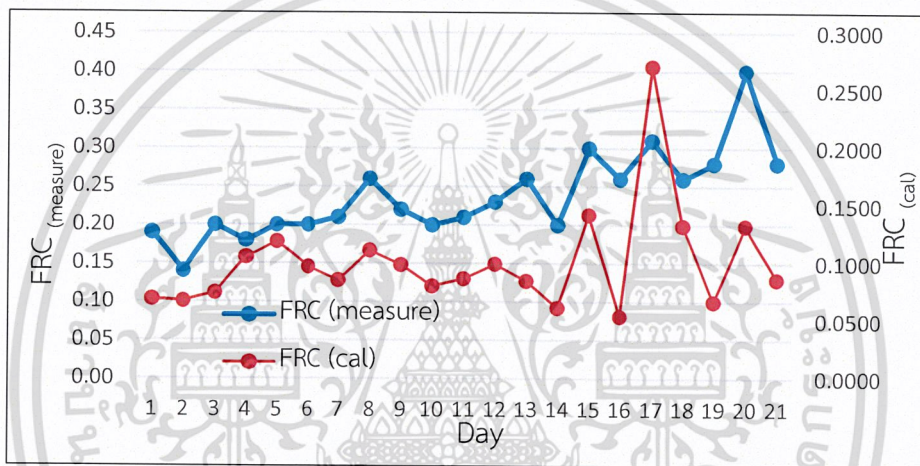
รูป ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน

ตารางที่ ข-13 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ ($FRC_{(measure)}$), FRC จากการคำนวณ ($FRC_{(cal)}$) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน

Date	$FRC_{(measure)}$	$FRC_{(cal)}$	ORP _(measure)	% Error
29/10/2019	1.34	1.0686	542	20.2501
30/10/2019	0.69	0.6876	477	0.3524
31/10/2019	0.71	0.4603	450	35.1669
01/11/2019	0.88	0.8727	499	0.8252
06/11/2019	0.18	-0.9790	279	643.8656
07/11/2019	0.18	-1.2567	246	798.1736
08/11/2019	0.87	0.8643	498	0.6527
11/11/2019	0.29	-0.8948	289	408.5483
12/11/2019	0.25	-1.0547	270	521.8837
13/11/2019	0.72	1.3272	553	-84.3396
14/11/2019	0.91	1.3609	557	-49.5508
15/11/2019	0.76	1.2094	539	-59.1329
18/11/2019	0.37	-1.1220	262	403.2550
19/11/2019	0.53	-0.6339	320	219.5980
20/11/2019	0.32	-0.7180	310	324.3866
21/11/2019	0.47	-1.1052	264	335.1511

ตารางที่ ข-13 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ขณะเติมคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
25/11/2019	0.38	-0.2046	371	153.8454
26/11/2019	0.85	1.5124	575	-77.9312
27/11/2019	0.95	1.4030	562	-47.6838
28/11/2019	0.37	-0.5834	326	257.6671
29/11/2019	0.77	2.1184	647	-175.1200



รูป ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน

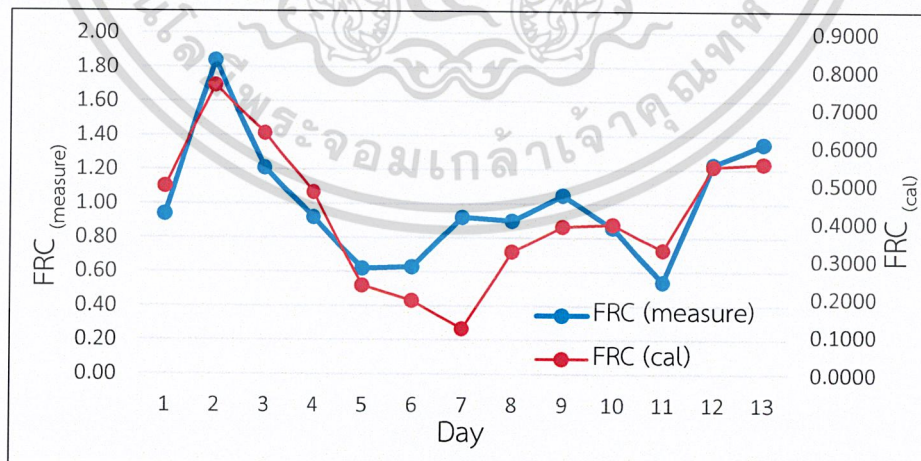
ตารางที่ ข-14 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ไม่เติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
29/10/2019	0.19	0.0691	219	63.6431
30/10/2019	0.14	0.0673	216	51.8979
31/10/2019	0.20	0.0746	228	62.7219
01/11/2019	0.18	0.1056	269	41.3592
06/11/2019	0.20	0.1189	283	40.5708
07/11/2019	0.20	0.0970	259	51.5140
08/11/2019	0.21	0.0854	244	59.3381
11/11/2019	0.26	0.1111	275	57.2835
12/11/2019	0.22	0.0986	261	55.1679

ตารางที่ ข-14 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด B ไม่เต็มคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
13/11/2019	0.20	0.0805	237	59.7656
14/11/2019	0.21	0.0869	246	58.6427
15/11/2019	0.23	0.0995	262	56.7520
18/11/2019	0.26	0.0847	243	67.4350
19/11/2019	0.20	0.0613	205	69.3272
20/11/2019	0.30	0.1420	304	52.6583
21/11/2019	0.26	0.0540	190	79.2236
25/11/2019	0.31	0.2705	380	12.7260
26/11/2019	0.26	0.1327	296	48.9576
27/11/2019	0.28	0.0668	215	76.1520
28/11/2019	0.40	0.1327	296	66.8225
29/11/2019	0.28	0.0861	245	69.2439

ข-2.3 ข้อมูลค่า FRC_(measure), FRC_(cal) และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ณ จุด C

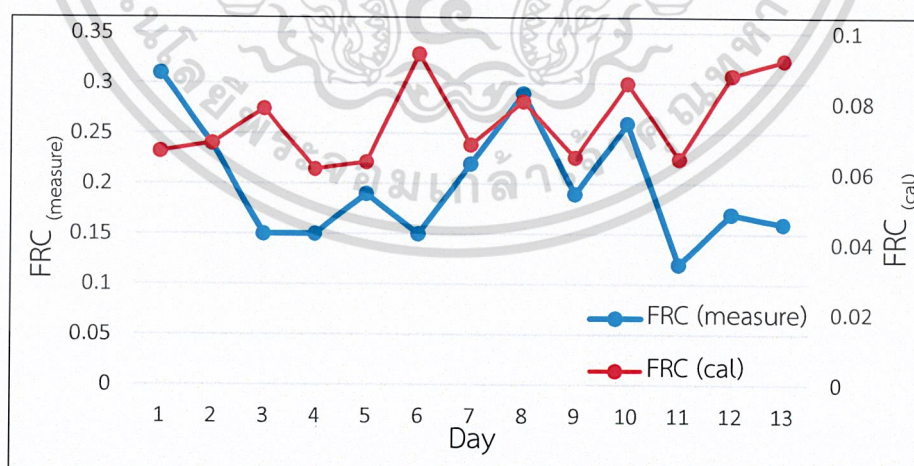


รูป ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-15 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด C ขณะเติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.94	0.4965	523	47.1842
07/10/2019	1.84	0.7623	587	58.5710
08/10/2019	1.21	0.6361	560	47.4260
09/10/2019	0.92	0.4801	518	47.8139
10/10/2019	0.62	0.2344	411	62.1908
11/10/2019	0.63	0.1943	383	69.1558
15/10/2019	0.92	0.1200	311	86.9618
16/10/2019	0.90	0.3233	459	64.0731
17/10/2019	1.05	0.3901	487	62.8509
21/10/2019	0.86	0.3953	489	54.0317
22/10/2019	0.54	0.3277	461	39.3141
24/10/2019	1.23	0.5490	538	55.3692
25/10/2019	1.35	0.5564	540	58.7878



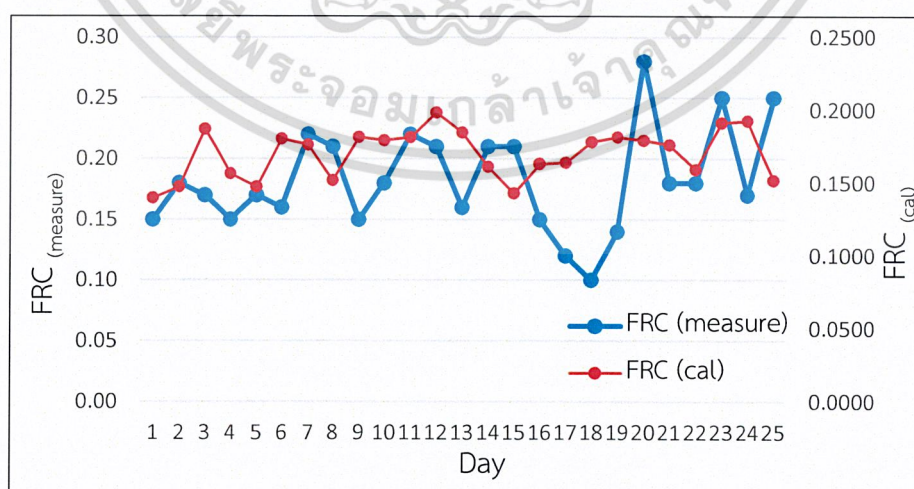
รูป ข-6 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-16 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด C ไม่เติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.31	0.0663	223	78.5933
07/10/2019	0.24	0.0686	228	71.4068
08/10/2019	0.15	0.0785	248	47.6845
09/10/2019	0.15	0.0612	211	59.1801
10/10/2019	0.19	0.0633	216	66.67487
11/10/2019	0.15	0.0940	275	37.3004
15/10/2019	0.22	0.0682	227	69.0159
16/10/2019	0.29	0.0806	252	72.2046
17/10/2019	0.19	0.0646	219	65.9976
21/10/2019	0.26	0.0856	261	67.0687
22/10/2019	0.12	0.0642	218	46.5228
24/10/2019	0.17	0.0880	265	48.2651
25/10/2019	0.16	0.0922	272	42.3899

ข-2.4 ข้อมูลค่า FRC_(measure), FRC_(cal) และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ณ จุด D

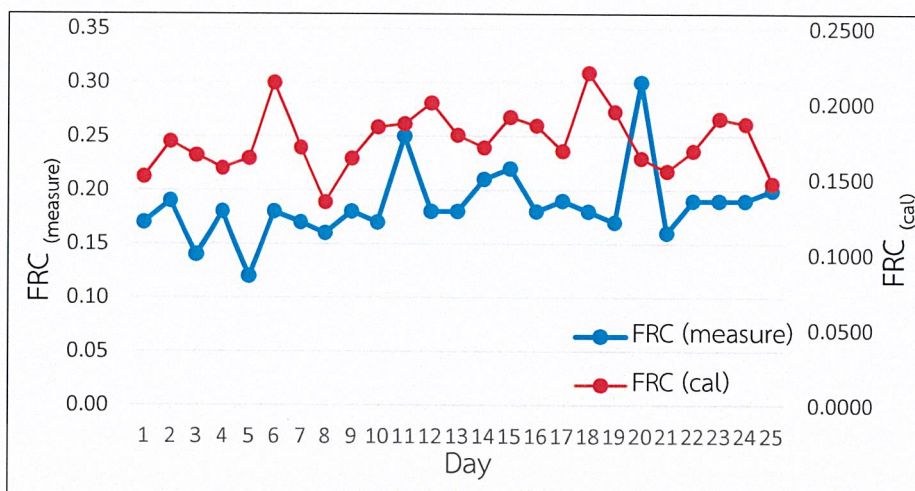


เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กรุงเทพมหานคร
 รูป ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-17 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด D ก่อนเติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.15	0.1397	196	6.8809
07/10/2019	0.18	0.1473	205	18.1409
08/10/2019	0.17	0.1868	245	-9.9112
09/10/2019	0.15	0.1564	215	-4.2404
10/10/2019	0.17	0.1473	205	13.3257
11/10/2019	0.16	0.1803	239	-12.6934
15/10/2019	0.22	0.1761	235	19.9649
16/10/2019	0.21	0.1518	210	27.7207
17/10/2019	0.15	0.1814	240	-20.9221
21/10/2019	0.18	0.1792	238	0.4212
22/10/2019	0.22	0.1814	240	17.5531
24/10/2019	0.21	0.1983	255	5.5809
25/10/2019	0.16	0.1846	243	-15.4020
29/10/2019	0.21	0.1611	220	23.2988
30/10/2019	0.21	0.1430	200	31.8876
31/10/2019	0.15	0.1630	222	-8.6645
06/11/2019	0.12	0.1640	223	-36.6395
07/11/2019	0.10	0.1782	237	-78.1807
08/11/2019	0.14	0.1814	240	-29.5594
11/11/2019	0.28	0.1792	238	35.9850
12/11/2019	0.18	0.1761	235	2.1793
13/11/2019	0.18	0.1592	218	11.5717
14/11/2019	0.25	0.1913	249	23.4639
15/11/2019	0.17	0.1925	250	-13.2234
18/11/2019	0.25	0.1518	210	39.2854

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ข-8 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ และ $FRC_{(cal)}$ ณ จุด D หลังเติมคลอรีน

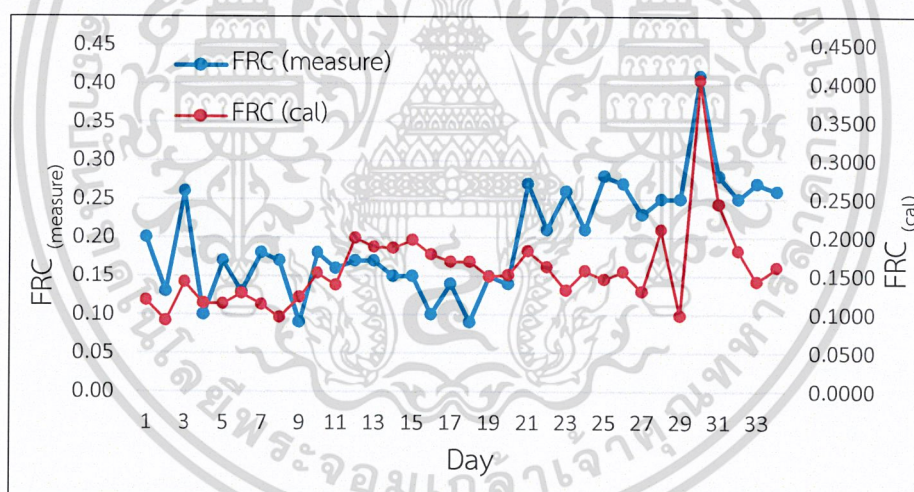
ตารางที่ ข-18 ตารางค่า FRC ที่วัดได้ ($FRC_{(measure)}$), FRC จากการคำนวณ ($FRC_{(cal)}$) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด D หลังเติมคลอรีน

Date	$FRC_{(measure)}$	$FRC_{(cal)}$	ORP ($measure$)	% Error
04/10/2019	0.17	0.1518	210	10.7138
07/10/2019	0.19	0.1750	234	7.8764
08/10/2019	0.14	0.1659	225	-18.5188
09/10/2019	0.18	0.1573	216	12.6157
10/10/2019	0.12	0.1640	223	-36.6395
11/10/2019	0.18	0.2142	268	-18.9956
15/10/2019	0.17	0.1709	230	-0.5449
16/10/2019	0.16	0.1348	190	15.7563
17/10/2019	0.18	0.1640	223	8.9070
21/10/2019	0.17	0.1846	243	-8.6137
22/10/2019	0.25	0.1868	245	25.2604
24/10/2019	0.18	0.2006	257	-11.4716
25/10/2019	0.18	0.1792	238	0.4212
29/10/2019	0.21	0.1709	230	18.6065
30/10/2019	0.22	0.1913	249	13.0272
31/10/2019	0.18	0.1857	244	-3.1905
06/11/2019	0.19	0.1689	228	11.1008
07/11/2019	0.18	0.2206	273	-22.5814

ตารางที่ ข-18 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด D หลังเติมคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
08/11/2019	0.17	0.1948	252	-14.5760
11/11/2019	0.30	0.1640	223	45.3442
12/11/2019	0.16	0.1554	214	2.8532
13/11/2019	0.19	0.1689	228	11.1008
14/11/2019	0.19	0.1902	248	-0.1092
15/11/2019	0.19	0.1868	245	1.6584
18/11/2019	0.20	0.1473	205	26.3268

ข-2.5 ข้อมูลค่า FRC_(measure), FRC_(cal) และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน ณ จุด E



รูป ข-9 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน

ตารางที่ ข-19 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.20	0.1184	204	40.7909
07/10/2019	0.13	0.0919	166	29.3124
08/10/2019	0.26	0.1418	231	45.4624
09/10/2019	0.10	0.1145	199	-14.5321

ตารางที่ ข-19 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน (ต่อ)

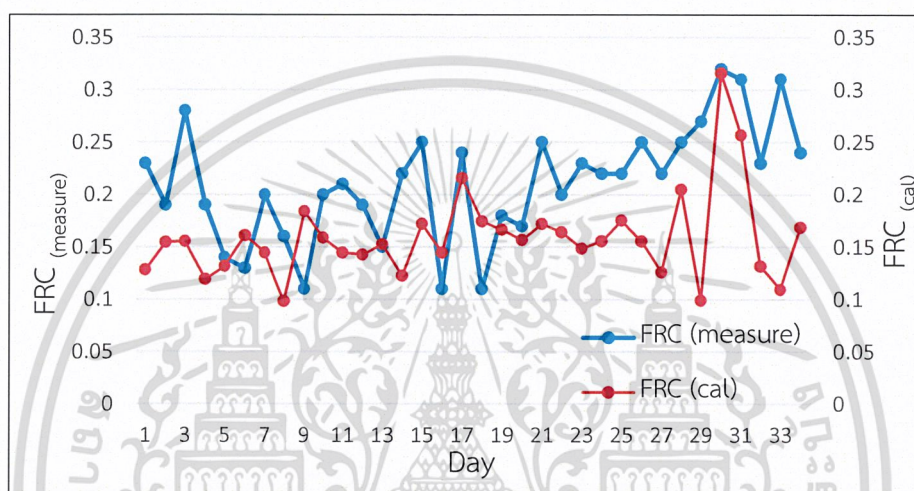
Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
10/10/2019	0.17	0.1138	198	33.0763
11/10/2019	0.13	0.1274	215	1.9709
15/10/2019	0.18	0.1130	197	37.2147
16/10/2019	0.17	0.0963	173	43.3597
17/10/2019	0.09	0.1224	209	-36.0400
21/10/2019	0.18	0.1536	243	14.6556
22/10/2019	0.16	0.1381	227	13.7108
24/10/2019	0.17	0.1993	282	-17.2272
25/10/2019	0.17	0.1877	273	-10.3938
29/10/2019	0.15	0.1864	272	-24.2808
30/10/2019	0.15	0.1966	280	-31.0961
31/10/2019	0.10	0.1779	265	-77.9131
01/10/2019	0.14	0.1687	257	-20.4743
06/11/2019	0.09	0.1687	257	-87.4045
07/11/2019	0.15	0.1496	239	0.2843
08/11/2019	0.14	0.1516	241	-8.2738
11/11/2019	0.27	0.1827	269	32.3236
12/11/2019	0.21	0.1620	251	22.8361
13/11/2019	0.26	0.1318	220	49.3224
14/11/2019	0.21	0.1567	246	25.3683
15/11/2019	0.28	0.1456	235	47.9879
18/11/2019	0.27	0.1557	245	42.3392
19/11/2019	0.23	0.1300	218	43.4718
20/11/2019	0.25	0.2102	290	15.9142
21/11/2019	0.25	0.0982	176	60.7058
25/11/2019	0.41	0.4043	388	1.3943
26/11/2019	0.28	0.2435	312	13.0509
27/11/2019	0.25	0.1827	269	26.9095

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-19 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E ก่อนเติมคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
28/11/2019	0.27	0.1427	232	47.1307
29/11/2019	0.26	0.1610	250	38.0899



รูป ข-10 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) และ FRC_(cal) ณ จุด E หลังเติมคลอรีน

ตารางที่ ข-20 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E หลังเติมคลอรีน

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
04/10/2019	0.23	0.1283	216	44.2213
07/10/2019	0.19	0.1546	244	18.6060
08/10/2019	0.28	0.1557	245	44.3986
09/10/2019	0.19	0.1192	205	37.2574
10/10/2019	0.14	0.1318	220	5.8845
11/10/2019	0.13	0.1610	250	-23.8203
15/10/2019	0.20	0.1447	234	27.6674
16/10/2019	0.16	0.0982	176	38.6028
17/10/2019	0.11	0.1839	270	-67.2270

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โดยอนุญาตให้ไปใช้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข-20 ตารางค่า FRC ที่วัดได้_(measure), FRC จากการคำนวณ_(cal) และค่าความคลาดเคลื่อน (% Error) ณ จุด E หลังเติมคลอรีน (ต่อ)

Date	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
21/10/2019	0.20	0.1588	248	20.5839
22/10/2019	0.21	0.1447	234	31.1118
24/10/2019	0.19	0.1427	232	24.8699
25/10/2019	0.15	0.1526	242	-1.7322
29/10/2019	0.22	0.1224	209	44.3473
30/10/2019	0.25	0.1721	260	31.1701
31/10/2019	0.11	0.1447	234	-31.5138
01/10/2019	0.24	0.2159	294	10.0410
06/11/2019	0.11	0.1744	262	-58.5334
07/11/2019	0.18	0.1664	255	7.5401
08/11/2019	0.17	0.1567	246	7.8080
11/11/2019	0.25	0.1721	260	31.1701
12/11/2019	0.20	0.1642	253	17.8893
13/11/2019	0.23	0.1486	238	35.4005
14/11/2019	0.22	0.1557	245	29.2345
15/11/2019	0.22	0.1756	263	20.2026
18/11/2019	0.25	0.1557	245	37.7264
19/11/2019	0.22	0.1257	213	42.8417
20/11/2019	0.25	0.2047	286	18.1290
21/11/2019	0.27	0.0989	177	63.3728
25/11/2019	0.32	0.3158	351	1.3033
26/11/2019	0.31	0.2568	320	17.1587
27/11/2019	0.23	0.1318	220	42.7123
28/11/2019	0.31	0.1093	192	64.7403
29/11/2019	0.24	0.1687	257	29.7233

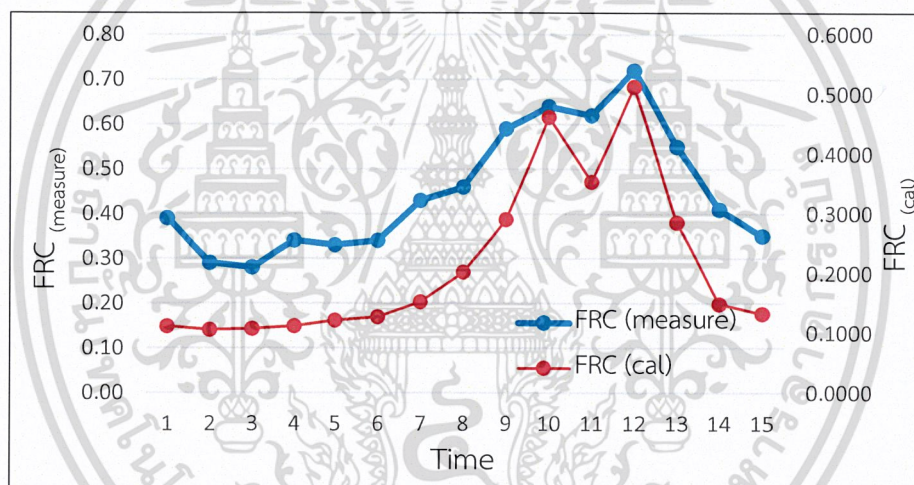
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข-3 ข้อมูลผลการทำ Chlorine Profile

1) คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A

ตารางที่ ข-21 คุณภาพน้ำ ณ จุด A

คุณภาพน้ำ ณ จุด A (19/10/2019)			
pH	8.43	Total Alkalinity	148
Conductivity	1738	Total Hardness	242
TDS	869	Calcium Hardness	126
Salinity	0.86	Chloride	342
Turbid	96.2		
Temp	305		



รูป ข-11 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ กับ $FRC_{(cal)}$ ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A

ตารางที่ ข-22 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A

Time	$FRC_{(measure)}$	$FRC_{(cal)}$	$ORP_{(measure)}$	% Error
12.10	0.39	0.1118	186	71.3338
12.20	0.29	0.1055	176	63.6259
12.30	0.28	0.1073	179	61.6641
12.40	0.34	0.1118	186	67.1182
12.50	0.33	0.1213	200	63.2496
13.00	0.34	0.1270	208	62.6327

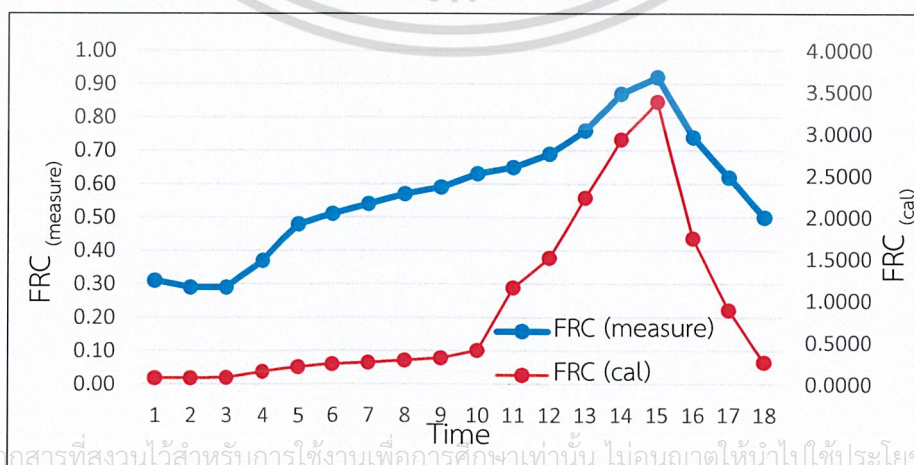
ตารางที่ ข-22 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด A (ต่อ)

Time	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
13.10	0.43	0.1521	239	64.6200
13.20	0.46	0.2023	288	56.0293
13.30	0.59	0.2900	350	50.8435
13.40	0.64	0.4617	430	27.8554
13.50	0.62	0.3334	374	46.2193
14.00	0.72	0.3970	404	44.8663
14.10	0.55	0.2850	347	48.1800
14.20	0.41	0.1486	235	63.7469
14.30	0.35	0.1323	215	62.1929

2) คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B

ตารางที่ ข-23 คุณภาพน้ำ ณ จุด B

คุณภาพน้ำ ณ จุด B (3/12/2019)			
pH	8.33	Total Alkalinity	1574
Conductivity	10630	Total Hardness	1416
TDS	5315	Calcium Hardness	348
Salinity	5.4	Chloride	3708
Turbid	97.2		
Temp	30		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด รูป ข-12 ความสัมพันธ์ระหว่าง FRC_(measure) กับ FRC_(cal) ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B นำไปใช้

ตารางที่ ข-24 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด B

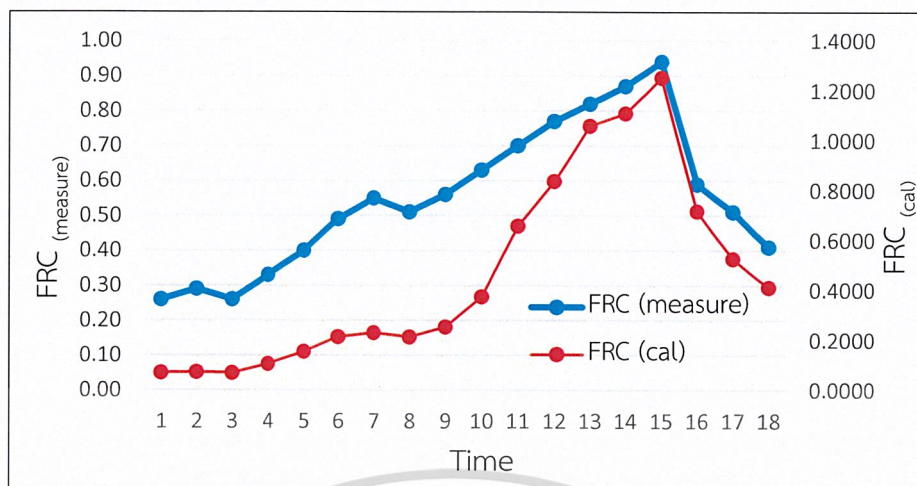
Time	FRC _(measure)	FRC _(cal)	ORP _(measure)	% Error
8.10	0.31	0.0746	228	75.9496
8.20	0.29	0.0733	226	74.7233
8.30	0.29	0.0758	230	73.8512
8.40	0.37	0.1507	311	59.2674
8.50	0.48	0.2063	348	57.0305
9.00	0.51	0.2362	364	53.6816
9.10	0.54	0.2571	374	52.3836
9.20	0.57	0.2823	385	50.4795
9.30	0.59	0.3099	396	47.4810
9.40	0.63	0.4030	427	36.0280
9.50	0.65	1.1534	551	-77.4457
10.00	0.69	1.5129	583	-119.2676
10.10	0.76	2.2347	629	-194.0436
10.20	0.87	2.9314	661	-236.9386
10.30	0.92	3.3859	678	-268.0334
10.40	0.74	1.7475	600	-136.1549
10.50	0.62	0.8868	520	-43.0294
11.00	0.50	0.2593	375	48.1363

3) คลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C

ตารางที่ ข-25 คุณภาพน้ำ ณ จุด C

คุณภาพน้ำ ณ จุด C (4/12/2019)			
pH	8.11	Total Alkalinity	1688
Conductivity	12280	Total Hardness	1594
TDS	6140	Calcium Hardness	358
Salinity	6.2	Chloride	3900
Turbid	62.6		
Temp	30.2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น



รูป ข-7 ความสัมพันธ์ระหว่าง $FRC_{(measure)}$ กับ $FRC_{(cal)}$ ของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C

ตารางที่ ข-26 การแปลผลของคลอรีนโปรไฟล์ ณ จุด C

Time	$FRC_{(measure)}$	$FRC_{(cal)}$	$ORP_{(measure)}$	% Error
9.10	0.26	0.0705	232	72.8887
9.20	0.29	0.0724	236	75.0325
9.30	0.26	0.0696	230	73.2499
9.40	0.33	0.1047	291	68.2722
9.50	0.40	0.1545	349	61.3800
10.00	0.49	0.2131	397	56.5019
10.10	0.55	0.2295	408	58.2804
10.20	0.51	0.2131	397	58.2077
10.30	0.56	0.2537	423	54.6893
10.40	0.63	0.3744	481	40.5754
10.50	0.70	0.6576	565	6.0604
11.00	0.77	0.8371	601	-8.7181
11.10	0.82	1.0586	636	-29.0958
11.20	0.87	1.1095	643	-27.5245
11.30	0.94	1.2518	661	-33.1704
11.40	0.59	0.7175	578	-21.6063
11.50	0.51	0.5270	532	-3.3399
12.00	0.41	0.4112	495	-0.2989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลนี้ไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามตัดแปลงเนื้อหานี้โดยเด็ดขาด ต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกฉบับที่นำมาใช้

ภาคผนวก ค

การคำนวณผลการทดลอง

ค-1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 0.1%

NaOCl	100%	มี 1,000,000	ppm
	10%	มี 100,000	ppm
	1%	มี 10,000	ppm
	0.1%	มี 1,000	ppm

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$100,000 \text{ ppm } (V_1) = 1,000 \text{ ppm } (100 \text{ ml})$$

$$V_1 = \frac{1,000 \text{ ppm} \times 100 \text{ ml}}{100,000 \text{ ppm}}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

ปิเปต NaOCl 10 % มา 1 ml ในน้ำ 100 ml จะได้ 0.1 %

ค-2 หาความคลาดเคลื่อน (% Error)

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าจากการคำนวณ}}{\text{ค่าจริง}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองทางสถิติ

ง-1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี Algorithm A

- 1) นำข้อมูลมาเรียงจากน้อยไปหามาก (x^*)
- 2) คำนวณหาค่า x^* (median)
- 3) คำนวณค่า s^* (จากสูตร $s^* = 1.483 \times \text{median } |x_i - x^*|$; x_i คือ ข้อมูลคำนวณค่าในแต่ละชุด (Iteration) โดยปรับค่า x_i ที่อยู่นอกช่วง lower limit ($x^* - \delta$) ถึง upper limit ($x^* + \delta$) โดย $\delta = 1.5s^*$ ให้อยู่ในช่วง
- 4) ทำซ้ำใน Iteration ต่อ ๆ ไปจนหาค่า new x^* และ new s^* คงที่ (ตัวเลขไม่เปลี่ยนแปลงถึงทศนิยมที่กำหนด อย่างน้อย 3 เลขนัยสำคัญ)

*หมายเหตุ

ค่า new x^* (robust mean) คือ ค่า assigned value ที่ได้ และ new s^* (robust SD) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งใช้เป็นค่ากำหนด x_{pt} และ σ_{pt} ตามลำดับ เพื่อใช้คำนวณสถิติ z-score ประเมินผลความสามารถทดสอบความชำนาญของห้องปฏิบัติการในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ณ จุด A (ต่อ)

Time	% Error	Xi - New X*	Xi 2	Xi 3	Xi 4	Xi 5	Xi 6	Xi 7	Xi 8	Xi 9
14.20	63.7469	1.5540	63.7469	63.7469	63.7469	63.7469	63.7469	63.7469	63.7469	63.7469
13.10	64.6200	2.4271	64.6200	64.6200	64.6200	64.6200	64.6200	64.6200	64.6200	64.6200
12.40	67.1182	4.9253	67.1182	67.1180	67.1182	67.1182	67.1182	67.1182	67.1182	67.1182
12.10	71.3338	9.1409	71.3338	71.0710	70.9986	70.9787	70.9732	70.9718	70.9714	70.9712
Med	62.1929									
Average	55.6594	Average	59.4931	59.4755	59.4707	59.4694	59.4690	59.4689	59.4689	59.4689
STDEV	13.3770	STDEV	6.8067	6.7743	6.7654	6.7630	6.7623	6.7622	6.7621	6.7621
Med	4.9253	X*	59.4931	59.4755	59.4707	59.4694	59.4690	59.4689	59.4689	59.4689
New S*	7.3042	S*	7.7187	7.6820	7.6720	7.6692	7.6685	7.6683	7.6682	7.6682
delta	10.9564	delta	11.5781	11.5230	11.5080	11.5039	11.5027	11.5024	11.5024	11.5023
New	51.2365	X*-delta	47.9149	47.9525	47.9627	47.9655	47.9663	47.9665	47.9665	47.9665

ง-2.2 ข้อมูลการแปลผลค่า Z-Score ณ จุด B
 ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการแปลผลค่า Z-Score ของจุด B

Time	% Error	Xi - New X*	Xi 2	Xi 2
10.30	-268.0334	315.8420	-11.0930	-11.0930
10.20	-236.9386	284.7473	-11.0930	-11.0930
10.10	-194.0436	241.8523	-11.0930	-11.0930
10.40	-136.1549	183.9635	-11.0930	-11.0930
10.00	-119.2676	167.0763	-11.0930	-11.0930
9.50	-77.4457	125.2544	-11.0930	-11.0930
10.50	-43.0294	90.8380	-11.0930	-11.0930
9.40	36.0280	11.7807	36.0280	36.0280
9.30	47.4810	0.3277	47.4810	47.4810
11.00	48.1363	0.3277	48.1364	48.1363
9.20	50.4795	2.6709	50.4796	50.4796
9.10	52.3836	4.5750	52.3836	52.3836
9.00	53.6816	5.8730	53.6816	53.6816
8.50	57.0305	9.2218	57.03048	57.0304
8.40	59.2674	11.4588	59.2674	59.2674
8.30	73.8512	26.0426	73.8512	73.8512
8.20	74.7233	26.9146	74.7233	74.7232
8.10	75.9496	28.1409	75.9496	75.9496

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ของจุด B (ต่อ)

Med (New x^*1)	47.8087			
Average	-24.7723	Average	30.6312	30.6312
STDEV	117.0258	STDEV	35.6346	35.6346
Med (Xi-New X^*)	26.4786	X^*	30.6312	30.6312
New S^*	39.2678	S^*	40.4097	40.4097
delta	58.9016	delta	60.6145	60.6145
New $X^*-\text{delta}$	-11.0930	$X^*-\text{delta}$	-29.9833	-29.9833
New $X^*+\text{delta}$	106.7103	$X^*+\text{delta}$	91.2457	91.2457



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-2.3 ข้อมูลการแปลผลค่า Z-Score ณ จุด C
 ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการแปลผลค่า Z-Score ของจุด C

Time	% Error (Xi 1)	Xi - New X*	Xi 2	Xi 3
11.30	-33.1704	80.8028	-11.3366	-11.3366
11.10	-29.0958	76.7282	-11.3366	-11.3366
11.20	-27.5245	75.1568	-11.3366	-11.3366
11.40	-21.6063	69.2386	-11.3366	-11.3366
11.00	-8.7181	56.3505	-8.7181	-8.7181
11.50	-3.3399	50.9723	-3.3399	-3.3399
12.00	-0.2989	47.9313	-0.2989	-0.2989
10.50	6.0604	41.5720	6.0604	6.0604
10.40	40.5754	7.0569	40.5754	40.5754
10.30	54.6893	7.0569	54.6893	54.6893
10.20	58.2077	10.5753	58.2077	58.2077
10.10	58.2804	10.6480	58.2804	58.2804
10.00	56.5019	8.8695	56.5019	56.5019
9.50	61.3800	13.7476	61.3799	61.3799
9.40	68.2722	20.6398	68.2722	68.2722
9.10	72.8887	25.2563	72.8887	72.8887
9.30	73.2499	25.6175	73.2499	73.2499
9.20	75.0325	27.4001	75.0325	75.0325

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการแปลผลหาค่า Z-Score ของจุด C (ต่อ)

Med (New x^*1)	47.6324			
Average	27.8547	Average	31.5242	31.5242
STDEV	41.0743	STDEV	36.0566	36.0566
Med (Xi-New X^*)	26.5088	X^*	31.5242	31.5242
New S^*	39.3126	S^*	40.8882	40.8882
delta	58.9689	delta	61.3324	61.3324
New $X^*-\text{delta}$	-11.3366	$X^*-\text{delta}$	-29.8082	-29.8082
New $X^*+\text{delta}$	106.6013	$X^*+\text{delta}$	92.8565	92.8565



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้