

บทที่ 1

บทนำ

1. บทนำ

1.1 บทนำสั้นเรื่อง

โอโซนเป็นแก๊สชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุออกซิเจน โอโซนเป็นโมเลกุลไม่เสถียร มีกลิ่นคล้ายคลาวปลา ไม่มีสีที่อุณหภูมิห้อง มีสูตรโมเลกุลคือ O_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 48 g/mole ในธรรมชาติจะพบโอโซนมากในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ เกิดจากการที่รังสีอัลตราไวโอเลตชนกับโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนในอากาศ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอะตอมของออกซิเจน และเมื่ออะตอมของออกซิเจนเหล่านี้เกิดการรวมกันเองหรือรวมกับโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน ทำให้เกิดเป็นโอโซนได้ (Francis L. Evans III, 1977) โดยทั่วไปโอโซนจะทำหน้าที่เสมือนเป็นเกราะป้องกันการแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตมายังโลก การที่โอโซนในชั้นบรรยากาศถูกทำลายและมีปริมาณลดลง ส่งผลให้รังสีอัลตราไวโอเลตสามารถผ่านมายังผิวโลกมากขึ้น

ในห้องปฏิบัติการ โอโซนสามารถผลิตได้หลายวิธี เช่น การดิสชาร์จไฟฟ้า การกระตุ้นออกซิเจนด้วยรังสีอัลตราไวโอเลต การเกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรลิซิสของกรดเปอร์คลอริก (Francis L. Evans III, 1977) แต่วิธีการดิสชาร์จทางไฟฟ้าที่เรียกว่า ไชเลนท์ดิสชาร์จ นิยมใช้สำหรับกระบวนการผลิตโอโซนเพื่อการประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรม เนื่องจากการดิสชาร์จแบบนี้สามารถทำได้ที่ความดันบรรยากาศ และสามารถผลิตโอโซนในปริมาณที่สูงได้ คือสูงถึง 167 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (ชูทรานาและคณะ, 2541)

เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี และมีข้อดีคือไม่มีผลผลิต หรือผลพลอยได้ที่เป็นพิษเหลืออยู่ นอกจากนี้ การสลายตัวของโอโซนสามารถทำให้เกิดโมเลกุลของแก๊สออกซิเจนได้ด้วย ซึ่งหากนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะเป็นการเติมแก๊สออกซิเจนได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นจะพบว่าได้มีการประยุกต์ใช้โอโซนในงานมากมายหลายด้าน เช่น การฆ่าเชื้อโรค การกำจัดสีและกลิ่นในน้ำดื่ม การบำบัดน้ำเสียในนาถุ้ง การกำจัดแก๊สพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม การกำจัดสีและกลิ่นในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงได้มีการเสนอหัวข้อวิทยานิพนธ์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการผลิตโอโซน เช่น อัตราการไหลของแก๊ส กระแสไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียที่เชื่อมโยงกระบวนการของชุมชนบริเวณทะเลน้อย ตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง เนื่องจากพบว่าเมื่อกระบวนการเชื่อมโยงเสร็จสิ้นลง น้ำที่เหลือจากกระบวนการเชื่อมโยงจะถูกเททิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อมบริเวณใกล้เคียง บางครั้งถูกเทลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ทำให้เกิดสถานะน้ำเน่าเสีย เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต รวมถึงมนุษย์ที่อาศัยประโยชน์ของน้ำในบริเวณนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่เชื่อมโยงกระบวนการโดยวิธีการ 1) การใช้โอโซน 2) การตกตะกอนด้วยสารส้ม 3) การกรองด้วยเมมเบรนระบบ Reverse Osmosis (RO) แบบ cross flow 4) การใช้โอโซนร่วมกับการตกตะกอนด้วยสารส้ม 5) การใช้โอโซนร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนระบบ RO เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่เกิดจากการบำบัดด้วยกระบวนการต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้น เพื่อหาแนวทางในการลดปัญหาผลกระทบทางน้ำที่เกิดขึ้นจากการใช้สารสี้อมผ้า

1.2 การตรวจเอกสาร

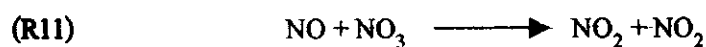
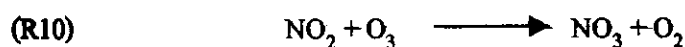
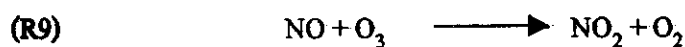
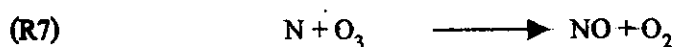
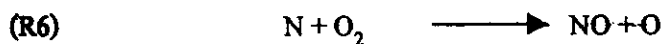
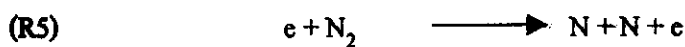
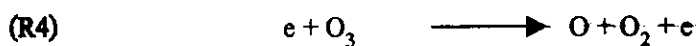
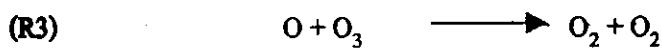
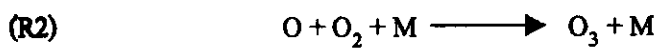
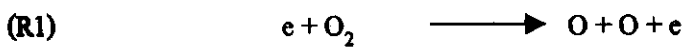
1.2.1 การศึกษาสมบัติของโอโซน

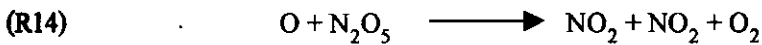
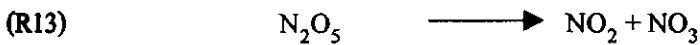
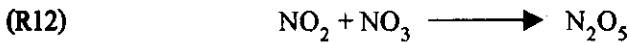
ในปี ค.ศ.1966 Yu. V. Filippov และ V. P. Vendillo ได้ศึกษาการรวมเครื่องกำเนิดโอโซนหลาย ๆ เครื่องเข้าด้วยกันใน 1 ระบบ เพื่อให้ปริมาณโอโซนที่ได้เพิ่มสูงขึ้น โดยทำการศึกษาการต่อเครื่องกำเนิดโอโซนแบบอนุกรมและแบบขนาน ทำการเปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ได้พบว่า ในกรณีที่เครื่องกำเนิดโอโซนแต่ละเครื่องมีขนาดของช่องว่างการคิซชาร์ดเท่ากัน ปริมาณโอโซนที่ได้จากการต่อเครื่องกำเนิดโอโซนแบบอนุกรมและแบบขนานจะมีค่าไม่แตกต่างกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า ถ้าเครื่องกำเนิดโอโซนแต่ละเครื่องมีลักษณะเหมือนกัน ปริมาณโอโซนที่ได้จะเพิ่มขึ้นกับรูปแบบการต่อของระบบโอโซน (แบบอนุกรมหรือแบบขนาน) แต่ในกรณีที่เครื่องกำเนิดโอโซนแต่ละเครื่องของระบบมีลักษณะต่างกัน ปริมาณโอโซนที่ได้จากระบบที่ต่อเครื่องกำเนิดโอโซนแบบอนุกรมจะสูงกว่าปริมาณโอโซนที่ได้จากการต่อแบบขนาน

ในปี ค.ศ. 1966 Nekrasov และคณะ ศึกษาการเกิดโอโซนที่ความดันต่ำในกระบวนการคิซชาร์ดเรืองแสง (glow discharge) โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิร์ตซ เกิดกระแสคิซชาร์ด 0.15 แอมแปร์ เปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่าง 800 ถึง 1200 โวลต์ ความดันของแก๊สออกซิเจน 0.5 มิลลิเมตรปรอท และเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของออกซิเจนระหว่าง 0.1 ถึง 4.0 ลิตรต่อชั่วโมง บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาจะทำการหล่อเย็นด้วยไนโตรเจนเหลว จากการทดลองเมื่อ

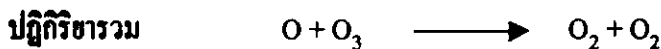
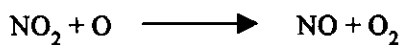
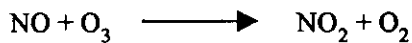
พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไอโซนที่ได้กับตัวแปร U / V (เมื่อ U เป็นกำลังในการดิซชาร์จ และ V เป็นอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจน) พบว่าปริมาณไอโซนเป็นสัดส่วนกับปริมาณความเข้มข้นของอะตอมออกซิเจนที่เคลื่อนที่ไปถึงบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา นั่นคือเมื่ออัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนต่ำ (U/V สูง) การแตกตัวของออกซิเจนในการดิซชาร์จจะสูง แต่อะตอมออกซิเจนจะเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณที่เกิดปฏิกิริยาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปริมาณไอโซนที่ได้จึงต่ำ เมื่ออัตราการไหลของออกซิเจนสูง (U/V ต่ำ) การแตกตัวของออกซิเจนในการดิซชาร์จจะลดลง แต่ปริมาณของอะตอมออกซิเจนจะเคลื่อนที่ไปถึงบริเวณที่เกิดปฏิกิริยามากขึ้น ปริมาณไอโซนที่ได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงปริมาณไอโซนสูงสุด เมื่ออัตราการไหลของออกซิเจนสูงมาก ผลกระทบจากข้อจำกัดการแตกตัวของออกซิเจนในหลอดดิซชาร์จจะมีผลเด่นชัดขึ้น ทำให้ปริมาณไอโซนที่ได้ลดลง จากการศึกษาทดลองจึงสรุปได้ว่าการเกิดไอโซนที่ความดันต่ำในกระบวนการดิซชาร์จเรืองแสง จะต้องขึ้นกับปัจจัย 2 อย่างในเวลาเดียวกัน คือ ปริมาณอะตอมออกซิเจนในบริเวณที่เกิดปฏิกิริยา และอุณหภูมิที่ต่ำเพียงพอ (บางกรณีอาจต่ำกว่า -80 องศาเซลเซียส)

ในปี ค.ศ. 1979 Yaki และ Tanaka ศึกษากลไกการเกิดไอโซนในไซเลนที่ดิซชาร์จของเครื่องกำเนิดไอโซนแบบใช้อากาศ โดยแสดงกลไกปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไอโซน 14 ปฏิกิริยา ปฏิกิริยา R1 ถึง R4 ใช้อธิบายการเกิดไอโซนแบบใช้ออกซิเจน ส่วนปฏิกิริยา R5 ถึง R14 ใช้อธิบายการเกิดไอโซนแบบใช้อากาศ ปฏิกิริยา R1 ถึง R14 แสดงได้ดังนี้





จากปฏิกิริยาข้างต้น จะเห็นว่าการเกิดของไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ในไซเลนท์ คิสซาร์ดมีส่วนสำคัญในกระบวนการเกิดโอโซนแบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม บางปฏิกิริยาอาจมีผลต่อการเกิดโอโซน เช่น ปฏิกิริยา R8 และ R9 สามารถทำให้โอโซนถูกทำลายได้ และปฏิกิริยารวมของปฏิกิริยาทั้งสองแสดงให้เห็นกระบวนการที่ทำให้ปริมาณโอโซนที่ได้ลดลงอีกด้วย ดังสมการ



ในปี ค.ศ.1987 Eliasson และคณะ ได้ทำการศึกษาการผลิตโอโซนโดยการคิสซาร์ด ที่มีชั้นไดอิเล็กทริกในขั้วอิเล็กโทรดระหว่างช่องคิสซาร์ดอย่างน้อย 1 ขั้ว พบว่า ในการคิสซาร์ดที่มีไดอิเล็กทริกในออกซิเจนหรืออากาศที่ความดันบรรยากาศ จะเกิดการเคลื่อนที่ของประจุผ่านช่องว่างคิสซาร์ดทำให้เกิดไมโครคิสซาร์ดจำนวนมากในช่วงเวลาระดับนาโนวินาที นอกจากนี้ยังมีการศึกษาพัลส์กระแส ซึ่งเป็นประจุที่เคลื่อนที่ใน 1 ไมโครคิสซาร์ด โดยทำการต่อหัววัดกระแสความไวสูงเข้ากับขั้วไฟฟ้าศักย์ต่ำ สามารถวัดพัลส์กระแสของแต่ละไมโครคิสซาร์ดในเครื่องกำเนิดโอโซน ซึ่งเมื่อใช้ความถี่ 400 เฮิร์ตซ จะได้ไมโครคิสซาร์ดเคลื่อนที่มาถึงทุก ๆ ช่วงเวลาประมาณ 5 มิลลิวินาที และค่าพัลส์กระแสของแต่ละไมโครคิสซาร์ดจะมีค่า 0.1 – 0.5 แอมแปร์ มีค่า half width ประมาณ 2 นาโนวินาที

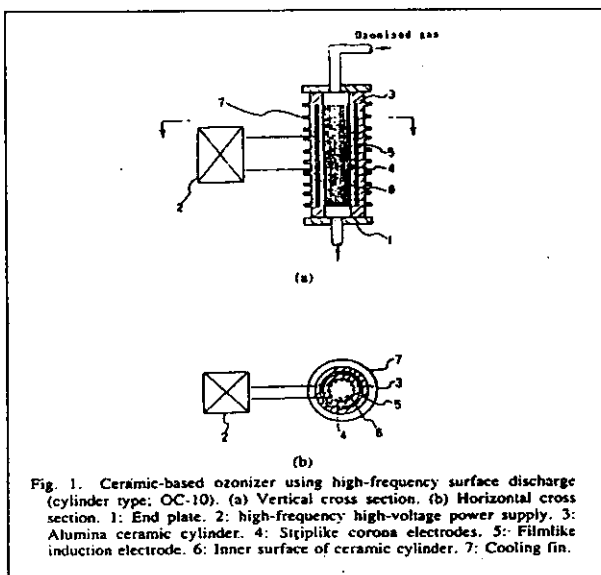
ในปี ค.ศ.1988 Senichi Masuda และคณะ ได้สร้างเครื่องกำเนิดโอโซน โดยใช้การคิสซาร์ดความถี่สูงและใช้เซรามิกสัณฐานความบริสุทธิ์สูง (สูงกว่า 92 %) เป็นไดอิเล็กทริก เมื่อจ่ายไฟกระแสสลับความถี่สูง 10 กิโลเฮิร์ตซ และ 10 กิโลโวลต์ (p-p) ระหว่างอิเล็กโทรด ทำให้เกิดคิสซาร์ดเรืองแสง เติลยรความถี่สูงที่ผิวเพื่อใช้ในการผลิตโอโซน การใช้เซรามิกที่ทำจากอะลูมินาความบริสุทธิ์สูงจะมีการนำความร้อนที่ดี ทำให้สามารถระบายความร้อนจากผิวคิสซาร์ดได้ง่าย นอกจากนี้เนื่องจากอะลูมินามีความแข็งแรงสูง ทำให้ได้ชั้นของเซรามิกสัณฐานที่บางมาก โดยมีความหนาเพียง 0.5 มิลลิเมตร หรือน้อยกว่า ทำให้สามารถลดขนาดของเครื่องกำเนิดโอโซน และแหล่งกำเนิดไฟอีกด้วย และจากการทดสอบเบื้องต้น พบว่า อัตราการผลิตโอโซนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับความถี่ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้การคิสซาร์ดความถี่สูงร่วมกับการใช้เซรามิกสัณฐานความบริสุทธิ์สูง จะทำให้สามารถลดขนาดและค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดโอโซน นอกจากนี้ยัง

สามารถลดความต่างศักย์ไฟกระแสสลับที่ให้กับเครื่องกำเนิดโอโซนอีกด้วย อีกทั้งปริมาณโอโซนที่ได้จะสูงขึ้นอีกด้วย

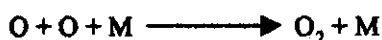
ในปี ค.ศ. 1990 Senichi Masuda และคณะ ได้พัฒนาเครื่องกำเนิดโอโซนแบบเซรามิกส์ในระบบดิสชาร์ตความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วยขั้วอิเล็กโทรด 2 ขั้ว คือ striplike corona electrode ทำจากทังสเตน มีความกว้าง 1 มิลลิเมตร หนา 30 ไมครอน ยาว 100 มิลลิเมตร และ filmlike induction electrode ทำจากทังสเตน มีความหนา 10 ไมครอน อิเล็กโทรดทั้งสองถูกหุ้มด้วยเซรามิกส์ทรงกระบอก (อะลูมินา 92 %) และมีระยะของชั้นเซรามิกส์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร เมื่อจ่ายไฟที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าและความถี่สูง (10 kHz , 5 kVpeak) ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง จะเกิดการดิสชาร์ตความถี่สูงจำนวนมากที่ผิวทรงกระบอกด้านในของ striplike corona electrode ซึ่งมีออกซิเจนไหลผ่าน โอโซนที่ได้จะมีปริมาณสูงถึง 20,000 ถึง 30,000 ppm. นอกจากนี้ยังมีศึกษาการนำโอโซนที่ได้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับงานด้านทันตกรรม เพื่อทำลายเชื้อแบคทีเรียในช่องปาก โดยจากการใช้โอโซนกับแบคทีเรียชนิด *Bacillus subtilis of blastomyce* จำนวน 10^6 เซลล์ พบว่า โอโซนสามารถทำลายแบคทีเรียชนิดนี้ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาในการฆ่าเชื้อโรคโดยใช้วิธีนี้กับวิธีอื่น ๆ พบว่า วิธีนี้ใช้เวลาเพียง 12 – 14 นาที ในขณะที่วิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันใช้เวลา 30 – 45 นาที แต่เนื่องจากปริมาณโอโซนที่เหลือจากการทำลายแบคทีเรีย อาจทำให้เกิดอันตรายกับเนื้อเยื่อในช่องปาก จึงต้องทำการลดปริมาณโอโซนที่เหลือลงให้ต่ำกว่า 0.5 ไมโครกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยการใช้อากาศสะอาดที่มีอุณหภูมิสูง (50 องศาเซลเซียส) ในการลดโอโซนที่เหลืออยู่ให้น้อยลง

ภาพประกอบ 1 แสดงเครื่องกำเนิดโอโซนแบบเซรามิกส์ในระบบดิสชาร์ตความถี่สูง

ที่มา : Senichi Masuda, 1990



ในปี ค.ศ.1991 Dieter Braun และคณะ ได้สรุปสมบัติเฉพาะของไมโครดิสชาร์ดในเครื่องกำเนิดไอโชน คือ ประสิทธิภาพของการสลายพันธะโมเลกุลออกซิเจน , ความเข้มของสนามไฟฟ้าแบบ reduced electric field ในช่องดิสชาร์ด และประสิทธิภาพของการเกิดไอโชนจากอะตอมของออกซิเจน ถูกกำหนดโดยความเข้มข้นของอะตอมออกซิเจนในช่องดิสชาร์ด ที่ความเข้มข้นของออกซิเจนอะตอมสูง ประสิทธิภาพในการผลิตไอโชนจะลดลง ซึ่งเกิดจากกระบวนการดังนี้

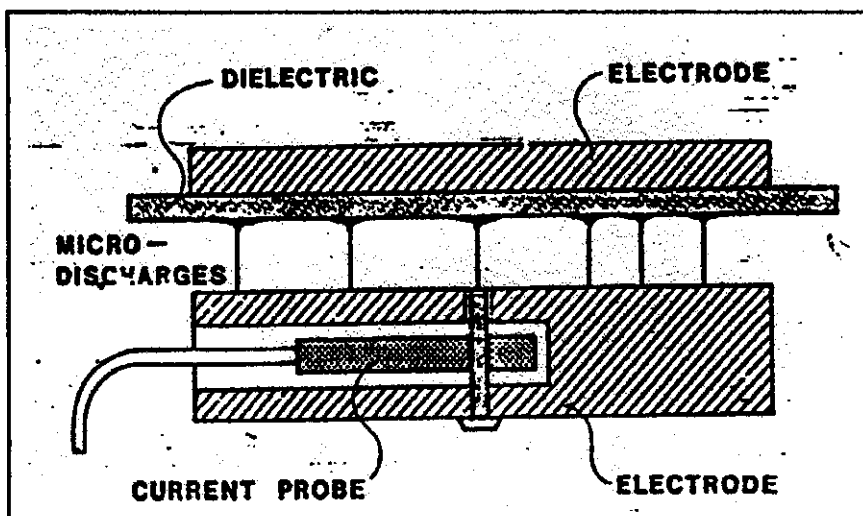


นอกจากนี้ยังได้ศึกษาไมโครดิสชาร์ดเดี่ยว โดยการถ่ายภาพด้วยกล้องความเร็วสูงและมีการใช้หัววัดกระแส ซึ่งกระแสที่ถูกวัดจะสัมพันธ์กับกระแสที่ไหลในช่องดิสชาร์ด

ในปี ค.ศ. 1991 Eliasson และคณะ ได้ศึกษารายละเอียดของไซเลนท์ดิสชาร์ด โดยใช้ไอเล็กโตรนแบบระนาบ 2 แผ่นวางขนานกัน โดยไอเล็กโตรนข้างหนึ่งหุ้มด้วยไอเล็กโตรนทริก พบว่าไซเลนท์ดิสชาร์ดประกอบด้วยเส้นกระแสจำนวนมากในช่วงเวลาสั้น ๆ และจากการถ่ายภาพพบว่าไมโครดิสชาร์ดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับ 100 ไมครอน มีช่วงชีวิตในระดับ 100 นาโนวินาที หรือต่ำกว่า โดยการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างอิเล็กตรอนกับอะตอมหรือโมเลกุลจะเกิดขึ้นภายในไมโครดิสชาร์ด นอกจากนี้ในการดิสชาร์ดที่เหมาะสม ความหนาแน่นกระแสในไมโครดิสชาร์ดจะมีค่าอยู่ในระดับ 100 แอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และมีความหนาแน่นอิเล็กตรอนในระดับ 10^{14} (ลูกบาศก์เซนติเมตร)⁻¹

ภาพประกอบ 2 แสดงอุปกรณ์วัดกระแสดิสชาร์ด

ที่มา : Eliasson , 1991



ในปี ค.ศ. 1992 S Hadj - Ziane และคณะ ได้เสนอแบบจำลองจลนศาสตร์ (kinetic model) 3 แบบ เพื่ออธิบายการเกิดโอโซนในเครื่องกำเนิดโอโซนทรงกระบอกแบบใช้ออกซิเจน (cylindrical oxygen - fed ozonizer) คือ แบบจำลอง TNSA (three neutral species approximation) แบบจำลอง FNSA (four neutral species approximation) และแบบจำลอง NNSA (nine neutral species approximation) โดยแบบจำลอง TNSA ประกอบด้วย 5 สมการ สำหรับแสดงปฏิกิริยาของกลุ่มที่เป็นกลางในสภาวะพื้น (ground state) ได้แก่ $O(^3P)$, $O_2(^3\Sigma_g^-)$ และ $O_3(^1A_1)$ แบบจำลอง FNSA ประกอบด้วย 21 สมการ สำหรับแสดงปฏิกิริยาของโมเลกุลออกซิเจนในสภาวะถูกกระตุ้นขั้นที่ 1 แบบจำลองนี้จะรวมปฏิกิริยาของกลุ่มที่เป็นกลางในสภาวะพื้น (5 สมการของ TNSA) ได้แก่ $O(^3P)$, $O_2(^3\Sigma_g^-)$, $O_2(^1\Delta_g)$ และ $O_3(^1A_1)$ และแบบจำลอง NNSA ประกอบด้วย 62 สมการ แสดงปฏิกิริยาของสภาวะถูกกระตุ้นอื่น ๆ ในระดับพลังงานที่ต่ำลงไป แบบจำลองนี้รวมถึงปฏิกิริยาของกลุ่มที่เป็นกลางในสภาวะพื้นและโมเลกุลออกซิเจนในสภาวะถูกกระตุ้นขั้นที่ 1 (21 สมการของ FNSA) ได้แก่ $O(^3P)$, $O(^1D)$, $O_2(^3\Sigma_g^-)$, $O_2(^3\Sigma_g^-, v)$, $O_2(^1\Delta_g)$, $O_2(^1\Sigma_g^+)$, $O_3(^1A_1)$, $O_3(^1A_1, v)$ และ $O_3(^3B_2)$ จากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า อะตอมและโมเลกุลของออกซิเจนรวมทั้งโอโซนที่อยู่ในสภาวะถูกกระตุ้นขั้นที่ 1 มีอิทธิพลต่อการเกิดโอโซน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาจากแบบจำลอง NNSA พบว่าปริมาณโอโซนสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในกลุ่มที่มีสภาวะถูกกระตุ้นจะมีค่า 60 % ของปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นเมื่ออยู่ในกลุ่มที่ไม่มีสภาวะถูกกระตุ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานบางส่วนที่ทำให้เกิดโอโซนไปในการกระตุ้นกลุ่มที่เป็นกลางให้ขึ้นไปยังสภาวะถูกกระตุ้น โดยสภาวะถูกกระตุ้นเหล่านี้จะสัมพันธ์กับการลดลงในการเกิดโอโซน

ในปี ค.ศ. 1994 Yamabe และคณะ สร้างเครื่องกำเนิดโอโซนซึ่งไม่มีไดอิเล็กทริกระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเพื่อศึกษาการเกิดโอโซน โดยให้อากาศผสมต่างชนิดกันแก่เครื่องกำเนิดโอโซน เครื่องกำเนิดโอโซนนี้จะใช้แผงวงจรทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุขนาด 1,600 pF เพื่อใช้ควบคุมการเคลื่อนที่ของประจุ ขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองทำจากท่อคอปเปอร์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และความยาว 25 เซนติเมตรเท่ากัน วางขนานกันและห่างกัน 5 มิลลิเมตร ปริมาณโอโซนที่เกิดขึ้นถูกวัดโดยใช้สารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์เพื่อหาค่าการดูดกลืนของแสงจากหลอด mercury ที่ความยาวคลื่น 250 นาโนเมตร กระแสดีซาร์ตและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างอิเล็กโทรดถูกวัดโดย low inductive resistor และ C-R divider ตามลำดับ และเมื่อพิจารณารูปแบบคลื่นของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสดีซาร์ตที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง ในกรณีที่ใช้ ออกซิเจนเพียงอย่างเดียวและกรณีใช้อากาศผสมของออกซิเจนต่อไนโตรเจนเป็น 1 ต่อ 4 โดยให้

ความต่างศักย์แก่เครื่องกำเนิดไอโซนคงที่คือ 20 กิโลโวลต์ พบว่า ค่า rise time ของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรด มีค่าเท่ากับ 0.1 กิโลโวลต์ / นาโนวินาที และกระแสดิซชาร์จ์ที่เกิดขึ้นจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า full width at half maximum ประมาณ 30 นาโนวินาที

ในปี ค.ศ. 1995 Nomoto และคณะ ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของเครื่องกำเนิดไอโซน โดยใช้การดิซชาร์จ์แบบไซเรนส์ร่วมกับการดิซชาร์จ์ที่ผิวในการผลิตไอโซน โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณไอโซนที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอโซน 3 แบบ คือ แบบ A เป็นเครื่องกำเนิดไอโซนแบบดิซชาร์จ์ที่ผิว แบบ B เป็นเครื่องกำเนิดไอโซนแบบที่ใช้ไซเรนส์ดิซชาร์จ์และดิซชาร์จ์ที่ผิวร่วมกัน แบบ C เป็นเครื่องกำเนิดไอโซนที่ใช้การดิซชาร์จ์แบบไซเรนส์ พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอโซนแบบ B ที่ใช้ไซเรนส์ดิซชาร์จ์ร่วมกับการดิซชาร์จ์ที่ผิวจะสูงกว่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอโซนแบบ A ซึ่งใช้การดิซชาร์จ์ที่ผิวอย่างเดียว ถึง 3 เท่า และสูงกว่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอโซนแบบ B ที่ใช้การดิซชาร์จ์แบบไซเรนส์อย่างเดียว 2 เท่า นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้จากเครื่องกำเนิดไอโซนแบบ B เมื่อผ่านอากาศผสมระหว่างแก๊สไนโตรเจน (80%) กับแก๊สออกซิเจน (20%) กับเมื่อผ่านแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ (99.5%) พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไอโซน แบบ B เมื่อผ่านแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์ (274 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง) จะสูงกว่าเมื่อผ่านแก๊สผสม 2.5 เท่า (110 กรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง)

1.2.2 การประยุกต์ใช้ไอโซนในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมสี

ช่วงกลาง ค.ศ.1970 Textile Systems Inc. (TSI) ได้ทดลองนำน้ำทิ้งจากการย้อมกลับมาใช้ โดยทดลองกับโรงย้อม 4 แห่ง ซึ่ง 2 แห่ง ย้อมสีในลอนด้วยสีแอซิด หนึ่งในแห่งย้อมสีโพลิเอสเทอร์ ด้วยสีดิสเพิส (Disperse dye) อีกหนึ่งแห่งย้อมส่วนผสมของโพลิเอสเทอร์/ฝ้ายด้วยสีไดเร็กซ์และสีดิสเพิส แล้วใช้คลอรีนลดปริมาณสีจากน้ำทิ้งที่เหลือจากการย้อมและนำน้ำที่ได้กลับมาใช้ในการล้างและย้อมผ้าอีกครั้ง โดยจะต้องกำจัดคลอรีนด้วย Sulfur dioxide ก่อน ปรากฏว่ากระบวนการนี้ประสบความสำเร็จในการย้อมสีและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้เป็นอย่างดี

ในปี ค.ศ. 1972 Porter ได้ศึกษาการกำจัดสีโดยใช้วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) พบว่า วิธีการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ จะไม่สามารถกำจัดสีของสีดิสเพิส สีแว๊ท และสีผงได้นัก และ การกำจัดสีจะมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นต้องใช้คู่กับวิธีการเคมีสารเคมีเพื่อให้เกิดสารแขวนลอย และถ่านกัมมันต์ที่ดูดซับสารสีจากน้ำทิ้งแล้ว จะถูกกำจัดได้โดยใช้วิธีการทำให้ตกตะกอนด้วยสารเคมี นอกจากนี้เมื่อมีการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า การกำจัดสีโดยวิธีดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์จะเหมาะสมสำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้น (Meyer et al., 1992)

ในปี ค.ศ.1976 Nebel และ Stuber ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้โอโซนสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ลดค่า COD และสารเคมีในน้ำทิ้ง นอกจากนี้ยังสามารถฆ่าเชื้อโรคในน้ำทิ้งได้อีกด้วย

ในปี ค.ศ.1978 Hitz *et al.* ศึกษาการกำจัดสีของชนิดต่างๆ โดยวิธี activated sludge พบว่า สีบางชนิดมีแนวโน้มถูกดูดกลืนโดยวิธีนี้ แต่สำหรับสีแอสซิดและสีรีแอ็กทีฟจะถูกดูดกลืนได้โดยวิธีนี้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ในปี ค.ศ.1980 Perkins และคณะ ศึกษาการใช้โอโซนในการกำจัดสี พบว่า โอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่รุนแรง ซึ่งมีความสามารถเพียงพอที่จะออกซิไดส์สีต่างๆ ให้เป็นสาร ไม่มีสีได้

ในปี ค.ศ.1980 สถาบันวิจัยทรัพยากรทางน้ำ (Water Resources Research Institute) มหาวิทยาลัย Auburn ศึกษาการกำจัดสีของชนิดต่าง ๆ ด้วยคลอรีน พบว่า คลอรีนสามารถลดปริมาณสีแอสซิด และสีรีแอ็กทีฟ ได้อย่างรวดเร็ว แต่สำหรับสีโคเร็กซ์และสีคิสเพิส อัตราการกำจัดสีจะช้าลง ถึงแม้จะใช้คลอรีนในปริมาณมาก ก็ยังไม่สามารถกำจัดสีโคเร็กซ์ และสีคิสเพิสได้อย่างสมบูรณ์ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสีโคเร็กซ์ และสีคิสเพิส จะจับตัวเป็นผลผลิตที่ฝังแน่น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อใช้คลอรีนกำจัดสีที่ pH 3.5 จะมีประสิทธิภาพดีกว่าที่ pH 7.0 - 10.0 นอกจากนี้ยังมีการศึกษาอัตราการกำจัดสีด้วยโอโซน แล้วเปรียบเทียบกับกำจัดสีด้วยคลอรีน พบว่า การใช้โอโซนมีอัตราการกำจัดสีเร็วกว่าการใช้คลอรีน และจะให้ผลรวดเร็วสำหรับสีทุกชนิด ยกเว้น สีคิสเพิส แต่ในที่สุด โอโซนก็จะสามารถกำจัดสีคิสเพิสได้

ในปี ค.ศ.1981 Rice และ Browning ศึกษาการลดลงของปริมาณสีด้วยกระบวนการออกซิเดชัน โดยใช้โอโซน พบว่าวิธีนี้สามารถทำลายโครงสร้างโมเลกุลแบบโซ่ของสารอินทรีย์ ซึ่งเป็นตัวกำหนดสีของโมเลกุลสี นอกจากนี้โอโซนยังแสดงความสามารถในการกำจัดสีแท้ (Saunders *et al.*, 1993) แต่ถึงแม้ว่าจะใช้โอโซนในปริมาณมาก ก็ไม่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซ CO₂ และน้ำได้อย่างสมบูรณ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับน้ำสีที่มีสารประเภท Surfactants และสารแขวนลอยเป็นองค์ประกอบ (Sheng H. Lin & Chi M. Lin, 1992 ; Tzitzzi *et al.*, 1994) แม้ว่าในการศึกษาที่ผ่านมา การกำจัดสีสามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ปริมาณ COD จะลดลงได้เพียงบางส่วนเท่านั้น (Sheng H. Lin & Chi M. Lin, 1992 ; Tzitzzi *et al.*, 1994 ; Perkowski *et al.*, 1996) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้โอโซนในปริมาณน้อยสามารถแยกองค์ประกอบของสารประกอบเคมีที่ซับซ้อนได้ (Snider & Porter, 1974) ยิ่งไปกว่านั้น การใช้โอโซนในการกำจัดสี ยังไม่ก่อให้เกิดสารเคมีที่เป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (Gagr *et al.*, 1994 ; Hitchcock *et al.*, 1996)

ในปี 1988 Kato และคณะ ได้แสดงให้เห็นว่า การใช้ โอโซน ร่วมกับการใช้ Ultrasound สามารถให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสี สูงกว่าการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว ประมาณ 20 %

ในปี ค.ศ. 1993 Sheng H. Lin & Chi M. Lin ได้ศึกษาการใช้โอโซนร่วมกับการใช้สารเคมีทำให้สารอินทรีย์เกิดการตกตะกอน โดยศึกษาจากโรงข้มสี 4 แห่ง ในเวลา 1 ปี พบว่า โอโซนสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสำหรับน้ำทิ้งที่มีความเข้มสีต่ำ การใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวเพียงพอที่จะกำจัดสีและความขุ่นได้ แต่สำหรับน้ำทิ้งที่มีความเข้มสีปานกลางหรือความเข้มสีสูง การใช้โอโซนสามารถกำจัดกำจัดสีได้เท่านั้น แต่ไม่สามารถกำจัดความขุ่นได้ จึงจำเป็นต้องใช้สารเคมี เช่น aluminum sulfate เพื่อช่วยให้เกิดการตกตะกอน นอกจากนี้ การใช้โอโซนร่วมกับการตกตะกอนด้วยสารเคมี ยังสามารถลดปริมาณ COD ได้สูงถึง 70% อีกด้วย

ในปี ค.ศ.1994 Frank Gähr ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้ง ในอุตสาหกรรมทอผ้าในประเทศเยอรมัน โดยวิธีใช้โอโซน พบว่า โอโซนสามารถกำจัดสีรีแอ็กทีฟ 1 กรัม ได้ถึง 95% นอกจากนี้การใช้โอโซนยังมีข้อดี คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ปราศจากตะกอน และยังช่วยในการลดสารอินทรีย์ประเภทอะโรมาติก รวมทั้งลดปริมาณ COD อีกด้วย และเมื่อเทียบกับวิธีที่นิยมใช้กันทั่วไปในประเทศเยอรมัน คือการใช้การตกตะกอนด้วยสารเคมีร่วมกับการทำความสะอาดด้วยวิธีอื่น จะเห็นว่าวิธีนี้ทำให้เกิดตะกอนจำนวนมาก จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการกำจัดตะกอนที่ยากต่อการย่อยสลาย นอกจากนี้ การตกตะกอนยังอาจเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ดังนั้น จึงมีการเสนอว่า การใช้โอโซนมีศักยภาพเพียงพอที่จะใช้แทนวิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี

ในปี ค.ศ.1994 John H.Churchley ศึกษาการกำจัดสีโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดเม็ด ร่วมกับการใช้โอโซน พบว่า ถ่านกัมมันต์จะมีประสิทธิภาพที่ความเข้มข้น GAC 80 - 120 มิลลิกรัมต่อลิตร และการกำจัดสีด้วยโอโซนในห้องทดลองจะได้ผลเพียงใดขึ้นกับปริมาณโอโซนที่ใช้ ปริมาณโอโซน 9.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดสีได้ภายใน 20 นาที และจากการทดลองตั้งแต่เดือนตุลาคม ปี ค.ศ.1992 พบว่า มีเพียง 4 ตัวอย่าง จากตัวอย่างทั้งหมด 39 ตัวอย่าง ที่ล้มเหลวในการกำจัดสี นอกจากนี้ A.Netzer และคณะ ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำทิ้งจากโรงข้อมด้วยการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว และการใช้โอโซนร่วมกับวิธีดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ รวมทั้งการใช้โอโซนร่วมกับการใช้ปูนขาว โดยการนำน้ำทิ้งกรองด้วยกระดาษกรอง (whatman#54) เพื่อกำจัดเศษผง ฟุ่น รวมทั้งสารแขวนลอยอื่น ๆ พบว่า เมื่อใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว จะสามารถกำจัดสีได้เป็นอย่างดี แต่สามารถกำจัดโลหะหนักที่ละลายอยู่ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อใช้โอโซนร่วมกับวิธีดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์พบว่าสามารถกำจัดสีและโลหะหนักได้เป็นอย่างดี และยังสามารถลดค่า TOC และค่า COD ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า ในสารละลายส่วนใหญ่ ถ้าใช้ถ่านกัมมันต์ตามด้วยวิธีการใช้โอโซน จะได้ผลดีกว่าการใช้โอโซนตามด้วยการใช้ถ่านกัมมันต์ เนื่องจากการใช้โอโซนก่อนอาจก่อให้เกิดสารบางชนิดซึ่งไม่สามารถดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้ และเมื่อศึกษาการใช้โอโซนร่วมกับปูนขาว พบว่าสามารถกำจัดสีและโลหะหนักได้ดีเช่นกัน และการใช้ปูนขาวตามด้วยการใช้โอโซนจะได้ผลดีกว่า

การใช้โอโซนตามด้วยการใช้ปูนขาว เนื่องจากเมื่อใช้ปูนขาวก่อน ปูนขาวจะช่วยกำจัดอนุภาคสีบางส่วน และเมื่อใช้โอโซนอีกครั้งจะกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี ค.ศ. 1995 Warren S.Perkins และคณะ ศึกษาการกำจัดสีข้อมผ้าด้วยโอโซนและผลกระทบของอุณหภูมิและค่า pH ที่มีต่ออัตราการกำจัดสีข้อม รวมทั้งศึกษาการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการกำจัดสีด้วยโอโซนกลับมาใช้ในการข้อมสีใหม่ พบว่า โอโซนสามารถกำจัดสีได้อย่างรวดเร็ว โดยที่อุณหภูมิและค่า pH มีต่ออัตราการกำจัดสีน้อยมาก และน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วยังสามารถนำกลับมาใช้ในกระบวนการข้อมได้อีกด้วย

ในปี ค.ศ.1997 S.Liakou และคณะ ทดลองใช้โอโซนในการออกซิไดส์สารอินทรีย์สีที่ยากต่อการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ ให้เป็นสารประกอบที่ง่ายต่อการย่อยสลาย โดยได้ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาของโอโซนที่มีต่อสีอะโซ ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ รวมทั้งหา mathematical model ที่ใช้อธิบายการกำจัดสี การเปลี่ยนแปลงของค่า COD และ BODs รวมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ โอโซนที่เกิดปฏิกิริยากับระยะเวลาอีกด้วย

ในปี ค.ศ. 1998 Yang Y. และคณะ ได้ศึกษาการใช้ UV/H_2O_2 ในการกำจัดสีน้ำทิ้งในโรงข้อม โดยการทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำถูกออกซิไดส์กลายเป็นก๊าซ CO_2 และน้ำ ซึ่งจะไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยรังสี UV จะทำให้โมเลกุลของ H_2O_2 แตกตัว และเกิดเป็นไฮดรอกซิลแรดิคัล (Hydroxyl radical : HO^\cdot) ซึ่ง HO^\cdot นี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์เกิดเป็นแรดิคัลของสารอินทรีย์ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์โมเลกุลอื่นได้ ทำให้สารอินทรีย์เหล่านั้นเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและมีขนาดเล็กลง เป็นสารไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ข้อดีของวิธีนี้คือ ไม่ต้องกำจัดตะกอน และก๊าซที่ได้ไม่มีกลิ่นเหม็นและไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ในปี ค.ศ. 1998 Jiangning Wu และคณะ ศึกษาการใช้โอโซนคู่กับการกรองด้วยเมมเบรน พบว่า สามารถกำจัดสีข้อมผ้าได้มากกว่า 99% ในขณะที่เกลือประมาณ 85% โดยน้ำหนักซึ่งใช้ในการข้อมจะถูกกักไว้ที่เมมเบรนและสามารถนำกลับมาใช้ได้ อีก นอกจากนี้ถ้าใช้เมมเบรนกรองจนปริมาณสีน้อยลงจนเพียงพอแล้ว น้ำสีที่เหลือจากการกรองสามารถนำกลับมาใช้ข้อมสีได้อีกครั้ง

จะเห็นว่า การนำโอโซนมาประยุกต์ใช้งานทางด้านบำบัดของเสียจากอุตสาหกรรม ตลอดจนงานปรับปรุงคุณภาพน้ำดื่ม และฟอกอากาศ มีมากมายและยังเป็นที่สนใจ และวิจัยอยู่ อย่างไรก็ตามในประเทศไทย ยังคงไม่มีหน่วยงานในพัฒนา และศึกษาศักยภาพในการใช้งานด้านนี้อย่างจริงจัง อีกทั้งยังขาดการเรียนรู้เพื่อออกแบบ และสร้างระบบโอโซนขึ้นมาใช้งาน ดังนั้น ในงานวิทยานิพนธ์นี้ จึงสนใจที่จะศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้าง และออกแบบระบบของเครื่องโอโซน และการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านบำบัดน้ำเสีย ดังรายละเอียดในวัตถุประสงค์ในหัวข้อต่อไป

1.3 วัตถุประสงค์

1. จัดสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนอย่างง่าย
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของปรากฏการณ์ดิซชาร์ดไฟฟ้าที่มีการให้โอโซนเป็นผลิตภัณฑ์

ภัณฑ์ เช่น อัตราการไหลของแก๊ส กระแสไฟฟ้า และศักย์ไฟฟ้า

3. ศึกษาผลที่ได้จากการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำทิ้งจากการข้อมสีเสื่อกระชูด เปรียบเทียบกับการบำบัดด้วยโอโซนร่วมกับการตกตะกอนด้วยสารส้มและการบำบัดด้วยโอโซนร่วมกับการกรองด้วยเมมเบรนในระบบ Reverse Osmosis

1.4 ขอบเขตของงาน

1. สร้างและทดสอบเครื่องกำเนิดโอโซน
2. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของการเกิดโอโซน ด้วยกระบวนการดิซชาร์ดไฟฟ้า ได้แก่

อัตราการไหลของแก๊ส ความต่างศักย์ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าดิซชาร์ด

3. ศึกษาและเปรียบเทียบผลที่ได้จากบำบัดน้ำทิ้งจากการข้อมสีเสื่อกระชูด ด้วยวิธีการต่าง ๆ ได้แก่ การใช้โอโซน การตกตะกอนด้วยสารส้ม การกรองในระบบ Reverse Osmosis การโอโซนร่วมกับการตกตะกอนด้วยสารส้ม และการใช้โอโซนร่วมกับการกรองในระบบ Reverse Osmosis

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เครื่องกำเนิดโอโซนขนาดต่าง ๆ เพื่อใช้ในการบำบัดน้ำ และน้ำเสีย
2. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้งานโอโซน กับงานด้านมลภาวะทางน้ำที่เป็นปัญหาด้าน

พื้นฐานของสังคมในปัจจุบัน โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคใต้