

**การเปรียบเทียบการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แท่งอิเล็กโทรด สเตนเลส
อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว ด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
แรงดันสูงแบบสวิตชิง**

**COMPARISON OF OZONE GAS GENERATION VIA THE USE OF
ELECTRODE TUBE STAINLESS ALUMINUM COPPER SILVER AND
LEAD USING HIGH VOLTAGE AC SWITCHING POWER SUPPLY**

บุญเลิศ สือเฉย และ ชัยพิสิษฐ์ ผิวอ่อน

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160

Boonlert Suechoey and Chaipisit Piew-on

Department of Electrical Engineering, Graduate School, Southeast Asia University

19/1 Phetchakasem Road, Nongkhaem, Bangkok, 10160

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเปรียบเทียบการผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้แท่งอิเล็กโทรดสเตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงิน และตะกั่ว เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซโอโซนแต่ละอิเล็กโทรด โดยใช้อิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันร่วมทำการผลิตก๊าซโอโซนจากการเกิดโคโรนาดิสชาร์จไฟฟ้าแรงสูงแบบทาบซ้อน โดยนำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ใช้ไอซีเบอร์ TL494 ควบคุมการสวิตชิงของเพาเวอร์มอสเฟสเบอร์ TRFP 460 โดยการออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่ความถี่ 10 - 200 กิโลเฮิร์ตซ์ผ่านหม้อแปลงฟลายแบคเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงเข้าไปที่แท่งอิเล็กโทรดในการผลิตก๊าซโอโซน การทดลองในเวลา 5 นาทีที่แท่งอิเล็กโทรดสเตนเลสผลิตโอโซนได้ 3144 ppm แท่งอิเล็กโทรดอะลูมิเนียมผลิตโอโซนได้ 3480 ppm แท่งอิเล็กโทรดทองแดงผลิตโอโซนได้ 2880 ppm แท่งอิเล็กโทรดเงินผลิตโอโซนได้ 2616 ppm และแท่งอิเล็กโทรดตะกั่วผลิตโอโซนได้ 1884 ppm

คำสำคัญ: ก๊าซโอโซน, แท่งอิเล็กโทรด, โคโรนาดิสชาร์จ, ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ABSTRACT

This paper presents the comparison of ozone gas generation via the use of electrode tube stainless aluminum copper silver and lead want to know how to efficiency of ozone gas generation using electrode cylindrical concentric reactor ozone is generated by corona discharge phenomena the superimposed high voltage. With the working process of flyback converter. IC TL494 controls the switching for drive the power mosfet TRFP 460. The flyback converter is designed to operate at 10 - 200 kHz frequency through a flyback transformer by ac high voltage of ozone generation by electrode tube. The experimental in 5 minute that can generate ozone electrode tube stainless 3144 ppm generate ozone electrode tube aluminum 3480 ppm generate ozone electrode tube copper 2880 ppm generate ozone electrode tube silver 2616 ppm and generate ozone electrode tube lead 1884 ppm.

KEYWORDS: ozone gas, electrode tube, corona discharge, flyback converter

1. บทนำ

ในปัจจุบันก๊าซโอโซนเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางทั่วโลกมีการนำเอาก๊าซโอโซนมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการดำเนินชีวิตและในอุตสาหกรรม เพื่อนำมาทดแทนเคมีและแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต ตัวอย่างเช่น ลดการใช้เคมีในอุตสาหกรรมเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนในหอผึ่งเย็น ดูแลกลิ่นและสีในระบบน้ำเสีย กำจัดกลิ่นเหม็นในอากาศ การฟอกอากาศในพื้นที่ปลอดเชื้อโรค การควบคุมคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ เป็นต้น [1] โอโซนเป็นก๊าซรูปแบบหนึ่งของก๊าซออกซิเจน โอโซนเป็นก๊าซที่ไวต่อปฏิกิริยาและความไม่เสถียรเมื่อทำปฏิกิริยาแล้วจะไม่ทิ้งพิษตกค้างเพราะเมื่อทำปฏิกิริยากับมลพิษเสร็จทุกครั้งจะได้ออกซิเจน (O_2) จึงเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมที่ดี โอโซนมีคุณสมบัติที่โดดเด่น คือ ฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็วโดยเฉพาะแบคทีเรียไวรัสและเชื้อรา เร็วกว่าคลอรีน ถึง 3,125 เท่า [2] การนำก๊าซโอโซนไปประยุกต์ใช้งานต่างๆจึงต้องมีการผลิตโอโซนที่จุดใช้งาน ไม่สามารถบรรจุใส่ภาชนะเพื่อเก็บไว้ใช้ได้ งานวิจัยจำนวนมากที่มีความพยายามในการศึกษาและสร้างเครื่องผลิตก๊าซโอโซน การผลิตก๊าซโอโซนนั้นในงานวิจัยส่วนใหญ่จะนำความรู้จากปรากฏการณ์การแตกตัวแบบโคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) [3] ในอากาศมาใช้ศึกษาและทำให้เกิดก๊าซโอโซนโดยตรง การออกแบบชุดอิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่เลือกใช้อิเล็กทรอนิกส์ที่ไม่สม่ำเสมอสูง เนื่องจากมีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด [4, 5]

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นหัวใจหลักของการผลิตก๊าซโอโซน คือ แท่งอิเล็กโทรด ที่นำมาใช้ว่ามีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด สามารถสร้างความเครียดสนามไฟฟ้าได้สูง โดยไม่ให้เกิดการเบรกดาวน์ในไดอิเล็กตริก ด้วยวิธีการผลิตก๊าซโอโซนจากปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ งานวิจัยนี้

ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงที่สร้างขึ้นจากหม้อแปลงฟลายแบคเครื่องรับโทรทัศน์ โดยการนำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันของหม้อแปลงฟลายแบคให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับแรงสูงให้กับแท่งอิเล็กโตรดทั้งสองอย่างเหมาะสมทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จเกิดการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนในอากาศหลังจากนั้นอะตอมอิสระเหล่านี้จะรวมตัวเข้ากับโมเลกุลก๊าซออกซิเจนเกิดเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ดังสมการคือ $O_2 + O = O_3$ [4-6] ผลงานวิจัยนี้ทำการควบคุมตัวแปรอื่นๆให้คงที่ โดยปรับเพียงแค่ตัวแปรเดียวคือ แท่งอิเล็กโตรด เพื่อต้องการทราบประสิทธิภาพการผลิตและปริมาณความเข้มข้นของก๊าซโอโซนของแท่งอิเล็กโตรด สเตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว เพื่อที่จะได้เป็นข้อมูลในการนำไปพัฒนาเครื่องผลิตก๊าซโอโซนที่มีคุณภาพสูง ราคาไม่แพง ใช้งานในการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้อย่างมากมาย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

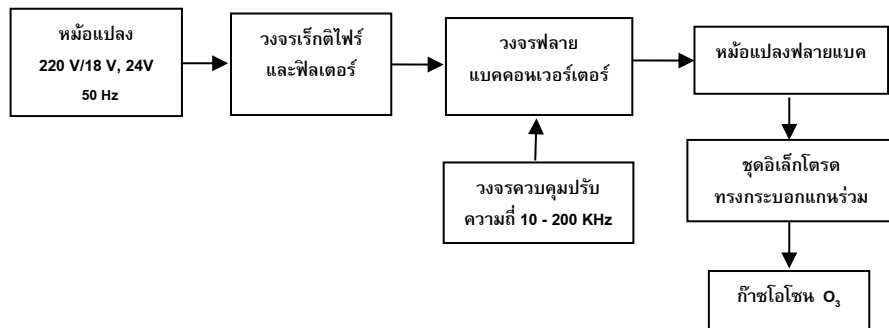
2.1 ทฤษฎีการเกิดก๊าซโอโซน

ในอากาศโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบหลักคือก๊าซไนโตรเจน (N_2) 79% และก๊าซออกซิเจน (O_2) 21% โดยประมาณ [4-6] นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นอีกคือก๊าซเฉื่อยและไอน้ำที่อยู่ในอากาศ โอโซนเป็นก๊าซที่ประกอบไปด้วยออกซิเจน 3 อะตอม ดังสมการ $O_2 + O = O_3$ จับตัวกันอยู่ในสถานะไม่เสถียรสลายตัวได้ง่ายขึ้นอยู่กับเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมและปริมาณการผลิต ขั้นตอนการผลิตประกอบด้วยกระบวนการแตกตัวของโมเลกุลจากออกซิเจน 2 อะตอมเปลี่ยนเป็นออกซิเจน 3 อะตอมเป็นโอโซน (O_3) ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป กระบวนการเกิดโอโซนเกิดจากกระบวนการไอออไนเซชัน (Ionization) หรือกระบวนการแยกตัว (Dissociation) ในการแตกตัวของโมเลกุลของก๊าซนั้น ไอออไนเซชัน คือ การเพิ่มของประจุแบบทวีคูณ (Electron avalanche) นำไปสู่การเบรกดาวนในฉนวนที่พิจารณาทำให้กระแสไฟฟ้าวิ่งทะลุผ่านแนว สิ่งที่เกิดตามมาคือความร้อนเนื่องจากกระแสที่ไหลจากการเบรกดาวนที่เกิดขึ้น ทำให้โอโซนที่มีพลังงานพันธะต่ำเกิดการสลายตัว ดังนั้นในการผลิตโอโซนจึงไม่ควรเกิดการเบรกดาวนขึ้น นั่นคือพลังงานที่อิเล็กตรอนรับจากสนามไฟฟ้าควรมีค่าน้อยกว่าพลังงานไอออไนเซชันแต่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแยกตัวของอะตอมออกซิเจนออกจากกัน [4, 5]

2.2 ทฤษฎีการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิง

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิงโดยนำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ใช้ไอซีเบอร์ TL494 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้ไอซีเบอร์ TLP 250 เป็นตัวแยกกราวด์และทำการขยายสัญญาณที่ได้นำไปขับเพาเวอร์

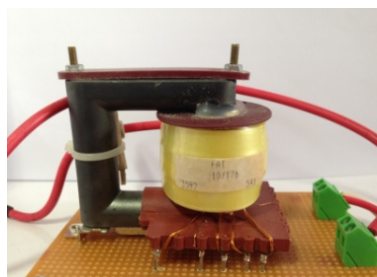
มอสเฟสเบอร์ TRFP460 ให้ทำงาน เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันของหม้อแปลงฟลายแบคให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามต้องการ เพื่อจ่ายให้กับแท่งอิเล็กโตรดที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซน (ดังรูปที่ 1) [5]



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบบสวิตชิ่งในการผลิตก๊าซโอโซน

2.3 หม้อแปลงฟลายแบค

หม้อแปลงแบบฟลายแบค ทำหน้าที่เหนี่ยวนำสัญญาณพัลส์ที่ถูกขับจากวงจรสวิตชิ่งความถี่สูงเพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูง โดยมีหลักการคือการนำสัญญาณพัลส์ความถี่สูงที่ได้จากเพาเวอร์มอสเฟสเข้าทางขาอินพุตของหม้อแปลงฟลายแบคจากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำแรงดันของสัญญาณพัลส์ให้มีแรงดันสูงขึ้นเป็นกิโลโวลต์ซึ่งระดับแรงดันที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับฟลักซ์ของหม้อแปลงฟลายแบคแต่ละตัว (ดังรูปที่ 2)



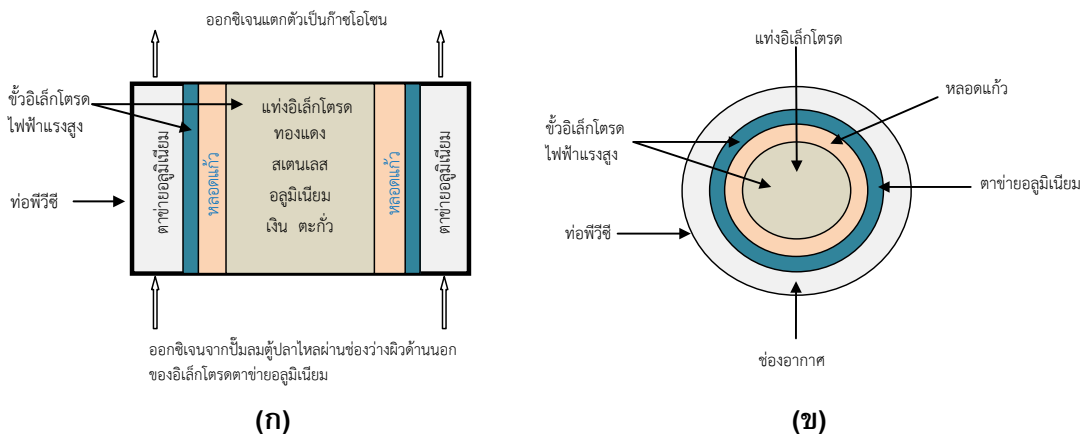
รูปที่ 2 ลักษณะหม้อแปลงฟลายแบคที่ใช้ในการออกแบบ

3. การออกแบบ

3.1 การออกแบบชุดอิเล็กโตรด

ในการออกแบบชุดอิเล็กโตรดทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น มีหลักการออกแบบคือภายในหลอดแก้วจะเกิดความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างแท่งอิเล็กโตรดที่อยู่ด้านในหลอดแก้วที่ใช้ทดสอบ

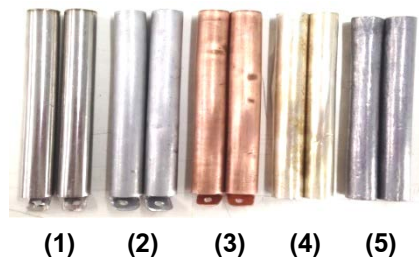
คือท่อสเตนเลส ท่ออะลูมิเนียม ท่อทองแดง แผ่นเงินม้วนเป็นทรงกระบอก แผ่นตะกั่วม้วนเป็นทรงกระบอกตามลำดับส่วนอิเล็กทรอนิกส์ทรานสดิวเซอร์ด้านนอกเป็นตาข่ายอะลูมิเนียมพันอยู่ด้านนอกหลอดแก้ว จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดีสชาร์จ ทำให้ออกซิเจนที่อยู่ภายนอกหลอดแก้วเกิดการแตกตัว และไปรวมกับออกซิเจนที่อยู่ในอากาศทำให้เกิดเป็นก๊าซโอโซน ดังรูปที่ 3 (ก) และ (ข)



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซน (ก) ด้านตามยาว (ข) ด้านตามขวาง

3.2 ชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซน

ชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซน มีส่วนประกอบ 4 ชั้นด้วยกันคือ ชั้นที่ 1 ชั้นในสุดเป็นอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วยท่อสเตนเลส ท่ออะลูมิเนียม ท่อทองแดง แผ่นเงินม้วนเป็นทรงกระบอก และแผ่นตะกั่วม้วนเป็นทรงกระบอก มีความยาว 12 เซนติเมตร หน้าตัด 1.28 เซนติเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 4) ชั้นที่ 2 ชั้นกลางเป็นหลอดแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) มีความยาว 16 เซนติเมตร หน้าตัด 1.56 เซนติเมตร ความหนา 1.4 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 5) ชั้นที่ 3 เป็นอิเล็กทรอนิกส์ชั้นนอกที่ทำจากตาข่ายอะลูมิเนียมพันรอบหลอดแก้ว ซึ่งมีความยาว 12.7 เซนติเมตร หน้าตัด 1.7 เซนติเมตร ความหนา 1 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 6) ชั้นที่ 4 เป็นท่อพีวีซีมีความยาว 44.5 เซนติเมตร หน้าตัด 3.4 เซนติเมตร มีความหนา 1.3 มิลลิเมตร (ดังรูปที่ 7)



รูปที่ 4 ลักษณะอิเล็กโทรดภายในชิ้นงานจริง (1) อิเล็กโทรดสแตนเลส (2) อิเล็กโทรดอะลูมิเนียม (3) อิเล็กโทรดทองแดง (4) อิเล็กโทรดเงิน (5) อิเล็กโทรดตะกั่ว



รูปที่ 5 ลักษณะหลอดแก้วชิ้นงานจริง



รูปที่ 6 ลักษณะอิเล็กโทรดตาข่ายด้านนอกชิ้นงานจริง



รูปที่ 7 ลักษณะหลอดผลิตโอโซนชิ้นงานจริง

3.3 การหาสนามไฟฟ้าที่หลอดแก้ว

- เมื่อ r_1 คือ รัศมีอิเล็กโทรดตรงในสุด = 0.64 cm
 r_2 คือ รัศมีหลอดแก้ววงกลาง = 0.78 cm
 r_3 คือ รัศมีอิเล็กโทรดตรงนอก = 0.85 cm
 l คือ ความยาว = 24 cm

ค่าที่แสดงคือค่าที่หลอดแก้วรวมกับค่าของแท่งอิเล็กโทรดด้านในเรียบร้อยแล้วโดยสามารถหาปริมาตรอากาศภายในหลอดแก้วได้จากสมการ (1) [5,7]

$$V = \pi(r_3 - r_2)^2 \times l \quad (1)$$

แทนค่าจะได้

$$\begin{aligned}
 V &= \pi \times (0.85 - 0.78)^2 \times 24 \\
 &= 3.142 \times (0.0085^2 - 0.0078^2) \times 0.24 \\
 &= 8.604 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \\
 &= 8.604 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

ที่ย่านพลังงาน 5.58 kW-h/m³ ถึง 7.73 kW-h/m³ ในอากาศมีออกซิเจน O₂ อยู่ 21 % จึงใช้ที่ย่านพลังงาน 1.172 – 1.620 kW-h/m³

ที่ย่านพลังงาน 1.172 kW-h/m³

$$\begin{aligned}
 W &= 1.172 \times 10^3 \times 8.604 \times 10^{-6} \\
 &= 0.010083 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

ที่ย่านพลังงาน 1.620 kW-h/m³

$$\begin{aligned}
 W &= 1.620 \times 10^3 \times 8.604 \times 10^{-6} \\
 &= 0.013938 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

การหาพลังงานสนามไฟฟ้าที่หลุดแกวสนามไฟฟ้า (E) สามารถหาได้จากสมการ (2) [1, 3-5]

$$W = \frac{1}{2} \int_{vol} \epsilon E^2 dV \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 E_{min} &= \sqrt{\frac{2W}{\epsilon vol}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 0.010083}{(8.854 \times 10^{-12})(8.604)}} \\
 &= 16.27 \text{ kV/cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_{max} &= \sqrt{\frac{2W}{\epsilon vol}} \\
 &= \sqrt{\frac{2 \times 0.013938}{(8.854 \times 10^{-12})(8.604)}} \\
 &= 19.129 \text{ kV/cm}
 \end{aligned}$$

ค่าที่ได้เป็นค่าโดยประมาณที่ 16.27 kV/cm - 19.129 kV/cm จะเห็นได้ว่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่หลอดแก้วนั้นจะเกิดขึ้นมากหรือเกิดขึ้นน้อย ขึ้นอยู่กับค่าความถี่และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง ส่วนค่าที่คำนวณได้มานั้นเป็นค่าโดยประมาณจากขนาดของหลอดโอโซน

3.4 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงแบบสวิตซ์ที่ออกแบบและสร้างขึ้น

การสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงแบบสวิตซ์ซึ่งโดยนำหลักการของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ใช้ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation) และใช้ไอซีเบอร์ TLP 250 เป็นตัวแยกกราวด์และทำการขยายสัญญาณโดยใช้ไอซีเบอร์ CD 4049 เพื่อนำไปขับเพาเวอร์มอสเฟสเบอร์ TRFP 460 ให้ทำงาน โดยการออกแบบวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ให้ทำงานที่ความถี่ 10 - 200 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันของหม้อแปลงฟลายแบคให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับตามที่กำหนด เพื่อจ่ายให้กับแท่งอิเล็กโทรดที่ใช้ในการผลิตก๊าซโอโซน (ดังรูปที่ 8)



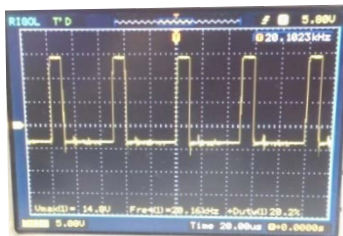
รูปที่ 8 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงที่สร้างขึ้น

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือการทดสอบเก็บผลทางไฟฟ้าและทางเคมี โดยการเก็บผลทางไฟฟ้าจะทำการวัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขาเกตและขาซอร์สของเพาเวอร์มอสเฟสที่ความถี่ 20 kHz ดิวตี้ไซเคิล 20% แรงดันเอาท์พุทของหม้อแปลงฟลายแบคโดยประมาณ 300V ที่ใช้ทดสอบอิเล็กโทรด ส่วนที่สองใช้วิธีทางเคมีในการตรวจสอบหาปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้ของแต่ละอิเล็กโทรด หลักการคือใช้สารละลายที่เกิดปฏิกิริยากับโอโซนในที่นี้ใช้สารโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) ทำให้ได้สารใหม่เกิดขึ้นจึงสามารถหาปริมาณโอโซนได้ โดยทำการไทเทรตกับสารละลายที่เป็นตัวรีดิวส์ คือ โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)

4.1 ผลการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขาเกตกับชาซอร์ส (V_{GS}) และขาเดรนกับซอร์ส (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟส โดยคงค่าความถี่ไว้ที่ 20 kHz

การวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขาเกตกับชาซอร์ส (V_{GS}) และขาเดรนกับซอร์ส (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟส โดยคงค่าความถี่ไว้ที่ 20 kHz แสดงดังรูปที่ 9 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 9 (ก) สัญญาณแรงดัน V_{GS} ที่เพาเวอร์มอสเฟส (ดิวตี้ไซเคิล 20 %) และ (ข) สัญญาณแรงดัน V_{DS} ที่ตกร้อมเพาเวอร์มอสเฟสขณะต่อโหลด

รูปที่ 9 (ก) เป็นรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกตและชาซอร์ส (V_{GS}) ของเพาเวอร์มอสเฟต โดยผลการทดสอบจะเห็นว่ารูปสัญญาณที่ได้เป็นรูปสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ปรับดิวตี้ไซเคิล 20 % และคงค่าความถี่ไว้ที่ 20 kHz ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการควบคุมการนำกระแสไฟฟ้าของเพาเวอร์มอสเฟตตามที่ต้องการ รูปที่ 9 (ข) เป็นรูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ตกร้อมชาเดรนและชาซอร์ส (V_{DS}) ของเพาเวอร์มอสเฟตที่มีค่าไม่เกินแรงดันไฟฟ้าที่ตกร้อมเพาเวอร์มอสเฟต (ดาต้าชีตมีค่า V_{DS} เท่ากับ 500 โวลต์) จึงทำให้เกิดความปลอดภัยต่อการใช้งานของเพาเวอร์มอสเฟต แต่อีกประการหนึ่งที่น่าสังเกต คือ ในรูปสัญญาณ V_{DS} ที่วัดได้นั้นจะมีรูปสัญญาณ Natural Frequency เข้ามาปนอยู่ด้วย จึงอาจจะส่งผลทำให้ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ตกร้อมเพาเวอร์มอสเฟตมีค่าไม่คงที่ คือ มีการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าอยู่ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างภายในเพาเวอร์มอสเฟตให้พังเสียหายได้

4.2 ผลการทดสอบทางเคมี

การหาปริมาณไอโชนที่ผลิตจากอิเล็กโตรดสแตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าการไทเทรต (Titration) หลักการคือการเกิดปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไอโชนกับสารละลายโปแตสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide: KI) 100 mL ได้สารใหม่เกิดขึ้น จากนั้นนำไปไทเทรตกับสารละลายที่เป็นตัวรีดิวซ์คือโซเดียมไทโอซัลเฟต (Sodium thiosulfate: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) แล้วเติมน้ำเบ้งเป็นอินดิเคเตอร์ สารละลายจะกลายเป็นสีน้ำ

เงินทำการไทเทรตจนสีน้ำเงินจางหายไปกลับมาสีอีกครั้ง แล้วทำการบันทึกค่าปริมาณโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เพื่อนำมาหาค่าปริมาณไอโอดีนต่อไปจากสมการ (3) [7]

$$\text{mgO}_3 / \text{L} = \frac{(A - B) \times M \times 24000}{\text{mL Sample (KI)}} \quad (3)$$

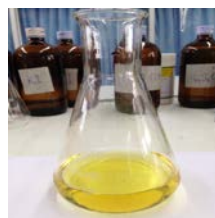
- โดยที่ A = ปริมาตรเป็น mL ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน (Standard Sodium thiosulfate titrant: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ผ่านไอโอดีนแล้ว
- B = ปริมาตรเป็น mL ของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน (Standard Sodium thiosulfate titrant: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ยังไม่ผ่านไอโอดีน
- M = ค่าความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตมาตรฐาน (Standard Sodium thiosulfate titrant: $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) = 0.1 M
- mL Sample = สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ (Potassium Iodide: KI) ที่ยังไม่ผ่านไอโอดีนปริมาณ = 100 mL

4.3 กระบวนการทดสอบหาปริมาณไอโอดีน

4.3.1 นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ โดยแบ่งมาปริมาณ 100 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้วนำไปผ่านก๊าซไอโอดีนเป็นเวลา 0.5 นาที ดังรูปที่ 10 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 10 สารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ ปริมาณ 100 mL ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL (ก) ก่อนผ่านไอโอดีน (ข) หลังผ่านไอโอดีน

4.3.2 นำสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ที่ผ่านไอโอดีนแล้วนำมาใส่กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid: H_2SO_4) ปริมาณ 5 mL เพื่อปรับค่า pH ให้ต่ำลง ดังรูปที่ 11 (ก) และ (ข)



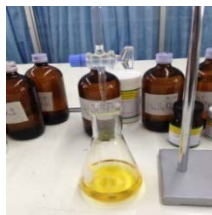
(ก)



(ข)

รูปที่ 11 กระบอกตวงบรรจุกรดซัลฟูริก ปริมาณ 5 mL เพื่อปรับค่า pH ให้ต่ำลง (ก) ก่อนใส่กรดซัลฟูริก (ข) หลังใส่กรดซัลฟูริก

4.3.3 ทำการไทเทรตสารละลายจากข้อ 4.3.2 ด้วยสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 M จนสารละลายเปลี่ยนสีเป็นสีฟางข้าวจึงใส่น้ำแป้ง (Starch indicator solution) ลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์บอกจุดยุติการไทเทรตที่แน่นอนดังรูปที่ 12 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 12 ทำการไทเทรต (ก) ทำการไทเทรตจนสารละลายปอดัสเซียมไอโอดด์เปลี่ยนสีเป็นสีฟางข้าว (ข) ใส่น้ำแป้งลงไปเพื่อบอกจุดยุติการไทเทรต

4.3.4 ไทเทรตสารละลายต่อจนแป้งและสารละลายสีจางหายไปแล้วทำการบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 M ที่ใช้ไป ดังรูปที่ 13 (ก) และ (ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 13 (ก) ใส่น้ำแป้งลงไปเพื่อทำหน้าที่เป็นอินดิเคเตอร์บอกจุดยุติการไทเทรต (ข) หลังทำการไทเทรตแล้วทำการบันทึกปริมาณสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้

4.3.5 ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 4.3.1 - 4.3.4 โดยเพิ่มระยะเวลาเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5 นาทีตามลำดับ

4.3.6 นำผลการทดลองปริมาตรสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ใช้ มาหาค่าปริมาณไอโชนที่ผลิตได้ (ppm) โดยใช้สมการที่ (3)

4.4 การหาปริมาตรการผลิตก๊าซไอโชนจากอิเล็กโทรดสแตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงิน และตะกั่ว ที่ขนาดแรงดันโดยประมาณ 300 V ความถี่ 20 kHz Duty Cycle 20 %

ปริมาตรของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อหาปริมาณก๊าซไอโชนจากอิเล็กโทรดสแตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงิน และตะกั่ว ที่ระยะเวลาในการผ่านก๊าซไอโชน 0.5, 1, 2, 3, 4 และ 5 นาที แสดงดังตารางที่ 1 และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าปริมาณไอโชนที่ผลิตได้ (ppm) โดยใช้สมการที่ (3) ผลแสดงดังตารางที่ 2

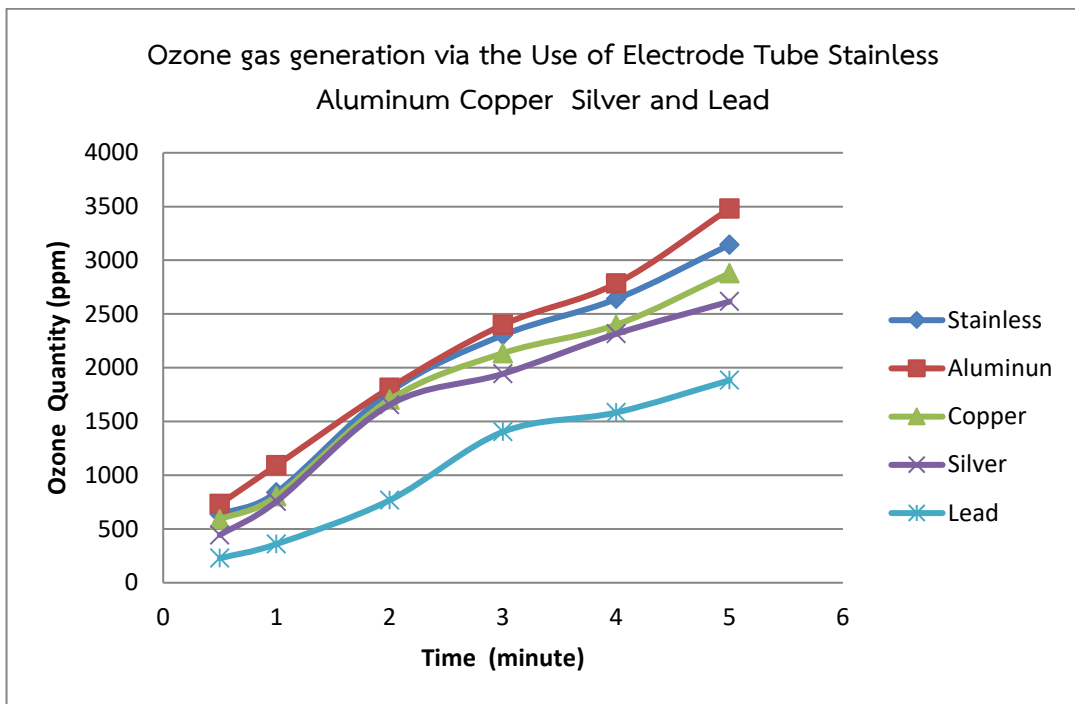
ตารางที่ 1 ปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการไทเทรต (mL) เพื่อหาปริมาณก๊าซไอโชนจากอิเล็กโทรด สแตนเลส อะลูมิเนียม ทองแดง เงินและตะกั่ว

ระยะเวลาที่สารละลาย KI ผ่าน ไอโชน (นาที) อิเล็กโทรดที่ใช้ผลิตไอโชน	ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการไทเทรต (mL)					
	0.5	1	2	3	4	5
สแตนเลส	28.5	37	76	98	112	133
อะลูมิเนียม	32.5	47.5	77.5	102	118	147
ทองแดง	26.6	35.5	73	91	102	122
เงิน	20.5	33.5	71	83	98.5	111
ตะกั่ว	11.5	17	34	60.5	68	80.5

หมายเหตุ: ปริมาตรของสารละลาย $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการไทเทรตกับสารละลาย KI ที่ยังไม่ผ่านไอโชน เท่ากับ 2 mL

ตารางที่ 2 ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากอิเล็กโทรดแต่ละชนิดที่ช่วงเวลาต่าง ๆ

เวลาที่ผ่านมาโอโซน (นาทิจ) อิเล็กโทรด	ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ที่ค่าเวลาต่าง ๆ (ppm)					
	0.5	1	2	3	4	5
สแตนเลส	636	840	1776	2304	2640	3144
อะลูมิเนียม	732	1092	1812	2400	2784	3480
ทองแดง	590.4	804	1704	2136	2400	2880
เงิน	444	756	1656	1944	2316	2616
ตะกั่ว	228	360	768	1404	1584	1884



รูปที่ 14 ปริมาณการผลิตก๊าซโอโซนที่ผลิต (ppm) เทียบกับเวลา

5. สรุป

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงแบบสวิตซ์ซึ่งที่สร้างขึ้นสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 250 โวลต์ ถึง 2 กิโลโวลต์ ซึ่งสามารถปรับแรงดันได้โดยการปรับความถี่และปรับดิวตี้ไซเคิลของ วงจรควบคุม งานวิจัยนี้ได้คงค่าความถี่ที่ 20 kHz ปรับดิวตี้ไซเคิลที่ 20% แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต

ประมาณ 300 โวลต์ จ่ายให้อิเล็กโตรดทั้งสองเพื่อเกิดปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จเกิดขึ้นในปริมาณที่เหมาะสมและปลอดภัยโดยการป้อนแรงดันเข้าไปแล้วไม่เกิดการเบรกตัวขึ้นที่แท่งอิเล็กโตรด แต่เกิดปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จ โดยจะเห็นแสงสีม่วง เสียง กลิ่น อยู่บริเวณผิวอิเล็กโตรดภายนอกที่สร้างจากอะลูมิเนียมตาข่าย ซึ่งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลก๊าซออกซิเจนในอากาศหลังจากนั้นอะตอมอิสระเหล่านี้จะรวมตัวเข้ากับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนมีปฏิกิริยาเข้าไปในหลอดผลิตโอโซนเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ที่ผลิตได้ออกมาใช้งาน ดังตารางที่ 2 สรุปได้ว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นการผลิตก๊าซโอโซนก็เพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกๆ อิเล็กโตรดในเวลา 5 นาทีการผลิตก๊าซโอโซนจากอิเล็กโตรดสเตนเลสได้เท่ากับ 3144 ppm อิเล็กโตรดอะลูมิเนียมได้เท่ากับ 3480 ppm อิเล็กโตรดทองแดงได้ เท่ากับ 2880 ppm อิเล็กโตรดเงินได้เท่ากับ 2616 ppm อิเล็กโตรดตะกั่วได้เท่ากับ 1884 ppm เมื่อทำการเปรียบเทียบการผลิตโอโซนจากอิเล็กโตรดทั้งห้าสามารถเรียงลำดับการผลิตโอโซนจากปริมาณมากไปหาปริมาณน้อยตามลำดับดังนี้ อิเล็กโตรดอะลูมิเนียม อิเล็กโตรดสเตนเลส อิเล็กโตรดทองแดง อิเล็กโตรดเงิน อิเล็กโตรดตะกั่ว จากการทดลองยังพบว่าอิเล็กโตรดบางชนิดเมื่อผ่านการใช้งานแล้วทำให้รูปร่างภายนอกเปลี่ยนไปเช่น อิเล็กโตรดตะกั่ว อิเล็กโตรดเงิน อิเล็กโตรดทองแดง ส่วนอิเล็กโตรดอะลูมิเนียมและอิเล็กโตรดสเตนเลสไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอกจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นอิเล็กโตรดในการผลิตก๊าซโอโซนได้อย่างมีคุณภาพ ผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการสร้างเครื่องผลิตโอโซนที่มีคุณภาพสูง ราคาไม่แพง ใช้งานในการแก้ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมและนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้มากมาย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ปัญญา มาลีวัตร มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ที่ให้ความรู้และคำปรึกษาต่างๆ ในการทำวิจัยจนบรรลุวัตถุประสงค์ ขอขอบพระคุณอาจารย์ณัฐ ร้อยพา ครูชำนาญการพิเศษ และอาจารย์สุภา คำมี แผนกวิชาสามัญสัมพันธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือและอำนวยความสะดวกในการทดสอบทางเคมีให้คำแนะนำและคำปรึกษาแก่ผู้จัดทำเป็นอย่างดี

References

- [1] Sanae Sathalalai and Werachet Khan-ngern. (2009). "The study of temperature effect in electrode rods for ozone generation". **KKU Engineering Journal**. Vol.36 (4): 323-331. (In Thai)
- [2] Piyaphong Sayakuean. (2012). **A study of Ozone Generator Using Design of Low frequency High Voltage Switching Source of Flyback Convertor**. A Thesis Master of

- Science in Industrial Education. Electrical Engineering. King Mongkut's University of Technology Thonburi. (In Thai)
- [3] Sudaporn Arampoon. (2002). **Design and Analysis of a Low-Power High-Voltage High-Frequency Ozone Generator using battery and solar cell as a common power supply**. Master of Engineering (Electrical Engineering). King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (In Thai)
- [4] Sisecrot Ketkaew. (2006). "Ozone Gas Generation Using High Voltage at High Frequency Electric Field". **UBU Academic Journal**. Vol.8 (3): 96-107. (In Thai)
- [5] Sisecrot Ketkaew and Werasak Wongviwat. (2004). "A Study of Switching Frequency Changing in Full Bridge Inverter of Ozone Generating Quantity". **Ladkrabang Engineering Journal**. Vol. 21 (4): 72-76. (In Thai)
- [6] Chartchai Sakaree, Boonmee Tangkayan, Danai Pomsung and Nuttapon Phantuna. (2013). "Design Machine with Corona Discharge of wastewater Treatment". **Proceedings of the 5th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET 2013)**. 27-29 March 2013. Hua Hin Grand Hotel&Plaza Prachuabkhirikhan : 485-488. (In Thai)
- [7] Puwanart Jongpasert, Maytha Sudsawas and Nunlutia Janpaijit. (2016). **Deodorizing Shoe-Cabine by Using Ozone**. A Thesis Bachelor of Engineering Program in Electronics Engineering. Southeast Asia University. (In Thai)

ประวัติผู้เขียนบทความ



บุญเลิศ สือเฉย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ และผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160 เบอร์โทรศัพท์: 02-8074500 ต่อ 312 E-mail: tdlert@hotmail.com



ชัยพิสิษฐ์ ผิวอ่อน ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ 19/1 ถนนเพชรเกษม เขต หนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160 เบอร์โทรศัพท์: 089-9001458 E-mail: nongch@hotmail.com ประวัติการศึกษา ปทสไฟฟ้า. สถาบัน เทคโนโลยีปทุมวัน ค.อ.บ. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ประวัติการทำงาน ปัจจุบันรับราชการครูวิทยาลัยเทคนิคสระบุรี งานวิจัยที่สนใจ การผลิตก๊าซโอโซนเพื่อแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม