

การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์และการหาสูตรผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส  
เพื่อการฆ่าเชื้อโรคสำหรับใช้ภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

Equipment Invention and Protocol Production of Hypochlorous Acid Solution  
for Disinfection Using in Chulachomklao Royal Military Academy

<sup>1\*</sup>ภัทรพล คงสุข และ <sup>2#</sup>สุทธบท ชูมมาก

<sup>1\*</sup>กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

<sup>2#</sup>กองวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

<sup>1\*</sup>Pattarapol Khongsuk and <sup>2#</sup>Suttatbot Suemark

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

<sup>2</sup>Department of Environmental Science, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

\*pattarapol.kh@crma.ac.th, #suttatbot.sue@crma.ac.th

Received: March 25,2024

Revised: September 4,2024

Accepted: September 14,2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์และหาสูตรผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส (HOCl) จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีด้วยวิธีอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกิดเป็นสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสำหรับใช้ภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (รร.จปร.) โดยผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ขนาดถังความจุ 12 ลิตร พร้อมจัดหาวัสดุอุปกรณ์ส่วนประกอบและสารที่ใช้ ตลอดจนเครื่องมือสำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารละลายที่หาซื้อได้ง่ายและต้นทุนต่ำ จากนั้นทำการหาสูตรผลิตที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นคู่มือของชุดอุปกรณ์นี้ ผลจากการวิจัยพบว่า เมื่อใช้สูตรที่เตรียมสารละลายตั้งต้น คือ (1) น้ำประปา รร.จปร. ปริมาตร 10 ลิตร (2) เกลือโซเดียมคลอไรด์ 1%w/v และ (3) น้ำส้มสายชู (5% กรดแอซิก) 0.3%v/v แล้วให้ไฟฟ้ากระแสตรง 12V, 5A เป็นเวลาอย่างน้อย 35 นาที จะได้สารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ความเข้มข้นของคลอรีนที่มีค่าอยู่ (ACC) ที่ 200 ppm ค่า pH 4.51 ซึ่งค่า pH ที่ได้พบว่าอยู่ในรูป HOCl ทั้งหมดหรือคิดเป็นร้อยละร้อยของคลอรีนที่มีค่าอยู่ (100%ACC) และมีค่าความต่างศักย์ของการออกซิไดซ์-การรีดิวซ์ (ORP) มีค่า +934 mV ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียงพอในการฆ่าเชื้อโรค ดังนั้นชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นพร้อมสูตรผลิตสามารถนำมาใช้งานได้

คำสำคัญ: การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์, การฆ่าเชื้อ, กรดไฮโปคลอรัส, อิเล็กโทรลิซิส, โซเดียมคลอไรด์

### Abstract

The purposes of this research include: to invent an equipment set and to produce a protocol for generating Hypochlorous acid (HOCl) solution from electrochemical reaction by using electrolysis of Sodium chloride solution (NaCl) to obtain HOCl solution, which is effective in disinfection for using in Chulachomklao Royal Military Academy (CRMA). A researcher has invented equipment set, a tank capacity of 12 liters, providing easily available and low-cost materials, tools, and substances, including qualitative and quantitative analysis of HOCl solution, and has produced a suitable formula to use as protocol for this equipment set. The results of the research found that using a formula of the starting solution, which is (1) tap water produced by CRMA, 10 liters (2) NaCl 1%w/v and (3) vinegar (5% Acetic acid) 0.3%v/v and then provide current of 12V, 5A DC at least 35 minutes to obtain HOCl solution. The HOCl solution has an approximately available chlorine concentration (ACC) of 200 ppm at pH 4.51, which this pH-value has found to be all the HOCl species or one hundred percentage of available chlorine concentration (100%ACC). Oxidation-reduction potential (ORP) is +934 mV, which is effective enough to disinfect. Therefore, this invented equipment set with the protocol for generating HOCl solution can be practical.

**Keywords:** to Invent an Equipment Set, Disinfection, Hypochlorous Acid, Electrolysis, Sodium Chloride

### 1. บทนำ

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือโรคโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19) ที่ผ่านมา [1] และนโยบายจากผู้บังคับบัญชาโรงเรียนนายเรือพระจุลจอมเกล้า ในการป้องกันเชื้อโรคโดยการรักษาความสะอาดวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ที่ต้องสัมผัส ซึ่งสารที่ใช้เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคทั่วไปที่มีการใช้อยู่ ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol;  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 70 และน้ำยาฟอกขาว (Bleach) หรือสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (Sodium hypochlorite solution;  $\text{NaOCl}$ ) นั้น ยังมีข้อจำกัดบางประการของสารข้างต้น เช่น การจัดซื้อจัดหา การใช้สารได้เฉพาะในบางพื้นที่ หรือความเป็นพิษจากสารที่ใช้ จึงจำเป็นต้องหาสารประเภทอื่นเพื่อเป็นทางเลือกในการใช้เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าว

สารละลายกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid solution; HOCl) จัดเป็นสารละลายที่น่าสนใจเพื่อเป็นทางเลือกในการนำมาใช้งาน โดยเตรียมจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ด้วยวิธีอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ของสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) [2] เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมสารที่ใช้และการผลิตสารละลายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถผลิตได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งคุณสมบัติของสารละลายที่ได้ที่ไม่เป็นพิษ มีความเสถียร ราคาไม่แพง และมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน [3] ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้มีดังนี้ (1) ค่าความสามารถฆ่าเชื้อจากค่าความต่างศักย์ของการออกซิไดซ์-การรีดิวซ์ (Oxidation-Reduction Potential; ORP) พบว่าค่า  $\text{ORP} > +848 \text{ mV}$  จะมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ [4], (2) ความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available Chlorine Concentration; ACC) ที่สนใจในรูปกรดไฮโปคลอรัสเพียงชนิดเดียว จากคลอรีนที่มีค่าอยู่ที่พบได้อีก 2 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคลอรีน (Chlorine gas;  $\text{Cl}_2$ ) ในรูปสารละลายและไฮโปคลอไรท์ไอออน (Hypochlorite ion;  $\text{ClO}^-$ ) และ (3) ช่วงค่า pH ระหว่าง 4–5.33 ที่กำหนดปริมาณร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (%ACC) ที่ต้องการ คือ 100% HOCl [5]

การศึกษารายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสในการฆ่าเชื้อโรค จากงานวิจัยของ McKenna และ Davies (1988) [6] ได้ออกแบบและศึกษากรดไฮโปคลอรัสในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย *Escherichia coli* โดยพบว่าความเข้มข้นที่ต่ำของกรดไฮโปคลอรัสสามารถออกฤทธิ์อย่างรวดเร็วและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและการแบ่งเซลล์ได้ ซึ่งที่ความเข้มข้น  $20 \mu\text{M}$ -HOCl สำหรับการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้

50% ( $5 \times 10^8$  *E. coli*/mL) และที่ความเข้มข้น 50  $\mu$ M-HOCl สามารถยับยั้งการแบ่งเซลล์อย่างสมบูรณ์ (การก่อตัวของโคโลนี) เห็นผลชัดเจนภายใน 5 นาที ของการสัมผัสกรดไฮโปคลอรัส งานวิจัยของ วิศา และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาโดยนำสารละลายกรดที่เตรียมได้มาทดสอบคุณสมบัติการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ผลการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีพบว่า ORP มีค่า  $+1,090.50 \pm 29.62$  mV, คลอรีนอิสระ  $136.50 \pm 6.40$  ppm และสารละลายมีคุณสมบัติเป็นกรดที่ pH  $2.45 \pm 0.08$  ผลที่ได้แสดงการเป็นสารที่สามารถฆ่าเชื้อได้ และการศึกษาของ Block และ Rowan [8] รายงานว่าสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา ได้แนะนำสารฆ่าเชื้อสำหรับด้านโควิด-19 รวมถึงกรดไฮโปคลอรัส ซึ่งพิสูจน์แล้วว่าสามารถยับยั้งไวรัสหลายชนิดรวมถึงเชื้อโคโรนาไวรัส โดยกรดไฮโปคลอรัสมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวสัมผัสที่มีเชื้อโคโรนาไวรัสได้ภายในเวลาสัมผัส 1 นาที ที่ความเข้มข้น 200 ppm

สำหรับการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสในปัจจุบัน มีการผลิตเป็นชุดอุปกรณ์ผลิตที่วางจำหน่ายในท้องตลาดตั้งแต่ชุดอุปกรณ์ผลิตที่มีความซับซ้อนขนาดถึงความจุปริมาตรในหน่วยมิลลิเมตรถึงขนาดถึงความจุมากกว่า 1 ลิตร [9-14] จนถึงชุดอุปกรณ์ผลิตที่ใช้ในครัวเรือนซึ่งประชาชนทั่วไปที่มีความสนใจสามารถประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ขึ้นมาใช้งานได้เอง [15-17] เพราะสามารถหาซื้อวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือได้ง่ายและในราคาต้นทุนต่ำ จากประโยชน์และความเป็นไปได้ในขั้นตอนของการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสทำให้ได้รับการสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชา เพื่อให้โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.ร.จปร.) สามารถผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสไว้ใช้งานได้เองจากชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองเพื่อใช้เป็นสารทางเลือกในการทำความสะอาดเพื่อฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ รวมถึงเชื้อโรคโควิด-19 [8-9, 18-19] บนพื้นผิวสัมผัสของวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ภายใน ร.ร.จปร. และสามารถนำความรู้ของการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ไปถ่ายทอดให้กับหน่วยขึ้นตรง ร.ร.จปร. และหน่วยทหารที่สนใจ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจัดทำขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองปริมาตร 10 ลิตร จากขนาดถึงที่ความจุ 12 ลิตร ที่ใช้งานได้จริงพร้อมทั้งทำการรายงานต้นทุนการผลิตชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้น และทำการหาสูตรการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสจากชุดอุปกรณ์ผลิตดังกล่าว

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อแสดงราคาต้นทุนและขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองสำหรับใช้ฆ่าเชื้อโรคภายใน ร.ร.จปร.

2.2 เพื่อหาสูตรการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสจากชุดอุปกรณ์โดยใช้น้ำประปา ร.ร.จปร. ในขั้นตอนการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

## 3. ขอบเขตงานวิจัย

3.1 งานวิจัยนี้ศึกษาข้อมูลของชุดอุปกรณ์ที่มีจำหน่ายและที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เอง และนำมาออกแบบตามหลักการและองค์ประกอบของชุดอุปกรณ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการชุดอุปกรณ์ที่สามารถผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ปริมาตร 10 ลิตร จากขนาดถึงที่ความจุ 12 ลิตร

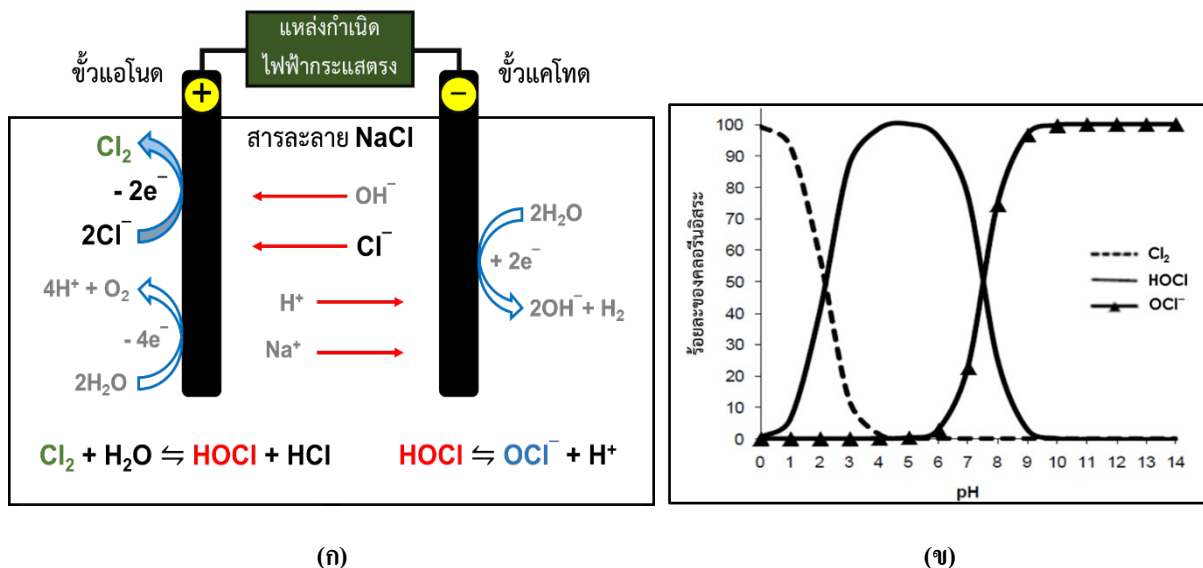
3.2 งานวิจัยนี้ทำการจัดซื้อวัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก เพื่อให้ได้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำสามารถผลิตเป็นจำนวนมากได้ และการซื้อเครื่องมือสำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ได้แก่ (1) ค่า pH (2) ค่า ACC และ (3) ค่า ORP ของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสตามที่กำหนด

3.3 งานวิจัยนี้ได้ทำการหาสูตรการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส กำหนดใช้น้ำประปา ร.ร.จปร. จากอาคารกองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (น้ำประปา เคมี สกศ.ร.ร.จปร.) ในขั้นตอนการผลิต และทำการศึกษาดัชนีที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเกิดสารละลาย ได้แก่ (1) ปริมาณร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%w/v) ของเกลือ NaCl ที่ใช้ (2) ปริมาณร้อยละโดยปริมาตร (%v/v) ของน้ำส้มสายชูที่ใช้เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH และ (3) เวลาที่ให้กระแสไฟฟ้า

#### 4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

##### 4.1 กระบวนการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

การผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสใช้หลักการทางไฟฟ้าเคมี ตามรูปที่ 1 ก. เริ่มจากการเกิดอิเล็กโทรลิซิสของสารละลายเกลือ NaCl ที่มีความเข้มข้นต่ำประมาณร้อยละ 0.5–5 w/v [20] เมื่อให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรดซึ่งประกอบด้วยขั้วแคโทดหรือขั้วลบและขั้วแอโนดหรือขั้วบวก โดยให้กระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current, AC) เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current, DC) (Output: ความต่างศักย์ไฟฟ้า 9–10V, กระแสไฟฟ้า 8–10A DC) ให้กับสารละลายดังกล่าวเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเกลือ NaCl ละลายในน้ำแล้วจะแตกตัวเป็นประจุบวกของโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และประจุลบของคลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) นอกจากนี้ยังมี  $\text{H}_2\text{O}$  ที่เคลื่อนไปที่ขั้วแคโทดเพื่อรับอิเล็กตรอนเกิดก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และประจุลบของไฮดรอกไซด์ไอออน ( $\text{OH}^-$ ) ในระบบ ขณะที่  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{OH}^-$  เคลื่อนไปที่ขั้วแอโนดเพื่อให้อิเล็กตรอน โดย  $\text{Cl}^-$  จะเกิดเป็นก๊าซคลอรีน (Chlorine gas;  $\text{Cl}_2$ ) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ  $\text{H}_2\text{O}$  เกิดเป็นกรดไฮโปคลอรัส ( $\text{HOCl}$ ) [7,21] และเมื่อ  $\text{HOCl}$  อยู่ในสภาวะที่เป็นด่างที่มาจาก  $\text{OH}^-$  จะเกิดปฏิกิริยาที่เปลี่ยน  $\text{HOCl}$  เกิดเป็นไฮโปคลอไรต์ไอออน (Hypochlorite ion;  $\text{OCl}^-$ )

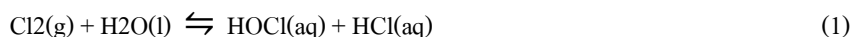


รูปที่ 1 (ก) อิเล็กโทรลิซิสของสารละลายเกลือ NaCl โดย  $\text{Cl}^-$  จะให้อิเล็กตรอนเกิดเป็น  $\text{Cl}_2$  ซึ่งทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นกรดไฮโปคลอรัส ( $\text{HOCl}$ ) เมื่อ  $\text{HOCl}$  อยู่ในสภาวะที่เป็นด่างจะเกิดเป็นไฮโปคลอไรต์ไอออน ( $\text{OCl}^-$ )  
(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของคลอรีนอิสระในรูปของ  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  ที่ขึ้นกับช่วงค่า pH

##### 4.2 คลอรีนอิสระและคลอรีนที่มีค่าอยู่

โดยปกติชนิดหรือรูปของคลอรีนที่เกิดขึ้นในระบบ เรียกว่า คลอรีนอิสระ (Free chlorine) ซึ่งเป็นรูปคลอรีนที่อยู่รวมกันที่สมดุลในรูป  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  (ในน้ำคลอรีน โดยทั้งหมดยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำนั้น) ซึ่งในการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของคลอรีนอิสระที่เราสนใจในครั้งนี้ คือ ในรูป  $\text{HOCl}$  ซึ่งรูปคลอรีนดังกล่าวจะเรียกว่า คลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available chlorine, AC) และหากใช้ในการหาปริมาณความเข้มข้น จะเรียกว่า ความเข้มข้น คลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available chlorine concentration, ACC; วัดในหน่วย ppm) [22]

รูปคลอรีนที่มีค่าอยู่ของ  $\text{Cl}_2$  จะถูกไฮโดรไลซ์อย่างรวดเร็วและเกือบสมบูรณ์ในน้ำ เพื่อสร้าง  $\text{HOCl}$ ,  $\text{HCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  ดังสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้



ค่าคงที่สมดุลสำหรับปฏิกิริยาในระบบของคลอรีนอิสระที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของคลอรีนอิสระในรูปของคลอรีนที่มีค่าอยู่ ได้แก่  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  ที่ขึ้นกับค่า pH ในสารละลายที่เป็นน้ำ ตามรูปที่ 1 ข. [22]

คลอรีนที่มีค่าอยู่ในรูป  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  ในระบบของคลอรีนอิสระทั้งหมดตามรูปที่ 1 ข. จะมีปริมาณร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (%ACC) ในแต่ละรูปมากขึ้นขึ้นอยู่ค่า pH ในระบบขณะนั้น คือ (1) ที่ pH ของสารละลาย < 1 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูปของ  $\text{Cl}_2$  ทั้งหมด และจะระเหยสู่บรรยากาศ (2) ที่ pH 1–4 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป  $\text{Cl}_2$  และ  $\text{HOCl}$  ผสมกัน (3) ที่ pH ในช่วง 4–5.33 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป  $\text{HOCl}$  ทั้งหมด (4) ที่ pH ในช่วง 5.33–9 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป  $\text{HOCl}$  และ  $\text{OCl}^-$  ผสมกัน และ (5) ที่ pH  $\geq 9$  ขึ้นไป คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป  $\text{OCl}^-$  ทั้งหมด [5]

#### 4.3 ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส ได้แก่ (1) ค่าความต่างศักย์ของการออกซิไดซ์-การรีดิวซ์ (Oxidation-reduction potential, ORP; มีหน่วยเป็น mV), (2) ค่า ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  และ (3) ค่า pH ที่บอกถึง %ACC ในรูป  $\text{HOCl}$

โดยปัจจัยของ pH ในระบบสารละลายตามรูปที่ 1 ข. ที่เกิดขึ้น มี %ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  ทั้งหมด ที่ช่วงค่า pH 4–5.33 ซึ่งมีผลโดยตรงกับค่า ORP และค่า ACC ของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น > 5.33 จะมีผลให้ค่า ORP และค่า ACC ลดลง และเมื่อค่า pH มีค่าลดลง  $\leq 5.33$  จะทำให้การเพิ่มจำนวนของเชื้อโรคลดลง ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของเชื้อโรคและทำให้เซลล์ของเชื้อโรคที่ไวต่อสารกลุ่มคลอรีนถูกยับยั้งโดยกรดไฮโปคลอรัสที่ออกฤทธิ์แทรกซึมเข้าบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อโรค และสร้างอนุมูลอิสระของสารกลุ่มไฮดรอกซิล (Hydroxyl radicals) ออกมา ผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซึ่งสามารถทำลายเยื่อหุ้มเซลล์และฆ่าเชื้อโรคได้ [23–25] ตามหลักการแล้ว ค่า pH ที่ต่ำ และค่า ORP ที่สูงของกรดไฮโปคลอรัสจะเสริมฤทธิ์กันในการฆ่าเชื้อโรค ขณะที่ค่า ORP ที่มีค่า < +848 mV จะไม่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรค [4]

#### 4.4 ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ในการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เอง ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักสำหรับการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตและรายละเอียดตามรูปที่ 2 ก. ดังนี้

4.4.1 แหล่งให้กระแสไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เป็นกระแสตรง (DC)

4.4.2 ขั้วอิเล็กโทรด เป็นขั้วนำกระแสไฟฟ้าภายในสารละลาย โดยเลือกใช้แท่งแกรไฟต์ (graphite) เนื่องจากมีข้อดี คือ นำไฟฟ้าได้ดี น้ำหนักเบา ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีหลายขนาดทั้งเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว และทนทานต่อสารละลายและค่า pH แต่ข้อเสีย คือ เปราะ แตกหักได้ง่าย และหากได้รับความร้อนมากหรือนานเกินไปอาจไหม้ได้

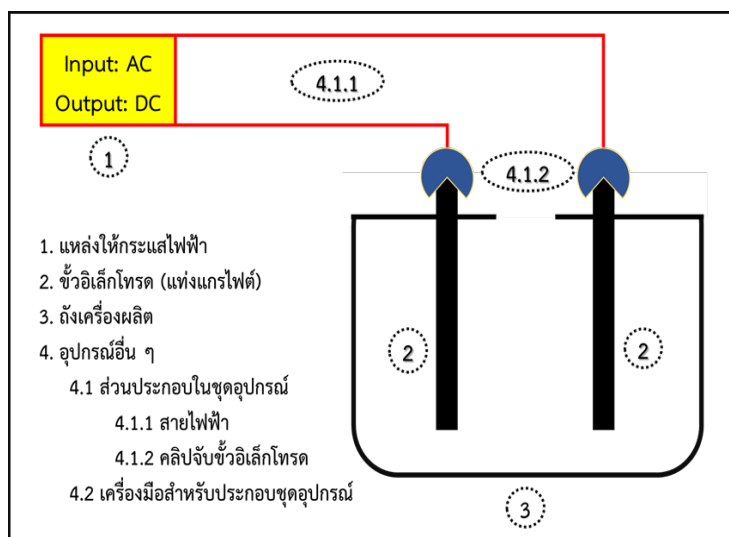
4.4.3 ถังอุปกรณ์ผลิต เลือกใช้จากถังพลาสติกที่เป็นภาชนะบรรจุน้ำ ซึ่งทนต่อความร้อนและ pH และสามารถเจาะตัวถังโดยยังไม่เสียหาย

4.4.4 อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สายไฟฟ้า คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด เป็นต้น ตลอดจนเครื่องมือช่างที่จำเป็นสำหรับใช้ประกอบชุดอุปกรณ์

### 5. การดำเนินการวิจัย

#### 5.1 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมีและเครื่องมือสำหรับประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์สารเคมีและเครื่องมือที่เกี่ยวข้องมีดังนี้



(ก)



(ข)

**รูปที่ 2 (ก)** องค์ประกอบหลักของชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

**(ข)** อุปกรณ์และชิ้นส่วน: **ข.1)** หม้อแปลงไฟฟ้า, **ข.2)** แท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด), **ข.3)** ถังน้ำ PET ขนาดความจุ 12 ลิตร และ **ข.4)** คลิปปากจระเข้ (คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด)

#### 5.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับประกอบชุดอุปกรณ์

1) แหล่งให้กระแสไฟฟ้า ใช้หม้อแปลงไฟฟ้า Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC, รูปที่ 2 ข.1  
2) ขั้วอิเล็กโทรด ใช้แท่งแกรไฟต์ ความยาว 30 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 มิลลิเมตร, รูปที่ 2 ข.2  
3) ถังเครื่องผลิต ถังพลาสติก PET (Polyethylene Terephthalate) ขนาดความจุ 12 ลิตร, รูปที่ 2 ข.3  
4) อุปกรณ์อื่นๆ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ (1) ประเภทส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ ได้แก่ คลิปปากจระเข้ (คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด) ขนาด 55 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่ยึดแท่งแกรไฟต์, รูปที่ 2 ข.4; สายไฟฟ้าขนาดสายไฟ 22AWG (2 x 0.3 ตารางมิลลิเมตร), รองรับไฟฟ้า 300V, 7A; ท่อหุ้มสายไฟฟ้า และ (2) ประเภทเครื่องมือสำหรับประกอบ ชุดอุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องมือช่างที่ใช้งานปกติทั่วไป เช่น ปากกาบัดกรี คีมจับสายไฟฟ้า คีมตัดสายไฟฟ้า ไขควง เป็นต้น

5.1.2 สารเคมี สำหรับสารเคมีที่ใช้เตรียมเป็นสารละลายเริ่มต้นก่อนทำปฏิกิริยา มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ (1) น้ำประปา เคมี สกศ.ร.ร.จปร. (2) เกลือ NaCl (หาปริมาณที่เหมาะสม) และ (3) น้ำส้มสายชู (5%v/v กรดแอซิดิก) (หาปริมาณที่เหมาะสม) ซึ่งทั้งหมดจะผสมเป็นสารละลาย 10 ลิตร จากขนาดถังที่ความจุจริง 12 ลิตร

#### 5.1.3 เครื่องมือสำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

1) เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบค่า pH ได้แก่ (1) เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา (Pen Type pH meter) [AMT03 AMTAST® pH/ORP METER, Neonics] ใช้วัดค่า pH เป็นแบบพกพา ใช้งานง่ายและมีความแม่นยำในระดับที่น่าเชื่อถือ แต่มีราคาสูง และ (2) กระดาษวัดค่าพีเอช (pH-Indicator strip) pH 0–14 Universal indicator [Mqunat®, Merck] ใช้วัดค่า pH ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง แต่ช่วงการวัด pH จำกัดที่ช่วงละ 1 pH [18]

2) เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบค่า ORP ได้แก่ เครื่องโออาร์พีมิเตอร์แบบปากกา (Pen Type ORP meter) [AMT03 AMTAST® pH/ORP METER, Neonics] ใช้วัดค่า ORP เพื่อตรวจวัดการเกิดเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด หากค่า ORP > +848 mV สามารถฆ่าเชื้อโรคได้ [4] โดยใช้เครื่องเดียวกับเครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา แต่เปลี่ยนหัววัดเป็น ORP ก่อนใช้งาน [3,8,18]

3) เครื่องมือสำหรับการตรวจสอบปริมาณคลอรีนที่มีค่าอยู่ ตรวจสอบค่า ACC ในรูป HOCl ซึ่งขึ้นกับค่า pH จากรูปที่ 1 ข. จากข้อ 4.2 ด้วยแถบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ ได้แก่ (1) แถบทดสอบคลอรีน (USA.) (Chlorine Test strip) [WaterWorks™, Free Chlorine Check Ultra High, ITS, USA.] วัดค่า ACC ระหว่าง 0–750 ppm และ (2) แถบทดสอบคลอรีน (China) (Chlorine Test paper strip) [HANGZHOU SPECIAL PAPER INDUSTRY CO.,LTD (NEWSTAR), China] วัดค่า ACC 0–2,000 ppm [18]

## 5.2 การศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

5.2.1 นำน้ำประปาอาคาร เคมี สกศ.ร.จปร. ที่ใช้เป็นตัวแทนน้ำประปา มาทำการวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ตามลำดับ และบันทึกผลการทดลอง

5.2.2 กำหนดปริมาณของเกลือที่ใช้ ปริมาณเกลือ NaCl 1%w/v ตามงานวิจัยของ Sukwaree และคณะ [16] โดยใช้น้ำหนัก 100 กรัม ต่อน้ำประปาปริมาตร 10 ลิตร และเติมลงไปจนถึงเครื่องผลิตที่มีน้ำประปาอยู่ คนให้เกลือละลายจนหมด จากนั้นทำการวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ตามลำดับ และบันทึกผลการทดลอง

5.2.3 ศึกษาปริมาณน้ำส้มสายชูที่ใช้ เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH ในระบบ โดยใช้น้ำส้มสายชู (5%v/v กรดแอซิก) ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (0.1%v/v), 20 มิลลิลิตร (0.2%v/v), 30 มิลลิลิตร (0.3%v/v) และ 40 มิลลิลิตร (0.4%v/v) ตามลำดับ เติมน้ำลงไปจนถึงเครื่องผลิตที่มีสารละลายเกลือ NaCl คนสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นทำการวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ตามลำดับ ก่อนทำการทดลอง (นาที่ที่ 0) และระหว่างการทดลอง (ให้กระแสไฟฟ้า) ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 25 นาที, 30 นาที, 35 นาที และ 40 นาที จนครบ และบันทึกผลการทดลอง

5.2.4 เลือกปริมาณน้ำส้มสายชูจากข้อ 5.2.3 มากำหนดปริมาณของน้ำส้มสายชูที่ใช้ในการเตรียมสารละลาย และทำการศึกษาหาปริมาณเกลือ NaCl ที่ใช้ โดยใช้น้ำหนัก 50 กรัม ต่อน้ำประปาปริมาตร 10 ลิตร (0.5%w/v), น้ำหนัก 100 กรัม ต่อน้ำประปาปริมาตร 10 ลิตร (1%w/v) และน้ำหนัก 200 กรัม ต่อน้ำประปาปริมาตร 10 ลิตร (2%w/v) โดยเติมเกลือ NaCl ลงไปจนถึงเครื่องผลิตที่เติมน้ำส้มสายชูที่เลือกไว้จากข้อ 5.2.3 จากนั้นทำการวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ตามลำดับ ก่อนทำการทดลอง (นาที่ที่ 0) และระหว่างการทดลอง (ให้กระแสไฟฟ้า) เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 25 นาที, 30 นาที, 35 นาที และ 40 นาที จนครบ และบันทึกผลการทดลอง

5.2.5 นำผลการศึกษาที่ได้มาวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมสำหรับชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส ปริมาตร 10 ลิตร

## 6. ผลการวิจัย

### 6.1 การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

#### 6.1.1. การรายงานต้นทุนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองและเครื่องมือสำหรับการตรวจวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส สามารถหาซื้อได้ง่ายและต้นทุนต่ำผ่านการสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada เป็นต้น สำหรับราคาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสปริมาตร 10 ลิตร จากขนาดถังที่ความจุจริง 12 ลิตร ต่อ 1 ชุดอุปกรณ์ อยู่ที่ราคาประมาณ 960.00 บาท โดยไม่รวมอุปกรณ์เครื่องมือตรวจวิเคราะห์และค่าแรง รายละเอียดตามตารางที่ 1

เมื่อเปรียบเทียบขนาดปริมาตรในการเตรียมสารละลายและราคาของชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์กับชุดอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด ได้แก่ (1) เครื่องผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อ HOCl แบบพกพา, คลอรีน็อกซ์ [12] ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ที่ราคาจำหน่าย 3,578.00 บาท และ (2) NEW Hypo 7.5 Hypochlorous Acid Generator [14] ปริมาตร 7.5 ลิตร ที่ราคาจำหน่าย 66,000.00.- บาท (US\$ 2,200.00) พบว่าชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองมีความคุ้มค่าทั้งปริมาตรในการเตรียมสารละลายและราคาต้นทุนการประดิษฐ์ เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรและราคาที่จำหน่ายจากตัวอย่างของชุดอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด

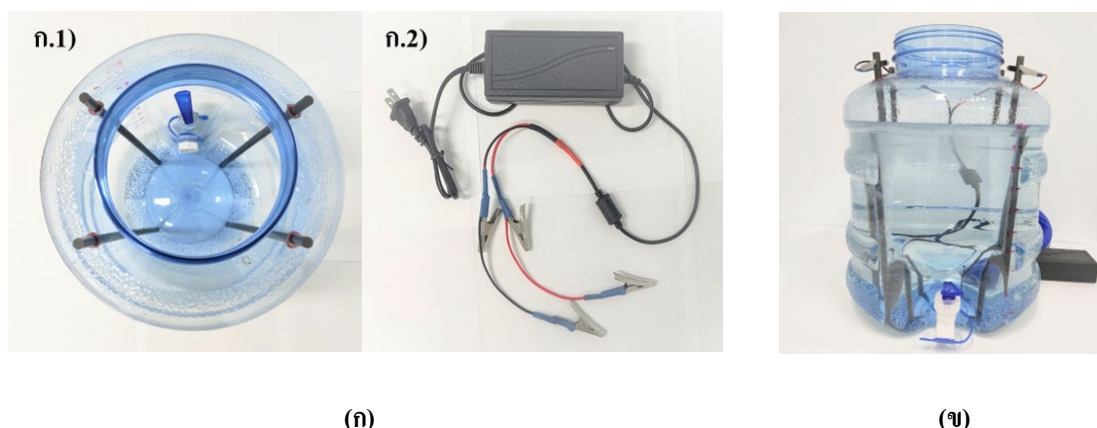
### 6.1.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

1) การทำถังเครื่องผลิต ตรวจสอบสภาพของถังน้ำ PET ขนาดถังความจุ 12 ลิตร จากนั้นทำการวัดขนาดเพื่อเจาะช่องสำหรับใส่แท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด) จำนวน 4 ช่อง ที่บริเวณพื้นที่ด้านบนใกล้กับปากถัง แล้วตรวจสอบขนาดของช่องอีกครั้งด้วยแท่งแกรไฟต์ว่าสามารถใส่เข้าไปได้พอดี ไม่ควรให้ช่องหลวมจนเกินไป ตามรูปที่ 3 ก.1 เพื่อป้องกันไม่ให้แท่งแกรไฟต์แต่ละแท่งสัมผัสกัน เกิดไฟฟ้าลัดวงจรระหว่างการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ตารางที่ 1 ราคาต้นทุนต่อหน่วยสำหรับวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ สารที่ใช้ และเครื่องมือการตรวจวิเคราะห์

| ลำดับ                                    | รายการ                                                                                                | หน่วย     | จำนวน | ราคา<br>(บาท) | หมายเหตุ                        |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------|---------------|---------------------------------|
| <b>1. วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ</b>      |                                                                                                       |           |       |               |                                 |
| 1.1                                      | หม้อแปลงไฟฟ้า [Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC]                                                | ชุด       | 1     | 275.00        | ใช้จริง 10 ลิตร                 |
| 1.2                                      | แท่งแกรไฟต์                                                                                           | คู่       | 2     | 250.00        |                                 |
| 1.3                                      | ถังพลาสติก PET (12 ลิตร)                                                                              | ใบ        | 1     | 220.00        |                                 |
| 1.4                                      | คลิปปากจระเข้                                                                                         | ตัว       | 4     | 48.00         |                                 |
| 1.5                                      | สายไฟฟ้า                                                                                              | เซนติเมตร | 50    | 2.00          | ยาว 10 เมตร                     |
| 1.6                                      | ท่อหดรลุมสายไฟฟ้า                                                                                     | เซนติเมตร | 25    | 5.00          | ยาว 5 เมตร                      |
| 1.7                                      | เครื่องมือสำหรับประกอบชุดอุปกรณ์                                                                      |           |       | 100.00        | คิดเฉลี่ยต่อ 10 ชุด             |
| <b>2. สารเคมี</b>                        |                                                                                                       |           |       |               |                                 |
| 2.1                                      | เกลือโซเดียมคลอไรด์                                                                                   | ถุง       | 1     | 30.00         | 1 กิโลกรัม                      |
| 2.2                                      | น้ำส้มสายชู                                                                                           | ขวด       | 1     | 30.00         | 700 มิลลิลิตร                   |
| 2.3                                      | น้ำประปา รร.จปร.                                                                                      |           |       | 0.00          | ไม่นำมาคำนวณ                    |
| รวมเป็นเงิน                              |                                                                                                       |           |       | <b>960.00</b> | <b>ราคาโดยประมาณ</b>            |
| <b>3. อุปกรณ์เครื่องมือตรวจวิเคราะห์</b> |                                                                                                       |           |       |               |                                 |
| 3.1                                      | เครื่องพีเอชมิเตอร์/โออาร์พีมิเตอร์แบบปากกา [AMT03 AMTAST <sup>®</sup> pH/ORP METER, Neonic]          | ชุด       | 1     | 7,500.00      | เปลี่ยนหัววัดได้ (pH/ORP Probe) |
| 3.2                                      | กระดาษวัดค่าพีเอช pH 0–14 Universal indicator [MQuant <sup>®</sup> , Merck]                           | กล่อง     | 1     | 400.00        | 100 แผ่น                        |
| 3.3                                      | แถบทดสอบคลอรีน (USA.) [WaterWorks <sup>™</sup> , Free Chlorine Check Ultra High, ITS, USA.] 0–750 ppm | ขวด       | 1     | 800.00        | 50 แผ่น                         |
| 3.4                                      | แถบทดสอบคลอรีน (China) [HANGZHOU SPECIAL PAPER INDUSTRY CO.,LTD (NEWSTAR), China] 0–2,000 ppm         | กล่อง     | 1     | 40.00         | 10 เมตร                         |

2) การทำแหล่งให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด นำหม้อแปลงไฟฟ้า (แหล่งให้กระแสไฟฟ้า) ที่ใช้งานขนาด Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC มาทำการปรับเปลี่ยนส่วนปลายของสายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าเดิม มาเชื่อมกับคลิปปากจระเข้ (คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด) โดยต้องเชื่อมสายไฟเพิ่มอีก 1 คู่ เพื่อเชื่อมต่อกับคลิปปากจระเข้รวมจำนวน 4 ตัว ตามรูปที่ 3 ก.2 และใช้ท่อหดรลุมสายไฟฟ้าคลุมบริเวณที่เป็นส่วนเชื่อมของสายไฟ เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร



รูปที่ 3 (ก) ชุดอุปกรณ์ผลิต: ก.1) ถังเครื่องผลิตพร้อมแท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด) และ ก.2) ชุดให้กระแสไฟฟ้า (ข) การใช้งาน: ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ขั้วอิเล็กโทรดเกิดก๊าซ  $H_2(g)$ ,  $O_2(g)$  และ  $Cl_2(g)$

### 3) การประกอบชุดอุปกรณ์ผลิตสำหรับใช้งานและการเก็บรักษา

3.1) การเตรียมสารละลายเริ่มต้น ประกอบด้วย (1) น้ำประปา เคมี สกศ.ร.จปร. ปริมาตรสารละลาย 10 ลิตร (2) เกลือ NaCl และ (3) น้ำส้มสายชู คนให้ละลาย แล้วนำแท่งแกรไฟต์มาใส่แล้วนำคลิปปากกระแจะของชุดให้กระแสไฟฟ้าจับที่ปลายของแท่งแกรไฟต์ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าจะเกิดปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณแท่งแกรไฟต์ เกิดฟองก๊าซได้แก่  $H_2(g)$ ,  $O_2(g)$  และ  $Cl_2(g)$  ตามรูปที่ 3 ข. และเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัส เนื่องจากมีก๊าซในระบบ จึงต้องระบายความดันก๊าซที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งถ่ายเทก๊าซเหล่านี้ เนื่องจาก  $H_2(g)$  เป็นก๊าซติดไฟ และ  $Cl_2(g)$  เป็นก๊าซอันตราย ซึ่งมีกลิ่นฉุนและทำให้เกิดการระคายเคืองได้

3.2) เมื่อครบเวลา ทำการหยุดให้กระแสไฟฟ้าและนำชุดให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรดพร้อมทั้งแท่งแกรไฟต์ออกจากถังเครื่องผลิต สามารถนำสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ได้ไปใช้งาน เมื่อมีค่า ACC 200 ppm [8] ในรูป HOCl ทั้งหมดหรือคิดเป็น 100% ACC โดยค่า pH ต้องอยู่ในช่วง 4–5.33 [5,22] และมีค่า ORP > +848 mV ขึ้นไป จึงมีประสิทธิภาพเพียงพอในการฆ่าเชื้อโรค [4]

3.3) การเก็บรักษาชุดอุปกรณ์เครื่องผลิตที่สำคัญ คือ การล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดอุปกรณ์ทุกชิ้น ให้แห้งเพื่อป้องกันการเกิดสนิม สำหรับการจัดเก็บอุปกรณ์ในขั้นตอนสุดท้ายนั้น ให้นำแท่งแกรไฟต์และชุดให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรดเก็บไว้ในตัวถังผลิตและปิดฝาให้เรียบร้อย และนำไปเก็บในตู้ที่สะอาดและแห้งเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและความชื้น

## 6.2 ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

### 6.2.1 ผลการศึกษาปริมาณน้ำส้มสายชูที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

การตรวจวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ของสารละลายเริ่มต้นที่มีส่วนผสมของเกลือ NaCl และน้ำประปา เคมี สกศ.ร.จปร. โดยน้ำประปาเริ่มต้นมีค่า pH 6.64–6.65 แบบใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา (แบบใช้เครื่อง) และมีค่า pH 6 แบบใช้กระดาษวัดค่าพีเอช (แบบใช้กระดาษ) ซึ่งเป็นค่าอยู่ในระดับมาตรฐานของน้ำประปาที่ pH 6.5–8.5 (Field test) [26]; ค่า ACC 0 ppm คือ ตรวจไม่พบคลอรีนอิสระทั้งหมด (ในรูปของ  $Cl_2$ , HOCl และ OCl<sup>-</sup>) จากแถบทดสอบคลอรีน (USA.) และ (China); ค่า ORP +260 – +270 mV จากผลการตรวจสอบค่าต่าง ๆ ของสารละลายเริ่มต้นที่ใช้ไม่มีคลอรีนอิสระในระบบก่อนทำการทดลอง และไม่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค (ค่า ORP < +848 mV) [4] การหาปริมาณน้ำส้มสายชูที่ใช้ เพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH ในระบบ โดยใช้น้ำส้มสายชูที่มีความเข้มข้น 0.1%v/v, 0.2%v/v, 0.3%v/v และ 0.4%v/v ในสารละลายเกลือ NaCl 1%w/v แล้วทำการตรวจวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ก่อนทำการศึกษา (นาที่ที่ 0) ได้ค่า pH ระหว่าง 3.76–4.48 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH ระหว่าง 4–5 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.)

และ (China); ค่า ORP มีค่าระหว่าง +314 – +320 และระหว่างการศึกษา (ให้กระแสไฟฟ้า Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC) ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 25 นาที, 30 นาที, 35 นาที และ 40 นาที สำหรับค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ที่เวลาต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2 โดยกำหนดค่า ACC ที่ได้อยู่ที่ 200 ppm สำหรับการศึกษาครั้งนี้ [8,18-19]

**ตารางที่ 2** ค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที  
เมื่อใช้ปริมาณน้ำส้มสายชูเพื่อเป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4%v/v

| ปริมาณน้ำส้มสายชู<br>(%v/v) | เวลาที่ใช้ผลิต<br>(นาที) | pH      |        | ACC (ppm) |       | ORP<br>(mV) | ปริมาณน้ำส้มสายชู<br>(%v/v) | เวลาที่ใช้ผลิต<br>(นาที) | pH      |        | ACC (ppm) |       | ORP<br>(mV) |
|-----------------------------|--------------------------|---------|--------|-----------|-------|-------------|-----------------------------|--------------------------|---------|--------|-----------|-------|-------------|
|                             |                          | เครื่อง | กระดาษ | USA.      | China |             |                             |                          | เครื่อง | กระดาษ | USA.      | China |             |
| 0.1                         | 0                        | 4.48    | 5      | 0         | 0     | +314        | 0.3                         | 0                        | 3.83    | 4      | 0         | 0     | +314        |
|                             | 5                        | 4.71    | 5      | 25        | 25    | +474        |                             | 5                        | 4.01    | 4      | 25        | 25    | +567        |
|                             | 10                       | 4.95    | 5      | 25        | 25    | +815        |                             | 10                       | 4.12    | 4      | 25        | 50    | +960        |
|                             | 15                       | 5.25    | 5      | 50        | 50    | +837        |                             | 15                       | 4.22    | 4      | 50        | 50    | +962        |
|                             | 20                       | 5.59    | 5      | 50        | 50    | +835        |                             | 20                       | 4.30    | 4      | 100       | 100   | +956        |
|                             | 25                       | 5.92    | 6      | 100       | 100   | +832        |                             | 25                       | 4.40    | 4      | 100       | 100   | +944        |
|                             | 30                       | 6.22    | 6      | 100       | 100   | +831        |                             | 30                       | 4.47    | 4      | 150       | 150   | +938        |
|                             | 35                       | 6.46    | 6      | 150       | 150   | +827        |                             | 35                       | 4.51    | 4      | 200       | 200   | +934        |
|                             | 40                       | 6.63    | 6      | 200       | 200   | +820        |                             | 40                       | 4.60    | 5      | 200       | 200   | +929        |
| 0.2                         | 0                        | 4.09    | 4      | 0         | 0     | +318        | 0.4                         | 0                        | 3.76    | 4      | 0         | 0     | +320        |
|                             | 5                        | 4.26    | 4      | 25        | 25    | +493        |                             | 5                        | 3.92    | 4      | 25        | 25    | +786        |
|                             | 10                       | 4.42    | 4      | 25        | 25    | +915        |                             | 10                       | 3.98    | 4      | 50        | 50    | +993        |
|                             | 15                       | 4.57    | 4      | 50        | 50    | +933        |                             | 15                       | 4.07    | 4      | 50        | 50    | +998        |
|                             | 20                       | 4.72    | 5      | 50        | 50    | +939        |                             | 20                       | 4.14    | 4      | 100       | 100   | +1000       |
|                             | 25                       | 4.89    | 5      | 100       | 100   | +931        |                             | 25                       | 4.20    | 4      | 100       | 100   | +1000       |
|                             | 30                       | 5.07    | 5      | 100       | 150   | +924        |                             | 30                       | 4.27    | 4      | 150       | 150   | +1000       |
|                             | 35                       | 5.27    | 5      | 200       | 200   | +917        |                             | 35                       | 4.32    | 4      | 200       | 200   | +1000       |
|                             | 40                       | 5.50    | 5      | 200       | 200   | +901        |                             | 40                       | 4.38    | 4      | 200       | 200   | +1000       |

หมายเหตุ: เครื่อง, เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา; กระดาษ, กระดาษวัด ค่าพีเอช; USA., แลบทดสอบคลอรีน (USA.); China, แลบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ (China); การวัดค่า ORP จากเครื่อง วัดได้ในช่วง -999 – +999 mV ค่าที่วัดเกิน > +999 จึงรายงานเป็น +1000

เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่เวลาต่าง ๆ ค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ที่ทุกความเข้มข้นมีแนวโน้มสูงขึ้น รายละเอียดตามตารางที่ 2 ที่ปริมาณน้ำส้มสายชูที่ใช้ 0.3%v/v พบว่าต้องใช้เวลอย่างน้อย 35 นาที ค่า pH 4.51 (100%ACC ในรูป HOCl ทั้งหมด); ค่า ACC ที่ 200 ppm; ค่า ORP +934 mV และค่า ORP ยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค ตามรูปที่ 4 ก. และ ง. ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำส้มสายชู 0.3%v/v ถูกใช้เป็นค่าในการศึกษาหาปริมาณเกลือ NaCl ที่เหมาะสมในการใช้ แนวโน้มที่สูงขึ้นของค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP เมื่อให้กระแสไฟฟ้าเป็นไปตามหลักการหัวข้อ 4.1 แสดงตามรูปที่ 1 ก. คือ (1) กรณีค่า pH ที่สูงขึ้นในระบบสารละลายเกลือ NaCl เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วแคโทด ได้  $\text{OH}^-(\text{aq})$  และ  $\text{H}_2(\text{g})$  ซึ่ง  $\text{OH}^-(\text{aq})$  ที่เกิด ส่งผลให้ระบบสารละลายมีค่า pH เพิ่มขึ้น หากไม่มีการควบคุมค่า pH (ควบคุมค่า pH 4–5.33) ด้วยน้ำส้มสายชูที่ใช้เป็นบัฟเฟอร์ในปริมาณที่เหมาะสม pH > 5.33 จะเกิดรูป  $\text{OCl}^-$  ที่ไม่ต้องการส่งผลต่อ %ACC ในรูป HOCl ทั้งหมด เนื่องจาก  $\text{OCl}^-$  ที่เกิดขึ้นมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคน้อยกว่า HOCl และมีกลิ่นฉุน ระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อและผิวหนังมากกว่า [7-8] (2) กรณีค่า ACC ในรูป HOCl เกิดมาจากการเพิ่มขึ้นของ  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  จากปริมาณเกลือ NaCl ที่ใช้ [21-22] เมื่อใช้ปริมาณเกลือเท่ากัน ปริมาณน้ำส้มสายชูที่ใช้มากขึ้น ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการเกิด HOCl คือ ใช้เวลาน้อยลง ตามรายงานของ Block และ Rowan [8] กล่าวถึงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อบริเวณพื้นผิวสัมผัสที่มีเชื้อโคโรนาไวรัส ได้ภายในเวลาสัมผัส 1 นาที ที่ความเข้มข้น 200 ppm และ (3) กรณีค่า ORP พบว่า แนวโน้มของค่า ORP ในช่วงแรกจะเพิ่มขึ้นเป็นค่าบวกอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ ลดลงอย่างช้า ๆ ในเวลาต่อมา เนื่องจากช่วงแรกเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ

$\text{Cl}^-(\text{aq})$  ที่ขั้วแอโนดได้  $\text{Cl}_2(\text{g})$  และ  $\text{Cl}_2(\text{g})$  ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็น  $\text{HOCl}$  ขณะเดียวกันเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำที่ขั้วแคโทดได้  $\text{OH}^-(\text{aq})$  มาแข่งขันในระบบสารละลาย ทำให้ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคของระบบสารละลายลดลง

#### 6.2.2 ผลการศึกษาปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอไรต์

ค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ของสารละลายเริ่มต้นที่มีส่วนประกอบของเกลือ NaCl และน้ำประปาเคมี สกศ.ร.จปร. โดยน้ำประปาเริ่มต้นมีค่า pH 6.64–6.65 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 6 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +262 – +273 mV การหาปริมาณเกลือ NaCl ที่ใช้ โดยใช้เกลือ NaCl ที่ความเข้มข้น 0.5%w/v, 1%w/v และ 2%w/v เมื่อเติมน้ำส้มสาย 0.3%v/v ในการควบคุม pH ของสารละลาย แล้วทำการตรวจวัดค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ก่อนทำการศึกษา (นาที่ที่ 0) พบว่า มีค่า pH 3.84 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP มีค่าระหว่าง +318 – +320 และระหว่างการศึกษา (ให้กระแสไฟฟ้า) ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที, 25 นาที, 30 นาที, 35 นาที และ 40 นาที สำหรับค่า pH, ค่า ACC และค่า ORP ที่เวลาต่าง ๆ โดยกำหนด ค่า ACC ที่ได้อยู่ที่ 200 ppm สำหรับการศึกษาครั้งนี้ ผลการศึกษาปริมาณเกลือ NaCl ที่เหมาะสมในการใช้ พบว่า

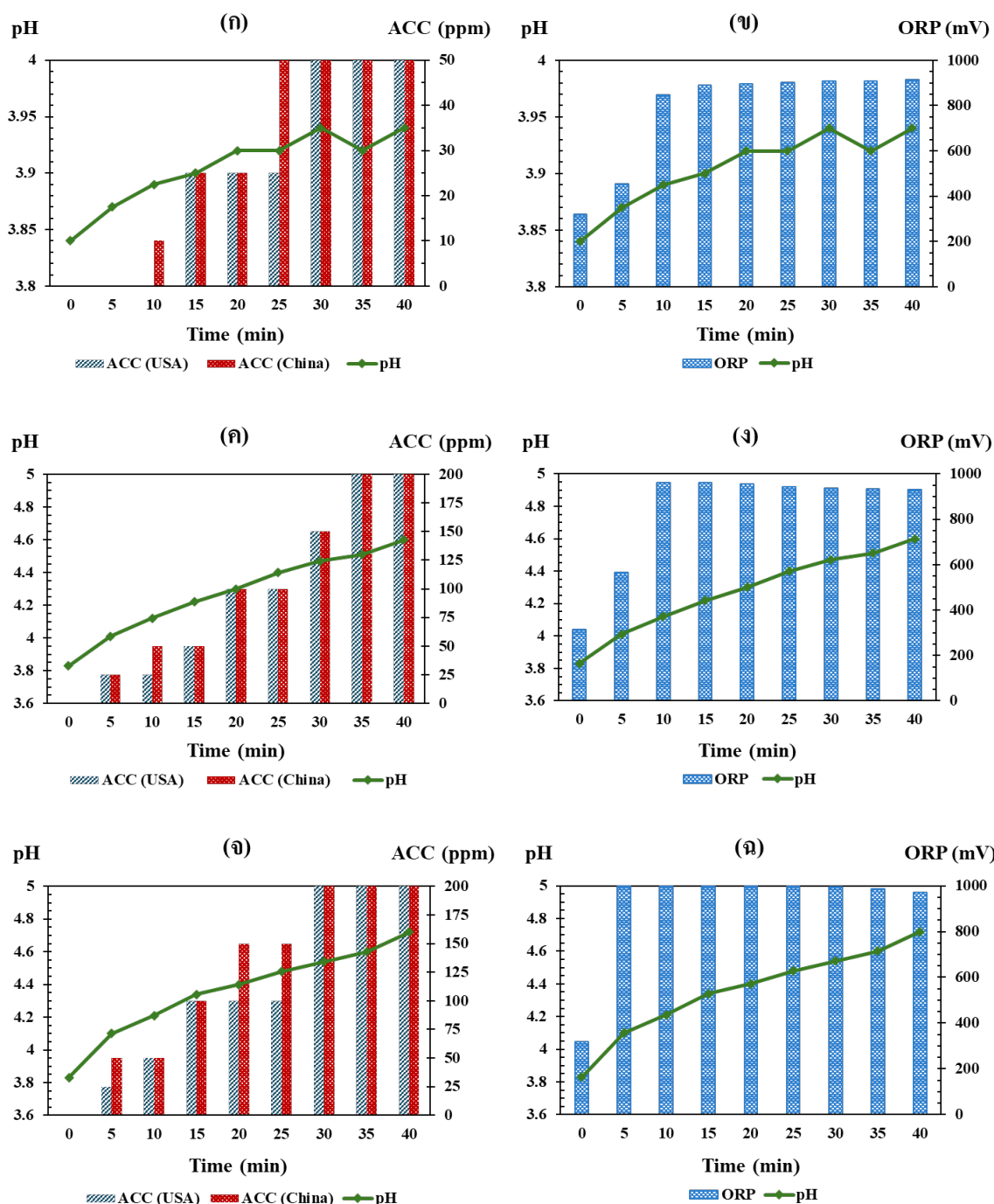
*ปริมาณเกลือ NaCl 0.5%w/v* ก่อนทำการศึกษา (นาที่ที่ 0) ได้ค่า pH 3.84 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +320 เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงนาที่ที่ 40 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเป็น 3.94 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 50 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +913 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า pH และค่า ACC ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่าง ๆ ตามรูปที่ 4 ก. และ ข. พบว่าแม้ใช้เวลาถึง 40 นาที ค่า ACC เพียง 50 ppm ขณะที่ค่า pH ในระบบจะมี %ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  และ  $\text{Cl}_2$  ผสมอยู่ในช่วง pH 1–4 [5] สำหรับค่า ORP ยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค

*ปริมาณเกลือ NaCl 1%w/v* ก่อนทำการศึกษา (นาที่ที่ 0) ได้ค่า pH 3.83 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +314 เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงนาที่ที่ 35 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเป็น 4.51 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 200 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +934 mV เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า pH และค่า ACC ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่าง ๆ ตามรูปที่ 4 ค. และ ง. พบว่าต้องใช้เวลาอย่างน้อย 35 นาที ได้ค่า ACC 200 ppm ขณะที่ค่า pH ในระบบจะได้ 100%ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  ทั้งหมด สำหรับค่า ORP ยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค แต่มีค่าแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

*ปริมาณเกลือ NaCl 2%w/v* ก่อนทำการศึกษา (นาที่ที่ 0) ได้ค่า pH 3.83 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 0 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +318 เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงนาที่ที่ 30 ค่า pH จะเพิ่มขึ้นเป็น 4.54 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้กระดาษ; ค่า ACC 200 ppm ทั้ง (USA.) และ (China); ค่า ORP +995 mV เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า pH และค่า ACC ที่เกิดขึ้น ณ เวลาต่าง ๆ ตามรูปที่ 4 จ. และ ฉ. พบว่าต้องใช้เวลาอย่างน้อย 30 นาที ได้ค่า ACC 200 ppm ขณะที่ค่า pH ในระบบจะได้ 100%ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  ทั้งหมด สำหรับค่า ORP ยังมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค แต่มีค่าแนวโน้มที่ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

จากผลที่ได้ตามรูปที่ 4 การใช้เกลือ NaCl 1%w/v และ 2%w/v ให้ค่า ACC 200 ppm ที่ต้องการ ขณะที่เกลือ NaCl 0.5%w/v ได้ค่า ACC เพียง 50 ppm น้อยกว่าค่าที่ต้องการ ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการเกิด  $\text{HOCl}$  ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ  $\text{Cl}^-$  ในระบบจากปริมาณเกลือ NaCl ที่ใช้ [21–22] (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ  $\text{Cl}^-$  ที่ขั้วแอโนดได้  $\text{Cl}_2(\text{g})$  และ  $\text{Cl}_2(\text{g})$  ทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็น  $\text{HOCl}$ ) และค่า pH < 4 ในระบบสารละลายมี %ACC ในรูป  $\text{HOCl}$  และ  $\text{Cl}_2$  ผสมอยู่ [5] สำหรับค่า ACC ของเกลือ NaCl 1%w/v และ 2%w/v พบว่า มีผลเป็นไปตามหลักการความเข้มข้นของ  $\text{Cl}^-(\text{aq})$  จากปริมาณเกลือที่ใช้มากขึ้นเช่นเดียวกัน รวมถึงค่า ORP ที่ได้จากการใช้ปริมาณเกลือมากขึ้น พบว่าการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดได้ค่ามากกว่าเช่นกัน

สำหรับปริมาณเกลือ NaCl ที่ใช้ระหว่าง 2%w/v และ 1%w/v พบว่าถ้าพิจารณาเวลาที่ใช้ในการผลิตสารละลาย ทั้ง 2 ความเข้มข้น ให้ค่า ACC 200 ppm เหมือนกัน แต่เวลาที่ใช้ต่างกัน 5 นาที (ที่เวลา 35 และ 30 นาที ตามลำดับ) ซึ่งไม่มีความแตกต่างสำหรับเวลาที่ใช้ในการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส กรณีนี้ผู้วิจัยเลือกปริมาณเกลือที่น้อยกว่า คือ เกลือ NaCl 1%w/v (เวลาที่ใช้ในการผลิตอย่างน้อย 35 นาที) เป็นปริมาณเกลือที่ใช้ในสูตรการผลิต



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับ (ก) ค่า ACC และ (ข) ค่า ORP ที่ใช้ NaCl 0.5%w/v;

(ค) ค่า ACC และ (ง) ค่า ORP ที่ใช้ NaCl 1%w/v; (จ) ค่า ACC และ (ฉ) ค่า ORP ที่ใช้ NaCl 2%w/v;

ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 นาที เมื่อใช้น้ำส้มสายชู 0.3%v/v เพื่อเป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH

### 6.2.3 สูตรที่เหมาะสมในการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ผลการศึกษาปริมาณน้ำส้มสายชูที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมค่า pH 6.2.1 คือ น้ำส้มสายชู (5%v/v กรดแอซิดิก) 0.3%v/v และผลการศึกษาปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่เหมาะสมจากข้อ 6.2.2 คือ ปริมาณเกลือ NaCl 1%w/v เมื่อเตรียมสารละลายในน้ำประปา เคมี สกศ.ร.จปร. ปริมาตร 10 ลิตร แล้วให้ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นเวลาอย่างน้อย 35 นาที ได้ผลที่ยอมรับได้ตามการรายงาน [5,8,22] คือ ค่า pH 4.51 แบบใช้เครื่อง และมีค่า pH 4 แบบใช้ กระดาษ เกิด 100%ACC ในรูป HOCl ทั้งหมด (ช่วงค่า pH ระหว่าง 4–5.33); ค่า ACC 200 ppm ทั้ง (USA.) และ (China) (กำหนดที่ 200 ppm); ค่า ORP +934 mV ซึ่งเป็นค่าที่มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรค (ค่า ORP < +848 mV)

ดังนั้นสูตรที่เหมาะสมในการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสจากชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เอง ที่ ผู้วิจัยเลือกมีรายละเอียดดังนี้

- 1) การเตรียมสารที่ใช้ประกอบด้วย (1) น้ำประปา เคมี สกศ.ร.จปร. ปริมาตร 10 ลิตร จากขนาดถังที่ ความจุ 12 ลิตร (2) เกลือ NaCl 1%w/v และ (3) น้ำส้มสายชู (5% กรดแอซิดิก) 0.3%v/v
- 2) การทำงานโดยการให้ไฟฟ้ากระแสตรง 12V, 5A เป็นเวลาอย่างน้อย 35 นาที (เมื่อต้องการเวลาที่ใช้ ในการผลิตให้น้อยที่สุด)

## 7. สรุป

งานวิจัยนี้รายงานขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ประดิษฐ์ขึ้นใช้เองเพื่อการฆ่าเชื้อโรค สำหรับใช้ภายใน รร.จปร. และแสดงความคุ้มค่าทั้งปริมาณในการเตรียมสารละลายและราคาต้นทุนที่ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับ ปริมาตรและราคาจากตัวอย่างของชุดอุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด สำหรับการหาสูตรผลิตที่เหมาะสมในการผลิตสารละลาย กรดไฮโปคลอรัสปริมาตร 10 ลิตร จากชุดอุปกรณ์ มีขั้นตอนการเตรียมสารและขั้นตอนการทำงานดังนี้ สารที่ใช้ประกอบด้วย (1) น้ำประปา รร.จปร. (2) เกลือ NaCl 1%w/v และ (3) น้ำส้มสายชู (5% กรดแอซิดิก) 0.3%v/v และการทำงานโดยการให้ ไฟฟ้ากระแสตรง 12V, 5A เป็นเวลาอย่างน้อย 35 นาที

## 8. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้มาจากการศึกษางานวิจัยที่เคยรายงานมาแล้ว ดังนั้น เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสจากสูตรที่รายงานในครั้งนี้ ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมถึง ประสิทธิภาพของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสในการฆ่าหรือแสดงฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคที่ผลิตได้จาก ชุดอุปกรณ์นี้อีกครั้ง

## 9. กิตติกรรมประกาศ

การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์และการหาสูตรผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัสเพื่อการฆ่าเชื้อโรคสำหรับใช้ภายใน รร.จปร. สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้นต้องขอขอบคุณ กองทุนพัฒนา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (กทพ.ร.จปร.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย ซึ่งเป็นไปตามนโยบายของผู้บังคับบัญชาที่ส่งเสริมและสนับสนุนให้ รร.จปร. ผลิตสารฆ่าเชื้อโรคใช้เอง; พ.อ. ผศ.ดร.กนก เจริญชัยประกิจ และ ผศ.ดร.ป๋วย อุ่นใจ สำหรับการให้คำปรึกษาแนะนำในการเตรียมชุดอุปกรณ์และแนวคิดการหาสูตรผลิต

## 10. เอกสารอ้างอิง

- [1] World Health Organization. (2020). Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19: Interim guidance 15 May 2020. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1277966/retrieve>

- [2] Rahman, S. M. E., Khan, I., & Oh D.-H. (2016). Electrolyzed Water as a Novel Sanitizer in the Food Industry: Current Trends and Future Perspectives. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 15: 471–490.
- [3] นวลไข ญารักษา, ชัดชัย แก้วดา, สุภาวีร์ มากดี และ ชีระ สารพันธ์. (2564). ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค. *วารสารเกษตรพระวรุณ*. 18(2): 41–48.
- [4] Stevenson, S.M.L., Cook, S.R., Bach, S.J., and Mcallister, T.A. (2004). Effects of Water Source, Dilution, Storage, and Bacterial and Fecal Loads on the Efficacy of Electrolyzed Oxidizing Water for the Control of *Escherichia coli* O157:H7. *J. Food Prot.*, 67(7): 1377–1383.
- [5] World Health Organization. (2020). Hypochlorous Acid (HOCl) for disinfection, antiseptis, and wound care in. Core Categories 15.1, 15.2, and 13. Retrieved on Jun 20, 2021, from [https://cdn.who.int/media/docs/default-source/essential-medicines/2021-eml-expert-committee/applications-for-addition-of-new-medicines/a.18\\_hypochlorous-acid.pdf?sfvrsn=35222172\\_4](https://cdn.who.int/media/docs/default-source/essential-medicines/2021-eml-expert-committee/applications-for-addition-of-new-medicines/a.18_hypochlorous-acid.pdf?sfvrsn=35222172_4)
- [6] McKenna, S.M., Davies, K.J.A. (1988) The inhibition of bacterial growth by hypochlorous acid. *Biochem. J.*, 254: 685–692.
- [7] วิดา กวานเหียน, คลฤดี ดวงสิน และ สุนิษา ฐานะภักดี. (2562). คุณสมบัติการฆ่าเชื้อก่อโรคของน้ำออกซิไดซ์. *วารสารพิษวิทยาไทย*. 34(1): 53–69.
- [8] Block, M. S., & Rowan, B. G. (2020). Hypochlorous Acid: A Review. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 78: 1461–1466.
- [9] HydroVoltage. (2021). ผลิตน้ำไฮโปคลอรัสเองที่บ้านต่อสู้โควิด19. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://fliphtml5.com/th/libqk/vwmk/basic>
- [10] มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิทยาศาสตร์. (2564). นักวิจัย ม.อ. ผลิตน้ำฆ่าเชื้อโควิด-19 พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน [ข่าวในสื่อ]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.sci.psu.ac.th/wp-content/uploads/2021/05/นักวิจัยม-อ-ผลิตน้ำฆ่าเชื้อโควิด-19-พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน-.pdf>
- [11] มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์. (2564). คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ผลิตน้ำฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส (HYPOCHLOROUS ACID) ใช้แทนแอลกอฮอล์ [ข่าววิทยาเขต]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://kps.ku.ac.th/v8/index.php/th/news-all/kps-news/1515-คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์-ผลิตน้ำฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส-hypochlorous-acid-ใช้แทนใช้แทนแอล>
- [12] คลอรีน็อกซ์. (ม.ป.ป.). เครื่องผลิตน้ำฆ่าเชื้อโรค HOCl ฆ่าเชื้อโควิด-19 ได้ 99.5%. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://chlorinox.co/products/>
- [13] มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. (ม.ป.ป.). ระบบทำน้ำฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดไฮโปคลอรัสเข้มข้นจากน้ำเกลือด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส [ข่าวสาร]. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.pbru.ac.th/pbru/news/15290>
- [14] Hypo Source. (2021). NEW Hypo 7.5 Hypochlorous Acid Generator. Make 2 gallons HOCl in 8 minutes. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://hyposource.com/collections/hypochlorous-acid-generators/products/hypo-7-5>
- [15] YouTube, เพื่อกับกับช่าง Channel. (2563). สอนทำน้ำไฮโปคลอรัสฆ่าเชื้อโควิด-19 ภายใน 10 วินาที ผ่านแท่งแกรไฟต์. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.youtube.com/watch?v=qNtOUkAeRBs&t=20s>

- [16] Sukwaree, J., Srisungwan, P., Sirivej, T., Thongsri, S., & Khongton, N. (2021). Hypochlorous Acid Solution Generator Prototype for Disinfection. (Cadets' Research Project Report, Chulachomklao Royal Military Academy).
- [17] Pawongjit, K., Sathaworn, K., Rittidech, T., & Wilailoy, N. (2022). Using Acids to Control pH for Producing Hypochlorous Acids Solution. (Cadets' Research Project Report, Chulachomklao Royal Military Academy).
- [18] Farah, R. I., & Al-Haj Ali, S. N. (2021). Electrolyzed Water Generated On-Site as a Promising Disinfectant in the Dental Office During the COVID-19 Pandemic. *Front. Public Health*, 9: 1–5.
- [19] Takeda, Y., Matsuda, S., Jamsransuren, D., & Ogawa, H. (2021). Comparison of the SARS-CoV-2-Inactivating Activities of the Differently Manufactured Hypochlorous Acid Water Products with Various pH. *J. Water Health*, 19(3): 448–456.
- [20] Agricultural Marketing Service. (2015). Hypochlorous Acid Petition [Unpublished Manuscript]. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Hypochlorous%20Acid%20Petition.pdf>
- [21] Al-Haq, M. I., Sugiyama, J., & Isobe S. (2005). Applications of Electrolyzed Water in Agriculture and Food Industries. *Food Sci. Technol. Res.*, 11(2): 135–150.
- [22] Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2010). Toxicological Profile for Chlorine: 4. Chemical and Physical Information. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp172-c4.pdf>
- [23] Guentzel, J. L., Lam, K. L., Callan, M. A., Emmons, S. A. & Dunham, V.L. (2008). Reduction of bacteria on spinach, lettuce, and surfaces in food service areas using neutral electrolyzed oxidizing water. *Food Microbiol.*, 25: 36–41.
- [24] Wang, L., Bassiri, M., Najafi, R., Najafi, K., Yang, J., Khosrovi, B., Hwong, W., Barati, E., Belisle, B., Celeri, C., & Robson M. C. (2007). Hypochlorous Acid as a Potential Wound Care Agent: Part I. Stabilized Hypochlorous Acid: A Component of the Inorganic Armamentarium of Innate Immunity. *J. Burns Wounds*. 11; 65–79.
- [25] Aquaiox. (2019). Welcome to the Next Generation of Infection Control. Retrieved on Jun 20, 2021, from <https://www.aquaiox.com/wp-content/uploads/2019/03/Aquaiox-ICS-Introduction.pdf>
- [26] ประกาศกรมอนามัย. (2543). เรื่อง เกณฑ์คุณภาพน้ำประปา. สืบค้น 20 มิ.ย. 2564, จาก <https://www.metlaboratory.com/album/law/pdf/76ed7168141b2288e444611cd52d0114.pdf>