เครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

Ozone generator for inhibiting microorganism

ทิพาพร ปราการพิลาศ

Tipaporn Prakarnpilas

บุณยานุช จันทรวงษ์

Boonyanud Chantrawong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

Ozone generator for inhibiting microorganism

ทิพาพร ปราการพิลาศ

Tipaporn Prakarnpilas

บุณยานุช จันทรวงษ์

Boonyanud Chantrawong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์

Ozone generator for inhibiting microorganism

โดย

ทิพาพร ปราการพิลาศ รหัสประจำตัวนักศึกษา 58010476

บุณยานุช จันทรวงษ์ รหัสประจำตัวนักศึกษา 58010695

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์	สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ ปีการศึกษา 2561
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง	เครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์
	Ozone generator for inhibiting microorganism
ผู้จัดทำ	นางสาวทิพาพร ปราการพิลาศ
	รหัสประจำตัวนักศึกษา 58010476
	นางสาวบุณยานุช จันทรวงษ์
	รหัสประจำตัวนักศึกษา 58010695

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์
นักศึกษา	นางสาวทิพาพร ปราการพิลาศ
รหัสนักศึกษา	58010476
นักศึกษา	นางสาวบุณยานุช จันทรวงษ์
รหัสนักศึกษา	58010695
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมชีวการแพทย์
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนสำหรับการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ โดยจะเน้นการวัดพารามิเตอร์หลัก 2 พารามิเตอร์ของเครื่องได้แก่ การวัดเวลาในการปล่อยโอโซน และการวัดปริมาณโอโซนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องกำเนิดเพื่อฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ อุปกรณ์ในการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรฮาร์ดแวร์ และส่วนของซอฟต์แวร์ ส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วย ตู้ (chamber) ซึ่งเป็นพื้นที่ในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เราต้องการด้วยแก๊สโอโซน โดยอาศัยหลักการไหลของแก๊สผ่านพัดลมที่ทำหน้าที่พัดและดูดแก๊สจากวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบไปด้วยวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 12 โวลต์, วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และวงจรกรองสัญญาณเพื่อลดสัญญาณที่ไม่ต้องการ จากนั้นในส่วนของซอฟต์แวร์ นำเซนเซอร์วัดปริมาณโอโซนมาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีชื่อว่า Arduino เพื่อนำปริมาณแรงดันที่ได้มาประมวลผลหาระยะเวลาที่สามารถกำจัดเชื้อโรคได้ โดยจะได้ผลเป็นแรงดันและระยะเวลาที่ปล่อยโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Ozone generator for inhibiting microorganism
Student	Miss Tipaporn Prakarnpilas
Student ID.	58010476
Student	Miss Boonyanud Chantrawong
Student ID.	58010695
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Biomedical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Surapan Airphaiboon

Abstract

This thesis presents the design and construction of an ozone generator for inhibiting microorganism. It will focus on measuring the two main parameters of the machine tools. Measurement of ozone emission time and measuring the amount of ozone released from the generator to kill various germs. The test equipment is divided into two parts, hardware part and part of the software. Hardware parts are to consist of chamber, the area where we clean the tools we need with ozone. It is based on the principle of gas flow that through the fan to blow and absorb gas from the electronic circuit consists of a voltage converter from 220 volts to 12 volts, Direct Current converter to Alternating Current Electricity and filter circuit to reduce the unwanted signal. In the software section, the ozone sensor is connected to a microcontroller called Arduino to apply the amount of voltage to analysis ozone emission time that the germs can be eliminated. The result is the amount of voltage and time to release ozone to kill various germs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การทำปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และคำปรึกษาจากอาจารย์หลายท่าน ทางผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมชีวการแพทย์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ สถานที่ และงบประมาณในการศึกษา ออกแบบ สร้างและทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น

ผู้จัดทำขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สุรพันธุ์ เอื้อไพบูลย์ ที่ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้พร้อมสนับสนุนให้ผู้จัดทำได้รับประสบการณ์ที่ดีซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ในอนาคต

และขอขอบคุณดร.ตรีสุคนธ์ ตรีบุพชาติสกุล ที่ให้คำแนะนำเรื่องการทดลองและอุปกรณ์ในการทดลองเพาะเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ

ขอบพระคุณครอบครัวของผู้จัดทำที่พร้อมช่วยเหลือในทุกด้านและให้กำลังใจเกี่ยวกับการเรียนการทำโครงงานทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้

ขอบคุณเพื่อน พี่ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ที่ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในทุกด้านโดยตลอดเมื่อมีปัญหาและให้คำแนะนาต่าง ๆ จากประสบการณ์การทำโครงงานที่เคยได้ทำมาส่งผลให้โครงงานและปริญญานิพนธ์นี้สามารถสำเร็จลุลวงไปได้ด้วยดี

ทิพาพร ปราการพิลาศ

บุณยานุช จันทรวงษ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทคัดย่อ i

Abstract ii

กิตติกรรมประกาศ iii

สารบัญ iv

สารบัญรูปภาพ vii

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 1

1.5 แผนการดำเนินงาน 2

บทที่ 2 4

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 โอนโซน 4

2.1.2 ข้อจำกัดของก๊าซโอโซน 6

2.1.3 ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ 6

2.1.4 การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ 7

2.1.5 การประยุกต์ใช้งานโอโซน 8

2.1.6 องค์ประกอบของบรรยากาศ 18

2.1.7 โอโซนเกิดตามธรรมชาติได้ 2 แบบ 19

2.1.8 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม 21

2.1.10 อันตรายของโอโซน 24

2.1.11 ขั้นตอนการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ 25

2.2 ทฤษฎี HIGH VOLT 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การสร้างอิออนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง 27
2.2.2 ผลของสนามไฟฟ้าในการตกตะกอน 27
2.2.3 การใส่ประจุให้อนุภาค 28
2.2.4 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า 29
2.3 เซนเซอร์วัดปริมาณแก๊สโอโซน 34
2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ 35
บทที่ 3 37
การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนและที่บรรจุอุปกรณ์ 37
3.1 การออกแบบในส่วนเครื่องกำเนิดโอโซน 37
3.1.1 อุปกรณ์ 37
3.1.2 ขั้นตอนการทำ 37
3.2 การออกแบบในส่วนตู้อบอุปกรณ์ 40
3.2.1 อุปกรณ์ 40
3.2.2 ขั้นตอนการทำ 41
3.3 การออกแบบเชื้อที่ใช้ในการทดลอง 42
3.3.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths) 42
3.3.1.1 อุปกรณ์ 42
3.3.1.2 ขั้นตอนการทำ 43
3.3.2 การเจือจางเชื้อจุลินทรีย์สำหรับตัวอย่างเริ่มต้น (Dilution Technique) 45
3.3.2.1 อุปกรณ์ 45
3.3.2.2 ขั้นตอนการทำ 45
3.3.3 การนำเชื้อมากระจายบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ (Spread Plate Technique) 47
3.3.3.1 อุปกรณ์ 47
3.3.3.2 ขั้นตอนการทำ 47
3.3.4 การทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโอโซน 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.1 อุปกรณ์ 50
3.3.4.2 ขั้นตอนการทำ 50
บทที่ 4 52
ผลการทดลอง 52
4.1 ผลการฆ่าเชื้อจากการอบโอโซน 52
4.2 ผลการทดลองวัดแรงดันของโอโซน 56
บทที่ 5 59
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 59
5.1 สรุปผลการวิจัย 59
5.2 ข้อเสนอแนะ 60
บรรณานุกรม 61
ภาคผนวก 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การเกิดก๊าซโอโซน 4
รูปที่ 2.2 ลักษณะโมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนซ์ (Harano et al,1991) 6
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของบรรยากาศ 19
รูปที่ 2.4 แสดงเครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าโคโรน 22
รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของ Corona Discharge Ozone Generator Tube 23
รูปที่ 2.6 แผนภาพของ Corona Discharge Ozone Generator Tube 24
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดอิออนลบจากอิเล็กโตรดแบบปลายเข็ม 27
รูปที่ 2.8 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ 29
รูปที่ 2.9 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม 30
รูปที่ 2.10 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม 30
รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง Rod-Gap และ Needle-Gap 31
รูปที่ 2.12 แรงดันเบรกดาวน์ของ Needle-Gap 31
รูปที่ 2.13 ผลความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวน์ 32
รูปที่ 2.14 แสดงสนามไฟฟ้าที่เกิดจาก space charge 34
รูปที่ 2.15 เซนเซอร์วัดปริมาณแก๊สโอโซน 34
รูปที่ 3.1 วงจรเครื่องกำเนิดโอโซน 38
รูปที่ 3.2 การทำงานของสะพานไดโอด 38
รูปที่ 3.3 การทำงานของตัวเก็บประจุ 38
รูปที่ 3.4 กล่องที่ประกอบกันแล้ว 39
รูปที่ 3.5 หลอดโอโซนและพัดลมที่ติดตั้งภายในกล่องใหญ่ 39
รูปที่ 3.6 วงจรที่ติดตั้งในกล่องเล็ก 40
รูปที่ 3.7 การต่อท่อจากถังเก็บน้ำพลาสติก 41
รูปที่ 3.8 การต่อท่อจากถังเก็บน้ำพลาสติก 42
รูปที่ 3.9 เทน้ำกลั่นใส่สารที่ตวงไว้ 43
รูปที่ 3.10 คนสารด้วยเครื่องคนสารละลายด้วยแม่เหล็ก 44
รูปที่ 3.11 นำอาหารเลี้ยงเชื้อใส่หลอดทดลอง 44
รูปที่ 3.12 ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) 45
รูปที่ 3.13 ปลาสลิดที่ใช้เป็นตัวอย่างเชื้อ 46
รูปที่ 3.14 นำสำลีจุ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์เจือจาง 48
รูปที่ 3.16 เชื้อจุลินทรีย์มาใส่บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น 48
รูปที่ 3.17 เกลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ให้กระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อด้วยการหมุน Glass Spreader 49
รูปที่ 3.18 เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10^{-4}) 49
รูปที่ 3.19 นำจานเพาะเชื้อใส่ตู้อุปกรณ์ 51
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโลนีเฉลี่ยกับเวลาและแสดงค่าเบี่ยงเบน 56
รูปที่ 4.2 ปริมาณแรงดันเริ่มต้นของโอโซน 56
รูปที่ 4.3 ปริมาณแรงดันของโอโซนเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง 57
รูปที่ 4.4 ปริมาณแรงดันของโอโซนเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1.....2
ตารางที่ 1.2 แสดงแผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2.....3
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโอโซนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค 18
ตารางที่ 2.2 ผลกรทบของโอโซนในปริมาณต่าง ๆ 26
ตารางที่ 4.1 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 1..... 53
ตารางที่ 4.2 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 2..... 54
ตารางที่ 4.3 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 3..... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐาน ทฤษฎีหรือแนวคิดในงานวิจัย ขอบเขตของงานวิจัยและโครงสร้างของงานวิจัย

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เมื่อพูดถึงการผ่าตัด การตรวจและรักษาภายใน คงเป็นที่เข้าใจกันว่าเป็นการรักษาทางการแพทย์ที่ต้องใช้ความสะอาดอย่างสูงสุดไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์การรักษา, เครื่องมือในการรักษา, แพทย์, พยาบาลที่ให้การรักษา หรือแม้แต่อากาศที่อยู่ภายในห้องที่ใช้ จะต้องมีความสะอาด ไม่ทำให้ผู้ป่วยที่กำลังได้รับการรักษาติดเชื้อ อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมาทางการแพทย์ได้ใช้วิธีทำความสะอาดมือของแพทย์ผู้ทำการผ่าตัดโดยใช้สารเคมี ซึ่งการใช้สารเคมีอาจมีการตกค้างได้ ดังนั้นด้วยคุณสมบัติของโอโซนข้อหนึ่งในการฆ่าเชื้อโรครวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ ไวรัส และเชื้อรา โดยไม่เหลือสารตกค้างที่เป็นพิษใด ๆ นอกจากออกซิเจนแล้วนั้น ทำให้โอโซนเป็นทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจในการทำความสะอาดสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ต่าง ๆ ในพื้นที่การรักษา

จากความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์โอโซนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติบนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศสูงขึ้นไป ที่เรียกว่า Lower Stratosphere ในระดับความสูง 14.4-30.4 กม. จากพื้นผิวโลก ก๊าซออกซิเจนมีออกซิเจนอะตอมอยู่รวมกัน 2 อะตอม (O_2) ในขณะที่ในรูปของโอโซนมีอยู่ 3 อะตอม (O_3) โอโซนมีประโยชน์และมีโทษขึ้นอยู่กับแหล่งที่เกิดโอโซนตามธรรมชาติเป็นก๊าซที่ไม่คงรูป จะมีการเปลี่ยนแปลงกลับไปอยู่ในสภาพของก๊าซออกซิเจนในช่วง 10-20 นาที

ในปัจจุบันมีการผลิตก๊าซโอโซนโดยกระแสไฟฟ้าแรงสูงผ่านอากาศที่มีก๊าซออกซิเจน ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม (O) และรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนเป็นโอโซนมีสภาพเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไปจนถึงมีสีน้ำเงิน มีกลิ่นฉุน เนื่องจากโอโซนมีข้อดีต่าง ๆ มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการฆ่าเชื้อ กำจัดมลพิษ ในราคาที่ไม่สูง จึงทำให้เราพบเห็นการนำโอโซนไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น โรงงานผลิตน้ำดื่มผ่านการฆ่าเชื้อด้วยน้ำโอโซน, เครื่องฟอกอากาศ, เครื่องปรับอากาศในบ้าน เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อวัดปริมาณของโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.2 เพื่อศึกษาปฏิกิริยาที่จะเกิดขึ้นกับเชื้อตัวอย่างเมื่อใช้โอโซน

1.2.3 วิเคราะห์ช่วงเวลาในการฆ่าเชื้อด้วยโอโซน

1.2.4 สามารถกำหนดเวลาการอบโอโซนที่ต้องใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาการทำงานของเครื่องปล่อยโอโซน

1.3.2 ศึกษาการวัดปริมาณแก๊สโอโซนจากแรงดันที่วัดได้

1.3.3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงไปของเชื้อจุลินทรีย์เมื่อได้รับโอโซน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสร้างอุปกรณ์ที่วัดเวลาในการปล่อยโอโซนและวัดปริมาณของแก๊สโอโซนได้

1.4.2 อุปกรณ์นี้สามารถฆ่าเชื้อโรคหรือเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องมือการแพทย์ได้

1.4.3 อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นสามารถเทียบเคียงกับอุปกรณ์วัดมาตรฐานได้

1.4.4 สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้งานได้จริง

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 1

รายการ	พ.ศ. 2561																			
	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาการทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซน																				
ออกแบบวงจรในการปล่อยโอโซน																				
ต่อวงจรและประกอบ																				
ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์วัด																				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณแก๊สโอโซน																			
ทดสอบการผลิตและปล่อยโอโซน																			
เขียนโค้ดควบคุมอุปกรณ์วัด																			

ตารางที่ 1.2 แสดงแผนการดำเนินงานภาคเรียนที่ 2

รายการ	พ.ศ. 2561															
	มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
วิจัยปริมาณของโอโซนต่อเชื้อจุลินทรีย์																
ทดลองใช้จริง																
สรุปผล																
ทำรูปเล่มรายงาน																

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยเรื่อง เครื่องกำเนิดโอโซน ที่มีความเกี่ยวข้องกับระยะในการปล่อยโอโซนเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

2.1 โอโซน

2.2 ทฤษฎี HIGH VOLT ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องสร้างโอโซน

2.3 เซนเซอร์วัดปริมาณแก๊สโอโซน

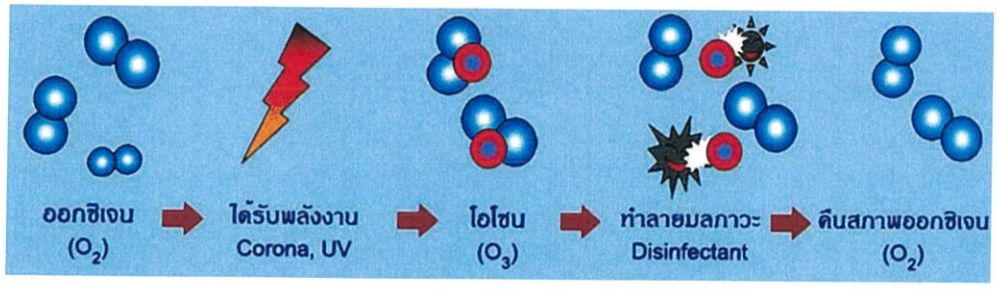
2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

2.1 โอนโซน

โอโซน

ชื่อทางเคมี Ozone (โอโซน)
สูตรเคมี O_3 ประกอบด้วยธาตุออกซิเจน (O) 3 อะตอม
น้ำหนักโมเลกุล 47.9982

โอโซน คือ อะตอมของออกซิเจน 3 อะตอมรวมตัวกันเป็นหนึ่งโมเลกุลของโอโซน (O_3) ตามปกติออกซิเจนจะประกอบด้วย 2 อะตอมเป็นหนึ่งโมเลกุล (O_2) ซึ่งมีสมบัติต่างกันมากคือ O_2 จะสามารถคงสภาพได้หลายสภาวะหรือกล่าวได้ว่ามีความเสถียร (Stable) แต่ก๊าซโอโซนจะไม่คงตัวหรือไม่เสถียร (unstable) เนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่ง O_3 จะมีค่า oxidation potential สูงถึง 2.07 มิลลิโวลต์



รูปที่ 2.1 การเกิดก๊าซโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 คุณสมบัติของโอโซน

- ไม่เสถียรที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ
- มีกลิ่นฉุนเฉพาะตัว เป็นก๊าซไม่มีสี
- สถานะก๊าซที่อุณหภูมิฉุนเฉพาะตัว เป็นก๊าซไม่มีสี
- สถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ จุดเดือดที่ -111.9 องศาเซลเซียส มีจุดหลอมเหลวที่ 192.5 องศาเซลเซียส
- ถ้าอยู่ในรูปของเหลวมีสีน้ำเงินเข้ม
- ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์บางชนิดเช่น N-pentane, carbon tetrachloride
- ที่ 20 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้เล็กน้อย 0.57 ppm
- เป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงมาก สามารถเกิดระเบิดได้เมื่อได้รับความร้อนสูง
- สามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี
- สามารถฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา ไวรัสและจุลินทรีย์ได้ไวกว่าคลอรีน 3,125 เท่า
- สามารถสลายโครงสร้างของไอระเหยจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ส่วนใหญ่ให้เป็นโมเลกุลที่ไม่ มีกลิ่นและไม่มีพิษ
- สามารถสลายโครงสร้างของสารเคมี ยาฆ่าแมลง สีและสารพิษต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- ทำลายผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของไบโอฟิล์มและแหล่งสะสมตะกรัน
- ครึ่งชีวิตของโอโซนที่ 20.00 องศาเซลเซียส มีค่าประมาณ 40 นาที
- ก๊าซโอโซนสามารถดูดซึมรังสีอัลตราไวโอเลตระหว่างช่วงความยาวคลื่น 220-330 nm (นาโนเมตร) และดูดซึมแสงที่มองเห็นได้เล็กน้อยในช่วงความยาวคลื่น 435 - 475 นาโนเมตร
- ความหนาแน่น

  ก๊าซ = 2.144 กก./ลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) ที่อุณหภูมิและความดันปกติ (NTP, 273 K, 101.3 kPa) หนักกว่าอากาศ 1.65 เท่า หนักกว่าก๊าซออกซิเจน 1.5 เท่า

  ของเหลว = 1.574 กรัม/มิลลิลิตร (g/ml) ที่อุณหภูมิ -183° C

  ของแข็ง = 1.728 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

- จุดเดือด (อุณหภูมิที่กลายเป็นของเหลว) -112° C ที่ความดัน 100 kPa ซึ่งจะระเบิดได้ง่าย การผลิตก๊าซโอโซนจากก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ จนได้ความเข้มข้น 20% จะระเบิดได้ ในการผลิตจึงมักควบคุมความเข้มข้นไว้ที่ 5% หรืออย่างมากไม่เกิน 10%
- จุดหลอมเหลว = −196° C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความหนืด = 0.0042 Pa·s ที่อุณหภูมิ -196° C
  0.00155 Pa·s ที่อุณหภูมิ -183° C
- อุณหภูมิวิกฤต = -12.1° C ที่ความดัน 5,460 kPa (ความดันวิกฤต)

2.1.2 ข้อจำกัดของก๊าซโอโซน

- มีความคงสภาพต่ำไม่สามารถเก็บไว้ใช้งานได้ ดังนั้นเมื่อผลิตขึ้นมาแล้วต้องรีบใช้
- ความสามารถในการละลายน้ำต่ำกว่าคลอรีน ดังนั้นการนำไปฆ่าเชื้อโรคในน้ำต้องออกแบบให้เหมาะสม ส่วนใหญ่จะเล็ดลอดสู่อากาศ โดยอาจจะใช้ปั๊มลมที่มีโอโซนอัดอากาศผ่านหัวทรายจะช่วยให้การทำงานดีขึ้น แต่ต้องมีระดับน้ำที่ลึกเพียงพอ
- ต้องใช้เงินลงทุนครั้งแรกสูง เหมาะกับการทำงานในระยะยาว

2.1.3 ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์

ปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ มีการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลเป็นรูปสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ ที่มีแต่ละตะกอนเกาะกันด้วยพันธะเดี่ยวอย่างเดียวหรือเกาะกันด้วยพันธะคู่ร่วมกับพันธะเดี่ยว โครงสร้างแต่ละแบบมีการเคลื่อนไหวเปลี่ยนกันไปมาอยู่ตลอดเวลา ประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบก็ปรับเปลี่ยนที่ไปด้วย ดังรูปที่ 2.2 โดยแต่ละเรโซแนนซ์มีมุมพันธะหรือมุมระหว่างอะตอมเป็น 116° ถ้าวัดด้วยวิธีการกระจายอิเล็กตรอน และมีความยาวพันธะหรือระยะห่างระหว่างอะตอมโดยเฉลี่ย 1.278 A

รูปที่ 2.2 ลักษณะโมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนซ์ (Harano et al,1991)

โมเลกุลของก๊าซโอโซนทุกเรโซแนนท์ไม่มีอิเล็กตรอนที่ขาดคู่ ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กชนิดพาราแมกเนติก จึงไม่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสารอื่น เป็นก๊าซสีฟ้า (bluish) ทำให้ท้องฟ้ามีสีฟ้า เมื่อละลายในน้ำก็ทำให้น้ำมีสีฟ้า ในบรรยากาศทั่วไปมีความเข้มข้นต่ำ มักไม่มีสี เมื่อเป็นของเหลวมีสีน้ำเงินเข้ม (dark blue)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ

ก๊าซโอโซนมีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งในน้ำสารละลาย และอากาศ มีความสามารถในการรับอิเล็กตรอนจากสารอื่นเพิ่มเข้ามาได้อีก ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) โดยตัวเองทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (Oxidizer) อย่างแรง ในบรรดาตัวออกซิไดซ์ทางเคมีที่มีอยู่มากมายนับว่าโมเลกุลของโอโซนมีความสามารถสูงสุดเป็นอันดับสองรองลงมาจากโมเลกุลของก๊าซฟลูออรีน (Fluorine) และเป็นอันดับสี่ถ้านับรวมอนุมูลไฮดอกซิล (Hydroxyl radical) และอะตอมเดี่ยวของออกซิเจน (Oxygen atom) โดยมีค่าศักย์ไฟฟ้า 20.8 โวล์ท สูงกว่าก๊าซคลอรีน (Chlorine) 1.52 เท่า

ตัวออกซิไดซ์	อีโอพี* (โวลท์)	เทียบกับคลอรีน (เท่า)
ก๊าซฟลูออรีน (F_2)	3.06	2.25
อนุมูลไฮดรอกซิล (OH)	2.8	2.05
อะตอมของออกซิเจน (O)	2.42	1.78
โอโซน (O_3)	2.08	1.52
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)	1.49	1.30
ก๊าซคลอรีน (CL_2)	1.36	1.00
ก๊าซออกซิเจน (O_2)	1.23	0.90

(* อีโอพี (EIOP) = Electrochemical oxidation potential = ความต่างศักย์รีดอกซ์)

การทำปฏิกิริยาเคมีกับสารต่าง ๆ จะเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสาร สภาพของก๊าซโอโซนที่อยู่ในอากาศหรือสารละลาย สารที่มีอิเล็กตรอนมากหรือตัวรีดิวซ์ เช่น ซัลไฟด์ (H_2S) ซัลไฟต์ (HSO_3) ไนไตรต์ (NO_2) โบรไมด์ (Br) ไอโอไดด์ (I) ไซยาไนต์ (CN) ไธโอไซยาไนด์ (SCN) และธาตุทุกชนิด ยกเว้นฟลูออไรด์ในตารางธาตุก็จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นอย่าง ตรงไปตรงมา มีการเติมออกซิเจนเข้าไปและมักจะได้ก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้นมา เช่น

$Fe^{2+} + O_3 + H_2O$ --> $Fe^{3+} + O_2 + 2(OH)$ (ได้ก๊าซออกซิเจน) (2)

$(CN) + O_3$ --> $(CNO) + O_2$ (ได้ก๊าซออกซิเจน) (3)

$(NO_2) + O_3$ --> $(NO_3) + O_2$ (ได้ก๊าซออกซิเจน) (4)

$(SCN) + O_3$ --> $(CN) + (SO_4)^{2-}$ (ไม่ได้ก๊าซออกซิเจน) (5)

สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ที่มีโลหะโดยเฉพาะโอโซนที่ละลายในน้ำอาจเกิดปฏิกิริยาที่ไม่มีก๊าซออกซิเจนเหลืออยู่ เพราะทั้งโมเลกุลของก๊าซโอโซนจะเข้ารวมตัวเป็นรูปวงแหวนที่เรียกว่าปฏิกิริยาไดโพล่าไซโคลแอดดอชัน (Dipolar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cyclo-Addition) ซึ่งมักเกิดขึ้นกับสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic Compounds) ถ้าเป็นพวกอัลคีน (Alkenes) ก็จะเกิดปฏิกิริยาแทนที่อิเล็กโตรฟิลลิก (Electrophilic substation reaction) โดยเกิดขึ้นตรงพันธะคู่ของอะตอมของคาร์บอนซึ่งมีอิเล็กตรอนอยู่มาก ทำให้โมโลโซไนด์ (Molozonides) ซวิทเทอเรียน (Zwitterion) และโอโซไนด์ (Ozonide) ปฏิกิริยาทั้งสองนี้แตกต่างกับการเกิดออกซิเดชันธรรมดา เพราะก๊าซโอโซนจะไม่แตกตัวออกเป็นอะตอมเดี่ยวหรือโมเลกุลของออกซิเจนก่อน เนื่องจากการเข้าทำปฏิกิริยาเคมีของโอโซนกับสารอื่น เกิดขึ้นเร็วกว่าการแตกตัวของก๊าซโอโซนสำหรับก๊าซโอโซนซึ่งละลายอยู่ในน้ำ ยังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นทางอ้อมจากอนุมูลอิสระโดยโมเลกุลของน้ำบางส่วนแตกตัวออกเป็นอนุมูลไฮดรอกซี (OH) แล้วทำปฏิกิริยากับโอโซน กลายเป็นอนุมูลอิสระพวกซุปเปอร์ออกไซด์ (Superoxide Radical) และอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxy Radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโอโซน แล้วจึงเข้าทำปฏิกิริยากับสารอื่นอีกที จะเห็นได้ว่าปฏิกิริยาเคมีของโอโซน ถึงแม้ว่าโดยพื้นฐานจะอาศัยการออกซิเดชั่น แต่บางครั้งกว่าจะสิ้นสุดกระบวนการ ก็อาจมีความซับซ้อนหลายขั้นตอน นอกจากจะขึ้นกับสารที่จะทำปฏิกิริยายังขึ้นอยู่กับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเข้มข้นของโอโซน ระยะเวลาในการสัมผัส อุณหภูมิ และความชื้น การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับโอโซน จึงต้องมีห้องปฏิบัติการที่ทันสมัย ซึ่งสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์สารต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด เนื่องจากก๊าซโอโซนมีทั้งความว่องไวในการทำปฏิกิริยาและสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว จนนักวิทยาศาสตร์ยุคใหม่หลายคนถึงกับเสนอว่าก๊าซโอโซนน่าเป็นก๊าซในอุดมคติ (Ideal gas) มากกว่าก๊าซที่จะอยู่อย่างอิสระหรือมีความบริสุทธิ์ได้อย่างแท้จริง[1]

2.1.5 การประยุกต์ใช้งานโอโซน

ปี 1856 มีการนำก๊าซโอโซนไปใช้ฆ่าเชื้อในห้องผ่าตัด ต่อมามีการระบาดใหญ่ของอหิวาตกโรคหลายครั้งในเมืองแฮมบวร์ก ทำให้มีคนตายราว 30,000 คน

ปี 1857 เวอร์เนอร์ ฟอน ซีเมนส์นักเคมีผู้มีชื่อเสียงชาวเยอรมันจึงประดิษฐ์หลอดซีเมนต์ (Siemens Tube) สำหรับผลิตก๊าซโอโซนขึ้น แล้วไคลน์มันน์ นำไปศึกษาผลในการฆ่าเชื้อโรค (Harano et al.,1991)

ปี 1860 เริ่มใช้โอโซนทำน้ำประปาเป็นครั้งแรกในประเทศไทยโมนาโค

ปี 1886 เดอ เมริตองส์ (Rip et al.,1978) ชาวฝรั่งพบว่าก๊าซโอโซนสามารถลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 1888 บารอนปีเตอร์ ทินดาล (Rip et al.,1978) คิดค้นระบบโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อในน้ำ แล้วนำไปใช้ที่เมืองอุชชุม ประเทศเนเธอร์แลนด์

ปี 1890 โอมูลเลอร์ (Rip et al.,1978) รายงานผลสำเร็จที่แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์โดยโอโซนในโครงการนำร่องที่เมืองมาร์ตินิเค่นเฟลด์ ประเทศเยอรมันนี อีก 2 ปี ต่อมา ก็นำก๊าซโอโซนมาใช้ในระบบการทำน้ำดื่มและน้ำประปาในเมืองไวซ์บาด้านของเยอรมันนี แล้วขยายตัวอย่างรวดเร็วไปยังสหรัฐอเมริกา รัสเซีย ฝรั่งเศส แคนาดา ฟินแลนด์ สวิตเซอร์แลนด์ เบลเยี่ยม สิงค์โปร์ ตะวันออกกลาง

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่1 (ค.ศ.1914-1918) กองทัพเยอรมันใช้น้ำโอโซนทำความสะอาดบาดแผลและฆ่าเชื้อจุลินทรีย์

ปี1915 นายแพทย์อัลเบิร์ต จอล์ฟ ชาวเยอรมัน (Rip et al.,1978) เป็นคนแรกที่นำก๊าซโอโซนมาใช้ทางการแพทย์ เพื่อรักษาผู้ป่วยโรคผิวหนัง ใช้ดับกลิ่นของเสียในผู้ป่วยที่เป็นโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่มะเร็งระบบสืบพันธุ์สตรีและแผลกดทับ เขาชี้ให้เห็นว่ากลิ่นเหม็นที่ฟุ้งกระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นตัวบั่นทอนสุขภาพและปัจจัยส่งเสริมทำให้เกิดโรคได้ง่าย จนเทศบาลนครเบอร์ลินยอมนำก๊าซโอโซนมาใช้ดับกลิ่นในโรงฆ่าสัตว์หลังจากนั้นก็มีแพทย์และทันตแพทย์ใช้น้ำโอโซนรักษาโรคในช่องปาก มีการใช้ก๊าซโอโซนฉีดเข้าทางทวารหนัก เพื่อรักษาโรคลำไส้ใหญ่ และฉีดเข้าเส้นเลือดดำเพื่อรักษาโรคของระบบการไหลเวียนเลือด

หลังปี 1950 เป็นต้นมา กลุ่มประเทศในยุโรปมีการใช้โอโซนในสระว่ายน้ำมากกว่า 2,000 แห่ง

ปี 1960 เริ่มใช้บำบัดน้ำเสียปี 1977 มีการประปามากกว่า 1,000 แห่ง ใช้ระบบโอโซนฆ่าเชื้อโรค

ปี 1981 มีระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนถึง 38 แห่ง ในสหรัฐอเมริกาและขยายตัวไปแทบทุกประเทศในทวีปอเมริกา

ปี 1984 เริ่มติดตั้งในสระว่ายน้ำของนักกีฬาโอลิมปิกที่นครลอสแองเจลลีส สหรัฐอเมริกา และก็ใช้ต่อเนื่องกันมาจนถึงโอลิมปิกปี 2000 ที่ประเทศออสเตรเลีย

เป็นเวลา 150 ปีเศษ ที่มีการพัฒนาเครื่องให้กำเนิดโอโซนในประเทศอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และประเทศกำลังพัฒนามากกว่า 70 ประเทศ มีเทศบาลและเมืองใหญ่กว่า 3,000 แห่งทั่วโลกมีความพยายามที่จะลดอันตรายจากการใช้คลอรีน โดยเพิ่มระบบโอโซนในการทำน้ำประปาและน้ำดื่มเข้าไปแทน สำหรับประเทศไทยเราเริ่มมีการใช้กันประปรายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาไม่ถึง 10 ปี เพื่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมใช้ดับกลิ่นและลำบัดอากาศในตัวอาคาร ที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายก็คงอยู่ในระยะ 3-4 ปี ที่ผ่านมา ซึ่งส่วนใหญ่มักเป็นเครื่องขนาดเล็ก (Small Scales) ผลิตก๊าซโอโซนในระดับเป็นมิลลิกรัมต่อชั่วโมง สำหรับดับกลิ่นและบำบัดอากาศในรถยนต์ในอาคารบ้านพักและใช้น้ำโอโซนแช่ล้างพืชผัก อาหารและภาชนะ ส่วนการทำน้ำดื่มบรรจุขวด การบำบัดน้ำเสีย การกำจัดขยะพิษ การใช้ในสระว่ายน้ำ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการใช้ทางการแพทย์มีใช้กันบ้างแต่ก็ยังอยู่ในวงจำกัด

ปัจจุบันมีการนำโอโซนมาใช้ทั้งในรูปของก๊าซ สารละลายในน้ำในของเหลวพวกน้ำมันมะกอกน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น นับว่าก็ยิ่งจะเห็นคุณประโยชน์ของก๊าซโอโซนและการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางมีการพัฒนากำลังการผลิตจากขนาดเล็กเป็นมิลลิกรัมต่อชั่วโมงไปจนถึงหลายร้อยกิโลกรัมต่อชั่วโมงแนวโน้มของการขยายตัวทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยกำลังเป็นไปอย่างรวดเร็ว

ก๊าซโอโซนที่นำไปใช้งานอื่นนอกเหนือจากการแพทย์เรียกว่า เทคนิคัลโอโซน (Technical Ozone)โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในรูปของก๊าซ (Air Treatment) สารละลายในน้ำกลายเป็นน้ำโอโซน (Ozonated Water) หรือในน้ำมัน (Ozonated Oil) แต่ไม่ว่าจะใช้ในรูปแบบใด คุณสมบัติของโอโซนในการทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ก็จะคล้าย ๆ กัน แต่เนื่องจากสารเคมีหรือส่วนประกอบต่าง ๆ ในสิ่งแวดล้อมมีอยู่มากมายและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การนำโอโซนไปใช้จึงขึ้นอยู่กับสภาพที่เป็นจริงในช่วงเวลาที่แน่นอน บางครั้งก็ซับซ้อนจนยากที่จะอธิบายกลไกในการทำปฏิกิริยาให้ชัดเจนลงไปได้ แต่ถึงอย่างไรก็ก๊าซโอโซนก็มีความเด่นชัดและได้เปรียบตรงที่สามารถนำไปฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด สามารถใช้กำจัดสารพิษ ดับกลิ่นและฟอกสีได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างที่เป็นอันตรายเหมือนกับการใช้สารเคมีอย่างอื่น

แต่ละปีสมาคมโอโซนนานาชาติและหน่วยงานอื่นที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมได้จัดประชุมกันหลายครั้งเพื่อแลกเปลี่ยนประสบการณ์และพัฒนาการประยุกต์ใช้เทคนิคัลโอโซน โดยมีหัวข้อที่ใช้ในการสัมมนากันอยู่เสมอ การประยุกต์ใช้โอโซนส่วนใหญ่ มักอยู่ในรูปของน้ำโอโซนอาจเป็นการผลิตขนาดย่อม (Small Scales) เพื่อใช้ในครัวเรือน หรือขนาดใหญ่ระดับเมือง (Municipal) เพื่อทำน้ำประปาและน้ำดื่ม หรือการบำบัดน้ำเสีย น้ำโอโซนมีคุณสมบัติที่นอกเหนือจากก๊าซโอโซนที่การเกิดปฏิกิริยาของก๊าซโอโซนในน้ำนั้น จะทำให้โมเลกุลของน้ำส่วนหนึ่งแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรงกว่า การออกฤทธิ์จึงดีกว่าโอโซนในปริมาณและความเข้มข้นต่ำที่สุดและใช้ระยะเวลาให้สั้นที่สุด เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดพลังงานในการผลิตและป้องกันไม่ให้มีการสะสมก๊าซโอโซนมากเกินไป ทั้งนี้ก็ขึ้นกับการวิเคราะห์ชนิด คุณสมบัติ และปริมาณของสารที่จะให้โอโซนไปทำปฏิกิริยา และสภาพแวดล้อมที่เป็นจริงในขณะนั้น ทั้งด้านอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง (pH) การกระจายตัว ความคงที่ในการผลิตก๊าซของเครื่องให้กำเนิดโอโซน และตัวควบคุมอื่น ๆ (Parameters) ในกระบวนการใช้โอโซนแต่ละวัตถุประสงค์จึงต้องมีเครื่องมือ (Monitors) และระบบติดตามตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาเพื่อควบคุมปริมาณโอโซนที่เหมาะสมและระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา การอธิบายกลไกทางเคมี การควบคุมก๊าซโอโซนตกค้างให้อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยสำหรับการหายใจ ซึ่งก็แล้วแต่กฎหมายของแต่ละประเทศ ไปจนถึงผลขั้นสุดท้ายหรือสารตกค้าง (By products) ที่จะเกิดขึ้นตามมา

ในการปฏิบัติงานทั่วไปของการใช้น้ำโอโซน วิศวกรหรือผู้ควบคุมงานมักใช้กฎเกณฑ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลา โดยแต่ละวัตถุประสงค์หนึ่งหรือการนำไปใช้กับกิจการหนึ่ง ก็จะมีค่าคงที่ของตัวเอง (K) เป็นผลคูณระหว่างความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้ (Contact Concentration, mg/L) และระยะเวลาในการสัมผัส (Contact time, t, Minute)

ยกตัวอย่างของการใช้โอโซนในการทำน้ำดื่มบรรจุขวดของโรงงานหนึ่ง บางครั้งการใช้เครื่องกรองร่วมกับกับรังสีอุลตร้าไวโอเลต และคลอรีน ก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อโรคสารพิษเจือปน รสชาติและกลิ่นเหม็นในน้ำได้ เมื่อนำก๊าซโอโซนมาใช้ให้ละลายอยู่ในน้ำที่ความเข้มข้น 1 ไมโครกรัม (0.001 มิลลิกรัม) ต่อลิตร เป็นเวลาติดต่อกัน (ระยะเวลาที่สัมผัส) 30 นาทีก็ทำให้น้ำสะอาดสำหรับการบริโภคได้ ถ้าลดความเข้มข้นของโอโซนลงครึ่งหนึ่ง ก็ต้องทำให้มีค่าคงที่เท่าเดิมก็โดยใช้เวลานานขึ้นอีกหนึ่งเท่า แต่ถ้าสภาพของน้ำเปลี่ยนไป เช่น มีเชื้อโรคและกลิ่นเหม็นมากขึ้นค่าคงที่ก็จะต้องเพิ่มขึ้นเป็นอีกตัวเลขหนึ่ง และจะต้องปรับค่าความเข้มข้นหรือเวลาใหม่

อีกตัวอย่างของการใช้ก๊าซโอโซนในการกำจัดควันบุหรี่และบำบัดอากาศเสียในห้องนอน เมื่อใช้ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในการผลิตที่ 100 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และใช้ระยะเวลาสัมผัส 60 นาที จะทำการกำจัดได้หมด แต่ถ้าเครื่องผลิตได้ชั่วโมงละ 50 มิลลิกรัม ก็จะต้องยืดระยะเวลาในการสัมผัสออกไปเป็น 2 ชั่วโมง (120 นาที) และถ้าเครื่องผลิตได้ความเข้มข้นเพิ่มอีกหนึ่งเท่าเป็น 200 มิลิกรัมต่อชั่วโมง ระยะเวลาสัมผัสลดเหลือ 30 นาที ในกรณีที่เชื้อโรคหรือสารพิษที่จะต้องกำจัดมีมาก ทุกอย่างก็จะมากขึ้นในทำนองเดียวกัน เพราะฉะนั้นเมื่อสภาพที่เป็นจริงของการจะนำโอโซนไปใช้เปลี่ยนไปค่าคงที่ ความเข้มข้นและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การจะนำก๊าซโอโซนไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพจึงขึ้นอยู่กับการตรวจวัดทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณของสารที่จะทำปฏิกิริยากับโอโซน การเข้าใจถึงรายละเอียดและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาพของงานที่ต้องการใช้อย่างถ่องแท้ ต้องมีเครื่องให้กำเนิดที่สามารถผลิตก๊าซโอโซนได้อย่างสม่ำเสมอและพอเพียง ต้องมีการออกแบบระบบและควบคุมกระบวนการทำงานอย่างถูกต้องของผู้จะนำไปใช้ด้วย

ฆ่าเชื้อจุลิทรีย์ด้วยโอโซน

โอโซนมีคุณสมบัติโดดเด่นในการฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเชื้อไวรัส จุลินทรีย์ รา ยีสต์เชื้อโปรโตซัวหรือสัตว์เซลล์เดียว สปอร์ซิสล์และไข่พยาธิ โดยโอโซนจะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบที่ห่อหุ้มอยู่ชั้นนอกสุดของเชื้อโรค โดยเริ่มต้นที่พันธะคาร์บอนในไขมันชนิดฟอสโฟไลปิดของเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้เซลล์รั่วหรือแตกออก แล้วตายไปในที่สุด ก๊าซโอโซนบางส่วนจะซึมเข้าไปทำลายส่วนประกอบกลุ่มซัลไฮดริลเพื่อขัดขวางการทำงานของเอ็นไซม์ในจุลินทรีย์ ถ้าเป็นไวรัสก็จะทำปฏิกิริยาที่แคฟซิด (Preotic Capsid) ซึ่งใช้ในการเกาะกับเซลล์อื่น และสลายกรดนิวคลีอิก ซึ่งไวรัสใช้ในการขยายพันธุ์ ส่วนซิสล์หรือถุงที่หุ้มเชื้อโปรโตซัว ก็จะทำปฏิกิริยากับผนังหุ้มชั้นนอก (Cyst Wall) จนทะลุแล้วต่อด้วยการทำลายที่เยื่อหุ้มชั้นใน จนถึงส่วนประกอบภายในเซลล์

ปี 1974 ที่เมืองบอสตัน แมสซาชูเซส สหรัฐอเมริกา สถาบันโอโซนนานาชาติ ได้จัดห้องทำงานสำหรับนักวิทยาศาสตร์ 200 คน เพื่อทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนไปใช้ในการทำน้ำดื่ม และการบำบัดน้ำเสียดร.วอลล์ โบลกอสลอว์กี ได้รายงานผลการทดลองฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำทะเลโดยใช้น้ำโอโซนเข้มข้น 0.56 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาสัมผัส 30 วินาที พบว่าสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 10,000 ตัวในน้ำ 1 ซี.ซี. ได้อย่างสิ้นเชิง และมีหลายการทดลองที่ใช้เวลาสัมผัสเพียง 2 วินาทีเท่านั้น ยังมีการทดลองฆ่าเชื้อยีสต์ชนิดสปอโรบอโลมัยซีตีส โรเซียส ซึ่งมีผนังหุ้มภายนอกค่อนข้างหนา เมื่อใช้ก๊าซโอโซนที่มีกำลังผลิตขนาด 8 กรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 22° C ที่ระยะเวลาสัมผัส 60 วินาที ตัวเชื้อจะมีสีเข้มเหี่ยวและมีผิวขรุขระ ถ้าใช้เวลา 90 วินาที เชื้อยีสต์ก็ถูกกำจัดหมด

การฆ่าเชื้อโรคในอากาศหรือการบำบัดอากาศเสีย เกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายอย่าง ทั้งด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม การลดมลพิษ การกำจัดขยะและสิ่งปฏิกูล การแยกผู้ป่วยติดเชื้อ การป้องกันเสมหะฟุ้งกระจาย การนำก๊าซโอโซนมาใช้อบห้องหรือกำจัดเชื้อในอากาศทำได้ง่ายโดยพยายามควบคุมให้มีปริมาณโอโซนอยู่ที่ระดับ 0.03 ส่วนในล้านส่วนซึ่งเป็นระดับเดียวกับที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เชื้อโรคก็จะหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบว่ายังมีเชื้อโรคหรือไม่ ทำได้โดยการเพาะเชื้อ ถ้ามีเชื้อโรคน้อยกว่า 500 ซีเอฟยู (Colonial Forming Unit , CFU) แสดงว่ามีเชื้อโรคมากหรือรุนแรง จึงเพิ่มความเข้มข้นหรือใช้ระยะเวลาสัมผัสให้นานขึ้น การฆ่าเชื้อโรคครั้งแรกอาจเริ่มที่ความเข้มข้นสูงและเวลานาน ครั้งต่อไปเมื่อเชื้อโรคน้อยลงก็ลดขนาดและเวลาลง ไม่ควรใช้ก๊าซโอโซนในที่เปิดโล่ง เพราะต้องใช้ความเข้มข้นสูงและควบคุมยาก การใช้ห้องปิดที่มีเครื่องปรับอากาศความเย็นทำให้ก๊าซโอโซนมากจนทำให้เกิดกลิ่นฉุน หรือระคายเคืองจนเป็นอันตรายจึงไม่ควรเปิดโอโซนเวลานอนหรือช่วงที่อยู่ในห้อง ควรทิ้งเวลา 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ก๊าซโอโซนสลายตัวจนหมดเสียก่อน จึงจะเข้าไปใช้สถานที่ถ้าอากาศสกปรกมาก ควรใช้วิธีเปิดและปิดเครื่องเป็นระยะตลอดช่วงเวลาที่อยู่ภายใน แต่ต้องควบคุมให้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยเสมอ ในสถานที่กว้างใหญ่ อาจเพิ่มตัวตัดเวลา (Timer) สัญญาณเตือน (Alarm) หรือตัวตัดวงจรอัตโนมัติ (Sensor) เมื่อมีการสะสมจนถึงขีดกำหนด

การฆ่าเชื้อโรคในน้ำ องค์การอนามัยโลก กำหนดให้ใช้น้ำโอโซนที่สามารถควบคุมการละลายไว้ที่ระดับ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลาอย่างน้อย 4 นาที เพราะสามารถฆ่าเชื้อไวรัสโปลิโอได้ร้อยละ 99.99 จึงเพียงพอที่จะใช้เป็นมาตรฐานของการผลิตน้ำดื่ม น้ำประปา และน้ำในสระว่ายน้ำ ถ้าเป็นห้องเย็นให้ควบคุมในระดับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้ตลอดเวลา อาจติดระบบควบคุมความปลอดภัยเช่นเดียวกับที่ใช้ในอากาศ

สลายสารพิษด้วยโอโซน

สารพิษมีอยู่ทั่วไปทั้งในดิน น้ำ อาหาร และอากาศ ซึ่งเป็นผลมาจากความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ ทำให้เกิดมลภาวะจากโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ยานพาหนะ การประกอบอาหาร การอำนวยความสะดวกภายในครัวเรือน การแต่งกายอื่น ๆ ที่เป็นปัญหาหนักไม่แพ้การติดเชื้อสารพิษจากแหล่งต่าง ๆ ก็สามารถกระจายไปมาซึ่งกันและกัน อาจเปลี่ยนเส้นทางเข้าสู่ร่างกายและมีผลต่อการทำลายสิ่งแวดล้อม ผลเสียของสารพิษแต่ละชนิดจะแตกต่างกันแต่โดยรวมแล้วอาจมีอาการเล็กน้อยเพียงการระคายเคืองต่อผิวหนังและเยื่อบุต่าง ๆ ของทางเดินหายใจและทางเดินอาหารหรือมีพิษมากจนช็อกตาย บางอย่างก็ออกฤทธิ์สะสมทีละน้อย เช่น พวกสารเสพติดสารทำลายกระดูก สารทำให้กลายพันธุ์และสารก่อมะเร็ง

ในชีวิตประจำวันหลังจากตื่นนอน แล้วต้องการเดินทางออกนอกบ้านไป แต่ละคนก็ต้องผจญกับสารพิษต่าง ๆ นานาชนิดนับไม่ถ้วน ยิ่งมีวัตถุที่ห่างเกินจากธรรมชาติมากเท่าไรก็ยิ่งเสี่ยงต่อการได้รับสารพิษมากขึ้นเท่านั้น เริ่มด้วยฟอร์มาดีไฮด์จากไม้อัด เฟอร์นิเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พรม สารแนพทาลีนจากลูกเหม็น แอสเบสตอสจากผนังกันความร้อน เมธิลีนคลอไรด์จากสีทาบ้าน เตตราคลอเอธีลีนจากน้ำยาซักแห้ง แอมโมเนียจากน้ำยาล้างสุขภัณฑ์ น้ำยาเช็ดกระจกพาราไดคลอโรเบนซินจากน้ำหอมปรับอากาศ ไตรคลอโรอิเธนจากน้ำยาล้างสี น้ำยาลบคำผิด สไตรีนจากโฟม กาว ไฮโดรคาร์บอนจากน้ำมันเชื้อเพลิง สเปรย์ปรับอากาศ ไนโตรเจนออกไซด์จากการเผาไหม้

พอเริ่มรับประทานอาหารก็ต้องเสี่ยงกับสารบอแรกซ์ในผงกรอบ อาหารบด ของดอง ฟอร์มาลีนในอาหารทะเล สารซาลบูตามอลในเนื้อสัตว์ สารไฮโดรซัลไฟด์สำหรับฟอกขาวในถั่วงอก ขิงฝอย กระชายฝอย ของดอง ของกวน น้ำตาลปี บ สารโปแตสเซียมไนเตรตหรือดินประสิวในกุนเชียง ปลาเค็ม ไส้กรอก แฮม เบคอน ต้องรับประทานพืชผักที่ปนเปื้อนยากำจัดศัตรูพืชและยาฆ่าแมลงกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟสพวกพาราไธออน ไดอะซินอน ดิฟเทอเรกซ์ มาลาไธออน กลุ่มออร์กาโนคลอรีนพวกดีดีที ลีนเดน เฮปตาคลอร์ ดีลดิน กลุ่มคาร์บาเมตพวกคาร์บาริลหรือเซวิล เฟอร์ทรัม กลุ่มสารรมควันพวกไฮโดรไซยานิก เมธิลโบรไมด์ คาร์บอนไดซัลไฟด์เอธิลีนออกไซด์ ฟอสฟีน และตัวพิษที่รุนแรงที่สุดก็คือไดออกซินหรือทีซีดีดี ซึ่งมีความเป็นพิษมากกว่ายาพิษไซยาไนด์ถึง 150,000 เท่า เมื่อเร็ว ๆ นี้มีการวิจัยคะน้าซึ่งเป็นผักยอดนิยมในกรุงเทพ ฯ จำนวน 38 ตัวอย่าง ก็พบสารพิษตกค้าง 18 ตัวอย่าง ซึ่งมี 8 ตัวอย่างที่ไม่สามารถบริโภคได้เพราะมีปริมาณสารตกค้างเกินค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ ถ้าดื่มน้ำประปาก็อาจได้รับสารคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารตกค้างมาจากการใช้คลอรีนในน้ำบาดาลมีสารพิษพวกธาตุเหล็กแมงกานีสไซยาไนด์ และโลหะหนักที่เป็นอันตรายอื่น ๆ เมื่อเดือนสิงหาคม 2542 องค์การอนามัยโลกได้เปิดเผยผลสำรวจน้ำนมแม่ซึ่งถือได้ว่าเป็นอาหารที่วิเศษที่สุดของทารกที่เก็บตัวอย่างมาจากทั่วโลกก็ยังมีสารพิษปนเปื้อนรวมกันได้ถึง 350 ชนิด

ออกจากบ้านนั่งรถ พอติดเครื่องปิดกระจกเปิดเครื่องปรับอากาศก็เริ่มรับไอเสียก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ สารระเหยและไอน้ำมันจากรถของตัวเอง ต้องสูดควันพิษจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ไม่เป็นเรื่องแปลกที่จะได้ยินข่าวคนขับและผู้โดยสารหลับตายจากก๊าซพิษในรถ จากการเปิดเผยของเจ้าหน้าที่สำนักงานสำรวจอากาศในรถยนต์อาจเป็นพิษมากกว่าภายนอกถึง 10 เท่า โดยเฉพาะเมื่อขับรถหรือจอดรถอยู่ข้างหลังรถโดยสารหรือรถบรรทุกขนาดใหญ่ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ตัวสารที่ออกมาพวกไนโตรเบนซาโธรน จัดว่าเป็นสารเคมีที่สามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้มากที่สุดในบรรดาสารพิษทั้งหลาย สถิติจากกระทรวงสาธารณสุขไทยก็ระบุไว้ชัดเจน ว่าคนกรุงเทพ ฯ มีโอกาสเกิดโรคมะเร็งมากกว่าคนชนบท 3 เท่า สารพิษยังมีอีกมากจากน้ำโสโครกในท่อระบาย น้ำเสียน้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ยอมรับกันมานานแล้วว่าก๊าซโอโซนมีบทบาทที่สุดในการกำจัดสารพิษ ถ้าหากออกแบบเครื่องมือและจัดกระบวนการให้ถูกวิธีเพื่อให้มีปริมาณก๊าซโอโซนเพียงพอและมีการคลุกเคล้าหรือสัมผัสกันอย่างทั่วถึง ก็สามารถนำก๊าซโอโซนไปกำจัดสารพิษได้แทบทุกชนิด ตัวอย่างเช่นควันพิษจากก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน (O_3) จะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการหายใจของพืชและได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของพืชและได้ก๊าซออกซิเจน (O_2) ซึ่งจำเป็นต่อการหายใจของมนุษย์และสัตว์ ก๊าซพิษแอมโมเนีย (NH_3) กับโอโซน (O_3) ก็จะได้เกลือไนเตรต (NO_3) ซึ่งไม่มีพิษ การทำปฏิกิริยากับสารพิษเป็นไปตามคุณสมบัติทางเคมีของก๊าซโอโซนที่มีเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกันตามแต่สารตกค้างที่เป็นก๊าซออกซิเจน อาจใช้ทั้งโมเลกุลของก๊าซโอโซนเข้าทำปฏิกิริยาได้เป็นสารตัวใหม่และไม่มีก๊าซออกซิเจนเกิดขึ้น โดยสารตกค้างส่วนใหญ่จะเป็นพวกอัลดีไฮด์และคีโตแอซิด ซึ่งไม่มีพิษสารตกค้างที่อาจเป็นปัญหาอยู่บ้างก็คือสารก่อมะเร็งชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการบำบัดน้ำเสียบางอย่างจำเป็นต้องตรวจวัดให้ดีแต่ก็ยังไม่เป็นปัญหาเพราะมีกรรมวิธีที่สามารถกำจัดสารโบรเมตออกไปได้

แต่เดิมสารเคมีที่ใช้ฟอกสีให้ขาวสะอาดมักใช้คลอรีนและคลอรีนไดออกไซด์ เพราะมีราคาถูกและได้ผลดี แต่ก็มักเกิดกลิ่นและพิษที่ระคายเคืองต่อเยื่อบุจมูกและตา ที่หันมาใช้โอโซนกันมากก็เพราะโอโซนสามารถออกซิไดซ์สารหรือวัตถุสีได้ดีกว่า เร็วกว่า และไม่มีผลข้างเคียง มีการนำมาแช่และล้างผักผลไม้เพื่อฟอกสีของดินและสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามผิว ทำให้ผักผลไม้สะอาด มีสีสันสดใสตามธรรมชาติและเก็บถนอมอาหารได้นานขึ้น เมื่อใช้แช่ผ้าที่สกปรกก็ช่วยขจัดสีออกไปได้ โดยไม่ทำให้สีเดิมของผ้าซีดลง เพราะสีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมจะติดกับเส้นใยของผ้าอย่างเหนียวแน่น บ่อน้ำหรือสระน้ำที่มีสีเขียวของตะไคร่น้ำซึ่งเป็นพืชพวกสาหร่ายเซลล์เดียวจะถูกขจัดด้วยโอโซน สารแขวนลอยในแหล่งน้ำธรรมชาติที่ทำให้น้ำขุ่นก็จะสลายตัวจากปฏิกิริยาของก๊าซโอโซน น้ำในสระจึงใสสะอาด การอาบน้ำล้างหน้าด้วยน้ำโอโซนเจือจาง ก็จะช่วยขจัดสีของคราบสกปรกและรอยด่างดำได้ ร้านเสริมสวยบางร้านมีบริการถนอมผิวหน้าให้นุ่มขาวผ่องใสจากการพ่นด้วยไอน้ำและก๊าซโอโซนก๊าซโอโซนทำให้เมล็ดสีโครโมฟอร์เจือจางหรือซีดลง โดยโอโซนไปทำลายพันธะคู่ทางเคมีของโครงสร้างที่เป็นส่วนประกอบของสีพวกไฮดรอกซีอะโรเมติกและคาร์บอกซิลิก โดยมีปฏิกิริยาที่ดีกว่าการใช้คลอรีนหลายเท่า ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมของโรงงานทอผ้าและย้อมสี มักมีปัญหาการกำจัดสี โดยเฉพาะสีดำ แดง และเหลือง ซึ่งใช้กันมากที่สุดและการเพิ่มออกซิเจนในน้ำเสีย

ในประเทศบราซิล เดิมเคยใช้กระบวนการทางชีวภาพโดยการเติมเชื้อจุลินทรีย์เพื่อช่วยในการย่อยสลายของเสียและการตกตะกอนก็ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ มีการใช้กรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลายชนิด เพื่อควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) แต่ก็ยิ่งจะทำให้น้ำขาดออกซิเจนมากขึ้น การศึกษาของศูนย์วิจัยสิ่งแวดล้อม แห่งมหาวิทยาลัยมิสซูรีรอลลา สหรัฐอเมริกา เมื่อปี 1999 พบว่า การใช้ก๊าซโอโซนในปริมาณ 1.7 และ 11% โดยน้ำหนักทั้งความเข้มข้นต่ำและสูง มีผลต่อการสลายสีทั้งชนิดรีแอคทีฟ ไดเรค และแอซิด ซึ่งถ้าสารละลายอยู่ในสภาพเป็นกรดก็จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ดียิ่งขึ้น

การศึกษาของมหาวิทยาลัยแอนนาและมหาวิทยาลัยมัดดรัส ประเทศอินเดีย ในโรงงานผลิตผ้าเช็ดตัวมีการนำโอโซนมาใช้บำบัดน้ำเสียที่เป็นสีในขั้นตอนแรกสุดก่อน เพื่อช่วยแยกสลายโมเลกุลของสีที่มีความยาวมากให้มีขนาดสั้นลง แล้วต่อด้วยการย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในขั้นต่อไปก็ใช้โอโซนบำบัดอีกครั้งเพื่อเป็นการเพิ่มออกซิเจนในน้ำ เป็นการลดค่าบีโอดีและซีโอดีและฟอกสีอีกครั้งเป็นขั้นตอนสุดท้าย การใช้โอโซนรวมสองขั้นตอนเป็นสิ่งที่ดีกว่าใช้ตอนสุดท้ายเพียงอย่างเดียว การบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่สามารถลดค่าซีโอดีลง 40% และบีโอดี 25% ถ้ามีการใช้โอโซนก่อนก็จะช่วยซีโอดีลงได้อีก 22% และสามารถลดสีลงได้ถึง 40% แล้วถ้าเพิ่มโอโซนในขั้นตอนสุดท้ายอีกจากการตรวจน้ำเสียภายหลังการบำบัดพบว่าค่าซีโอดีมีน้อยกว่า 100 มก./ลิตร และบีโอดีน้อยกว่า 30 มก./ลิตร เป็นไปตามมาตรฐานของกฎหมายที่ใช้ควบคุม คุณภาพน้ำและสีก็จัดอยู่ในขั้นดีมาก ลดสีลงได้มากกว่า 92% เป็นที่น่าพอใจ สามารถนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ได้อย่างปลอดภัย ถ้ามีการกรองทรายก็จะไม่มีสีเลย ทิ้งน้ำไว้ถึง 10 วัน ก็ไม่มีการเปลี่ยนสี ระยะเวลาที่ใช้โอโซนอยู่ในช่วง 12-20 ชั่วโมง ใช้เครื่องที่ผลิตด้วยก๊าซออกซิเจน ขั้นแรกใช้กำลังผลิต 750 กรัม/ชั่วโมง ขั้นสุดท้ายใช้ กำลังผลิต 250 กรัม/ชั่วโมง ถ้าเปลี่ยนจากการกรองทรายเป็นผงถ่านกัมมันต์ การเติมโซเดียมไธโอซัลเฟตและใช้ระบบการกรองด้วยรีเวอร์สออสโมซิส ก็จะสามารถนำน้ำไปใช้ในการบริโภคได้เลย การบำบัดน้ำเสียและการฟอกสีนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกลุ่มซักอบรีดและโรงงานกระดาษได้เช่นเดียวกัน

จากการศึกษาของบริษัทในประเทศญี่ปุ่น ก็ประสบผลสำเร็จในการใช้กับสารฟอกกระดาษที่ใช้แล้วเพราะญี่ปุ่นมีความต้องการที่จะนำกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์และกระดาษจากเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ใหม่ถึง 90% แต่การนำกระดาษที่เสียแล้วมาใช้ใหม่มีไม่ถึง 30% ที่เป็นเช่นนี้เพราะกระดาษที่ใช้มีหลายชนิด ต้องใช้กระบวนการหลายอย่างไปจัดการและความรวดเร็วในการพิมพ์ ทำให้ต้องใช้หมึกที่แห้งเร็วและติดแน่นเป็นพิเศษ จึงมีการนำโอโซนมาใช้ฟอกสีกระดาษ และใช้ปฏิกิริยาของโอโซนในการออกซิไดซ์ไปทำลายโครงสร้างของพลาสติกที่ติดกับกระดาษ เพื่อนำกระดาษกลับไปใช้ใหม่ในขณะเดียวกันก็ใช้บำบัดน้ำเสียไปในตัวด้วย สีของน้ำอาจเป็นสีที่แท้จริง ซึ่งเกิดจากการละลายของสารประกอบที่ปนอยู่ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสีที่ปรากฏเป็นสีที่เกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหรือไม่ก็สะท้อนมาจากท้องฟ้า โอโซนมีข้อเด่นในการกำจัดธาตุเหล็กและแมงกานีส โดยเฉพาะในน้ำบาดาล การเติมอากาศในขั้นตอนแรกของการทำน้ำประปาก็เพื่อให้มีออกซิไดซ์กับก๊าซออกซิเจน แต่ถ้าใช้โอโซนก็เกิดปฏิกิริยาที่ดีและเร็วกว่า เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนถึง 13 เท่า ออกไซด์ของเหล็กที่เกิดขึ้นจะตกตะกอนเป็นสีแดง แมงกานีสก็ตกตะกอนเป็นสีน้ำตาลหรือสีดำ ง่ายต่อการกรองทิ้งไป พวกสีจากสารประกอบฮิวมิกก็จะถูกสลายตัวไปด้วยโอโซน การใช้คลอรีน 3 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อด้วยโอโซน 5 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดความเข้มของสีลงได้ต่ำกว่า 10 หน่วยของพลาตินัมโคบอลท์เป็นการช่วยลดปริมาณของสารทั้งสองในการทำน้ำประปาด้วย

2.1.5.1 ใช้ในการบำบัดน้ำ สามารถฟอกน้ำโดยขจัดกลิ่น สี รส รวมทั้งช่วยปรับความสมดุลของน้ำทำให้น้ำมีคุณภาพสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงถือได้ว่า การใช้โอโซนเพียงชนิดเดียวก็เพียงพอสำหรับกระบวนการบำบัดน้ำดื่ม โดยโอโซนมีคุณสมบัติ ดังนี้คือ

- ขจัดโลหะหนัก เช่น เหล็ก แมงกานีส
- ขจัดสารที่ก่อให้เกิดกลิ่น สี รส
- ช่วยรวมสารแขวนลอยเล็ก ๆ ในน้ำให้มีขนาดใหญ่และสามารถกรองออกได้

2.1.5.2 ปรับปรุงคุณภาพน้ำในสระว่ายน้ำ โดยมีจุดมุ่งหมายคือ

- ขจัดสารอินทรีย์และรวบรวมตะกอนเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในน้ำ
- ขจัดและฟอกยูเรีย (ที่มาจากปัสสาวะ) และรวมตัวกับคลอรีน
- ลดปัญหาเรื่องกลิ่นของสระว่ายน้ำในกรณีที่เป็นสระว่ายน้ำในร่ม
- ให้ความสบายกับผิวหนัง ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคือง

2.1.5.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย มีจุดประสงค์หลักคือ

- ขจัดสี กลิ่น และฆ่าเชื้อโรค
- ขจัดและฟอกสารอินทรีย์
- ขจัดโลหะหนัก
- ฟอกสารไนไตรด์และซัลไฟด์
- สารที่เป็นพิษ เช่น ไซยาไนด์

2.1.5.4 ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำโซดา

- เปลี่ยนรูปของแร่ธาตุเหล็กและแมงกานีสและกรองออกด้วยตัวกรองถ่าน
- ช่วยฆ่าเชื้อโรคและรักษาความปลอดเชื้อของขวด

2.1.5.5 การประมง

- ฆ่าเชื้อโรค ขจัดสารอินทรีย์และเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำ เช่น บ่อเลี้ยงกุ้ง ปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.6 ใช้ล้างผัก ผลไม้ กำจัดกลิ่นคาวในเนื้อสัตว์ อาหารทะเล

- เพื่อฆ่าเชื้อโรค สลายสารพิษ ขจัดสารเคมีและยาฆ่าแมลง

2.1.3.7 ใช้อาบน้ำ ล้างหน้า สระผม

- จะทำให้ผิวพรรณเปล่งปลั่งยิ่งขึ้น ลดการเป็นสิว

2.1.3.8 ทางการแพทย์สามารถใช้ทำความสะอาดอุปกรณ์ต่าง ๆ ล้างแผลสด แผลอักเสบ

- เพื่อฆ่าเชื้อโรคและลดอาการอักเสบของแผล

2.1.3.9 ขจัดสารพิษในอากาศ เช่น กำจัดควันต่าง ๆ

- เพื่อฆ่าเชื้อโรคในอากาศ ทำให้อากาศบริสุทธิ์

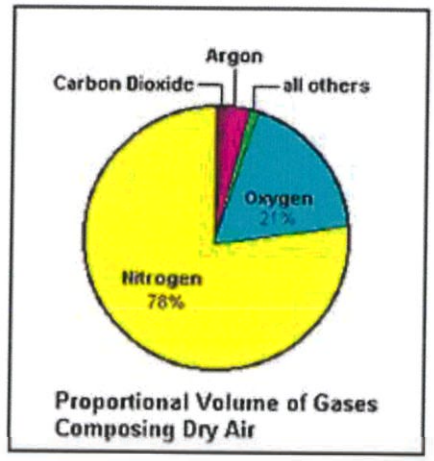
ตารางที่ 2. 1 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของโอโซนที่ใช้ในการฆ่าเชื้อโรค [2]

ข้อดี	ข้อเสีย
- มีกำลังในการออกซิไดซ์ที่รุนแรงและใช้เวลาในการ เกิดปฏิกิริยาสั้น ซึ่งสามารถฆ่าเชื้อโรคจุลินทรีย์และ ไวรัสได้ภายใน 2-3 วินาที - โอโซนจะเปลี่ยนเป็นออกซิเจนหลังจากทำการฆ่าเชื้อโรคแล้ว - ปฏิกิริยาจะเกิดและสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว เมื่อ กระทำกับสารพวกอินทรีย์ - โอโซนส่วนมากจะสลายตัวในน้ำอย่างรวดเร็ว จึงไม่ มีสารตกค้าง - โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่มีสี	- เป็นก๊าซที่มีพิษ - ราคาของกระบวนการผลิตโอโซนจะสูงกว่าเมื่อใช้ คลอรีน - การติดตั้งค่อนข้างยุ่งยาก - อุปกรณ์ในส่วนที่เกิดปฏิกิริยาโอโซนจำเป็นต้อง ป้องกันก๊าซพิษและอันตรายจากไฟ - ละลายน้ำได้ยากกว่าคลอรีน จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ในการผสมชนิดพิเศษ

2.1.6 องค์ประกอบของบรรยากาศ

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 78% ก๊าซออกซิเจน 21% ก๊าซอาร์กอน 0.9% ที่เหลือเป็น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อย ดังรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของบรรยากาศ

องค์ประกอบหลักประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยปกติไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่น แต่เมื่ออะตอมเดี่ยวของมันแยกออกมา จะสามารถรวมเข้าเป็นองค์ประกอบของสารอื่น ๆ เช่น สารไนเตรท จะมีบทบาทสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตก๊าซออกซิเจน (O_2) เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของพืชสาหร่าย แพลงตอน และสิ่งมีชีวิต มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่น และช่วยให้ไฟติด ถ้าปริมาณของออกซิเจนในอากาศมีมากกว่า 35% โลกทั้งดวงจะลุกไหม้ติดไฟ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตบนโลกจึงวิวัฒนาการให้มีสัตว์ซึ่งใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญธาตุอาหารและคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น เกิดขึ้นจากการสลายตัว ของโอโซโทปกัมมันตภาพรังสีของธาตุโปแตสเซียมภายในโลกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Co_2) เป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) แม้มีอยู่ในบรรยากาศเพียง 0.036% แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตเนื่องจากก๊าซเรือนกระจกมีสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกจากโลก ทำให้โลกอบอุ่นอุณหภูมิของกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันจนเกินไป นอกจากนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแหล่งผลิตอาหารของพืช

2.1.7 โอโซนเกิดตามธรรมชาติได้ 2 แบบ

2.1.7.1 รังสีอันตราไวโอเลต ที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 240 นาโนเมตร ทำให้ก๊าซออกซิเจนที่ได้รับรังสีในช่วงคลื่นดังกล่าวแตกตัวและไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนอะตอมคู่ที่อยู่ใกล้ ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน ซึ่งมีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต จึงทำให้เกิดความร้อนจัดในชั้นบรรยากาศระดับนี้ คือ ชั้นสตราโตสเฟียร์ (stratosphere) สูงจากพื้นโลก 20 กิโลเมตร หรือเรียกว่าเขตอุ่น (Warm region) โอโซนในชั้นดังกล่าวนี้ทำหน้าที่กั้นไม่ให้รังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet, UV) ส่องมายังโลกในปริมาณที่มากเกินไป โดยทั่วไปรังสีอัลตราไวโอเลตชนิดซี (UVC) ที่มีความยาวคลื่นในช่วง 200-280 นาโนเมตร จะถูกกั้นโดยชั้นบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอโซน เพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตส่วนรังสีอัตราไวโอเลต ชนิดเอ (UVA) ที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 320 นาโนเมตร นี้เป็นประโยชน์ต่อคนเรา เนื่องจากช่วยในการสร้างวิตามินดี เมื่อออกซิเจนในบรรยากาศ ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่นสั้นกว่า 242 นาโนเมตร ทำให้โมเลกุลแตกเป็นอะตอมอิสระ 0+0 ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมคู่เป็น ก๊าซโอโซน O_3

ปฏิกิริยาในธรรมชาติเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยมีรังสีอัลตราไวโอเลตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยาแสงทางเคมี (Photochemical Reaction) โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จะช่วยรักษาสมดุลของรังสีจากดวงอาทิตย์ (UVB) ไม่ให้ลงมาบนพื้นโลกมากเกินไปจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์เนื่องจากมีผลทำให้เกิดมะเร็งผิวหนัง เป็นอันตรายต่อสัตว์และพืช รวมทั้งยังทำให้วัสดุและอุปกรณ์ประเภทพลาสติกพีวีซี (PVC) ยาง มีอายุการใช้งานลดลงด้วย ก๊าซ 2 กลุ่มในชั้นบรรยากาศที่มีบทบาทสำคัญมากในการทำลายโอโซนได้คือ สารประกอบคลอรีนออกไซด์ (Chlorine Oxides; ClOX) และไนโตรเจนออกไซด์ (Nitrogen Oxides; NoX) โดยไนโตรเจนออกไซด์มาจากไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxides; N_2O) ซึ่งมีจุดกำเนิดตามธรรมชาติจากกระบวนการ Dentification ของจุลินทรีย์และเกิดจากฟ้าแลบฟ้าร้อง นอกจากนี้ยังมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและเครื่องบินที่บินเร็วเหนือเสียง (Supersonic Transport, SST) ที่อยู่ในชั้นที่มีโอโซน ซึ่งปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) และสารพวกฮาโลเจน (Halogen) โดยเฉพาะพวกก๊าซโบรมีน (Br) ที่สามารถสลายโอโซนทำให้เกิดภาวะรูโอโซนในชั้นบรรยากาศ และจะเปิดช่องให้แสง UV ส่องมายังพื้นโลกมากขึ้น ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต การทำลายชั้นโอโซนโดยอะตอมของคลอรีน ไนตริกออกไซด์ ไฮโดรเจนออกไซด์ โบรมีน และไฮโดรเจน เกิดขึ้นโดยที่สารเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนและอะตอมของสารทำลายโอโซน วนเวียนเป็นวัฏจักรความเข้มข้นของ O_3 จะลดลงถ้ามีอะตอมของสารอื่นเข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะรบกวนสมดุลระหว่าง O_3 และ O_2 ทำให้เกิด O_2 มากขึ้นหรือ O_3 ลดลงนั่นเองแหล่งกำเนิดของสารคลอรีนมาจากสารกลุ่มซีเอฟซี (CFCs) ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่าฟรีออน ซึ่งเป็นสารที่ใช้เพื่อทำความเย็น เช่น ในตู้เย็น สารกลุ่มนี้จะคงตัวได้นาน และกระจายสู่บรรยากาศ จะแตกตัวให้อะตอมอิสระของคลอรีน (Cl) เข้าทำปฏิกิริยากับโอโซนทันที ทำให้เกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ (ClO) และออกซิเจน

2.1.7.2 โคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge) เกิดในเวลาที่มีฟ้าแลบ ฟ้าผ่า ปรากฏการณ์นี้จะมีศักย์ไฟฟ้าในอากาศที่สูงมาก ทำให้ก๊าซออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวและไปรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนที่อยู่ใกล้ ๆ เกิดเป็นก๊าซโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 ขบวนการผลิตก๊าซโอโซนในอุตสาหกรรม นิยม 2 วิธี คือ

2.1.8.1 วิธีการฉายรังสีอัลตราไวโลเลต (Ultraviolet Method)

เป็นการฉายรังสีอัลตราไวโอเลตที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร ให้แก่ออกซิเจน ซึ่งสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุดถึง 0.25% โอโซนจะถูกผลิตโดยใช้หลักการทางเคมีของแสง พลังงานโฟตอนของแสงที่ใช้หาได้จากสมการที่ 1.1

$$E = hV = hc/\lambda \quad \text{..... (1.1)}$$

เมื่อ E = พลังงานโฟตอน (จูล)

h = ค่าคงที่ของแพลงค์ (6.63x10-34 จูล-วินาที)

e = ความเร็วของแสง (3x108 เมตร/วินาที)

V = ความถี่ของแสง (เฮิร์ทซ์)

λ = ความยาวคลื่นแสง (เมตร)

2.1.8.2 วิธีโคโรนาดิสชาร์จ (Corona Discharge Method)

ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์โคโรนา โดยการป้อนก๊าซออกซิเจนเข้าไปในสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัว เนื่องจากความเครียดของสนามไฟฟ้าความเข้มสูงกลายเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และปล่อยอิเล็กตรอนออกมา ก๊าซออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซโอโซน การที่จะทำให้ออกซิเจนเป็นอะตอมอิสระ อิเล็กตรอนจะต้องมีพลังงานมากกว่าพลังงานพันธะของโมเลกุลออกซิเจน โดยจะมีพลังงานประมาณ 493.2 kJ/mol ถึง 682.8 kJ/mol จึงจะทำให้เริ่มเกิดโอโซนตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสลายโมเลกุลของออกซิเจน

$O_2 + e^- \longrightarrow O_2^+ + 2e^-$ direct ionization

$O_2 + e^- \longrightarrow O^+ + O + 2e^-$ dissociative ionization

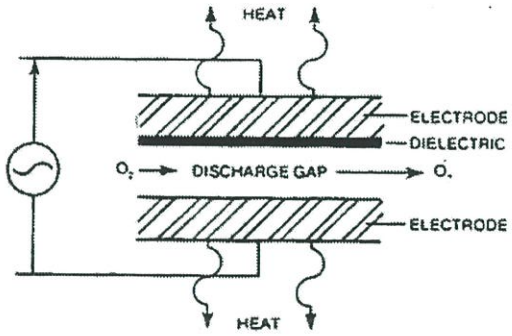
$O_2 + e^- \longrightarrow O + O + e^-$ dissociation

$O_2 + e^- \longrightarrow O + O$ dissociative attachment

ขั้นตอนที่ 2 การรวมตัวของอะตอมของออกซิเจนเป็นโมเลกุลโอโซน

$O_2 + O \longrightarrow O_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. 4 แสดงเครื่องผลิตก๊าซโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าโคโรน

โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องสร้างโอโซนโดยใช้วิธีโคโรนาดิสชาร์จ แสดงดังรูปที่ 2.4 ประกอบด้วยอิเล็กโทรด 2 แผ่น วางขนานกัน โดยห่างกันพอประมาณเพื่อให้เกิดช่องว่างของอากาศมีแผ่นไดอิเล็กทริก ติดอยู่ที่ขั้วของอิเล็กตรอนภายในสนามไฟฟ้าความเข้มสูง เมื่ออิเล็กตรอนมีความเร็วมากพอ ก็สามารถจะแตกโมเลกุลออกซิเจนออกเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว จากนั้นอะตอมเหล่านี้ก็จะรวมตัวกับโมเลกุลออกซิเจนกลายเป็นก๊าซโอโซนการสร้างโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซนแบบใช้สนามไฟฟ้าของโคโรนาดิสชาร์จ สามารถแสดงได้ด้วยความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบเครื่องผลิตโอโซน ดังนี้

$$V = k1 \cdot P \cdot G \quad \text{..... (1.2)}$$

ปริมาณของโอโซน $Yield = k2 \cdot F \cdot E \cdot V2/D$ ..... (1.3)

เมื่อ V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

P = ความดันก๊าซในช่องอากาศ (นิตันต่อตารางเมตร)

G = ความกว้างของช่องอากาศ (เมตร)

F = ความถี่ของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน (เฮิร์ทซ์)

E = ค่าไดอิเล็กทริก (ฟารัด/เมตร)

D = ความหนาของไดอิเล็กทริก (เมตร)

k1, k2 = ค่าคงที่

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวพบว่า ปัญหาของการออกแบบเครื่องผลิตก๊าซโอโซนคือ จะต้องพยายามออกแบบให้ผนังไดอิเล็กทริกบางที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ต้องสามารถทนแรงดันได้สูง ในขณะเดียวกัน ทั้งนี้หากต้องการให้ได้ก๊าซโอโซนในปริมาณมาก ๆ จะต้องเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้สูงขึ้นด้วย (พิจารณาจากสมการด้านบน ก๊าซโอโซนที่ผลิตได้จะแปรผันตามความต่างศักย์ไฟฟ้ายกกำลังสอง) แต่ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ า สูงเกินไป สารไดอิเล็กทริกที่ใช้จะเสียหายได้ง่ายขึ้น ในปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่นิยมใช้เพิ่มปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตขึ้นได้แก่ การเพิ่มความสามารถในการระบายความร้อนออกจากเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ซึ่งมีผลให้ปริมาณก๊าซโอโซนที่ผลิตได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นด้วยกลไกการทำงานของการกำเนิดโอโซนในการดิสชาร์จทางไฟฟ้าเนื่องจากโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร จากส่วนประกอบนี้จะพิจารณาคุณลักษณะภายในของพลังงานจลน์และการให้ความร้องในการควบคุมสำหรับการผลิตโอโซนเป็นไปตามสมการที่ 1.4

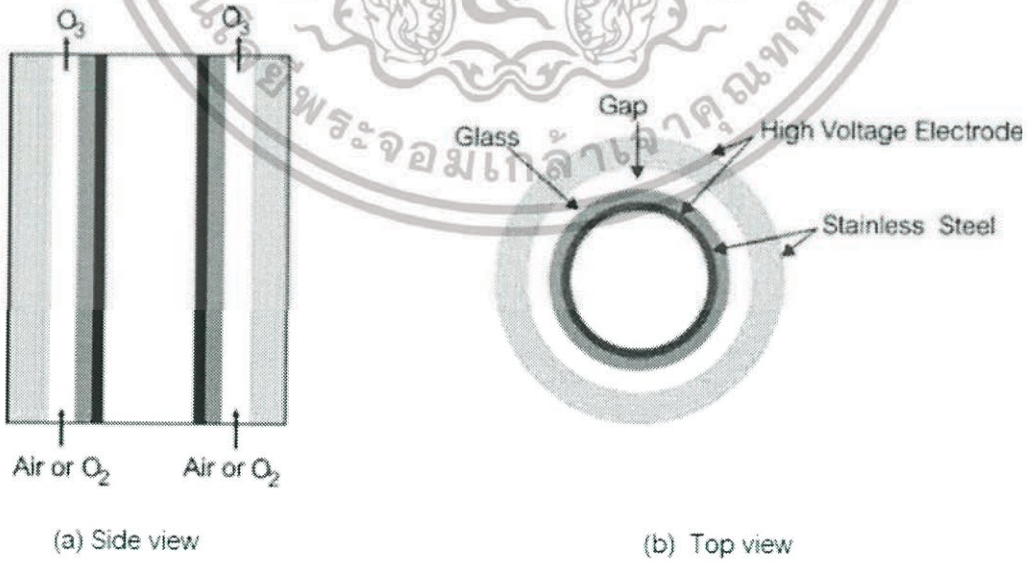
$$2O_2 + O_2 \qquad \text{..... (1.4)}$$

ปฏิกิริยาของก๊าซเกิดได้โดยการดูดความร้อนด้วยค่าพลังงานที่ใส่เข้าใน H = 143 kJ/mol ปฏิกิริยาของก๊าซจำนวนนี้มีการส่งผ่านโดยวิธีการกระตุ้นโมเลกุลหรืออะตอมออกซิเจน ทำให้เกิดการผลิตโอโซน สำหรับการที่จะเปลี่ยน O_2 เป็น O_3 นั้นเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ระบบต้องเป็นรูปแบบพลังงานอิสระที่มีค่ามากกว่าพลังงานของโอโซน ถ้าโมเลกุล O_2 มีพลังงานประมาณ 143 kJ/mol ในระดับพลังงานกระตุ้น ปฏิกิริยาสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1.5[3]

$$2O_2 + O_2 \longrightarrow 2O_3 \qquad \text{.....(1.5)}$$

2.1.9 หลอดผลิตโอโซน

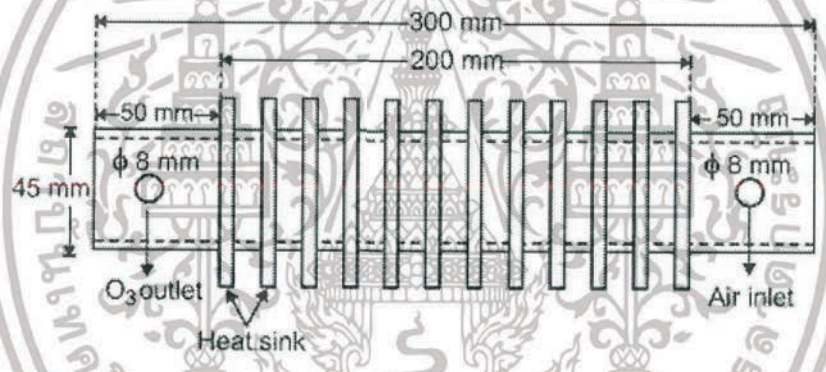
หลอดผลิตโอโซนที่ใช้ในการทำวิจัยนี้เป็นชนิด Cold Corona Discharge Tube ซึ่งแสดงโดยภาพตัดขวางดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพตัดขวางของ Corona Discharge Ozone Generator Tube

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลอดผลิตโอโซนประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 3 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยสเตนเลส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 42.4 mm หนา 3.5 mm ยาว 300 mm ชั้นที่สองเป็นท่อแก้วไพเร็กซ์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 40 mm หนา 1.7 mm ยาว 300 mm ส่วนทรงกระบอกชั้นที่สามซึ่งเป็นชั้นในสุดเป็นท่อสเตนเลสบางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 36.5 mm ยาว 200 mm โดยท่อสเตนเลสชั้นในสุดจะสัมผัสอยู่กับท่อแก้วพอดี ดังนั้นช่องระหว่างท่อสเตนเลสชั้นนอกกับท่อแก้วประมาณ 1.2 mm ที่ปลายทั้งสองข้างของท่อสเตนเลสชั้นนอกสุด จะถูกเจาะรูและสวมท่อขนาด 8 mm เพื่อให้รูด้านหนึ่งเป็นด้านที่อากาศถูกปั๊มเข้าหลอดผลิตโอโซน ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นด้านให้โอโซนที่เกิดขึ้นในหลอดผ่านออกมา ช่องว่างภายในหลอดผลิตโอโซนขนาด 1.2 mm เป็นส่วนที่อากาศไหลผ่านและเกิด Corona Discharge เกิดเป็นโอโซน อย่างไรก็ตามที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดผลิตโอโซนระหว่างท่อทั้งสามชั้นจะถูกซีลไว้ไม่ให้เกิดรอยรั่ว เพื่อให้เกิดแรงดันขณะที่โอโซนผ่านออกมาจากหลอด โดยที่ท่อตรงกลางก็ยังเป็นรูกลวง รูปที่ 2.6 เป็นไดอะแกรมของหลอดภายนอก โดยความยาวของช่องว่างภายในหลอดที่จะเกิด Corona Discharge เพื่อผลิตโอโซนเท่ากับ 200 mm



รูปที่ 2.6 แผนภาพของ Corona Discharge Ozone Generator Tube

หลอดผลิตโอโซนจะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นเสมือนตัวเก็บประจุ โดยมีทรงกระบอกสเตนเลสภายนอก และท่อสเตนเลสภายในเป็นขั้วไฟฟ้า ในขณะที่แก้วและอากาศที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้า ทำหน้าที่เป็น Dielectric ขณะที่ทำการสร้างโอโซน ปริมาตรอากาศที่ถูกปั๊มผ่านระหว่างทรงกระบอกทั้งสอง จะได้รับพลังงานจากสนามไฟฟ้าความเข้มสูง ทำให้โมเลกุลออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยว โมเลกุลอากาศบางส่วนเกิด *Ionization* ทำให้เกิดสภาพนำไฟฟ้าได้ ปริมาตรก๊าซส่วนนี้จะมีคุณสมบัติเป็นเสมือนตัวต้านทานไฟฟ้า[6]

2.1.10 อันตรายของโอโซน

โอโซนจัดเป็นก๊าซพิษ การมีปริมาณโอโซนสูงมากผิดปกติในบางพื้นที่น่าจะเป็นผลเสียต่อสุขภาพมากกว่าที่จะเป็นผลดี มีการกำหนดเกณฑ์ปริมาณความเข้มข้นสูงสุดที่ได้รับโดยเฉลี่ยไม่เกิน 0.1 ppm ในช่วงระยะเวลาของการทำงานนาน 8 ชั่วโมง อันตรายจากการได้รับโอโซนเป็นประจำอาจจะเป็นอันตรายต่อปอด โดยเฉพาะในวัยเด็กที่ปอดกำลังพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับระบบสืบพันธุ์และพันธุกรรม อาจจะเป็นอันตรายต่อเด็กในครรภ์ ทำให้เกิดโรคปอดกำเริบ เช่น กลีบปอดพองลม และโรคหลอดลมอักเสบ ทำให้ภูมิคุ้มกันในระบบหายใจลดลง อาการหอบหืดและโรคหัวใจกำเริบ ลดปริมาณลมหายใจ รวมทั้งทำให้ปริมาณของเหลวในปอดเพิ่มขึ้นทำให้หายใจขัด ก๊าซโอโซนทำให้เกิดอาการระคายเคืองในระบบหายใจ ทำให้ไอระคายคอหรือแน่นหน้าอก ปวดศีรษะ ท้องเสีย แน่นท้อง มีอาการป่วยและอาเจียน การสัมผัสโอโซนที่อยู่ในสภาพของเหลวที่มีความเข้มข้นสูงที่ผิวหนังหรือดวงตา อาจจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง อาการไหม้รุนแรง ปวดแสบปวดร้อน [2]

ก๊าซโอโซนมีปฏิกิริยาออกซิไดซ์รุนแรงมาก ซึ่งจะทำลายเซลล์เนื้อเยื่อของเชื้อโรคแบบเฉียบพลันโดยเฉพาะเชื้อ จุลินทรีย์จะตายภายใน 2 นาที ในขณะที่คลอรีนจะใช้เวลาถึง 4 วัน ทั้งนี้การใช้งานในส่วนของงานอุตสาหกรรมต้อง ออกแบบให้เหมาะสมโดยวิศวกรที่ชำนาญงานเท่านั้น ถ้านำไปใช้อย่างไม่ถูกวิธีจะไม่เกิดประโยชน์ ทำให้สูญเสียเงิน และจะเข้าใจว่าโอโซนใช้แล้วไม่ได้ผล ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กันของปัจจัยต่อไปนี้คือ

- ความสัมพันธ์กันของปัจจัยในการคำนวณการใช้โอโซนกับการฆ่าเชื้อ
- ปริมาณก๊าซโอโซนที่ออกมาจากเครื่องผลิตต้องออกมาเต็มประสิทธิภาพ
- ปริมาณน้ำ และปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำ (Type and Volume)
- การผสมโอโซนกับน้ำ (Mixing Method)
- เวลาที่ก๊าซโอโซนละลายน้ำ (Contact Time)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- ค่า pH ของน้ำที่ต้องการบำบัด

2.1.11 ขั้นตอนการทำลายเชื้อจุลินทรีย์

- กระตุ้นจับจำนวนเชื้อจุลินทรีย์
- ปิดกั้นอณูของผนังเซลล์
- โอโซนเข้าแทรกซึม กัดกร่อน ทำลายระบบผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ให้แตกสลายไป[3]
- ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ
- ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อโรค
- ปริมาณโอโซนกับการกำจัดจุลินทรีย์
- ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อรา
- ปริมาณโอโซนกับการกำจัดไวรัส

1. ไวรัส ปริมาณโอโซน 0.5 - 1.5 ส่วนในล้านส่วน (P.P.M.) สามารถกำจัดเชื้อไวรัสได้99% โดยระยะเวลาการฆ่าเชื้อต้องไม่น้อยกว่า 4 นาที*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จุลินทรีย์ ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับชนิด และปริมาณของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปโอโซนเข้มข้น 10 ส่วนในล้านส่วน สามารถกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ได้ 99% โดยระยะเวลาการฆ่าเชื้ออย่างน้อย 10 นาที

3. เชื้อรา ปริมาณโอโซนที่ใช้กับเชื้อราจะต้องใช้ปริมาณโอโซนมากกว่าการใช้กับเชื้อไวรัสและเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากเชื้อรามีการ สร้างสปอร์ฉะนั้นในการกำจัดเชื้อรา 99 % ต้องใช้ปริมาณ โอโซนประมาณ 20 ส่วน ในล้านส่วนที่ระยะเวลาการฆ่าเชื้อ อย่างน้อย 30 นาที* ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณ

*ปริมาณโอโซนที่ใช้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาสัมผัส (CONTAC TIME)

ปริมาณโอโซน ตกค้าง ในอากาศ 1:1 ล้าน	ระยะเวลาสัมผัส	ผลกระทบ
0.01-0.02	ไม่จำกัด	มีกลิ่นคล้ายหญ้าสด
0.10	8 ชั่วโมง/วัน หรือไม่เกิน 40 ชั่วโมง/สัปดาห์	มีกลิ่นคาวเล็กน้อย
0.30	15 นาที/ชั่วโมง วันละไม่เกิน 4 ครั้ง	มีกลิ่นคาวมาก
0.40	ไม่ปล่อยภัย	วิงเวียนศีรษะ , คลื่นไส้
0.60	ไม่ปล่อยภัย	อาจมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของโอโซนในปริมาณต่าง ๆ

ระดับของโอโซนที่เหมาะสมที่วงการแพทย์ยอมรับคือ ไม่เกิน 0.05 ppm (ข้อมูลจาก F.D.A.) หมายเหตุ ข้อมูลนี้เป็นผลจากการใช้โอโซนที่ไม่บริสุทธิ์ถ้าใช้โอโซนที่บริสุทธิ์สามารถใช้ได้ถึง 100 ส่วนในล้านส่วนโดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

การใช้โอโซนในการควบคุมอากาศให้บริสุทธิ์(ขณะมีคนอยู่)

ปริมาณโอโซนที่ใช้ไม่ควรเกิน 0.2 ส่วนในล้านส่วน เพราะป้องกันผลกระทบทางร่างกายที่อาจเกิดขึ้นได้ถ้าใช้โอโซนในความเข้มข้นที่สูงเกินไป แต่ปริมาณโอโซนต้องมากกว่าข้อมูลด้านความปลอดภัย เนื่องจากโอโซนส่วนใหญ่จะสลายตัวไป และโอโซนบางส่วนจะทำปฏิกิริยากับสารเคมีและเชื้อโรคต่าง ๆ นี้ปริมาณโอโซนขนาด 0.2 ส่วนใน ล้านส่วนนี้ไม่

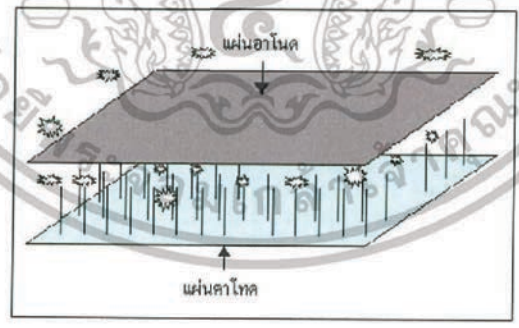
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถกำจัดเชื้อโรคและสารพิษต่าง ๆ ได้ทั้งหมด แต่เป็นการควบคุมปริมาณ เชื้อโรคและสารพิษให้มีปริมาณที่มากเกินไป[4]

2.2 ทฤษฎี HIGH VOLT

2.2.1 การสร้างอิออนด้วยแรงดันไฟฟ้าสูง

ในการสร้างอิออนด้วยแรงดันสูงสามารถสร้างได้โดยสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูง สนามไฟฟ้าความเข้มสูงนี้จะทำให้เกิดเป็นอิออนกระจายออกไปในอากาศและอิออนนั้นก็จะต้องสร้างให้เป็นประจุอิออนลบด้วย ซึ่งสามารถสร้างได้จากการจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงให้แก่ชุดอิเล็กโตรด ชุดอิเล็กโตรดจะปล่อยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง (อิออนลบ) ออกมา หากจะให้มโนภาพเองก็จะมีการแตกกระจายออกจากปลายอิเล็กโตรดในแบบของสเปรย์อิออน (แต่ในความจริงเรามองไม่เห็น) จึงทำให้เกิดพุ่งกระจายออกไปในทุกทิศทางหลังจากนั้นในช่วงการเดินทางของประจุอิออนลบในระยะทางที่สั้นมาก ๆก็จะเกิดการปะทะกันระหว่างอิออนกับโมเลกุลของอากาศจนกลายมาเป็นอิออนโดยจะกลายมาอยู่ในรูปโอโซน (OZONE: O_3) ซึ่งโอโซนนี้ก็คืออกซิเจนที่มีอะตอม 3 อะตอมหน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเครื่องผลิตอิออนลบก็คือ อิเล็กตรอนที่ถูกขับออกไปไม่ได้มีแต่อิออนในอากาศเท่านั้นแต่ในทำนองเดียวกันก็จะมีผลต่ออนุภาคประจุไฟฟ้าของฝุ่นละอองด้วย เมื่อประจุไฟฟ้าลบเข้าทำปฏิกิริยากับฝุ่นละอองที่เป็นประจุบวก (Ionize) ดังนั้นอนุภาคของประจุก็จะเกิดการสะสมอยู่บนอิออนในบริเวณใกล้เคียงอย่างฉับพลันและนี่ก็คือวิธีการขับไล่ฝุ่นละอองในอากาศให้มีน้ำหนักและตกสู่เบื้องล้างอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆก็มีการประยุกต์ไปใช้งานในการเคลื่อนย้ายหรือขจัดเขม่าออกจากกลุ่มควันพิษต่าง ๆ ด้วย



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดอิออนลบจากอิเล็กโตรดแบบปลายเข็ม

2.2.2 ผลของสนามไฟฟ้าในการตกตะกอน

สนามไฟฟ้า (Electric Field) มีบทบาทสำคัญ ในการตกตะกอนสนามไฟฟ้ามีผลทั้งต่อการใส่ประจุให้กับอนุภาค และต่อแรงที่กระทำต่ออนุภาคที่ได้รับประจุแล้ว ในแง่ทฤษฎีผลคูณระหว่างความแรงของสนามไฟฟ้าในย่านที่เกิดการใส่ประจุของสนามไฟฟ้าใกล้ขั้วเก็บจะเป็นตัวกำหนดคุณภาพในการเก็บอนุภาคแต่ละขนาดสนามไฟฟ้าในเครื่องตกตะกอนเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการใส่ไฟฟ้าแรงสูงให้กับคู่ของขั้วไฟฟ้าและจากผลกระทำโดยประจุในอากาศ (Space Charge Effect) ของอิออนและอนุภาคติดประจุที่อยู่ในย่านระหว่างคู่ไฟฟ้า ในกรณีที่ไม่มีการไหลของกระแสไฟฟ้า สนามไฟฟ้าจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าที่ใส่ในรูปทรง(Geometry) ของระบบเท่านั้นในกรณีของระบบขั้วแบบเส้นลวดและผนังทรงกระบอกที่มีแนวแกนกลางร่วมกันความแรงของสนามไฟฟ้าที่รัศมีใดๆ E(r) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E(r) = V/[\, r \ln (b/a) \,] \quad \text{.....(2.1)}$$

ในกรณีนี้ a คือ รัศมีของเส้นลวดโคโรนา (m)

B คือ ระยะระหว่างขั้วโคโรนา และขั้วเก็บ (m)

r คือ ระยะรัศมี (m)

V คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใส่ (V)

E(r) คือ ความแรงของสนามไฟฟ้า (V/m)

เมื่อใส่แรงดันไฟฟ้าเกินกว่าขีดเริ่มของโคโรนา (Corona Threshold) สนามไฟฟ้าจะถูกแปรเปลี่ยนโดยอิออนที่เกิดในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้า เนื่องจากความว่องไว (Mobility) ของอิออนก๊าซมีน้อยกว่าของอิเล็กตรอนมากกว่าดังนั้นอิออนที่เกือบไม่เคลื่อนที่นี้ จะเป็นเหมือนประจุในอากาศ (Space Charge) เราสามารถนึกภาพอิทธิพลของประจุเชิงไอออนิกในอากาศได้ โดยคิดว่าเป็นประจุที่รวมจุดอยู่ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในย่านระหว่างขั้วไฟฟ้า อิออนและอนุภาคที่มีประจุเหมือนกันจะถูกเร่งเข้าหาขั้วเก็บโดยแรงขับไล่ซึ่งเกิดจากประจุในกากาศและสนามไฟฟ้า ผลก็คือ ทำให้สนามไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ขั้วเก็บมีค่าสูงขึ้นในทางตรงกันข้าม อิเล็กตรอนและอิออนที่มีประจุเหมือนกันในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาจะถูกขับไล่กลับไปหาขั้วโคโรนา ทำให้ความแรงของสนามไฟฟ้าในบริเวณใกล้ขั้วโคโรนาลดลง สรุปแล้วผลการกระทำรวมของกระแสไฟฟ้าโคโรนาจะไปแปรสนามไฟฟ้า

2.2.3 การใส่ประจุให้อนุภาค

เงื่อนไขพื้นฐานข้อหนึ่งของกระบวนการตกตะกอนคือการใส่ประจุให้กับอนุภาคในจำนวนมากที่สุดที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการเดินเครื่องนั้น ๆโดยปกติจะถือว่าการใส่ประจุเกิดขึ้นในย่านระหว่างขอบเขตของแสงเรืองโคโรนากับขั้วเก็บ ภายในย่านอนุภาคจะได้รับการชนจากห่าฝนของอิออนที่เกิดจากปรากฏการณ์โคโรนา

2.2.3.1 การใส่ประจุโดยสนามไฟฟ้า

กลไกการใส่ประจุแบบใดจะมีความสำคัญเหนือกว่าย่อมขึ้นกับขนาดของอนุภาคที่รับประจุอนุภาคขนาดโต (เส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าประมาณ 0.5 ไมครอน) จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปเฉพาะที่ (Local Deformation) ของสนามไฟฟ้าใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่เส้นแรงไฟฟ้าจะวิ่งตัดกับอนุภาค อิออนวิ่งเคลื่อนที่ตามเส้นของสนามไฟฟ้าจะกระทบกับอนุภาค และถูกจับยึดโดยแรงของประจุจินตภาพ เมื่อจำนวนอิออนที่กระทบกับอนุภาคมีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ปริมาณประจุบนอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสนามไฟฟ้าเฉพาะถิ่นที่เกิดจากประจุบนอนุภาคก่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของเส้นแรงสนามไฟฟ้าเดิมจนเส้นเหล่านี้ไม่วิ่งตัดกับอนุภาคอีกต่อไป ทำให้อิออนไม่กระทบกับอนุภาคอีกและไม่มีการเพิ่มของประจุบนอนุภาคอีก เรียกกรณีนี้ว่า ประจุอิ่มตัว (Saturation Charge) ค่าของประจุอิ่มตัวจะขึ้นกับขนาดของอนุภาคและความแรงของสนามแม่เหล็ก เวลาที่อนุภาคใช้ในการรับประจุจนค่าอิ่มตัวแปรผันตามความเข้มข้นของอิออนในย่านที่เกิดการใส่ประจุ

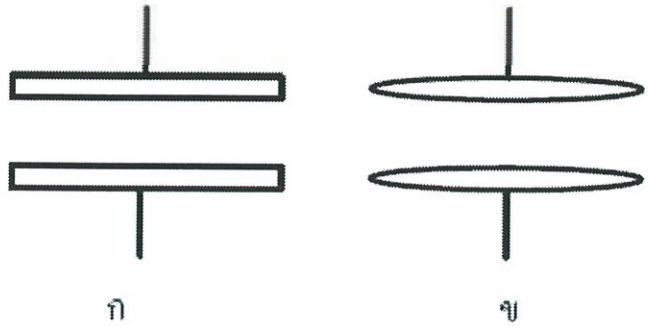
2.2.3.2 การใส่ประจุแบบแพร่

นอกจากกระบวนการใส่ประจุโดยการกระทบจากอิออนที่วิ่งตามเส้นแรงสนามไฟฟ้าแล้วอนุภาคยังสามารถรับประจุจากการสัมผัสและเกาะติดของอิออนซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่อย่างไม่มีกฎเกณฑ์เชิงความร้อน(Thermal random motion) อีกด้วย วิธีการใส่ประจุนี้เรียกว่าการใส่ประจุแบบแพร่ (Diffusion Charging) เป็นวิธีการใส่ประจุที่ใช้ในกรณีของเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าประมาณ 0.2 ไมครอน การใส่ประจุแบบแพร่จะขึ้นอยู่กับความแรงของสนามไฟฟ้าด้วย เพราะการเคลื่อนไหวของอิออนย่อมขึ้นกับทั้งแรงเชิงไฟฟ้าสถิตและแรงของการแพร่

2.2.4 รูปแบบของขั้วไฟฟ้า

2.2.4.1 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

ตามรูปที่ 2.8 (ก) บริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้าจะเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ แต่ที่ขอบของขั้วไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าอยู่สูง ดังนั้น เมื่อมีแรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้า จะเกิดโคโรนาขึ้นที่ขอบของขั้วไฟฟ้า จะเกิดการสปาร์คขึ้นระหว่างขอบของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง แต่ถ้าให้ขอบของขั้วไฟฟ้ามีลักษณะโค้งดังรูปที่ 2.8 (ข) การสปาร์คจะเกิดในบริเวณตรงกลางของขั้วไฟฟ้า

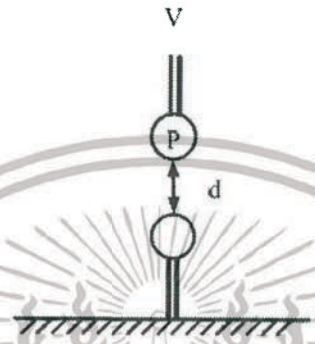


รูปที่ 2.8 ขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นระนาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.2 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม (Sphere Gap)

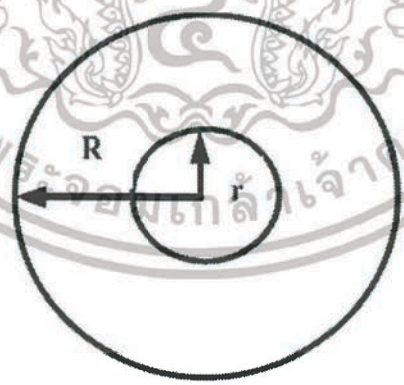
รูปที่ 2.9 เป็นรูปขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม สนามไฟฟ้าไม่เป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอเหมือนแบบแรกแต่ถ้าช่องว่าง (d) มีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกลม (P) สนามไฟฟ้าตรงใจกลางของช่องว่าง (Gap) จะไม่แตกต่างไปจากสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากนัก จึงนิยมใช้กันมากในการวัดแรงดันทางไฟฟ้าแรงสูง



รูปที่ 2.9 ขั้วไฟฟ้าแบบช่องว่างทรงกลม

2.2.4.3 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้สามารถคำนวณหาค่าสนามไฟฟ้าได้ง่ายใช้กันมากในการค้นคว้าหาปรากฏการณ์โคโรนาและใช้ในการทำสายไฟฟ้าเคเบิล หรือบัสบาร์ที่ใช้ก๊าซ SF6 เป็นฉนวน ขั้วไฟฟ้าด้านในรัศมี r และขั้วไฟฟ้าด้านนอกรัศมี R ตามรูปที่ 2.10



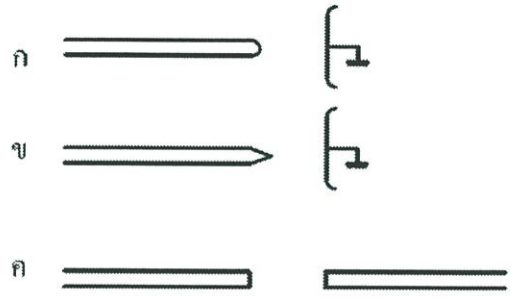
รูปที่ 2.10 ขั้วไฟฟ้าทรงกระบอกแกนร่วม

2.3.4.4 ขั้วไฟฟ้ารูปแท่งกลมและรูปเข็ม

มีรูปแบบต่าง ๆ กันตามรูปที่ 2.11 ขั้วไฟฟ้าชนิดนี้มีการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอเมื่อให้แรงดันกระทำต่อขั้วไฟฟ้าจะเกิดโคโรนาที่มีลักษณะต่าง ๆ ขึ้น แรงดันเริ่มต้นที่ทำให้เกิดโคโรนาขึ้นนี้เราเรียกว่า Corona

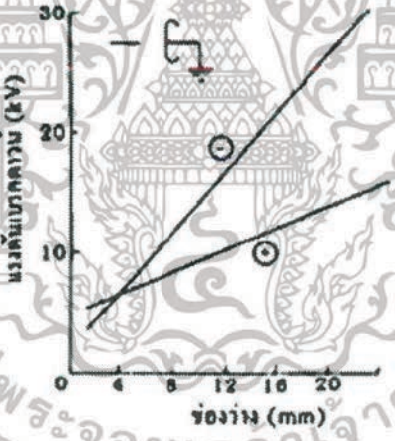
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inception Voltage หลังจากเกิดโคโรนาแล้ว ถ้าเราเพิ่มแรงดันให้สูงขึ้นอีก จะเกิดการเบรกดาวน์ในที่สุด



รูปที่ 2.11 ตัวอย่าง Rod-Gap และ Needle-Gap

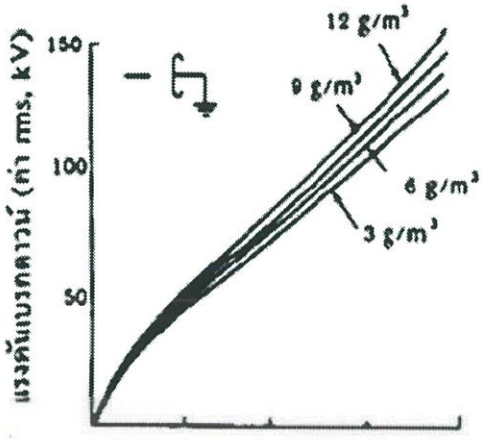
ในกรณีของกระแสสลับนั้น แรงดันที่กระทำต่อขั้วไฟฟ้ าจะเป็นแรงดันบวกและลบสลับกันไปทุกครึ่งไซเคิล ส่วนใหญ่การเบรกดาวน์จะเกิดขึ้นในครึ่งบวกซึ่งมีค่าแรงดันเบรกดาวน์ต่ำกว่าครึ่งลบ ดังรูปที่ 2.11 สามารถอธิบายได้ว่า เป็นเพราะโคโรนาบวกสามารถงอกได้ง่ายกว่าโคโรนาลบแต่ในบริเวณที่ gab มีระยะห่างน้อยกว่า 4 mm โคโรนาบวกจะมีลักษณะเป็นแผ่นบางหุ้มขั้วไฟฟ้าทำให้ไม่สามารถงอกยาวออกไป



รูปที่ 2.12 แรงดันเบรกดาวน์ของ Needle-Gap

จากรูปที่ 2.12 แสดงแรงดันเบรกดาวน์ของขั้วไฟฟ้ารูปเข็มและแผ่นระนาบ จะเห็นว่าเมื่อแรงดันที่กระทำเป็นบวก แรงดันเบรกดาวน์จะต่ำกว่าแรงดันเบรกดาวน์เมื่อแรงดันที่กระทำเป็นลบอยู่เกือบครึ่งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ผลความชื้นต่อแรงดันเบรกดาวน์

รูปที่ 2.13 แสดงอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อแรงดันเบรกดาวน์ แรงดันที่ใช้เป็นกระแสสลับ การสปาร์คจะเกิดขึ้นทางด้านบวกของแรงดัน จะเห็นได้ว่า เมื่อความชื้นสูง แรงดันเบรกดาวน์จะมากขึ้นซึ่งจะอธิบายได้ว่า โคโรนาบวกถูกละอองน้ำในอากาศขวางไว้ไม่ให้งอกยาวได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากละอองน้ำจะจับอิเล็กตรอนเกิดเป็นไอออนลบขึ้นจากรูป 2.11 อาจกล่าวได้ว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ในกรณีที่เป็นขั้วบวกมีค่าประมาณ 5 kV/cm ซึ่งน้อยกว่าในกรณีของสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอซึ่งมีค่าเป็น 30 kV/cm

2.2.4.5 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้า (Electron Emission)

ในการเกิดดิสชาร์จในก๊าซ นอกจากอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลในก๊าซด้วยกระบวนการต่าง ๆ อิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจากขั้วไฟฟ้าก็มีส่วนสำคัญในการเกิดดิสชาร์จในก๊าซเช่นกัน ซึ่งกระบวนการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ดังนี้คือโลหะที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าจะมีอะตอมอยู่ใกล้กันมากจนกระทั่งวาเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมหนึ่งอาจจะถือเป็นอิเล็กตรอนของอีกอะตอมหนึ่งได้ถ้าอิเล็กตรอนตัวใดตัวหนึ่งมีพลังงานสูงพอก็จะสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระภายในโลหะ เราเรียกอิเล็กตรอนเหล่านี้ว่าอิเล็กตรอนอิสระ อย่างไรก็ดีที่ผิวของโลหะจะมีกำแพงพลังงานศักย์ (Potential Energy Barrier) กั้นอยู่ อิเล็กตรอนจะไม่สามารถหลุดออกมานอกผิวของโลหะได้จนกว่าจะได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากภายนอก เราอาจแบ่งประเภทของการปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าตามแหล่งพลังงานที่เพิ่มเติมเข้ามาจากภายนอกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4.6 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้ความร้อน (Thermion Emission)

คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะโดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมในรูปของพลังงานความร้อนตัวอย่างเช่น การเผาขั้วคาโทดในหลอดสุญญากาศโดยให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านถ้าอุณหภูมิสูงพอจะทำให้อิเล็กตรอนบางตัวมีพลังงานสูงอยู่แล้วมีพลังงานมากขึ้นจนหลุดออกจากผิวโลหะได้

2.2.4.7 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยใช้พลังแสง (Photo Emission)

คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะโดยพลังงานที่ได้รับเพิ่มเติมเป็นพลังงานโฟตอนจากการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น กรณียิงแสงเหนือม่วงตกกระทบขั้วคาโทดของหลอดดิสชาร์จเป็นต้น

2.2.4.8 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยสนามไฟฟ้า (Field Emission)

คือ การที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะได้โดยรับอิทธิพลจากสนามไฟฟ้าภายนอกผิวโลหะเมื่อมีสนามไฟฟ้าจากภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องกำแพงพลังงานศักย์จะลดลง ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมาจากขั้วไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนได้ง่ายขึ้น

2.2.4.9 การปล่อยอิเล็กตรอนออกจากขั้วไฟฟ้าโดยการชนของอนุภาค (Secondary Emission)

คือการที่อิเล็กตรอนหลุดออกจากผิวโลหะโดยได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากการชนของอนุภาค เช่นอิเล็กตรอน หรือไอออนในกรณีการชนด้วยไอออนประสิทธิภาพของการเกิดเซกันดารีอิมมิชชั่นจะน้อยกว่าการชนกันด้วยอิเล็กตรอนมากอย่างไรก็ดี การเกิดเซกันดารีอิมมิชชั่นโดยไอออนนั้นก็มีบทบาทสำคัญในกลไกการเกิดดิสชาร์จในก๊าซ

2.2.4.10 กลไกของการเกิดเบรกดาวน์ในก๊าซ

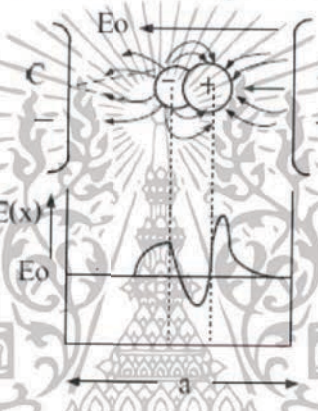
กลไกของการเกิดเบรกดาวน์ในก๊าซจะใช้ทฤษฎีในการวิเคราะห์อยู่ 2 ทฤษฎีโดยพิจารณาที่ค่าของ Gap แคบๆ และที่ Gap กว้างขึ้น ดังนี้กลไกของการเกิดเบรกดาวน์ของ Towsend ใช้อธิบายการพัฒนาของประจุจากอิเล็กตรอนจนเกิดเป็นกลุ่มก้อนประจุเคลื่อนที่จากขั้วอิเล็กโทรดขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งโดยจะใช้วิเคราะห์ในกรณีที่ Gap มีค่าแคบๆ ($X \leq \frac{1}{2}*D$) กลไกของการเกิดเบรกดาวน์ของ Streamer ใช้อธิบายการก่อรวมตัวของประจุที่เป็ นกลุ่มและแผ่กระจายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งข้ามจากขั้วอิเล็กโทรดหนึ่งไปถึงอีกขั้วอิเล็กโทรดโดยจะใช้วิเคราะห์ในกรณีที่ gap มีค่ากว้างๆ ($X \geq D$)

2.2.4.11 กลไกเบรกดาวน์ของ Streamer

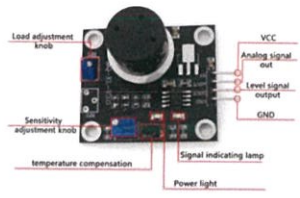
เนื่องจากว่าในช่องว่าง gap ที่กว้างการอธิบายโดยใช้ทฤษฎีของ Towsend นั้นอธิบายได้ลำบาก Meek.Loeb และ Raether ได้เสนอทฤษฎีกลไกการเบรกดาวน์ขึ้นทฤษฎีของ Streamer เมื่อไอออไนเซชั่นจากขบวนการ Alpha แล้วจะเกิดขบวนการโฟโต้ไอออไนเซชั่นของโมเลกุล ก๊าซที่หัวของ Streamer Space Charge ทำให้สนามไฟฟ้าที่หัว Streamer มีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สนามไฟฟ้าใน Gap เปลี่ยนไป ซึ่งทำให้สนามไฟฟ้าที่ปลายและบริเวณข้างของ Avalanche มีค่ามากสำหรับสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กตรอนและกลุ่ม Avalanche มีค่าน้อยดังรูปที่ 2.14 [5]



รูปที่ 2.14 แสดงสนามไฟฟ้าที่เกิดจาก space charge

2.3 เซนเซอร์วัดปริมาณแก๊สโอโซน

เซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดปริมาณแก๊สโอโซน คือ MQ131 ดังรูปที่ 2.15 คือวัสดุที่สำคัญที่มีความไวในการตรวจจับแก๊สของ MQ131 คือ WO_3 ซึ่งมีการนำไฟฟ้าต่ำในอากาศที่สะอาด เมื่อปล่อยแก๊สโอโซนค่าการนำไฟฟ้าของเซนเซอร์จะลดลงพร้อมกับความเข้มข้นของแก๊สที่เพิ่มขึ้น ผู้ใช้สามารถแปลงการเปลี่ยนแปลงของการนำไฟฟ้าเพื่อให้สอดคล้องกับสัญญาณที่ออกมาของความเข้มข้นของแก๊สผ่านวงจรที่พื้นฐาน และ เซนเซอร์ MQ131 มีความไวสูงต่อโอโซนและยังมีความไวต่อออกไซด์อื่นๆ เช่น Cl_2, NO_2 ซึ่งจะวัดในหน่วย ppb (Parts Per Billion)



รูปที่ 2.15 เซนเซอร์วัดปริมาณแก๊สโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเราจะนำเซนเซอร์วัดปริมาณโอโซนมาต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีชื่อว่า Arduino เพื่อนำปริมาณแรงดันที่ได้มาประมวลผลหาระยะเวลาที่สามารถกำจัดเชื้อโรคได้ โดยจะได้ผลเป็นแรงดันและระยะเวลาที่ปล่อยโอโซนเพื่อฆ่าเชื้อโรคชนิดต่าง ๆ ได้

2.4 อาหารเลี้ยงเชื้อ

อาหารเลี้ยงเชื้อ (Culture Medium) หมายถึงอาหารซึ่งมีส่วนประกอบของสารอาหารที่เอื้ออำนวยให้จุลินทรีย์เจริญและแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวน โดยจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน มีความต้องการสารอาหาร ตลอดจนสภาพความเป็นกรดด่าง (pH) ของอาหารแตกต่างกัน ซึ่งอาหารเลี้ยงเชื้อโดยทั่วไปควรมีคุณสมบัติดังนี้

1. มีธาตุอาหารและความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์
2. มีความเป็นกรดและด่าง (pH) ที่เหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรี
3. ปราศจากสารพิษที่มีผลต่อการเจริญของจุลินทรีย์
4. ปราศจากสิ่งมีชีวิตชนิดใด ๆ ในอาหารเลี้ยงเชื้อนั้น

อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานทางจุลชีววิทยามีหลายลักษณะ จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความต้องการธาตุอาหาร ตลอดจน pH ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้อาหารเลี้ยงเชื้อ จึงต่างกันไปตามความต้องการของจุลินทรีย์และวัตถุประสงค์ของการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อที่ใช้ในงานทางจุลชีววิทยามีหลายลักษณะ เช่น อาหารเหลว (Broth) อาหารแข็ง (Solid Medium) โดยการเติมวุ้น 1.5 – 2.0 % เป็นตัวทำให้แข็ง ถ้าอาหารแข็งบรรจุในหลอดทดสอบและทำให้แข็งในลักษณะที่เอียงเป็นแนวลาดเรียก Slant Agar แต่ถ้าแข็งในลักษณะหลอดทดลองตั้งตรงเรียก Agar Deep Tube แต่ถ้าบรรจุในจานเพาะเชื้อ (Petri Dish) เรียก Agar Plate นอกจากนี้ ยังมีอาหารลักษณะกึ่งแข็ง (Semi – solid) ที่เติมผง วุ้น (Agar) เพียง 0.3 – 0.5 % เพื่อใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของจุลินทรีย์[8]

โดยอาหารเลี้ยงเชื้อที่เราใช้ในการทำวิจัยแบ่งออกเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง (Nutrient Agar หรือ NA) และ อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broth หรือ NB) วัตถุประสงค์ของการใช้อาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อเพาะเลี้ยงเชื้อจากปลาสลิด ศึกษาเชื้อที่เกิดขึ้น แล้วนำมาทดลองอบฆ่าเชื้อด้วยโอโซนจากเครื่องกำเนิดเพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อนั้น ๆ ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้ 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง เพื่อดูว่าโอโซนต้องใช้เวลาเท่าใดจึงจะสามารถหยุดการเติบโตของเชื้อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

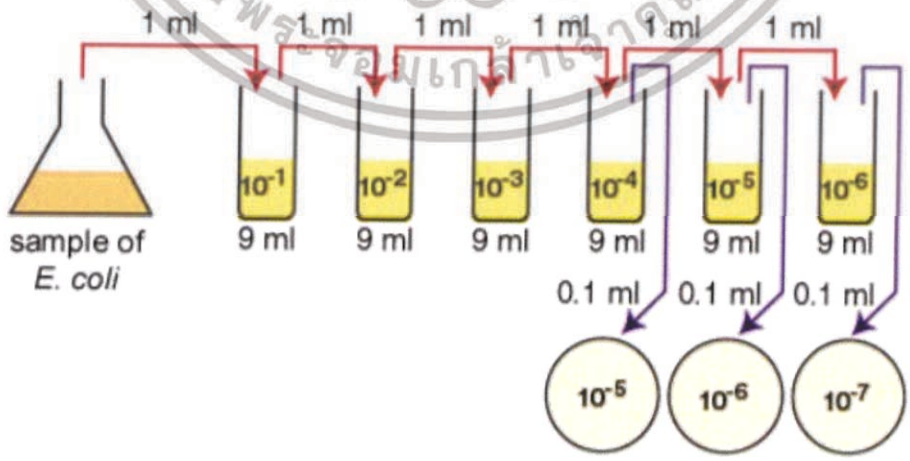
ส่วนประกอบของอาหารแข็ง NA ประกอบด้วย

Peptone	0.5%
NaCl	0.5%
Beef Extract	0.15%
Yeast Extract	0.15%
Agar	1.5%

ส่วนประกอบของอาหารเหลว NB ประกอบด้วย

Peptone	0.5%
NaCl	0.5%
Yeast Extract	0.3%

ในการทำวิจัยเราได้ทำการทดลองทำเชื้ออาหารเหลวจากการเพาะเชื้อจากเชื้อตัวอย่าง คือ เชื้อที่ได้จากหนังปลาสลิดที่ผ่านการอบความร้อนมาแล้ว นำมาทำการ Spread Plate Technique ซึ่ง คือ เทคนิคการแยกจุลินทรีย์ให้บริสุทธิ์ที่สามารถตรวจนับปริมาณ (Microbial Population Count) ได้โดยมีการเจือจางเป็นลำดับส่วน (Serial Dilution) โดยนำตัวอย่างเชื้อที่ได้จากหนังบนปลาสลิดมาทำการเจือจาง หรือ Serial Dilution คือ การเจือจางตัวอย่างเชื้อเริ่มต้น เพื่อการนับจำนวนจุลินทรีย์ (Microbial Population Count) ให้จำนวนโคโลนีที่เจริญบนอาหารเลี้ยงเชื้อ (Culture Media) มีจำนวนเซลล์ระหว่าง 25-250 เซลล์ ไม่มากหรือน้อยเกินไปโดยในการทดลองนี้จะทำเป็นลำดับๆ ละ 10 เท่า เรียก การเจือจาง 10 เท่า (Ten-Fold Serial Dilution) สารที่ใช้เป็นสารเจือจางได้แก่ Nutrient Broth, 0.85% NaCl, Peptone Water เป็นต้น ดังรูปที่ 2.16 [7]



รูปที่ 2.16 การเจือจางสาร 10 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนและที่บรรจุอุปกรณ์

บทนี้แสดงการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดโอโซน ที่บรรจุอุปกรณ์ และตู้อบอุปกรณ์ รวมทั้งแสดงถึงการออกแบบการทดลอง การเตรียมเชื้อ และขั้นตอนการทดลอง

3.1 การออกแบบในส่วนเครื่องกำเนิดโอโซน

โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างเครื่องกำเนิดโอโซน มีดังต่อไปนี้

3.1.1 อุปกรณ์

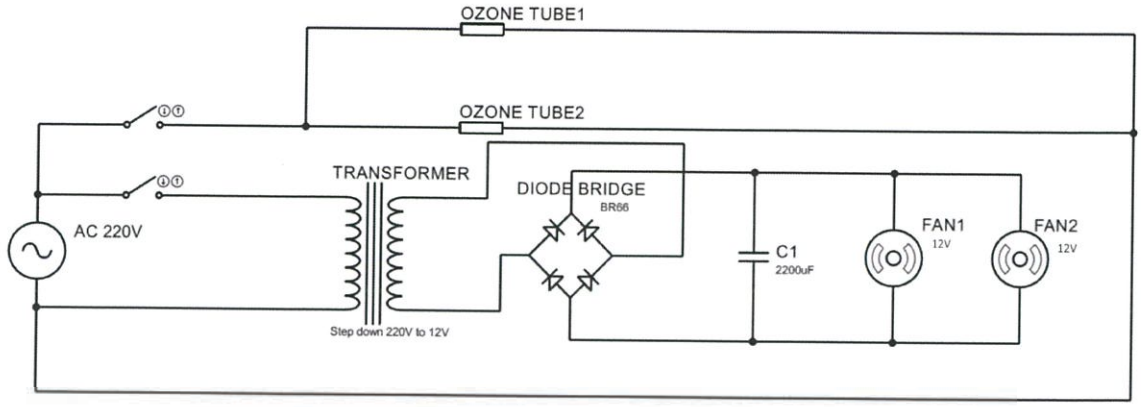
1. หลอดผลิตโอโซน ขนาด 9 นิ้ว เป็นหลอดที่มีกำลังวัตต์สูง สามารถผลิตโอโซนได้คงที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
2. พัดลม ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ใช้แรงดันไฟฟ้า 220-240 โวลต์ จำนวน 2 ตัวทำหน้าที่พัดและดูดแก๊สโอโซนให้กระจายทั่วทั้งตู้อบอุปกรณ์
3. ตัวเก็บประจุ ที่เก็บพลังงานในรูปสนามไฟฟ้า2200 μF
4. สะพานไดโอด BR66 เพื่อทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในทิศทางเดียวกัน
5. หม้อแปลง ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 โวลต์ เป็น 12 โวลต์
6. ที่เปิดปิดไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดกระแสไฟฟ้าภายในวงจรไฟฟ้า
7. กล่อง สำหรับบรรจุวงจรกำเนิดโอโซน ขนาด 28x18x10 เซนติเมตร

ขั้นตอนการสร้างมีดังต่อไปนี้

3.1.2 ขั้นตอนการทำ

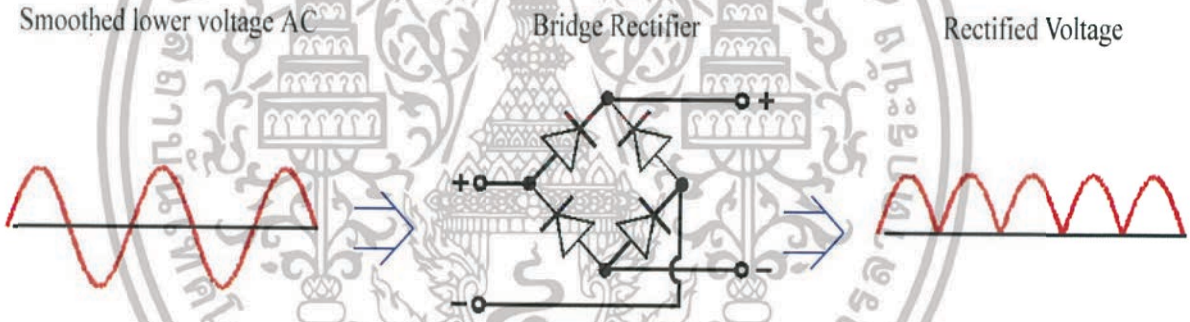
ทำการต่อวงจรเครื่องกำเนิดโอโซนตามรูปที่ 3.1 โดยมีรายละอียดการทำงานดังด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



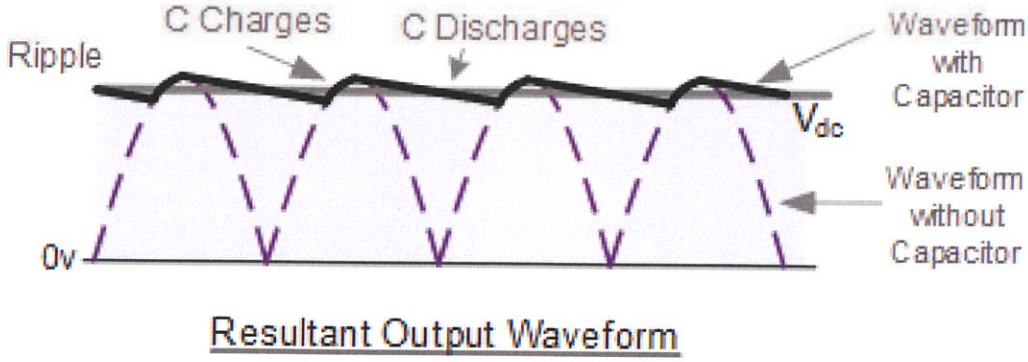
รูปที่ 3.1 วงจรเครื่องกำเนิดโอโซน

จากวงจร จะใช้ไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V จ่ายให้กับหลอดโอโซน โดยควบคุมผ่านที่เปิดปิดไฟฟ้า ในส่วนของพัดลม ใช้หม้อแปลงไฟฟ้าจาก 220 V เป็น 12 V แล้วต่อเข้ากับสะพานไดโอด เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การทำงานของสะพานไดโอด

แล้วปรับแรงดันให้คงที่ด้วยตัวเก็บประจุ ในการคุมแรงดันถ้าเกิดแรงดันลดต่ำลง ตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่ปล่อยไฟเสริมให้ตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การทำงานของตัวเก็บประจุ

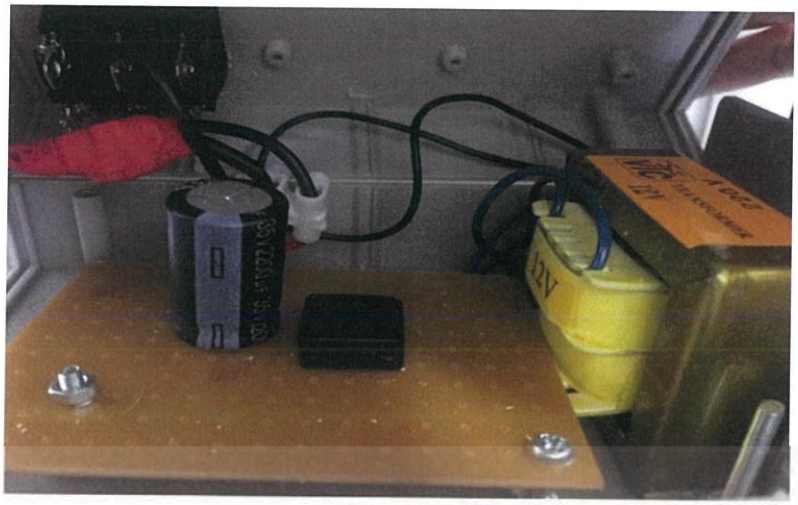
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการต่อวงจรและติดตั้งอุปกรณ์ลงในกล่อง โดยให้วงจรอยู่ในกล่องเล็ก แล้วให้เครื่องกำเนิดโอโซนกับพัดลมอยู่ในกล่องใหญ่ โดยให้พัดลมเป่าจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่ง โดยพัดลมตัวนึงทำหน้าที่พัดการไหลของแก๊สโอโซนไปยังตู้ (Chamber) ที่เราใช้เป็นบริเวณยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ และพัดลมอีกตัวทำหน้าดูดแก๊สโอโซนให้ไหลจากตู้กลับมาที่แหล่งกำเนิดโอโซนอีกครั้งทำให้เกิดเป็นวงจรปิด โดยจะแสดงองค์ประกอบของตัวเครื่อง ดังรูปที่ 3.4, 3.5 และ 3.6

รูปที่ 3.4 กล่องที่ประกอบกันแล้ว

รูปที่ 3.5 หลอดโอโซนและพัดลมที่ติดตั้งภายในกล่องใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรที่ติดตั้งในกล่องเล็ก

3.2 การออกแบบในส่วนตู้อบอุปกรณ์

ในการสร้างเครื่องฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ประกอบด้วยวงจรกำเนิดโอโซนประกอบเข้ากับตู้อบที่ใช้เป็นพื้นที่ในการฆ่าเชื้อโดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

3.2.1 อุปกรณ์

1. ชุดท่อ PVC ประกอบไปด้วย

   • ข้อต่อท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตรเท่ากันทั้งสองด้าน สำหรับต่อจากตู้อบกับสายยาง

   • ข้อต่อตรงลด (Reducing socket) ขนาด 80 x 40 มิลลิเมตรสำหรับต่อเข้ากับสายยางและกล่องบรรจุวงจรกำเนิดโอโซน

   • ข้อต่อตรงเกลียวนอก ใช้เป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างตู้อบโอโซนและท่อ PVC

   • ข้องอ PVC 90 องศา ไว้เชื่อมต่อท่อยางกับท่อต่อตรง PVC

2. ถังเก็บน้ำพลาสติก ขนาด 50 L เป็นพื้นที่ทำการฆ่าเชื้อ

3. ท่อยางขนาด 40 มิลลิเมตร ยาว 1 เมตร เป็นส่วนลำเลียงแก๊สโอโซน ในส่วนนี้ได้มีการติดตั้งเซนเซอร์วัดปริมาณโอโซน

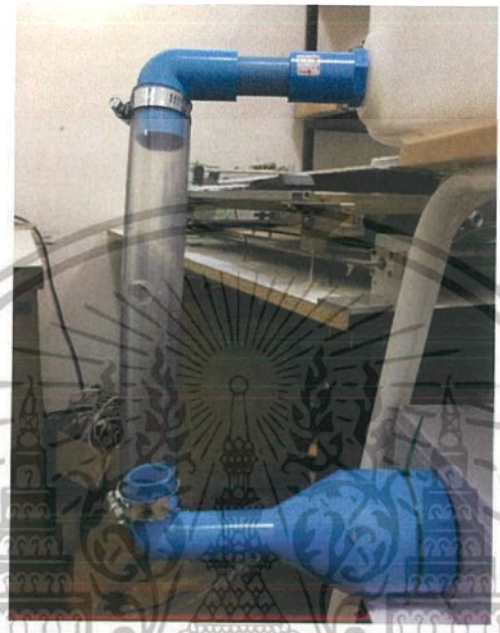
4. เข็มขัดเหล็กรัดท่อ สำหรับใช้ยึดท่อกับข้อต่อท่อให้มั่นคง

5. เก้าอี้บาร์สูง ใช้เป็นฐานในการติดตั้งเครื่องผลิตโอโซนและตัวตู้อบทำการฆ่าเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขั้นตอนการทำ

นำถังเก็บน้ำพลาสติกวางไว้บนเก้าอี้บาร์สูงแล้วนำข้อต่อตรงเกลียวนอกทองเหลืองใส่รูที่ถังเก็บน้ำพลาสติกด้านล่าง จากนั้นต่อท่อ PVC ตรงเพื่อให้มันยื่นออกมา แล้วต่อท่องอ 90 องศา จากนั้นต่อท่อยางแล้วใช้เข็มขัดรัดท่อสแตนเลสรัดให้แน่น แล้วต่อกับท่องอ 90 องศา แล้วต่อกับข้อต่อตรงลดเพื่อให้อากาศไหลเข้าเครื่องกำเนิดโอโซน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การต่อท่อจากถังเก็บน้ำพลาสติก

ด้านหลังกล่องเก็บน้ำพลาสติก ต่อข้อต่อตรงเกลียวนอก จากนั้นต่อข้องอ 90 องศา แล้วต่อท่อ PVC ตรงแล้วต่อข้องอ 90 องศาให้ลงมาข้างล่าง แล้วต่อท่อยาง ใช้เข็มขัดรัดท่อสแตนเลสรัดให้แน่น ต่อกับข้องอ 90 องศา แล้วใช้ท่อ PVC ตรงต่อเข้ากับข้อต่อตรงลด ดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 การต่อท่อจากถังเก็บน้ำพลาสติก

3.3 การออกแบบเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมเชื้อที่ใช้ในการทดลองมีอุปกรณ์ และขั้นตอนการเตรียมสารเพื่อใช้ผลิตเชื้อตัวอย่างจากหนังปลาสลิด ดังนี้

3.3.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths)

3.3.1.1 อุปกรณ์

1. 0.5% (w/v) Peptone	0.275 กรัม
2. 0.3% (w/v) Yeast Extract	0.165 กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. 0.5% (w/v) NaCl	0.275 กรัม
4. น้ำกลั่น	55 มิลลิลิตร

5. บีกเกอร์ (Beaker)

6. เครื่องคนสารละลายด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)

7. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)

8. หลอดทดลอง (Test Tube)

9. กระบอกตวง

10. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)

11. ช้อนตักสาร

12. กระดาษตวงสาร

13. ตู้เย็น

14. ตาชั่ง

15. อลูมิเนียมฟอล์ย (Aluminum foil)

3.3.1.2 ขั้นตอนการทำ

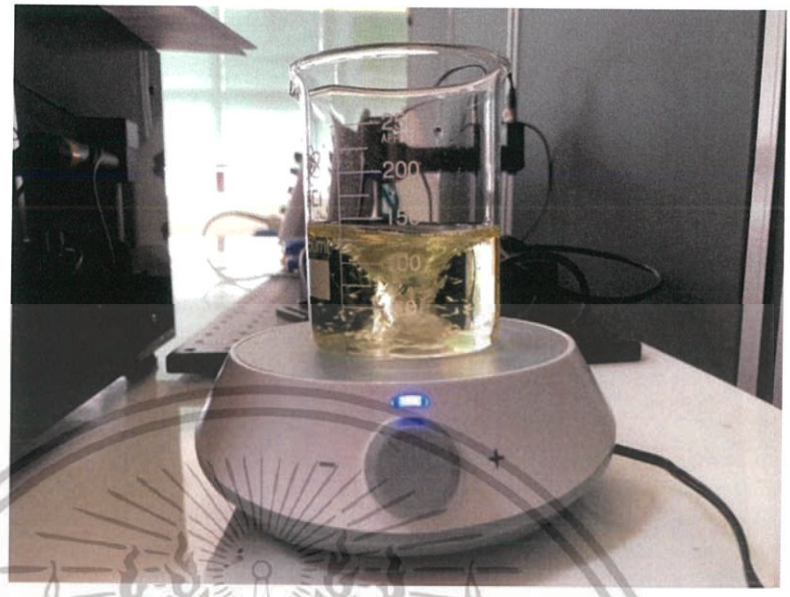
1. ชั่ง Peptone, Yeast Extract, NaCl ใส่ในบีกเกอร์

2. ตวงน้ำกลั่นด้วยกระบอกตวง 55 มิลลิลิตร แล้วใส่ในบีกเกอร์ที่มีสารที่ชั่งไว้ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 เทน้ำกลั่นใส่สารที่ตวงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้เครื่องคนสารละลายด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer) คนสารให้เข้ากัน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 คนสารด้วยเครื่องคนสารละลายด้วยแม่เหล็ก

4. ใช้ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette) ดูดสารละลายจากบีกเกอร์ใส่หลอดทดลอง 10 มิลลิลิตร 1 หลอด และ 9 มิลลิลิตร 5 หลอด ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 นำอาหารเลี้ยงเชื้อใส่หลอดทดลอง

5. ปิดฝาหลอดทดลองหลวม ๆ แล้วหุ้มฝาหลอดทดลองด้วยอลูมิเนียมฟอล์ย จากนั้นนำไปฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave) ดังรูปที่ 3.12 รอจนเย็นแล้วเก็บในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 ฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)

3.3.2 การเจือจางเชื้อจุลินทรีย์สำหรับตัวอย่างเริ่มต้น (Dilution Technique)

3.3.2.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths) ในหลอดทดลอง 10 มิลลิลิตร 1 หลอด

2. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths) ในหลอดทดลอง 9 มิลลิลิตร 5 หลอด

2. ปลาสลิดแช่แข็ง

3. สำลีพันก้านที่ผ่านการฆ่าเชื้อ

4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)

5. ตะเกียงแอลกอฮอล์

6. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)

7. ตู้เย็น

3.3.2.2 ขั้นตอนการทำ

1. ทำขั้นตอนทั้งหมดในตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet) เปิดฝาหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว 10 มิลลิลิตร แล้วลนปากหลอดด้วยเปลวไฟเพื่อฆ่าเชื้อ จากนั้นนำสำลีพันก้านมาจุ่มในอาหารเหลว แล้วนำไปปาดรอบ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวหนังปลาสลิด แล้วนำกลับมาใส่หลอดทดลอง ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14

รูปที่ 3.13 ปลาสลิดที่ใช้เป็นตัวอย่างเชื้อ

รูปที่ 3.14 นำสำลีจุ่มในอาหารเลี้ยงเชื้อ

2. ปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อในข้อ 1 มา 1 มิลลิลิตร มาใส่หลอดอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอาหาร 9 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10 (Dilution 10-1)

3. ปิเปตหลอดทดลองที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10 มา 1 มิลลิลิตร แล้วใส่ในหลอดทดลองที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ 9 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน จะได้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:100 (Dilution 10-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำตามขั้นตอนข้อ 2 กับ 3 โดยเจือจางเป็นลำดับจะได้อาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 10-3, 10-4, 10-5 ตามลำดับ เก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ในตู้เย็น

3.3.3 การนำเชื้อมากระจายบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ (Spread Plate Technique)

3.3.3.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น (Nutrient Agar)
2. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader)
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์
4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)
5. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)
6. แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 (95% Ethanol)
7. เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution
8. พาราฟิล์ม
9. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)
10. ตู้เย็น

3.3.3.2 ขั้นตอนการทำ

1. ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์เจือจางมาใส่ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น 100 ไมโครลิตร ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.15 ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์เจือจาง

รูปที่ 3.16 เชื้อจุลินทรีย์มาใส่บนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น

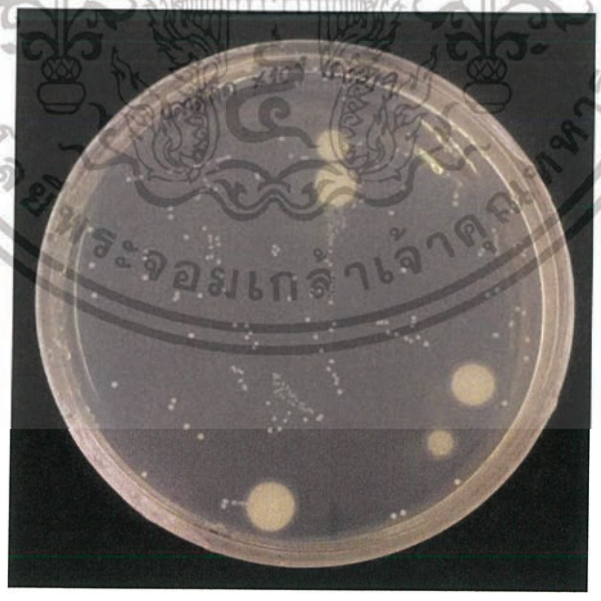
2. ฆ่าเชื้อบนแท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader) ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% Ethanol แล้วนำไปลนไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ ปล่อยให้เย็นลงสักครู่

3. เกลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ให้กระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อด้วยการหมุน Glass Spreader เป็นวงกลมพร้อมๆกับหมุนจานเพาะเชื้อไปด้วย เมื่อหมุนจานเพาะเชื้อจนแบคทีเรียกกระจายทั่วทั้งจานพาะเชื้อ แล้วปิดฝา ใช้เทปพาราฟิล์มพันรอบจานเลี้ยงเชื้อให้สนิท และฆ่าเชื้อ Glass Spreader ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% Ethanol ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 เกลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ให้กระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อด้วยการหมุน Glass Spreader

4. นำจานเพาะเชื้อไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37° องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนับจำนวนโคโลนี เลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution ในอัตราส่วนที่มีเชื้อจุลินทรีย์ขึ้นเป็นโคโลนีที่สามารถนับได้ง่าย ผู้ทำการทดลองได้เลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10^{-4}) ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10^{-4})

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโอโซน

3.3.4.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น (Nutrient Agar)

2. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader)

3. ตะเกียงแอลกอฮอล์

4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)

5. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)

6. แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 (95% Ethanol)

7. เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution ที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10^{-4})

8. พาราฟิล์ม

9. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)

10. ตู้เย็น

11. เครื่องกำเนิดโอโซนและตู้อุปกรณ์

3.3.4.2 ขั้นตอนการทำ

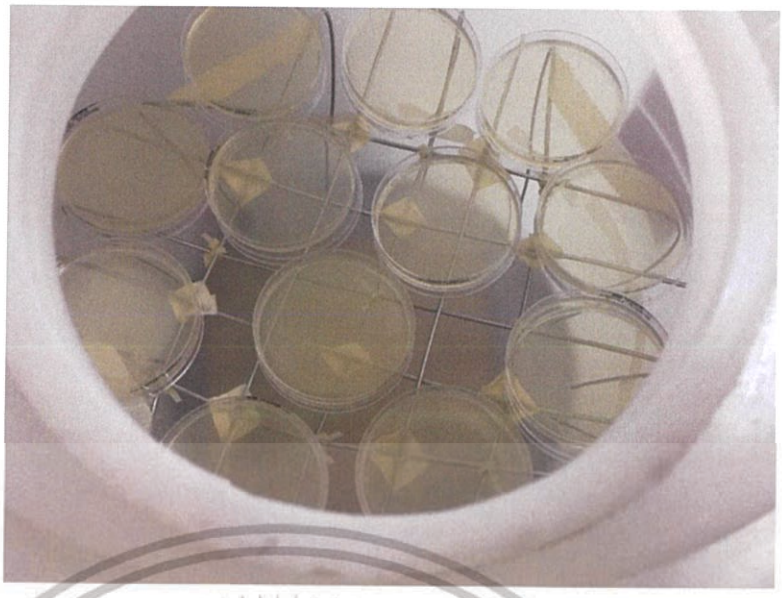
1. ปิเปตเชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution ที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10^{-4}) มาใส่ลงบนผิวหน้าอาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น 100 ไมโครลิตร

2. ฆ่าเชื้อบนแท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader) ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% Ethanol แล้วนำไปลนไฟจากตะเกียงแอลกอฮอล์ ปล่อยให้เย็นลงสักครู่

3. เกลี่ยแบคทีเรียให้กระจายทั่วทั้งจานเลี้ยงเชื้อด้วยการหมุน Glass Spreader เป็นวงกลมพร้อมๆกับหมุนจานเพาะเชื้อไปด้วย เมื่อหมุนจานเพาะเชื้อจนแบคทีเรียกกระจายทั่วทั้งจานพาะเชื้อ แล้วปิดฝา และฆ่าเชื้อ Glass Spreader ด้วยการนำไปจุ่มใน 95% Ethanol

4. นำจานเพาะเชื้อใส่ตู้อุปกรณ์โดยเปิดฝาจานเพาะเชื้อ แล้วเปิดเครื่องกำเนิดโอโซน ดังรูปที่ 3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 นำจานเพาะเชื้อใส่ตู้อุปกรณ์

5. นำจานเพาะเชื้อออกมาจากตู้อุปกรณ์เมื่อครบเวลา 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง ปิดฝา พันด้วยเทปพาราฟิล์ม แล้วนำไปบ่มในตู้บ่มเชื้อ ที่อุณหภูมิ 37° องศาเซียลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

6. นับจำนวนโคโลนี แล้วบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

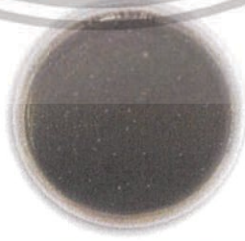
ผลการทดลอง

บทนี้แสดงถึงผลจากการทำการทดลองการฆ่าเชื้อตัวอย่างจากหนังปลาสลิดด้วยการอบโอโซน ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ รวมทั้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโลนีที่พบจากการทดลองเทียบกับเวลาที่ใช้อบโอโซนในการทดลอง และแสดงถึงปริมาณแรงดันไฟฟ้าของโอโซนเทียบกับเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำการทดลอง

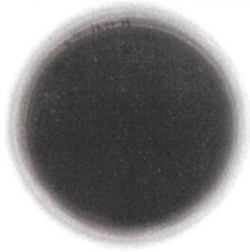
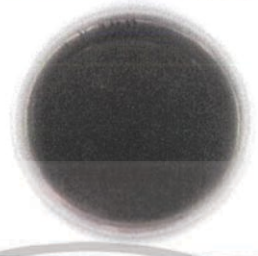
4.1 ผลการฆ่าเชื้อจากการอบโอโซน

ผลจากการทดลองนำเชื้อตัวอย่างที่ได้จากหนังปลาสลิดมาฆ่าเชื้อด้วยการอบโอโซนโดยแบ่งการทดลองเป็นช่วงเวลาในการอบโอโซนโดยแบ่งเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง และทำการทดลองเป็นจำนวน 3 เพลทต่อช่วงเวลาข้างต้น โดยผลการทดลองคือจำนวนโคโลนีที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนโคโลนีของเชื้อตัวอย่างที่ยังไม่ผ่านการฆ่าด้วยโอโซน

ตารางผลการทดลองที่ 4.1 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 1

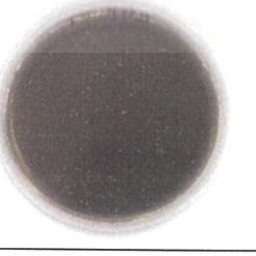
เวลาที่อบโอโซน	ภาพผลการทดลอง	จำนวนโคโลนี
0 ชั่วโมง		253
3 ชั่วโมง		151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

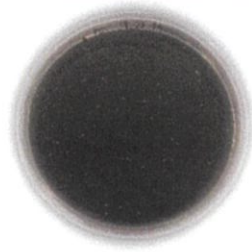
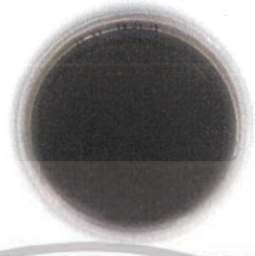
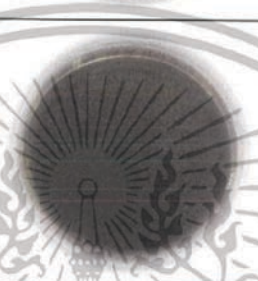
6 ชั่วโมง		40
12 ชั่วโมง		9
24 ชั่วโมง		67

ตารางที่ 4.1 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 1

ตารางผลการทดลองที่ 4.2 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 2

เวลาที่อบโอโซน	ภาพผลการทดลอง	จำนวนโคโลนี
0 ชั่วโมง		253
3 ชั่วโมง		102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

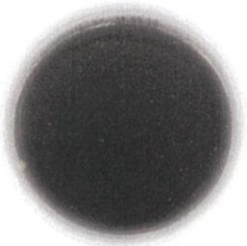
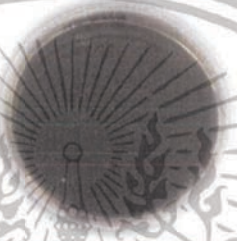
6 ชั่วโมง		76
12 ชั่วโมง		2
24 ชั่วโมง		0

ตารางที่ 4.2 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 2

ตารางผลการทดลองที่ 4.3 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 3

เวลาที่อบโอโซน	ภาพผลการทดลอง	จำนวนโคโลนี
0 ชั่วโมง		253
3 ชั่วโมง		88

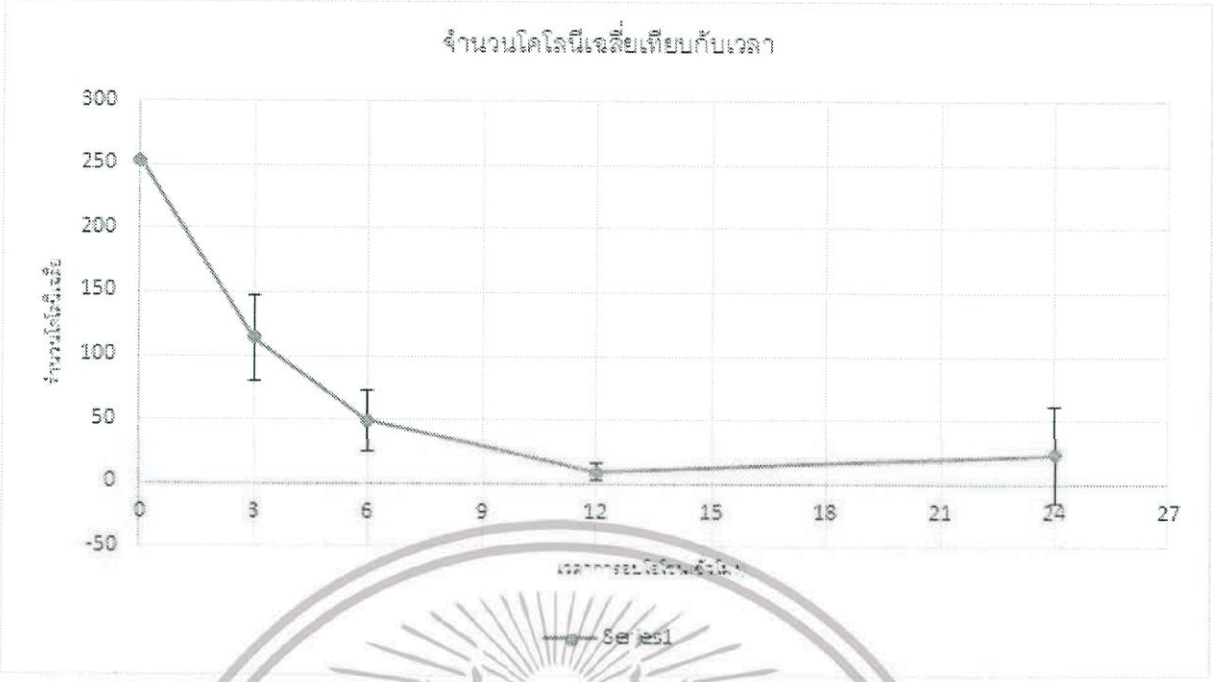
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 ชั่วโมง		31
12 ชั่วโมง		16
24 ชั่วโมง		3

ตารางที่ 4.3 จำนวนเชื้อที่เกิดขึ้นจากการอบโอโซนจากการทดลอง จานที่ 3

จากผลการทดลองตามตารางด้านบน เราทำการทดลองทั้งสิ้น 3 เพลทเพื่อความแม่นยำของผลการทดลองรวมถึงเพื่อง่ายต่อการเข้าใจและสรุปผล เราจึงหาค่าเฉลี่ยจำนวนโคโลนีทั้ง 3 เพลทจากทุกเวลาที่ทำการอบโอโซน โดยที่เวลา 3 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 113.6667 ที่เวลา 6 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 49 ที่เวลา 12 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 9 ที่เวลา 24 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 23.3333 นำมาสร้างกราฟเพื่อดูความสัมพันธ์ของจำนวนโคโลนีเฉลี่ยต่อเวลาที่ใช้อบโอโซนทำการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล ถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาออกมาแล้วมีค่ามากนั้นหมายความว่าข้อมูลชุดนี้มีการกระจายกันมาก ในทางกลับกันถ้าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหาออกมาแล้วมีค่าน้อยนั้นหมายความว่าข้อมูลชุดนี้มีการกระจายกันน้อยและเมื่อข้อมูลทุกตัวมีค่าเท่ากันหมด ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือไม่มีการกระจายตัว

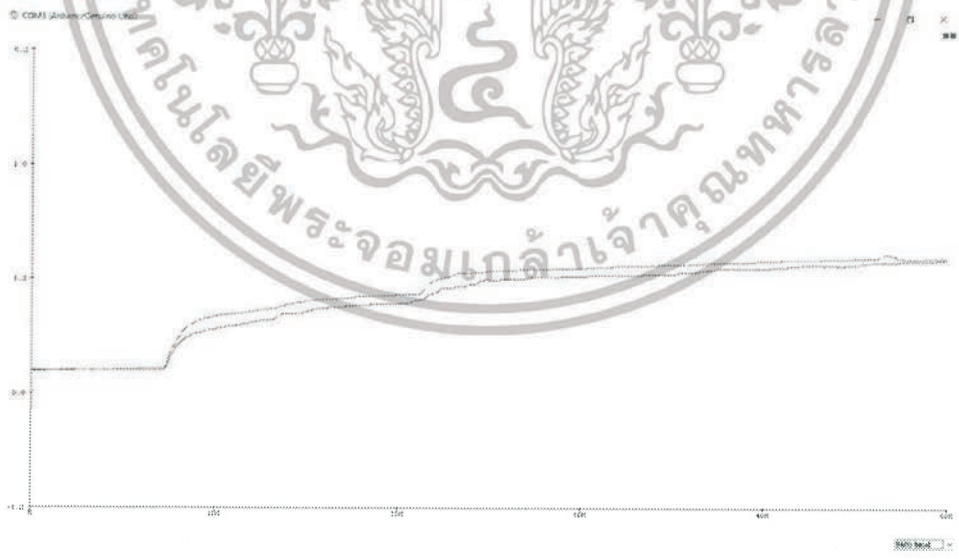
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนโคโลนีเฉลี่ยกับเวลาและแสดงค่าเบี่ยงเบน

จากกราฟข้างต้นจะแสดงให้เห็นว่าข้อมูลชุดนี้มีการกระจายตัวสูงสุดที่เวลาการอบโอโซนที่ 24 ชั่วโมง 3 ชั่วโมง และ 12 ชั่วโมง เรียงจากมากมาน้อยตามลำดับ

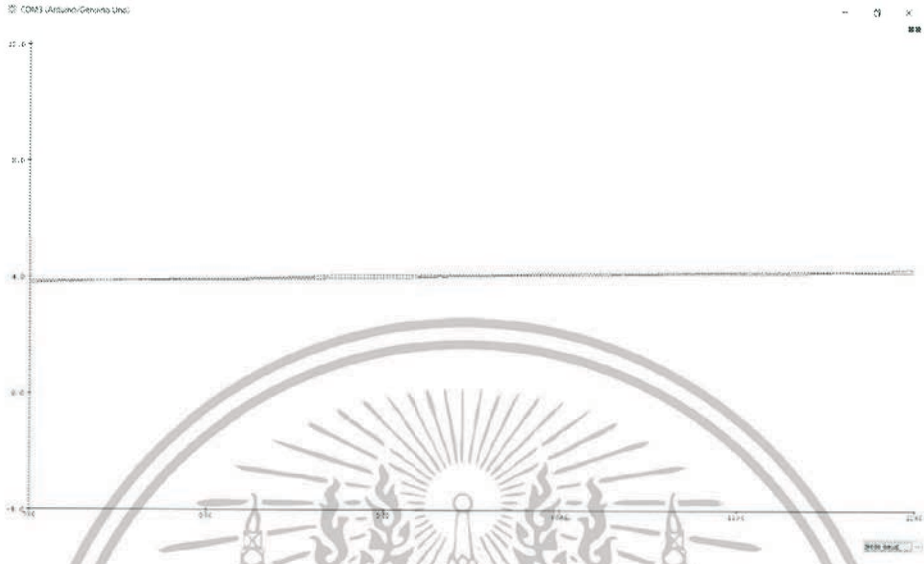
4.2 ผลการทดลองวัดแรงดันของโอโซน



รูปที่ 4.2 ปริมาณแรงดันเริ่มต้นของโอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อยังไม่เปิดเครื่องกำเนิดโอโซน แรงดันที่เซนเซอร์วัดได้จะอยู่ที่ 1.05 โวลต์เนื่องจากค่า offset ของตัวเซนเซอร์ และหลังจากเปิดเครื่องกำเนิดโอโซน จะใช้เวลา 7.20 วินาทีในการที่แรงดันทั้งท่อขาเข้าและท่อขาออกจากตัวถังจะค่อยๆไต่ระดับไปยังค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.3 ปริมาณแรงดันของโอโซนเมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง

เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง แรงดันจะเริ่มเข้าสู่ค่าที่ 4 โวลต์ และไต่ระดับต่อไปเรื่อย ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.4 ปริมาณแรงดันของโอโซนเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนเมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง กราฟจะแสดงให้เห็นว่าปริมาณแรงดันโอโซนจะเข้าสู่ช่วงคงที่ที่ประมาณ 5 โวลต์ ทั้งทางท่อขาเข้ามีแรงดันอยู่ที่ 4.85 โวลต์ และท่อขาออกมีแรงดันอยู่ที่ 4.61 โวลต์ จากตัวถัง เมื่อปิดเครื่องกำเนิดโอโซนแรงดันทั้งสองทางจะลดลงมายัง 1.05 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากกราฟทำให้เราทราบช่วงเวลาเริ่มต้นที่จะสามารถใช้โอโซนในการฆ่าเชื้อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้แสดงถึงการสรุปผลการวิจัยทั้งหมดตั้งแต่เริ่มทำการทดลองจนเสร็จสิ้น โดยเป็นการวิเคราะห์ผลการทดลองของงานวิจัยชิ้นนี้ รวมทั้งข้อเสนอแนะในทุกส่วนของงานวิจัยตั้งแต่เครื่องมืออุปกรณ์ การทดลอง และองค์ประกอบทั้งหมดในการสร้างงานวิจัยนี้ที่จะช่วยให้งานวิจัยชิ้นนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการอบฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในตัวอย่างบนหนังปลาสลิดด้วยโอโซน โดยในการทดลองแบ่งช่วงเวลาในการอบโอโซนเป็น 3 ชั่วโมง 6 ชั่วโมง 12 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง ทำการทดลองเป็นจำนวน 3 ครั้งต่อช่วงเวลาข้างต้น พบว่า จำนวนเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนลดลงเมื่อเพิ่มเวลาในการอบโอโซนมากขึ้นโดยสังเกตจากจำนวนโคโลนีที่ลดลง ที่เวลา 3 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 113.6667 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 55.0725% ณ ความดัน 5 โวลต์เมื่อเทียบกับเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการอบโอโซน ที่เวลา 6 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 49 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 80.6324% ณ ความดัน 5 โวลต์เมื่อเทียบกับเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการอบโอโซน ที่เวลา 12 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 9 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 96.4427% ณ ความดัน 5 โวลต์เมื่อเทียบกับเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการอบโอโซน และที่เวลา 24 ชั่วโมงมีจำนวนโคโลนีเฉลี่ย 23.3333 ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อเท่ากับ 90.7774% ณ ความดัน 5 โวลต์เมื่อเทียบกับเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการอบโอโซน

จากผลการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการอบโอโซนตั้งแต่ 12 ชั่วโมงขึ้นไปมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับเชื้อจากหนังปลาสลิดที่ไม่ได้ผ่านการอบโอโซนเลย ซึ่งจากผลทดลองที่เวลา 24 ชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการลดจำนวนเชื้อจุลินทรีย์น้อยกว่า ที่เวลา 12 ชั่วโมง อาจมาจากสาเหตุหลายปัจจัย อาจเกิดการคลาดเคลื่อนในการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดความผิดพลาด เช่น ไม่สามารถฆ่าเชื้อได้ในเวลานั้น การปนเปื้อนต่าง ๆ และจากค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนมาตรฐานชี้ให้เห็นความผิดพลาดเพราะ ที่เวลา 12 ชั่วโมงกลับมีค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่า ที่เวลา 24 ชั่วโมงในการอบโอโซน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องกำเนิดโอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ โดยมีผลลดจำนวนเชื้อลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับจำนวนเชื้อที่ไม่ได้ผ่านการอบด้วยโอโซน เป็นผลแสดงให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดโอโซนที่ทางผู้จัดทำประดิษฐ์ขึ้นนั้นสามารถใช้การได้ในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ให้มีจำนวนลดลงจนเหลือจำนวนที่มีความปลอดภัยและด้วยความที่โอโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สลายตัวง่ายจึงเป็นขอได้เปรียบในด้านการไม่มีสารเคมีตกค้าง และเมื่อสลายตัวจะกลายเป็นก๊าซออกซิเจนที่เป็นประโยชน์ต่อชีวิตและสุขภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของฮาร์ดแวร์

ตู้ (Chamber) มีขนาดที่ใหญ่เกินไป และเครื่องกำเนิดโอโซนมีปริมาณน้อย ทำให้ความเข้มข้นของโอโซนไม่เพียงพอจึงต้องใช้เวลานานในการกำจัดเชื้อจุลินทรีย์ในจานเพาะเชื้อ

ในส่วนของซอฟต์แวร์

เซนเซอรที่ใช้วัดปริมาณโอโซนแสดงค่าในคอนโทรลเลอร์เป็นค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (Voltage) ซึ่งทำการแปลงค่าเป็น ppb (Part Per Billion) ได้ยาก เนื่องจากไม่มีเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของปริมาณโอโซนมาตรฐานไว้เปรียบเทียบ

ในส่วนของการทดลอง

เชื้อแบคทีเรียที่ใช้ในการทดลองเป็นเชื้อที่ได้มาจากปลาสลิด ผู้ทดลองไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าเป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดใด จึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าเชื้อแบคทีเรียชนิดนี้มีพฤติกรรมอย่างไรบ้าง และการนำเชื้อแบคทีเรียมาเขี่ยบนอาหารเลี้ยงเชื้อแต่ละครั้งได้ปริมาณไม่เท่ากันซึ่งผู้ทดลองไม่สามารถระบุสาเหตุได้

ภาพรวม

ควรออกแบบให้ปริมาตรของตู้ (Chamber) สัมพันธ์กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซน โดยลดขนาดของตู้ (Chamber) และเพิ่มเครื่องกำเนิดโอโซน หรือเพิ่มออกซิเจน การทดลองควรใช้เชื้อแบคทีเรียที่ทราบชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1]

บริษัท เชียงใหม่โพลสตาร์ (1992) จำกัด. โอโซนคืออะไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://polestarwater.com/โอโซนคืออะไร.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 30 สิงหาคม 2561)

[2]

หมอเมท Horonumber. อันตรายของโอโซน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.horonumber.com/news-3677. (วันที่ค้นข้อมูล : 2 กันยายน 2561)

[3]

บริษัทโปรเฟสชันแนล โอโซไนซ์ อินเตอร์เนชันแนล จำกัด. โอโซนฆ่าเชื้อโรคได้อย่างไร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www.ozoneinter.com/howkill.html. (วันที่ค้นข้อมูล : 30 สิงหาคม 2561)

[4]

บริษัท Big Ozone Company Limited. ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.bigozone.com/15733579/ปริมาณโอโซนกับการกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ.html.
(วันที่ค้นข้อมูล : 2 กันยายน 2561)

[5]

Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MQ131 High Concentration Ozone Gas Sensor. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : https://www.compel.ru/item-pdf/winsen~mq131-high-concentration-ozone-gas-sensor.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 9 ตุลาคม 2561)

[6]

ภาควิชาฟสิกสคณะวิทยาศาสตรมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. Ozone Generator. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : www.lib.ku.ac.th/KUCONF/KC4305053.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 21 สิงหาคม 2561)

[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. การแยกเชื้อจุลินทรีย์บริสุทธิ์และการเก็บรักษา. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://biology.crru.ac.th/biology/images/PDF/LacMicro/LacMicro05.pdf. (วันที่ค้นข้อมูล : 1 กุมภาพันธ์ 2561)

[8]

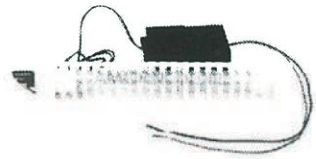
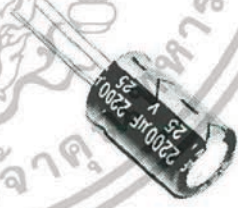
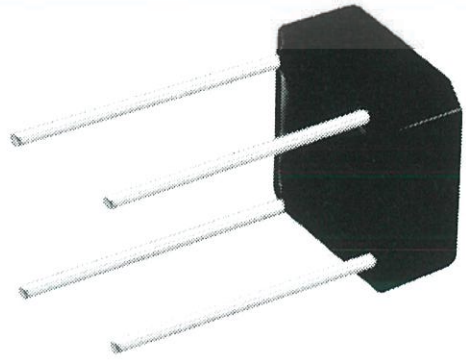
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) กระทรวงศึกษาธิการ.อาหารเลี้ยงเชื้อ.[ออนไลน์].
เข้าถึงได้จาก : https://www.scimath.org/lesson-biology/item/7439-2017-08-11-04-33-12.
(วันที่ค้นข้อมูล : 18 มีนาคม 2561)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

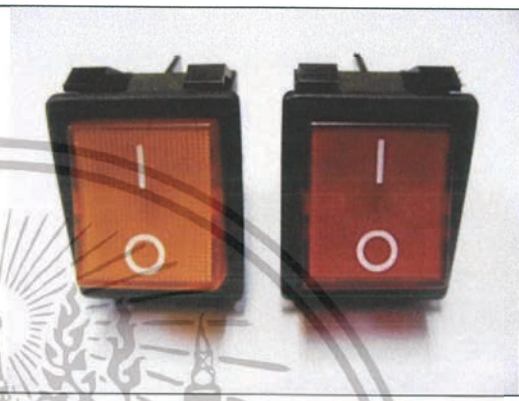
ภาคผนวก

เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบในส่วนเครื่องกำเนิดโอโซน

1. หลอดผลิตโอโซน	
2. พัดลม	
3. ตัวเก็บประจุ 2200 µF	
4. สะพานไดโอด BR66	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. หม้อแปลง 220 V เป็น 12 V	
6. ที่เปิดปิดไฟฟ้า	
7. กล่อง	

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบในส่วนตู้อบอุปกรณ์

1. ท่อ PVC	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถังเก็บน้ำพลาสติก	
3. ท่อยาง	
4. เข็มขัดรัดท่อสแตนเลส	
5. ข้องอ PVC 90 องศา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ข้อต่อตรงเกลียวนอก	
7. เก้าอี้บาร์สูง	
8. ข้อต่อตรงลด	

3.3 การออกแบบเชื้อที่ใช้ในการทดลอง

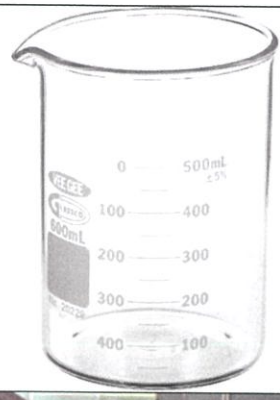
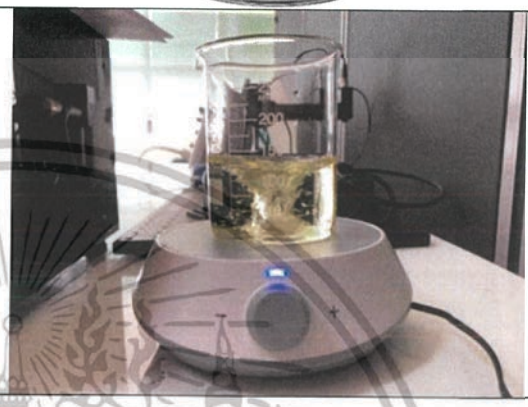
3.3.1 การเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths)

3.3.1.1 อุปกรณ์

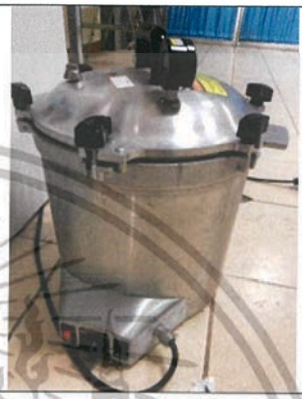
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Peptone	
2. Yeast Extract	
3. NaCl	
4. น้ำกลั่น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บีกเกอร์ (Beaker)	
6. เครื่องคนสารละลายด้วยแม่เหล็ก (Magnetic Stirrer)	
7. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)	
8. หลอดทดลอง (Test Tube)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

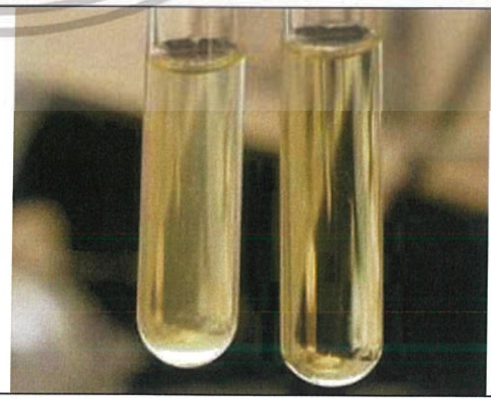
9. กระบอกตวง	
10. หม้อนึ่งความดันไอ (Autoclave)	
11. ช้อนตักสาร	
12. กระดาษตวงสาร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

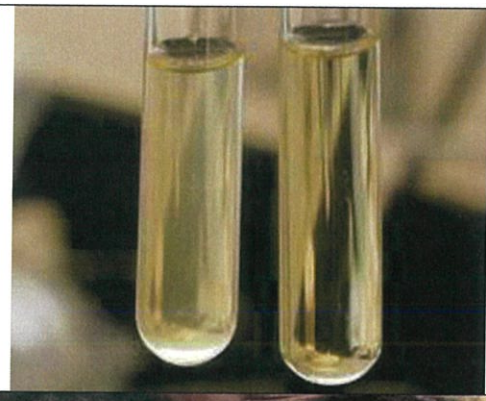
13. ตู้เย็น	
14. ตาชั่ง	
15. อลูมิเนียมฟอล์ย (Aluminum foil)	

3.3.2 การเจือจางเชื้อจุลินทรีย์สำหรับตัวอย่างเริ่มต้น (Dilution Technique)

3.3.2.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths) ในหลอดทดลอง 10 มิลลิลิตร 1 หลอด	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

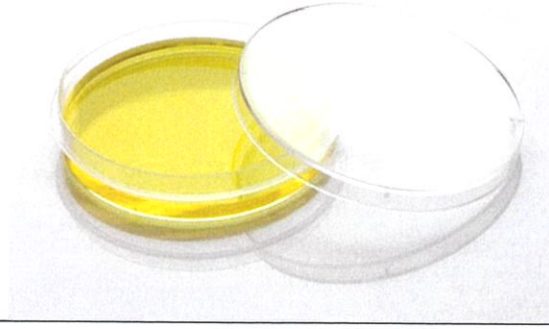
2. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broths) ในหลอดทดลอง 9 มิลลิลิตร 5 หลอด	
2. ปลาสลิดแช่แข็ง	
3. สำลีพันก้านที่ผ่านการฆ่าเชื้อ	
4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ตะเกียงแอลกอฮอล์	
6. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)	
7. ตู้เย็น	

3.3.3 การนำเชื้อมากระจายบนผิวของอาหารเลี้ยงเชื้อ (Spread Plate Technique)

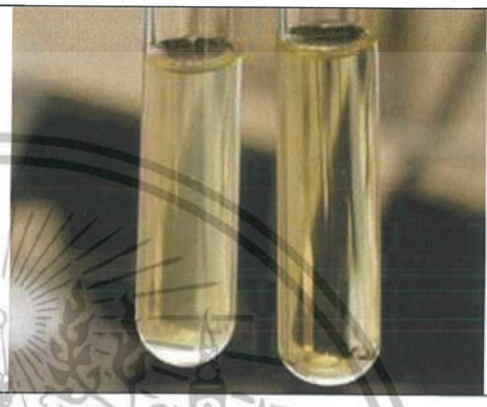
3.3.3.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น (Nutrient Agar)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader)	
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์	
4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)	
5. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 (95% Ethanol)	
7. เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution	
8. พาราฟิล์ม	
9. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตู้เย็น	

3.3.4 การทดสอบการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยโอโซน

3.3.4.1 อุปกรณ์

1. อาหารเลี้ยงเชื้อแบบวุ้น (Nutrient Agar)	
2. แท่งแก้วเกลี่ยเชื้อรูปสามเหลี่ยม (Glass Spreader)	
3. ตะเกียงแอลกอฮอล์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปิเปตอัตโนมัติ (Automatic Pipette)	
5. ตู้ปลอดเชื้อ (Laminar Air Flow Cabinet)	
6. แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 (95% Ethanol)	
7. เชื้อจุลินทรีย์ที่เจือจางแบบ 10-Fold Dilution ที่มีอัตราการเจือจางของเชื้อจุลินทรีย์ 1:10,000 (Dilution 10-4)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. พาราฟิล์ม	
9. ตู้บ่มเชื้อ (Incubator)	
10. ตู้เย็น	
11. เครื่องกำเนิดโอโซนและตู้อุปกรณ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้