

จุดเหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนา
(Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูง ความถี่สูง
THE OPTIMIZATION OF OZONE GENERATION WITH CORONA
DISCHARGE BY HIGH VOLTAGE HIGH FREQUENCY TECHNIQUE

อนุวัฒน์ สิงห์พันธุ์¹, ณัฐทิ ธิงสุข² และ หฤทศ อภิรัตน์³

Anuwat Singhapun, Nuttee Thungsuk, Harittapak Apirat

^{1,2}โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10600

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10600

Establishment Project of The Faculty of Engineering, Dhonburi Rajabhat University,

Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600

Faculty of Science and Technology, Dhonburi Rajabhat University,

Dhonburi, Bangkok, Thailand, 10600

Corresponding author E-mail: tummut555@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 15 มกราคม 2562

วันที่แก้ไขบทความ 8 กุมภาพันธ์ 2562

วันที่ตอบรับบทความ 19 เมษายน 2562

บทคัดย่อ

โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติที่ดีในการฆ่าเชื้อ โดยสามารถใช้ได้ทั้งในตู้กลางน้ำและอากาศ โดยทั่วไปโอโซนสามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ อย่างไรก็ตามสำหรับการประยุกต์ในการฆ่าเชื่อนั้นความเข้มข้นของโอโซนต้องมากกว่า 4 ppm ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตก๊าซโอโซนจากการใช้วิธีการปล่อยประจุแบบโคโรนา (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยแรงดันไฟฟ้าไม่ต่ำกว่า 10 kV ในขณะที่ความถี่อยู่ในช่วง 4-8 kHz ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่มีความเหมาะสมในการผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการประยุกต์ใช้งานด้านการฆ่าเชื้อ

คำสำคัญ: การปล่อยประจุแบบโคโรนา, หม้อแปลงฟลายแบค, สนามไฟฟ้า, โอโซน

Abstract

Ozone (O₃) is gas with good characteristic for disinfection application. It can be used to disinfect in air and water media. In general, it can be naturally found in the normal environment. However, for disinfection application, the ozone concentration must be over 4 ppm. Therefore, in this research the corona discharge method was performed to generate the ozone by using high voltage high frequency technique. The voltage was over 10 kV while the frequency was between 4-8 kHz. The results showed that this condition was suitable to generate enough ozone concentration for disinfection application.

Keywords: Corona Discharge, Flyback transformer, Electric field, Ozone

1. บทนำ

ในปัจจุบันการปนเปื้อนจากเชื้อโรคในอาหารหรือน้ำดื่มมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์เช่นโรคผิวหนังหรือภูมิแพ้ เป็นต้น ดังนั้นวิธีการป้องกันสุขภาพให้ปลอดภัยจากโรคดังกล่าวจำเป็นต้องลดการปนเปื้อนในอาหารหรือเครื่องดื่มโดยใช้การฆ่าเชื้อจากก๊าซโอโซน ซึ่งปกติก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่มีอยู่ในธรรมชาติและมีประโยชน์ต่อมนุษย์และมีการบันทึกไว้ว่าสามารถที่จะลดการปนเปื้อนจากเชื้อโรคได้ (Thabet *et al.*, 2007)

โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซโอโซนสามารถนำมาใช้เพื่อลดการปนเปื้อนจากกระบวนการผลิตน้ำดื่ม อีกทั้งยังถูกนำมาฆ่าเชื้อโรคที่ปะปนมากับอากาศเพื่อให้สิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์และสัตว์เลี้ยงมีสุขภาพที่ดีขึ้น (Johannes *et al.*, 2016) โดยมีรายงานว่าก๊าซโอโซนที่ระดับความเข้มข้นที่ 4-6 ppm. สามารถลดแบคทีเรียได้ประมาณ 99 เปอร์เซ็นต์ (Estreal *et al.*, 2006)

ก๊าซโอโซนประกอบไปด้วยอะตอมจำนวน 3 อะตอมที่เกิดจากออกซิเจนโดยมีสัญลักษณ์เป็น O₃ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรและสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ด้วยตัวเอง นอกจากนั้นก๊าซโอโซนสามารถที่จะทำปฏิกิริยาหรือการออกซิเดชัน (Oxidation) (Yu, W *et al.*, 2016) ซึ่งมีผลทำให้ก๊าซโอโซนดังกล่าวสามารถเข้าไปโจมตีเซลล์ได้อย่างรวดเร็วและรุนแรง โดยมีการบันทึกไว้ว่าก๊าซโอโซนสามารถที่จะเข้าไปทำลายหรือฆ่าเชื้อได้ (Mohd *et al.*, 2016)

สำหรับการเกิดโอโซนนั้นสามารถที่จะทำให้เกิดขึ้นได้จากการที่ทำให้เกิดการแยกตัวของก๊าซออกซิเจนเป็นออกซิเจนอะตอมสองอะตอมหรือที่เรียกว่าออกซิเจนราดิคอล ซึ่งออกซิเจนราดิคอลดังกล่าวจะเข้าไปรวมกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ปกติในอากาศจึงกลายเป็นออกซิเจนที่มีสามอะตอมซึ่งก็คือก๊าซโอโซน (Afia *et al.*, 2016) โดยการผลิตออกซิเจนราดิคอลนั้นสามารถที่จะผลิตได้จากการให้สนามไฟฟ้าที่มีค่าความเข้มสูงในอากาศ ซึ่งจะมีอิเล็กตรอนเข้าไปกระตุ้นและทำให้เกิดการแยกตัว

กลายสภาพเป็นออกซิเจนราติคอล (Junhong, C. & Jane, H. D., 2002)

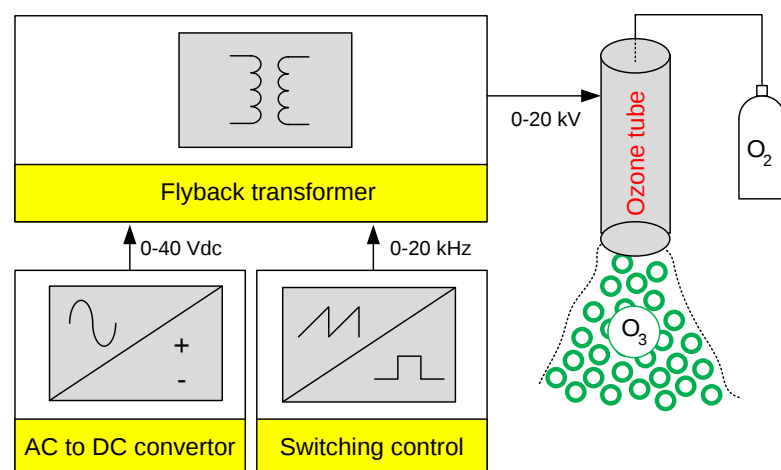
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งการปล่อยประจุแบบโคโรน่าเกิดจากการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงจากหม้อแปลงไฟฟ้าและความถี่สูงจากวงจรสวิทชิง โดยเก็บผลการเกิดโอโซนจากโอโซนมิเตอร์

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อนำเสนอวิธีประเมินจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า (Corona discharge) ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 5 ส่วนด้วยกันประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า (Ac to DC convertor) วงจรสร้างความถี่สูง (Switching control circuit) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (Flyback transformer) หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone tube) และถังก๊าซออกซิเจน โดยก๊าซโอโซนที่ได้จากเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงจะถูกทำการวัดด้วยมิเตอร์สำหรับการวัดปริมาณโอโซน (Ozone meter) เพื่อทำการวิเคราะห์

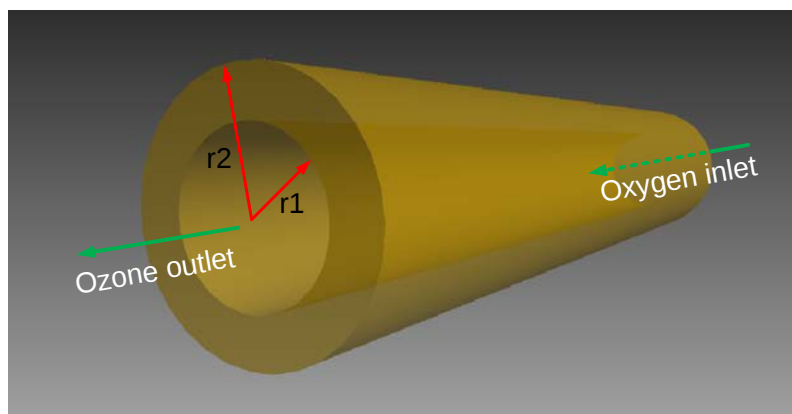


ภาพที่ 1 ไดอะแกรมเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง

สำหรับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าจะทำการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-40 โวลต์ เพื่อให้เหมาะสมกับแรงดันทางด้านขาเข้าของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ส่วนวงจรสร้างความถี่สูงของเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่านั้นถูกออกแบบโดยใช้วงจรรวม (Integrated circuit, IC) เบอร์ TL494 สำหรับเป็นตัวสร้าง Pulse Width Modulation (PWM) เพื่อการควบคุมการสวิทช์ของอุปกรณ์ โดยที่ IGBT เบอร์ IRG4PC50UD จะถูกนำมาใช้สำหรับการสวิทช์ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ซึ่งสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนาด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงจะทำการออกแบบให้ความถี่ของการสวิทช์ปรับได้ตั้งแต่ 0-20 kHz เพื่อวิเคราะห์ถึงก๊าซโอโซนที่ผลิตออกมาจากเทคนิคดังกล่าว

แรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงที่ถูกส่งออกไปที่หลอดโอโซนนั้นจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงเป็นอุปกรณ์สำหรับผลิตแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนาด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านแรงสูงของหม้อแปลงเป็น 5-20 kV จากแรงดันไฟฟ้าด้านแรงต่ำที่ปรับค่าได้ตั้งแต่ 0-40 โวลต์ ซึ่งใช้หม้อแปลงแรงสูงเบอร์ TLF14511F โดยหม้อแปลงดังกล่าวจะมีสำหรับต่อความถี่ที่เกิดจากการสวิทช์ของวงจรสร้างความถี่สูง

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซนสำหรับเครื่องผลิตโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนาด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม (Coaxial Cylindrical) ซึ่งหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซนนั้นจะมีขั้วไฟฟ้าสำหรับต่อกับทางด้านหม้อแปลงแรงดันสูงที่ถูกออกแบบให้มีแรงดันไฟฟ้าที่ 5-20 kV และความถี่ที่ 0-20 kHz โดยจะมีท่อด้านเข้าสำหรับการนำก๊าซออกซิเจนจากถังต่อเข้าไปที่หลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซน และก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะออกมาที่อีกด้านหนึ่งของหลอดโอโซน



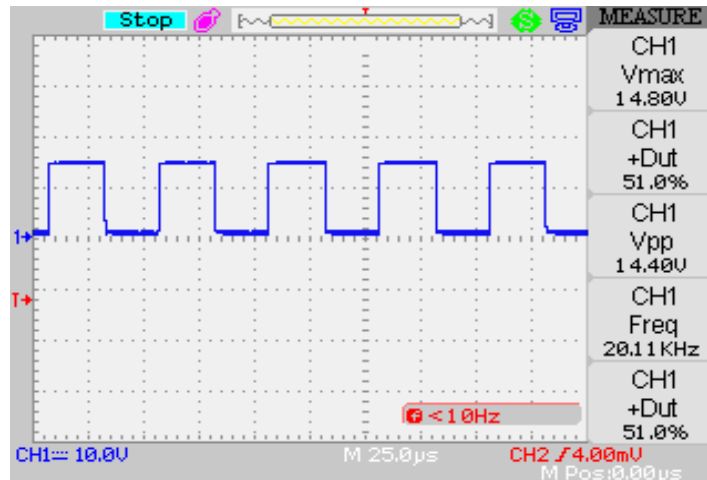
ภาพที่ 2 แสดงลักษณะของหลอดสำหรับผลิตก๊าซโอโซน

สำหรับการทดสอบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงซึ่งจะมีการวัดและทดสอบอยู่ทั้งสิ้น 3 ประเด็นด้วยกันได้แก่การวัดความถี่ที่ได้จากวงจรสร้างความถี่สูงด้วย PWM ซึ่งการวัดความถี่ดังกล่าวจะใช้ดิจิทัลออสซิลอสโคป (Digital oscilloscope) ยี่ห้อ ALP รุ่น ALP1102CM สำหรับการตรวจสอบความถี่ที่ให้กับเครื่องผลิตโอโซน นอกจากนั้นจะมีการวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่สร้างขึ้นจากหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะใช้มัลติมิเตอร์ยี่ห้อ Sunwa รุ่น 360TRE-L-B เป็นเครื่องมือวัดไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงเข้ามาช่วย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากหม้อแปลงมีแรงดันที่สูงเกินย่านการวัดของมัลติมิเตอร์ สำหรับการวัดปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนได้ทำการใช้เครื่องวัดก๊าซโอโซนโดยเฉพาะจากมิเตอร์โอโซนรุ่น GS100-O33 โดยให้จุดที่ทำการวัดห่างจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนประมาณ 5 cm. ซึ่งมิเตอร์ดังกล่าวจะแสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ในหน่วย ppm.

ปริมาณโอโซนที่ได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซนจะถูกปรับเปลี่ยนตัวแปรด้านอินพุตอยู่ 2 ค่า นั่นคือแรงดันไฟฟ้าและความถี่ โดยที่ในขั้นตอนแรกจะทำการปรับความถี่จากวงจรสร้างความถี่สูงที่ 0 - 20 kHz ในขณะที่มีแรงดันไฟฟ้าก่อนเข้าหม้อแปลงเป็น 40 V ตลอดการทดลอง หลังจากนั้นจะทำการปรับแรงดันไฟฟ้าโดยเริ่มจาก 0 - 20 kV ในขณะที่ความถี่ได้ถูกควบคุม เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้

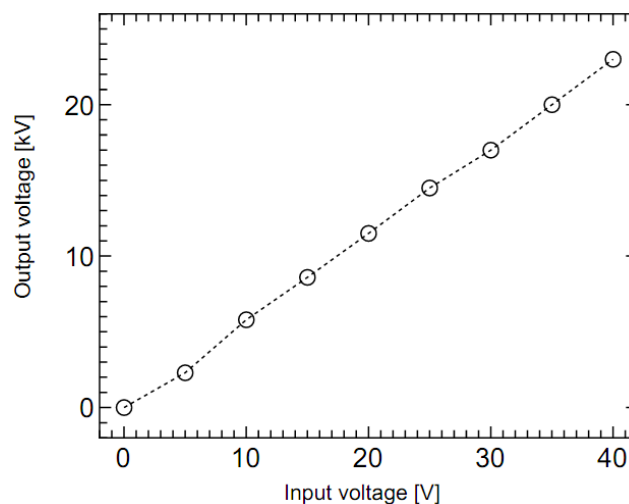
4. ผลการวิจัย

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างของรูปคลื่นจาก PWM ด้วยดิจิทัลออสซิลอสโคป โดยทำการปรับความถี่สำหรับการทดสอบที่ 20 kHz ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าถูกควบคุมไว้ ซึ่งสามารถสังเกตได้ว่าความถี่ที่วัดได้จากดิจิทัลออสซิลอสโคปมีค่าเป็น 20.11 kHz ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่ที่จ่ายออกไปจากวงจรสร้างความถี่สูง โดยผลการทดสอบสามารถยืนยันได้เป็นอย่างดีว่าความถี่ที่ได้จากวงจร PWM สามารถที่จะผลิตและจ่ายให้กับหม้อแปลงแรงดันสูงเพื่อทำการผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงได้



ภาพที่ 3 ตัวอย่างของรูปคลื่นจาก PWM ด้วยดิจิทัลลอจิกชิป

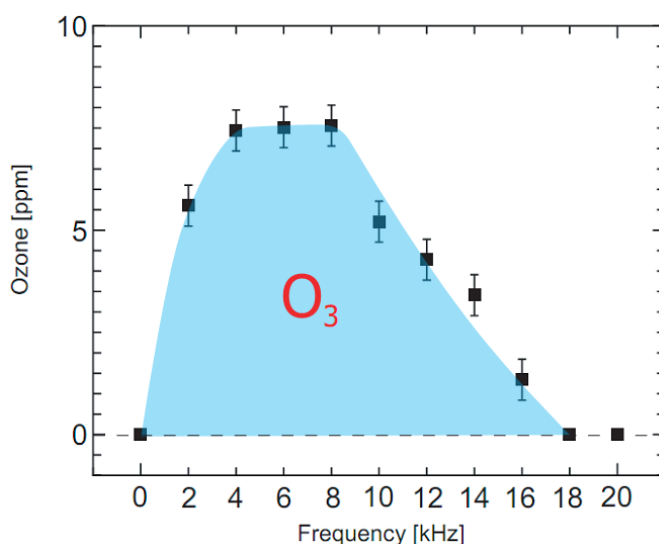
ภาพที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่หม้อแปลงแรงดันสูง โดยทำการวัดแรงดันขาออกด้วยมัลติมิเตอร์ที่ใช้เทคนิคการวัดแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อทำการบันทึกค่า โดยมีการปรับแรงดันทางด้านขาเพิ่มขึ้นครั้งละ 5 V จาก 0-40 V ซึ่งพบได้ว่าแรงดันทางด้านขาออกมีการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้นจาก 0-23 kV ซึ่งจากผลของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกสามารถที่จะยืนยันอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงแรงดันสูงเบอร์ TLF14511F ได้เท่ากับ 1:571



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาเข้ากับแรงดันขาออกที่หม้อแปลงแรงดันสูง

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซไอโซนกับความถี่ที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ของเครื่องผลิตก๊าซไอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่าด้วยเทคนิค

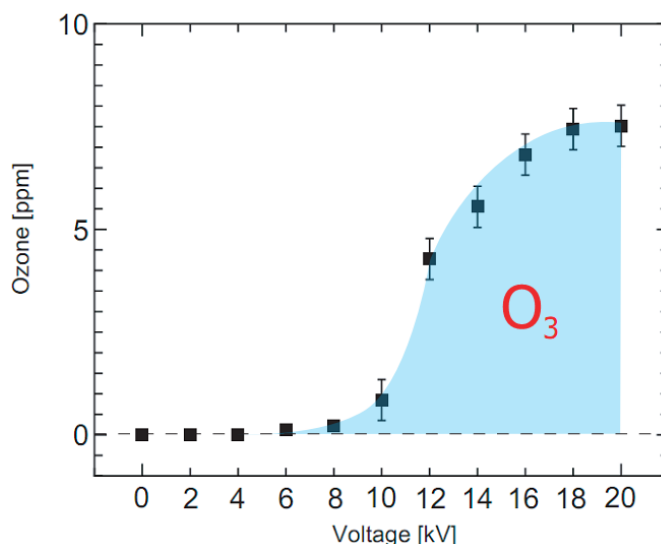
แรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง ซึ่งมีการปรับค่าความถี่ครั้งละ 2 kHz จาก 0-20 kHz ซึ่งพบได้ว่าในช่วงแรงของการปรับความถี่เป็น 2-4 kHz ด้วยวงจรสร้างความถี่สูง สามารถที่จะผลิตก๊าซโอโซนได้ประมาณ 5-6 ppm. จากนั้นเมื่อปรับความถี่เพิ่มขึ้นจาก 4-10 kHz จะเป็นช่วงที่ปริมาณของก๊าซโอโซนสามารถผลิตออกมาได้มากที่สุดประมาณ 7 ppm. นอกจากนั้นในช่วงความถี่ดังกล่าวปริมาณของก๊าซโอโซนจะมีความเป็นเชิงเส้นอีกด้วย โดยพบว่าที่ค่าความถี่ที่ 8 kHz จะมีปริมาณโอโซนมากที่สุดเป็น 7.56 ppm. แต่ในทางกลับกันเมื่อปรับความถี่จาก 10 kHz ถึง 20 kHz จะพบว่าปริมาณโอโซนมีค่าลดลงและไม่สามารถผลิตปริมาณก๊าซโอโซนได้เมื่อความถี่มีค่ามากกว่า 18 kHz เนื่องจากหม้อแปลงแรงดันสูงนี้อาจจะไม่สามารถทำงานที่ระดับความถี่สูงเกินได้ จึงเป็นผลทำให้การผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนาด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงมีข้อจำกัดในการให้ความถี่ไม่เกิน 18 kHz



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับความถี่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

ภาพที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง ของเครื่องผลิตก๊าซโอโซนด้วยวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรนาด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูง โดยมีการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าครั้งละ 2 kV จาก 0-20 kV ซึ่งพบได้ว่าเมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 0-10 kV จะไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้จากเครื่องผลิตก๊าซโอโซน แต่กลับพบว่าเมื่อทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 10 kV จะส่งผลให้มีปริมาณโอโซนเกิดขึ้น โดยพบว่าในช่วงแรงดันไฟฟ้าที่ 12 kV จะทำให้มีปริมาณโอโซนประมาณ 4 ppm. นอกจากนั้นเมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าจาก 14 kV และ 16 kV จะมีปริมาณโอโซนประมาณ 5.3 ppm. และ 6.8 ppm. ตามลำดับ โดยที่ปริมาณโอโซนจะเริ่มมีการคงที่ประมาณ 7.5 ppm. เมื่อแรงดันไฟฟ้ามีค่า 18-20 kV

ซึ่งคาดว่าปริมาณโอโซนน่าจะเริ่มคงที่ที่ประมาณ 7.5 ppm. เมื่อให้แรงดันมากกว่า 20 kV



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของก๊าซโอโซนกับแรงดันไฟฟ้าที่ให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูง

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยเรื่องการศึกษาการศึกษาหาจุดที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซโอโซนจากวิธีการการปล่อยประจุแบบโคโรน่า ด้วยเทคนิคแรงดันไฟฟ้าสูงความถี่สูงสำเร็จไปด้วยดีจากผลการวิเคราะห์ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันสูงที่จ่ายตั้งแต่ 0-20 kV และความถี่ที่สูงที่ป้อนให้กับหลอดสำหรับผลิตโอโซนตั้งแต่ 0-20 kHz ซึ่งพบว่าปริมาณโอโซนที่มีค่าสูงสุดที่สามารถผลิตได้มีค่าเป็น 7.56 ppm. จากการจ่ายความถี่ที่ 8 kHz โดยที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ 20 kV

จากผลการปรับเปลี่ยนความถี่เพื่อวิเคราะห์ปริมาณก๊าซโอโซน พบว่าช่วงของความถี่ประมาณ 4-8 kHz เป็นช่วงที่ทำให้มีปริมาณก๊าซโอโซนที่สูงกว่าช่วงความถี่อื่นๆ นอกจากนั้นยังพบว่าในขณะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่า 10 kV จะไม่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้เนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยซึ่งทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเข้าไปประทะกับโมเลกุลของออกซิเจนจึงส่งผลให้อะตอมของออกซิเจนไม่มีการแตกตัวเป็นออกซิเจนราดิคอลเพื่อที่จะไปสร้างพันธะเป็นก๊าซโอโซนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผศ.ดร.ณัฐทิ์ ถึงสุข โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ สำหรับคำปรึกษา และอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

ผู้เขียนขอขอบคุณห้องปฏิบัติการพลาสมา โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี สมุทรปราการ สำหรับสถานที่ที่ใช้ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Afia, B., Stephane, S., & Monique, L. (2016). Combined effect of antimicrobial coatings, gamma radiation and negative air ionization with ozone on *Listeria innocua*, *Escherichia coli* and mesophilic bacteria on ready-to-eat cauliflower florets. **Postharvest Biology and Technology**, 118, 134–140
- Estreal, C., Estrela, C. R., Silva, J. A., & Bammann, L.L. (2006). Antimicrobial potential of ozone in an ultrasonic cleaning system against *Staphylococcus aureus*. **Brazilian Dental Journal**, 134-138
- Johannes, A., Gregor, K., Andreas, D., Arne, W., & Thomas, S. (2016). Ozone treatment of conditioned wastewater selects antibiotic resistance genes, opportunistic bacteria, and induce strong population shifts. **Science of the Total Environment**, 559, 103–112.
- Junhong, C., & Jane, H. D. (2002). **Ozone production in the positive DC corona discharge**. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 22, 495-522
- Mohd, N. N., Lee, B.K., Yap, S.S., Thong, K.L., & Yap, S.L. (2016). Cold plasma inactivation of chronic wound bacteria, **Archives of Biochemistry and Biophysics**, 605, 76-85
- Thabet, S. S., Thabet, H. S., & Atalla, S. S. (2007). Efficacy of medical ozone in attenuation of murine *Schistosomiasis mansoni* infection morbidity. **J Egypt Soc Parasitol**, 37, 915-944.
- Yu, W., Graham, Nigel J. D., & Fowler, D. G. (2016). Coagulation and oxidation for controlling ultrafiltration membrane fouling in drinking water treatment: Application of ozone at low dose in submerged membrane tank. **Water Research**, 95, 1-10