



การผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ด้วยกระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก

โดยใช้ขั้วไฟฟ้าผสมทั้งสแตนออกไซด์/บิสมัทวานาเดต

Sodium Hypochlorite Production by Photoelectrocatalytic Process

Using Compositd $\text{WO}_3/\text{BiVO}_4$ Electrodes

โชติวิทย์ วิริยะชัยเลิศ¹ และ ถัตรชัย พลเชื้อ^{1,2*}

¹ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

²หน่วยวิจัยเฉพาะทางด้าน “เคมีวัสดุขั้นสูง” สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

*E-mail: chatchai@rmUTT.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ด้วยกระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติกภายใต้แสงในช่วงที่ตามองเห็น โดยใช้สารกึ่งตัวนำผสมของทั้งสแตนออกไซด์และบิสมัทวานาเดต เตรียมเป็นขั้วไฟฟ้าลงบนกระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนไดออกไซด์ (FTO) ด้วยเทคนิคสปินโคตติง นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้ไปใช้สำหรับการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ โดยศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้า ปริมาณสารตั้งต้น กำลังไฟของต้นกำเนิดแสง ขนาดขั้วไฟฟ้า และจำนวนขั้วไฟฟ้า โดยติดตามประสิทธิภาพการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ด้วยวิธี-วิลิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากผลการทดลองที่สภาวะที่ดีที่สุด ที่ศักย์ไฟฟ้า 2.5 โวลต์ ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ที่ 2.0 โมลาร์ กำลังไฟของแสงช่วงที่ตามองเห็นที่ 28 วัตต์ ขนาดขั้วไฟฟ้า 12 ตารางเซนติเมตร และจำนวนขั้วไฟฟ้า 3 ขั้ว สามารถผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์ได้ถึง 5.975 มิลลิโมลในเวลา 1 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าเทคนิคดังกล่าวเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์เนื่องจากประหยัด รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง เมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการใช้สารเคมีแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: สแตนออกไซด์ บิสมัทวานาเดต กระบวนการโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก การผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรต์

Received: December 19, 2016

Revised: February 08, 2017

Accepted: February 16, 2017

Abstract

In this research, sodium hypochlorite production was studied by the photoelectrocatalytic process under visible light irradiation. WO_3 and BiVO_4 composited films were deposited on fluorine-doped tin oxide (FTO) conducting glasses by the spin coating technique and used these electrodes for producing sodium hypochlorite in sodium chloride solution. The effect of applied potential, precursor concentration, power of the light source, electrode size and number of electrodes were studied for the optimum condition of the production process. The efficiency of sodium hypochlorite production was monitored by UV-Vis spectrophotometer. As a result, the optimum condition was presented at the applied potential of 2.5 V, 2.0 M of sodium chloride, 28W of visible light source, electrode size 12 cm^2 and 3 electrodes which that could produce sodium hypochlorite up to 5,975 ppm for 1 h. Demonstrate that such technique is an attractive option for the production of sodium hypochlorite as savings, fast and efficient compared to traditional chemical techniques.

Keywords: Tungsten oxide, Bismuth vanadate, Photoelectrocatalytic process, Sodium hypochlorite production

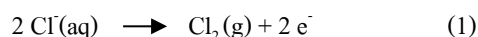
1. บทนำ

โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) เป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย หรือแม้กระทั่งการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนการอุปโภคบริโภค โดยวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานคือ เพื่อฆ่าเชื้อโรค แบคทีเรีย จุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และการกำจัดสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ เนื่องจาก โซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์สูง

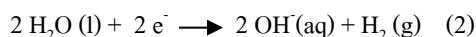
ปัจจุบันการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์มีหลายวิธี เช่น การเติมแก๊สคลอรีนลงในสารละลายเบสแก่จำพวก โซเดียมไฮดรอกไซด์ [1] และ การใช้ไฟฟ้าในการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ [2] ซึ่งทั้งสองเทคนิคยังมีข้อจำกัดในการผลิตคือ ราคาของสารตั้งต้น ซึ่งราคาแก๊สคลอรีนและเบสแก่มีสูงกว่าราคาโซเดียมคลอไรด์ที่มีราคาถูก และการใช้พลังงานในระบบค่อนข้างสูง ซึ่งการใช้ไฟฟ้าอย่างเดียวในการผลิตจะต้องใช้ศักย์ไฟฟ้าสูง ทำให้ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูง งานวิจัยนี้สนใจเทคนิคโฟโตอิเล็กโทรคะตะไลติก

ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ที่กำลังได้รับความสนใจในงานด้านพลังงานกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถลดต้นทุนราคาสารตั้งต้นและลดพลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตได้ โดยการตรึงสารกึ่งตัวนำลงบนขั้วไฟฟ้าและทำงานภายใต้สภาวะเร่งด้วยแสงและศักย์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี [3-5] โดยแสงที่ใช้กระตุ้นสารกึ่งตัวนำบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้า เป็นแสงในช่วงที่ตามองเห็นซึ่งมีปริมาณมากที่สุด ในธรรมชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานต่อไป

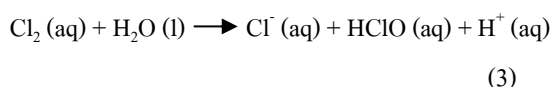
โดยการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ขั้นแรกคือกระบวนการออกซิเดชันที่บริเวณขั้วไฟฟ้าแอโนดของคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ให้กลายเป็นแก๊สคลอรีน (Cl_2) ดังสมการที่ (1)



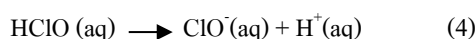
ในส่วนของขั้วไฟฟ้าแคโทดจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำดังสมการที่ (2)



หลังจากที่ขั้วไฟฟ้าเกิดปฏิกิริยาทั้งสองจะทำให้ในระบบ สามารถผลิตกรดไฮโปคลอรัส (HClO) ได้ดังสมการที่ (3)



จากนั้นกรดไฮโปคลอรัสจะสามารถแตกตัวได้เป็นไฮโปคลอไรท์ไอออน (ClO^-) ดังสมการที่ (4)



และ ClO^- ที่เกิดขึ้นจะสามารถเกิดสารประกอบกับ Na^+ ที่อยู่ในระบบ กลายเป็นโซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaClO) ได้ดังสมการที่ 5



โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาปริมาณการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์และผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยใช้ขั้วไฟฟ้า FTO/ $\text{WO}_3/\text{BiVO}_4$ ด้วยเทคนิคโฟโตอิเล็กโตร-คะตะไลติกภายใต้การให้แสงในช่วงที่ตามองเห็นเพื่อเร่งปฏิกิริยาของสารกึ่งตัวนำให้เกิดไปตามสมการดังที่กล่าวข้างต้น

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

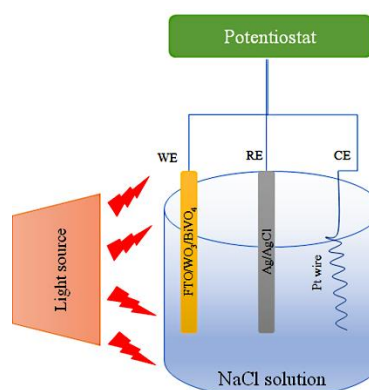
2.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าผสมของทั้งสแตนออกไซด์และบิสมัทวานาเดต

ขั้วไฟฟ้าทั้งสแตนออกไซด์และบิสมัทวานาเดต สามารถเตรียมด้วยเทคนิค Spin coating โดยใช้กระจกนำไฟฟ้าฟลูออรีนโดปทินออกไซด์ (Fluorine-doped tin oxide, FTO) ที่สะอาดเป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode) เตรียมสาร

ละลาย 0.1 M WO_3 และ 0.05 M BiVO_4 และทำการเคลือบด้วยเทคนิคดังกล่าว [3] ที่อัตราการหมุนที่ 1,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 วินาที แล้วนำไปศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer

2.2 การศึกษาพารามิเตอร์และการติดตามประสิทธิภาพการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์

ออกแบบระบบ โดยให้ขั้วไฟฟ้าทั้งสแตนออกไซด์บิสมัทวานาเดตที่เตรียมได้ เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode; WE) ขั้วไฟฟ้า Pt เป็นขั้วไฟฟ้า ช่วย (Counter electrode; CE) และขั้วไฟฟ้า Ag/AgCl เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode; RE) ดังแสดง ในรูปที่ 1 โดยทำการศึกษาผลของค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบ ผลของปริมาณสารตั้งต้นในระบบ ผลของความเข้มข้นที่ให้แก่ระบบ ผลของขนาดขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ และจำนวนขั้วไฟฟ้าที่ทำปฏิกิริยาภายในระบบ จากนั้นติดตามประสิทธิภาพการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ด้วยเทคนิค Colorimetric method [6] โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่อง UV/Vis spectrophotometer

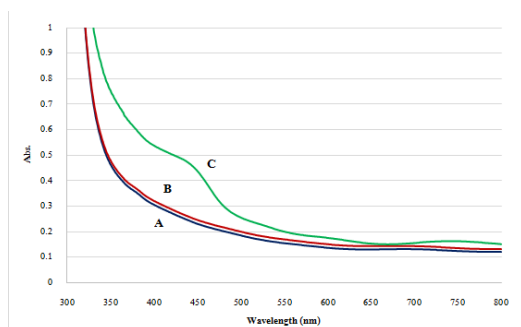


รูปที่ 1 การออกแบบระบบสำหรับผลิต NaClO

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงของขั้วไฟฟ้า

นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้ไปวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300 – 800 nm ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 2



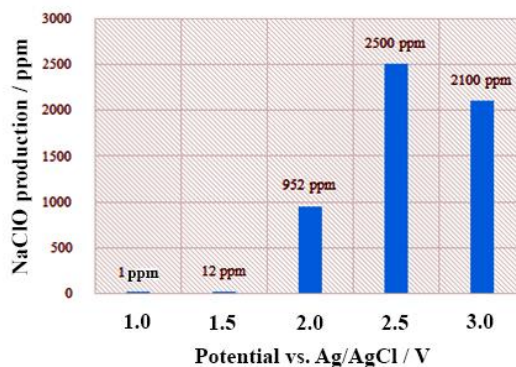
รูปที่ 2 การดูดกลืนแสงของขั้วไฟฟ้า (A) FTO, (B) FTO/WO₃ และ (C) FTO/WO₃/BiVO₄

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นว่าขั้วไฟฟ้า FTO (รูป 2 A) และ ขั้วไฟฟ้า FTO/WO₃ (รูป 2 B) มีการดูดกลืนแสงเพิ่มเล็กน้อยจากผลของฟิล์มบางของ WO₃ ส่วนขั้วไฟฟ้า FTO/WO₃/BiVO₄ (รูป 2 C) จะมีการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร เมื่อคำนวณค่าพลังงานแถบ (Band gap energy; E_g) จาก $E_g = \frac{1240}{\lambda \text{ (nm)}}$ ได้เท่ากับ 2.4 eV [7] ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light region) ส่งผลให้มีประสิทธิภาพ ในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้น และเป็น การยืนยันผลของการดูดกลืนแสงเป็นฟังก์ชัน โดยตรงกับปริมาณของ BiVO₄ ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

3.2 ผลการศึกษาศักย์ไฟฟ้าที่ให้แกระบบ

นำขั้วไฟฟ้าที่เตรียมได้มาเข้าระบบ การผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ โดยศึกษาค่า ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 1.0 V ถึง 3.0 V จากการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นการเกิด NaClO

จะเพิ่มมากขึ้น จนถึงค่าศักย์ไฟฟ้า 2.5 V และจะเริ่ม ลดลงที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 3.0 V ดังแสดงผลการทดลอง ในรูปที่ 3



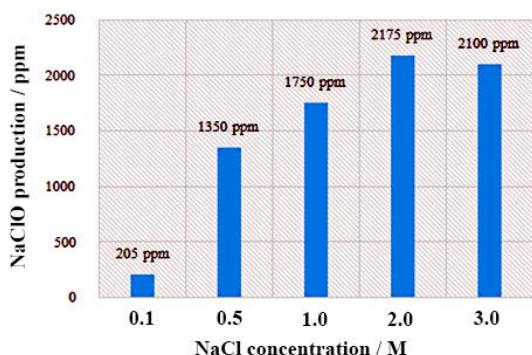
รูปที่ 3 ปริมาณการผลิต NaClO ที่ศักย์ไฟฟ้าต่าง ๆ ณ เวลาที่ 60 นาที

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ศักย์ไฟฟ้ามีผล โดยตรงกับการผลิต NaClO อย่างไรก็ดีตามเมื่อเพิ่ม ศักย์ไฟฟ้ามากขึ้นจะเกิดสภาวะการแข่งขันการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่าง Cl⁻ ไอออน กับ น้ำ ดังนั้นค่าศักย์ไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการผลิต NaClO คือ 2.5 V และนอกจากนี้แล้วการใช้ศักย์ไฟฟ้ามากเกินไป จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและมีผลต่ออายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้าอีกด้วย

3.3 ผลการศึกษาปริมาณของสารตั้งต้นใน

ระบบ

หลังจากการศึกษาผลของศักย์ไฟฟ้าที่ ให้แก่ระบบจึงเลือกใช้ศักย์ไฟฟ้า 2.5 V ทำการทดลอง เพื่อหาปริมาณของสารตั้งต้นคือ NaCl ที่เหมาะสมใน การผลิต NaClO เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณ สูงสุด ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ NaCl ตั้งแต่ 0.1 M ถึง 3.0 M และจากการทดลองพบว่า ความ เข้มข้นของ NaCl ที่ 2.0 M นั้นสามารถผลิต NaClO ได้ปริมาณมากที่สุดดังรูปที่ 4



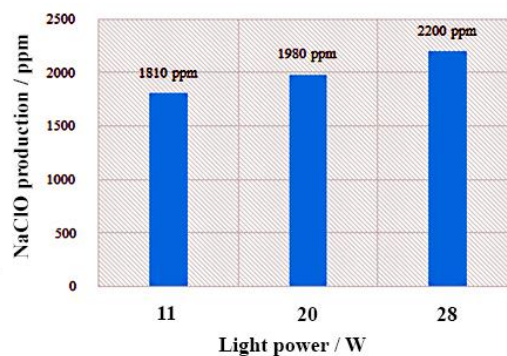
รูปที่ 4 ปริมาณการผลิต NaClO ที่ความเข้มข้นของ NaCl ต่าง ๆ ณ เวลาที่ 60 นาที

จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิต NaClO จะแปรผันตรงกับปริมาณสารตั้งต้น NaCl แต่อย่างไรก็ตาม จะมีค่าความเข้มข้นที่เหมาะสมระดับหนึ่งคือ 2.0 M ซึ่งเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารตั้งต้นมากกว่านี้ก็ไม่ได้ทำให้การผลิต NaClO มากขึ้น อาจเนื่องมาจากความอิ่มตัวของสารละลายในการทำปฏิกิริยาบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าคือเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นมากเกินไปส่งผลต่ออัตราการเคลื่อนที่ของสารที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าลดลงซึ่งอาจจะส่งผลต่อการผลิต NaClO ของระบบดังกล่าวนี้เริ่มคงที่หรือลดลงตามมา

3.4 ผลของกำลังไฟของต้นกำเนิดแสงที่ให้แก่ระบบ

หลังจากการศึกษาค้นคว้าผลของปริมาณสารตั้งต้นในระบบจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ NaCl ที่ 2.0 M และค่าศักย์ไฟฟ้า 2.5 V ในการทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของกำลังไฟของต้นกำเนิดแสงที่ให้แก่ระบบที่สามารถกระตุ้นสารกึ่งตัวนำบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด โดยทำการทดลองที่ค่ากำลังไฟของหลอดไฟ Light emitting diode (LED) ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของแสงในช่วงที่ตามองเห็น (Visible light region) มีความยาวคลื่นที่ 400 ถึง 800 นาโนเมตร โดยศึกษาที่ค่ากำลังวัตต์ 11W, 20W และ 28W ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มแสง 28W สามารถกระตุ้นสารกึ่งตัวนำบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าให้ทำปฏิกิริยากับคลอไรด์ไอออนในสารละลายจนกลายเป็น NaClO ได้ปริมาณมากที่สุดดังรูปที่ 5



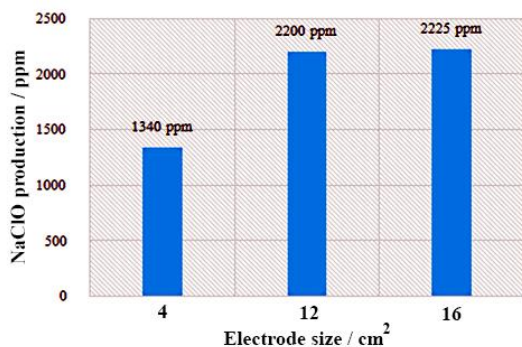
รูปที่ 5 ปริมาณการผลิต NaClO ที่กำลังไฟขนาดต่าง ๆ ณ เวลาที่ 60 นาที

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการผลิต NaClO แปรผันโดยตรงกับกำลังไฟที่กระตุ้นที่ผิวขั้วไฟฟ้าสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสอดคล้องกับหลักการทำงานของสารกึ่งตัวนำที่ถูกเร่งด้วยแสง (Photocatalytic activity) คือเมื่อกำลังแสงมากจะไปกระตุ้นให้เกิด ช่องว่าง (hole, h^+) จำนวนมากที่ชั้นวาเลนซ์ของสารกึ่งตัวนำทำให้มีประสิทธิภาพในการออกซิไดซ์สารที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามควรพิจารณาผลของกำลังแสงที่มากอาจมีผลต่ออายุการใช้งานของขั้วไฟฟ้ารวมถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นด้วย

3.5 ผลของขนาดขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ

เมื่อศึกษาค้นคว้าผลของกำลังไฟที่ให้แก่ระบบแล้ว จึงเลือกใช้กำลังไฟที่ 28W ที่ความเข้มข้นของ NaCl 2.0 M และค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 2.5 V ทำการศึกษาค้นคว้าผลของขนาดขั้วไฟฟ้า โดยทำการศึกษาที่ขนาด 4, 12 และ 16 cm^2 จากผลการทดลองพบว่ายิ่งขนาดขั้วไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ก็จะทำให้มีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา

มากขึ้นและทำให้สามารถผลิต NaClO ได้มากขึ้นตามลำดับดังรูปที่ 6

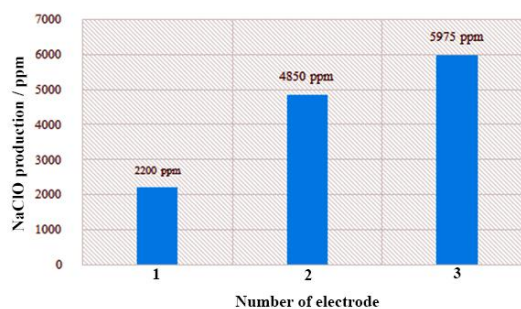


รูปที่ 6 ปริมาณการผลิต NaClO ที่ขนาดขั้วไฟฟ้าต่าง ๆ ณ เวลาที่ 60 นาที

จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นเมื่อเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้ายังทำให้เกิดการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์มากขึ้น โดยขนาดขั้วไฟฟ้า 12 และ 16 cm² นั้นมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่มากกว่าขั้วไฟฟ้าขนาด 4 cm² เป็นผลมาจากขั้วไฟฟ้ามีพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยามากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ขั้วไฟฟ้าขนาด 16 cm² สามารถผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ซึ่งไม่แตกต่างกับขั้วไฟฟ้าขนาด 12 cm² ทำให้มีประสิทธิภาพการผลิตใกล้เคียงกัน เป็นผลมาจากขนาดทั้งสองขั้วไฟฟ้าง่ากล่าวนั้นไม่ได้แตกต่างกันมากเท่าใด ดังนั้นประสิทธิภาพการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์จึงถือว่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเราสามารถขยายขนาดสเกลของระบบให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิต NaClO โดยเน้นที่การเพิ่มจำนวนขั้วไฟฟ้าแทนการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลเชิงวิศวกรรมเกี่ยวกับการเพิ่มขนาดสเกลต่อไป

3.6 ผลของจำนวนขั้วไฟฟ้าที่ทำปฏิกิริยาภายในระบบ

หลังจากศึกษาขนาดขั้วไฟฟ้าที่ใช้ในระบบแล้ว จึงเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าขนาด 12 cm² ที่ความเข้มข้น NaCl 2.0 M ภายใต้กำลังไฟที่ 28W และค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 2.5 V พบว่าการเพิ่มขนาดของขั้วไฟฟ้านั้นยังผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ได้ปริมาณต่ำ จึงได้ทำการศึกษาผลของจำนวนขั้วไฟฟ้าที่ทำปฏิกิริยาภายในระบบโดยศึกษาที่ 1 ขั้ว 2 ขั้ว และ 3 ขั้วตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ปริมาณการผลิต NaClO จากผลของจำนวนขั้วไฟฟ้าต่าง ๆ ณ เวลาที่ 60 นาที

จากผลการทดลองพบว่าการใช้ขั้วไฟฟ้า 3 ขั้ว มีปริมาณการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ได้มากกว่าการใช้ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว และ 1 ขั้ว โดยผลที่ได้เกิดจากพื้นที่ผิวการทำปฏิกิริยาของระบบมีปริมาณมาก จึงทำให้เกิดการผลิตได้มากขึ้นตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในการขยายขนาดสเกลให้ใหญ่ขึ้นนอกจากเพิ่มขนาดขั้วไฟฟ้าแล้ว เรายังสามารถเพิ่มจำนวนขั้วไฟฟ้าได้อีกด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์ภายใต้กระบวนการโฟโต-อิเล็กโตรเคตะไลติกยังมีไม่มากนักเนื่องจากเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างใหม่ จากงานวิจัยในระดับนานาชาติมีรายงานการผลิต โซเดียมไฮโปคลอไรท์บ้างด้วยขั้วไฟฟ้า TiO_2 [8-10] อย่างไรก็ตามยังพบว่า

ต้องให้แหล่งกำเนิดแสงจากหลอดรังสียูวีจึงจะสามารถกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่บริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้ ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้ที่ใช้เพียงแหล่งกำเนิดแสงในช่วงที่ตามองเห็นซึ่งมีปริมาณมากที่สุดในการแสง ทำให้สามารถลดพลังงานในการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำบนผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้ และที่สำคัญเป็นเทคนิคที่ง่าย รวดเร็วและได้ประสิทธิภาพในการผลิตโซเดียมไฮโปคลอไรท์สูงด้วย

4. สรุปผลการวิจัย

สามารถผลิต NaClO ด้วยขั้วไฟฟ้าผสมทั้งสแตนเลสและบิสมาทวามาตรด้วยกระบวนการโฟโตอิเล็กโทรเคตะไลติกภายใต้แสงในช่วงที่ตามองเห็น ที่ศักย์ไฟฟ้า 2.5 V ความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์ 2.0 M ภายใต้กำลังไฟที่ 28W ขนาดขั้วไฟฟ้า 12 cm² จำนวน 3 ขั้วได้ NaClO ที่ความเข้มข้น 5,975 ppm ในเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเทคนิคทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ เนื่องจากใช้ต้นทุนต่ำ ประสิทธิภาพสูง รวมถึงรวดเร็ว สามารถศึกษาและพัฒนาต่อยอดเพิ่มขนาดสเกลเพื่อผลิตเชิงพาณิชย์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และบริษัท เอสทีพี เคม โซลูชันส์ จำกัด ที่ร่วมสนับสนุนทุนวิจัย ภายใต้โครงการพัฒนานักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม - พวอ. ระดับปริญญาโท (MSD58I0038)

6. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Vogt, J. Balej, J. E. Bennett, P. Wintzer, S. A. Sheikh, P. Gallone. Chlorine Oxides and Chlorine Oxygen Acids, *Ullmann's*

Encyclopedia of Industrial Chemistry 7 (2007): 2.

- [2] M. Spasojevi*, N. Krstaji, P. Spasojevi, L. R. Zelenovi. Modelling current efficiency in an electrochemical hypochlorite reactor. *Chem. Eng. Res. Des.* **93** (2015): 591-601.
- [3] C. Ponchio, Y. Murakami, S. Kishioka, A. Y. Nosaka and Y. Nosaka. Efficient photocatalytic activity of water oxidation over WO₃/BiVO₄ composite under light irradiation, *Electrochim. Acta*, **54** (2009): 1147-1152.
- [4] T. Juthamas, C. Ponchio*, Development of photoelectrocatalysis techniques for phenolic compound degradation under solar light. *Sci. & Tech. RMUTT J.*, **5(1)** (2015): 1-8.
- [5] C. Ponchio, A.Y. Nosaka, and Y. Nosaka, Photoelectrocatalytic performance of WO₃/BiVO₄ toward the dye degradation. *Electrochim. Acta* **94** (2013): 314-319.
- [6] C. Pasha and B. Narayana . A facile spectrophotometric method for the determination of Hypochlorite using Rhodamin B. *J. Braz. Chem. Soc.* **18(1)** (2007): 167 - 170.
- [7] J. H. Kim, J. W. Jang, H. J. Kang, G. Magesh, J. Y. Kim, J. H. Kim, and J.S. Lee, "Palladium oxide as a novel oxygen evolution catalyst on BiVO₄ photoanode for photoelectrochemical water splitting," *J. Catal.*, **317** (2014): 126-134.

-
- [8] H. Selcuk and M. A. Anderson, "Effect of pH, charge separation and oxygen concentration in photoelectrocatalytic systems: active chlorine production and chlorate formation," *Desalination*, 176 (2005): 219-227.
- [9] L. E. Fraga, M. A. Anderson, M. L. P. M. A. Beatriz, F. M. M. Paschoal, L. P. Romão, and M. V. B. Zanoni, "Evaluation of the photoelectrocatalytic method for oxidizing chloride and simultaneous removal of microcystin toxins in surface waters," *Electrochim. Acta*, **54** (2009): 2069-2076.
- [10] M. V. B. Zanoni, J. J. Sene, H. Selcuk, and M. A. Anderson, "Photoelectrocatalytic production of active chlorine on nanocrystalline titanium dioxide thin-film electrode," *Environ. Sci. Technol.* 38 (2004): 3203-3208.