

คลอรีนคงเหลือ และผลกระทบของคลอรีนคงเหลือ  
ต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา

Residual Chlorine and Effect of Residual Chlorine on Reduction of Bacteria  
in Wastewater from Fish Landing Site

นาฏอนงค์ เจริญสันติสุข\* เกษม จันทร์แก้ว อรอนงค์ ผิวนิล และธนิศร์ ปัทมพิฑูร

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

\*E-mail : nardanongc@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากสะพานปลาและผลกระทบของคลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากตลาดปลาสหกรณ์ประมงแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม ทำการทดลองที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-85 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที จากการศึกษา พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-50 mg/L ตรวจไม่พบปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย และพบปริมาณคลอรีนคงเหลือที่ระดับความเข้มข้น 55 mg/L เป็นต้นไป โดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 85 มีปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดมากที่สุด และที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 70 mg/L มีปริมาณคลอรีนคงเหลือน้อยที่สุด และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนคงเหลือและการลดลงของแบคทีเรียที่ระดับความเข้มข้นตั้งต้น 55-70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นปริมาณคลอรีนคงเหลือจะลดลงในทุกระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) รวมทั้งเมื่อระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้แบคทีเรียถูกทำลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ )

**คำสำคัญ :** คลอรีนคงเหลือ แบคทีเรีย น้ำเสีย สะพานปลา

Abstract

The aim of this study was to determine the residual chlorine and effect of residual chlorine on the reduction of bacteria in wastewater from fish landing sites using a wastewater sample from Maeklong Fishery Cooperative Fish Market in Samut Songkhram province. Initial chlorine concentrations at 0-85 mg/L were determined at the 30 minute contact time. The results showed that the residual chlorine in the initial chlorine concentration in the range of 0-50 mg/L were not detected but could be detected at the initial chlorine concentration excess of 55 mg/L. The initial chlorine concentration at 85 mg/L was found to have the highest residual chlorine in wastewater, while the initial chlorine concentration at 70 mg/L was found to have the lowest. As regards the relationship between residual chlorine and the reduction of bacteria at the initial chlorine concentration in the range of 55-70 mg/L, at the 5 second and the 15, 30, 60 and 120 minute contact time found that increasing the contact time decreased the residual chlorine significantly ( $p < 0.05$ ). Also, increasing the contact time and initial chlorine concentration further reduced the bacteria ( $p < 0.05$ ).

**Keywords :** residual chlorine; bacteria; wastewater; fish landing site

## 1. บทนำ

ประเทศไทยมีสถานประกอบกิจการทำเทียบเรือประมง สะพานปลา แพปลา ประมาณ 896 แห่ง [1] สถานประกอบกิจการเหล่านี้เป็นแหล่งแพร่กระจายเชื้อโรคที่มากับอาหารและน้ำที่สำคัญ เช่น *Escherichia coli*, *Vibrio spp.* และ *Salmonella spp.* เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคอุจจาระร่วง โรคบิด และไข้ไทฟอยด์ [2], [3], [4] กรมประมงจึงกำหนดให้สถานประกอบการเหล่านี้ต้องมีการฆ่าเชื้อโรคหลังจากล้างทำความสะอาดทุกครั้ง [5] สารเคมีที่นำมาใช้ในการฆ่าเชื้อโรคมียหลายประเภท เช่น คลอรีน และสารประกอบคลอรีน โซเดียมไฮโปคลอไรท์ แอลกอฮอล์ และฟอร์มาลดีไฮด์ แต่โดยส่วนใหญ่ผู้ประกอบการจะนิยมใช้คลอรีน เนื่องจากคลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าโรคได้หลายชนิด ทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ รา และไวรัส [6] รวมทั้งมีราคาถูก [7] และใช้งานง่าย แต่คลอรีนมีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา ผิวหนัง และระบบทางเดินหายใจได้ [8] ทั้งนี้การใช้คลอรีนฆ่าเชื้อโรคจะส่งผลให้มีคลอรีนบางส่วนไหลลงสู่ท่อระบายน้ำเสีย ซึ่งทำให้มีคลอรีนคงเหลืออยู่ในน้ำเสียได้ [9]

คลอรีนคงเหลือในน้ำเสียสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ [10], [11] โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อแบคทีเรียที่มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น *Acetobacter*, *Nitrobacter*, *Nitrosomonas*, *Aeromonas* และ *Pseudomonas* ฯลฯ [12] ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียลดลง [9], [13] และในกรณีที่ไม่มียระบบบำบัดน้ำเสีย น้ำเสียจะถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ซึ่งคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำธรรมชาติได้เช่นกัน จากการศึกษาของ Takdastan และคณะ [11] พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นในระบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) จาก 0.023 gCl<sub>2</sub>/gMLSS เป็น 0.320 gCl<sub>2</sub>/gMLSS จะส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD ลดลงจาก 89% เป็น 44% [11] คลอรีนจะทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของจุลินทรีย์ ทำให้คุณสมบัติในการควบคุมสารเข้าออกเปลี่ยนไป

คลอรีนสามารถทำลายเอนไซม์ ทำให้ไม่สามารถเผาผลาญกลูโคสได้ และจุลินทรีย์จะตายในที่สุด [14], [15], [16], [17] อีกทั้งคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียยังเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำได้ [18], [19] นอกจากนี้ HOCl และ OCl<sup>-</sup> ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของคลอรีนในน้ำ จะไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ธรรมชาติ (NOM = Natural Organic Matter) ในน้ำ เช่น กรดฮิวมิก เป็นต้น ทำให้เกิด DBP (Disinfection By Products) เช่น สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes, THMs) ได้แก่ Chloroform Bromoform เป็นต้น และ สารฮาโลอะซิติก เอซิด (Haloacetic Acid, HAAs) ซึ่งสารเหล่านี้เป็นสารก่อมะเร็ง [20], [21] ดังนั้นการใช้คลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรคจะต้องควบคุมไม่ให้มีปริมาณคลอรีนเหลือตกค้างอยู่ในน้ำมากเกินไปที่กำหนดทั้งนี้กรมควบคุมมลพิษจึงได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานไม่ให้มีคลอรีนอิสระคงเหลือเกิน 1 mg/L [22]

ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคลอรีนคงเหลือและผลของคลอรีนคงเหลือต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลาที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นและระยะเวลาสัมผัสที่ต่างกัน อันจะเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการกำหนดปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากสะพานปลา เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในการย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสียจากสะพานปลาต่อไป

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

### 2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากจุดรวบรวมน้ำเสียสุดท้ายของตลาดปลาสดกรมประมงแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงคราม โดยเก็บแบบผสมผสาน (composite sampling) เริ่มเก็บน้ำเสียตั้งแต่เริ่มล้างทำความสะอาดพื้นสะพานปลาด้วยน้ำจากคลองมอวัดจนสิ้นสุดการล้าง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียทุก 30 นาที ผสมตัวอย่างน้ำเสียให้เข้ากันดีแล้วเก็บใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งไอน้ำแรงดันสูง ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ที่สภาวะความดัน 15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 15 นาที เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์ใน

ห้องปฏิบัติการ ตามวิธีมาตรฐานของ APHA AWWA & WCPF [23] (Table 1) และใช้สำหรับการทดลองต่อไป

**2.2 ศึกษาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ (free residual chlorine) คลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือ (combined residual chlorine) และคลอรีนคงเหลือทั้งหมด (total residual chlorine) ที่ความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นแตกต่างกันในน้ำเสียจากสะพานปลา**

2.2.1 นำตัวอย่างน้ำเสียปริมาตร 180 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL ที่ถูกหุ้มด้วยพลาสติกทึบแสงสีดำ เตรียม Chlorine stock solution โดยใช้คลอรีนผง (calcium hypochlorite;  $\text{Ca}(\text{ClO}_2)$ ) 65 % (w/w) ยี่ห้อ Jining Haochen Co., Ltd ชั่งน้ำหนักตามที่คำนวณไว้ แล้วละลายในน้ำกลั่นที่ปราศจากความต้องการคลอรีน นำ Chlorine stock solution ที่เตรียมไว้ จำนวน 20 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีตัวอย่างน้ำเสีย เพื่อให้มีความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้น (Initial chlorine concentration) ที่ 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 และ 85 mg/L จากนั้นนำไปเขย่าที่เครื่องเขย่า รุ่น SK-600 ยี่ห้อ Lab. Companion ที่ความเร็วรอบ 155 rpm เป็นเวลา 30 นาที ในที่มืด ทำการทดลอง 3 ซ้ำ และวัดคลอรีนคงเหลือทั้งหมด ในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที โดยวิธีการ *N,N* Diethyl-*p*-phenylenediamine (DPD) colorimetric method ของ APHA AWWA & WCPF [23]

2.2.2 ทำการศึกษาปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ คลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือ และคลอรีนคงเหลือทั้งหมด (คลอรีนคงเหลือทั้งหมด = ผลรวมของคลอรีนอิสระคงเหลือกับคลอรีนพร้อมใช้รวม) ที่ระยะเวลาสัมผัสแตกต่างกัน โดยใช้คลอรีนตั้งต้นที่ 55, 60, 65 และ 70 mg/L วัดปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ คลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือ และคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที 15, 30, 60 และ 120 นาที โดยวิธีการ *N,N* Diethyl-

*p*-phenylenediamine (DPD) colorimetric method ของ APHA AWWA & WCPF [23]

### 2.3 ศึกษาผลของคลอรีนคงเหลือทั้งหมดต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากสะพานปลา

2.3.1 ตรวจนับเชื้อแบคทีเรียตั้งต้นโดยดูดตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 1 mL ลงในหลอดทดลองที่มี NaCl 0.85% (w/v) 9 mL ทำการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม จากนั้นดูดสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร หยดลงบนแผ่น 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate ยี่ห้อ 3M™ Petrifilm™ จากนั้นกดแผ่น Petrifilm ด้วยแผ่นกด ทิ้งไว้ 1 นาที แล้วนำไปเลี้ยงในตู้บ่มเชื้อ รุ่น Models 30-1060 ยี่ห้อ Memmert Germany ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ทำการตรวจนับโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย (cfu/mL) จำนวน 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นจำนวนเชื้อตั้งต้น ( $N_0$ )

2.3.2 ปิเปิดตัวอย่าง 1 mL จากขวดรูปชมพู่เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองในข้อ 2.2.2 ที่ระยะเวลาสัมผัส 15, 30, 60 และ 120 นาที ใส่ในหลอดทดลองที่ประกอบด้วย 0.85% (w/v) NaCl และ 9 mL 0.025 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  เพื่อยุติปฏิกิริยาคลอรีนขึ้น (โดย 0.025 N  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  1 mL สามารถกำจัดคลอรีนได้ 0.9 mg/L) จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์จำนวนเชื้อแบคทีเรีย โดยเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม แล้วทำการตรวจนับโคโลนีเชื้อแบคทีเรีย (cfu/mL) โดยใช้แผ่น 3M Petrifilm™ Aerobic Count Plate จำนวน 3 ซ้ำแล้วหาค่าเฉลี่ย เพื่อเป็นจำนวนเชื้อที่ระยะเวลาสัมผัส  $t$  ( $N_t$ )

### 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยข้อมูลโดยใช้ F-test ANOVA และวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้ Correlation analysis ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$

Table 1. Parameters and wastewater analysis method [23]

Parameters	Unit	method
Chemical oxygen demand (COD)	mg/L	Closed reflux
Biochemical oxygen demand (BOD)	mg/L	5-day BOD test
Temperature	°C	Thermometer
DO	mg/L	DO meter
pH		pH meter
Electrical conductivity (EC)	mS/cm	Electrical conductivity meter
Ammonia Nitrogen	mg/L	Titrimetric Method
Total Kjeldahl nitrogen (TKN)	mg/L	Kjeldahl Method
Salinity	g/L	Salinity Meter
Suspended solid (SS), Total dissolved solid (TDS), Total suspended solid (TSS)	mg/L	Dried at 103-105 °C

### 3. ผลการวิจัย

#### 3.1 คุณสมบัติของน้ำเสีย

จากการศึกษาพบว่า น้ำเสียจากตลาดปลา สหกรณ์ประมงแม่กลองมีค่าสารอินทรีย์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า COD, BOD, TKN และ  $\text{NH}_3^+$  พบ 1,653.30, 1,079.20, 218.20 และ 143.10 mg/L ตามลำดับ เนื่องจากมีชิ้นส่วนและเลือดของสัตว์น้ำปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจำนวนมาก ซึ่งเกิดจากการล้างทำ

ความสะอาดสัตว์น้ำ การคัดแยกสัตว์น้ำ การซื้อขาย สัตว์น้ำ และการล้างทำความสะอาดสะพานปลา จึงจำเป็นต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ นอกจากนี้ยังมีค่า TDS, SS และ TS สูง เช่น กัน คือ 18,760.00, 431.70 และ 19,647.50 mg/L และยังพบค่า Salinity สูงถึง 17.40 g/L เนื่องจากเป็นน้ำกร่อย รายละเอียดแสดงดัง Table 2

Table 2 Characteristic of wastewater from the Maeklong Fishery Cooperative Fish Market and Landing Site

Parameters	Mean± SD
pH	6.87 ± 0.01
Temp (°C)	28.90 ± 0.00
DO (mg/L)	0.07 ± 0.00
EC (mS/cm)	27.90 ± 0.10
Salinity (g/L)	17.40 ± 0.10
COD (mg/L)	1,653.30 ± 5.66
BOD (mg/L)	1,079.20 ± 1.13
TDS (mg/L)	18,760.00 ± 1.73
SS (mg/L)	431.70 ± 3.55
TS (mg/L)	19,647.50 ± 2.14
$\text{NH}_3^+$ (mg/L)	143.10 ± 3.50
TKN (mg/L)	218.20 ± 2.78

#### 3.2 ปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นต่างกัน

ผลการศึกษา พบว่า ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งแต่ 0 - 85 mg/L ที่ระยะเวลาการสัมผัส 30 นาที

ในช่วงความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ 0-50 mg ไม่พบคลอรีนคงเหลือ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นเป็น 55 mg/L พบว่ามีคลอรีนคงเหลือ 4.73 mg/L และคลอรีนคงเหลือจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 35.39 mg/L เมื่อ

เพิ่มความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นจนถึง 65 mg/L และคลอรีนคงเหลือทั้งหมดจะลดลงเหลือ 2.52 mg/L ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 70 mg/L จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึง 48.18 mg/L ที่ความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้น 85 mg/L (Figure 1) สอดคล้องกับการศึกษาของ Brooks [24] และ Netshidauld [25] พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นจะมีคลอรีนคงเหลือทั้งหมดเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากคลอรีนจะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียในน้ำเกิดเป็นคลอรีนพร้อมใช้ร่วม (สารคลอรามีน) และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นจนถึงจุดหนึ่ง ส่งผลให้คลอรีนคงเหลือทั้งหมดลดลงต่ำสุด เรียกว่า Breakpoint Chlorination ซึ่งเป็นการเติมคลอรีนในน้ำจนกระทั่งแอมโมเนียทั้งหมดหายไป เปลี่ยนเป็น trichloramine หรือถูกออกซิไดซ์เป็น  $N_2$  ทั้งนี้เมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นจนเลยจุด Breakpoint Chlorination จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างคลอรีนกับแอมโมเนียในน้ำโดยสมบูรณ์ โดยเกิดเป็นคลอรีนอิสระ (free residual chlorine) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค [26] จากการศึกษา เมื่อใช้น้ำเสียจากตลาดปลาสดประมาณ 50 ลิตร พบว่าความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 0-50 mg/L ไม่พบคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย เนื่องจากคลอรีนทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำ เช่น  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $HS^-$ ,  $NO_2^-$  และสารอินทรีย์ ซึ่งสารเหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับคลอรีนได้อย่างรวดเร็วทำให้ไม่มีคลอรีนคงเหลือทั้งหมดอยู่ [26], [27] และตรวจพบคลอรีนคงเหลือทั้งหมดที่ระดับความเข้มข้นตั้งต้น 55 mg/L และคลอรีนคงเหลือทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นจนถึง 65 mg/L จากนั้นคลอรีนคงเหลือทั้งหมดจะลดลงต่ำสุดที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 70 mg/L ซึ่งเป็นจุด Breakpoint Chlorination และคลอรีนคงเหลือทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นมากกว่า 70 mg/L

### 3.3 ปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือ คลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือ และคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

จากการศึกษา พบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้คลอรีนคงเหลือทั้งหมดลดลงในทุกระดับความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้น โดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55, 60, 65 และ 70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที มีคลอรีนคงเหลือทั้งหมดเท่ากับ 11.75, 22.18, 47.09 และ 11.98 mg/L ตามลำดับ และจะลดลงเหลือ 0.23, 3.71, 22.54 และ 0 mg/L ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนคงเหลือตกค้างกับระยะเวลา พบว่า ปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียจากสะพานปลา มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาสัมผัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) เท่ากับ -0.54, -0.64, -0.79 และ -0.51 ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55, 60, 65 และ 70 mg/L ตามลำดับ (Figure 2) โดยปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดจะลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น

เมื่อวิเคราะห์คลอรีนอิสระคงเหลือ ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55 mg/L ตรวจไม่พบคลอรีนอิสระ และสามารถตรวจพบคลอรีนอิสระได้ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 60, 65 และ 70 mg/L คือ 0.49, 0.73 และ 0.05 mg/L ตามลำดับ และคลอรีนอิสระจะลดลงเหลือ 0.07 mg/L ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 65 mg/L ในขณะที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55, 60 และ 70 mg/L ตรวจไม่พบคลอรีนอิสระที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที และเมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคลอรีนอิสระคงเหลือกับระยะเวลา พบว่า ปริมาณคลอรีนอิสระที่คงเหลืออยู่ในน้ำเสียจากตลาดที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 65 mg/L มีความสัมพันธ์กับระยะเวลาสัมผัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) เท่ากับ -0.43, -0.97 และ -0.44 ที่เข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ 60, 65 และ 70 mg/L ตามลำดับ โดยปริมาณคลอรีนอิสระจะลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น (Figure 3)

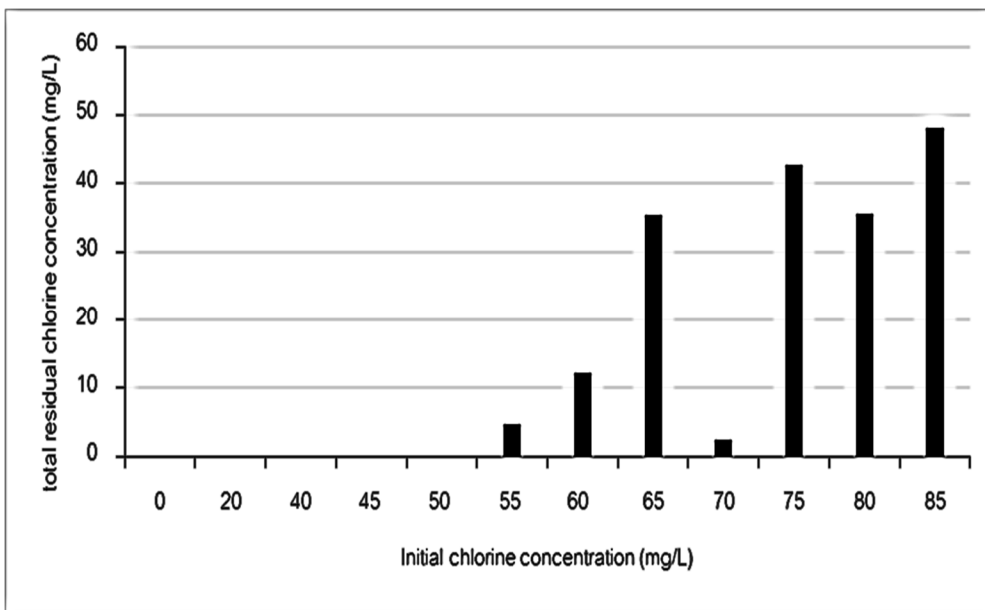


Figure 1 Total residual chlorine in wastewater at 30 minute contact time

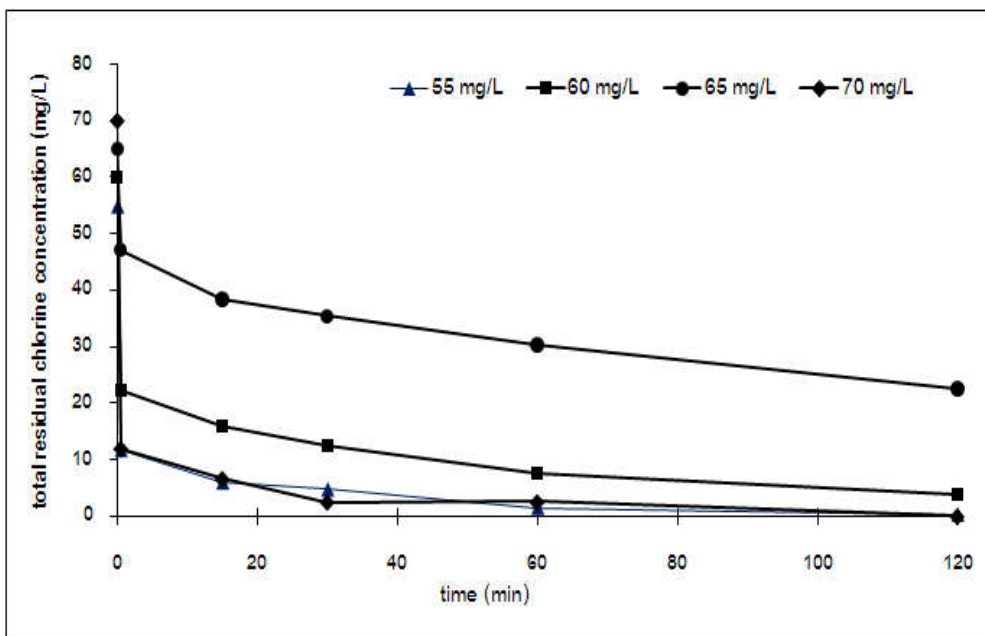


Figure 2 The relationship between total residual chlorine concentration in wastewater and contact time

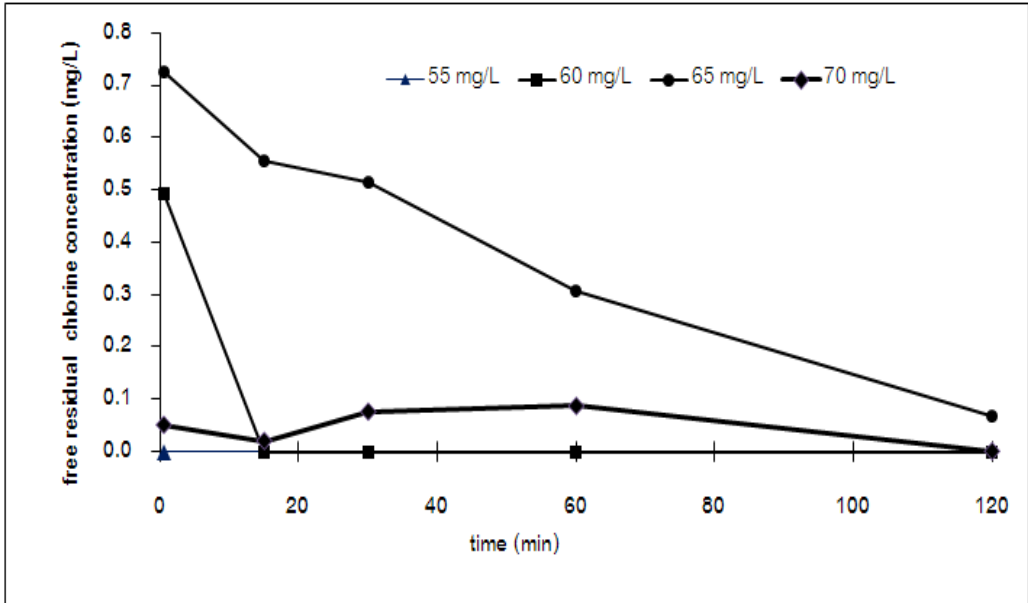


Figure 3 The relationship between free residual chlorine concentration in wastewater and contact time

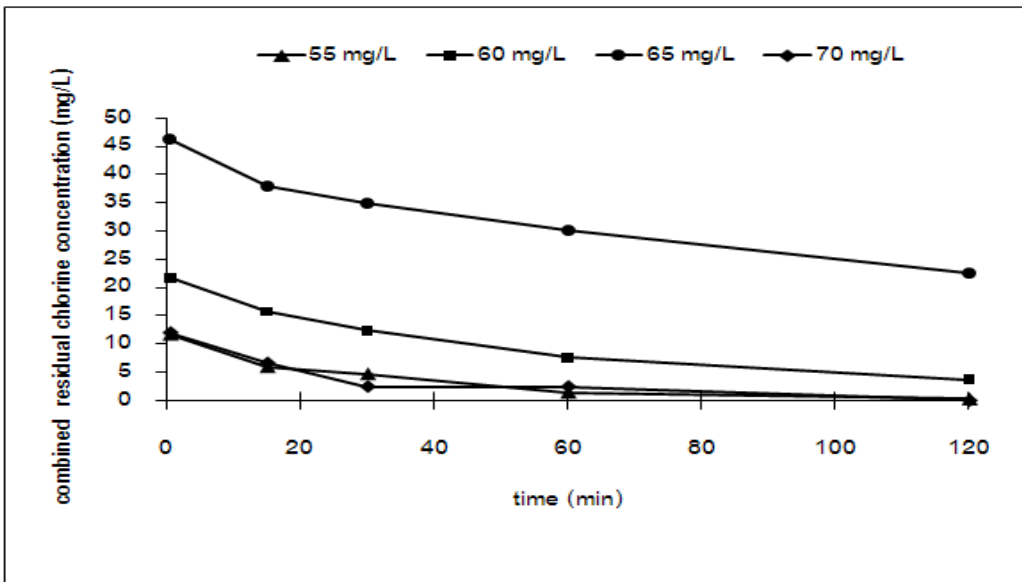


Figure 4 The relationship between combined residual chlorine in wastewater and contact time

สำหรับปริมาณคลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือหรือคลอรามิน พบว่า ที่ระดับความเข้มข้น 55, 60, 65 และ 70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที มีคลอรีนพร้อมใช้รวม เท่ากับ 11.75, 21.68, 46.37 และ 11.93 mg/L ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสพบว่า คลอรีนพร้อมใช้รวมลดลงอย่างต่อเนื่องเหลือ 0.23, 3.71, 22.48 และ 0 mg/L ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที และเมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างคลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือกับระยะเวลาสัมผัส พบว่า คลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาสัมผัส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient;  $r$ ) เท่ากับ -0.81, -0.88, -0.87 และ -0.73 ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55, 60, 65 และ 70 mg/L ตามลำดับ โดยคลอรีนพร้อมใช้รวมคงเหลือจะลดลงเมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้น (Figure 4)

จากผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับการศึกษาของ March และ Gual [28] ที่ทำการศึกษากการสลายของคลอรีนในน้ำ โดยใช้คลอรีนตั้งต้นที่ 40 mg/L ในน้ำที่ปราศจากแอมโมเนียและมีระดับความเข้มข้นแอมโมเนียที่ต่างกัน พบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นส่งผลให้คลอรีนคงเหลือในน้ำลดลงทุกระดับความเข้มข้นแอมโมเนีย

### 3.4 ผลกระทบของคลอรีนคงเหลือทั้งหมดต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย

จากการศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นจะส่งผลให้การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นทุกระยะเวลาสัมผัส โดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 65 mg/L พบว่ามีเชื้อแบคทีเรียลดลงมากที่สุด รองลงมาคือ 60, 55 และ 70 mg/L ตามลำดับ โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) นอกจากนี้เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจะทำให้การลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียเพิ่มขึ้น โดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 55, 60, 65 และ 70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัสเป็น 15 นาที พบว่า เชื้อแบคทีเรียลดลง 1.56, 2.38, 3.76 และ 1.05 log reduction และการลดลงของเชื้อแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้นเป็น 2.05, 2.87, 3.99 และ 1.61 log reduction ตามลำดับ ที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \geq 0.05$ ) ยกเว้นที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 60 mg/L ที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) รายละเอียดแสดงใน Table 3 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย

**Table 3.** Effect of initial chlorine concentration on reduction of bacteria in wastewater at different contact time

Initial chlorine concentration (mg/L)	Contact time (minute)				
	0	15	30	60	120
	Reduction of bacteria (Log reduction) (mean $\pm$ S.D.)				
55	0 <sup>a</sup>	1.56 $\pm$ 0.61 <sup>bA</sup>	1.70 $\pm$ 0.73 <sup>bA</sup>	1.80 $\pm$ 0.72 <sup>bA</sup>	2.05 $\pm$ 0.78 <sup>bA</sup>
60	0 <sup>a</sup>	2.38 $\pm$ 0.16 <sup>bB</sup>	2.42 $\pm$ 0.17 <sup>bA,B</sup>	2.89 $\pm$ 0.06 <sup>cA,B</sup>	2.87 $\pm$ 0.27 <sup>cA,B</sup>
65	0 <sup>a</sup>	3.76 $\pm$ 0.19 <sup>cC</sup>	3.74 $\pm$ 0.16 <sup>cB</sup>	3.97 $\pm$ 0.48 <sup>bB</sup>	3.99 $\pm$ 0.36 <sup>bC</sup>
70	0 <sup>a</sup>	1.05 $\pm$ 0.21 <sup>bA</sup>	1.55 $\pm$ 0.82 <sup>bA</sup>	1.69 $\pm$ 0.77 <sup>bA</sup>	1.61 $\pm$ 0.77 <sup>bA</sup>

a,b,c statically significant differences ( $p < 0.05$ ) at different contact time and same initial chlorine concentration

A,B,C statically significant differences ( $p < 0.05$ ) at difference initial chlorine concentration and same contact time



เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของเชื้อแบคทีเรียกับระยะเวลาสัมผัส พบว่า ระยะเวลาสัมผัสมีความสำคัญกับการลดลงของเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) โดยระยะเวลาสัมผัสเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การลดลงของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient; r) เท่ากับ 0.65, 0.72, 0.66 และ 0.62 ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งแต่ 55, 60, 65 และ 70 mg/L ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Winward และคณะ [29] พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นคลอรีนที่ 20 mg/L พบว่าจำนวนโคลิฟอร์มที่มีชีวิตรอดอยู่ในน้ำเสียจะลดลง จาก  $2.70 \log_{10} \text{cfu/mL}$  เป็น  $0.85 \log_{10} \text{cfu/mL}$  เมื่อเพิ่มระยะเวลาสัมผัสจาก 10 นาที เป็น 120 นาที นอกจากนี้ความขุ่นของน้ำและขนาดของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของคลอรีน เนื่องจากอนุภาคของแข็งแขวนลอยจะเป็นเกราะกำบังไม่ให้คลอรีนสามารถเข้าไปสัมผัสกับเชื้อโรคหรือจุลินทรีย์อื่นๆ ได้โดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพของคลอรีนในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ลดลง [29], [30] ซึ่งผลการศึกษาข้างต้น พบว่า แม้จะไม่มีคลอรีนอิสระคงเหลือที่ความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 55 mg/L แต่ก็สามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ เนื่องจากตรวจพบ

คลอรีนพร้อมใช้รวมหรือคลอรีน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อแบคทีเรียได้เช่นกัน แต่จะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าคลอรีนอิสระ [31], [32]

เมื่อหาความสัมพันธ์ของคลอรีนคงเหลือทั้งหมดต่อการทำลายเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสีย โดยประยุกต์ใช้โมเดลของ Chick & Watson ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของคลอรีนคงเหลือและระยะเวลาสัมผัส (CT; C = ความเข้มข้นคลอรีนคงเหลือทั้งหมด (mg/L), T = ระยะเวลาสัมผัส (min)) มีความสัมพันธ์ต่อประสิทธิภาพการทำลายเชื้อแบคทีเรีย (-LOG N/N<sub>0</sub>) [33] เมื่อใช้สมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination; R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.83 โดยเมื่อค่า CT เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการทำลายเชื้อแบคทีเรียจะเพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 6 โดยสอดคล้องกับการศึกษาของ Ayyidiz และคณะ [33] และ Chen และคณะ [34] ที่พบว่า ค่า CT มีความสัมพันธ์กับการลดลงของแบคทีเรีย โดยเมื่อค่า CT เพิ่มขึ้นแบคทีเรียจะถูกทำลายเพิ่มขึ้น

ทั้งนี้เมื่อต้องการหาค่าปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียจากตลาดปลาที่จะทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในน้ำเสียถูกทำลายที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน โดยใช้สมการ  $y = 0.0024x + 0.4948$  ข้างต้น (Table 4)

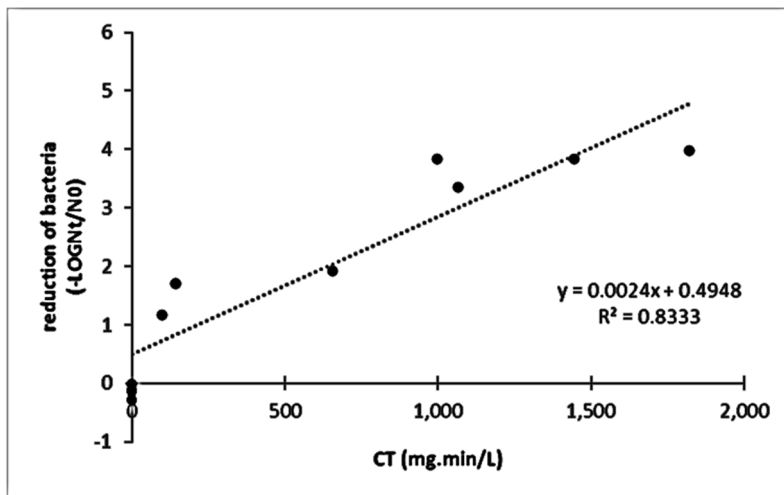


Figure 6 The relationship between CT and reduction of bacteria in fish land site wastewater

**Table 4** Concentration of total residual chlorine to reduction of bacteria in wastewater at difference contact time

Contact time (minute)	Reduction of bacteria (Log reduction)				
	0.5	1	1.5	2	2.5
	total residual chlorine concentration (mg/L)				
5	0.43	42.10	83.77	125.43	167.10
10	0.22	21.05	41.88	62.72	83.55
15	0.14	14.03	27.92	41.81	55.70
30	0.07	7.02	13.96	20.91	27.85
60	0.04	3.51	6.98	10.45	13.93

เพราะฉะนั้น หากต้องการไม่ให้เกิดแบคทีเรียถูกทำลาย 0.5 Log reduction ที่ระยะเวลา 5 นาที จะต้องไม่มีปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย 0.43 mg/L ดังนั้นผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสีย เพื่อไม่ให้ส่งต่อการลดลงของเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียจากตลาดปลาสดประมงแม่กลอง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียที่สถานประกอบการอื่นๆ ที่มีลักษณะการดำเนินกิจกรรมคล้ายกัน เช่น ทำเทียบเรือ สะพานปลา แพปลา ตลาดกลางซื้อขายสัตว์น้ำ เป็นต้น รวมทั้งสถานประกอบการที่มีการใช้คลอรีนในกระบวนการผลิต เช่น ห้องเย็น โรงงานแปรรูปอาหาร เป็นต้น อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของน้ำเสียในแต่ละแหล่งด้วย

#### 4. สรุปและเสนอแนะ

ตัวอย่างน้ำเสียจากตลาดปลาสดประมงแม่กลองที่ใช้ในการทดลองมีค่าสารอินทรีย์สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่า COD, BOD, TKN และ  $\text{NH}_4^+$  พบ 1,653.30, 1,079.20, 218.20 และ 143.10 mg/L ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่า TDS, SS และ TS สูงเช่นกัน คือ 18,76.00, 431.70 และ 19,647.50 mg/L และพบค่า Salinity สูงถึง 17.40 g/L เนื่องจากเป็นน้ำกร่อย และเมื่อศึกษาคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากตลาดปลาสดประมงแม่กลองที่ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที พบว่า ที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 0-50 mg/L ตรวจไม่พบคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสีย และพบคลอรีนคงเหลือที่ระดับความเข้มข้นคลอรีน

ตั้งต้น 55 mg/L เป็นต้นไป โดยที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 85 mg/L มีคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียมากที่สุด และที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้น 70 mg/L มีคลอรีนคงเหลือน้อยที่สุด เมื่อทดสอบปริมาณคลอรีนคงเหลือจากความเข้มข้นของคลอรีนตั้งต้นที่ 55, 60, 65 และ 70 mg/L ที่ระยะเวลาสัมผัส 5 วินาที 15, 30, 60 และ 120 นาที พบว่า เมื่อระยะเวลาสัมผัสเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณคลอรีนคงเหลือทั้งหมดลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) และที่ระดับความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นที่ 65 และ 70 mg/L พบการลดลงของแบคทีเรียมากที่สุดและน้อยที่สุด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสีย และระยะเวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับการลดลงของแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) รวมทั้งเมื่อระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นคลอรีนตั้งต้นเพิ่มขึ้นจะทำให้แบคทีเรียถูกทำลายเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) ทั้งนี้จากการทดลองสามารถหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของคลอรีนคงเหลือทั้งหมดในน้ำเสียที่จะทำลายเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้

ดังนั้นผลการวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการกำหนดปริมาณคลอรีนคงเหลือในน้ำเสียจากตลาดปลาสดประมงแม่กลอง เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อปริมาณเชื้อแบคทีเรียในน้ำเสียได้ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสถานประกอบการอื่นๆ ที่มีกิจกรรมคล้ายกัน เช่น ห้องเย็น โรงงานแปรรูปอาหาร แพปลา เป็นต้น ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของน้ำเสียในแต่ละแหล่งด้วย นอกจากนี้ควรคำนึงถึงสารประกอบคลอรีนในน้ำเสีย หากไม่ได้มีการบำบัดน้ำ

เสียอย่างมีประสิทธิภาพ น้ำทิ้งที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย อาจยังคงมีสารประกอบคลอรีนหลงเหลืออยู่ และเมื่อไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในธรรมชาติ ทำให้เกิดสาร Disinfection By Products ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีผลกระทบต่อสุขภาพและเป็นสารก่อมะเร็ง จึงต้องควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาในครั้งนี้ยังไม่ได้ศึกษาปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลต่อความเข้มข้นคลอรีนหลงเหลือในน้ำเสีย และการลดลงของเชื้อแบคทีเรียที่ส่งต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงควรศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณคลอรีนหลงเหลือในน้ำเสีย เช่น pH ปริมาณสารอินทรีย์ ความเค็ม เป็นต้น รวมทั้งศึกษาถึงการลดลงของแบคทีเรียในน้ำเสียที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย

#### กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากโครงการวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมแหลมผักเบี้ยอันเนื่องมาจากพระราชดำริ จังหวัดเพชรบุรี และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และเพื่อนๆ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รวมทั้ง ดร. วิไลลักษณ์ เรืองรัตนตรัย ที่ให้การสนับสนุนทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Fisheries. 2016. **Notification of Department of Fisheries: List of Berths Registered as Fishing Port and Fishing Parcels Where Fishing Vessels Operating Commercial Fishery can Transport Aquatics or Take Aquatics Fisheries Products on Fish Landing Site B.E. 2016.** (in Thai)
- [2] Park, H., Hung, Y.C. and Chung, D. 2004. Effects of Chlorine and pH on Efficacy of Electrolyzed Water for Inactivating

*Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes*. **International Journal of Food Microbiology.** 91: 13–8.

- [3] Jayasinghe, P.S. and Rajakaruna, R.M.A.G.G. 2005. Bacterial Contamination of Fish Sold in Fish Markets in the Central Province of Sri Lanka. **Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka.** 33(3): 219-221.
- [4] Sudheesh, P.S. and et al. 2013. Evaluation of Food Contact Floor Contamination and the Presence of Pathogenic Bacteria in Seafood Retail Outlets in the Sultanate of Oman. **Journal of Food Science and Technology.** 5(2): 77-83.
- [5] Department of Fisheries. 2016. **Notification of Department of Fisheries: Hygiene Standard of a Fishing Ports, Fish Agent Establishment, Fish Landing Site or Wholesale Fish Market and Guidelines for Certification 2016.** (in Thai)
- [6] Haas, C.N. 2011. Chapter 17: Chemical Disinfection In: Edzwald, J.K. (ed.) **Water Quality & Treatment: A Handbook of Drinking Water,** New York: McGraw-Hill.
- [7] Rodriguez, M.J. and Serodes, J.B. 2001. Spatial and Temporal Evolution of Trihalomethanes in Three Water Distribution Systems. **Water Research.** 35: 1572-1586.
- [8] Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2010. **Toxicological Profile for Chlorine,** Atlanta: Department of Health and Human Services.

- [9] Chenyapanich, S. 2000. **Efficiency of Sequencing Batch Reactor (SBR) for Treating of Chlorine Contaminated Wastewater from Cool Storage Plants**. M.Sc. Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. (*in Thai*)
- [10] Chevavidagarn, P. 2010. **Bulking Sludge Problem Solution in Activated Sludge. Energy & Environment: Technology Promotion**. 37(212): 64-68. (*in Thai*)
- [11] Takdastan, A., Azimi, A.A. and Jaafarzadeh, N. 2010. **Biological Excess Sludge Reduction in Municipal Wastewater Treatment by Chlorine**. **Asian Journal of Chemistry**. 22(13): 1665 – 1674.
- [12] Gerardi, M.H. 2006. **Wastewater bacteria**. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [13] Jirapongsathorn T. 2002. **Application of Packed Cage RBC System for Treatment of Chlorine Contaminated Wastewater**. M. Sc Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok. (*in Thai*)
- [14] Maris, P. 1995. **Modes of Action of Disinfectants**. **Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)**. 14(1): 47-55.
- [15] Knox, W.E. and et al. 1948. **The Inhibition of Sulfhydryl Enzymes as the Basis of the Bactericidal Action of Chlorine**. **Journal of Bacteriology**. 55(4): 451-458.
- [16] Wei, C.I., Cook, D.L. and Kirk, J.R. 1985. **Use of Chlorine Compounds in the Food Industry**. **Food Technology**. 39( 1): 107-115
- [17] Lomander, A. and et al. 2004. **Evaluation of Chlorines Impact on Biofilms on Scratched Stainless Steel Surface**. **Bioresource Technology**. 94(3): 275-283.
- [18] Brungs, W.A. 1973. **Effects of Residual Chlorine on Aquatic Life**. **Journal of the Water Pollution Control Federation**. 45(10): 2180-2193.
- [19] Lee, G.F. 2006. **Residual Chlorine Impact Management Issues Comments on SWRCB Current Approach for Developing a Residual Chlorine Regulatory Program**. <http://www.gfredlee.com/SurfaceWQ/ChlorinePolicyIssues.pdf>. Accessed 10 September 2016.
- [20] Tuntoolavest, M. and Tuntoolavest, M. 2004. **Chemistry of Water and Wastewater**. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House. (*in Thai*)
- [21] Ranieri, E. and Swietlik, J. 2010. **DBPs control in European Drinking Water treatment Plants Using Chlorine Dioxide: Two Case Studies**. **Journal of Environmental Engineering and Landscape Management**. 18(2): 85 - 91.
- [22] Department of Pollution Control, Thailand. 1996. **The Effluent Quality Standard of Industrial Estates**. (*in Thai*)
- [23] APHA, AWWA and WPCF. 1995. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**, Washington, DC. : American Public Health Association.
- [24] Brooks, M.A. 1999. **Breakpoint Chlorination as an Alternate Means of Ammonia/ Nitrogen Removal at a Water Reclamation Plant**. M. Sc.

- Thesis. Virginia Polytechnic Institute and State University. U.S.
- [25] Netshidauld, A. E. 2015. **Impact of Chlorine and Waste Water Contact Time, Chlorine Residual and Mixing on Microorganism Inactivation.** M. Sc. Thesis. University of the Witwatersrand. Johannesburg. South Africa.
- [26] White, G. C. 1992. **Handbook of Chlorination,** New York: Van Nostrand Reinhold.
- [27] Kotula, K.L. and et al. 1997. Reduction of Aqueous Chlorine by Organic Material. **Journal of Food Protection.** 60(3): 276-282.
- [28] March, J.C. and Gual, M. 2009. Studies on Chlorination of Greywater. **Desalination.** 249: 317- 322.
- [29] Winward, G.P. and et al. 2008. Chlorine Disinfection of Grey Water for Reuse: Effect of Organics and Particles. **Water Research.** 42: 483-491.
- [30] Block, S.S. 1991. **Disinfection, Sterilization and Preservation,** Philadelphia: Lea & Febiger.
- [31] Vikslandy, P.J., Ozekin, K. and Valentine, R.L. 2001. Monochloramine Decay in Model and Distribution System Waters. **Water Research.** 35(7): 1766–1776.
- [32] Hankin, S. 2001. **Chemical in Drinking Water: Chloramines.**  
[http://www.chloramine.org/article\\_s\\_pdf/Chemicals\\_in\\_Drinking\\_Water\\_Chloramines.pdf](http://www.chloramine.org/article_s_pdf/Chemicals_in_Drinking_Water_Chloramines.pdf) Accessed 18 October 2016.
- [33] Ayyildiz, O., Ileri, B. and Sanik S. 2009. Impact of Water Organic Load on Chlorine Dioxide Disinfection Efficacy. **Journal of Hazardous Materials.** 168(2-3): 1092-1097.
- [34] Chen, Y.Q. and et al. 2012. Inactivation of *Resistant Mycobacteria mucogenicum* in Water: Chlorine Resistance and Mechanism Analysis. **Biomedical Environmental Science.** 25(2): 230-237.