

สร้างเครื่องผลิตโอโซนกำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้เพื่อการส่งออก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2562

**OZONE GENERATORS FOR PEST ELIMINATES USE IN
THE ORCHID EXPORT**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2019

สร้างเครื่องผลิตโอโซนกำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้เพื่อการส่งออก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภณ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ชนเสกสรรค์ ทศศิกรพัฒน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

คณากรรม หล้าธรรม : สร้างเครื่องผลิตโอโซนกำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้เพื่อการส่งออก
(OZONE GENERATORS FOR PEST ELIMINATES USE IN THE ORCHID EXPORT)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสกฐ์ ทศศิกรพัฒน์, 88 หน้า.

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ขนาดใหญ่เพื่อเป็นทางเลือกในการไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยระบบที่สร้างนี้ต้องการนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการรมสารเคมีก่อนส่งออกสินค้าไปต่างประเทศ จากเดิมที่ใช้สารเคมีชนิดเมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) ในการรม แต่ปัจจุบันเมทิลโบรไมด์ถูกระบุว่าเป็นสารที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศเป็นสาเหตุให้เกิดโลกร้อน และฟอสฟีนเป็นสารเคมีที่ใช้ระยะเวลารมนานซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้กับกล้วยไม้ ที่ผ่านมามีผู้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำโอโซนไปกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ เพี้ยไฟ และไรแดง ที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้ส่งออกแต่ระบบนั้นเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเกี่ยวกับการนำโอโซนไปกำจัดแมลงในระบบขนาดใหญ่ให้สามารถประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้ โดยระบบผลิตโอโซนที่ออกแบบสร้างขึ้นนั้นสามารถสร้างความเข้มข้นโอโซนได้ 550 ในระยะเวลา 30 นาที ภายในห้องที่มีปริมาตร $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร และจากการทดลองนำแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ชนิดเพี้ยไฟและไรแดงไปทดลองรมโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 550 ถึง 650 ppm ในระยะเวลา 60 นาที สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชทั้งสองชนิดนี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ระบบทำงานดังนี้ กำหนดให้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังท่อผลิตโอโซน 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศที่ 60 ลิตร/นาที อัตราการไหลของออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ 5 ลิตร/นาที อุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาในการทำงานหมดยของระบบจะใช้เวลาอยู่ที่ 90 นาที ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 2,647 วัตต์ หลังจากการทดลองกล้วยไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากการรมโอโซนและไม่ทิ้งสารเคมีตกค้าง งานวิจัยนี้จึงเป็นทางเลือกในการพัฒนานำเทคโนโลยีเกี่ยวกับโอโซนมาประยุกต์ใช้สำหรับกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ในปัจจุบันและอนาคต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนักศึกษา คณากรรม หล้าธรรม

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธนเสกฐ์ ทศศิกรพัฒน์

KACHAPORN LHATHUM : OZONE GENERATORS FOR PEST

ELIMINATES USE IN THE ORCHID EXPORT. THESIS ADVISOR :

PROF. THANASET THODSDEEKORAPAT, Ph.D.88 PP.

OZONE HIGH CONCENTRATION/ ELIMINATE PEST/ ORCHID

This paper presents manufacture ozone generator high concentration for eliminates pest applies to orchid industry export for substitute chemicals. The system is used to alternative for not used chemical fumigation procedures before sending products out of the country. Because Methyl Bromide Cause destroys the ozone in the atmosphere causing global warming and phosphate to take a long time to fumigation. A study of related research found that the ozone can use to eliminate Thrips. However, the system that has been studied is a small system. Therefore, the researcher has designed systems use for the orchid export industry, the system can generate ozone 500 ppm in room-scale $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ cubic meter in 30 minutes. The experiment shows that can eliminates Thrips and Moina is 100 percent , use ozone concentration 550 to 650 ppm in 60 minute supply air to ozone tube 60 lite/min combination oxygen pure 5 lite/min the temperature in room fumigation 30 to 35 degree Celsius , the system use power electrical 2,647 watt. The ozone concentration 0 to 650 ppm can't affect the orchid in 90 minutes. After the experiment, ozone will be discharged into the outside air and can decompose without leaving any chemical residue.

This research is a guideline for the development and application of ozone technology for pest control in the orchid export industry at present and in the future.



School of Electronic Engineering

Academic Year 2019

Student's Signature ก. Kachaporn

Advisor's Signature ท. Thamaset

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภาก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด และให้โอกาสในการศึกษา

อาจารย์ ดร. สำราญ สันทาคุณัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านการเลือกใช้งานอุปกรณ์สำหรับออกแบบระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ให้ความรักความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด อีกทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อแท้และทุกข์ใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคุณครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

คชาภรณ์ หล้าธรรม

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ข้อยกเว้นเบื้องต้น.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	4
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	4
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.8 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
1.9 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	9
2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 กล่าวนำ.....	10

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.2	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน	10
2.2.1	การเกิดพลาสมา	10
2.2.2	การเกิดโอโซน	13
2.2.3	การสร้างโอโซนโดยกระบวนการดิสชาร์จไฟฟ้า	14
2.2.4	สนามไฟฟ้า	15
2.3	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง	21
2.3.1	หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของวงจรมอเตอร์ คอนเวอร์เตอร์	21
2.3.2	หม้อแปลงความถี่สูง	23
2.4	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องสำหรับ รมโอโซน	25
2.4.1	รูปแบบการไหลของอากาศ	25
2.4.2	อัตราการระบายอากาศในระบบ	27
2.4.3	ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล	28
2.5	สรุป	29
3	การวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชใน อุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้	30
3.1	กล่าวนำ	30
3.2.1	การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบกำเนิดโอโซน	30
3.2.2	การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน	31
3.2.3	การออกแบบระบบจ่ายอากาศ	37
3.2.4	การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน ระบบผลิตโอโซน	38
3.2.5	ขั้นตอนการติดตั้งและสร้างระบบผลิตโอโซน	39
3.3	การวิเคราะห์และออกแบบสร้างห้องรมโอโซน	41
3.3.1	การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างห้องสำหรับรมโอโซน	41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.2	การวิเคราะห์การแพร่กระจายอากาศในห้องรมโอโซน.....	42
3.3.3	การออกแบบและสร้างห้องสำหรับรมโอโซน	44
3.4	สรุป	47
4	การวัดและผลการทดลอง	48
4.1	กล่าวนำ	48
4.2	ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน	48
4.2.1	ทดสอบระบบสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงที่ใช้สำหรับ ผลิตโอโซน	49
4.2.3	ทดสอบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดโอโซน	54
4.2.4	ประสิทธิภาพความร้อนในระบบเครื่องผลิตโอโซนเมื่อ ทำงานต่อเนื่อง.....	54
4.3	ปริมาณโอโซนภายในห้อง.....	57
4.4	อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน.....	60
4.5	ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้	61
4.6	การทดลองนำกล้วยไม้และพืชไฟมาทดลองในระบบใหญ่.....	64
4.7	สรุป	64
5	บทสรุป.....	66
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	66
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	66
5.3	แนวทางการพัฒนานอนาคต	67
	รายการอ้างอิง	68
	ภาคผนวก ก	70
	บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา	70
	ประวัติผู้เขียน.....	74

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงกลไกการชนกันของก๊าซ 11
2.2	กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นไอออน 12
3.1	แสดงปริมาณ ไอออนที่ผลิตได้จากการอัดการไหลของออกซิเจนและอากาศ 34
4.1	ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิต ไอออน 51
4.2	แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิต ไอออนในขณะที่เครื่องทำงานต่อเนื่อง 56
4.3	ระดับความเข้มข้น ไอออนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง 61
4.4	ผลการทดสอบกล้วยไม้ตัดดอกที่ได้รับ ไอออน 62
4.5	ต้นกล้วยไม้ที่รับผลกระทบจาก ไอออน 62
4.6	ค่าพารามิเตอร์ในการรม ไอออนในห้องขนาดใหญ่ 64
4.7	ผลการทดลองในการรม ไอออนในห้องขนาดใหญ่เพื่อหาอัตราการของแมลง 64



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1. 1 ผลการทดลองการรวมโอโซนที่ เวลา อุณหภูมิ ชนิดของก๊าซ และความเข้มข้นของโอโซนเพื่อสังเกตความเสียหายที่พืชจะได้รับ	8
2. 1 แสดงถึงหลักการกำเนิดโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD).....	14
2. 2 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ	15
2. 3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ	18
2. 4 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ.....	19
2. 5 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field ที่ V และ d คงที่โดยเปลี่ยนค่า d_1 และ $d_2 = d - d_1$ ฉนวนที่ $\epsilon_2 / \epsilon_1 = 4$	20
2. 6 วงจรฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	23
2. 7 การทำงานวงจร ฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	23
2. 8 หม้อแปลงความถี่สูง	24
2. 9 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ	25
2. 10 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน	26
2. 11 การไหลของอากาศแบบผสม.....	27
3. 1 แสดงหลักการการทำงานของระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้	32
3. 2 ระบบกำเนิดโอโซนความเข้มข้นเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้.....	32
3. 3 ส่วนประกอบของระบบผลิตโอโซน	34
3. 4 วงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง(Switching High Power)	35
3. 5 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง(Switching High Power).....	36
3. 6 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง(High Volt Transformer and High Frequency)	36
3. 7 ท่อสำหรับผลิตโอโซน(Ozone Tube).....	37
3. 8 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างโอโซน	38
3. 9 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตโอโซน	38
3. 10 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ.....	39
3. 11 เครื่องผลิตโอโซนความเข้มสูง.....	40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3. 12 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซิ่ง	40
3. 13 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตโอโซน	41
3. 14 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน	43
3. 15 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน ที่ภายในมีชั้นวางกล้วยไม้	44
3. 16 ออกแบบโครงสร้างห้องรมโอโซนและชั้นวางกล้วยไม้	45
3. 17 ห้องรมโอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตร และแสดงตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้า	45
3. 18 พัดลมสำหรับระบายอากาศ	46
3. 19 ชั้นวางกล้วยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมโอโซน	46
4. 1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า.....	49
4. 2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ผลิตโอโซน	50
4. 3 สัญญาณไฟฟ้าที่จากวงจรสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย	50
4. 4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน	51
4. 5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซโอโซน	52
4. 6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตโอโซน	53
4. 7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซน	54
4. 8 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Keysight U5855A	55
4. 9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง	56
4. 10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ	57
4. 11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซน	58
4. 12 การวัดโอโซนที่ตำแหน่งต่าง ๆ	58
4. 13 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้	59
4. 14 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้	59
4. 15 กล้วยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากโอโซน	63

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	Magnetic vector potential
B	=	Magnetic vector potential
C	=	capacitor
D	=	electric flux density
E	=	electric field
I_p	=	Current primary
I_s	=	Current secondary
d	=	distant
e	=	electron
V	=	Voltage
f	=	frequency
dt	=	time delay
PWM	=	Pulse Width Modulation
O_2	=	Oxygen
O_3	=	Ozone
Atm	=	Atmospheric
ACH	=	Air change per house
DBD	=	Dielectric Barrier Discharge
ppm	=	part per million
Δ	=	Data factor
\mathcal{E}	=	Permittivity
ρ	=	Density
u	=	Velocity
k	=	The turbulent kinetic energy equation
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

กล้วยไม้ถือเป็นสินค้าส่งออกทางเกษตรที่มีความสำคัญและเป็นหนึ่งในสินค้าที่เป็นสัญลักษณ์ของประเทศไทย สามารถนำรายได้เข้าประเทศได้ไม่น้อยและมีบทบาทที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นพืชในกลุ่ม Product Champion ที่สามารถทำรายได้สูงและมีปริมาณการส่งออกในสัดส่วนที่สูง สายพันธุ์ที่ส่งออก ได้แก่ สกุลหวาย มือคคาร่า และแวนดา ช่วงผลผลิตสูง 2 ช่วง คือ เดือน ก.พ. - มี.ค. และเดือน ส.ค. - ก.ย. พื้นที่ปลูกกล้วยไม้ในประเทศไทยมีประมาณ 20,000 ไร่ โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-2 ต่อปี พื้นที่เพาะปลูกและสถานประกอบการเพื่อการส่งออกกล้วยไม้โดยส่วนมากอยู่ในภาคกลางของไทย ได้แก่ จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดราชบุรี และจังหวัดนนทบุรี ผลผลิตที่ส่งออกแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ต้นกล้วยไม้และดอกกล้วยไม้ ดอกกล้วยไม้ถูกส่งออกไปจำหน่ายที่ต่างประเทศเฉลี่ย 44,000-47,000 ต้น/ปี เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1-2 ต่อปี ซึ่งการส่งออกดอกกล้วยไม้ร้อยละ 95 ของกล้วยไม้ที่ส่งออกทั้งหมดเป็นกล้วยไม้สกุลหวาย โดยมีประเทศคู่ค้าในการส่งออกกล้วยไม้ของไทยแบ่งออกเป็น ตลาดเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น เวียดนาม จีน เกาหลีใต้ โดยตลาดญี่ปุ่นเป็นลูกค้าที่สำคัญที่สุด ตลาดยุโรป ได้แก่ อิตาลี เนเธอร์แลนด์ อเมริกา ออสเตรเลีย โดยตลาดอิตาลีเป็นลูกค้าที่สำคัญ โดยแยกเป็นปริมาณการส่งออกร้อยละ 40 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60 เป็นการผลิตเพื่อใช้ในประเทศซึ่งเป็นกล้วยไม้ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานการส่งออก โดยมาตรฐานกล้วยไม้แห่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำต้องปลอดศัตรูพืชฉะนั้นการปรับปรุงคุณภาพมาตรฐานการส่งออก(Lerthiran, 2019)จึงจำเป็นต้องตระหนักถึงปัญหาการระบาดของศัตรูพืชและปริมาณของสารเคมีตกค้าง เป็นต้น หลายปีที่ผ่านมากล้วยไม้ที่ส่งไปยังสหภาพยุโรปประสบปัญหาในการส่งออก โดยพบแมลงศัตรูพืชที่มีชีวิตติดไปกับดอกกล้วยไม้โดยเฉพาะเพลี้ยไฟและพบสารเคมีตกค้างเกินกว่าค่ามาตรฐานสหภาพยุโรปกำหนด(Factsheet, 2016)ทำให้มีการเผาทำลายกล้วยไม้ดังกล่าว จึงก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ประกอบการส่งออกกล้วยไม้เกษตรกรโดยวิธีการพ่นสารเคมีกำจัดแมลงสามารถลดประชากรของแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้กล้วยไม้ได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ไม่สามารถกำจัดแมลงที่หลบซ่อนอยู่ตามส่วนต่างของกล้วยไม้ได้หมด และหากใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดสารตกค้าง ดังนั้นการหาวิธีการป้องกัน และกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูของกล้วยไม้ก่อนการส่งออกจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นประเทศไทยได้กำหนดให้ใช้วิธีการรมสารเคมีเพื่อ

ป้องกันและกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืชในผลผลิตของเกษตรกรก่อนการส่งออกมาเป็นเวลานาน สารรมมีอยู่หลายชนิดแต่ที่นิยมมาก คือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ในปัจจุบันการรมด้วยสารรมทั้งสองชนิดเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออกสารรม เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากประสิทธิภาพดีและใช้เวลาในการรมสั้น แต่เนื่องจากการใช้สารเมทิลโบรไมด์ ถูกระบุว่าเป็นตัวทำลายชั้น โอโซนในบรรยากาศและแมลงบางชนิดเกิดการดื้อยา (Niakousari, Erjaee, & Javadian, 2010) ในส่วนของฟอสฟีนใช้เวลาในการรมค่อนข้างนาน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีที่สามารถใช้กำจัดศัตรูพืชได้หมดโดยไม่ใช้สารเคมี และไม่มีสารเคมีตกค้าง จึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งคณะผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์และหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์มาแก้ปัญหาเหล่านี้ จากการศึกษาพบว่า โอโซนเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม และสามารถเจือจางในสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว โดยมีงานวิจัยที่นำโอโซนไปใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในภาคการเกษตรทั้งในระยะยาวและระยะสั้น รวมถึงการนำมากำจัดแมลงที่อยู่ในไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่โอโซนความเข้มข้นสูงสามารถกำจัดแมลงได้ในระยะเวลาอันสั้น และในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ทำให้แมลงตายนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) การพัฒนาระบบผลิตโอโซนให้ความเข้มข้นสูงให้สามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

ดังนั้นจากความสำคัญและที่มาของปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีการศึกษาหลักการเกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนจากหลักการสนามไฟฟ้า รูปแบบทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนด้วยสนามไฟฟ้า วิธีการควบคุมปริมาณการผลิตโอโซนในระบบจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปปรับแก้ให้ระบบสามารถพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องผลิตโอโซนให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบให้สามารถผลิตปริมาณความเข้มข้นโอโซนได้เพียงพอต่อการกำจัดแมลงในห้องรมโอโซนขนาดใหญ่เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ส่งผลต่อตายของแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

แมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ได้แก่ เพลี้ยไฟ และไรแดงเป็นแมลงที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ถ้าบริเวณนั้นเป็นระบบปิดสามารถควบคุมปริมาณของไอโซนให้มีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้แมลงเหล่านี้ถึงแก่ความตาย เนื่องจากไอโซนจะเข้าไปทำลายระบบหายใจของแมลงที่เหล่านี้ที่อาศัยอยู่ตามกล้วยไม้

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 ศึกษาการการสร้างระบบผลิตไอโซนความเข้มข้นสูงที่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้
- 1.4.2 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของไอโซนที่มีผลต่ออัตราการตายของแมลงที่เป็นศัตรูพืชจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 วิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตไอโซนให้สามารถสร้างปริมาณ ไอโซนให้มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้สามารถผ่านกระบวนการผลิตได้ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน
- 1.4.4 ทดสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของไอโซนในห้องที่ใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราการตายของแมลงที่ระดับความเข้มข้น ต่าง ๆ

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นหาข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตไอโซนและการนำไอโซนมากำจัดแมลงในรูปแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- 1.5.2 วิจัย พัฒนา ออกแบบและสร้างระบบเครื่องกำเนิดไอโซนให้สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้
- 1.5.3 ทดสอบระบบวัดและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ของระบบกำเนิดไอโซน อัตราการไหลของออกซิเจน อัตราการไหลของอากาศ อุณหภูมิและความชื้นของห้องทดลอง รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเพลี้ยไฟและกล้วยไม้

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาและสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการเกิด โอโซนของสนามไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเลือกใช้งานได้อย่างเหมาะสม และศึกษาการนำเทคโนโลยีโอโซนมาใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ
- 2) วิเคราะห์ผลด้วยข้อมูลทางคณิตศาสตร์และจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์การกระจายตัวของโอโซนที่อยู่ในห้องอบสำหรับกำจัดศัตรูพืช
- 3) ออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับใช้ทดสอบหาอัตราการตายของแมลงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ของโอโซนและระยะเวลาที่ใช้
- 4) นำผลที่มาวิเคราะห์และปรับแก้ไขตัวแปรที่เกี่ยวข้องในระบบเพื่อให้สามารถผลิตโอโซนได้เพียงพอสำหรับกำจัดแมลงโดยใช้ระยะเวลาและกำลังงานไฟฟ้าให้น้อยที่สุดเพื่อประสิทธิภาพของระบบ
- 5) จัดทำวิทยานิพนธ์

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) วิเคราะห์ ออกแบบ และศึกษาถึงความเป็นไปได้ด้วยข้อมูลต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์หรือข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทางวิชาการถึงระบบการกำเนิดโอโซนที่มีประสิทธิภาพ และการแบบห้องสำหรับรมโอโซน
- 3) สร้างเครื่องต้นแบบให้สามารถนำไปประยุกต์ในระบบอุตสาหกรรมเพื่อใช้ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดเพลี้ยไฟในกล้วยไม้โดยการรมโอโซนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวงจรอิเล็กทรอนิกส์เกษตร (F14) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ. มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) ออสซิลโลสโคป(Oscilloscope)
- 2) กล้องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Thermal Imaging Camera)
- 3) มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล(Digital Multimeter)
- 4) เครื่องวัดความเร็วลม(anemometer)
- 5) เครื่องวัดความเข้มข้น โอโซน(Ozone Analyzer)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตโอโซน เก็บผลการทดลองอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชที่ความเข้มข้นของโอโซนในระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาต่าง ๆ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 ได้ระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชอุตสาหกรรมกล้วยไม้ได้
- 1.7.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรหรืออุตสาหกรรมการส่งออกกล้วยไม้ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เพื่อยกระดับและต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 1.7.3 รู้จักการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบเพื่อสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติและสามารถนำความรู้ไปใช้ประกอบวิชาชีพได้

1.8 ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการนำโอโซนมาประยุกต์ใช้กับการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมเกษตรอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นก๊าซที่เข้าไปทำลายระบบหายใจของสิ่งมีชีวิตได้อย่างฉับพลันและสลายตัวในอากาศได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นสูง ศึกษาการกระจายตัวของอากาศภายในห้องเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการกระจายตัวของโอโซน และศึกษาถึงอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ จากการได้รับโอโซนในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลดำเนินการวิจัยตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และ ELSEVIER นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึง ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องการออกแบบการกระจายตัวของอากาศ

เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมาใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกลุ่มเกษตรกรรม

1.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนเพื่อพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรม เป็นงานวิจัยของ (Jodpimai, Boonduang, & Limsuwan, 2015) ได้ทำการออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงโดยใช้แหล่งกำเนิดโอโซนชนิดที่เป็นท่อทรงกระบอก และใช้อิเล็กโทรดสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในรูปแบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ภายในท่อผลิตโอโซนสามารถระบายความร้อนด้วยระบบหล่อเย็นเพื่อให้ระบบสามารถผลิตโอโซนให้มีปริมาณความเข้มข้นที่คงที่และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง สำหรับระบบผลิตโอโซนมีส่วนประกอบหลักดังนี้ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (HV transformer) หลอดผลิตโอโซน (Ozone tube) ถังออกซิเจน (Oxygen tank) และเครื่องวัดปริมาณโอโซน (Ozone monitor) โดยมีหลักการทำงานคือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0 ถึง 2.7 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 1.25 กิโลเฮิรตซ์ และค่าความถี่ไซเคิล 48 เปอร์เซ็นต์ไปที่หลอดผลิตโอโซนเพื่อใช้สร้างโอโซน จากนั้นปล่อยออกซิเจนให้ไหลผ่านระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่วางขนานกันภายในท่อผลิตโอโซน จึงทำให้เกิดโอโซน ระบบผลิตโอโซนสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุด 210 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนขึ้นอยู่กับกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังแผ่นอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตโอโซน รวมถึงการควบคุมอัตราการไหลของออกซิเจนให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดโอโซน (S. Boonduang, Limsuwan, Kongsri, & Limsuwan, 2012) และควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ควรทำให้เกิดความร้อน เนื่องจากความร้อนในท่อผลิตโอโซนจะทำให้ปริมาณโอโซนนั้นลดลงจากการศึกษาของ (Surapon Boonduang & Limsuwan, 2013) กล่าวว่า การใช้ท่อผลิตโอโซนแบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ทรงกระบอกนั้น ไม่ควรให้ระบบความร้อนเกิดขึ้นระหว่างที่ทำงาน จากการทดลองพบว่าระยะเวลาที่ระบบผลิตโอโซนเริ่มทำงานปริมาณของโอโซนจะลดลงจาก 14 กรัม/ชั่วโมง เหลือเพียง 3 กรัม/ชั่วโมง ในระยะเวลา 10 นาที เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 26 องศาเซลเซียส ไปยัง 96 องศาเซลเซียส ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ให้เกิดความร้อนจะทำให้ระบบสามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

1.8.2 การออกแบบระบบให้โอโซนสามารถกระจายตัวในห้องภายในห้องนั้น เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการกระจายตัวของอากาศเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบห้องรมโอโซน จากงานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) ได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับทิศทางการจ่ายอากาศเข้าและออกตู้อบแห้งโดยให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านตะแกรงที่เป็นช่องว่างขนาด 15 มิลลิเมตร โดยได้ทำการจำลองการกระจายตัวของอากาศทั้งหมด 6 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 0.15 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และความเร็วลมที่จ่ายเข้าอยู่ที่ 6.67 เมตร/วินาที โดยจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks CFD Tool available) การจ่ายอากาศที่ด้านบน

ของตู้อบและออกด้านล่างของฝักเดียวกัน ส่งผลให้หัวหอมที่นำไปอบแห้งได้ผลลัพท์ที่ดีที่สุด จากการศึกษางานวิจัยนี้สามารถนำหลักการเกี่ยวกับออกแบบการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการไหลของไอโซนในห้องรมไอโซนในอนาคต

1.8.3 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำไอโซนมากำจัดแมลงในภาคการเกษตร ได้ศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นของไอโซนกับระยะเวลาที่ใช้ทดลองซึ่ง (Weber et al., 2018) ได้นำไอโซนมากำจัดแมลงชนิด (*A. diaperinus* species) ที่อยู่ในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก เพราะแมลงชนิดนี้เป็นพาหะในแพร่กระจายเชื้อโรคต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมสัตว์ปีก โดยนำไอโซนมาทดลองที่ความเข้มข้น 30, 40, 60 ppm โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 24 ถึง 48 ชั่วโมงจ่ายไอโซนด้วยอัตราการไหลที่ 3 ลิตร/นาที่ โดยมีการจ่ายไอโซนเข้าไปในภาชนะลักษณะที่เป็นทรงกลมสูง 50 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร วัสดุเป็นแก้ว และ ช่องที่นำไอโซนเข้าไปมีขนาด 10 มิลลิเมตร ช่องที่ให้ออกซิเจนออกมีขนาด 5 มิลลิเมตร โดยผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของไอโซน 30 ถึง 60 ppm ในระยะเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมง สามารถกำจัดตัวอ่อนของแมลงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของตัวเต็มวัยนั้นมียอดการตายที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระดับความเข้มข้น 30 ppm ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง 40 ppm ในระยะเวลา 36 ชั่วโมง และที่ 60 ppm สามารถทำให้แมลงตัวเต็มวัยตายได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการทดลองที่ใช้เวลานานแต่ใช้ความเข้มข้นไอโซนในระดับต่ำสำหรับการกำจัดแมลง ดังนั้นจึงได้ศึกษาวิจัยที่ใช้ระดับความเข้มข้นไอโซนสูงซึ่งเป็นงานวิจัยของ (Niakousari et al., 2010) งานวิจัยได้ศึกษานำไอโซนความเข้มข้นสูงในระดับ 600 – 4,000 ppm ไปกำจัดแมลงฝักเสื่อกลางคืน (*Plodia interpunctella*) และด้วงฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis*) ในอินทผลัม จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นไอโซนในระดับมากกว่า 2,000 ppm จะทำให้ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยตายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และในความเข้มข้นที่ 4000 ppm สามารถทำลายไข่ของแมลงเหล่านี้ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยอุปกรณ์ในการทดลองใช้เครื่องผลิตไอโซนที่สามารถผลิตได้สูงสุด 5 กรัม/ชั่วโมง และถังอบไอโซนขนาด 20 ลิตร ทำจากสแตนเลส 304 นอกเหนือจากนั้นงานวิจัยได้แนะนำว่าถ้าทดลองรวมกับคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถเพิ่มอัตราการตายของแมลงและไข่ได้ และจากการศึกษาวิจัยที่นำไอโซนไปกำจัดเพลี้ยไฟและเพลี้ยแป้งในไม้ดอกและไม้ประดับด้วยวิธีการรมไอโซนร่วมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) ได้ทำการทดลองนำไอโซนตั้งแต่ 0 - 3800 ppm ใช้เวลาในการรมไอโซน 30 – 120 นาที ให้ความดันอากาศในระบบอยู่ที่ 0 – 0.4 บาร์ และ กำหนดให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 32.2 – 40.6 องศาเซลเซียส ทดลองในถังขนาด 20 ลิตร ก๊าซที่ใช้ทดลองประกอบด้วย ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และอากาศที่ใช้หายใจ การทดลองใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริสุทธิ์ไปกำจัดแมลงพบว่าสามารถกำจัดเพลี้ยไฟได้ 41 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ถัดมา

เป็นการนำก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ไปผลิตโอโซนพบว่าที่ประมาณ 200 ppm ในระยะเวลา 30 นาที สามารถกำจัดเพ็ลลิวไฟต์ตัวเต็มวัยได้สูงสุด 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้อากาศหายใจไปสร้างโอโซนพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 458 -501 ppm สามารถกำจัดเพ็ลลิวไฟต์ได้ 96.2 เปอร์เซ็นต์ เพศเมีย 98.9 เปอร์เซ็นต์ ตัวอ่อน 76.6 เปอร์เซ็นต์ และไข่ของเพ็ลลิวไฟต์ 76.6 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของก๊าซไนโตรเจนไม่สามารถนำมาสร้างโอโซนได้ ในบทความงานวิจัยนี้กล่าวไว้ว่าพืชที่มีลักษณะมันวาวหรือใบที่มีขนาดหน้าจะจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าจากพิษของโอโซน โดยการทดลองศึกษาผลกระทบที่โอโซนมีผลกระทบต่อไม้ดอกไม้ประดับสามารถแสดงดังรูปที่ 1.1

โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำเสนอมานั้นส่วนใหญ่ได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เพื่อออกแบบสร้างและศึกษาผลการทดลองของงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างระบบโอโซนให้สามารถผลิตโอโซนได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงศึกษาการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อประมาณการเกิดโอโซนเช่น อุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซน อัตราการไหลของออกซิเจน ในส่วนถัดมาเป็นการศึกษาการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้ทำการศึกษาถึงการปล่อยโอโซนเข้าและออกภายในห้อง โดยศึกษาและวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผล และสุดท้ายเป็นการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนมากับแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมการเกษตร โดยงานวิจัยที่ศึกษามีแนวโน้มตรงกันคือ อัตราการตายของศัตรูพืชจะมีจำนวนมากนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่แมลงศัตรูพืชนั้นได้รับเป็นสิ่งสำคัญ

Species	Duration (min)	Temp. (°C)	Atmosphere	Ozone level (ppm)	Symptoms	Level of damage
<i>Anthurium</i> hybrid, 'Tropic Fire', cut flowers	120	22.8	CO ₂	395	Sunken black spots (1-2 mm in diam.) on spathe	Moderate
<i>Cordyline terminalis</i> Kunth (Liliaceae), cut foliage	120	22.8	CO ₂	395	Pitting ^a on leaves	Moderate
<i>Croton</i> , <i>Codiaeum variegatum</i> (L.) Juss. (Euphorbiaceae), cut foliage	120	22.8	CO ₂	395	Pitting and browning of leaves	Severe
<i>Dendrobium</i> orchid, 'Uniwai Pearl' (variety UH 306) (white blossoms) (Orchidaceae), cut flowers	60	12.8	BA/O ₂ (4:1)	1,125 3,150 5,000	Water-soaked spots (1-3 mm in diam.) on petals	Moderate Moderate Severe
	60	32.2	CO ₂	405	Pitting on blossoms ^b	Slight
	60	43.3	O ₂	425		Moderate
	60	43.3	CO ₂	315	Pitting on blossoms	Slight
<i>Guzmania</i> hybrid (Bromeliaceae), potted plants	120	31.7	CO ₂	1,035 370	Stippling ^c	Severe Low
	60	23.3	CO ₂ /O ₂ (27:1)	3,880	Pitting on flower stalks, and leaves, burning of root tips ^b	Moderate
Orchids, potted: <i>Odontobrassia</i> Kenneth Bivens 'Santa Barbara'; <i>Oncidium</i> 'Sharry Baby'; <i>Miltonidium</i> 'Pupukea Sunset'; <i>Phalaenopsis</i> 'Hakalau Queen' (Orchidaceae)	120	32.2	CO ₂	205		Slight
	60	12.8	BA/O ₂ (4:1)	1,075 2,970	Browning of leaves, especially margins	Moderate Severe
	60	32.2	BA	955	Water-soaked streaks in leaves	Slight
	60	37.3	BA	1,770 425	As above	Severe Low
	60	37.8	BA	1,005 4,535 1,040	As above	Low Severe Severe

รูปที่ 1.1 ผลการทดลองการรมโอโซนที่ เวลา อุณหภูมิ ชนิดของก๊าซ และความเข้มข้นของโอโซน เพื่อสังเกตความเสียหายที่พืชจะได้รับ

1.9 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมถึงปริทัศน์วรรณกรรมแะงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนในการกำจัดแมลงประกอบด้วยการพื้นฐานการเกิดโอโซน พื้นฐานการเกิดโอโซนด้วยสนามไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ พื้นฐานหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง และถึงหลักการพื้นฐานการกระจายของอากาศภายในห้อง

บทที่ 3 การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ ประกอบด้วย การออกแบบระบบเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูง วิเคราะห์ และออกแบบการจำลองการแพร่กระจายตัวของโอโซนที่จ่ายเข้าไปในห้องสำหรับรมโอโซน รวมออกแบบวิธีการทดลองประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตโอโซนเพื่อกำจัดแมลง ประกอบด้วยผลของการทดลองระบบผลิตโอโซนในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ ปริมาณโอโซนภายในห้อง อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน ผลกระทบของกล้วยไม้ที่ได้รับโอโซนและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและผลของการออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืช ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ นั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับพื้นฐานการเกิดโอโซน การสร้างโอโซนจากสนามไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ และการออกแบบระบบห้องให้โอโซนสามารถกระจายได้ทั่วทุกตำแหน่งภายในห้อง เพื่อให้สามารถนำหลักการและทฤษฎีไปวิเคราะห์เพื่อออกแบบงานได้อย่างเหมาะสมและเป็นพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจในงาน และสามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยหัวข้อหลักดังนี้ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน หลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง และหลักการออกแบบห้องรวมโอโซนให้โอโซนสามารถกระจายตัวได้อย่างทั่วทุกตำแหน่ง เพื่อนำมาวิเคราะห์ออกแบบและทดสอบให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งานมากที่สุด โดยจะกล่าวเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือกล่าวอ้างถึงในการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้เนื้อหามีความกระชับชัดเจน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืช

2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน

การเกิดโอโซนสามารถอธิบายได้จากหลักการเกิดพลาสมาเพียงแต่โอโซนนั้นเกิดจากก๊าซที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า ซึ่งระหว่างที่เคลื่อนที่ผ่านนั้นสามารถเกิดปรากฏการณ์ขึ้นหลายรูปแบบ และได้รับพลังงานที่เหมาะสมต่อการการเกิดโอโซนซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจขึ้นอยู่กับลักษณะของสนามไฟฟ้าสนามไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ

2.2.1 การเกิดพลาสมา

พลาสมาคือ ก๊าซที่มีสภาพเป็นไอออนและเป็นสถานะหนึ่งของสสาร โดยประกอบด้วยอนุภาคอิสระที่มีประจุ ได้แก่ ไอออนบวก ไอออนลบ อิเล็กตรอน และอะตอมที่เป็นกลาง การมีสภาพเป็นไอออนนี้จะส่งผลให้อิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัวหลุดออกจากโมเลกุลจึงทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นพลาสมาเกิดขึ้นได้จากก๊าซที่เป็นกลางเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าแล้วเกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลของก๊าซและอิเล็กตรอนที่ปล่อยมาจากผิวของโลหะ (Metal Electrode)

อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะถูกเร่งทันทีในทิศทางของสนามไฟฟ้า และสามารถชนกับอนุภาคที่เป็นกลางเกิดเป็น Ionized gases และอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนจำนวนมาก อนุภาคก๊าซที่มีประจุ และอนุภาคอิสระ จะทำให้พลาสมาเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากเริ่มมีสนามไฟฟ้าปฏิกิริยาอื่นที่สามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะพลาสมา นี้ ทั้งปฏิกิริยารวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ และปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นอนุภาคต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นขั้นตอนการชนกันของ Field emission process ได้แก่ การชนกันระหว่างอนุภาคด้วยกันเอง และการชนกันระหว่างอนุภาคกับผิวของขั้วโลหะหรืออิเล็กตรอน เรียกว่าปรากฏการณ์ประจุไฟฟ้า (Electric discharge phenomena) ซึ่งเป็นหลักพื้นฐานของงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณากรณีของก๊าซออกซิเจนเป็นสำคัญ เพราะก๊าซออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดไอโซนผ่านปฏิกิริยาในลักษณะต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงกลไกการชนกันของก๊าซในลักษณะต่าง ๆ

Collisions	
Elastic Collisions	$e + A \rightarrow e + A$
Excitation	$e + A \rightarrow e + A^*$
Ionization	$e + A \rightarrow 2e + A^+$
Attachment	$e + A \rightarrow A^-$
Dissociative Attachment	$e + B_2 \rightarrow B^- + B$
Recombination	$e + B_2^+ \rightarrow B_2$
Detachment	$e + B_2^- \rightarrow 2e + B_2$
Ion Recombination	$A^+ + B^- \rightarrow AB$
Charge Transfer	$A^\pm + B \rightarrow B^\pm + A$
Electronic Decomposition	$e + AB \rightarrow A + B + e$
Atomic Decomposition	$A^* + B \rightarrow AB + B$

ตารางที่ 2.2 กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นไอออน

Collisions	
Elastic Collisions	$e + O_2 \rightarrow e + O_2$
Excitation	$e + O_2 \rightarrow e + O_2(a^1\Delta)$ $e + O_2 \rightarrow e + O_2(b^1\Sigma)$
Ionization	$e + O_2 \rightarrow 2e + O_2^+$
Attachment	$e + O_2 \rightarrow O_2^-$
Dissociative Attachment	$e + O_2 \rightarrow O^- + O$
Recombination	$O^- + O_2^+ \rightarrow O + O_2$
Detachment	$O_2^- + O_2^* \rightarrow e + 2O_2$
Ion Recombination	$O_2^- + O_2^+ \rightarrow 2O_2$
Charge Transfer	$O^+ + O_2 \rightarrow O + O_2^+$
Electronic Decomposition	$e + O_2 \rightarrow 2e + O^+ + O$ $e + O_3 \rightarrow e + O + O_2$
Atomic Decomposition	$O + 2O_2 \rightarrow O_3 + O_2$

พลาสมาที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้แบ่งได้ 2 ชนิด ชนิดแรกคือ Thermal plasma หรือพลาสมาสมดุล (Equilibrium plasma) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสภาวะที่อุณหภูมิของก๊าซสูงพอๆ กับอุณหภูมิของอิเล็กตรอน อีกชนิดหนึ่งคือ พลาสมาไม่สมดุล (Non-thermal plasma) ซึ่งจะเกิดในสภาวะที่อุณหภูมิของก๊าซต่ำแต่อุณหภูมิของอิเล็กตรอนสูง อิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ในช่วง 1 – 10 eV ซึ่งมีอุณหภูมิตั้งแต่ 10,000 – 100,000 องศาเซลวิน หลักการที่สามารถทำให้เกิดพลาสมาแบบไม่สมดุลมีดังนี้

1) ดิสชาร์จความถี่สูง (Radio frequency discharge)

คลื่นความถี่สูงนี้ใช้ผลิตพลาสมาสำหรับการปลดปล่อยแสงที่มองเห็นได้ ขั้วไฟฟ้าจะอยู่ภายนอกของส่วนที่เกิดพลาสมา เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและปะปนของพลาสมา เทคนิคนี้ใช้ได้ดีที่ความดันต่ำ และบางครั้งสามารถใช้ได้ที่ความดันบรรยากาศในการทำพลาสมาสมดุล

2) ดิสชาร์จคลื่นไมโครเวฟ (Microwave discharge)

เทคนิคนี้ใช้คลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ 0.3 – 10 GHz โดยให้คลื่นเคลื่อนที่ไปยังบริเวณ Resonant cavity

3) ดิสชาร์จเรืองแสง (Glow discharge)

พลาสมาชนิดนี้เกิดที่ความดันระดับ 1 -10 มิลลิบาร์ ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดซึ่งเคลือบอยู่ในหลอดทดลองสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับที่ความต่ำ เทคนิคนี้พบเห็นได้ในอุตสาหกรรมผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดนีออน

4) ดิสชาร์จโคโรนา (Corona discharge)

การใช้ขั้วโลหะ 2 แผ่นวางที่ตำแหน่งตรงข้ามกัน ลักษณะของพลาสมาจะแตกต่างกันตามชนิดของขั้ว แต่เนื่องจากพลาสมาจะเกิดบริเวณรอบ ๆ วิธีการนี้เหมาะสมในการนำไปใช้ในการตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าได้

5) ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดีสชาร์จ (Dielectric barrier discharge)

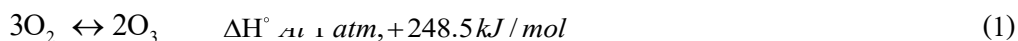
หลักการคือ ประจุไฟฟ้าจะเกิดในช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่วางขนานกัน หรืออาจเป็นช่องว่างวงแหวนที่มีลักษณะเป็นขั้วอิเล็กโทรดทรงกระบอกวิธีการนี้จะนิยมใช้ Dielectric layer เป็นฉนวนกั้น หลักการนี้เรียกว่า Silent electric discharge

คุณสมบัติของพลาสมานั้นเป็นส่วนผสมของก๊าซที่มีทั้งค่าประจุบวก ลบ และกลาง อนุภาคที่เป็นบวกคือ cations ส่วนอนุภาคที่เป็นลบอาจเป็นได้ทั้ง anions และ อิเล็กตรอน สุดท้ายคืออนุภาคที่เป็นกลางอาจเป็นส่วนผสมของอนุภาคอิสระหรือก๊าซที่อยู่ในสภาวะปกติต่าง ๆ โดยพลาสมามีคุณสมบัติดังนี้

- 1) คุณสมบัติ Quasi – Neutral ความหนาแน่นทั้งหมดของอนุภาคที่มีค่าเป็นประจุบวก และประจุลบต้องมีค่าเท่ากัน
- 2) อันตรกิริยาด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลาสมาสามารถมีอันตรกิริยากับได้สถานะสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้เนื่องจากพลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ

2.2.2 การเกิดโอโซน

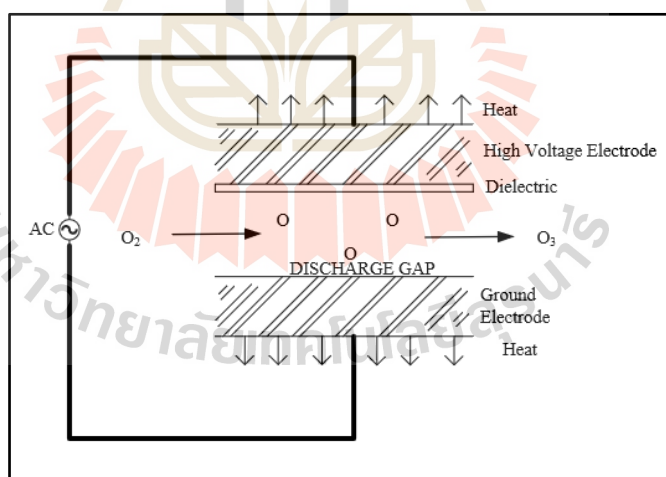
โอโซนถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1785 โดย J. Priestly, M. van Marum ได้ค้นพบบริเวณอุปกรณ์จับปริมาณก๊าซ โดยได้กลั่นบริเวณขั้วผลิตกระแสไฟฟ้าในชุดทดลอง ต่อมาการค้นพบโอโซนได้ถูกบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรในปี ค.ศ. 1840 โดย C. F. Schobien นักเคมีชาวเยอรมัน โดยเขาตั้งชื่อก๊าซตามภาษากรีกคำว่า Ozein ซึ่งแปลว่ากลิ่น หลังจากนั้น เครื่องผลิตโอโซนเครื่องแรกได้ถูกผลิตโดย Werner von Siemens ในกรุงเบอร์ลิน (Berlin) โดยใช้หลักการให้ออกซิเจนไหลผ่านช่องว่างในการดิสชาร์จระหว่างแก้วในทรงกระบอก 2 ชั้น แล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าแรงดันสูงบริเวณผนังแก้ว ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า “การดิสชาร์จแบบไซเรนท” และเป็นที่ยอมรับในการผลิตโอโซนให้เพียงพอต่อการศึกษา ก๊าซโอโซน เป็น โมเลกุลกึ่งเสถียรที่เกิดจากองค์ประกอบของออกซิเจน (allotropic form) ปฏิกิริยาการเกิดโอโซนสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังสมการ



และมีเอนโทรปี [ΔS° ที่ 1 atm, -69.9 (J/mol)/degree] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโอโซนไม่สามารถเกิดได้จากการกระตุ้นออกซิเจนด้วยความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานอิสระของกิบส์ $\Delta G^\circ_{\text{at } 1 \text{ atm}, +161.3 \text{ kJ/mol}}$ มีค่าเป็นบวก ดังนั้นพลังงานความร้อนจะทำให้โอโซนสลายตัวได้ การออกแบบเครื่องผลิตโอโซนต้องคำนึงถึงระบบความร้อนเป็นสำคัญ การผลิตโอโซนจะต้องใช้พลังงานทางเคมีในการแตกตัวของออกซิเจนตั้งแต่ 493 kJ/mol ถึง 762.23 kJ/mol เมื่อทำการเปลี่ยนหน่วยเป็นพลังงานไฟฟ้าจะได้ 5.583 kWh/m³ ถึง 8.631 kWh/m³ (Ketkaew, 2549)

2.2.3 การสร้างโอโซนโดยกระบวนการดิสชาร์จไฟฟ้า

การผลิตโอโซนทำได้โดยการให้ออกซิเจนหรืออากาศบริสุทธิ์ไหลผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1 – 20 กิโลโวลต์ (Dielectric barrier discharge) หรือ (Silent electrical discharge) แสดงดังรูปที่ 2.1 แสดงถึงหลักการผลิตโอโซนโดยโมเลกุลออกซิเจนบางส่วนถูกแยกออกเป็นอะตอมออกซิเจนโดยการวิ่งชนของประจุลบ(อิเล็กตรอน) จากนั้นอะตอมของออกซิเจนจะไปรวมกับโมเลกุลของออกซิเจนแล้วเกิดเป็นโอโซน



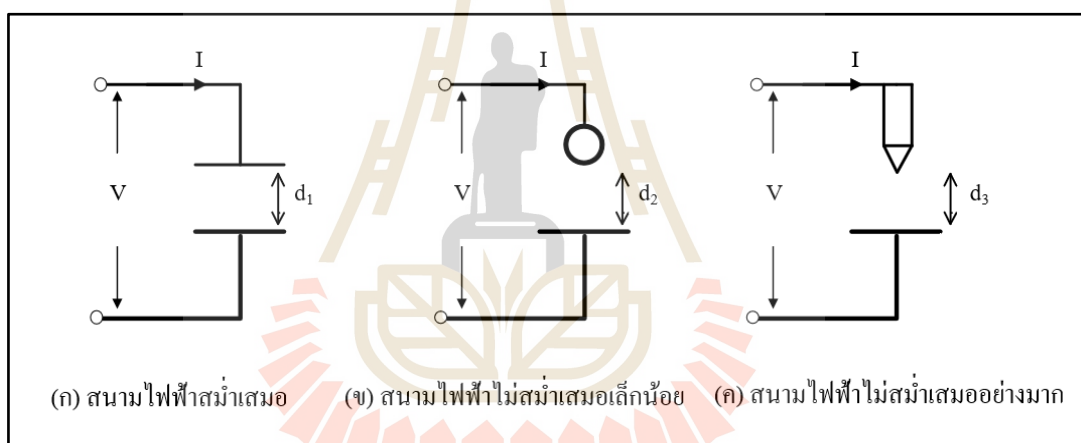
รูปที่ 2.1 แสดงถึงหลักการกำเนิดโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD)

2.2.4 สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า หมายถึง บริเวณโดยรอบที่ประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังขั้วไฟฟ้าหนึ่งได้ ซึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของขั้วไฟฟ้า โดยขั้วไฟฟ้าที่มีระยะใกล้กันจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่ห่างออกไป หน่วยของสนามไฟฟ้า คือ นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) หรือ โวลต์ต่อเมตร (V/m)

1) รูปแบบของสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ กับ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly Nonuniform Field) และ สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมออย่างมาก (Highly Nonuniform Field) แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกัน จะมีสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกตำแหน่งระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่ขนานกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$E_{\max} = E_{av} = \frac{V}{d} \quad (2)$$

เมื่อ V คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)
 d คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

E_{av} คือความเครียดสนามไฟฟ้าเฉลี่ย บริเวณ จุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรดมีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)

E_{max} คือความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรด ที่มีลักษณะเป็น สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ขึ้นทันที ที่ความเครียดของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดถึงค่าที่กำหนดไว้ ค่าหนึ่งและกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากแบบทันทีทันใด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้คือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวน พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$E_b = \frac{V_b}{d} \quad (3)$$

เมื่อ V_b คือแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ มีหน่วยเป็น (V)

E_d คือความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์หรือความคงทนทางไฟฟ้าของ ฉนวนมีหน่วยเป็น (kV/mm.)

สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกันจะมีค่าของสนามไฟฟ้าและความเครียดของสนามไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งที่ต่างกัน โดยค่าความเครียดจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของอิเล็กโทรด ตัวอย่างเช่น ถ้าอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกลมค่าความเครียดของสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นสูงสุดที่พื้นผิวของอิเล็กโทรดทรงกลม ดังรูปที่ 2.2 (ข) และคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{max} = \frac{V}{d \eta^*} \quad (4)$$

η^* คือแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor) มีนิยามว่า

$$\eta^* = \frac{E_{av}}{E_{max}} \quad 0 < \eta^* \leq 1 \quad (5)$$

โดยทั่วไป $\eta^* \leq 1$ ดังนั้นกล่าวได้ว่า η^* คือ ค่าครุณีเพื่อให้ทราบว่ามีอิเล็กโทรดนั้น มีรูปแบบของลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากหรือน้อยเพียงใด สามารถแสดงได้โดย

$$E_b = \frac{V_b}{d\eta^*} \quad (6)$$

โดยสมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่มีอิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยหรือใช้กับกรณีที่ไม่เกิดโคโรนา (Corona) หรือพรีดิสชาร์จ (Pre discharge) เกิดก่อนเบรกดาวน์ หรือกล่าวได้ว่า ก่อนการเบรกดาวน์จะไม่มีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดเลยและลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและจะเกิดเบรกดาวน์ทันที ที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสูงถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ E_b ในกรณีที่มีอิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเช่น ขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะปลายแหลม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ค) ที่ระยะห่างออกจากผิวอิเล็กโทรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งอิเล็กโทรดแบบนี้แม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะยังไม่เกิดการเบรกดาวน์แต่จะเกิดโคโรนาดีสชาร์จขึ้นในบริเวณผิวอิเล็กโทรดคือบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่น ๆ ยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนา ฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดจะเกิดการดีสชาร์จ (Discharge) ที่ไม่สมบูรณ์คือการเกิดไม่ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโทรด เรียกว่าการดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ปรากฏการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเบรกดาวน์เรียก กระแสโคโรนา (Corona Circuit) หรือกระแสพรีดิสชาร์จ การเกิดโคโรนาเป็นผลทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไปเพราะมีประจุค้าง (Space Charge) แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (3) และ ค่าความเครียดเบรกดาวน์จะคำนวณจากสมการ (7)

$$E_i = \frac{V_i}{d\eta^*} \quad (7)$$

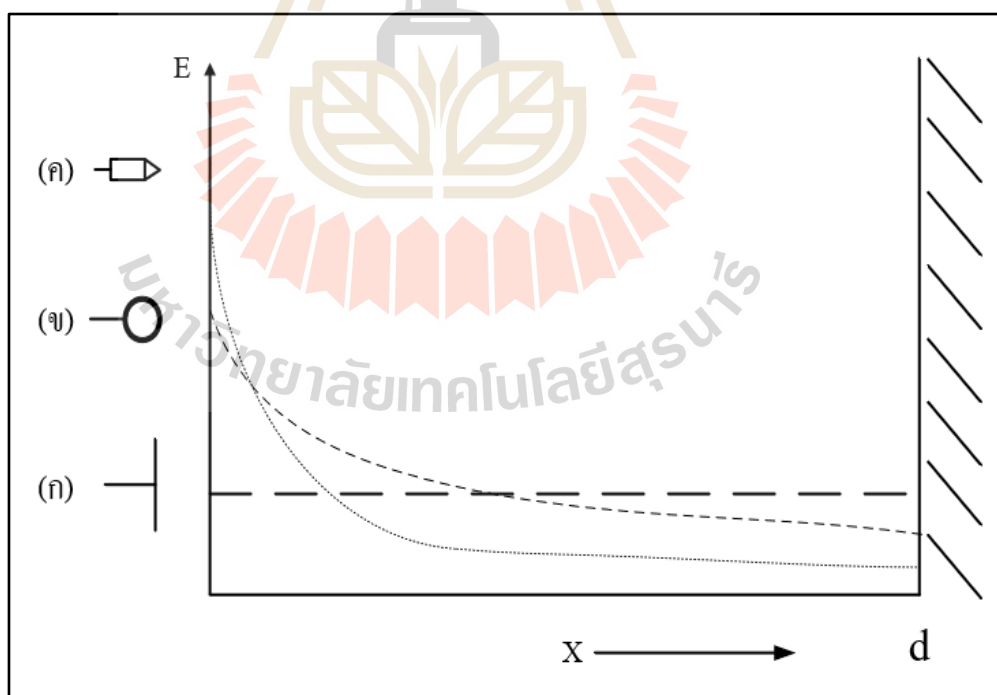
เมื่อ E_i คือความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มเกิด มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)
 V_i คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

โดย E_i และ V_i เป็นค่าความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่โคโรนาเริ่มเกิด ฉะนั้นจึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโทรดหรือกล่าวได้ว่าสมการที่ (5) นี้ใช้สำหรับคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (Starting Voltage, Threshold Voltage, Inception Voltage) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องระหว่างอิเล็กโทรด อาจจะเป็นเบรกดาวน์ ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและอาจจะเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด แต่ในกรณีที่สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าแรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_i = E_i d \eta^* \quad (8)$$

เมื่อ V_i คือแรงดันเริ่มต้นมี หน่วยเป็น(V)

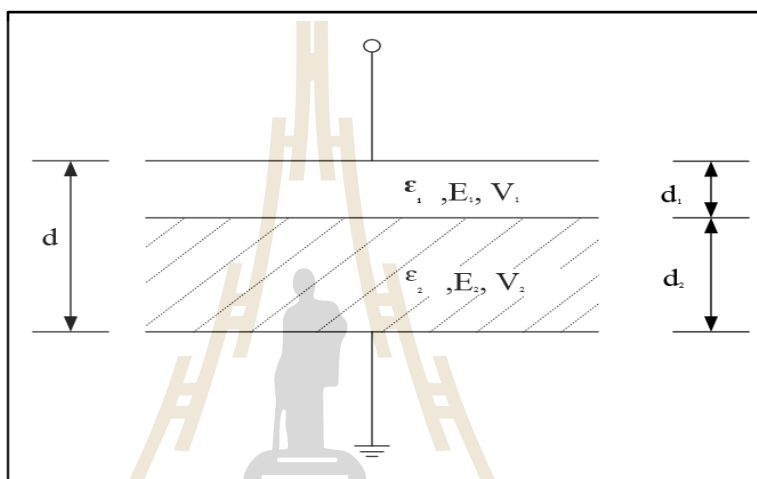
E_i คือความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น V_i มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ

1) สนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อต่างชนิดกัน

ในอิเล็กทรอนิกส์แบบระนาบ กรณีที่ฉนวนมีค่า Permittivity ต่างกันซ้อนกันอยู่เป็น dielectric และค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ย่อมทำให้เกิดเป็นชั้นต่อของฉนวน อันเป็นผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนต่าง ๆ การกระจายจะกำหนดด้วยความต้านทานของฉนวน โดยการวางฉนวนต้องให้รอยต่อฉนวนขนานกับระนาบของอิเล็กทรอนิกส์ ค่าสัมบูรณ์ของความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด



รูปที่ 2.4 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้งสองคือ

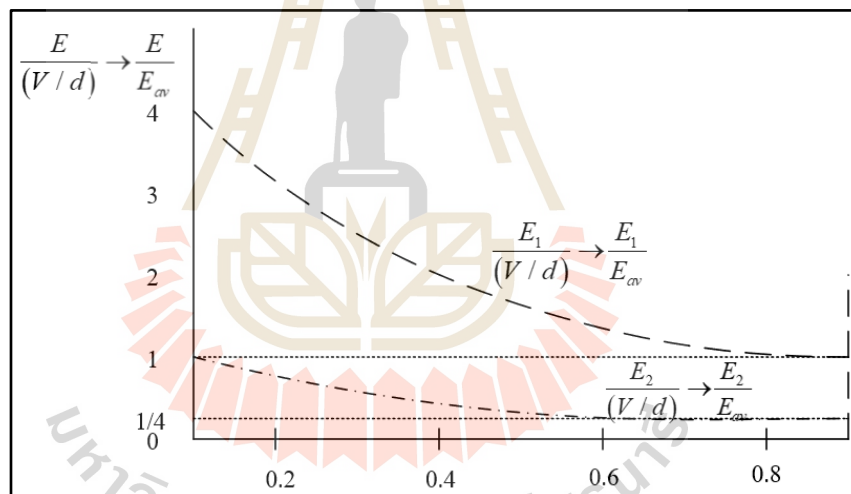
$$E_1 = \frac{V}{d_1 + d_2 \left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right)} \quad (9)$$

$$E_2 = \frac{V}{d_1 \left(\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right) + d_2} \quad (10)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \rightarrow \epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2 \quad (11)$$

เมื่อ	E_1	คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 1
	E_2	คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 2
	V	คือแรงดันไฟฟ้า
	d_1	คือระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 1
	d_2	คือ ระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 2
	ϵ_1	คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 1
	ϵ_2	คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 2

จะเห็นได้ว่าความเข้มสนามไฟฟ้า E_1 จะมากกว่า E_2 ตามอัตราส่วน ϵ_2 / ϵ_1 เมื่อ $\epsilon_2 \geq \epsilon_1$ ถ้าเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนแต่ละชั้นกับความเข้มสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอ จะเห็นได้ว่า ถ้าในส่วนฉนวนที่มีค่า ϵ ต่ำยิ่งบาง สนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงมาก



รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย *Uniform field* ที่ V และ d คงที่ โดยเปลี่ยนค่า d_1 และ $d_2 = d - d_1$ ฉนวนที่ $\epsilon_2 / \epsilon_1 = 4$

2) สนามไฟฟ้าในอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกันแนบร่วม

อิเล็กโทรดทรงกระบอกแนบร่วม 2 ชั้น จะอ้างอิงจากสมการของ Maxwell เพื่อใช้หา ฟลักซ์สนามไฟฟ้าที่อยู่ในพื้นผิวของทรงกระบอกดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \int_s \vec{D} \cdot \vec{dA} \quad (12)$$

สำหรับทรงกระบอกแกนร่วมยาว l รัศมี r ($r_1 < r < r_2$) หาสนามไฟฟ้าได้จาก

$$E_r = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \cdot \frac{1}{r} \quad (13)$$

แรงดันไฟฟ้า (V) ที่จ่ายเข้าไปขั้วอิเล็กโทรดทรงกระบอก

$$V = \int_{r_1}^{r_2} E_r dr = \frac{Q}{2\pi\epsilon l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (14)$$

อิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันและมีแกนร่วมกัน ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ

$$E_{\max} = \frac{V}{r_1 \ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)} \quad (15)$$

เมื่อ	E_{\max}	คือค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด (kV/mm.)
	V	คือแรงดันไฟฟ้า (kV)
	r_1	คือรัศมีของอิเล็กโทรดชั้นใน (mm.)
	r_2	คือรัศมีของอิเล็กโทรดชั้นนอก (mm.)

2.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเป็นส่วนที่สำคัญต่อการสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อผลิตโอโซน เนื่องจากการผลิตโอโซนในปัจจุบันนั้นใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับ วงจรจลน์ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าในระบบสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) เพราะสามารถควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักการเกิดโอโซน และให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของวงจรฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

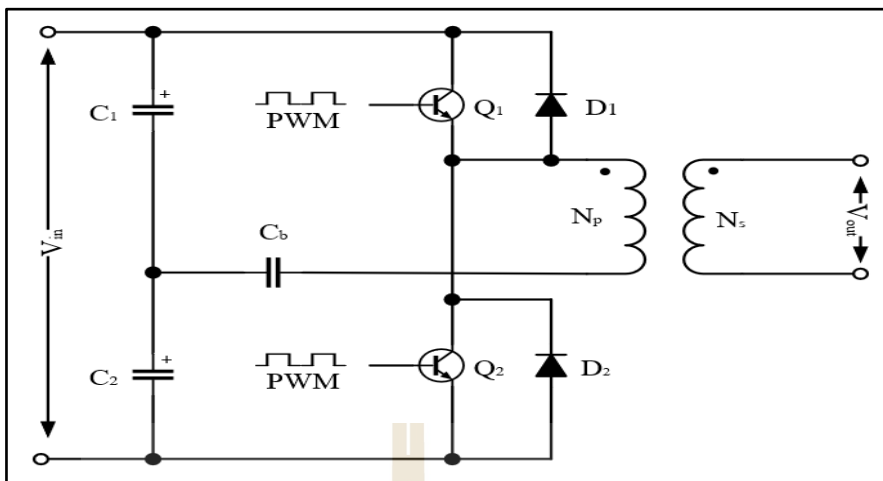
แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของ วงจรฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (แซ่ดั้น, 2537) มีลักษณะดังรูปที่ 2.6 มีการทำงานคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรโดยผ่านตัวเก็บประจุ C_1 กับ

C_2 ที่ต่ออนุกรมกันอยู่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองเหลือครึ่งหนึ่งจากแรงดันอินพุต ที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 กับ Q_2 จะสลับการทำงานกันอย่างครั้งคาบเวลา เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแสไฟฟ้า และ Q_2 ไม่นำกระแส แรงดันที่ไฟฟ้าที่ตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านไพรมารี N_p จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$ ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแสไฟฟ้าและ Q_1 ไม่นำกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม Q_1 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{CE(sat)}$ เช่นเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขดลวดด้านไพรมารี N_p ก็ยังมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$ เนื่องจาก $V_{CE(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.7 ส่วนตัวเก็บประจุคัปปลิ่ง (C_b) กำหนดให้ค่าแรงดันตกคร่อมอยู่ในช่วง 10 % ถึง 20 % ของแรงดัน $V_{in}/2$ ซึ่งถ้าแรงดันตกคร่อมมากกว่านี้จะทำเรกูเลชันของแหล่งจ่ายไฟเสียหายได้เมื่อเกิดไฟตก โดยตัวเก็บประจุคัปปลิ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

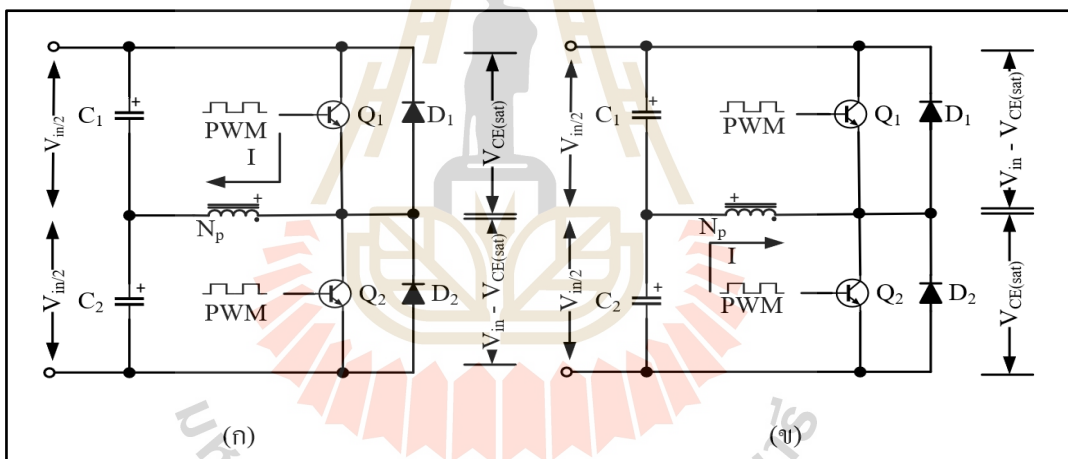
$$C_b = I \frac{dt}{dV_{cb}} \quad (16)$$

เมื่อ I คือกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่าน C_b ซึ่งก็คือ I_c
 dt คือช่วงเวลาที่ C_b ทำการเก็บประจุ $dt = \frac{T^{\delta}t(\max)}{2} = \frac{1 \times t^{\delta}(\max)}{2f}$
 dV_{cb} คือแรงดันตกคร่อม C_b ซึ่งอยู่ในช่วง 10 % ถึง 20 % ของแรงดัน V_{in}

ส่วน D_1 และ D_2 คือ ไดโอดคอมมิวเตดิ่ง ซึ่งตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ซึ่งมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ ดังนี้ ประการแรกคือ เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส ไดโอดจะชักนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำในหม้อแปลงกลับคืนสู่ภาคเรกติไฟร์และฟิวเจอร์ทางด้านอินพุต ประการที่สองคือ ป้องกันคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จากการสวิงที่เป็นลบ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของเส้นแรงแม่เหล็กในหม้อแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการป้องกันทรานซิสเตอร์ไม่ให้พังเสียหายจากแรงดันย้อนกลับ ไดโอดคอมมิวเตดิ่งมักจะเป็นแบบฟาสต์รีคัพเวอรี หรืออัลตราฟาสต์รีคัพเวอรี และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของแรงดัน V_{CE} ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.6 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.7 การทำงานวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

2.3.2 หม้อแปลงความถี่สูง

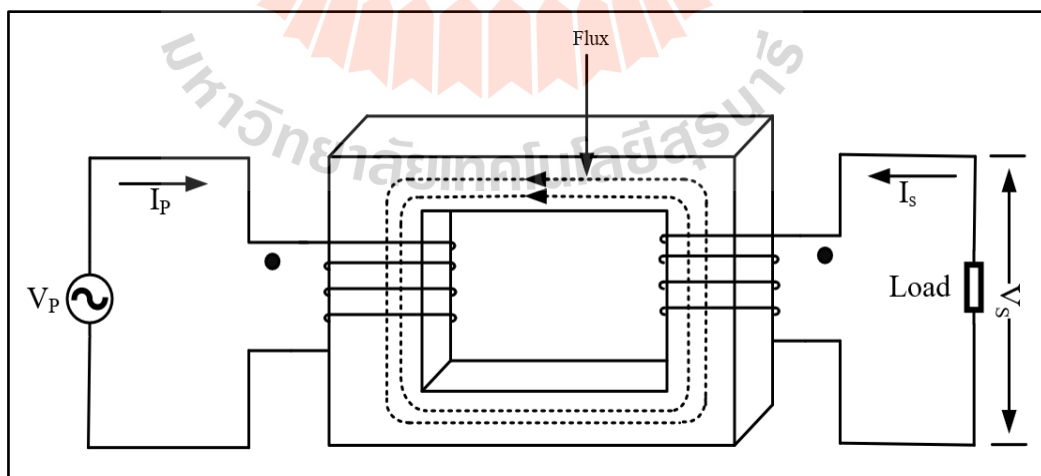
จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) อธิบายได้ว่า เมื่อแหล่งจ่ายส่งกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดปฐมภูมิกระแสจะไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิดจะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกน โดยแรงดันเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ดังสมการที่ (17) ถ้านำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกนปิดจะทำให้เกิดขดลวดทุติยภูมิและมีกำลังงานไฟฟ้าส่งผ่านไปยังขดลวดนั้นด้วยดังรูปที่ 2.10 สามารถหาความสัมพันธ์ของจำนวนรอบของขดลวดและแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่(18)

$$B_{\max} = \frac{V_p \times 10^8}{KfN_p A_e} \quad (17)$$

โดยที่	B_{\max}	คือความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด
	V_p	คือแรงดันค้ำดันปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (V)
	f	คือความถี่ มีหน่วยเป็น (Hz)
	N_p	คือจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)
	A_e	คือพื้นที่หน้าตัดของแกน มีหน่วยเป็น (m ²)
	K	คือค่าคงที่ 4.44 สำหรับแรงดันรูปไซน์ และ 4.0 สำหรับแรงดันรูปสี่เหลี่ยม

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (18)$$

เมื่อ	N_p	คือจำนวนขดลวดฝั่งปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)
	N_s	คือจำนวนขดลวดฝั่งทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)
	V_p	คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (V)
	V_s	คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น (V)



รูปที่ 2.8 หม้อแปลงความถี่สูง

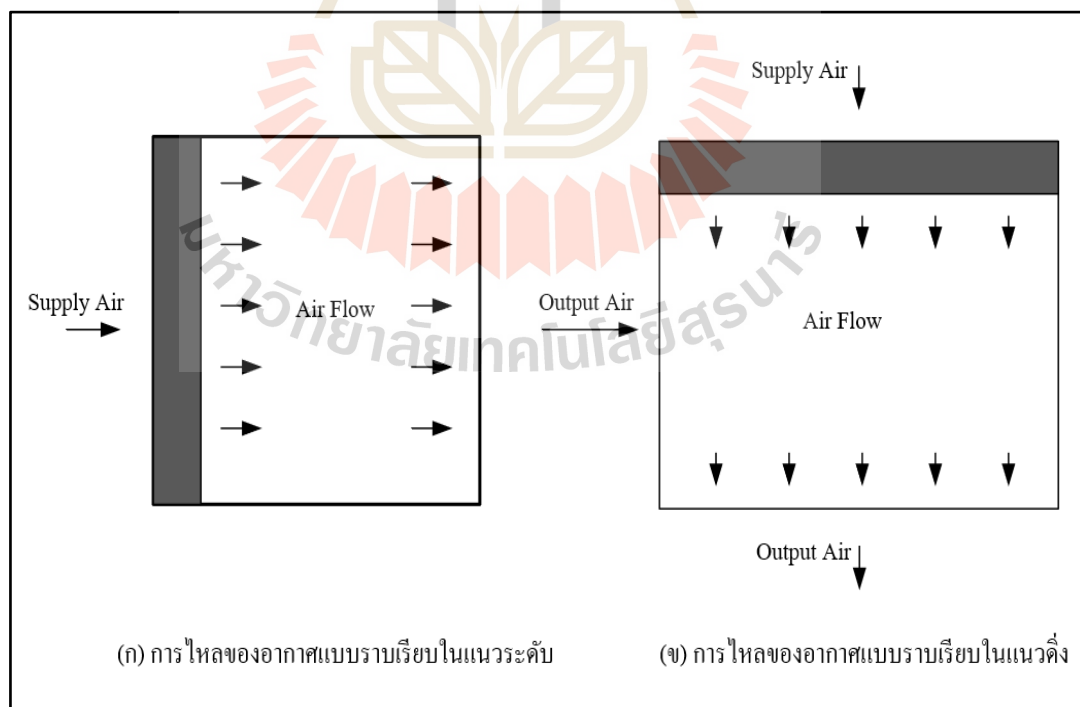
2.4 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนนั้นต้องศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับรูปแบบการไหลของอากาศที่อยู่ภายในห้อง เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องและระบายอากาศออก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการกระจายตัวของโอโซนที่จ่ายเข้าไปในห้องให้สามารถนำไปกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง

2.4.1 รูปแบบการไหลของอากาศ

รูปแบบการไหลของอากาศ (Airflow patterns) มีความสำคัญต่อการออกแบบระบบห้องที่รมโอโซนเพื่อให้ก๊าซโอโซนกระจายได้ทั่วห้อง ลักษณะการไหลของอากาศมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ การไหลของอากาศแบบราบเรียบ การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และการไหลของอากาศแบบผสม (พุทธธนาศักดิ์, 2552) โดยมีรายละเอียดดังนี้

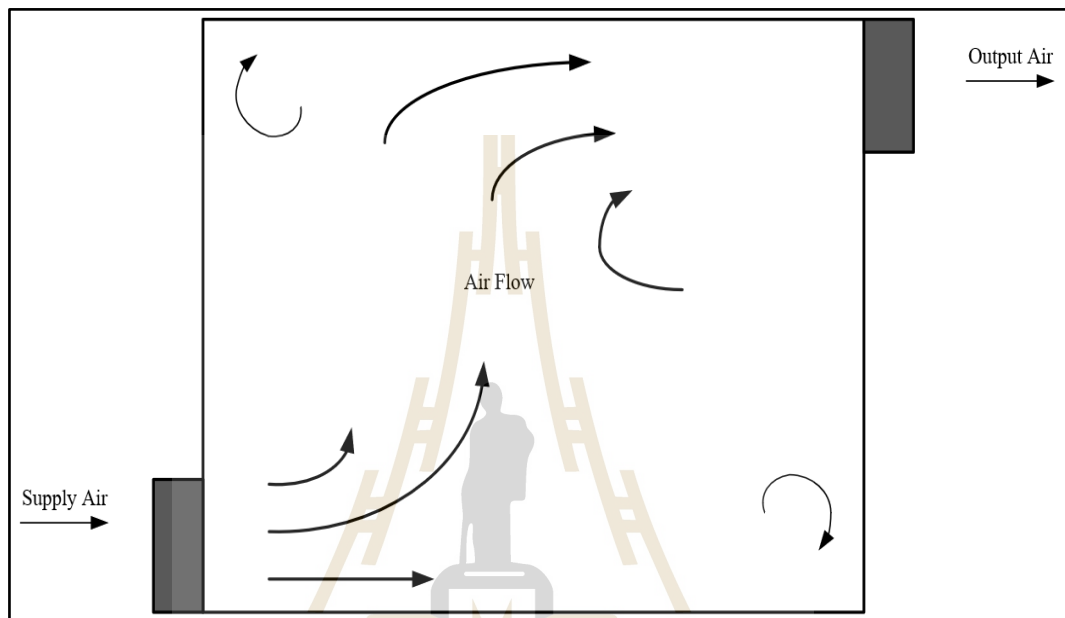
- 1) การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (Unidirectional Airflow) หรือ (Laminar Airflow) การไหลของอากาศแบบราบเรียบคือ การที่อากาศเดินทางไปยังฝั่งตรงข้ามของห้องโดยมีทิศทางการไหลแบบขนานกันในแนวระดับหรือแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ

2) การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Non - unidirectional airflow)

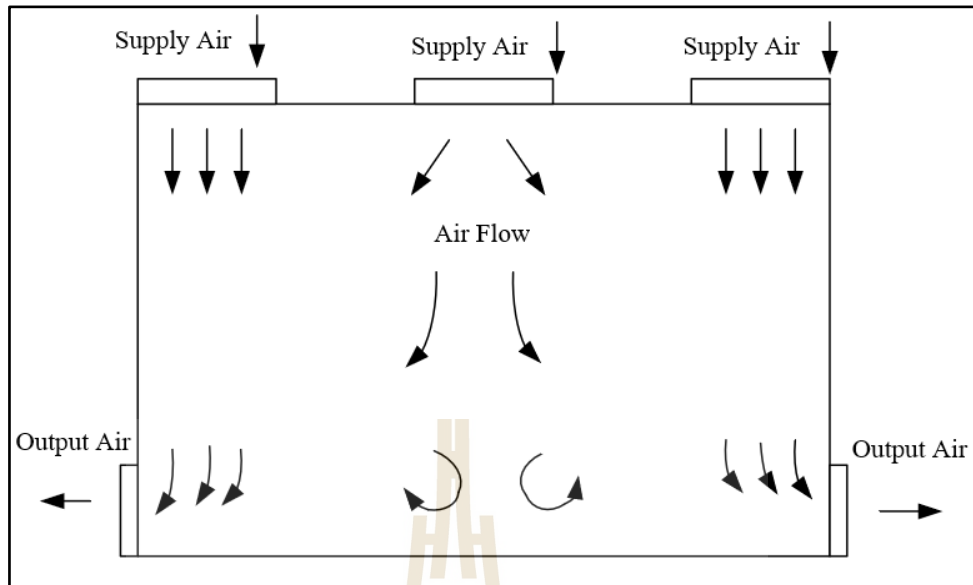
การไหลแบบปั่นป่วนโดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง ซึ่งรูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน

3) การไหลของอากาศแบบผสม (mixed Airflow)

การไหลของอากาศแบบผสมเป็นการไหลของอากาศในระบบที่มีทั้ง การไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนอยู่ในระบบเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การไหลของอากาศแบบผสม

2.4.2 อัตราการระบายอากาศในระบบ

อัตราการระบายอากาศในระบบ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับปริมาตรของห้อง ซึ่งหลักการนี้สามารถนำมาใช้คำนวณหาระยะเวลาในการจ่ายก๊าซไอโซนเข้าไปได้ทั่วทุกพื้นที่ของห้อง (Standard, 2013) แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$Air\ flow = Volume \times ACH \quad (19)$$

เมื่อ *Air flow* คือปริมาณที่อากาศไหลเข้าไปในระบบ มีหน่วยเป็น (m³/h)

Volume คือขนาดของห้องที่ให้อากาศไหลผ่าน (m³)

ACH คืออัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น (h⁻¹)

การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ไหลเข้าไปในระบบ โดยการกำหนดขนาดของท่อนำอากาศและความเร็วลมที่จ่ายไปในท่อสามารถ คำนวณได้ดังนี้

$$Air\ flow = Flow\ velocity \times Area \quad (20)$$

เมื่อ	<i>Flow velocity</i>	คือความเร็วลมที่ไหลในท่อนำอากาศ มีหน่วยเป็น (m/s)
	<i>Area</i>	คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ πr^2 มีหน่วยเป็น (m ²)

2.4.3 ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$(\nabla \cdot \rho u) = 0 \quad (21)$$

เมื่อ	u	คือเวกเตอร์ความเร็ว มีหน่วยเป็น (m/s)
	ρ	คือหนาแน่นของของไหล

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equation)

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u u) = -p + \mu \nabla^2 u + \rho g \quad (22)$$

เมื่อ	P	คือ ความดัน
-------	-----	-------------

สมการอนุรักษ์

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \rho C_p \nabla \cdot (Tu) = k \nabla^2 T - p \nabla u + q \quad (23)$$

2) การไหลแบบปั่นป่วน

ในกรณีที่มีการไหลแบบปั่นป่วนแบบจำลองมาตรฐาน (Standard $k - \epsilon$ model) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณร่วมกับสมการอนุรักษ์มวล และ สมการโมเมนตัม (ธรรมอักษร, 2550) โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho k u) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + \left[\mu_T P(u) - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot u \right] - \rho \varepsilon \quad (24)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \varepsilon u) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left[\mu P(u) - \frac{2}{3} \rho k \nabla \cdot u \right] - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (25)$$

$$P(u) = \nabla u : (\nabla u + \nabla u^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot u (\nabla u + \nabla u^T) \quad (26)$$

$$\mu_T = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (27)$$

โดยที่ค่าคงที่ $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_{\varepsilon_1}, \sigma_{\varepsilon_2}$ และ C_μ เป็นค่าคงที่มาตรฐานของ Spalding and Launder (1972)

2.5 สรุป

สำหรับการออกแบบระบบผลิตไอโซนความเข้มข้นสูงสิ่งสำคัญคือต้องเข้าใจถึงหลักการของการเกิดไอโซน องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิดไอโซน การควบคุมค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอโซน ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดไอโซน จะได้อธิบายถึงปฏิกิริยาการชนกันของก๊าซที่ทำให้เกิดไอโซนเมื่อก๊าซเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า อธิบายเกี่ยวกับลักษณะของสนามสนามไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ และกล่าวถึงค่าระดับพลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไอโซน หลักการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับการทำงานของวงจรสวิตซ์และการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อจ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดเพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น และหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องรมไอโซนซึ่งอธิบายเกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่อยู่ภายในห้องในรูปแบบต่างๆ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอากาศที่ปล่อยเข้าและระบายออกจากห้อง ทั้งนี้เพื่อนำมาวิเคราะห์สำหรับการนำไปออกแบบสร้างระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชใน อุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้

3.1 กล่าวนำ

สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน ความเข้มข้นสูงเพื่อประยุกต์ใช้ในขั้นตอนรมสารเคมีของอุตสาหกรรมกล้วยไม้ส่งออก เนื่องจากที่ผ่านมาสารเคมีชนิด เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) ได้ถูกห้ามใช้เพราะส่งผลกระทบต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ และในส่วนของสารเคมีชนิดฟอสฟีน (Phosphine) นั้นต้องใช้เวลาในการรมและระบายค่อนข้างนานซึ่งทำให้เกิดสารเคมีตกค้างในบริเวณนั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อนำไปใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ส่งออกในระยะเวลาสั้น ๆ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและให้สามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้ใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation ในการออกแบบและจำลองการแพร่กระจายของโอโซนที่อยู่ในห้องเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการติดตั้งท่อเพื่อจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องซึ่งมีผลต่อทิศทางการไหลของโอโซนภายในห้อง

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบผลิตโอโซน

3.2.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบกำเนิดโอโซน

จากการศึกษางานวิจัยของ (Jodpimai et al., 2015) เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตโอโซนชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยในระบบมีส่วนประกอบหลักได้แก่ หลอดผลิตโอโซน ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ถังออกซิเจน ระบบหล่อเย็น และเครื่องวัดความเข้มข้นโอโซน โดยมีหลักการทำงานคือ จ่ายก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ 95% ที่อัตราการไหล 5 – 45 ลิตร/นาที ไปยังท่อผลิตโอโซน และมีระบบหล่อเย็นในถังผลิตโอโซนให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 15 – 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศที่ 10 ลิตร/นาที สามารถผลิตโอโซนได้ 210 g/m^3 ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตโอโซนโดยสนามไฟฟ้าชนิด

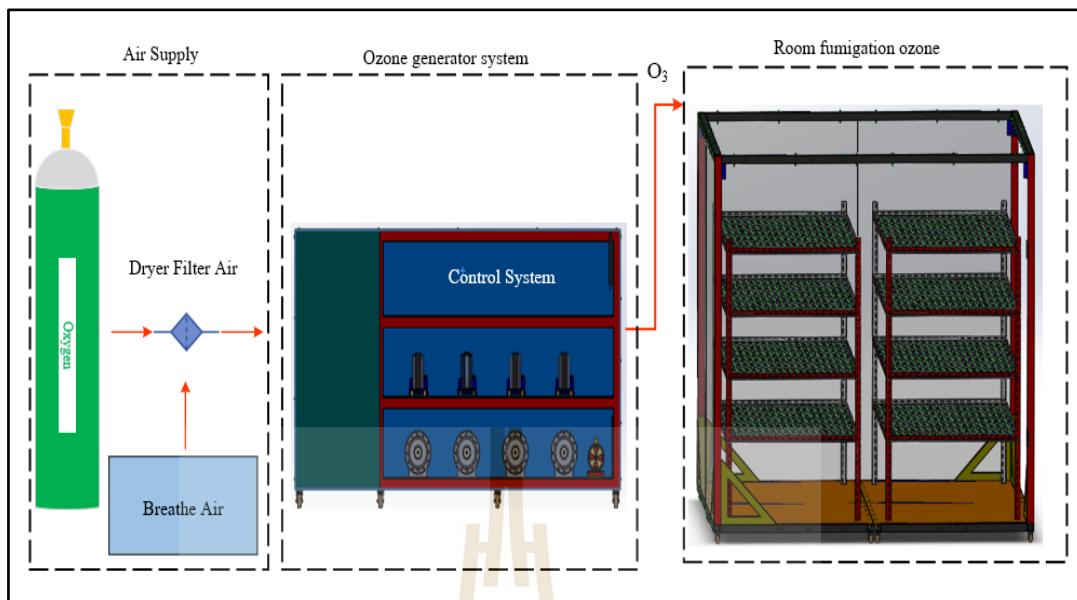
Dielectric Barrier Discharge (DBD) สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิ ในท่อผลิตโอโซนที่มีผลโดยตรงกับปริมาณและความเข้มข้นของโอโซน จากการศึกษางานวิจัยของ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงศัตรูพืช ที่อยู่ในกล้วยไม้ โดยการนำก๊าซ 3 ชนิดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและอากาศที่ใช้หายใจ มาทดลองผลิตโอโซนเพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบว่าชนิดใดสามารถสร้างความเข้มข้น โอโซนได้ สูงสุดในอุปกรณ์ทรงกระบอกขนาด 20 ลิตร พบว่าไนโตรเจนไม่สามารถผลิตโอโซนได้ ในส่วนของ คาร์บอนไดออกไซด์สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึงประมาณ 400 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสสามารถกำจัดเพลี้ยไฟได้ 98 เปอร์เซ็นต์ และอากาศที่ใช้หายใจสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุด 650 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เพลี้ยไฟมีอัตราการตายที่ 98 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้งานวิจัย นี้เป็นฉบับอ้างอิงว่าควรออกแบบระบบผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นให้มากกว่า 650 ppm เพื่อให้ สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ได้

3.2.2 การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดและหลักการสำหรับ ออกแบบระบบกำเนิดโอโซนให้สามารถผลิตโอโซนออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพและศึกษการ นำโอโซนมากำจัดแมลงเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลต่ออัตราการตายของแมลง ศัตรูพืชที่อยู่กล้วยไม่ว่าปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาใดส่งผลกระทบมากที่สุด สำหรับการ ออกแบบระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ กำหนดให้ มีอัตราการผลิตที่ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน โดยอธิบายหลักการทำงานของระบบโดยรวมเริ่มจากระบบ ผลิตอากาศที่สามารถควบคุมอัตราการไหลอากาศกับปริมาณของออกซิเจนที่ความชื้นในอากาศ ไม่เกิน 85 % ส่งไปที่ระบบผลิตโอโซนที่สามารถผลิตโอโซนสูงถึง 432 กรัมต่อชั่วโมง แล้ว จึงส่งไปที่ห้องรมโอโซนขนาด 2.5×2.5×2.5 ลูกบาศก์เมตร ระบบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.1-3.2 ดังนั้นการออกแบบระบบจ่ายอากาศให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสมกับสนามไฟฟ้าในท่อผลิต โอโซนให้สามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงแล้วนำไปที่ห้องสำหรับรมโอโซนจึงเป็น สิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Ozone Concentration (g / m}^3\text{)} = \frac{\text{Ozone production (g / hr)}}{\text{Flowrate (L / min)}} \times 1000 (\text{L / m}^3) \quad (1)$$

คำนวณเป็นหน่วย ppm ต่อพื้นที่ เมื่อ $1 \text{ g / m}^3 = 467 \text{ ppm}$.



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้



รูปที่ 3.2 ระบบกำเนิดโอโซนความเข้มข้นเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้

การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนประกอบด้วย วงจรกำเนิดไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง (Switching High Power generator) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency) และท่อผลิตโอโซน (Ozone Tube) ชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) ผลิตโดยบริษัท Shenzhen Blueocean Industry Co., Ltd. (Pinuslongaeva) โดยมีหลักการทำงานที่เริ่มต้นจากวงจรสวิทซ์ซึ่งกำลังงานสูงสร้างและส่งสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูงไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ 160 ถึง 4,240 โวลต์ จากนั้นส่งไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงไปยังชุดท่อผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและเมื่ออากาศที่มีออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนี้ จะเกิดการแตกตัวขึ้นเนื่องจากได้รับพลังงานไอออนไนเซชันซึ่งปฏิกิริยาทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียรแล้วจับตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม จึงเกิดเป็นโอโซน โดยมีลำดับการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและอัตราการไหลของลมแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับการออกแบบจะใช้ระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 ชุด โดยคำนวณจากการใช้อากาศหายใจเป็นแหล่งกำเนิดโอโซน มีตัวแปรในการคำนวณ ดังนี้ Air flow: 75 L/min, Ozone output: 160 g/h, และปริมาตรห้อง 2.5×2.5×2.5 ลูกบาศก์เมตร มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Ozone Concentration (g / m}^3\text{)} &= \frac{\text{Ozone production (g / hr)}}{\text{Flowrate (L / min)}} \times 1000 \text{ (L / m}^3\text{)} \\ &= \frac{160 \text{ g / h}}{75 \text{ L / min}} \times 1000 \text{ L / m}^3 \end{aligned}$$

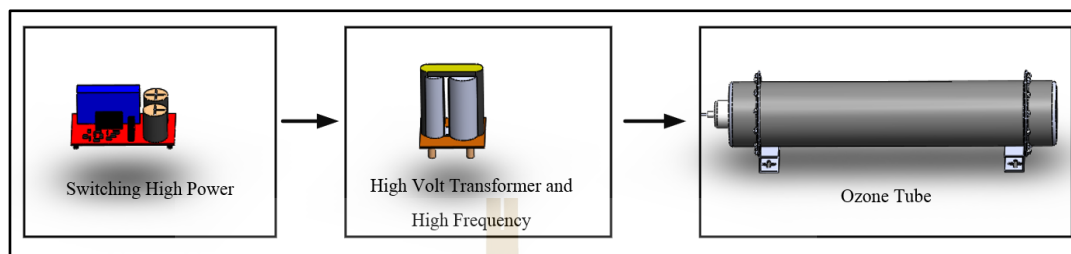
$$\text{Ozone Concentration (g / m}^3\text{)} = 35.56 \text{ g / m}^3$$

$$\text{Convert unit g / m}^3 \text{ to ppm} \rightarrow 1 \text{ g / m}^3 = 467 \text{ ppm}$$

$$\text{Ozone Concentration} = 16,604 \text{ ppm}$$

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ถ้านำอากาศที่ใช้หายใจจ่ายให้กับระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 เครื่อง ภายใน 1 ชั่วโมง จะสามารถสร้างโอโซนที่มีความเข้มข้น 1,062 ppm ในห้องขนาด 2.5×2.5×2.5 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศที่ส่งไปยังท่อผลิตโอโซน สาเหตุที่ใช้อากาศหายใจในการคำนวณ

คือผู้วิจัยต้องการใช้อากาศที่ใช้หายใจสำหรับผลิตโอโซนเนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สามารถหาได้ง่ายต่อกระบวนการผลิต ซึ่งในระบบได้ออกแบบการเพิ่มก๊าซออกซิเจนเข้าไปผสมกับอากาศเพื่อให้ระบบสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโอโซนได้อย่างรวดเร็ว



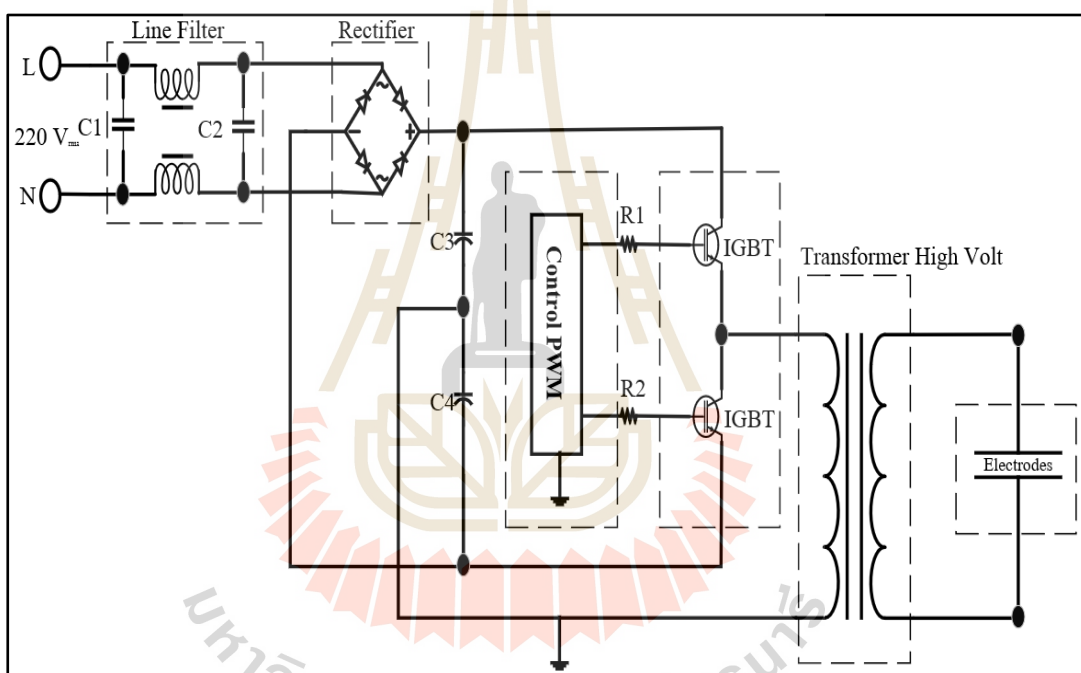
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของระบบผลิตโอโซน

ตารางที่ 3. 1 แสดงปริมาณ โอโซนที่ผลิตได้จากการอัตราการไหลของออกซิเจนและอากาศ

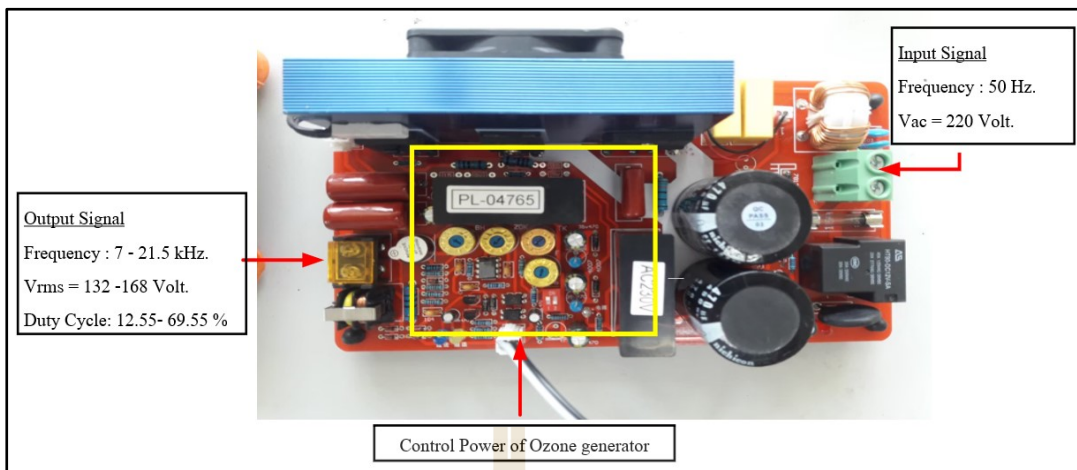
Air source	Oxygen source (98%)	Oxygen source(98%)
Air flow: 75 L/min	Oxygen flow: 2 L/min	Oxygen flow: 5 L/min
Ozone concentration: 12mg/L	Ozone concentration: 130 mg/L	Ozone concentration:90mg/L
Ozone output: 40 g/h	Ozone output:15.6g/h	Ozone output: 108g/h

อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สำหรับผลิต โอโซน โดยเริ่มจากวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power) เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz จะผ่านวงจรป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งในจุดนี้จะป้องกันสัญญาณจากภายในวงจรออกไปรบกวนอุปกรณ์อื่น ๆ และป้องกันสัญญาณจากภายนอกเข้ามารบกวนการทำงานของวงจร จากนั้นจะผ่านไดโอดที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง จะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 310 โวลต์ จากนั้นจะมีระบบควบคุมการทำงานของวงจรที่มีหน้าที่สร้างความถี่ที่ 7 ถึง 21.25 กิโลเฮิร์ตซ์ สามารถปรับค่า Duty cycle ได้ 12.55 ถึง 69.25 % ซึ่งมีผลต่อการเปิด - ปิด IGBT ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงมีลักษณะวงจรเป็นวงจรแบบ Half Bridge จากนั้นจะส่งสัญญาณที่แรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 132 – 168 โวลต์ ปล่อยเป็นสัญญาณพัลส์ไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง โดยวงจรสวิตซ์ซึ่งนี้สามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้

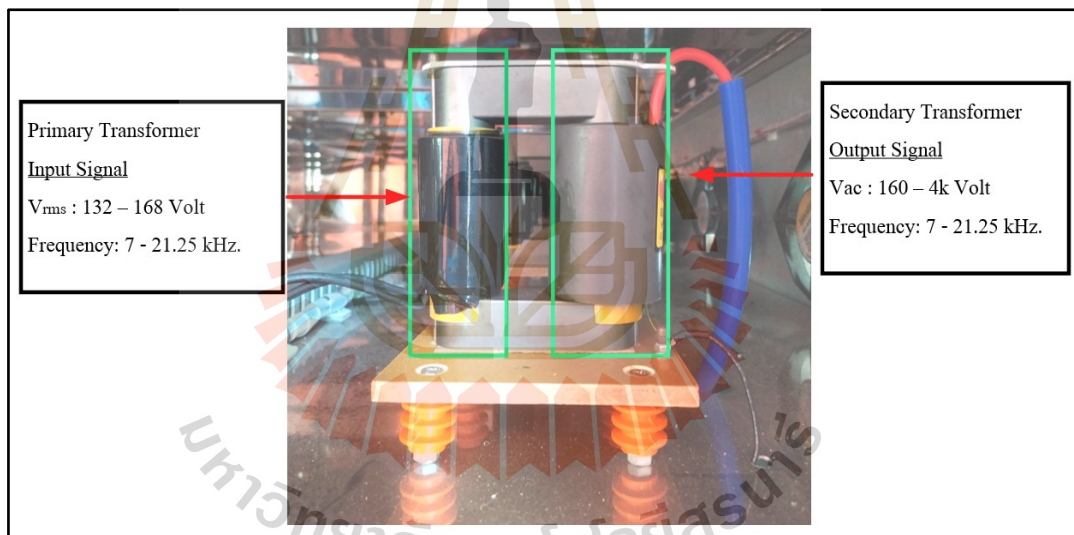
สูงสุด 1,000 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 3.4 - 3.5 ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4,500 โวลต์ ลักษณะของหม้อแปลงจะเป็นแกนเฟอร์ไรต์ที่มีค่าความซึมซาบสูงส่งผลให้ทำงานในความถี่สูงได้ดีเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังงานให้กับชุดท่อผลิตโอโซนได้เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 3.6 ในส่วนของท่อผลิตโอโซนเป็นอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างสนามไฟฟ้าชนิด Dielectric Barrier Discharge(DBD) วัสดุตัวเป็น สแตนเลส เกรด 304 โดยใช้แรงไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ ในการสร้างโอโซน และภายในตัวถังสามารถระบายความร้อนได้ด้วยวิธีน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเกิดเบรกคาวน์จากความร้อนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของโอโซนที่อาจจะลดลงแสดงดังรูปที่ 3.7



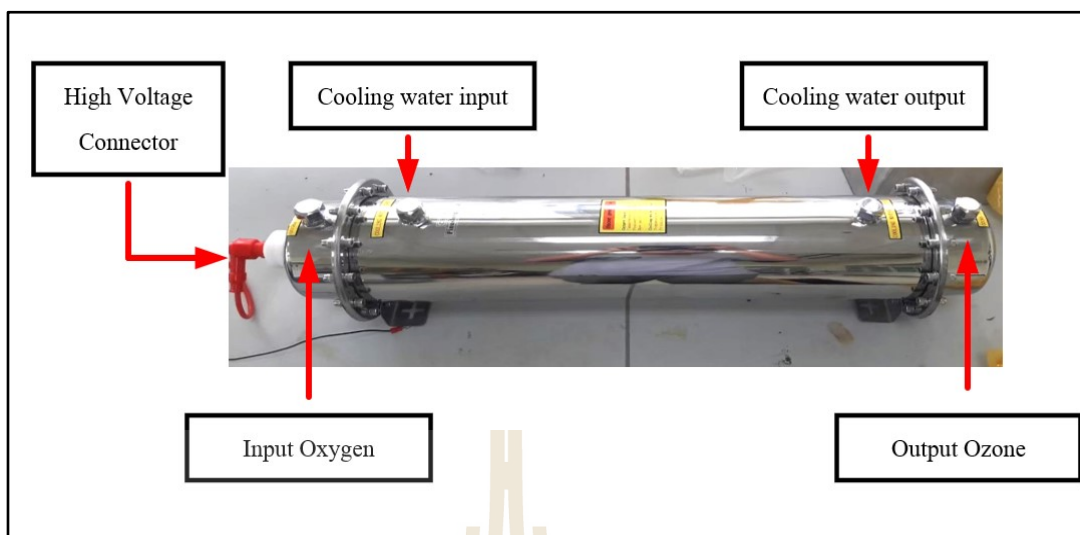
รูปที่ 3.4 วงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง(Switching High Power)



รูปที่ 3.5 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)



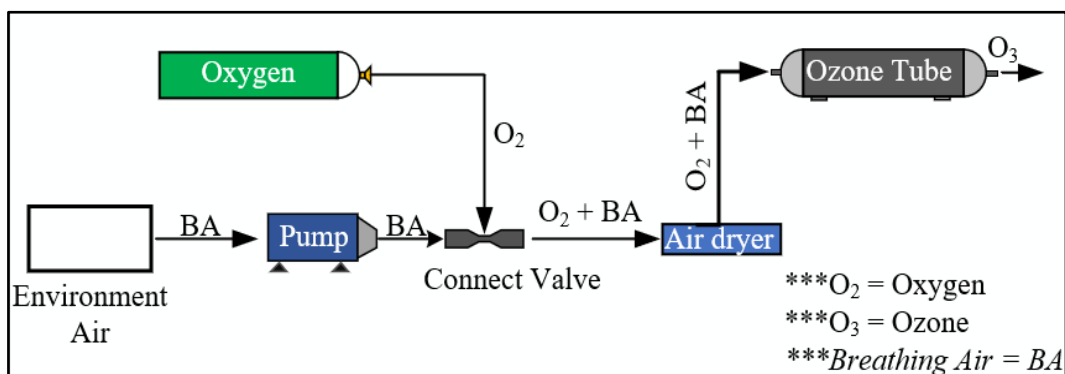
รูปที่ 3.6 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency)



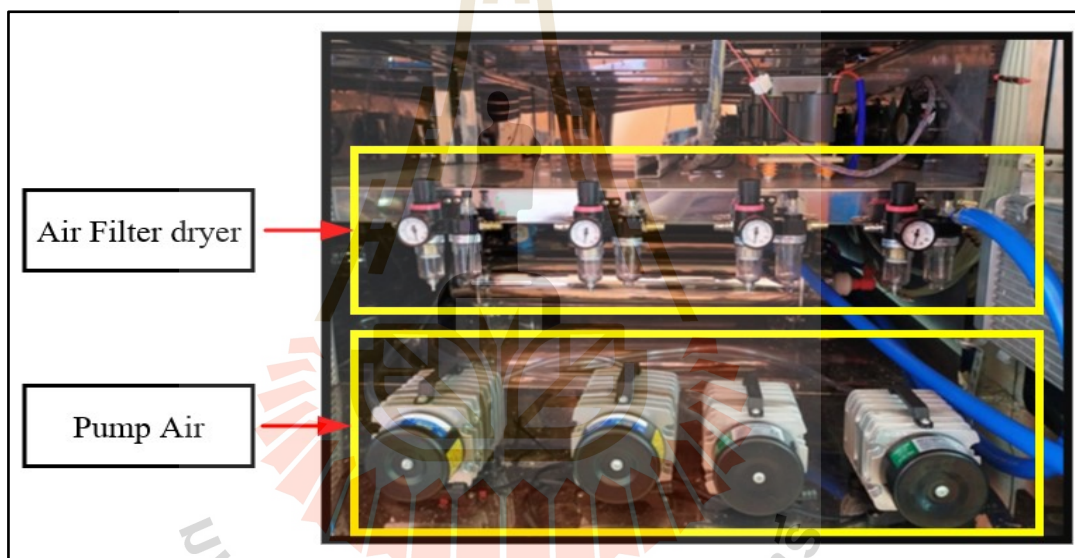
รูปที่ 3.7 หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone Tube)

3.2.3 การออกแบบระบบจ่ายอากาศ

การออกแบบระบบจ่ายอากาศอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเกิดโอโซน โดยมีอุปกรณ์ดังนี้ ปัมลม (Air compressor) ถังออกซิเจน (Oxygen Tank) วาล์วควบคุมปริมาณออกซิเจน (Valve Control oxygen) และอุปกรณ์กรองความชื้น (Air dryer) มีหลักการออกแบบคือ ใช้ปัมลมที่สามารถผลิตอากาศ 75 ลิตร/นาที ซึ่งอากาศที่ผลิตได้ยังมีความชื้นผสมอยู่จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่กรองความชื้นออกจากอากาศก่อนที่จะส่งไปยังท่อผลิตโอโซน แต่ถ้านำอากาศที่ใช้หายใจในการผลิตโอโซนจะมีออกซิเจนอยู่เพียง 21 % ซึ่งทำให้ระบบผลิตโอโซนไม่สามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ถังออกซิเจน สำหรับจ่ายเข้าไปยังถังผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้สามารถผลิตโอโซนได้ความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.8 และในส่วนนี้จะสร้างระบบผลิตอากาศจำนวน 4 ชุด แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3. 8 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างโอโซน

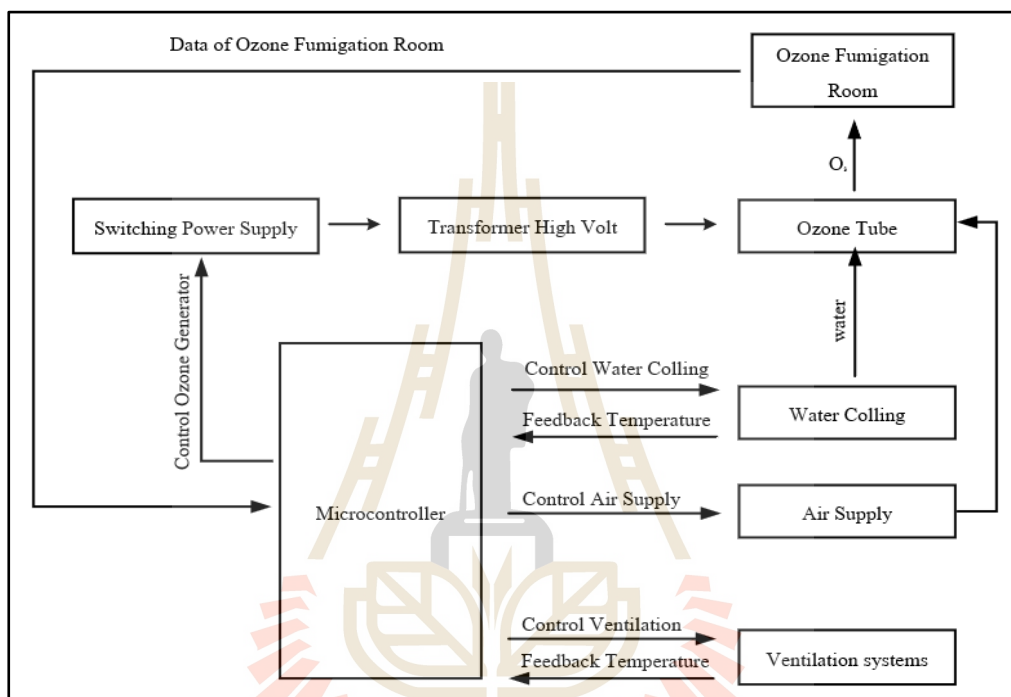


รูปที่ 3.9 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตโอโซน

3.2.4 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน

การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน (Microcontroller control ozone generator system) มีหลักทำงาน คือระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน (Ozone generator) ให้ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้จากนั้นจะสั่งให้ระบบผลิตอากาศ (Air supply) เริ่มทำงานเพื่อจ่ายอากาศไปที่ท่อผลิตโอโซนเมื่อในท่อผลิตโอโซนเกิดความร้อนขึ้นระบบหล่อเย็น (Water Colling) จะเริ่มทำงานทันทีเพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวนซ์ของโอโซนและความเสียหายท่อผลิตโอโซนเนื่องจาก

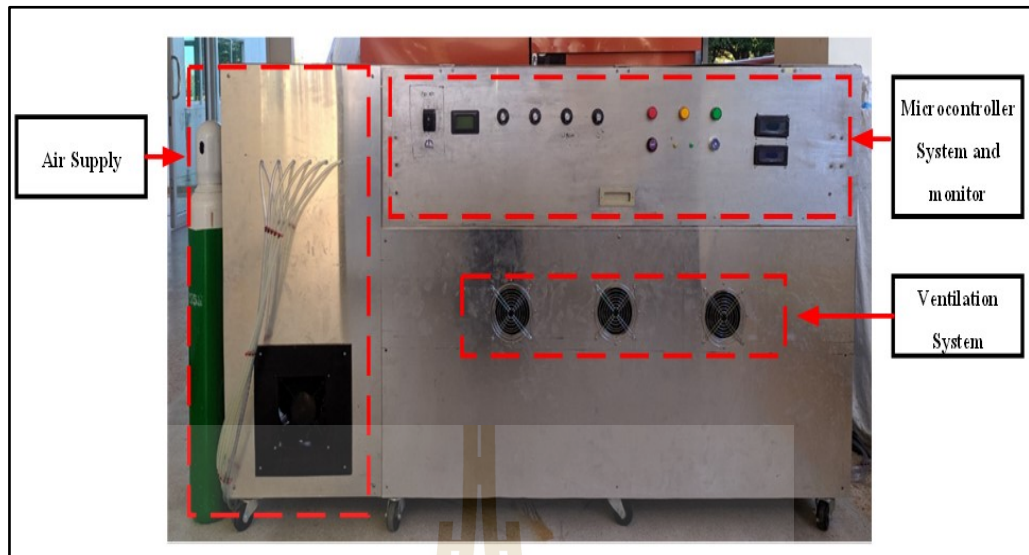
ความร้อนในการทำงานที่ยาวนานของระบบอาจทำให้เกิดความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จำเป็นอย่างยิ่งที่มีระบบระบายความร้อน (Ventilation System) ออกจากตัวเครื่องเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในที่สุดท้ายเป็นระบบเซนเซอร์ที่อยู่ในห้องรมโอโซน โดยจะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นมาแสดงในที่หน้าจอแสดงผลเพื่อนำไปเก็บบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลอง แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานระบบ

3.2.5 ขั้นตอนการติดตั้งและสร้างระบบผลิตโอโซน

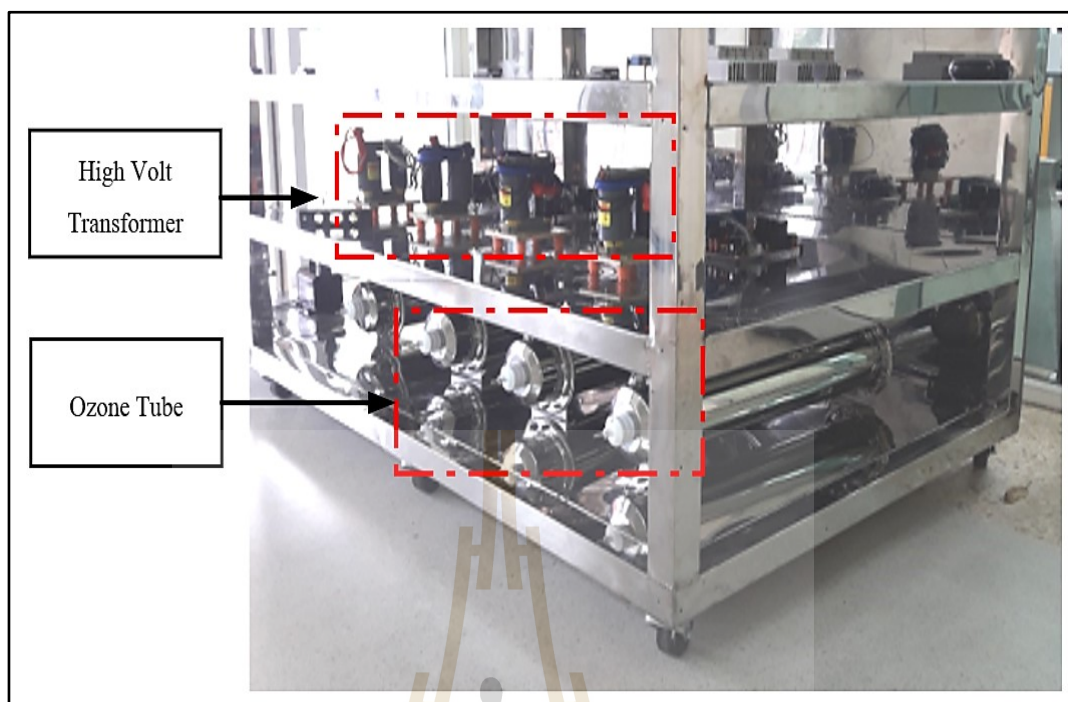
เครื่องผลิตโอโซนมีวัสดุโครงสร้างเป็นสแตนเลส ขนาด 2×1×1 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.11 สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานและจอแสดงผลไว้ที่ด้านบนสุดเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.12 ในส่วนถัดมาระบบจ่ายอากาศจะทำการติดตั้งที่ตำแหน่งด้านซ้ายของเครื่องเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนจากบีมลมไปยังชุดวงจรควบคุม และจะติดตั้งระบบระบายอากาศไว้บริเวณหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากหม้อแปลง สำหรับการติดตั้งหม้อแปลงและท่อผลิตโอโซนจะติดตั้งให้มีระยะห่างจากกันประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าแรงดันสูงรบกวนกันภายในระบบ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.11 เครื่องผลิตโอโซนความเข้มสูง



รูปที่ 3.12 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซิ่ง



รูปที่ 3.13 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตโอโซน

3.3 การวิเคราะห์และออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

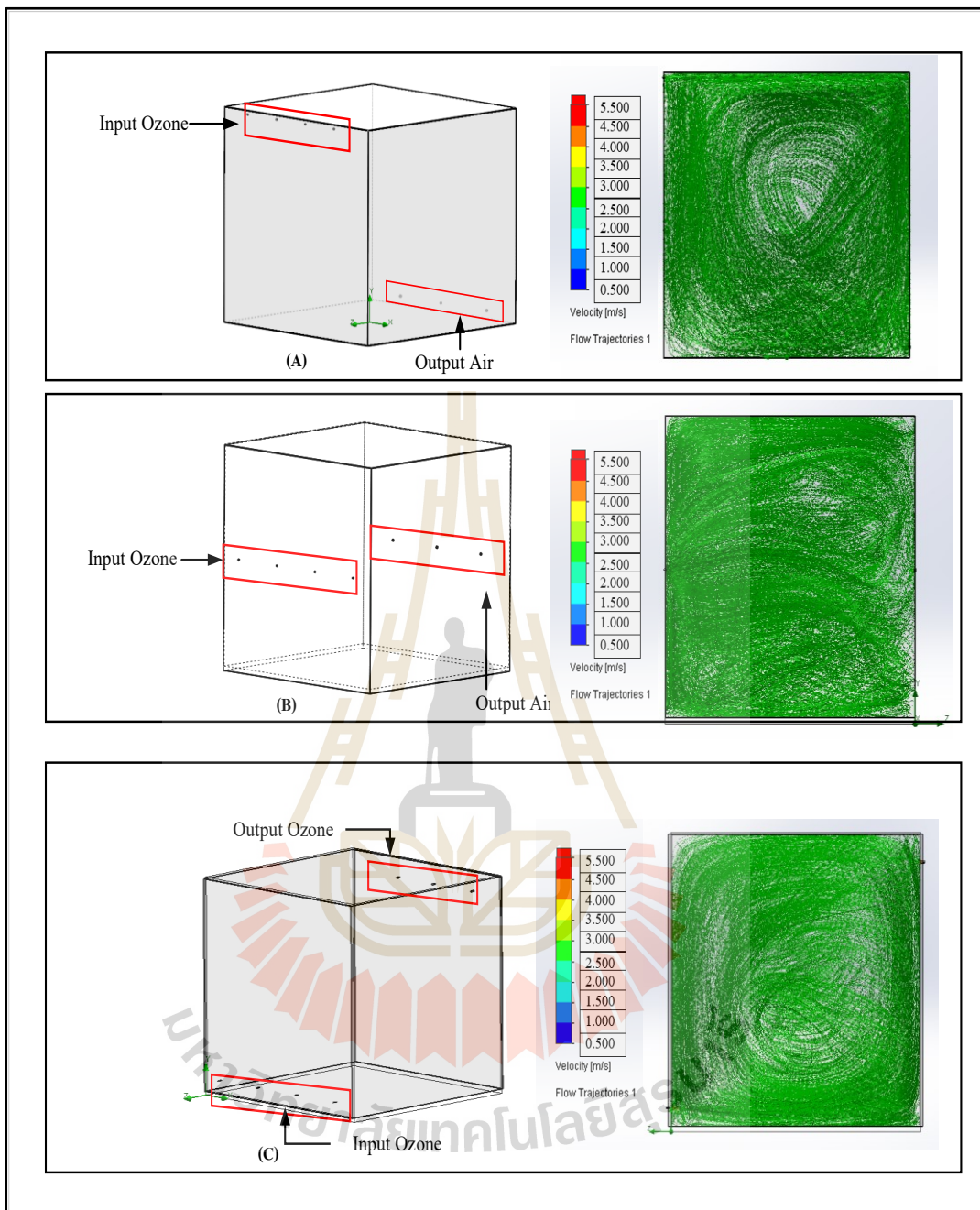
3.3.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

การศึกษางานวิจัยของ (Zahar et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวในห้องเย็นที่เป็นการเก็บรักษาปลาแช่แข็งในงานวิจัยนี้ ได้ใช้เครื่องผลิตโอโซนชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยจ่ายโอโซนเข้าไปที่ด้านบนของห้องเย็นเพื่อศึกษาการกระจายตัวของโอโซน ซึ่งภายในมีชั้นตะแกรงสำหรับวางปลา ซึ่งผลการทดลองพบว่าโอโซนสามารถกระจายตัวได้ดีมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทุกพื้นที่ของห้อง

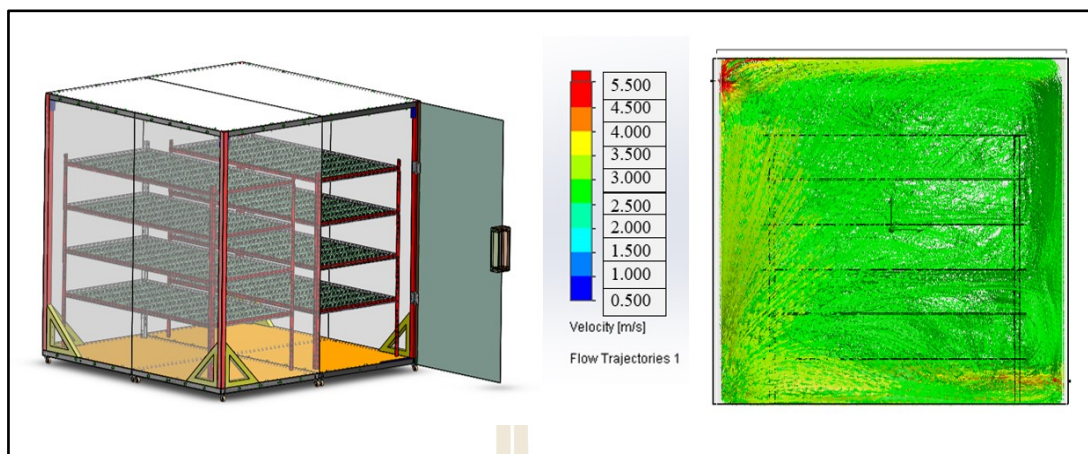
การศึกษางานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบตู้อบหัวหอมโดยศึกษาทิศการไหลของและแพร่กระจายของอากาศที่ไหลผ่านตะแกรงสำหรับวางหัวหอมในรูปแบบต่างโดยใช้โปรแกรม Solidwork flow simulation ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายและระบายอากาศออก ในตำแหน่งที่ต่างกันมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อการกระจายตัวของอากาศที่ไหลผ่านสิ่งของที่ต้องการให้สัมผัส ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นแนวทางให้ศึกษาการใช้โปรแกรมและศึกษาการกระจายตัวของอากาศให้นำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์และออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้อย่างยิ่ง

3.3.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายอากาศในห้องรมโอโซน

การวิเคราะห์การกระจายตัวของโอโซนได้จำลองโดยใช้โปรแกรม Solidwork simulation flow มีการวิเคราะห์ตำแหน่งของการปล่อยและระบายโอโซนอยู่ 3 รูปแบบ โดยมีการกำหนดช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าที่ความเร็วลมอยู่ที่ 5 เมตร/วินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง และระบายโอโซนออกจากห้องที่ความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง การกำหนดขนาดเท่ากันทุกการจำลองแต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของการจ่ายและระบายโอโซนออกจากห้องทดลอง การจ่ายโอโซนเข้าด้านบนของห้อง และระบายออกด้านล่างที่อยู่ตรงข้ามกัน แสดงดังรูป 3.14 (A) จากการจำลองจะเห็นได้ว่าทิศทางของโอโซนจะเดินทางไปอยู่อีกด้านของห้องแล้ววนกลับมามีลักษณะหมุนวนเข้ามาที่จุดปล่อยโอโซนเข้ามา จากนั้นจึงระบายออก ถัดมาเป็นการจำลองการปล่อยโอโซนเข้าที่ตรงกลางห้องและระบายออกที่ฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.14 (B) จากการจำลองสังเกตได้ว่าการปล่อยโอโซนเข้าที่บริเวณนี้จะมีทิศทางการเคลื่อนที่อยู่สองทิศทางคืออากาศจะหมุนไปที่ด้านบนและอีกส่วนหนึ่งจะหมุนวนด้านล่างแล้วจึงระบายออกที่ด้านหลังห้อง และในส่วนสุดท้ายได้ทำการจำลองปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านล่างของห้องและระบายออกที่ด้านบนของฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.14 (C) จากการจำลองพบว่าโอโซนโอโซนมีลักษณะกระจายตัวในรูปแบบที่หมุนวนจากด้านล่างของห้องแล้วเคลื่อนที่ไปยังจุดระบายออกและมีบางส่วนวนกลับมาที่จุดปล่อยการปล่อยลักษณะนี้การกระจายตัวในอากาศตรงกลางค่อนข้างที่จะน้อย การจำลองการแพร่กระจายของโอโซนทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้เลือกใช้การปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านบนของห้องและระบายอากาศออกด้านล่างของฝั่งตรงข้ามเนื่องจากทิศทางการแพร่กระจายตัวของโอโซนมีทิศทางที่เคลื่อนตัวจากด้านบนแล้ววนกลับมาที่จุดปล่อยโอโซนและมวลต่อโมลของโอโซนมีน้ำหนัก 47.988 กรัม/โมล ซึ่งมากกว่าออกซิเจนและไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ คือ 15.999 กรัม/โมล และ 14.007 กรัม/โมล ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ถ้าปล่อยโอโซนจากด้านบนมีโอกาสที่จะตกมาด้านล่างได้ จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบและจำลองการแพร่กระจายตัวของโอโซนที่ภายในห้องมีชั้นวางสำหรับวางกล้วยไม้ โดยกำหนดให้มีช่องสำหรับปล่อยโอโซนเข้า ขนาด 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง อยู่ด้านบน และ ช่องสำหรับระบายอากาศออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง อยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างตรงข้ามกับฝั่งขาเข้า ผลการจำลองพบว่ากระกระจายตัวของโอโซนสามารถแพร่กระจายได้ทุกพื้นที่ของชั้นวาง แสดงดังรูปที่ 3.15



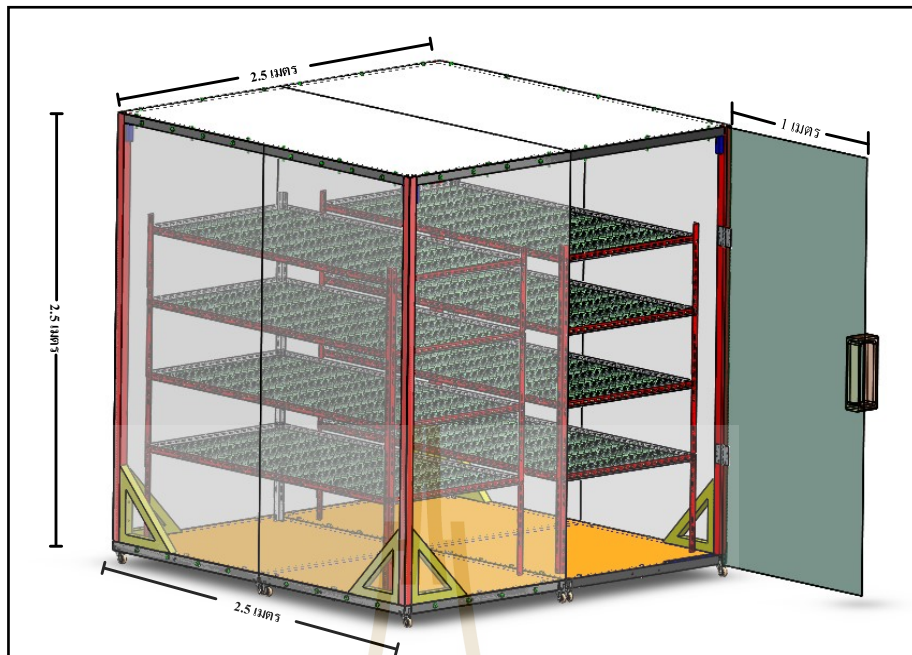
รูปที่ 3.14 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน



รูปที่ 3.15 ผลการจำลองการแพร่กระจายของ โอโซนภายในห้องรมโอโซนที่ภายในมีชั้นก๊วยไม้

3.3.3 การออกแบบและสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

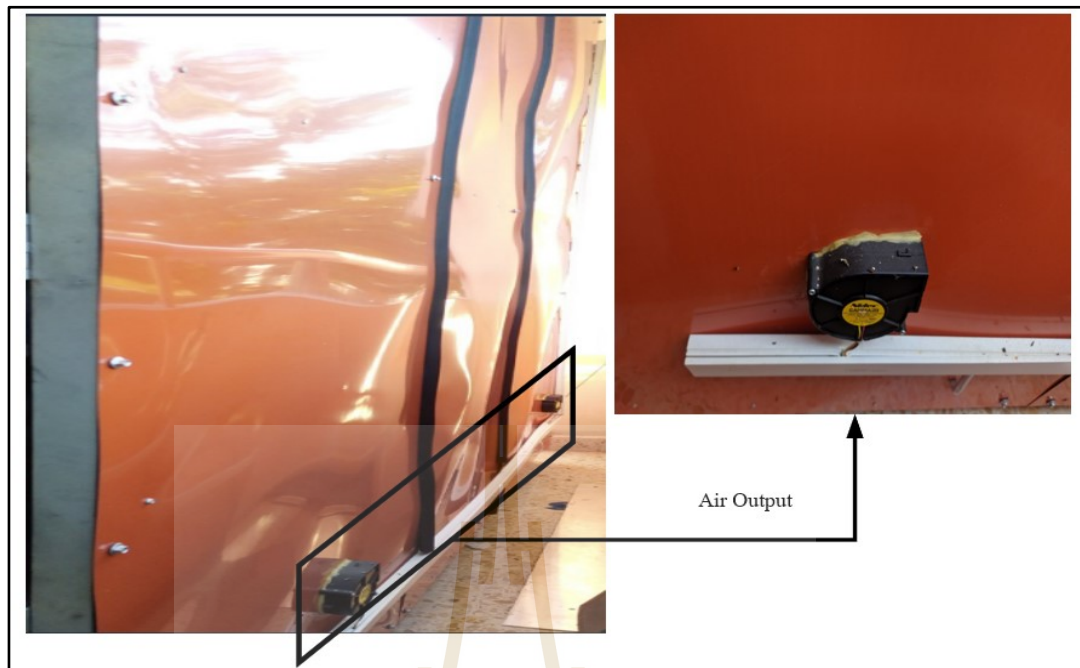
การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนได้ออกแบบห้องให้มีขนาด $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร ในส่วนของประตูทางเข้ามีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16 มีช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าไปในห้อง (Ozone Input) จำนวน 4 ช่อง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.8 เซนติเมตรติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนของห้อง ดังรูปที่ 3.17 และช่องสำหรับระบายโอโซนออกจำนวน 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยมีพัดลมระบายอากาศติดตั้งอยู่ด้านหลังของห้องเพื่อช่วยในการกระจายตัวของโอโซนให้คงที่และช่วยดูดโอโซนออกจากห้องเมื่อทำการลงเสร็จ ดังรูปที่ 3.18 สำหรับโครงสร้างจะเป็นเหล็กที่ถูกทาสีป้องกันการเกิดสนิมจากการกัดกร่อนของโอโซน ส่วนของผนังห้องจะใช้วัสดุที่เป็นเมทัลชีทและด้านในจะติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนชนิด PE สำหรับป้องกันความร้อนจากภายนอกเพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีความเสถียร และชั้นวางก๊วยไม้มีจำนวน 2 อัน ในแต่ละอันมีจำนวน 4 ชั้น มีขนาด กว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างชั้นอยู่ที่ 40 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.16 ออกแบบโครงสร้างห้องรมโอโซนและชั้นวางก้วไม้



รูปที่ 3.17 ห้องรมโอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตรและแสดงตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้า



รูปที่ 3. 18 พัดลมสำหรับระบายอากาศ



รูปที่ 3. 19 ชั้นวางกล้วยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมโอโซน

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ในการกำจัดศัตรูพืช ชนิด เพลี้ยไฟ และไรแดงเป็นหลัก โดยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความเข้มข้นของโอโซนเพื่อนำมาวิเคราะห์อัตราการตายของแมลง และศึกษาการออกแบบระบบผลิตโอโซนเพื่อให้สามารถผลิตโอโซนได้ความเข้มข้นเพียงพอต่อการนำไปกำจัดแมลงศัตรูพืช สำหรับการออกแบบระบบผลิตโอโซนได้ทำการออกแบบให้สามารถผลิตโอโซนได้อย่างเพียงพอต่อการกำจัดแมลงในห้องขนาด $2.5 \times 2.5 \times 2.5$ ลูกบาศก์เมตร ออกแบบให้ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่องเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม ต่อมาเป็นการออกแบบระบบห้องรมโอโซนได้ทำการวิเคราะห์ตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องและระบายโอโซนออกจากห้องเพื่อศึกษาและวิเคราะห์การกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง และออกแบบให้ห้องมีอุณหภูมิที่คงที่เพื่อให้โอโซนมีระดับความเข้มข้นที่สม่ำเสมอ

บทที่ 4

การวัดและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

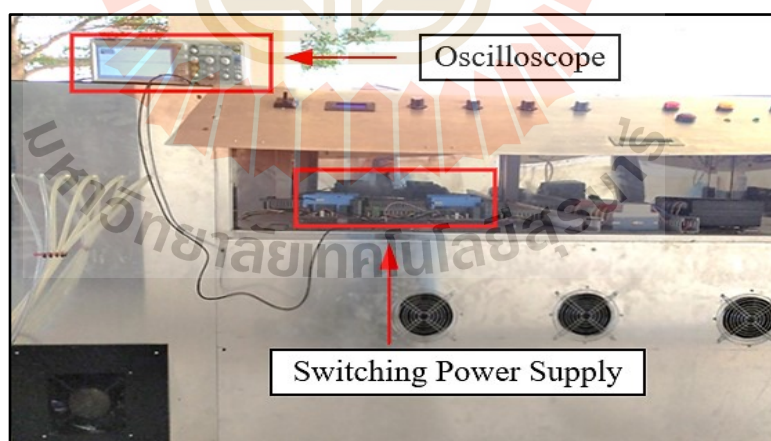
จากการออกแบบสร้างระบบผลิตไอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ เครื่องผลิตไอโซนความเข้มข้นสูง และห้องสำหรับนำกล้วยไม้เข้าไปรมไอโซน ในส่วนของเครื่องผลิตไอโซนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณที่จ่ายไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อแปลงผันพลังงานจากไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงสำหรับจ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดเพื่อให้อาจสามารถสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูงที่ใช้สำหรับผลิตไอโซนจำนวน 4 ชุด และมีระบบที่ใช้สำหรับผลิตอากาศที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศและออกซิเจนเพื่อใช้สำหรับผลิตไอโซน รวมถึงการออกแบบห้องสำหรับรมไอโซนโดยใช้โปรแกรม Solidwork ในการจำลองอัตราการกระจายตัวของไอโซนภายในห้อง ดังนั้นสำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอโซน การวัดความเข้มข้นของไอโซนที่อยู่ภายในห้องรมไอโซนเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของไอโซน จากนั้นได้นำไอโซนไปทดลองกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาอัตราการตายของแมลง และสุดท้ายวิเคราะห์ผลกระทบที่กล้วยไม้ได้รับไอโซน

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอโซน

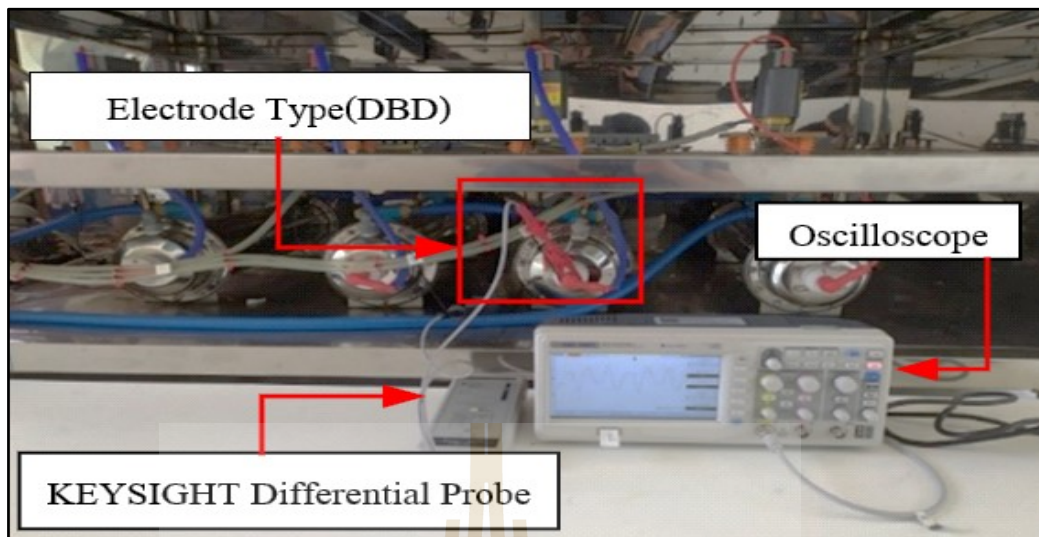
เครื่องผลิตไอโซนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ประการ คือ ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้สำหรับจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตไอโซน ซึ่งในส่วนนี้จะได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และความถี่ในการทำงาน ในส่วนถัดมาเป็นระบบจ่ายอากาศกับออกซิเจน โดยจะทำการวัดอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนที่ส่งไปยังท่อผลิตไอโซน และในส่วนสุดท้ายเป็นการควบคุมความร้อนในระบบ โดยจะทำการวัดความร้อนในระบบในกรณีทำงานต่อเนื่อง ซึ่งการทดสอบที่กล่าวมานี้จะทำการทดสอบร่วมกับการวัดปริมาณไอโซนที่ผลิตได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.2.1 ทดสอบระบบสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน

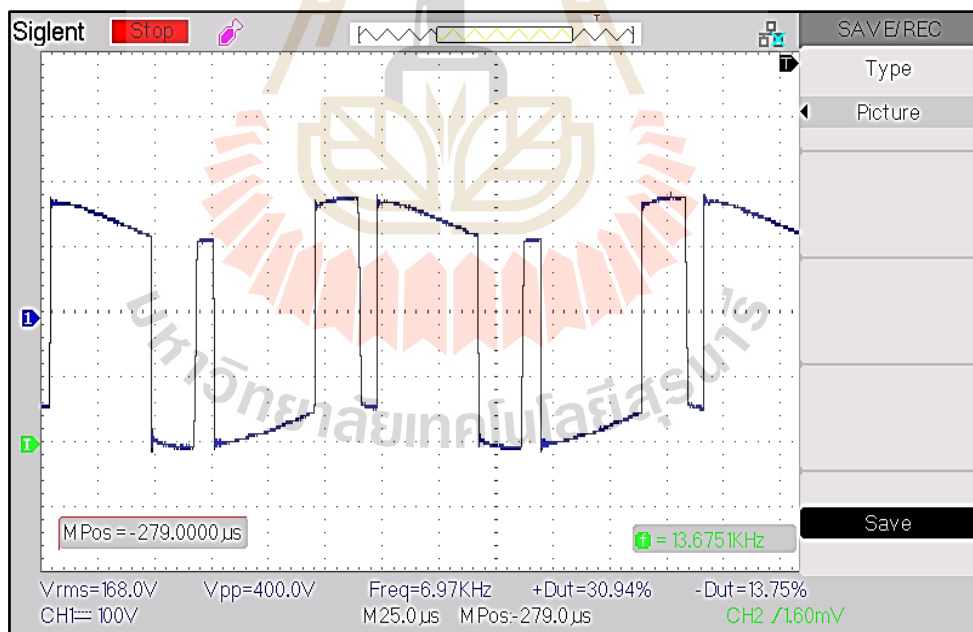
สำหรับการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซนนั้นจะทำการทดสอบอยู่ 2 ส่วน ได้แก่ การทดสอบสัญญาณที่ออกจากวงจรสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย และการทดสอบวัดสัญญาณของโหลดที่เป็นฉนวนเล็กโทรคแบบ Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยการทดสอบทั้งสองกรณีนี้จะทำการวัดลักษณะสัญญาณไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังฉนวนเล็กโทรค และความถี่ที่ใช้ทำงาน เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน โดยใช้อุปกรณ์ทางการวัดที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับเก็บผลการทดลองซึ่งประกอบด้วย ออสซิลโลสโคป รุ่น Siglent SDS1072CML และชุดอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง รุ่น KEYSIGHT N2891A 70 MHz Differential Probe โดยการติดตั้งอุปกรณ์การวัดลักษณะสัญญาณที่วงจรสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลายแสดงดังรูปที่ 4.1 ในส่วนถัดมาเป็นการวัดสัญญาณที่ฉนวนเล็กโทรคขณะที่ระบบทำงาน โดยใช้อุปกรณ์ลดสัญญาณในอัตราส่วน 1000:1 ต่อเข้าออสซิลโลสโคปเพื่อแสดงค่าผลการทดลองที่ใช้ในการบันทึกผลดังรูปที่ 4.2 โดยลักษณะสัญญาณที่วัดได้จากวงจรสวิตซ์ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.3 และในส่วนถัดมาเป็นผลการวัดสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายไปยังโหลดที่เป็นฉนวนเล็กโทรคแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยรูปที่แสดงนี้เป็นเป็นผลการวัดสัญญาณในขณะที่เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพ



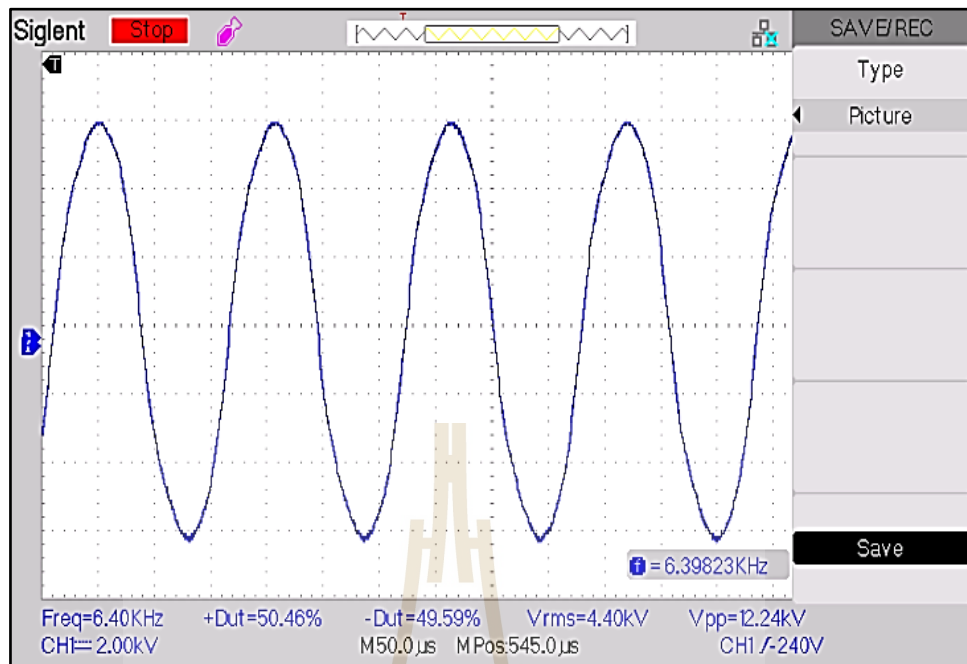
รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายสวิตซ์ซึ่ง



รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังหลอดผลิตไอโซน



รูปที่ 4.3 สัญญาณไฟฟ้าที่จากวงจรสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย

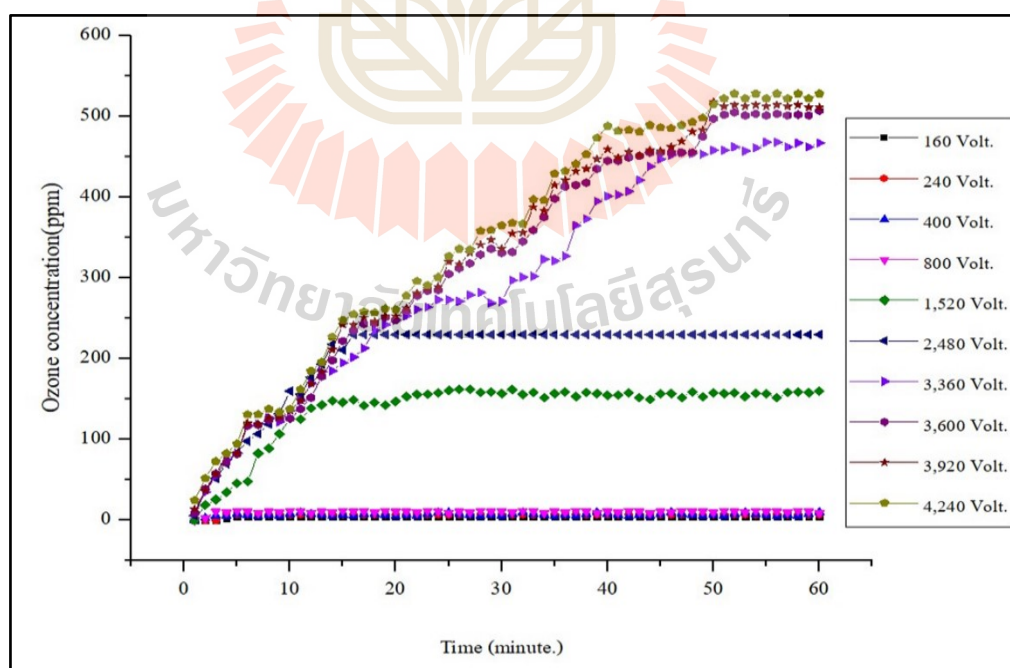


รูปที่ 4.4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังโหลดผลิตโอโซน

ตารางที่ 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน

ลำดับที่	Duty cycle(%)	Frequency(kHz)	Voltage _(rms) (Volt)	Power(Watt)
1	38.82	21.26	160	356.15
2	40.94	21.17	240	378.55
3	48.43	21.00	400	423.35
4	53.93	20.89	800	512.95
5	59.02	20.70	1,520	702.45
6	64.52	20.53	2,480	1,150
7	69.24	20.40	3,360	1,775
8	26.98	6.97	3,600	2,647
9	30.91	6.97	3,920	3,445
10	30.94	6.97	4,240	3,985

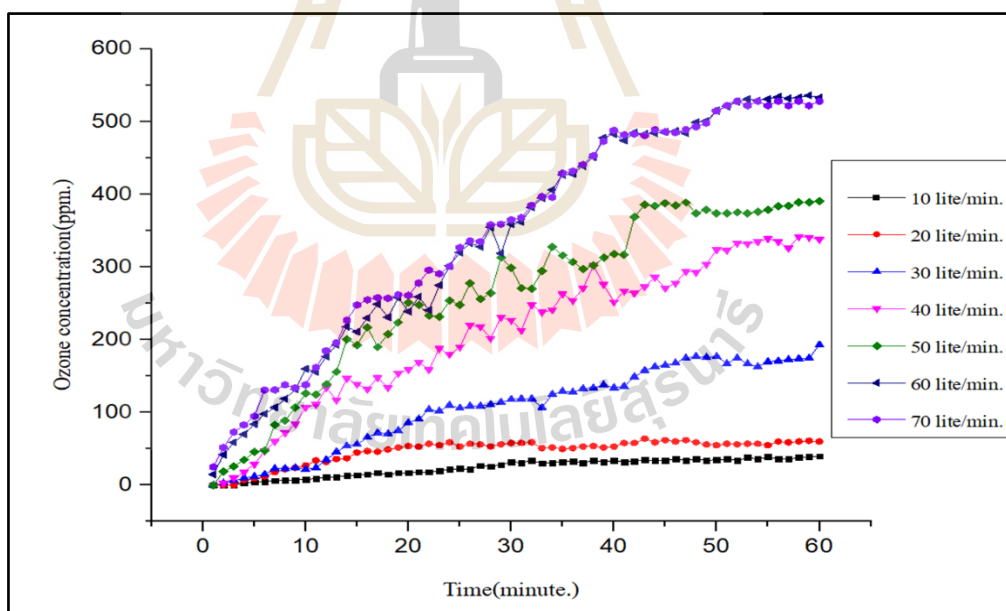
จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน จากผลการทดสอบ แสดงให้เห็นว่าการทำงานของวงจรจะสร้างความถี่ในการทำงานอยู่สองช่วงคือ ช่วง 20.40 ถึง 21.26 กิโลเฮิร์ตซ์ และการทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยการปรับค่าตัวไชเคิลที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้แรงดันไฟฟ้า และกำลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังโพลดที่เป็น อิเล็กโทรดนั้นเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าและปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้น เช่นกัน โดยผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในระดับต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตโอโซนแสดงดังรูปที่ 4.5 ผลที่ได้เป็นปริมาณ โอโซนที่ทำการวัดภายในห้องรมโอโซนที่ได้ออกแบบไว้สำหรับรมกล้วยไม้ โดยทำการทดลองในระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 70 ลิตร/นาที จาก แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 800 โวลต์นั้นมีความเข้มข้นของโอโซนในปริมาณที่น้อยมากในห้องได้ออกแบบสร้างไว้ ซึ่ง โอโซนจะเริ่มมีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นในช่วง 1,520 โวลต์ และในช่วง 3,600 ถึง 4,240 โวลต์ มี ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสูงถึง 500 ppm ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 3,920 ถึง 4,240 โวลต์ นั้นสามารถผลิตโอโซนได้สูงกว่า 3,600 โวลต์ เพียงเล็กน้อยแต่ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น สูงกว่าเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของ ออกซิเจนที่ยังไม่เหมาะสมซึ่งจะแสดงการทดลองในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 4.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซโอโซน

4.2.2 ทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

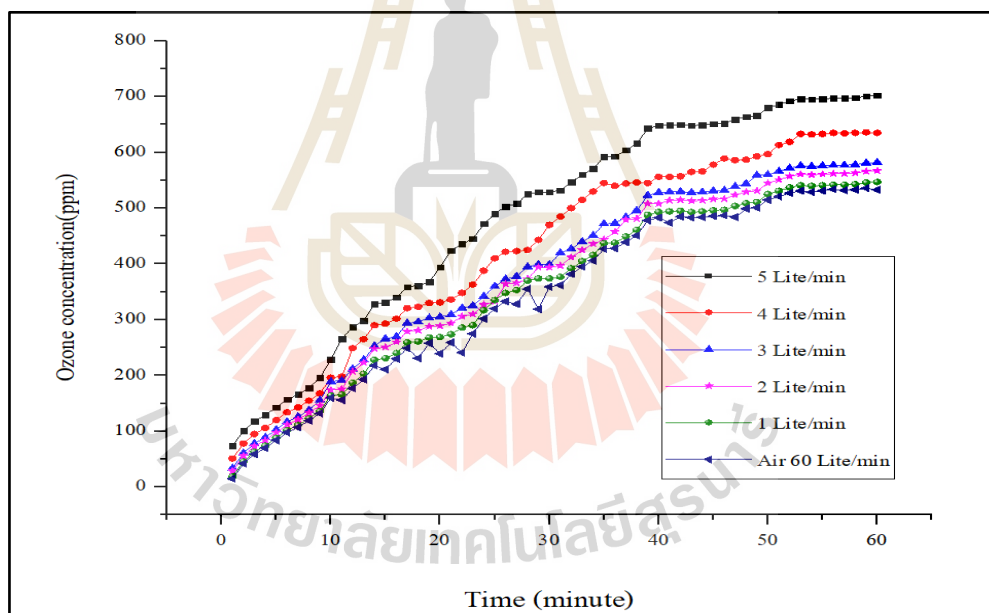
สำหรับการทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตโอโซน ผู้วิจัยได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้ที่ 3,600 โวลต์ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยจะทำการทดลอง ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 10 ถึง 70 ลิตร/นาที เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตโอโซน โดยผลการวัดความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องทดลองสำหรับลมกล้วยไม้ แสดงดังรูปที่ 4.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศที่มากขึ้นทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องนั้นเพิ่มขึ้นตามเช่นกันเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้มีปริมาณของออกซิเจนไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจึงส่งผลให้การแตกตัวของออกซิเจนเป็นโอโซนมีโอกาสสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองการจ่ายอากาศในช่วง 60 ถึง 70 ลิตร/นาที มีปริมาณความเข้มข้นโอโซนที่ใกล้เคียงกันซึ่งอาจเกิดจากการจ่ายอากาศให้มีอัตราการไหลในปริมาณที่สูงเกินความเหมาะสมที่พลังงานจากสนามไฟฟ้าทำให้ออกซิเจนแตกตัว จึงทำให้เกิดการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในห้องทดลองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้โอโซนที่อยู่ภายในห้องเจือจางได้



รูปที่ 4.6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตโอโซน

4.2.3 ทดสอบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

สำหรับการนำออกซิเจนมาทดลองร่วมกับอากาศที่ใช้ผลิต โอโซน เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของโอโซนโดยทำการทดลองกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจน โดยทดลองวัดความเข้มข้นโอโซนภายในห้องที่ออกแบบสร้างเพื่อใช้รมโอโซน โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดอยู่ที่ 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 60 lite/min และกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจนตั้งแต่ 1 ถึง 5 ลิตร/นาที ตามลำดับ โดยผลการทดลองจะแสดงปริมาณโอโซนที่วัดภายในห้องทดลอง สังเกตได้ว่าก๊าซโอโซนนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการจ่ายออกซิเจนที่ 60 นาที สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึง 700 ppm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายออกซิเจนเข้าไปเพื่อผลิตโอโซนนั้นมีอัตราความเข้มข้นของ โอโซนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการจ่ายออกซิเจนที่ 5 ลิตร/นาที สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึง 550 ppm ในระยะเวลา 30 นาที และมีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซน

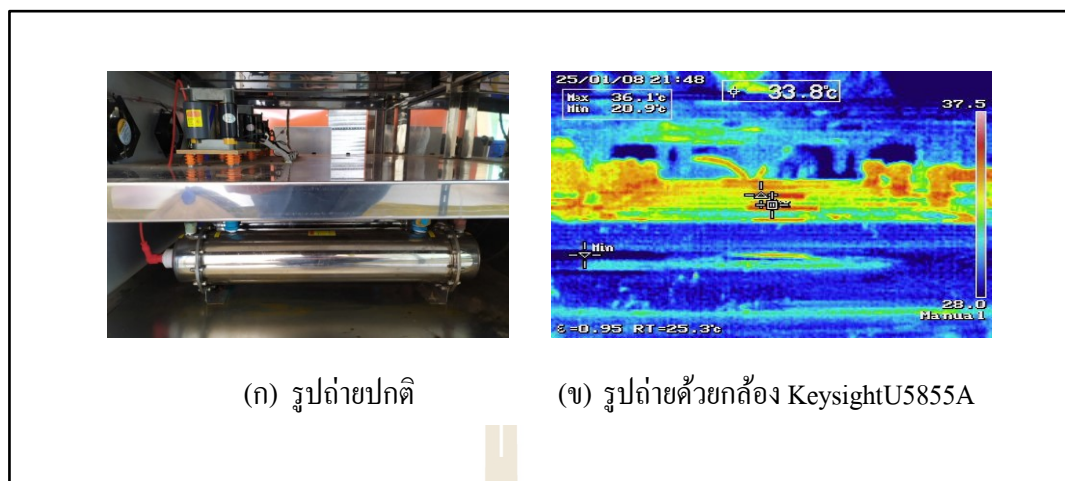
4.2.4 ประสิทธิภาพความร้อนในระบบเครื่องผลิตโอโซนเมื่อทำงานต่อเนื่อง

การควบคุมความร้อนในระบบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตโอโซน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับผลิตโอโซนนั้นอาจส่งผลให้เกิดเบรกดาวน์ขึ้นส่งผลให้ปริมาณของโอโซนนั้นลดลง อีกทั้งคุณสมบัติของท่อผลิตโอโซนนี้ มีข้อกำหนดว่า อุณหภูมิโดยรอบไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้

ประสิทธิภาพการผลิตโอโซนนั้นลดลงโดยการควบคุมความร้อนภายในท่อผลิตโอโซนโดยใช้วิธีหล่อเย็นให้น้ำไหลผ่านภายในท่อผลิตโอโซนและมีชุดพัดลมระบายอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิภายในระบบเกิน 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองได้ทดลองระบบโดยให้เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอด 15 ชั่วโมง จำนวน 10 ครั้ง ซึ่งกำหนดให้เครื่องทำงานต่อเนื่องที่ระยะเวลา 90 นาที ต่อครั้ง จากนั้นจะทำการวัดอุณหภูมิบริเวณท่อผลิตโอโซน โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น Keysight U5855A ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความร้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 33.2 ถึง 33.8 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองภายในระยะเวลา 15 ชั่วโมง ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งอุณหภูมิที่ไม่เสถียรอาจเกิดจากสภาพอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในช่วงนี้ยังอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคืออุณหภูมิของโอโซนที่จ่ายไปยังห้องทดลอง ที่ต้องไม่ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในห้องเกิน 32 องศาเซลเซียสเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ได้ โดยผลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.10



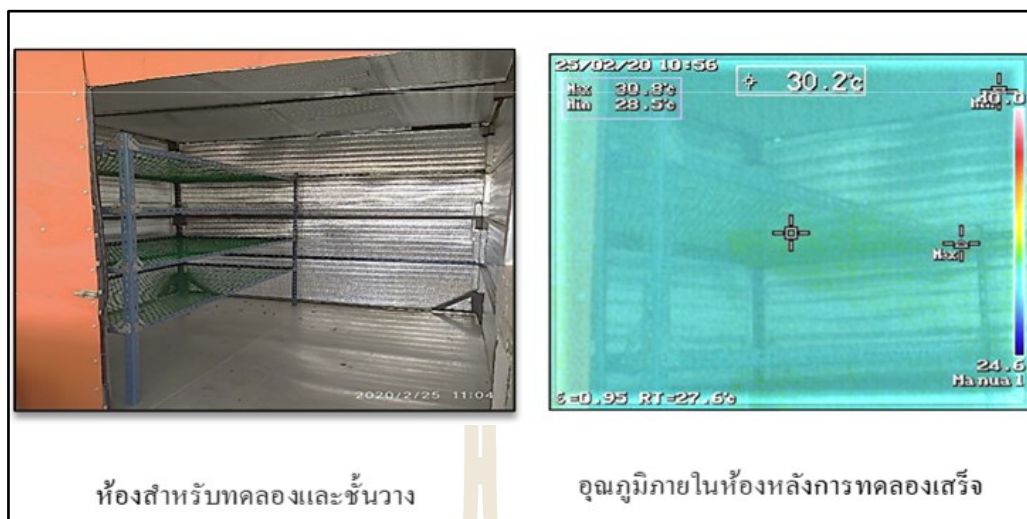
รูปที่ 4.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Keysight U5855A



รูปที่ 4.9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิตไอโซนในขณะที่เครื่องทำงานต่อเนื่อง

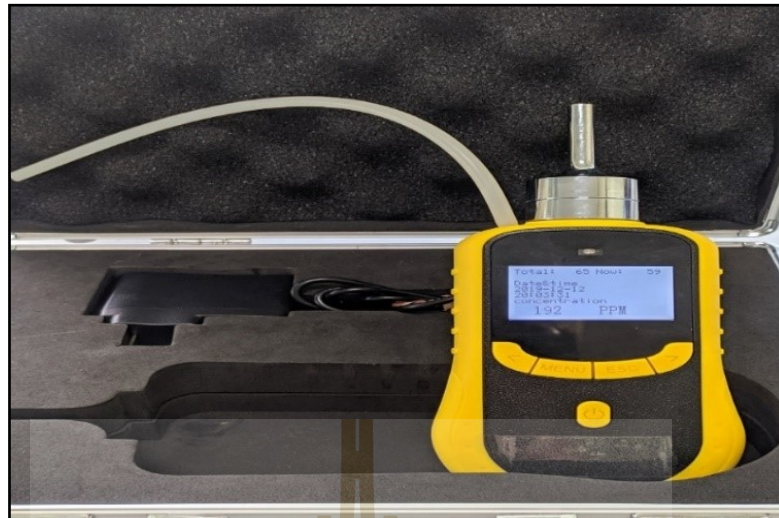
ครั้งที่	อุณหภูมิสูงสุด C°	อุณหภูมิต่ำสุด C°	อุณหภูมิโดยเฉลี่ย C°
1	39.4	21.5	33.4
2	39.6	21.4	33.7
3	35.9	21.4	33.2
4	36.4	22.6	33.5
5	36.7	23.1	32.5
6	36.3	22.8	33.1
7	36.5	23.3	34.5
8	36.6	23.7	33.8
9	36.3	22.8	33.3
10	36.1	20.9	33.8



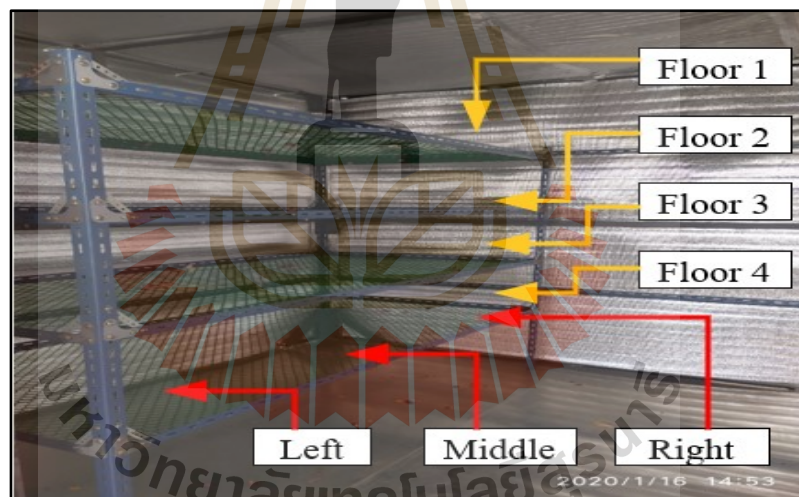
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ

4.3 ปริมาณโอโซนภายในห้อง

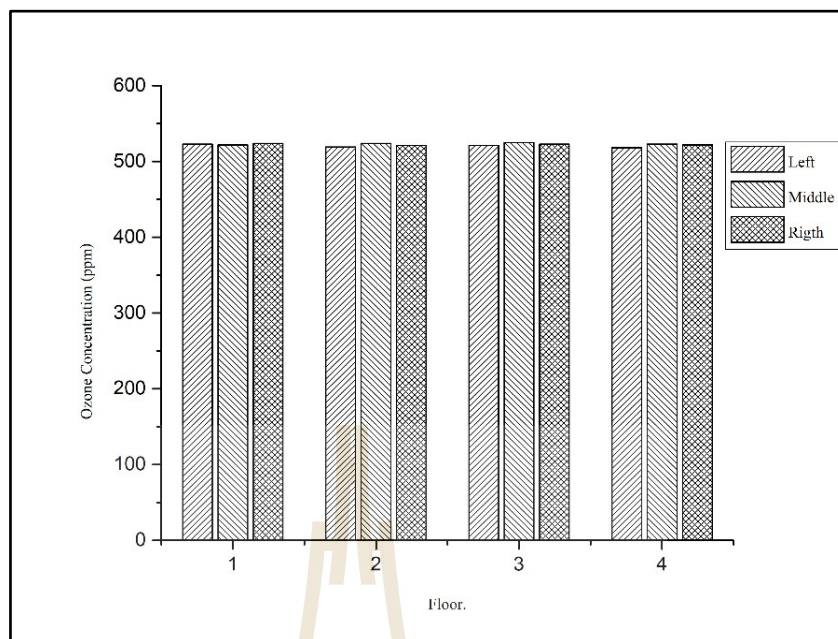
สำหรับการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ภายในห้อง เพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ถึงอัตราการกระจายของโอโซนที่อยู่ภายในห้อง โดยทดลองให้ระบบผลิตโอโซนทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3,600 โวลต์ ทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์ และใช้อากาศบริสุทธิ์ในการผลิตโอโซนมีอัตราการไหลอยู่ที่ 60 ลิตร/นาทีกำหนดให้การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าเดียวกันในการทดลองทุกครั้งในการผลิตโอโซนไปที่ห้องสำหรับรมโอโซน และเครื่องมือที่ใช้วัดนั้น เป็นเครื่องมือวัดรุ่น SKZ1050 สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด 1000 ppm ที่ความละเอียด 1 ppm แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยทำการติดตั้งเครื่องไว้ที่ตำแหน่ง ซ้าย ตรงกลาง และขวา ของชั้นวางกล้วยไม้ แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยความเข้มข้นโอโซนเป็นค่าที่วัดได้แล้วมีปริมาณความเข้มข้นคงที่ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากการทดลองเสร็จทุกครั้งจะทำการระบายอากาศออกจากห้องทดลอง จากนั้นจะเริ่มทดลองใหม่ที่ระดับความเข้มข้นโอโซนเป็น 0 ppm. โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



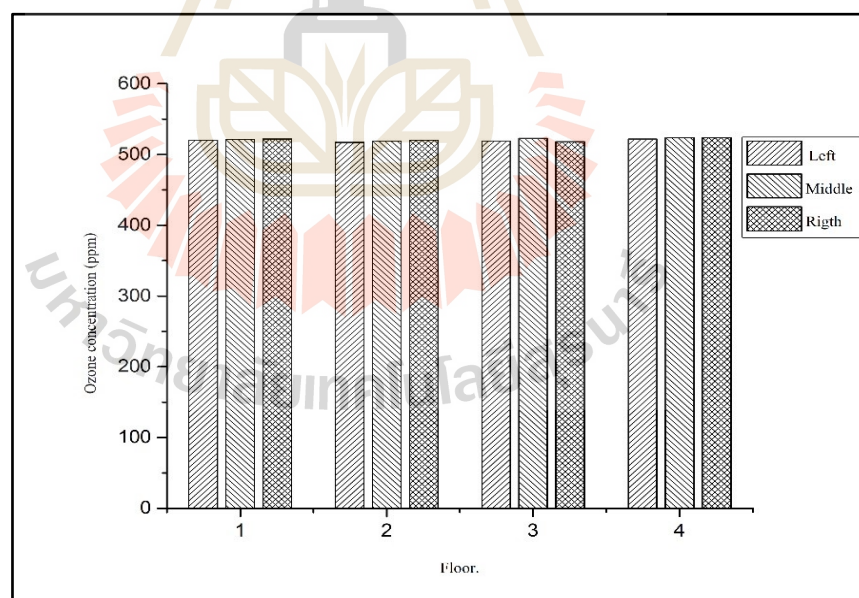
รูปที่ 4.11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้น โอโซน



รูปที่ 4.12 การวัด โอโซนที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ



รูปที่ 4.13 ผลการวัด โอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้



รูปที่ 4.14 ผลการวัด โอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้

4.4 อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน

สำหรับการทดลองหาอัตราการตายของแมลงผู้วิจัยได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชกักกันในกล้วยไม้ส่งออกได้แก่ เพลี้ยไฟ และ ไรแดง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลง พบว่าแมลงเหล่านี้มีอัตราการตายสูงถึง 98.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโอโซนในระดับความเข้มข้นในช่วง 458 -501 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยค่าตัวแปรที่อ้างอิงนี้เป็นค่าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ตัดดอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำงานวิจัยนี้มาอ้างอิงถึงระดับความเข้มข้นของโอโซนเพื่อมาใช้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชเหล่านี้ โดยเริ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของโอโซนตั้งแต่ 450 ถึง 1,000 ppm อุณหภูมิที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาที เพื่อหาระดับความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้แมลงเหล่านี้ได้รับความตาย แสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ้าแมลงเหล่านี้ได้รับโอโซนความเข้มข้นสูงในระยะเวลาที่นานจะทำให้ได้รับอัตราการตายที่สูงขึ้น โดยการเก็บผลการทดลองจะสังเกตการตายของแมลงเหล่านี้ในกรณีที่ทดลองเสร็จทันทีรวมถึงหลังจากการทดลองเสร็จที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าแมลงเหล่านี้ถึงแก่ความตายด้วยโอโซนจริง ซึ่งการเก็บผลหลังจากการทดลองเสร็จทันทีที่แสดงให้ว่าความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 850 ถึง 950 ppm ในระยะเวลา 60 นาที และความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 950 ถึง 1,000 ppm ในระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาที มีอัตราการตายของแมลงอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และจากสังเกตอาการของแมลงเหล่านี้หลังจากการทดลองที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง พบว่าแมลงไม่มีการฟื้นตัวขึ้นแต่กลับพบว่าแมลงที่ได้รับความเข้มข้นของโอโซนในระดับ 551 ถึง 650 มีอัตราการตายที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เป็นเพียงหาอัตราการตายของแมลงเพียงอย่างเดียว ซึ่งการวิจัยมีจุดประสงค์ที่สำคัญอีกประการคือระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้กำจัดแมลงเหล่านี้จำเป็นต้องไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

ตารางที่ 4. 3 ระดับความเข้มข้น โอโซนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง

ความเข้มข้นของ โอโซน (ppm)	ระยะเวลา (นาทีก)	ตายทันที		หลังจากการ ทดลอง 5 ชั่วโมง		หลังจากการ ทดลอง 8 ชั่วโมง	
		เพลี้ยไฟ	ไรแดง	เพลี้ยไฟ	ไรแดง	เพลี้ยไฟ	ไรแดง
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
450-550	30	60	70	70	80	80	90
	60	75	80	85	95	85	100
551-650	30	65	75	75	85	85	95
	60	80	85	90	100	100	100
651-750	30	70	80	80	95	90	100
	60	85	90	95	100	100	100
751-850	30	80	90	90	90	100	100
	60	90	90	100	100	100	100
851-950	30	85	95	90	100	100	100
	60	100	100	100	100	100	100
950-1,000	30	100	100	100	100	100	100
	60	100	100	100	100	100	100

4.5 ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้

สำหรับการทดลองนำกล้วยไม้ตัดดอกและต้นกล้วยไม้สำหรับส่งออกไปรม โอโซนเพื่อศึกษาหาผลกระทบที่จะได้รับนั้น ได้ทดลองกับกล้วยไม้ตัดดอกสายพันธุ์หวายและมอศคารา เนื่องจากสายพันธุ์เหล่านี้มีอัตราการส่งออกที่สร้างรายได้เป็นอันดับต้นๆของประเทศ จึงทำการทดลองกับโอโซนในระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ส่งโดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยการสังเกตอาการจะแบ่งการสังเกตอยู่ 3 ช่วงเวลาคือ หลังจากการทดลองเสร็จทันทีหลังจากการทดลองเสร็จ 1 วัน และหลังจากการทดลองเสร็จ 1 สัปดาห์ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

551-650	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
651-750	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
751-850	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
851-950	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปานกลาง	รุนแรง
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปานกลาง	รุนแรง
950-1,000	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	รุนแรง	รุนแรง
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	รุนแรง	รุนแรง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับ 450 ถึง 650 ppm มีลักษณะของดอกกล้วยไม้ที่ปกติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการรม โอโซนทั้งจากการสังเกตที่ระยะเวลา หลังการทดลองเสร็จทันที หลังจากการทดลอง 1 วัน และ หลังจากการทดลอง 7 วัน ในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับความเข้มข้นของโอโซน 650 ppm ขึ้นไปกล้วยไม้จะเริ่มได้รับความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยความเสียหายที่ได้รับจะมีลักษณะ เหี่ยวเฉา เป็นจุดขาวๆ บริเวณดอก และ ที่ระดับความเข้มข้นโอโซน 851 ppm ที่ระยะเวลา 30 นาที ขึ้นไป กล้วยไม้จะได้รับความเสียหายที่รุนแรง โดยสายพันธุ์หวายจะมีลักษณะช้ำที่บริเวณดอกกล้วยไม้ ในส่วนของสายพันธุ์มอคคาร่าจะได้รับความเสียหายในลักษณะเป็นรอบช้ำสีน้ำตาลที่บริเวณริมดอก แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กล้วยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากโอโซน

4.6 การทดลองนำกล้วยไม้และเพลิงไฟมาทดลองในระบบใหญ่

สำหรับการทดลองนำกล้วยไม้และเพลิงไฟมาทดลองในระบบใหญ่เพื่อหาอัตราการตายของแมลง และผลกระทบของโอโซนที่ส่งผลต่อกล้วยไม้ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 4.6 โดยอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 30 ถึง 32 องศาเซลเซียส โดยความเข้มข้นโอโซนที่ใช้อยู่ระหว่าง 550 ถึง 650 ppm โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด 90 นาที เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลา 30 นาที ในการสร้างความเข้มข้นโอโซนให้มีความเข้มข้นถึง 550 ppm ภายในห้องทดลองขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นระดับความเข้มข้นของโอโซนจะสูงขึ้นจนถึง 650 ppm และคงที่ในช่วง 600 ถึง 650 ppm. จนสิ้นสุดการทดลอง โดยอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชหลังจากการทดลองรมโอโซนทั้งสองชนิดจะแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังท่อผลิตโอโซน	3,600	โวลต์
กำลังไฟฟ้า	2,647	วัตต์
อัตราการไหลของอากาศ	60	ลิตร/นาที
อัตราการไหลของออกซิเจน	5	ลิตร/นาที

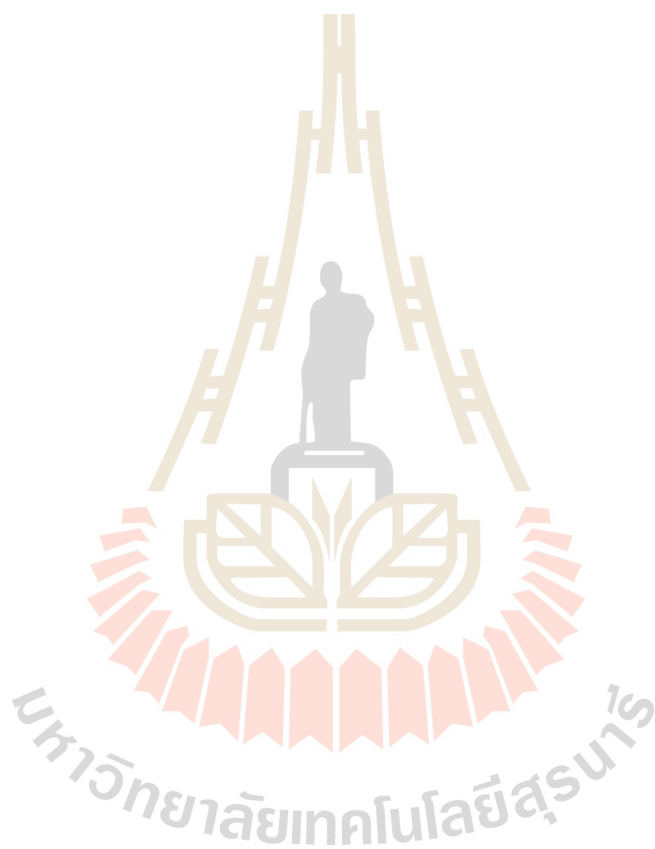
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่เพื่อหาอัตราการของแมลงศัตรูพืช

ระยะเวลาสังเกตอาการ	เพลิงไฟ	ไรแดง
ตายทันที	75 %	80 %
หลังจากการทดลอง 5 ชั่วโมง	90 %	90 %
หลังจากการทดลอง 8 ชั่วโมง	100 %	100 %

4.7 สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ประเภท เพลิงไฟ และไรแดง ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระดับความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 550 ถึง 650 ppm ใช้เวลาในการทำงานโดยรวมทั้งหมด 90 นาที โดยมีพารามิเตอร์ในการทำงานของระบบผลิตโอโซน ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดสำหรับผลิตโอโซนที่ 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 60 ลิตร/นาที

อัตราการไหลของออกซิเจนอยู่ที่ 5 ลิตร/นาที โดยใช้กำลังงานไฟฟ้า 2,647 วัตต์ อุณหภูมิภายในห้องทดลองควรอยู่ในช่วง 30 ถึง 32 องศาเซลเซียส และภายในระบบไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แผลงศัตรูพืชมีอัตราการตายที่สูงขึ้นเมื่อได้เมื่อได้รับความเข้มข้นโอโซนในระดับที่สูงและใช้เวลาสำหรับกำจัดน้อยลงแต่เนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนในระดับสูงนั้นส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ ดังนั้นจึงหาปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในระดับที่เหมาะสมที่สามารถทำให้แมลงศัตรูพืชมีอัตราการตายสูงสุดและไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ และประหยัดกำลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด



บทที่ 5

บทสรุป

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ โดยการผลิตโอโซนใช้หลักการของปรากฏการณ์ไอออไนเซชัน โดยให้อากาศบริสุทธิ์หรือออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าจึงก่อให้เกิด โมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียร จากนั้นรวมตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม หรือเรียกว่า โอโซน จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับพลังงานไฟฟ้าและรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน เพื่อให้สามารถนำมาใช้กับงานได้อย่างเหมาะสมนั้นได้เลือกใช้สนามไฟฟ้าแบบ DBD(Dielectric Barrier Discharge) เนื่องจากสามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงและที่สำคัญคือสามารถระบายความร้อนได้เพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวน์ในสนามไฟฟ้าเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงศึกษาการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนเพื่อศึกษาการกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง และจากการศึกษาเกี่ยวกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงพบว่าโอโซนสามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ โดยอัตราการตายนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่รับ สำหรับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้เพียงพอในห้องที่เป็นระบบปิดขนาดใหญ่นี้การออกแบบเครื่องผลิตโอโซนเป็นสิ่งสำคัญที่สุด โดยการออกแบบเครื่องต้องสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดได้เพื่อใช้ควบคุมความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน ในส่วนถัดมาเป็นการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและออกซิเจน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักของการนำไปผลิตโอโซน ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของโอโซนจากการทดลองพบว่าอัตราการตายของแมลงขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ได้รับ ซึ่งความเข้มของโอโซนที่สูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการกำจัดแมลงได้ แต่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพกล้วยไม้ ดังนั้นการหาปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยไม้ส่งออก

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำจัดโอโซนออกจากห้องในระบบปิด เนื่องจากในปัจจุบันต้องใช้เวลาประมาณ 5-10 นาที ในการกำจัดโอโซนออกจากห้อง ในส่วนถัดมา

เป็นการจัดหากล้วยไม้และแมลงศัตรูพืชมาทดลองในปริมาณเยอะก่อนข้างจะจัดหาได้ลำบาก และวัสดุในห้องทดลองไม่ควรเป็นเหล็กเนื่องจากโอโซนสามารถทำให้เกิดสนิมได้ แต่สามารถแก้ปัญหาโดยการทาสีหรือแล็กเกอร์ จะสามารถป้องกันไม่ให้โอโซนได้ทำลายวัสดุได้

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางการพัฒนาในอนาคตออกแบบระบบให้มีเครื่องผลิตออกซิเจนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตโอโซนที่ติดตั้งในระบบเลย จะได้สามารถทำงานได้ครบครัน และออกแบบให้ระบบสามารถนำไปใช้ในโรงอบขนาดใหญ่เพื่อตอบสนองต่อการใช้ในอุตสาหกรรมกล้วยไม้ขนาดใหญ่ และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชในสินค้าเกษตรกรรมชนิดอื่น ๆ ในการส่งออกได้



รายการอ้างอิง

- Boonduang, S., & Limsuwan, P. (2013). Effect of Generating Heat on Ozone Generation in Dielectric Cylinder-Cylinder DBD Ozone Generator. *Energy and Power Engineering*, 05, 523-527. doi:10.4236/epe.2013.59057
- Boonduang, S., Limsuwan, S., Kongsri, W., & Limsuwan, P. (2012). Effect of Oxygen Pressure and Flow Rate on Electrical Characteristic and Ozone Concentration of a Cylinder-Cylinder DBD Ozone Generator. *Procedia Engineering*, 32, 936 - 942. doi:https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.035
- Factsheet, C. P. (2016). Product Factsheet Cut orchids in the Southern European Market.
- Hollingsworth, R., & Armstrong, J. (2005). Potential of Temperature, Controlled Atmospheres, and Ozone Fumigation to Control Thrips and Mealybugs on Ornamental Plants for Export. *Journal of economic entomology*, 98, 289-298. doi:10.1603/0022-0493-98.2.289
- Jodpimai, S., Boonduang, S., & Limsuwan, P. (2015). Dielectric barrier discharge ozone generator using aluminum granules electrodes. *Journal of Electrostatics*, 74, 108-114. doi:https://doi.org/10.1016/j.elstat.2014.12.003
- Ketkaew, S. (2549). Ozone Gas Generation Using High Voltage at High Frequency Electric Field.
- Kshirsagar, N., & Joshi, S. (2019). Air Flow Pattern Simulation of Low Temperature Drying Cabinet. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.3347676
- Lerthiran, P. N. (2019). Orchid Products [Office of Agricultural and Industrial Trade Promotion]. Retrieved
- Niakousari, M., Erjaee, Z., & Javadian, S. (2010). Fumigation Characteristics of Ozone in Postharvest Treatment of Kabkab Dates (*Phoenix dactylifera* L.) against Selected Insect Infestation. *Journal of food protection*, 73, 763-768. doi:10.4315/0362-028X-73.4.763
- Standard, A. A. (2013). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.
- Weber, A., Moecke, E., Krebs de Souza, C., Ratto Reiter, M. G., Scussel, V., & Soares, C. (2018). Use of Ozone Gas as a Green Control Alternative to Beetles *Alphitobius diaperinus* (Panzer) Infestation in Aviary Bed Utilized in the Poultry Industry. *Chemical Engineering*

Transactions, 64. doi:10.3303/CET1864099

Zahar, I., Yuliani, Y., Yulianto, E., Meliza, M., Susan, A., Sumariyah, S., & Nur, M. (2018).

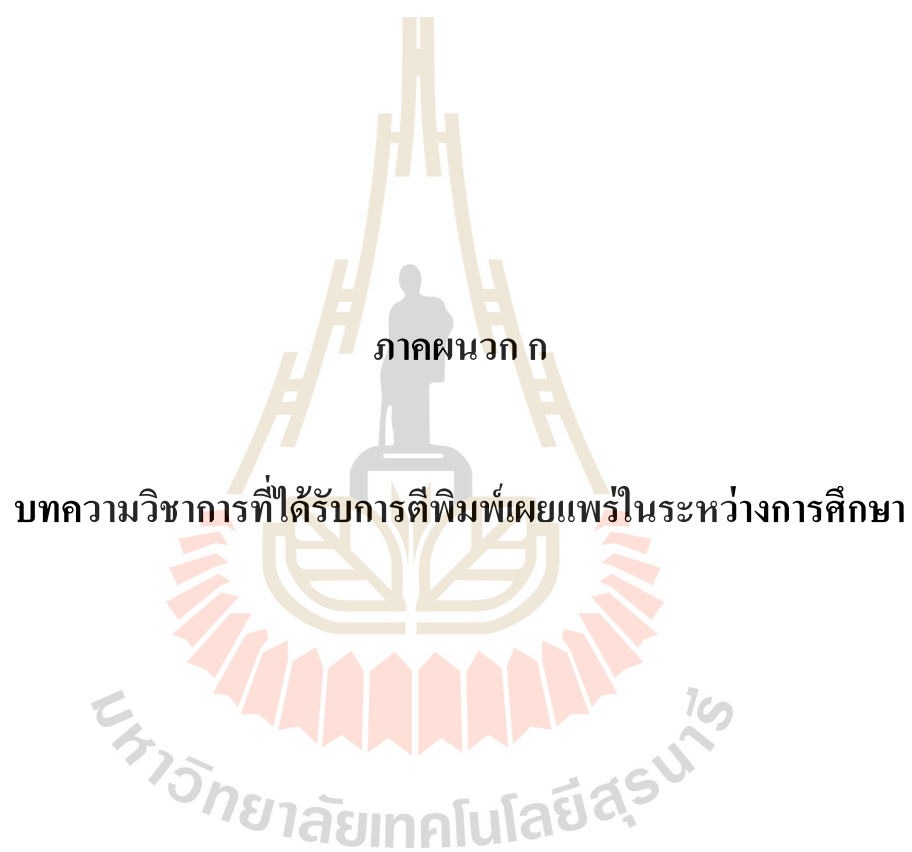
Determination of ozone distribution in fish cold storage dedicated plasma ozone technology. *MATEC Web of Conferences*, 197, 02005. doi:10.1051/mateconf

แซ่ดั้น, ส. (2537). เทคนิคการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย.

ธรรมอักษร, อ. (2550). การจำลองระบบระบายอากาศชนิดไหลในแนวตั้งอย่างสม่ำเสมอโดยเทคนิคคำนวณพลศาสตร์ของไหล.

พุทธธนาศักดิ์, ป. (2552). การจำลองการไหลเวียน และการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องสะอาดที่ใช้ ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล.





ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Kachaporn Lhathum, Supawat Kotchpradit, Thanaset Thosdeekoraphat, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa **Analysis and Design of Microwave Plasma for Ozone Generator System by Using Magnetron Tube**, 2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2018) /Paradise Hotel Busan, Busan, Korea, October 23-26, 2018



Analysis and Design of Microwave Plasma for Ozone Generator System by Using Magnetron Tube

Kachaporn Lhathum*, Supawat Kotchapidit, Thanaset Thosdeekoraphat*, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa

School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

* Email: M6041496@sut.ac.th, Thanaset@sut.ac.th

Abstract - In this paper, present analysis and design of microwave plasma for ozone generator system. The principle of magnetron tube to transfer microwave energy in waveguide type of cavity operated at 2.45 GHz. Then electrons move along electromagnetic fields incur plasma, then the oxygen is transferred through quartz tube and plasma incur ozone. The experiment for 10 minutes can create the ozone 24.5 (mg/m³) in area (100x100x100) cm³ by use power 850 watt.

Index Terms — Microwave plasma, ozone, waveguide cavity.

1. Introduction

At present, ozone is a widely used technology in industrial, such as wastewater treatment, get rid of air pollution, and medical. The ozone is generated naturally at stratosphere or lightning, which it not enough for use in the industry. Ozone can be generated in many ways such as Corona Discharge, Radiochemical method and Electrolysis. There is one more interesting way is generator ozone with method microwave plasma. Our ozone created by plasma arc high frequency technology. Which generator frequency 2.45 GHz by magnetron and has electrode is arc plasma [1]-[3], it is separates oxygen into single molecules. When the oxygen is moving through quartz tube will cause the formation of oxygen, causing ozone. As isolation of high microwave plasma [4], this is also a technology in advanced production [5]-[6], ozone is very concentrated and high volume. And a low cost of production. It is a very interesting way to generator ozone.

2. Theory and Methods experiment

In the ozone generator with microwave plasma high frequency use 2.45 GHz magnetron inside consists cathode and anode for generator electric field. Then wave propagation to quartz tube, engender the free electrons of the gas get enough energy, the internal electrons collide with the atoms, causing the electrons to fall off the atoms and become a fast-chain reaction. The number of electrons removed from the atom increases. The higher the number of electrons, the greater the chance for gas to break up and become plasma, then oxygen is moving through quartz tube will cause the formation of oxygen causing ozone. The microwave generator has power supply two part that is 1) Low volt High current use for used to heat the cathode to release electrons.

2) High volt Low current use for generator plasma, that created by the principle electromagnetic field high frequency with gas neutral electric using 2.45 GHz magnetron generator, the power travels through the waveguide cavity to resonance cavity. When free electron of gas is get enough energy, the electrons break off from the atoms and become fast-acting. The electrons are increased get gas is split become plasma. For design waveguide cavity, the material used is stainless steel and Design with program CST mode TE01. The frequency cut off is 1.74 GHz calculate from equation (1).

$$f_{\text{cutoff}} = \frac{1}{2\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (1)$$

Wavelength of frequency cut off is 17.2 cm calculate from equation (2).

$$\lambda_{\text{cutoff}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2}} \quad (2)$$

Size of waveguide cavity Show in Fig. 1 by use stainless create waveguide because it is durable and does not rust.

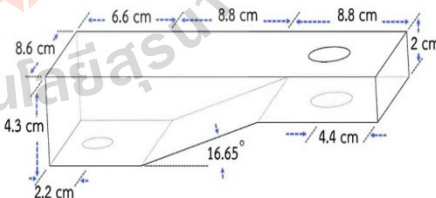


Fig. 1. Design wave guide cavity for generator Plasma For production ozone.

The design waveguide cavity for simulation of the magnetic field show in Fig. 2.

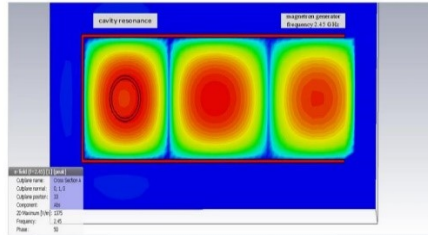


Fig. 2. Simulation waveguide cavity of the magnetic field.

3. Results

The experiment of an ozone generator system operating at high frequency by using microwave plasma. Then wave propagation through waveguide cavity to the resonance cavity oxygen flows through quartz tube, which is use 0.25 bar oxygen pump, will cause ozone with high volume and concentration. Then transfer ozone into closed system has a size (100x100x100) cm³. And measure the value of ozone is 24.5 (mg/m³) per 10 minutes, The results test show in Fig.4.

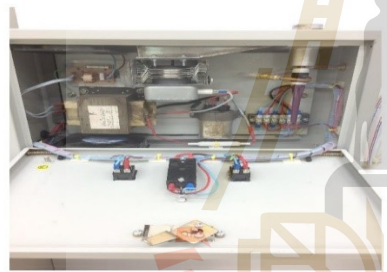


Fig. 3. System of generator ozone by using the 2.45 GHz microwave plasma

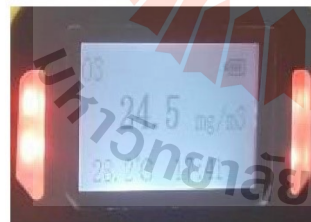


Fig. 4. Measure the value of ozone

Table I shows the experimental results. In time 10 minutes, we can have created ozone 24.5 (mg/m³) in closed sytem. And use power 850 watt. After the trial not have toxic residue.

TABLE I Shows the volume ozone, aphid death rate.

Time(minute)	Ozone (mg/m ³)
2	8.5
4	15.5
6	19
8	23
10	24.5

4. CONCLUSIONS

This paper present analysis and design of an ozone generator system operating at high frequency by use microwave plasma and the magnetron generator frequency 2.45 GHz, can be produced ozone very quickly and efficiently. And energy saving.

Acknowledgment

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT)

References

- [1] M. Moisan, G. Sauve, Z. Zakrzewski, and J. Hubert, "An atmospheric pressure waveguide-fed microwave plasma torch: The TLA design," *Plasma Sour. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 584–592, 1994.
- [2] A. I. Al-Shamma'a, S. R. Wylie, J. Lucas, and C. F. Pau, "Design and construction of a 2.45 GHz waveguide-based microwave plasma jet at atmospheric pressure for material processing," *J. Phys. D, Appl. Phys.*, vol. 34, no. 18, pp. 2734–2741, 2001.
- [3] Ali Gulec, Ferhat Bozduvan, and Ahmed M. Hala, "Atmospheric Pressure 2.45-GHz Microwave Helium Plasma" *IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE*, VOL. 43, NO. 3, MARCH 2015.
- [4] Bosisio, RG.; Wertheimer, MR; Weissfloch, CT *Generation of large volume microwave plasmas*. *J. Phys.* n° 1973, 6,628-630.
- [5] Taiwo, Odedairo; Jun, Ma; Yi, Gu; Wei, Zhou; Jian, Jin; X S.Zhao; Zhonghua, Zhu. *A new approach to nanoporous graphene sheets via rapid microwave-induced plasma for energy applications*. *Nanotechnology* 2014, 25, 604-614.
- [6] Dashaui Li, Ling Tong, Bo Gao, Yu Tian "The Study of 2.45 GHz Atmospheric Microwave Plasma Generator" 628-632.
- [7] Marek Kopački, Agnieszka Starck, Piotr Kiczorowski, Joanna Pawlat, Jaroław Diatczyk "Efficacy of Ozone Fumigation to Control *Euphydryx Decemnotata* in Rosemary Growing Under Cover" 978-1-5386-1943-8/17/\$31.00 ©2017 IEEE.
- [8] J. Mizeraczyk, M. Dors, M. Jasiński, B. Hrycak., D. Czylikowski, "Atmospheric pressure low-power microwave microplasma source for deactivation of microorganisms", *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 61(2), 2013, 24309.
- [9] J. Pawlat, "Atmospheric pressure plasma jet for decontamination purposes", *Eur. Phys. J. Appl. Phys.* 61(2), 2013, 24323.
- [10] K. Ito, S. Inoue, Y. Hiraku, S. Kawanishi, M. Kivan, "Mechanism of site-specific DNA damage induced by ozone", *Mutat Res.* 2005 Aug 1,585(1-2), pp. 60-70.

ประวัติผู้เขียน

นายคชาภรณ์ หล้าธรรม เกิดเมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2537 ที่อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาต้นและตอนปลายที่โรงเรียนวังจันทร์วิทยา อำเภอวังจันทร์ จังหวัดระยอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมาเมื่อ พ.ศ. 2560 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

