คู่มือการผลิตและการใช้น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด จากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

ผู้จัดทำ

พ.อ.หญิง ภัทรียา ตัณฑิกุล

พ.ต.ภัทรพล คงสุข

ร.ต.หญิง วิลาสินี ปานนิล

กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ประจำปี พ.ศ. 2566

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ

ข้อมูลทั่วไป 1

หลักการการเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 2

หลักการทำงานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 5

บทที่ 2 การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี 6

วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ 6

สารเคมี 7

อุปกรณ์เครื่องมือติดตามและตรวจสอบ 11

ขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 14

การทำถังเครื่องผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 14

การทำชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด 15

บทที่ 3 การใช้งานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ขั้นตอนการเตรียมสารและการใช้งานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 17

ขั้นตอนการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 18

ขั้นตอนการนำสารละลายกรดไฮโปคลอรัสไปใช้งาน 19

ข้อระวังการใช้ชุดอุปกรณ์และการบำรุงรักษาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 20

ข้อควรระวังในการใช้ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 20

ข้อควรระวังในการใช้สารละลายกรดไฮโปคลอรัส 20

การบำรุงรักษาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส 20

เอกสารอ้างอิง 21

บทที่ 1 บทนำ

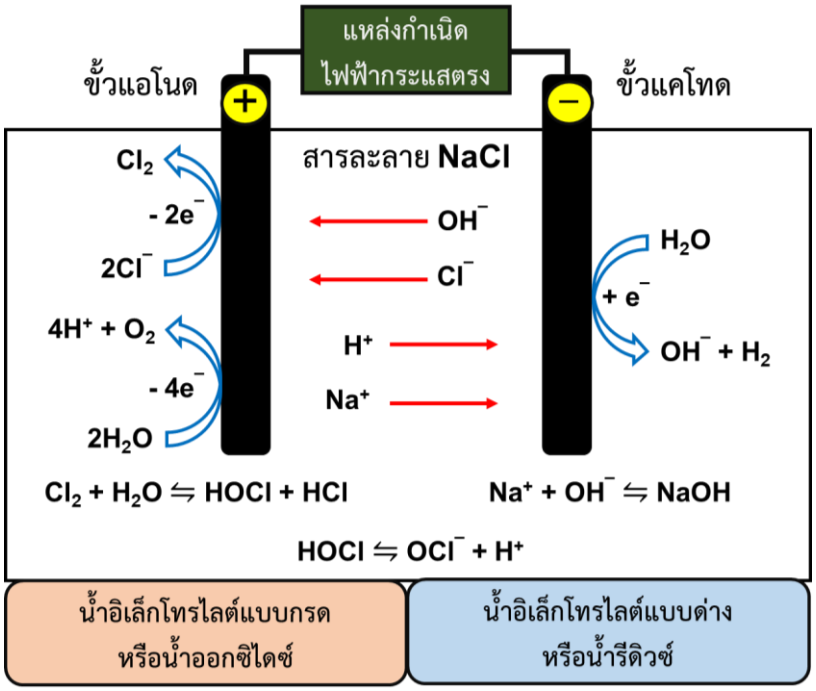
1.1 ข้อมูลทั่วไป

น้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด (Acidic electrolyzed water; AEW) คือ สารละลายที่เกิดจากปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซิส (Electrolysis) ซึ่งเป็นการให้กระแสไฟฟ้าผ่านขั้วอิเล็กโทรด (Electrode) เกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในที่นี้คือ สารละลายเกลือแกงหรือสารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งแตกตัวเป็นไอออนอยู่ในสารละลาย ผลิตภัณฑ์ที่ได้ของน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดจะอยู่ในรูปคลอรีนอิสระที่ต้องการ คือ สารละลายกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid solution, HOCl) โดยสารละลายนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์เป็นน้ำยาฆ่าเชื้อ (Disinfectant) และประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น งานด้านสาธารณสุข งานด้านการเกษตร หรืองานด้านอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น [1-3]

ด้วยปัจจุบันสถานการณ์ของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 หรือ โรคโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019, COVID-19) ซึ่งเกิดจากการติดเชื้อโรคทางเดินหายใจรุนแรงเฉียบพลัน ไวรัสโคโรนา-2 หรือเชื้อไวรัสซาร์ส-โควี-2 (Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus-2, SARS-CoV-2) ยังคงมีการแพร่ระบาด การป้องกันการสัมผัสกับเชื้อโดยการรักษาความสะอาดสถานที่และสิ่งอุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสจึงมีความจำเป็น [4] สารที่ใช้เพื่อทำการฆ่าเชื้อโรคทั่วไปที่มีการใช้อยู่ ได้แก่ สารกลุ่มแอลกอฮอล์ คือ เอทิลแอลกอฮอล์ (CH_3CH_2OH) และสารกลุ่มคลอรีน คือ น้ำยาฟอกขาว (Bleach) หรือสารโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการของสารข้างต้น จึงจำเป็นต้องใช้สารประเภทอื่นเพื่อที่จะลดข้อจำกัดดังกล่าว และสารที่น่าสนใจในที่นี้ คือ กรดไฮโปคลอรัส ด้วยสาเหตุหลักในการนำมาใช้งาน ได้แก่ ความเรียบง่ายของการเตรียมผลิตน้ำ อิเล็กโทรไลต์แบบกรดชนิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัส และขั้นตอนการใช้งาน ตลอดจนประสิทธิภาพที่มีมากเพียงพอที่จะยับยั้งเชื้อโรคทั่วไปตลอดจนเชื้อโควิด-19 [5-7] ซึ่งความเป็นไปได้ในขั้นตอนของการเตรียมสารละลายกรดไฮโปคลอรัส เพื่อใช้งานภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จึงได้รับความสนใจและได้รับการสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชา

1.2 หลักการการเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

ขั้นตอนการเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัสประกอบด้วยการให้ไฟฟ้ากระแสตรง (Al-Haq et al., 2005 อ้างถึงใน [3]) แก่สารละลายเกลือแกงที่มีความเข้มข้นประมาณร้อยละ 0.5–5 [8] ผ่านขั้วอิเล็กโทรด ได้แก่ขั้วแคโทด (Cathode) หรือขั้วลบ (–) และขั้วแอโนด (Anode) หรือขั้วบวก (+) (Hricova et al., 2008 อ้างถึงใน [3]) จะเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายซึ่งเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ ด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส เมื่อเกลือแกงละลายในน้ำ (H_2O) แล้วแตกตัวเป็นประจุบวกของโซเดียมไอออนและประจุลบของคลอไรด์ไอออน (Na^+ และ Cl^-) นอกจากนี้ยังมีน้ำที่แตกตัวเป็นประจุบวกของไฮโดรเจนไอออนและประจุลบของไฮดรอกไซด์ไอออน (H^+ และ OH^-) ในระบบ โดยไอออนทั้งหมดจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วตรงข้ามของประจุ คือ Na^+ และ H^+ เคลื่อนไปที่ขั้วแคโทดเพื่อรับอิเล็กตรอนซึ่ง Na^+ จะรวมตัวกับ OH^- ที่แตกตัวเป็นโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ทำให้สารละลายในบริเวณนี้มีคุณสมบัติเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบด่าง (Alkaline electrolyte water, ALEW) หรือสารละลายน้ำรีดิวซ์ (Electrolyzed reducing water, ERW) ขณะที่ Cl^- และ OH^- เคลื่อนไปที่ขั้วแอโนดเพื่อให้อิเล็กตรอน โดย Cl^- จะเกิดเป็นก๊าซคลอรีน (Cl_2) ซึ่งจะรวมตัวกับ H_2O เกิดเป็น HOCl และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ทำให้สารละลายบริเวณนี้มีคุณสมบัติเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด (Acidic electrolyte water, AEW) หรือสารละลายน้ำออกซิไดซ์ (Electrolyzed oxidizing water, EOW) [9] แสดงใน**ภาพที่ 1.1**



ภาพที่ 1.1 การเกิดน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดและน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบด่างในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ซึ่งประกอบด้วยขั้วแอโนดและขั้วแคโทดที่ต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยเกิดกระบวนการอิเล็กโทรลิซิสเกิดปฏิกิริยาเคมีในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของสารละลายเกลือแกง (ดัดแปลงจาก [3])

กรดไฮโปคลอรัสจัดอยู่ในรูปของคลอรีนอิสระ เป็นรูปคลอรีนที่อยู่รวมกันที่สมดุลประกอบด้วย Cl_2, HOCl และ OCl^- ในน้ำคลอรีน โดยทั้งหมดยังไม่ได้ทำปฏิกิริยากับสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำนั้น [10] โดยความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของคลอรีนอิสระในรูปของ Cl_2, HOCl และ OCl^- ที่ขึ้นกับค่า pH ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (Cotton et al. 1999; Farr et al. 2003; อ้างถึงใน [10]) แสดงใน **ภาพที่ 1.2** ซึ่งจากการศึกษาคลอรีนอิสระในระบบ จะมีปริมาณร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (Available chlorine concentration; %ACC) ในแต่ละรูปมากน้อย ขึ้นอยู่กับค่า pH ในระบบขณะนั้น คือ

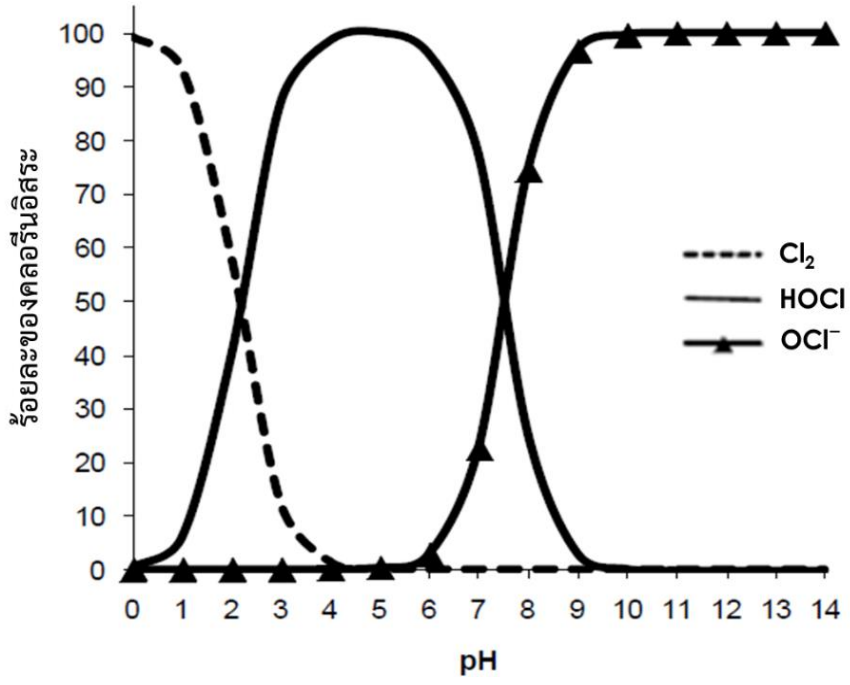
(1) ที่ pH ของสารละลาย < 1 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูปของ Cl_2 ทั้งหมด และจะระเหยสู่บรรยากาศ

(2) ที่ pH 1–4 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป Cl_2 และ HOCl ผสมกัน

(3) ที่ pH ในช่วง 4–5.33 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป HOCl ทั้งหมด

(4) ที่ pH ในช่วง 5.33–9 คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป HOCl และ OCl^- ผสมกัน **(ตารางที่ 1.1)**

(5) ที่ pH ≥ 9 ขึ้นไป คลอรีนที่มีค่าอยู่จะอยู่ในรูป OCl^- ทั้งหมด



ภาพที่ 1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของคลอรีนอิสระในรูปของ Cl_2, HOCl และ OCl^- ที่ขึ้นกับค่า pH [10]

ตารางที่ 1.1 ปริมาณร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (%ACC) ในรูป HOCl และรูป OCl^- ที่ค่า pH ต่าง ๆ (ดัดแปลงจาก Briotech, 2019 อ้างถึงใน [4])

ร้อยละของความเข้มข้นคลอรีนที่มีค่าอยู่ (%ACC)	ค่า pH
รูป HOCl	
100%	4.00 – 5.33
รูป OCl^-	
10%	6.45
20%	6.80
30%	7.00
40%	7.20
50%	7.40
60%	7.60
70%	7.80
80%	8.00
90%	8.30

ค่า pH ในระบบมีผลต่อการฆ่าเชื้อโรคของคลอรีน เพราะชนิดคลอรีนในรูป HOCl มีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้ดี เมื่อน้ำมีสภาพเป็นกรดเล็กน้อย หากค่า pH สูงขึ้น จะทำให้เกิดในรูป OCl^- มากขึ้น ซึ่งในรูป OCl^- นี้มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคน้อยกว่าในรูป HOCl

นอกจากนี้ HOCl ที่มีศักยภาพในการฆ่าเชื้อจะมีค่าออกซิเดชันสูง (ค่าความต่างศักย์ของการการออกซิไดซ์และการรีดิวซ์ หรือค่า ORP ในการออกซิไดซ์โมเลกุลอื่น โดย ORP (Oxidation-reduction potential, มีหน่วยเป็น mV) เป็นการวัดค่าไอออนในน้ำที่สะท้อนความสามารถของโมเลกุลในการออกซิไดซ์หรือการรีดิวซ์โมเลกุลอื่น) ที่ $\geq$ +1,000 mV (Guentzel et al., 2008 อ้างถึงใน [11]) ORP ที่มีค่าสูงเป็นปัจจัยกำหนดฤทธิ์ต้านจุลชีพของน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด ซึ่งค่า ORP ของสารละลายจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงแนวโน้มความสามารถในการออกซิไดซ์มากขึ้นหรือลดลง โดยค่า ORP ที่มีค่าสูงขึ้นจะสอดคล้องกับความแรงของการออกซิไดซ์ที่มากขึ้น โดยค่า ORP ที่สูงกับค่า pH ที่ต่ำของน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดนั้นจะสัมพันธ์กัน สำหรับ HOCl ในระบบสารละลายเพื่อยับยั้งจุลินทรีย์

1.3 หลักการทำงานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

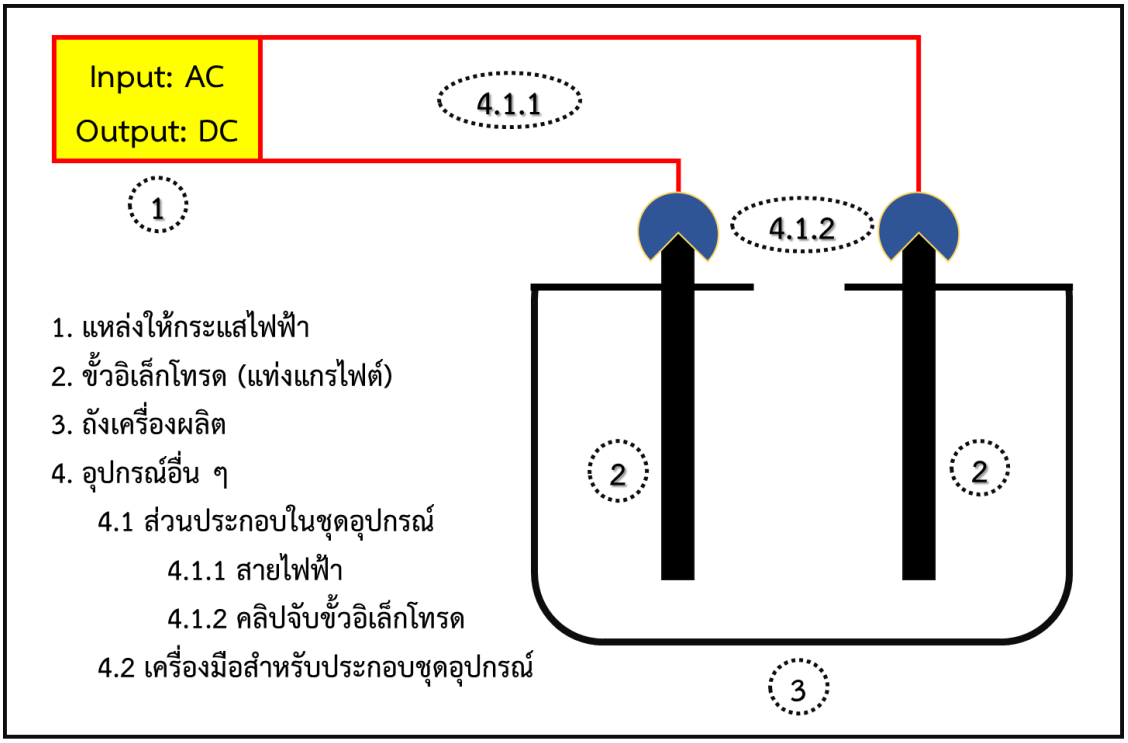
หลักการทำงานของชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส ที่ได้จากการศึกษา [12-19] สามารถสรุปถึงองค์ประกอบหลักสำหรับการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส แสดงดัง**ภาพที่ 1.3** ดังนี้

(1) แหล่งให้กระแสไฟฟ้า เป็นชุดอุปกรณ์หม้อแปลงไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

(2) ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นขั้วนำกระแสไฟฟ้าภายในสารละลาย

(3) ถังเครื่องผลิต เลือกใช้จากถังพลาสติกที่เป็นภาชนะบรรจุน้ำ ซึ่งทนต่อความร้อนและ pH ได้ และต้องสามารถเจาะตัวถังโดยถังไม่เสียหาย

(4) อุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สายไฟฟ้า, คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด



ภาพที่ 1.3 องค์ประกอบหลักของเครื่องผลิตน้ำอิเล็กโทรไลต์

บทที่ 2 การประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

2.1 การเตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

2.1.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ

2.1.1.1 แหล่งให้กระแสไฟฟ้า

ชุดหม้อแปลงไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็นแหล่งให้กระแสไฟฟ้า [Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC] โดยสามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาเฉลี่ยต่อ 1 ชุด ประมาณ 250-300 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.1 ก)**

2.1.1.2 ขั้วอิเล็กโทรด

แท่งแกรไฟต์ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางที่ให้และส่งกระแสไฟฟ้าในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยเลือกมาทำเป็นขั้วอิเล็กโทรด เนื่องจากข้อดีของแกรไฟต์ คือ นำไฟฟ้าได้ดี น้ำหนักเบา ราคาถูก หาซื้อได้ง่าย มีหลายขนาดทั้งเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาว และทนทานต่อสารละลายและความเป็นกรด-ด่าง แต่ข้อเสีย คือ เปราะ แตกหักได้ง่าย และหากได้รับความร้อนมากหรือนานเกินไปอาจไหม้ได้ ซึ่งขนาดที่เลือกใช้ขึ้นกับความยาวของตัวถังเครื่องผลิตที่เลือกใช้ สำหรับความยาวที่ใช้สำหรับชุดอุปกรณ์นี้ คือ 30 เซนติเมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง คือ 8 มิลลิเมตร โดยสามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาเฉลี่ยต่อ 1 คู่ ประมาณ 100-150 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.1 ข)**

2.1.1.3 ถังเครื่องผลิต

ถังพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลท (Polyethylene Terephthalate; PET หรือ PETE) ทำหน้าที่เป็นภาชนะบรรจุสารละลายเกลือแกง ซึ่งพลาสติกชนิดนี้สามารถทำทั้งขวดน้ำดื่ม ถังบรรจุน้ำ ขวดสบู่ กล่องผลไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างและสามารถกันการซึมผ่านออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ได้เป็นอย่างดี และสามารถเจาะตัวถังได้โดยตัวถังไม่เสียหาย สำหรับชุดอุปกรณ์นี้เลือกถังขนาดปริมาตร 12 ลิตร **(ใช้ปริมาตรสารละลายจริง 10 ลิตร)** โดยสามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาเฉลี่ยต่อ 1 ถัง ประมาณ 200-250 บาท แสดงดัง **ภาพที่ 2.1 ค)**

2.1.1.4 อุปกรณ์อื่น ๆ

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเตรียมประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ให้มีความสมบูรณ์และช่วยในการประกอบชุดอุปกรณ์ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

(1) ประเภทส่วนประกอบในชุดอุปกรณ์ ได้แก่

(1.1) คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด (คลิปปากจระเข้) ขนาด 55 มิลลิเมตร ซึ่งทำหน้าที่ยึดแท่งแกรไฟต์ โดยมีสายไฟฟ้าเชื่อมกับตัวคลิป สามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาเฉลี่ยต่อ 10 ชิ้น ประมาณ 120 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.1 ง)**

(1.2) สายไฟฟ้าขนาดสายไฟ 22AWG (2x0.3 ตารางมิลลิเมตร), รองรับไฟฟ้า 300V, 7A ความยาวต่อเส้น 10 เมตร แสดงดัง**ภาพที่ 2.1 จ)**

(1.3) ท่อหดคลุมสายไฟฟ้า ความยาวต่อเส้น 5 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลางขึ้นกับขนาดของสายไฟฟ้าและขนาดขาของคลิปจับขั้วอิเล็กโทรด อุปกรณ์ทั้งสองอย่าง สามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาเฉลี่ยต่อ 1 เส้นสายไฟฟ้า ประมาณ 40 บาท และราคาเฉลี่ยต่อ 1 เส้นท่อหดคลุมสายไฟฟ้า ประมาณ 100-150 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.1 ฉ)**

(2) ประเภทเครื่องมือสำหรับประกอบชุดอุปกรณ์ คือ เครื่องมือช่างที่ใช้งานปกติทั่วไปหรือเป็นเครื่องมือที่ต้องสั่งซื้อมาเป็นการเฉพาะ ราคาแต่ละเครื่องมือสามารถเลือกได้และสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada โดยแต่ละอุปกรณ์แสดงดัง**ภาพที่ 2.2**

2.1.2 สารเคมี

2.1.2.1 น้ำ

น้ำประปา (Tap water) ทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายในระบบ

2.1.2.2 เกลือแกง

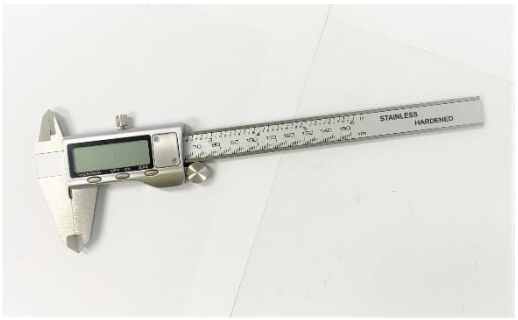
เกลือแกง ทำหน้าที่เป็นตัวถูกละลายในระบบ เมื่อละลายน้ำแล้วจะได้ไอออนที่เกิดเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ คือ โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออน โดยใช้เกลือแกงบริสุทธิ์ **(ไม่เติมสารไอโอดีน**) สามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาต่อ 1 ถุง (ถุงละ 1 กิโลกรัม) ประมาณ 30 บาท

2.1.2.3 น้ำส้มสายชู

น้ำส้มสายชู ทำหน้าที่ควบคุม pH ในระบบสารละลาย โดยใช้น้ำส้มสายชู (5% กรดแอซิติก) และเติมลงไปในสารละลายเกลือแกงที่เตรียมไว้ในถังเครื่องผลิต ก่อนให้กระแสไฟฟ้า สามารถซื้อได้จากร้านค้าทั่วไปหรือสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาต่อ 1 ขวด (ปริมาตร 700 มิลลิลิตร) ประมาณ 15–30 บาท หรือในราคาต่อ 1 ถัง (ปริมาตร 3–4.5 ลิตร) ประมาณ 80–100 บาท

 ก) แหล่งให้กระแสไฟฟ้า **(หม้อแปลงไฟฟ้า)**	 **ข) ขั้วอิเล็กโทรด** **(แท่งแกรไฟต์)**
 ค) ถังเครื่องผลิต **(ถังน้ำ PET ปริมาตร 12 L)**	 **ง) อุปกรณ์อื่น ๆ** **(คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด)**
 จ) อุปกรณ์อื่น ๆ **(สายไฟฟ้า)**	 **ฉ) อุปกรณ์อื่น ๆ** **(ท่อหดคลุมสายไฟฟ้า)**

ภาพที่ 2.1 วัสดุอุปกรณ์ของชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

	
เวอร์เนียคาลิปเปอร์	**ปากกาบัดกรี**
ไขควง	**คีมจับสายไฟฟ้า**
มีดคัตเตอร์	**คีมตัดสายไฟฟ้า**

ภาพที่ 2.2 เครื่องมือสำคัญในการประกอบชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

กรรไกร	**ไฟแช็ก**
ปากคีบปลายแหลม	**บีกเกอร์** **หรือถ้วยตวงบอกปริมาตร**
เครื่องชั่งสารแบบดิจิทัล (2 ตำแหน่ง) **หรือเครื่องชั่งน้ำหนักทั่วไป**	**กระบอกตวงสาร** **หรือกระบอกตวงบอกปริมาตร**

ภาพที่ 2.2 เครื่องมือสำคัญในการประกอบชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส (ต่อ)

2.1.3 อุปกรณ์เครื่องมือติดตามและตรวจสอบ

2.1.3.1 เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา

เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา (Pen Type pH meter) [AMT03 AMTAST® pH/EC/ORP METER, Neonics] เป็นเครื่องวัดค่า pH แบบพกพา ข้อดีคือ ใช้งานง่ายและมีความแม่นยำในระดับที่น่าเชื่อถือ สามารถวัดอุณหภูมิในตัวและสามารถสอบเทียบได้อย่างง่ายดายเหมาะสำหรับพกพา [6] อีกทั้งมีหลายฟังก์ชันในการใช้งาน โดยการเปลี่ยนหัววัด (Probe) ก่อนใช้วัดแบบอื่น ๆ ข้อเสียคือ มีราคาสูง ราคาประมาณ 6,800–7,500 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.3 ก)**

2.1.3.2 กระดาษวัดค่าพีเอช

กระดาษวัดค่าพีเอช (pH-Indicator strip) pH 0–14 Universal indicator [MQunat®, Merck] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่า pH ใช้งานง่ายและราคาไม่แพง แต่ช่วงการวัด pH จำกัดที่ช่วงละ 1 [6] สามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาต่อ 1 กล่อง (100 แผ่น) ประมาณ 400 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.3 ข)**

2.1.3.3 เครื่องโออาร์พีมิเตอร์แบบปากกา

เครื่องโออาร์พีมิเตอร์แบบปากกา (Pen Type ORP meter) [AMT03 AMTAST® pH/EC/ORP METER, Neonics] เป็นเครื่องวัดค่า ORP เพื่อตรวจวัดการเกิดเป็นน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรด (ORP มีค่าเป็น +) ซึ่งค่า ORP ของสารละลายกรดไฮโปคลอรัส มีค่า > +800 mV สามารถฆ่าเชื้อได้ [6, 20-21] โดยใช้เครื่องเดียวกับเครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา แต่ต้องเปลี่ยนหัววัดเป็น ORP ก่อนใช้งาน [6, 20] แสดงดัง**ภาพที่ 2.3 ก)**

2.1.3.4 แถบทดสอบคลอรีน

เป็นอุปกรณ์ทดสอบทางเคมีสำหรับตรวจสอบความเข้มข้นของคลอรีนอิสระ ในกรณีนี้จะดูค่า ACC ของ HOCl ซึ่งขึ้นกับค่า pH เทียบกับ %ACC (ตารางที่ 2.3) ได้แก่ แถบทดสอบคลอรีน (Chlorine Test strip) [WaterWorks™, Free Chlorine Check Ultra High, ITS, USA.] วัดค่า ACC ระหว่าง 0–750 ppm และแถบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ (Chlorine Test paper strip) [HANGZHOU SPECIAL PAPER INDUSTRY CO.,LTD (NEWSTAR), China] วัดค่า ACC ระหว่าง 0–2,000 ppm ทั้งสองแถบทดสอบ [6] สามารถสั่งซื้อจากร้านค้าออนไลน์ผ่านระบบแอปพลิเคชัน เช่น Shopee หรือ Lazada ในราคาต่อ 1 ขวด (50 แผ่น) ประมาณ 800 บาท และในราคาต่อ 1 ตลับ (ยาว 10 m) ประมาณ 40 บาท แสดงดัง**ภาพที่ 2.3 ค) และ ง)** ตามลำดับ

ก) เครื่องพีเอชมิเตอร์แบบปากกา/
เครื่องโออาร์พีมิเตอร์แบบปากกา

ข) กระดาษวัดค่าพีเอช

ค) แถบทดสอบคลอรีน (USA.)

ง) แถบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ (China)

ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์เครื่องมือติดตามและตรวจสอบคลอรีนอิสระ

ตารางที่ 2.1 รายการคำนวณราคาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส ขนาดถัง 12 ลิตร ต่อ 1 ชุดอุปกรณ์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคา (บาท)	หมายเหตุ
1. วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือ					
1.1	หม้อแปลงไฟฟ้า [Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC]	ชุด	1	275.00	
1.2	แท่งแกรไฟต์	คู่	2	250.00	
1.3	ถังพลาสติก PET ขนาด 12 ลิตร	ใบ	1	220.00	ใช้จริง 10 ลิตร
1.4	คลิปปากจระเข้	ตัว	4	48.00	
1.5	สายไฟฟ้า	เซนติเมตร	50	2.00	ยาว 10 เมตร
1.6	ท่อหดคลุมสายไฟฟ้า	เซนติเมตร	25	5.00	ยาว 5 เมตร
1.7	เครื่องมือสำหรับประกอบชุดอุปกรณ์			100.00	คิดเฉลี่ยต่อ 10 ชุด
2. สารเคมี					
2.1	เกลือแกง	ถุง	1	30.00	1 กิโลกรัม
2.2	น้ำส้มสายชู	ขวด	1	30.00	700 มิลลิลิตร
2.3	น้ำประปา			0.00	ไม่นำมาคำนวณ
			รวมเป็นเงิน	**960.00**	ราคาโดยประมาณ
3. อุปกรณ์เครื่องมือติดตามและตรวจสอบ					
3.1	กระดาษวัดค่าพีเอช pH 0–14 Universal indicator [MQunat®, Merck]	กล่อง	1	400.00	100 แผ่น
3.2	แถบทดสอบคลอรีน [WaterWorks™, Free Chlorine Check Ultra High, ITS, USA.] 0–750 ppm	ขวด	1	800.00	50 แผ่น
3.3	แถบทดสอบคลอรีนแบบกระดาษ [HANGZHOU SPECIAL PAPER INDUSTRY CO.,LTD (NEWSTAR), China] 0–2,000 ppm	ตลับ	1	40.00	10 เมตร

หมายเหตุ: สามารถใช้แถบทดสอบคลอรีนจาก **3.3** ใช้เพื่อตรวจสอบค่า ACC เนื่องจากผลการวิเคราะห์ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากแถบทดสอบคลอรีน **3.2** อีกทั้งราคายังถูกกว่ามาก

2.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

2.2.1 การทำถังเครื่องผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

2.2.1.1 ทำการตรวจสอบสภาพของถังบรรจุน้ำชนิด PET ปริมาตร 12 ลิตร (ปริมาตรใช้จริง 10 ลิตร) ในส่วนของตัวถัง ฝาถัง และวาล์วเปิด-ปิดน้ำ และทำการทดสอบการรั่วซึมด้วยการเติมน้ำสำหรับตรวจสอบการรั่วซึม เป็นการป้องกันก่อนและระหว่างการผลิตสารละลาย ตลอดจนการเก็บรักษาให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย

3.2.1.2 ทำการวัดขนาดเพื่อหาตำแหน่งในการเจาะช่องให้พอดีสำหรับใส่**แท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด) จำนวน 4 ช่อง** ที่บริเวณพื้นที่ด้านบนใกล้ ๆ กับปากถัง แสดงดัง**ภาพที่ 2.4** เมื่อเจาะช่องเรียบร้อยแล้ว ให้ตรวจสอบขนาดของช่องอีกครั้งด้วยแท่งแกรไฟต์ว่าสามารถใส่เข้าไปได้พอดี ไม่ควรให้ช่องหลวมจนเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้แท่งแกรไฟต์แต่ละแท่งสัมผัสกัน จนเกิดการลัดวงจรไฟฟ้าในระหว่างการผลิตสารละลาย แสดงดัง**ภาพที่ 2.5**

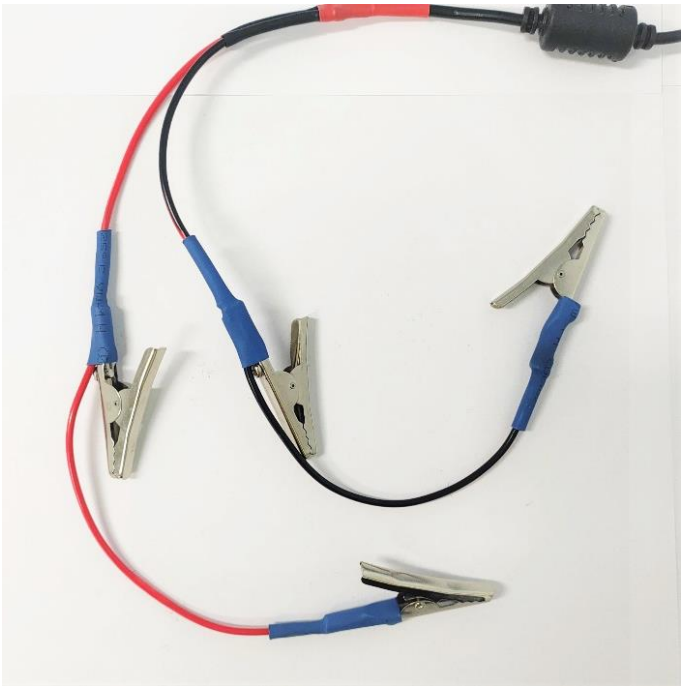
ภาพที่ 2.4 การเจาะช่องสำหรับใส่แท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด)

ภาพที่ 2.5 การตรวจสอบขนาดของช่องสำหรับใส่แท่งแกรไฟต์เพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้า

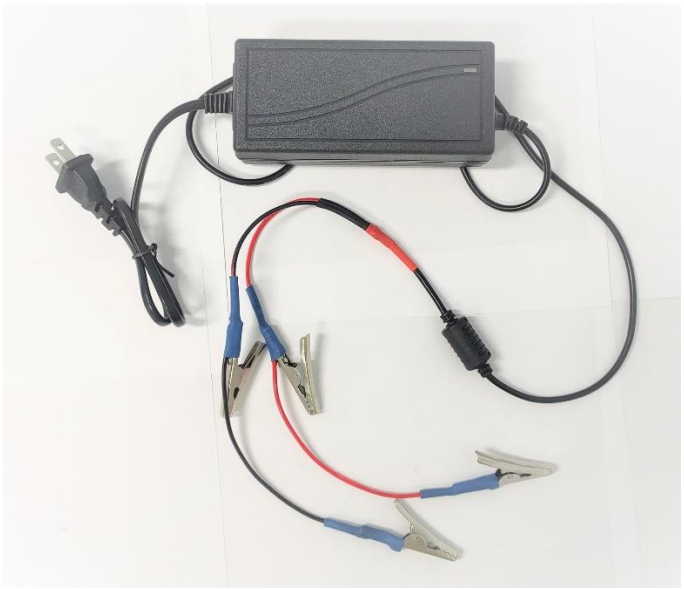
2.2.2 การทำชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด

3.2.2.1 ทำการตรวจสอบหม้อแปลงไฟฟ้า (อุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้า) ที่ใช้งานตามขนาดที่เลือก คือ **Input: 110~240V AC; Output: 12V, 5A DC** ก่อนทำการประกอบชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าให้เรียบร้อย

3.2.2.2 ทำการปรับเปลี่ยนส่วนปลายของสายไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยทำการตัดสายไฟฟ้าและปอกสายไฟฟ้า เพื่อนำสายทองแดงไปเชื่อมหรือพันกับคลิปปากจระเข้ (คลิปจับขั้วอิเล็กโทรด) นอกจากนี้ยังต้องเชื่อมหรือพันสายไฟฟ้าอีก 1 คู่ เพื่อไปเชื่อมหรือพันกับคลิปปากจระเข้ รวมเชื่อมต่อกับคลิปปากจระเข้จำนวน 4 ตัว และใช้ท่อหดคลุมสายไฟฟ้า สำหรับคลุมบริเวณที่เป็นส่วนเชื่อมหรือพันของสายทองแดงในระหว่างการเชื่อมต่อสายไฟฟ้าและเชื่อมต่อกับคลิปปากจระเข้ (4 ตัว) แสดงดัง**ภาพที่ 2.6** เพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้า จึงได้ชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด แสดงดัง**ภาพที่ 2.7**



ภาพที่ 2.6 การเชื่อมหรือพันสายไฟฟ้ากับคลิปปากจระเข้จำนวน 4 ตัว และการใช้ท่อหดคลุมสายไฟฟ้าสำหรับคลุมสายทองแดง



ภาพที่ 2.7 ชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด

บทที่ 3 การใช้งานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

3.1 ขั้นตอนการเตรียมสารและการใช้งานชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

เมื่อทำถังเครื่องผลิตจาก**ข้อ 2.2.1** และการประกอบชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรดจาก**ข้อ 2.2.2** เสร็จเรียบร้อย ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะประกอบชุดอุปกรณ์เครื่องผลิต โดยการเตรียมสารละลายเกลือแกงซึ่งประกอบด้วยน้ำประปา, เกลือแกง และน้ำส้มสายชู คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน สูตรที่เหมาะสมสำหรับชุดอุปกรณ์ฯ นี้ คือ

“ปริมาณเกลือที่ใช้ คือ 100 กรัมต่อน้ำประปา 10 ลิตร (เทียบเท่าเกลือ 6 ช้อนโต๊ะ–ปาดเกลือให้เท่าขอบช้อน), ปริมาณน้ำส้มสายชูที่ใช้ คือ 30 มิลลิลิตร (เทียบเท่าน้ำส้มสายชู 2 ช้อนโต๊ะ) และให้กระแสไฟฟ้าเป็นเวลา 35 นาที”

(จะได้ค่า ACC ประมาณ 200 ppm และค่า ORP ประมาณ > +900 mV ที่ pH ประมาณ 4.50 จากค่าเริ่มต้นที่ ACC เท่ากับ 0 ppm และค่า ORP ประมาณ +300 mV ที่ pH ประมาณ 3.80)

จากนั้น นำแท่งแกรไฟต์ (ขั้วอิเล็กโทรด) มาใส่ในช่องที่เจาะไว้ แล้วนำคลิปปากจระเข้ของชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรดมาจับที่ปลายของแท่งแกรไฟต์ ตรวจสอบแท่งแกรไฟต์แต่ละแท่งไม่ให้สัมผัสกัน เพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าในระหว่างการผลิตสารละลาย แสดงดัง**ภาพที่ 3.1**

ภาพที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์เครื่องผลิตที่มีสารละลายเกลือแกงและน้ำส้มสายชูพร้อมสำหรับใช้งาน

3.2 ขั้นตอนการผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

เมื่อเริ่มต้นใช้งานโดยการให้กระแสไฟฟ้า จะเกิดปฏิกิริยาเคมีบริเวณรอบแท่งแกรไฟต์ โดยสังเกตเห็นฟองแก๊ส ซึ่งประกอบด้วย : $H_2(g)$, $O_2(g)$ และ $Cl_2(g)$ และเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ต้องการ แสดงดัง **ภาพที่ 3.2** จากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีฟองแก๊สเกิดขึ้น จึงต้องทำการเปิดฝาถังเพื่อระบายความดันของแก๊ส พร้อมทั้งถ่ายเทแก๊สเหล่านี้ เนื่องจาก $H_2(g)$ มีคุณสมบัติติดไฟได้ และ $Cl_2(g)$ จัดเป็นก๊าซพิษอันตราย มีกลิ่นฉุนและทำให้เกิดการระคายเคืองได้

ภาพที่ 3.2 ปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณแท่งแกรไฟต์เกิดฟองแก๊ส : $H_2(g)$, $O_2(g)$ และ $Cl_2(g)$ และเกิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ต้องการ

เมื่อครบเวลาที่ 35 นาที ทำการหยุดให้กระแสไฟฟ้า และนำชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรดพร้อมทั้งแท่งแกรไฟต์ออกจากถังเครื่องผลิต จะได้สารละลายกรดไฮโปคลอรัสพร้อมใช้งานที่มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการฆ่าเชื้อโรค

3.3 ขั้นตอนการนำสารละลายกรดไฮโปคลอรัสไปใช้งาน

สารละลายกรดไฮโปคลอรัส ที่เตรียมจาก**ข้อ 3.1** มีความเข้มข้นประมาณ **200 ppm** ปริมาณสารละลาย **10 ลิตร** เหมาะสำหรับการใช้ทำความสะอาดพื้นผิววัสดุอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ต่าง ๆ หรือใช้ทำความสะอาดพื้นขนาดใหญ่ ตลอดจนพื้นที่ที่ใช้สำหรับเลี้ยงสัตว์ต่าง ๆ เป็นต้น [5, 21] โดยสามารถใส่ในอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้งานได้ดังนี้

(1) ใส่ในถังน้ำเพื่อใช้ผ้าเช็ดทำความสะอาด เหมาะสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่ขนาดเล็กหรือพื้นผิววัสดุอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ที่มีการสัมผัสบ่อย ๆ ได้แก่ บริเวณลูกบิดประตู ที่จับประตู โต๊ะ-เก้าอี้ที่ใช้ทำงานหรือเรียน เป็นต้น วิธีการใช้คือ ชุบผ้าเช็ดด้วยสารละลายกรดไฮโปคลอรัสในถังแล้วนำไปเช็ดพื้นผิวและควรปล่อยเวลาทิ้งไว้**อย่างน้อย 1 นาที** จึงทำการ**เช็ดแห้งอีกครั้ง**

(2) ใส่ในเครื่องฉีดพ่นละอองฝอย เหมาะสำหรับการทำความสะอาดพื้นที่ขนาดใหญ่หรือพื้นผิวที่วัสดุอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ที่ไม่มีการสัมผัสโดยตรง ได้แก่ บริเวณพื้นผิวทางเดิน ฝาผนัง เป็นต้น วิธีการใช้คือ ฉีดพ่นละอองฝอยแล้วควรปล่อยเวลาทิ้งไว้**อย่างน้อย 10 นาที** แล้วจึงทำการ**เช็ดแห้งอีกครั้ง หรือปล่อยให้แห้งเอง**

3.4 ข้อระวังการใช้ชุดอุปกรณ์และการบำรุงรักษาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

3.4.1 ข้อควรระวังในการใช้ชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

(1) เลือกพื้นที่ในการวางชุดอุปกรณ์ฯ เพื่อผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส ในที่แห้ง อากาศถ่ายเทได้สะดวก และไม่ไกล้เปลวไฟ (เนื่องจากชุดอุปกรณ์ฯ มีการใช้กระแสไฟฟ้า ได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊สเกิดขึ้น และมีแก๊สที่สามารถติดไฟได้)

(2) ในระหว่างให้กระแสไฟฟ้า ระวังอย่าให้แท่งแกรไฟต์แต่ละแท่งสัมผัสกัน เพื่อป้องกันการเกิดไฟฟ้าลัดวงจร

3.4.2 ข้อควรระวังในการใช้สารละลายกรดไฮโปคลอรัส

(1) เนื่องจากค่า pH ของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ มีความเป็น**กรด (pH ประมาณ 4.5)** อาจมีผลทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนังและเยื่อบุอ่อนหรือระคายเคืองตาได้ จึงควรใส่อุปกรณ์ป้องกันสารละลายในระหว่างการใช้งาน เช่น การสวมถุงมือ สวมหน้ากาก ใส่แว่นตานิรภัย เป็นต้น

(2) ตรวจสอบวัสดุอุปกรณ์และเครื่องใช้ที่จะทำความสะอาดว่าสามารถทนต่อความเป็น**กรด, น้ำ และเกลือแกง** (ที่ยังเหลืออยู่ในสารละลาย) ก่อนการใช้งาน

(3) อายุการใช้งานของสารละลายกรดไฮโปคลอรัสที่ผลิตได้ ควรใช้ให้หมดหลังจากผลิต เนื่องจากความสามารถในการฆ่าเชื้อจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป แต่รายงานการวิจัยสามารถเก็บสารละลายได้ 30 วัน [22]

3.4.3 การบำรุงรักษาชุดอุปกรณ์ผลิตสารละลายกรดไฮโปคลอรัส

หลังจากใช้งานน้ำอิเล็กโทรไลต์แบบกรดชนิดสารละลายกรดไฮโปคลอรัสแล้ว ขั้นตอนการบำรุงรักษาและการจัดเก็บชุดอุปกรณ์เครื่องผลิตที่สำคัญ ดังนี้

(1) การล้างด้วยน้ำสะอาดและเช็ดอุปกรณ์ทุกชิ้นให้แห้ง เพื่อป้องกันการเกิดสนิมบริเวณที่จับขั้วอิเล็กโทรด **(โดยเฉพาะการเกิดสนิมจากเกลือแกง)**

(2) การจัดเก็บชุดอุปกรณ์เครื่องผลิต โดยนำแท่งแกรไฟต์, ชุดอุปกรณ์ให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด เก็บไว้ภายในตัวถังผลิตและปิดฝาให้เรียบร้อย แสดงดัง**ภาพที่ 3.3** แล้วนำไปเก็บในตู้เพื่อป้องกันฝุ่นละอองและปราศจากความชื้น

ภาพที่ 3.3 การจัดเก็บแท่งแกรไฟต์ และชุดให้กระแสไฟฟ้าและที่จับขั้วอิเล็กโทรด ภายในถังชุดอุปกรณ์

เอกสารอ้างอิง

1. Al-Haq, M. I., Sugiyama, J., and Isobe S. (2005). Applications of Electrolyzed Water in Agriculture and Food Industries. *Food Sci. Technol. Res.,* 11(2), 135-150.
2. Eryilmaz, M., and Palabiyik, I. M. (2013). Hypochlorous Acid – Analytical Methods and Antimicrobial Activity. *Trop. J. Pharm. Res.*, 12(1), 123-126.
3. Rahman, S. M. E., Khan, I., and 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.
4. World Health Organization. (2020). *Cleaning and disinfection of environmental surfaces in the context of COVID-19: Interim guidance 15 May 2020*. Retrieved from https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1277966/retrieve, 20 Jun 2021.
5. Block, M. S., and Rowan, B. G. (2020). Hypochlorous Acid: A Review. *J. Oral Maxillofac. Surg.*, 78, 1461-1466.
6. Farah, R. I., and 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.
7. Takeda, Y., et al. (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.
8. Agricultural Marketing Service. (2015). *Hypochlorous Acid Petition.pdf-Agricultural Marketing Service* [Unpublished Manuscript]. Retrieved from https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Hypochlorous%20Acid%20Petition.pdf, 20 Jun 2021.
9. วิยดา กวานเหียน, ดลฤดี ตวงสิน และสุนิษา ฐานะภักดี. (2562). คุณสมบัติการฆ่าเชื้อก่อโรคของน้ำออกซิไดซ์. *วารสารพิษวิทยาไทย*. 34(1), 53-69. สืบค้นจาก https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ThaiJToxicol/article/download/243595/166241/836824, 20 มิ.ย. 2564.
10. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. (2010). *Toxicological Profile for Chlorine: 4. Chemical and Physical Information*. Retrieved from https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp172-c4.pdf, 20 Jun 2021.
11. Agricultural Marketing Service. (2015). *Hypochlorous Acid-Agricultural Marketing Service* [Unpublished Manuscript]. Retrieved from https://www.ams.usda.gov/sites/default/files/media/Hypochlorous%20Acid%22TR%2008%2013%2015.pdf, 20 Jun 2021.

12. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, คณะวิทยาศาสตร์. (2564). *นักวิจัย ม.อ. ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโควิด-19 พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน* [ข่าวในสื่อ]. สืบค้นจาก https://www.sci.psu.ac.th/ wp-content/uploads/2021/05/นักวิจัยม-อ-ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโควิด-19-พร้อมถ่ายทอดองค์ความรู้สู่ชุมชน-.pdf, 20 มิ.ย. 2564.
13. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์. (2564). *คณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส (HYPOCHLOROUS ACID) ใช้แทนแอลกอฮอล์* [ข่าววิทยาเขต]. สืบค้นจาก https://kps.ku.ac.th/v8/index.php/th/news-all/kps-news/1515-คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์-ผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรคจากกรดไฮโปคลอรัส-hypochlorous-acid-ใช้แทนใช้แทนแอล, 20 มิ.ย. 2564.
14. คลอรินอกซ์. (ม.ป.ป.). *เครื่องผลิตน้ำยาฆ่าเชื้อโรค HOCl ฆ่าเชื้อโควิด-19 ได้ 99.5%*. สืบค้นจาก https://chlorinox.co/products/, 20 มิ.ย. 2564.
15. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี. (ม.ป.ป.). *ระบบทำน้ำยาฆ่าเชื้อโรคด้วยกรดไฮโปคลอรัสเข้มข้นจากน้ำเกลือด้วยกระบวนการอิเล็กโทรลิซิส* [ข่าวสาร]. สืบค้นจาก https://www.pbru.ac.th/pbru/ news/15290, 20 มิ.ย. 2564.
16. Hypo Source. (2021). *NEW Hypo 7.5 Hypochlorous Acid Generator. Make 2 gallons HOCl in 8 minutes*. Retrieved from https://hyposource.com/collections/hypochlorous-acid-generators/products/hypo-7-5, 20 Jun 2021.
17. Sukwaree, J., et al. (2021). *Hypochlorous Acid Solution Generator Prototype for Disinfection*. (Cadets' Research Project Report). Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok.
18. Facebook. (2563). *Weerachai Phutdhawong*. สืบค้นจาก https://www.facebook.com/100002409589575/posts/2888225101267781/?d=null&vh=i, 20 มิ.ย. 2564.
19. YouTube. (2563). *สอนทำน้ำไฮโปคลอรัสฆ่าเชื้อโควิด-19 ตายใน 10 วินาที ผ่านแท่งแกรไฟต์*. เผือกไปกับช่าง Channel. สืบค้นจาก https://www.youtube.com/watch?v=qNtOU kAeRBs&t=20s, 20 มิ.ย. 2564.
20. นวลใย ญารักษา และคณะ. (2564). *ประสิทธิภาพของน้ำอิเล็กโทรไลต์ชนิดกรดในการฆ่าเชื้อโรค*. วารสารเกษตรพระวรุณ. 18(2), 41-48.
21. ศูนย์เทคโนโลยีพลังงานแห่งชาติ. (2565). *"ENcase" เครื่องผลิตน้ำยาฆ่าเชื้ออิเล็กโทรไลต์*. สืบค้นจาก https://www.entec.or.th/th/encase-enerclean/, 19 มิ.ย. 2565.
22. Damalerio, R. G., et al. (2019). Storage Stability and Disinfection Performance on Escherichia coli of Electrolyzed Seawater. *Water*. 11, 980.