54197

เครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
Ozone Generated Apparatus Using Corona Discharge Method for Water Treatment

ธงชัย คล้ายคลึง[1]

Received: January 7, 2008; Accepted: September 1, 2008

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของสนามไฟฟ้าต่อการสร้างก๊าซโอโซน เพื่อนำไปออกแบบและสร้างเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จสำหรับการบำบัดน้ำเสีย การออกแบบสร้างเครื่องสร้างก๊าซโอโซนแบบคอโรนาดิสชาร์จ มีส่วนประกอบทั้งหมดอยู่สามส่วน ได้แก่ การออกแบบระบบการเตรียมอากาศแห้ง การออกแบบและสร้างชุดหลอดสร้างก๊าซโอโซน และชุดสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงพิกัด 10.43 กิโลโวลต์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการออกแบบสร้างเครื่องสร้างก๊าซโอโซนแบบคอโรนาดิสชาร์จพบว่า สามารถสร้างก๊าซโอโซนได้ และสามารถนำไปบำบัดน้ำเสียปริมาณ 1 ลิตร ทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เพิ่มขึ้น มีค่าเท่ากับ 5.2 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร โดยใช้เวลาในการบำบัดเท่ากับ 5 นาที

คำสำคัญ: เครื่องสร้างก๊าซโอโซน, อิเล็กโทรดแบบขนแปรง, คอโรนาดิสชาร์จ, การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

This paper presents a study of electric field and ozone generation for the design and construction of a gas ozone generating unit for water treatment. The unit can be divided into three parts. The first part is the air filter system. The second part is the corona discharge chamber and the third part is the high voltage generator capable of producing 10.43 kV. The test result showed that within 5 minutes, the dissolved oxygen level (DO) was successfully increased to 5.2 mg/l level.

Keyword: Ozone generated apparatus, Brush electrodes, Corona discharge, Water treatment

[1] *สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์*
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทร. 0-4425-2659 โทรสาร 0-4425-2659 E-mail: kk_thongchai@hotmail.com

1 คำนำ

ความเจริญเติบโตด้านเทคโนโลยี เศรษฐกิจและสังคมของทุกๆ ประเทศในโลกนี้กำลังดำเนินไปอย่างไม่หยุดยั้ง จึงทำให้มลภาวะต่างๆ เพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัวเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นแหล่งน้ำลำคลองที่เน่าเสีย อากาศที่เราหายใจมีมลพิษเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าทรัพยากรเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นทรัพยากรที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตทั้งสิ้น และมลภาวะเหล่านั้นส่วนใหญ่มักจะเกิดจากการกระทำของมนุษย์และโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัญหาน้ำเสียเนื่องจากการทิ้งขยะหรือสิ่งปฏิกูลลงในแม่น้ำลำคลอง การปล่อยน้ำเสียโดยไม่บำบัดให้เป็นน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งวิธีการบำบัดน้ำเสียนั้นกระทำได้หลากหลายวิธี เช่น การใช้กังหันเติมออกซิเจนในน้ำ ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าพลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากมอเตอร์มีพิกัดกำลังสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้น เพื่อต้องการนำเสนอแนวทางการสร้างเครื่องบำบัดน้ำเสีย โดยใช้หลักการสร้างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงพิกัด 10.43 กิโลโวลต์ จ่ายเข้าที่ขั้วอิเล็กโทรดแบบขนแปรงทำให้เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าสูงที่บริเวณปลายขนแปรงจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์คอโรนาดิสชาร์จ และเมื่อมีอากาศแห้งไหลผ่านเข้าไปบริเวณรอบๆ อิเล็กโทรด ทำให้โมเลกุลของออกซิเจน (O_2) ในอากาศนั้นเกิดการแตกตัว แล้วรวมตัวกันใหม่ กลายเป็นโมเลกุลของโอโซน (O_3) จากนั้นจึงนำเอา โอโซนที่ได้ไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียต่อไป

2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1) ศึกษาวิธีการผลิตโอโซนด้วยหลักการคอโรนาดิสชาร์จ

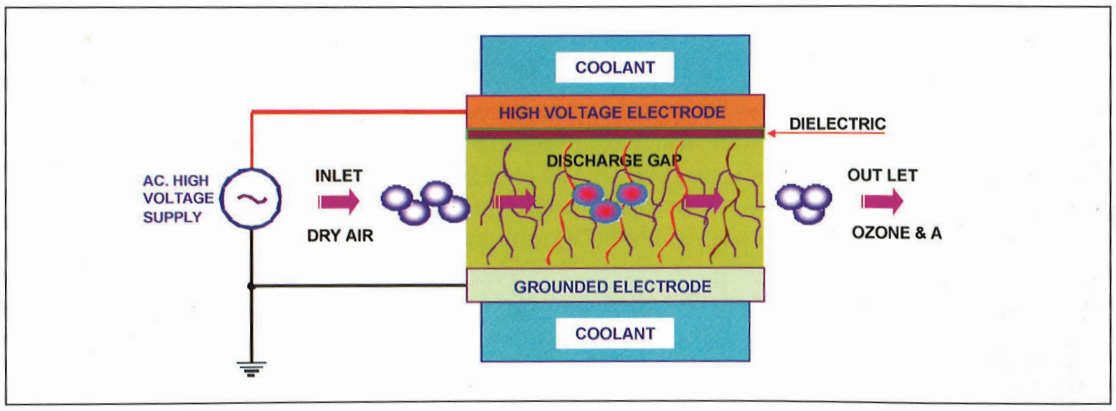
2) ออกแบบและสร้างหลอดผลิตก๊าซโอโซนโดยหลักการทำให้เกิดคอโรนาดิสชาร์จ

3) ใช้เป็นเครื่องต้นแบบสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 หลักการเกิดโอโซนแบบคอโรนาดิสชาร์จ

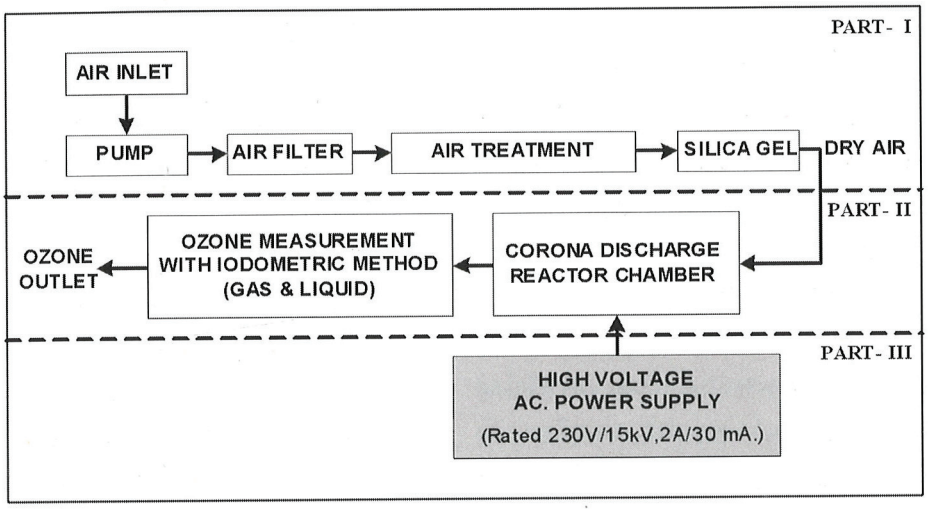
การออกแบบเครื่องสร้างก๊าซโอโซน จะใช้หลักการจ่ายแรงดันสูงที่ได้จากเครื่องสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูงให้กับขั้วอิเล็กโทรดแบบขนแปรงที่อยู่ระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด ซึ่งมีไดอิเล็กทริกและช่องว่างอากาศคั่นกลางทำหน้าที่เป็นฉนวน และเมื่ออากาศแห้งเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างอากาศนี้ จะทำให้เกิดการแตกตัวเนื่องจากความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เป็นผลให้อากาศเริ่มเกิดการไอออนไนเซชันเกือบจะถึงสภาวะแรงดันเบรกดาวน์ แต่เนื่องจากการออกแบบได้ทดลองและเลือกใช้วัสดุที่ทำไดอิเล็กทริกให้สามารถทนต่อสภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงนี้ได้ จึงทำให้เกิดเพียงปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คอโรนาดิสชาร์จขึ้นตรงบริเวณช่องว่างอิเล็กโทรด ทำให้อากาศแห้งที่มีออกซิเจนที่เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างอิเล็กโทรดนั้นกลายเป็นก๊าซโอโซนขึ้นมาได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ

3.2 การออกแบบเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ

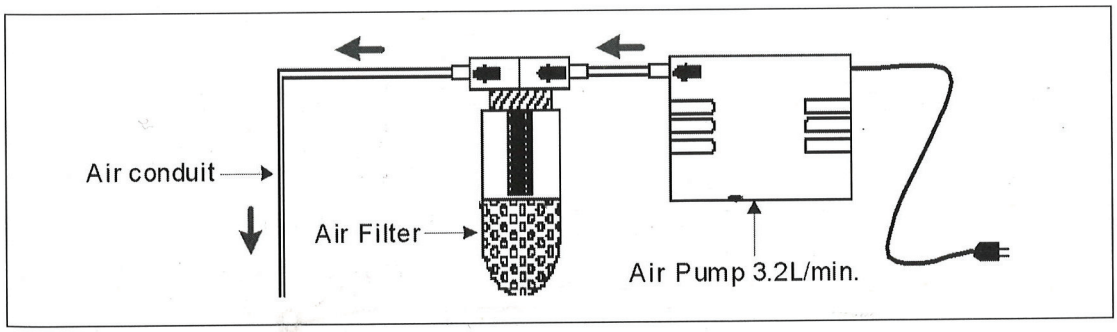
การออกแบบเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 3 ประการซึ่งได้แก่ ส่วนแรกเป็นการออกแบบระบบการเตรียมอากาศแห้ง ส่วนที่สองเป็นการออกแบบสร้างชุดหลอดสร้างก๊าซโอโซนและในส่วนที่สามเป็นชุดสร้างไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ซึ่งส่วนประกอบทั้งสามประการที่กล่าวมาจะต้องมีการทำงานที่สัมพันธ์กัน โดยเริ่มต้นที่กระบวนการเตรียมอากาศแห้ง การสร้างปรากฏการณ์ทำให้เกิดคอโรนาดิสชาร์จจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ

3.2.1 ระบบการเตรียมอากาศแห้ง

ได้ออกแบบเลือกใช้ระบบการเตรียมอากาศแห้งชนิดเดียวกับที่ใช้ในระบบนิวเมติกส์ เนื่องจากสะดวกและจัดหาง่าย ซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์กรองอากาศ (Air Filter) เพื่อการกำจัดฝุ่นละอองและใช้ซิลิกาเยลสำหรับดูดความชื้นออกจากอากาศดังแสดงในรูปที่ 3 ทำให้ได้อากาศมีความชื้นลดลง โดยใช้ต้นกำลังเป็นเครื่องอัดอากาศ (Air Pump) ด้วยอัตราการไหลคงที่ที่ 3.2 ลิตร/นาที ทำให้อากาศนั้นไหลผ่านท่อซิลิโคน (ซึ่งท่อนี้มีคุณสมบัติที่สามารถทนต่อปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนได้) ผ่านเข้ามายังชุดหลอดสร้างก๊าซโอโซนแบบคอโรนาดิสชาร์จ

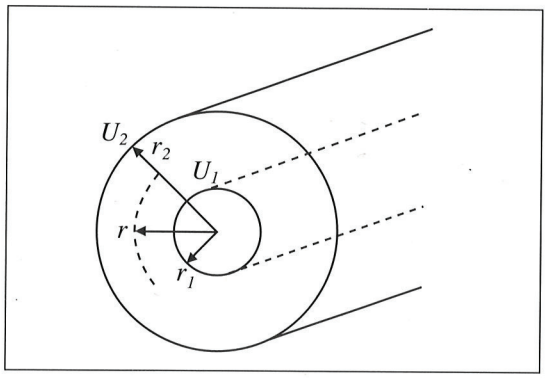


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของระบบการเตรียมอากาศแห้ง

3.2.2 หลอดสร้างก๊าซโอโซน

การออกแบบได้เลือกอิเล็กโทรดที่ไม่สม่ำเสมอสูง [1] มีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนศูนย์กลางร่วม โดยเลือกวัสดุทรงกระบอกชั้นนอกเป็นท่อสเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผิวด้านในเท่ากับ 29 มิลลิเมตรเป็นอิเล็กโทรดกราวด์ และเลือกใช้วัสดุทรงกระบอกชั้นในเป็นแท่งแปรงทองเหลืองทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 13 มิลลิเมตร เป็นอิเล็กโทรดที่ต่อเข้ากับแรงดันสูง โดยมีท่อแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผิวด้านในเท่ากับ 23 มิลลิเมตร ทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการเบรกดาวน์ระหว่างอิเล็กโทรดขนแปรงกับท่อสเตนเลส (อิเล็กโทรดกราวด์)

อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนศูนย์กลางร่วมเส้นฟลักซ์ไฟฟ้าจะอยู่ในแนวรัศมี [1] จากรูปที่ 4 เมื่อระยะอิเล็กโทรดชั้นนอกมีรัศมี r_2 และระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรดชั้นนอกและชั้นใน (d) มีค่าเท่ากับ $r_2 - r_1$ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง (มีค่าเข้าใกล้จุดเบรกดาวน์) ให้กับอิเล็กโทรดทั้งสองโดยมีช่องว่างอากาศและแท่งแก้วทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริก จะเกิดคอโรนาดิสชาร์จขึ้นที่บริเวณอิเล็กโทรด ขนแปรงนั้นทำให้อากาศที่มีออกซิเจน (O_2) อยู่ภายใต้สภาวะความเครียดสนามไฟฟ้าสูง จึงทำให้ออกซิเจน (O_2) เหล่านั้นเกิดการแตกตัวกลายเป็น O_1 และ หลังจากนั้นจะรวมตัวกันใหม่กลายเป็นก๊าซโอโซน (O_3) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปแบบอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนศูนย์กลางร่วม

หลักการออกแบบหลอดสร้างก๊าซโอโซนเลือกใช้ไดอิเล็กทริกฉนวนต่างชนิดซ้อนกัน ดังนั้นการออกแบบสร้างชุดหลอดสร้างก๊าซโอโซน (Reactor Chamber) จึงต้องวางฉนวนระหว่างผิวอิเล็กโทรด ให้รอยต่อของฉนวนอยู่บนผิวศักย์ไฟฟ้าเท่า เพื่อหลีกเลี่ยงความเครียดสนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนแต่ละชั้นจะมีค่าตามทฤษฎีความเครียดสนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อ ต่างชนิดกัน [1] ตามสมการดังนี้

$$E_1 = \frac{U}{d_1} \times \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \times \frac{d_2}{d_1}\right)\right)} \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{\left(U \times \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}{d_1\left(1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \times \frac{d_2}{d_1}\right)\right)} \quad (2)$$

เมื่อ E_1 = ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าชั้นแรก (ส่วนที่เป็นอากาศ) (kV/cm.)

E_2 = ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าชั้นที่สอง (ส่วนที่เป็นแก้ว) (kV/cm.)

U = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อิเล็กโทรด (kV.)

d_1 = ค่าความหนาของฉนวนชั้นแรก (cm.)

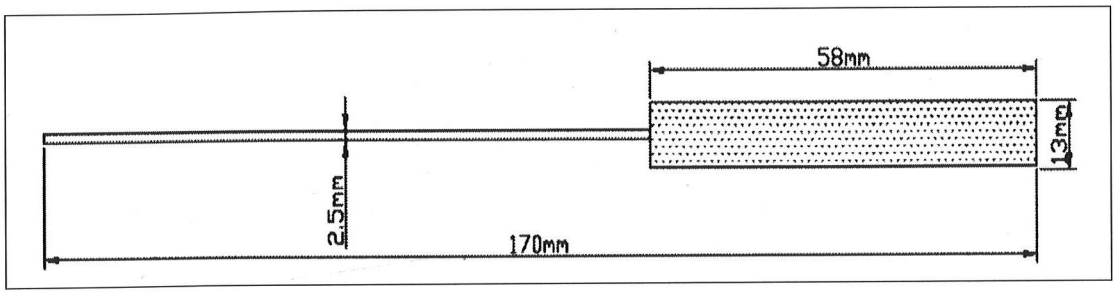
d_2 = ค่าความหนาของฉนวนชั้นชั้นที่สอง (cm.)

ε_1 = ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของฉนวน ที่เป็นอากาศ [1] (at 50Hz.)

ε_2 = ค่าเปอร์มิตติวิตี้ของฉนวนที่เป็นแก้ว [1] (at 50Hz.)

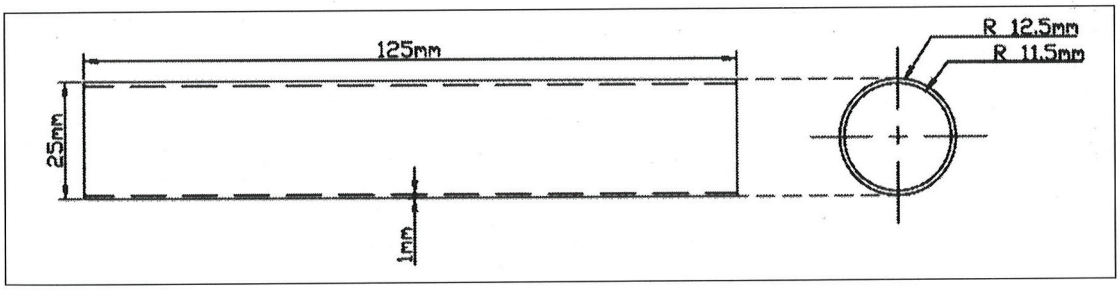
จะเห็นได้ว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้า E_1 จะมากกว่า E_2 ตามอัตราส่วน $\varepsilon_2/\varepsilon_1$ เมื่อ $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ และถ้าเปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่าถ้าใส่ฉนวนที่มีค่า ε ต่ำ ยิ่งบาง สนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงขึ้น

1) การออกแบบอิเล็กโทรดชั้นใน ออกแบบเป็นอิเล็กโทรดแบบขนแปรง (Brush Electrodes) มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ยาว 58 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 5 ซึ่งเป็นส่วนที่รับไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันสูง ซึ่งอิเล็กโทรดแบบขนแปรงนี้จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแบบไม่สม่ำเสมอสูง [1] ดังนั้นจึงทำให้คอโรนาเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง และเกิดขึ้นที่ระดับแรงดันต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวน์ของไดอิเล็กทริกแท่งแก้วที่ออกแบบไว้



รูปที่ 5 อิเล็กโทรดแบบขนแปรงที่ออกแบบสร้าง

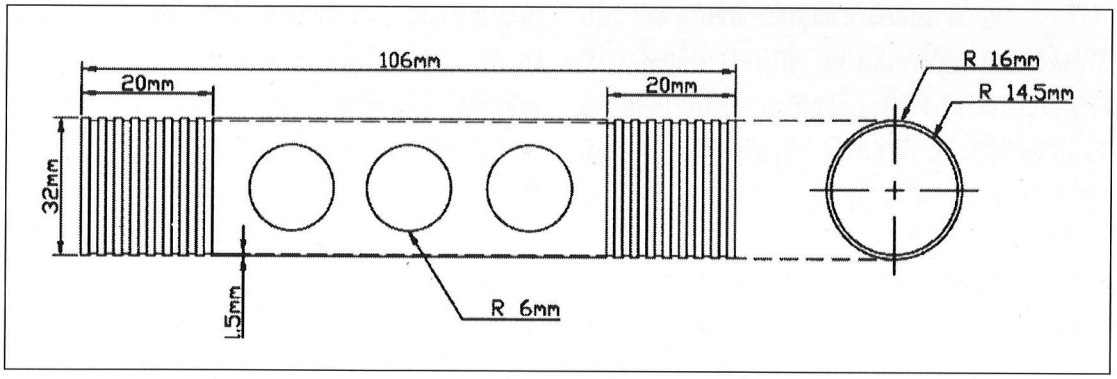
2) การออกแบบไดอิเล็กทริก ออกแบบเป็นแก้ว (Glass Dielectric) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปลายเปิดทั้งสองด้าน เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร และหนา 1 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 6 ซึ่งทำหน้าที่เป็นไดอิเล็กทริกชั้นที่ 2 รองจากอากาศที่ถูกดูดผ่านเข้ามายังช่องว่างอากาศแล้วทำให้อากาศเกิดการแตกตัวเนื่องจากความเครียดสนามไฟฟ้าสูง เป็นผลให้อากาศเริ่มเกิดไอออนไนเซชันและเกิดคอโรนาดิสชาร์จที่บริเวณปลายอิเล็กโทรดขนแปร



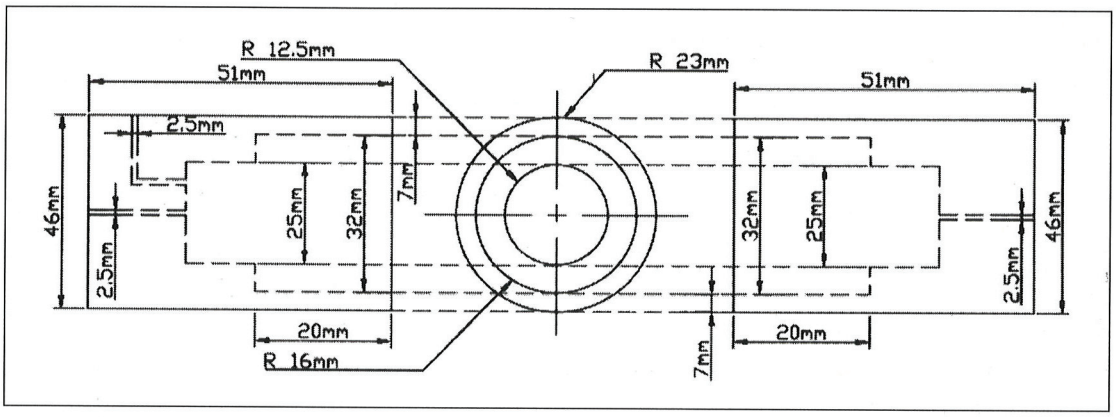
รูปที่ 6 ไดอิเล็กทริกแบบกระบอกแก้ว (Glass Dielectric)

3) อิเล็กโทรดชั้นนอก ออกแบบเป็นแท่งสเตนเลส (Stainless Steel) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกปลายเปิดทั้งสองด้าน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 32 มิลลิเมตร ยาว 106 มิลลิเมตร และหนา 1.5 มิลลิเมตร โดยแท่งสเตนเลสนี้จะทำหน้าที่เป็นอิเล็กโทรดชั้นนอก หรือ Ground Electrode และได้ออกแบบให้สามารถมองเห็นแสงสีม่วงของการเกิดคอโรนาดิสชาร์จได้ โดยการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร 3 ช่อง ดังแสดงในรูปที่ 7

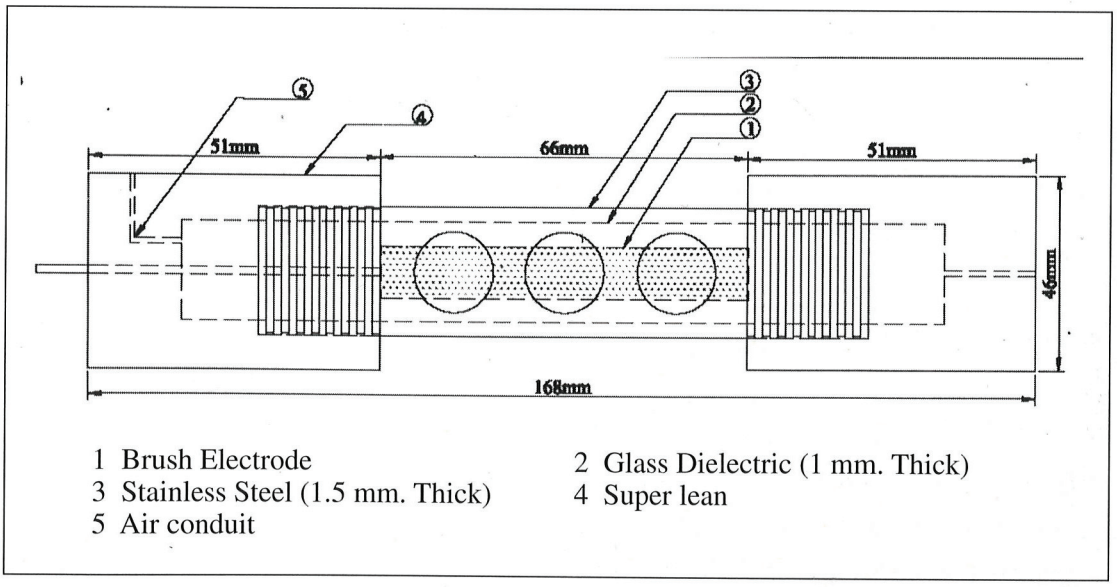
4) ฝาปิดหลอดสร้างก๊าซโอโซน ออกแบบใช้ซูเปอร์ลีน (Super lean) มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 46 มิลลิเมตร ยาว 51 มิลลิเมตร ทำจากวัสดุเทปลอน ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งมีคุณลักษณะทนต่อการทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนและยังใช้สำหรับจับยึดระยะห่างของช่องว่างอากาศกับอิเล็กโทรดขนแปรงได้อีกด้วย



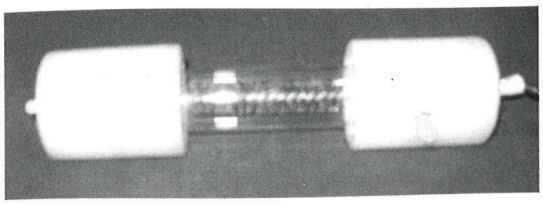
รูปที่ 7 อิเล็กโทรดชั้นนอกแบบแท่งสเตนเลส (Stainless Steel)



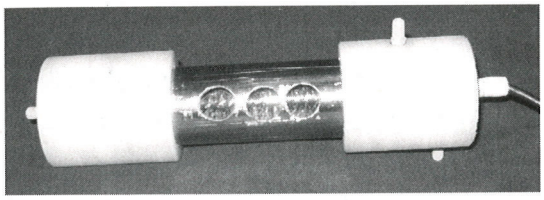
รูปที่ 8 ฝาปิดหลอดสร้างก๊าซโอโซนแบบซูเปอร์ลีน (Super lean)



รูปที่ 9 หลอดสร้างก๊าซโอโซนที่ออกแบบ



(ก) ภายใน

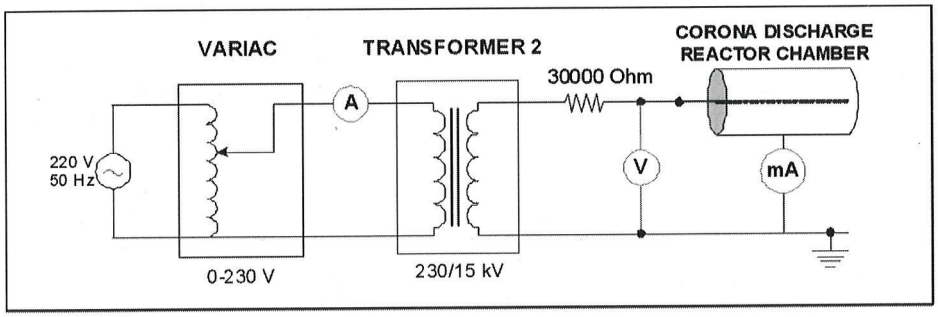


(ข) ภายนอก

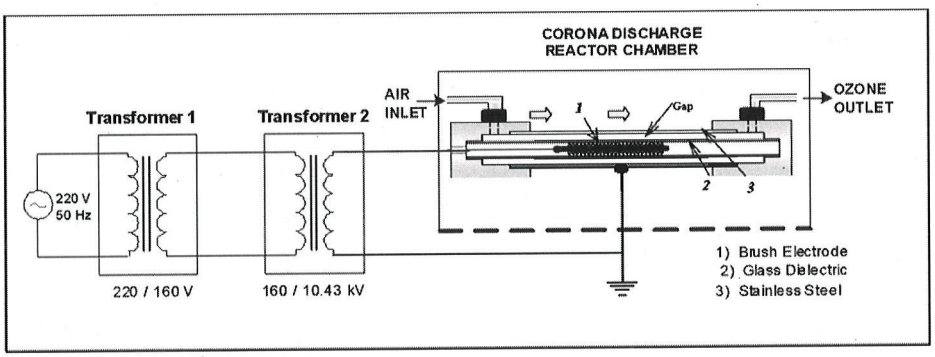
รูปที่ 10 หลอดสร้างก๊าซโอโซนที่สร้างสำเร็จ

3.2.3 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจากหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับจุดไส้หลอดนีออน โดยมีอัตราการแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 230 โวลต์ เป็น 15 กิโลโวลต์ แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบชุดหลอดสร้างก๊าซโอโซนตามหลักการในหัวข้อ 3.2.2 ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าแรงดันที่ป้อนให้กับชุดอิเล็กโทรด จนทำให้เกิดปรากฏการณ์คอโรนาดิสชาร์จ โดยทดลองตามวงจรรูปที่ 10 ซึ่งปรากฏว่าผลจากการทดลองด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ได้พิกัดแรงดันไฟฟ้า (U) ที่ทำให้ปรากฏการณ์คอโรนาดิสชาร์จเท่ากับ 10.43 กิโลโวลต์ ดังนั้นจึงต้องใช้หม้อแปลงไฟฟ้าลดระดับแรงดันที่จ่ายเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับจุดไส้หลอดนีออนเพื่อให้ได้แรงดันเอาต์พุทที่ต้องการคือ 10.43 กิโลโวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 วงจรการทดลองหาค่าแรงดัน (U) ที่เหมาะสมเพื่อจ่ายให้กับอิเล็กโทรด



รูปที่ 12 การต่อวงจรของชุดอิเล็กโทรดแบบขนแปรง

3.3 การคำนวณค่าความเครียดสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรด [1] จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการ ดังนี้

$$E = \left(\frac{U}{d}\right) \qquad \text{(kV/cm.)} \qquad (3)$$

เมื่อ E = ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าชั้นแรก (ส่วนที่เป็นอากาศ) (kV/cm.)

U = ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้อิเล็กโทรด (kV.)

d = ค่าความหนาของฉนวนชั้นแรก(cm.)

จากสมการที่ 3 จากผลการทดลอง (ในหัวข้อที่ 3.2.3) จะได้ U = 10.43 kV, d = 0.5 cm. ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในชุดหลอดผลิตก๊าซโอโซนได้ดังนี้

จาก $E = \left(\frac{U}{d}\right)$ kV/cm.

แทนค่าจะได้ $E = \left(\frac{10.43}{0.5}\right)$ kV/cm.

$E = 20.86$ kV/cm.

ในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ ค่าความคงทนของอากาศต่อความเครียดสนามไฟฟ้า ($E_{c\text{-}air}$) มีค่าเท่ากับ 30 kV peak / cm. แต่ในทางปฏิบัติอากาศยังคงมีความชื้นและฝุ่นละอองปนอยู่บ้าง จึงทำให้ค่าความคงทนของอากาศต่อความเครียดสนามไฟฟ้า ($E_{c\text{-}air}$) มีค่าลดลงเท่ากับ 25 kV peak หรือ 17.67 kV rms. [1] ซึ่งจากการคำนวณพบว่า $E > E_{c\text{-}air}$ จึงทำให้เกิดเบรกดาวน์ในอากาศได้ แต่หลอดสร้างก๊าซโอโซนที่ออกแบบนี้เป็นแบบฉนวนสองชั้น คือ ฉนวนอากาศและแก้วทรงกระบอก (ตามหัวข้อ 3.2.3) ดังนั้นจึงไม่เกิดการเบรกดาวน์ขึ้นได้ ซึ่งจะคำนวณหาค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่ตกคร่อมอากาศและแก้วทรงกระบอกนี้ได้จากสมการที่ 1 และ 2 ดังนี้

- ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าส่วนที่เป็นอากาศ จากสมการที่ 1

$$E_1 = \frac{U}{d_1} \times \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \times \frac{d_2}{d_1}\right)\right)} \qquad \text{kV/cm}$$

เมื่อ U = 10.43 kV.

d_1 = 0.5 cm.

d_2 = 0.1 cm.

ε_1 = 1 (อากาศ) [1]

ε_2 = 3.5 (แก้ว) [1]

แทนค่า จะได้

$$E_1 = \frac{10.43}{0.5} \times \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{1}{3.5} \times \frac{0.1}{0.5}\right)\right)} \qquad \text{kV/cm.}$$

$$= 19.74 \qquad \text{kV/cm.}$$

ดังนั้นจะได้ว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าส่วนที่เป็นอากาศ (E_1) มีค่ามากกว่าค่าความคงทนของอากาศต่อความเครียดสนามไฟฟ้า ($E_{c\text{-}air}$) จึงทำให้เกิดเบรกดาวน์ในส่วนที่เป็นอากาศ

- ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าส่วนที่เป็นแก้ว จากสมการที่ 2

$$E_2 = \frac{\left(U \times \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}\right)}{d_1\left(1 + \left(\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \times \frac{d_2}{d_1}\right)\right)} \qquad \text{kV/cm.}$$

แทนค่า จะได้

$$E_2 = \frac{\left(10.43 \times \frac{1}{3.5}\right)}{0.5\left(1 + \left(\frac{1}{3.5} \times \frac{0.1}{0.5}\right)\right)} \qquad \text{kV/cm.}$$

$$= 5.64 \qquad \text{kV/cm.}$$

ดังนั้นจะได้ว่าค่าความเครียดสนามไฟฟ้าส่วนที่เป็นแก้ว (E_2) มีค่าน้อยกว่าค่าความคงทนของแก้วต่อความเครียดสนามไฟฟ้า ($E_{c\text{-}glass}$) เมื่อค่าความคงทนของแก้วต่อความเครียดสนามไฟฟ้าเท่ากับ 100 kV/cm. [1] จึงไม่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ในส่วนที่เป็นแก้วนี้

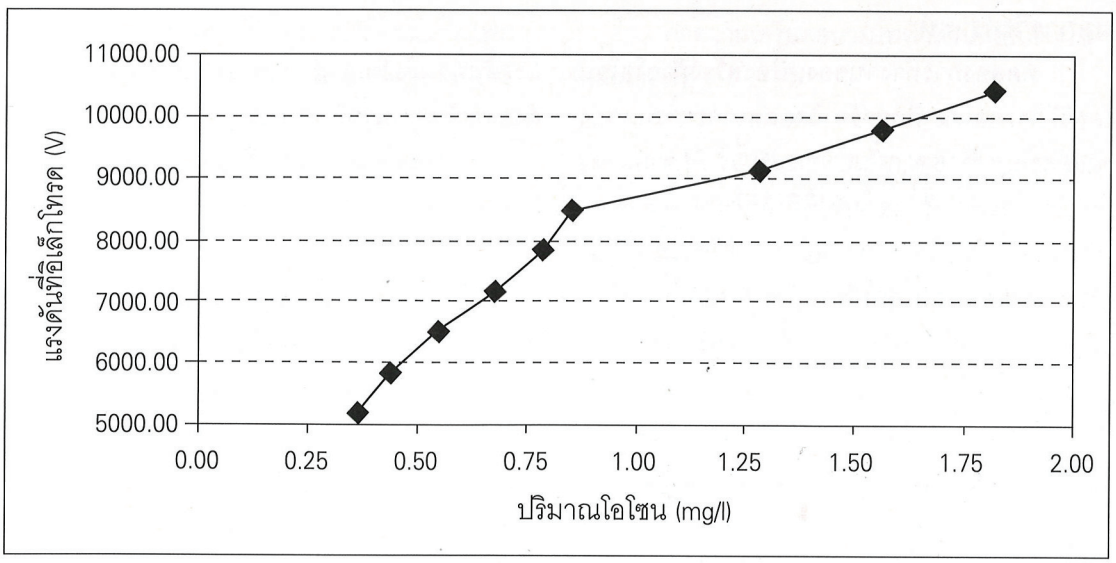
ผลการวิเคราะห์

ทดลองการทำงานของเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ โดยต่อวงจรการทดลองดังแสดงในรูปที่ 16 จากนั้นทำการปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟ จนทำให้ค่าแรงดันที่อิเล็กโทรดของหลอดสร้างก๊าซโอโซนมีค่าประมาณ 5.8 กิโลโวลต์ แล้วปล่อยลมผ่านหลอดสร้างก๊าซโอโซนด้วยอัตราการไหลเท่ากับ 3.2 ลิตร / นาที จากนั้นจึงปรับแรงดันจากแหล่งจ่ายให้เพิ่มขึ้นเป็นลำดับ ซึ่งจะทำให้แรงดันที่อิเล็กโทรดของหลอดสร้างก๊าซโอโซนมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ วัดปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับแรงดันพร้อมทั้งบันทึกค่าผลการทดลองลงในตารางที่ 1 จนกระทั่งแรงดันที่อิเล็กโทรดของหลอดสร้างก๊าซโอโซนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้คือ 10.43 กิโลโวลต์ เมื่อนำค่าแรงดันที่อิเล็กโทรดของหลอดสร้างก๊าซโอโซนและปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับแรงดันมาพล็อตกราฟ จะพบว่ามีความสัมพันธ์กันดังแสดงในกราฟรูปที่ 13

การทดลองการทำปฏิกิริยาของโอโซนกับน้ำเสียโดยทดสอบกับตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนมหาชัย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved oxygen :DO) ก่อนการบำบัดมีค่าเท่ากับศูนย์ และเมื่อทำการทดสอบบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซนจากเครื่องที่สร้างขึ้น ผลปรากฏว่าน้ำเสียดังกล่าวมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) เพิ่มขึ้นเป็น 5.2 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตรซึ่งลักษณะของน้ำเสียที่นำมาทดสอบแสดงดังรูปที่ 14 โดยเปรียบเทียบลักษณะน้ำเสียทั้งก่อนและหลังการบำบัด ส่วนรูปที่ 15 แสดงวงจรและส่วนประกอบทั้งหมดของเครื่องและรูปที่ 16 แสดงถึงเครื่องสร้างก๊าซโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จที่สร้างเสร็จ

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันที่อิเล็กโทรด กระแสอินพุท กระแสดิสชาร์จ และปริมาณโอโซนที่วัดได้ (ที่อัตราการไหลของออกซิเจนเท่ากับ 3.2 ลิตร/นาที)

แรงดันไฟฟ้าที่อิเล็กโทรด (V)	กระแสอินพุท (mA)	กระแสดิสชาร์จ (mA)	ปริมาณโอโซน(mg./l)
5,217.3910	39.6	10.89	0.3690
5,869.5650	43.6	11.81	0.4420
6,521.7390	46.4	12.57	0.5490
7,173.9130	50.2	13.5	0.6750
7,826.0870	55.6	14.43	0.7890
8,478.2610	61.8	15.99	0.8530
9,130.4350	73.5	18.5	1.2770
9,782.6090	88.9	23.41	1.5580
10,434.7830	106.8	27.19	1.8130

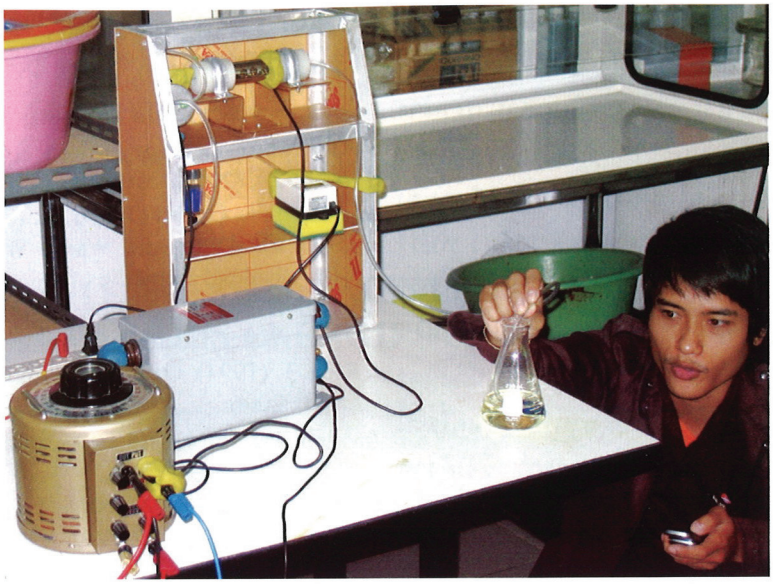


รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ของแรงดันที่อิเล็กโทรดกับปริมาณโอโซน

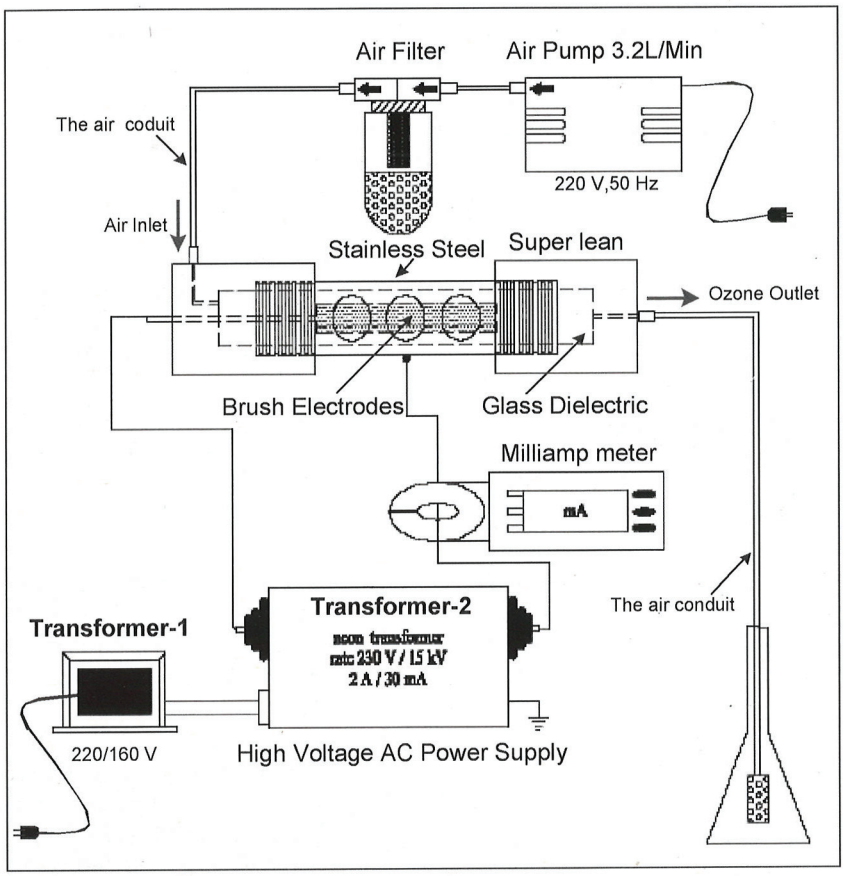
ก่อนการบำบัด

หลังการบำบัด

รูปที่ 14 เปรียบเทียบน้ำเสียก่อนและหลังการบำบัดด้วยเครื่องสร้างก๊าซโอโซน



รูปที่ 15 ลักษณะของเครื่องสร้างก๊าซโอโซนที่ออกแบบสร้างเสร็จ



รูปที่ 16 วงจรและส่วนประกอบของเครื่องสร้างก๊าซโอโซนด้วยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ

สรุปผลการดำเนินการ

เครื่องสร้างโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่สร้างขึ้นนั้น สามารถสร้างก๊าซโอโซนได้ในปริมาณ 1.81 ppm. และจากการทดลองใช้บำบัดน้ำเสียในห้องทดลองและตัวอย่างน้ำเสียจากชุมชนมหาชัย จังหวัดนครราชสีมา พบว่าสามารถบำบัดน้ำเสียในปริมาณ 1 ลิตร ใช้เวลาในการบำบัดเท่ากับ 5 นาที ทำให้เพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำได้ (DO) เท่ากับ 5.2 มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร การออกแบบและการเลือกใช้วัสดุสำหรับสร้างเครื่องนี้ได้ให้ความสำคัญกับอุปกรณ์ที่สามารถหาซื้อได้ง่ายเพื่อการลดต้นทุน และเครื่องดังกล่าวนี้ยังสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าน้อยมาก เนื่องจากหลอดสร้างก๊าซโอโซนจะใช้เทคนิคการทำงานที่แรงดันสูงพิกัด 10.43 กิโลโวลต์ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองแล้วพบว่าเมื่อจ่ายแรงดันอินพุทที่พิกัด 160 V,50Hz. เครื่องสร้างโอโซนโดยวิธีการคอโรนาดิสชาร์จ จะสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 14.87 วัตต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์สุทธิกาญจน์ วีระเสถียร อาจารย์แผนกวิชาเคมี และอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ทุกๆท่าน ที่ให้คำปรึกษาและอนุเคราะห์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองทั้งทางด้านการไทเทรตเพื่อ การวัดปริมาณของโอโซนที่สร้างได้ และด้านวิศวกรรม ขอขอบคุณนายวิรัช พิพิทธิ์ และ นายสรรเพชร ทิมปา นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่ช่วยทดลองและเก็บค่าผลการทดลองและรวบรวมข้อมูลประกอบการวิจัย

บรรณานุกรม

ดร.สำรวย สังข์สะอาด. (2547). วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Anonymous. Ozone Tech System. January 29, (2006)

Gottschalk, C. and Libra J.A.. (2006). Ozonation of Water and Waste Water. Germany. Federal Republic of Germany.

Langlais, B. and Reckhow, D.A. (1991). Ozone in Water Treatment. USA.

Rich, T. (1994). Ozone Technologies. January 29, 2006.