



รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนด้วยหลักการโคโรนาดิสชาร์จเพื่อนำมาใช้ใน  
การยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

The Constructing an Ozone Generator Using the Corona Discharge  
Principle to Extend the Shelf life of Fruits and Vegetables

รหัสโครงการ 196117

โดย

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

ภควัต เกอะประสิทธิ์

พูนศรี วรรณการ

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม



รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

การสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนด้วยหลักการโคโรนาดิสชาร์จเพื่อนำมาใช้ใน  
การยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้

The Constructing an Ozone Generator Using the Corona Discharge  
Principle to Extend the Shelf life of Fruits and Vegetables

รหัสโครงการ 196117

โดย

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

ภควัต เกอะประสิทธิ์

พูนศรี วรรณการ

เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2568

งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund)

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

จากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม



## บทคัดย่อ

สำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ขนาดใหญ่เพื่อเป็นทางเลือกในการไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยระบบที่สร้างนี้ต้องการนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการรมสารเคมีก่อนส่งออกสินค้า ออกไปต่างประเทศจากเดิมที่ใช้สารเคมีชนิดเมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) ในการรมแต่ปัจจุบันเมทิลโบรไมด์ถูกระบุว่าเป็นสารที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศเป็นสาเหตุให้เกิดโลกร้อน และฟอสฟีนเป็นสารเคมีที่ใช้ระยะเวลารมนานซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้กับกล้วยไม้ ที่ผ่านมามีผู้ ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการนำโอโซนไปกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ เฟลี่ยไฟ และไรแดง ที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้ส่งออกแต่ระบบนั้นเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเกี่ยวกับการนำโอโซนไปกำจัดแมลงในระบบขนาดใหญ่ ให้สามารถประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้โดยระบบผลิตโอโซนที่ออกแบบสร้างขึ้นนั้น สามารถสร้างความเข้มข้นโอโซนได้ 550 ในระยะเวลา 30 นาที ภายในห้องที่มีปริมาตร นำเทคโนโลยีเกี่ยวกับโอโซนมาประยุกต์ใช้สำหรับกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ในปัจจุบันและอนาคต

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาในการทำงานหมดของระบบ จะใช้เวลาอยู่ที่ 90 นาที ซึ่งใช้ กำลังไฟฟ้า 2,647 วัตต์ หลังจากการทดลองกล้วยไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากการรมโอโซนและ ไม่ทิ้งสารเคมีตกค้างงานวิจัยนี้ จึงเป็นทางเลือกในการพัฒนา

จากการทดลองนำแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ชนิดเฟลี่ยไฟและไรแดงไปทดลองรมโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 550 ถึง 650 ppm ในระยะเวลา 60 นาที สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชทั้งสองชนิดนี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ระบบทำงาน ดังนี้กำหนดให้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังท่อผลิตโอโซน 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศที่ 60 ลิตร/นาที อัตราการไหลของออกซิเจนบริสุทธิ์ ที่ 5 ลิตร/นาที อุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง

**คำสำคัญ:** โอโซนเป็นก๊าซที่ถือกำเนิดขึ้นมาโดยธรรมชาติ เช่นจาก ปฏิกิริยาการแผ่รังสีแสงจากดวงอาทิตย์

## Abstract

As for the application in the export industry of large orchids, as an alternative method of non-chemical pesticides, the system thus built hopes to apply the products to the chemical preservation process before export, while the goods exported abroad were originally treated with methyl methoxy (methyl) and phosphide (phosphide), but at present, methyl methoxy is recognized as an ozone-depleting substance in the atmosphere, which leads to global warming, and phosphide is a long-term chemical substance that is not suitable for orchids.

In this paper, a design scheme of 30 ~ 35°C high concentration ozone generator is proposed. The power consumption of the system is 90 minutes and 2647 watts. After experiments, orchids are not affected by ozone pollution and do not emit any chemical residues, so this study is the choice for development.

Through experiments, the pests in orchids, violets and violets were introduced into the ozone layer at the concentration level of 550 ppm to 650 ppm, and the two pests could be removed 100% within 60 minutes. Through parameter configuration, the system runs. Provisions: the voltage applied to the ozone production pipeline is 3600v, the air flow rate is 60 l/min, and the pure oxygen flow rate is 5 l/min, which is within the indoor temperature range.

**Keywords:** Ozone is a gas that is created naturally, such as from lightning strikes.  
light from the sun

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัย การสร้างเครื่องกำเนิดก๊าซโอโซนด้วยหลักการโคโรนาดิสชาร์จเพื่อนำมาใช้ในการยืดอายุการเก็บรักษาผักและผลไม้ สามารถสำเร็จไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม งบประมาณสนับสนุนงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 และการสนับสนุนเครื่องมือ บุคลากร สำหรับการดำเนินการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนต่างๆที่สนใจให้ข้อมูลในการดำเนินการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณะผู้วิจัย นักวิชาการ กลุ่มชาวบ้านในวิสาหกิจชุมชนที่สนใจทุกท่าน ที่ช่วยเหลือสนับสนุนข้อมูล และข้อมูลในทุกๆด้านสำหรับการวิจัย จึงขอขอบคุณทุกท่านเหล่านั้นไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้วิจัย



## สารบัญ

|                                                                     | หน้า  |
|---------------------------------------------------------------------|-------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                                                     | ก     |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                                                  | ข     |
| กิตติกรรมประกาศ                                                     | ค     |
| สารบัญ                                                              | ง-ฉ   |
| สารบัญภาพ                                                           | ช-ฅ   |
| สารบัญตาราง                                                         | ญ     |
| บทที่ 1 บทนำ                                                        | 1     |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย                          | 1-3   |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย                                         | 3     |
| 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย                                            | 3     |
| 1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น                                                | 3     |
| 1.5 ขอบเขตของการวิจัย                                               | 4     |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ                                       | 4     |
| 1.7 ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย                                       | 4-5   |
| 1.8 นิยามคำศัพท์เฉพาะ                                               | 5     |
| 1.9 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                          | 5-8   |
| 1.10 รายละเอียดในการวิจัย                                           | 8-9   |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง                                | 10    |
| 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน                     | 10-19 |
| 2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง | 19-21 |
| 2.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องรมโอโซน  | 22-23 |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                      | หน้า      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>                                                      | <b>24</b> |
| 3.1 แผนผังการดำเนินการ                                                               | 24        |
| 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน                                                              | 25        |
| 3.3 ระเบียบวิธีวิจัย                                                                 | 25        |
| 3.4 สถานที่ทำการวิจัย                                                                | 25        |
| 3.5 เครื่องมือที่ใช้วิจัย                                                            | 25-26     |
| 3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล                                                              | 26        |
| 3.7 การวิเคราะห์และออกแบบระบบผลิตโอโซน                                               | 26-34     |
| 3.8 การวิเคราะห์ออกแบบสร้างห้องรมโอโซน                                               | 34-39     |
| <b>บทที่ 4 การวัดและการทดลอง</b>                                                     | <b>40</b> |
| 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน                                              | 40-47     |
| 4.2 ปริมาณโอโซนภายในห้อง                                                             | 48-49     |
| 4.3 อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน                                               | 49-51     |
| 4.4 ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้                        | 51-53     |
| 4.5 การทดลองนำกล้วยไม้และเพลี้ยไฟมาทดลองในระบบใหญ่                                   | 53-54     |
| 4.6 การเลือกใช้ขนาดไดอิเล็กทริกของหลอดโอโซน(ฉนวนแก้ว)                                | 54        |
| 4.7 ออกแบบและการทดลองกับผลไม้ประเภทองุ่น                                             | 55        |
| 4.8 ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบของุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน กับเครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน | 56-58     |
| 4.9 ทำการทดลองโดยใช้เครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ                      | 59-61     |
| 4.10 ทดสอบอายุการเก็บรักษาตัวอย่าง                                                   | 62        |
| 4.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างหลังจากเก็บรักษานาน 3 วัน                        | 63-64     |
| 4.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างหลังจากเก็บรักษานาน 5 วัน                        | 65-66     |
| 4.13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างหลังจากเก็บรักษานาน 7 วัน                        | 67-68     |
| 4.14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างหลังจากเก็บรักษานาน 11 วัน                       | 69-70     |
| 4.15 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างหลังจากเก็บรักษานาน 17 วัน                       | 71        |
| <b>บทที่ 5 บทสรุป</b>                                                                | <b>72</b> |
| 5.1 สรุปเนื้อหาการวิจัย                                                              | 72        |
| 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ                                                               | 72        |

## สารบัญ (ต่อ)

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต | 73    |
| บรรณานุกรม                | 74    |
| ภาคผนวก ก                 | 75-82 |



## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                       | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แสดงถึงหลักการกำเนิดโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD)                   | 14   |
| 2.2 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ                                  | 14   |
| 2.3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ                            | 17   |
| 2.4 ขั้นตอนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอค่าความเครียดสนามไฟฟ้า               | 17   |
| 2.5 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field  | 18   |
| 2.6 การทำงานวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์                                     | 20   |
| 2.7 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์                                             | 20   |
| 2.8 หม้อแปลงความถี่สูง                                                       | 21   |
| 2.9 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ                                                | 22   |
| 2.10 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน                                               | 23   |
| 2.11 การไหลของอากาศแบบผสม                                                    | 23   |
| 3.1 แผนผังการดำเนินงาน                                                       | 24   |
| 3.2 แสดงหลักการทำงานของระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้        | 27   |
| 3.3 ระบบกำเนิดโอโซนความเข้มข้นเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้     | 28   |
| 3.4 ส่วนประกอบของระบบผลิตโอโซน                                               | 29   |
| 3.5 วงจรสวิตซ์ซิ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)                         | 30   |
| 3.6 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซิ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)                    | 30   |
| 3.7 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency) | 31   |
| 3.8 หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone Tube)                                             | 31   |
| 3.9 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างโอโซน                           | 32   |
| 3.10 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตโอโซน                                | 32   |
| 3.11 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ             | 33   |
| 3.12 เครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูง                                          | 33   |
| 3.13 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซิ่ง             | 34   |
| 3.14 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตโอโซน                         | 34   |
| 3.15 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน                         | 36   |
| 3.16 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซนที่ภายในมีชั้นกล้วยไม้   | 37   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                                                        | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 3.17 ออกแบบโครงสร้างห้องรมโอโซนและชั้นวางกล้วยไม้                                             | 38   |
| 3.18 ห้องรมโอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตรและแสดงตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้า                        | 38   |
| 3.19 พัดลมสำหรับระบายอากาศ                                                                    | 39   |
| 3.20 ชั้นวางกล้วยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมโอโซน                                                   | 39   |
| 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิง                   | 41   |
| 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน | 41   |
| 4.3 สัญญาณไฟฟ้าที่วงจรสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย                                                | 41   |
| 4.4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน                                                      | 42   |
| 4.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซโอโซน                                                 | 43   |
| 4.6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตโอโซน                                                     | 44   |
| 4.7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซน                                                     | 45   |
| 4.8 กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น Keysight U5855A                                                  | 46   |
| 4.9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง                                                        | 46   |
| 4.10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ                                                       | 47   |
| 4.11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซน                                                         | 48   |
| 4.12 การวัดโอโซนที่ตำแหน่งต่างๆ                                                               | 48   |
| 4.13 ผลการวัดโอโซนภายในห้องที่ตำแหน่งต่างๆ บนชั้นวางกล้วยไม้                                  | 49   |
| 4.14 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่างๆ บนชั้นวางกล้วยไม้                                 | 49   |
| 4.15 กล้วยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากโอโซน                                                         | 53   |
| 4.16 องุ่นไขปลาคา                                                                             | 55   |
| 4.17 แผนผังการศึกษา                                                                           | 55   |
| 4.18 แผนผังการทดลองจำนวน 3 ครั้ง                                                              | 56   |
| 4.19 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน 220 V ผลิตโอโซนที่ 3 กรัมต่อชั่วโมง                        | 57   |
| 4.20 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน                                                            | 57   |
| 4.21 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน                                                            | 58   |
| 4.22 ลักษณะทางกายภาพขององุ่น                                                                  | 58   |
| 4.23 วงจรไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการผลิตโอโซน                                                         | 59   |



## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่                                                         | หน้า |
|----------------------------------------------------------------|------|
| 4.24 ขั้นตอนการต่อวงจรทดสอบความสามารถในการผลิตก๊าซโอโซน        | 59   |
| 4.25 กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ได้จากการใช้แรงดันของอิเล็กโทรด     | 60   |
| 4.26 ขั้นตอนการป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม                 | 60   |
| 4.27 ปั๊มลมเพื่ออัดโอโซนให้อุ่นไขปลา                           | 61   |
| 4.28 ปั๊มลมในการทดสอบเติมก๊าซโอโซนให้อุ่นไขปลาเป็นเวลา 30 นาที | 61   |
| 4.29 แผนผังการจัดเก็บ                                          | 62   |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                               | หน้า  |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1.1 ตารางระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน                                    | 4-5   |
| 2.1 แสดงกลไกการชนกันของก๊าซในลักษณะต่าง ๆ                              | 10-11 |
| 2.2 กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นไอออน                                  | 11    |
| 3.1 แสดงปริมาณไอออนที่ผลิตได้จากการอัตราการไหลของออกซิเจนและอากาศ      | 29    |
| 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอออน                                | 42    |
| 4.2 แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิตไอออนในขณะที่ทำงานต่อเนื่อง           | 47    |
| 4.3 ระดับความเข้มข้นไอออนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง        | 50-51 |
| 4.4 ผลการทดสอบกล้วยไม้ตัดดอกที่ได้รับไอออน                             | 51-52 |
| 4.5 ต้นกล้วยไม้ที่รับผลกระทบจากไอออน                                   | 52-53 |
| 4.6 ค่าพารามิเตอร์ในการรมไอออนในห้องขนาดใหญ่                           | 54    |
| 4.7 ผลการทดลองในการรมไอออนในห้องขนาดใหญ่เพื่อหาอัตราการของแมลงศัตรูพืช | 54    |
| 4.8 แสดงการผลิตไอออนของหลอดไอออนขนาด 2 มิลลิเมตร                       | 60    |
| 4.9 ผลการเก็บรักษาอ่อนเป็นเวลา 3 วัน                                   | 63-64 |
| 4.10 ผลการเก็บรักษาอ่อนเป็นเวลา 5 วัน                                  | 65-66 |
| 4.11 ผลการเก็บรักษาอ่อนเป็นเวลา 7 วัน                                  | 67-68 |
| 4.12 ผลการเก็บรักษาอ่อนเป็นเวลา 11 วัน                                 | 69-70 |
| 4.13 ผลการเก็บรักษาอ่อนเป็นเวลา 17 วัน                                 | 71    |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน ความเข้มข้นสูง เพื่อประยุกต์ใช้ในขั้นตอนรมสารเคมี ของอุตสาหกรรมกล้วยไม้ส่งออก เนื่องจากที่ผ่านมาสารเคมีชนิด เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) ได้ถูกห้ามใช้ เพราะ ส่งผล ต่อการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ และในส่วนของสารเคมีชนิดฟอสฟีน (Phosphine) นั้นต้องใช้เวลาในการรมและระบายค่อนข้างนาน ซึ่งทำให้เกิดสารเคมีตกค้างในบริเวณนั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อนำไปใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ที่อยู่ในกล้วยไม้ส่งออกใน ระยะเวลาสั้น ๆ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิต โอโซน ความเข้มข้นสูงผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบ และให้สามารถผลิตโอโซน ได้ปริมาณความเข้มข้นสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้ใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation ในการออกแบบและจำลองการแพร่กระจายของโอโซนที่อยู่ในห้องเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการติดตั้งท่อเพื่อจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องซึ่งมีผลต่อทิศทางการไหลของโอโซนภายในห้อง

กล้วยไม้ถือเป็นสินค้าส่งออกทางเกษตรที่มีความสำคัญและเป็นหนึ่งในสินค้าที่เป็น สัญลักษณ์ของประเทศไทยสามารถนำรายได้เข้า ประเทศได้ไม่น้อยและมีบทบาทที่สำคัญต่อ เศรษฐกิจของประเทศไทยที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งถูกกำหนด ให้เป็นพืชในกลุ่ม ProductChampion ที่สามารถทำรายได้สูงและมีปริมาณการส่งออกในสัดส่วนที่สูงสายพันธุ์ที่ส่งออก ได้แก่ สกุหลาวาย ม็อคคาร่า และ แวนดา ช่วงผลผลิตสูง 2 ช่วง คือเดือน กุมภาพันธ์ - มีนาคม และเดือน สิงหาคม – กันยายน พื้นที่ปลูก กล้วยไม้ในประเทศไทยมีประมาณ 20,000 ไร่ โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-2 ต่อปี พื้นที่เพราะปลูก และสถานประกอบการเพื่อการส่งออกดอกกล้วยไม้โดยส่วนมากอยู่ในภาคกลาง ของไทย ได้แก่ จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดราชบุรี และจังหวัดนนทบุรี ผลผลิตที่ ส่งออกแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ ต้นกล้วยไม้และดอกกล้วยไม้ถูกส่งออกไปจำหน่ายที่ ต่างประเทศเฉลี่ย 44,000-47,000 ต้น/ปี เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1-2 ต่อปี ซึ่งการส่งออกดอกกล้วยไม้ ร้อยละ 95 ของกล้วยไม้ที่ส่งออกทั้งหมดเป็นกล้วยไม้สกุลหวาย โดยมีประเทศคู่ค้าในการส่งออก กล้วยไม้ของไทยแบ่งออกเป็น ตลาดเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น เวียดนาม จีน เกาหลีใต้ โดยตลาด ญี่ปุ่น ลูกค้าที่สำคัญที่สุดตลาดยุโรป ได้แก่ อิตาลี เนเธอร์แลนด์ อเมริกา ออสเตรเลีย โดยตลาดอิตาลีเป็นลูกค้าที่สำคัญ โดย

แยกเป็นปริมาณการส่ง ออกร้อยละ 40 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60 เป็นการผลิตเพื่อ ใช้ในประเทศซึ่งเป็นกล้วยไม้ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานการส่งออก โดยมาตรฐาน กล้วยไม้ แห่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำต้องปลอดศัตรูพืชขณะนั้นการปรับปรุงคุณภาพมาตรฐาน การส่งออก (Lerthiran, 2019) จึงจำเป็นต้อง ตระหนักถึงปัญหาการระบาดของศัตรูพืชและปริมาณ ของสารเคมีตกค้าง เป็นต้น หลายปีที่ผ่านมากล้วยไม้ที่ส่งไปยังสหภาพยุโรป ประสบปัญหา ในด้านการส่งออกโดยพบแมลงศัตรูพืชที่มีชีวิตติดไปกับดอกกล้วยไม้โดยเฉพาะเพลี้ยไฟและพบสารเคมี ตกค้างเกินกว่าค่ามาตรฐาน สหภาพยุโรปกำหนด (Factsheet, 2016) ทำให้มีการเผาทำลายกล้วยไม้ ดังกล่าว จึงก่อให้เกิดความเสียหาย แก่ผู้ประกอบการส่งออก กล้วยไม้ เกษตรกร โดยวิธีการ พ่นสารเคมีกำจัดแมลงสามารถลดประชากรของแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้กล้วยไม้ได้ ระดับหนึ่ง แต่ก็ไม่สามารถกำจัดแมลง ที่หลบซ่อนอยู่ ส่วนต่างของกล้วยไม้ได้หมด และหากใช้ ในปริมาณมากจะทำให้เกิดสารตกค้าง ดังนั้นการหาวิธี การป้องกัน และกำจัดแมลงที่เป็น ศัตรูของกล้วยไม้ก่อนการส่งออกจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นประเทศไทยได้กำหนดให้ใช้วิธีการรมสารเคมีเพื่อป้องกัน และ กำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืชในผลผลิตของเกษตรกรก่อนการส่งออกมาเป็นเวลานาน สารรมมีอยู่หลายชนิดแต่ที่นิยมมากคือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ในปัจจุบันการรมด้วยสารรมทั้งสองชนิดเป็นที่นิยมน้อย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออกสารรม เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) เป็นที่นิยมใช้เนื่องจากประสิทธิภาพดีและใช้เวลาในการรมสั้นแต่ เนื่องจากการใช้สารเมทิลโบรไมด์ ถูกระบุว่าเป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศและแมลง บางชนิดเกิดการดื้อยา (Niakousari, Erjaee, & Javadian, 2010) ในส่วนของฟอสฟีนใช้เวลา ในการรมค่อนข้างนาน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีที่สามารถใช้กำจัดศัตรูพืชได้หมดโดยไม่ใช้สารเคมี และไม่มีสารเคมีตกค้างจึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของ ปัญหาดังกล่าว จึงได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์ และ หลักการทางวิศวกรรมศาสตร์มาแก้ปัญหาเหล่านี้ จากการศึกษาพบว่าโอโซนเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติที่ประกอบ ด้วยออกซิเจน 3 อะตอม และสามารถเจือจางใน สภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็วโดยมีงานวิจัยที่นำโอโซนไปใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืช ในภาค การเกษตรทั้งระยะยาวและระยะสั้น รวมถึงการนำมากำจัดแมลงที่อยู่ในไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ที่โอโซนความเข้มข้นสูง สามารถกำจัดแมลงได้ ในระยะเวลาอันสั้นและในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ทำให้แมลงตายนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) การพัฒนาระบบผลิตโอโซนให้ความเข้มข้นสูงให้สามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้จึงเป็นสิ่งที่น่า – สนใจอย่างยิ่ง

ดังนั้นความสำคัญ และที่มาของปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมี การศึกษา และ ออกแบบระบบผลิต โอโซนความเข้มข้นสูง ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบ อุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้มีการศึกษาหลักการเกี่ยวกับการกำเนิดโอโซน จากหลักการสนามไฟฟ้า รูปแบบทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนด้วย สนามไฟฟ้า วิธีการ ควบคุม ปริมาณการผลิตโอโซนในระบบจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ เกิดขึ้นเพื่อนำไปปรับแก้ให้ระบบสามารถพัฒนา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องผลิตโอโซนให้สามารถทำงาน ได้อย่างมี ประสิทธิภาพ
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบให้สามารถผลิตปริมาณความเข้มข้นโอโซนได้ เพียงพอต่อการกำจัดแมลงในห้องรมโอโซนขนาดใหญ่
- 1.2.3 เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้
- 1.2.4 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ส่งผลต่อตายของแมลง ศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

## 1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

แมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ได้แก่เพลี้ยไฟและไรแดงเป็นแมลงที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ถ้าบริเวณนั้นเป็นระบบปิดสามารถควบคุมปริมาณของโอโซนให้มีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้แมลง เหล่านี้ถึงแก่ความตาย เนื่องจากโอโซนจะเข้าไปทำลายระบบหายใจของแมลงที่เหล่านี้ที่อาศัยอยู่ตาม กล้วยไม้

## 1.4 ข้อยกตั้งเบื้องต้น

- 1.4.1 ศึกษาการสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงที่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้
- 1.4.2 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลต่ออัตราการตายของแมลงที่เป็นศัตรูพืช จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.3 วิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้สามารถสร้างปริมาณโอโซนให้ มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้สามารถผ่าน กระบวนการผลิตได้ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน
- 1.4.4 ทดสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในห้องที่ใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อ นำไปวิเคราะห์หาอัตราการตายของแมลงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับเทคโนโลยีการผลิตโอโซนและการนำโอโซนมากำจัดแมลงในรูปแบบต่างๆที่มีอยู่ในปัจจุบัน
- 1.5.2 วิจัยพัฒนาออกแบบและสร้างระบบเครื่องกำเนิดโอโซนให้สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้
- 1.5.3 ทดสอบระบบวัดและควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ของระบบกำเนิดโอโซนอัตราการไหลของออกซิเจนอัตราการไหลของอากาศอุณหภูมิและความชื้นของห้องทดลองรวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเปลี้ยไฟและกล้วยไม้

### 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้ระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชอุตสาหกรรมกล้วยไม้ได้
- 1.6.2 ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นแนวทางให้กับเกษตรกร หรือ อุตสาหกรรม การส่งออกกล้วยไม้ให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เพื่อยกระดับและต่อยอดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- 1.6.3 รู้จักการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบเพื่อนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้งานในด้านอื่น ๆ เพื่อแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติและสามารถนำความรู้ไปใช้ประกอบวิชาชีพได้

### 1.7 ตารางแผนการดำเนินงานวิจัย

ตารางที่ 1.1 ตารางระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

| กิจกรรมและขั้นตอนการดำเนินงาน                           | ระยะเวลา 4 เดือน<br>(พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ 2566) |      |      |      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|
|                                                         | พ.ย.                                            | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. |
| 1. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                  |                                                 |      |      |      |
| 2. ศึกษาการประยุกต์การใช้โอโซนต่อการกำจัดศัตรูพืช       |                                                 |      |      |      |
| 3. ออกแบบการจัดการรวมโอโซนกับศัตรูพืชที่มีผลต่อกล้วยไม้ |                                                 |      |      |      |
| 4. ทดลองประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล                      |                                                 |      |      |      |
| บันทึกผลและสรุปผลการทดลอง                               |                                                 |      |      |      |

| กิจกรรมและขั้นตอนการดำเนินงาน  | ระยะเวลา 4 เดือน<br>(พฤศจิกายน-กุมภาพันธ์ 2566) |      |      |      |
|--------------------------------|-------------------------------------------------|------|------|------|
|                                | พ.ย.                                            | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. |
| 5. จัดทำรายงานวิจัยเป็นรูปเล่ม |                                                 |      |      |      |

### 1.8 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

โอโซนเป็นก๊าซที่ถือกำเนิดขึ้นมาโดยธรรมชาติ เช่นจาก ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า แสงจากดวงอาทิตย์

### 1.9 บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันมีการนำโอโซนมาประยุกต์ใช้กับการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรม การเกษตรอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นก๊าซที่เข้าไปทำลายระบบหายใจของสิ่งมีชีวิตได้อย่างฉับพลัน และสลายตัวในอากาศได้อย่างรวดเร็วที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นสูง ศึกษาการกระจายตัวของอากาศภายในห้อง เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการกระจายตัวของโอโซน และศึกษาถึงอัตราการตายของแมลงศัตรูพืช ชนิดต่าง ๆ จากการได้รับโอโซนในปริมาณความเข้มข้นต่าง ๆ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การดำเนินการวิจัยตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่ ประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็น ฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกัน อย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และ ELSEVIER นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัย จากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจากผลการ สืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึง บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้ งานวิจัยที่ เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการออกแบบการกระจายตัว ของอากาศ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง และเกี่ยวข้องกับการนำ โอโซนมาใช้กำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในกลุ่มเกษตรกรรม

1.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนเพื่อพัฒนาใช้ใน อุตสาหกรรม เป็นงานวิจัยของ (Jodpimai, Boonduang, & Limsuwan, 2015) ได้ทำการออกแบบ ระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงโดยใช้แหล่งกำเนิดโอโซนชนิดที่เป็นท่อทรงกระบอก และใช้ อิเล็กโทรดสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในรูปแบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ภายในท่อผลิต

โอโซน สามารถ ระบายความร้อน ด้วยระบบหล่อเย็นเพื่อให้ระบบสามารถผลิตโอโซนให้มีปริมาณ ความเข้มข้นที่คงที่และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง สำหรับ ระบบผลิตโอโซนมีส่วนประกอบหลัก ดังนี้ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (HV transformer) หลอดผลิตโอโซน (Ozone tube) ถังออกซิเจน (Oxygen tank) และเครื่องวัดปริมาณโอโซน (Ozone monitor) โดยมีหลักการทำงานคือ หม้อแปลง ไฟฟ้าแรงดันสูงจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0 ถึง 2.7 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 1.25 กิโลเฮิร์ตซ์ และ ค่าตัวชี้ ไซเคิล 48 เพอร์เซ็นต์ไปที่หลอดผลิตโอโซนเพื่อใช้สร้างโอโซน จากนั้นปล่อย ออกซิเจนให้ ไหลผ่านระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่วางขนานกันภายในท่อผลิตโอโซน จึงทำให้เกิดโอโซน ระบบผลิต โอโซน สามารถ ผลิตโอโซนได้สูงสุด 210 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ปริมาณความเข้มข้นของ โอโซนขึ้นอยู่กับ กำลังงานไฟฟ้า ที่จ่ายไปยังแผ่นอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตโอโซน รวมถึงการควบคุมอัตราการ ไหลของออกซิเจนให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดโอโซน (S. Boonduang, Limsuwan, Kongsri, & Limsuwan, 2012) และควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ควรทำให้เกิดความร้อน เนื่องจาก ความร้อนในท่อผลิตโอโซนจะทำให้ปริมาณโอโซนนั้นลดลงจาก การศึกษางานวิจัยของ (Surapon Boonduang & Limsuwan, 2013) กล่าวว่า การใช้ ท่อ ผลิตโอโซน แบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ทรงกระบอกนั้น ไม่ควรให้ระบบความร้อนเกิดขึ้น ระหว่างที่ทำงานจากการ ทดลอง พบว่าระยะเวลาที่ระบบผลิตโอโซนเริ่มทำงานปริมาณของโอโซนจะลดลงจาก 14 กรัม/ชั่วโมง เหลือเพียง 3 กรัม/ชั่วโมง ในระยะเวลา 10 นาที เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 26 องศาเซลเซียส ไปยัง 96 องศาเซลเซียส ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ให้เกิดความร้อนจะทำให้ระบบ สามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

1.9.2 การออกแบบระบบให้โอโซนสามารถกระจายตัวในห้องรมภายในห้องนั้นเป็นปัจจัย หนึ่งที่สำคัญ ผู้วิจัย จึงได้ศึกษา การกระจาย ตัวของอากาศเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบ ห้อง รมโอโซน จากงานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) ได้ศึกษา และ วิเคราะห์ เกี่ยวกับทิศทาง การ กระจายอากาศเข้าและออกตู้อบแห้งโดยให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านตะแกรงที่เป็นช่องว่างขนาด 15 มิลลิเมตร โดยได้ทำการจำลอง การกระจายตัวของอากาศทั้งหมด 6 แบบ ที่อัตราการไหลของ อากาศอยู่ที่ 0.15 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และความเร็วมวลที่จ่ายเข้าอยู่ที่ 6.67 เมตร/วินาที โดยจากการวิเคราะห์ด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks CFD Tool available) การจ่ายอากาศที่ด้านบนของตู้อบและ ออกด้านล่างของฝังบดเดียวกันส่งผลให้หัวหอมที่นำไปอบแห้งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จากการศึกษาวิจัยนี้ สามารถนำหลักการเกี่ยวกับออกแบบจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการไหลของ โอโซนในห้องโอโซนในอนาคต



1.9.3 การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนมา กำจัดแมลงในภาคการเกษตรได้ศึกษาถึง ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ใช้ทดลองซึ่ง (Weber et al., 2018) ได้นำโอโซน มา กำจัดแมลงชนิด (*A. diaperinus* species) ที่อยู่ในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก เพราะแมลงชนิดนี้เป็นพาหะ ในแพร่กระจายเชื้อโรคต่าง ๆ ที่ส่งผล กระ - ทบ แก่อุตสาหกรรมสัตว์ปีกโดยนำโอโซน มาทดลองที่ ความเข้มข้น 30, 40, 60 ppm โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 24 ถึง 48 ชั่วโมง จ่ายโอโซนด้วย อัตราการไหลที่ 3 ลิตร/นาที่ โดยมีการจ่ายโอโซนเข้าไปในภาชนะลักษณะที่เป็น ทรงกลมสูง 50 เซนติเมตร มีเส้น ผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร วัสดุเป็นแก้ว และช่องที่นำโอโซนเข้าไปมีขนาด 10 มิลลิเมตร ช่องที่ให้ออกซิเจนออกมีขนาด 5 มิลลิเมตร โดยผลการทดลองพบว่าที่ ระดับความเข้มข้น ของโอโซน 30 ถึง 60 ppm ในระยะเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมง สามารถกำจัดตัวอ่อนของแมลงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของตัวเต็มวัยนั้นมีอัตราการตายที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระดับ ความเข้มข้น 30 ppm ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง 40 ppm ในระยะเวลา 36 ชั่วโมง และที่ 60 ppm สามารถทำให้ แมลงตัวเต็มวัยตายได้ 80 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็น การทดลองที่ใช้ระยะ เวลานานแต่ใช้ความเข้มข้นโอโซนในระดับต่ำสำหรับการกำจัดแมลง ดังนั้น จึงได้ศึกษางานวิจัย ที่ใช้ ระดับความเข้ม โอโซน สูงซึ่งเป็นงานวิจัยของ (Niakousari et al., 2010) งานวิจัยได้ศึกษานำโอโซน ความเข้มข้นสูงในระดับ 600 – 4,000 ppm ไปกำจัด แมลงผีเสื้อกลางคืน (*Plodia interpunctella*) และด้วงฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis*) ในอินทผลัมจากการทดลอง พบว่าที่ความเข้มข้น โอโซนในระดับมากกว่า 2,000 ppm จะทำให้ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยตายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และ ในความเข้มข้นที่ 4000 ppm สามารถทำลายไข่ของแมลงเหล่านี้ได้ ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยอุปกรณ์ ในการทดลองใช้เครื่องผลิตโอโซน ที่สามารถผลิต ได้ สูงสุด 5 กรัม/ชั่วโมง และถังอบโอโซนขนาด 20 ลิตร ทำจากสแตนเลส 304 นอกเหนือจากนั้นงานวิจัยได้ แนะนำว่าถ้าทดลองรวมกับ คาร์บอนไดออกไซด์ จะสามารถเพิ่มอัตราการตายของแมลงและไข่ได้ และจากการศึกษางานวิจัยที่นำ โอโซนไปกำจัดเพลี้ยไฟและเพลี้ยแป้งในไม้ดอกและไม้ประดับด้วย วิธีการรวมโอโซนร่วมกับการใช้ คาร์บอนไดออกไซด์ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) ได้ทำการทดลองนำโอโซนตั้งแต่ 0 - 3800 ppm ใช้เวลาในการรวมโอโซน 30 – 120 นาที ให้ความดันอากาศในระบบ อยู่ที่ 0 – 0.4 บาร์ และ กำหนดให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 32.2 – 40.6 องศาเซลเซียสทดลองในถังขนาด 20 ลิตร ก๊าซที่ใช้ ทดลองประกอบด้วย ไนโตรเจน คาร์บอน - ไดออกไซด์ และอากาศที่ใช้หายใจการทดลองใช้ก๊าซ คาร์บอนไดร็อกไซด์บริ-สุทธิไปกำจัดแมลงพบว่าสามารถกำจัดเพลี้ยไฟได้ 41 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ ระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ถัดมาเป็นการนำก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ไป ผลิตโอโซนพบว่าที่ประมาณ 200 ppm ในระยะเวลา 30 นาที สามารถกำจัดเพลี้ยไฟ ตัวเต็มวัย ได้

สูงสุด 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้อากาศหายใจไปสร้างโอโซนพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 458 -501 ppm สามารถกำจัดเพอร์คลีฟโพลีเอทไธลีนได้ 96.2 เปอร์เซ็นต์ เพอร์คลีฟ 98.9 เปอร์เซ็นต์ ตัวอ่อน 76.6 เปอร์เซ็นต์ และไข่ของเพอร์คลีฟ 76.6 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของ ก๊าซไนโตรเจนไม่สามารถนำมาสร้างโอโซนได้ในบทความงานวิจัยนี้กล่าวว่าพืชที่ใบมีลักษณะ มั่นวาวหรือใบที่มีขนาดหนาๆจะได้รับผลกระทบน้อยมากจากพิษของโอโซนโดยการทดลอง ศึกษาผลกระทบที่โอโซนมีผลกระทบต่อไม้ดอกไม้ประดับ

โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำเสนอมานั้นส่วนใหญ่ได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์เพื่อออกแบบสร้าง และ ศึกษาผลการทดลองของงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างระบบโอโซนให้สามารถผลิตโอโซน ได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงศึกษาการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อประมาณการเกิด โอโซนเช่น อุณหภูมิภายในห้องผลิตโอโซนอัตราการไหลของออกซิเจน ในส่วนถัดมาเป็น การศึกษาการออกแบบ ห้องสำหรับรมโอโซนได้ทำการศึกษาถึงการปล่อยโอโซนเข้าและออก ภายในห้องโดยศึกษา และ วิเคราะห์ จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผลและสุดท้าย เป็นการศึกษางานวิจัย เกี่ยวกับการนำโอโซน มากับแมลงศัตรูพืชที่อยู่ใน อุตสาหกรรมการเกษตร โดยงานวิจัยที่ศึกษามี แนวโน้มตรงกันคือ อัตราการตายของศัตรูพืชจะมีจำนวนมากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้น ของโอโซน และระยะเวลาที่แมลงศัตรูพืชนั้นได้รับเป็นสิ่งสำคัญ

#### 1.10 รายละเอียดการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมถึงปฏิทินวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนในการกำจัดแมลง ประกอบด้วย หลักการพื้นฐานการเกิดโอโซนพื้นฐานการเกิดโอโซนด้วยสนามไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ พื้นฐานหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงและถึงหลักการพื้นฐานการกระจายของอากาศภายในห้อง

บทที่ 3 การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืช ใน อุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ประกอบด้วย การออกแบบระบบเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูง วิเคราะห์ และออกแบบการจำลองการแพร่กระจายตัว ของโอโซนที่จ่ายเข้าไปในห้องสำหรับการรม โอโซน รวมออกแบบวิธีการทดลองประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 4 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบผลิตโอโซนเพื่อกำจัดแมลงประกอบด้วยผลของการทดลองระบบผลิตโอโซนในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อปริมาณโอโซนที่ผลิตได้ ปริมาณโอโซนภายในห้อง อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซนผลกระทบของกล้วยไม้ ที่ได้รับโอโซนและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและผลของการออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืช ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน

การเกิดโอโซนสามารถอธิบายได้จากหลักการนั้นเกิดจากก๊าซที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า ระหว่างที่เคลื่อนที่ผ่านสามารถเกิดปรากฏการณ์หลายรูปแบบ และได้รับพลังงานที่เหมาะสมต่อการการเกิดโอโซนซึ่งปัจจัยเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสนามไฟฟ้า สนามไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ

##### 2.1.1 การเกิดพลาสมา

พลาสมาคือ ก๊าซที่มีสภาพเป็นไอออนและเป็นสถานะของสสารโดยประกอบด้วยอนุภาคอิสระที่มีประจุ ได้แก่ ไอออนบวก ไอออนลบ อิเล็กตรอน และอะตอมที่เป็นกลาง การมีสภาพเป็นไอออนนี้จะส่งผลให้อิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัว หลุดออกจากโมเลกุลจึงทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นพลาสมาเกิดขึ้นได้จากก๊าซที่เป็นกลางเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าแล้วเกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลของก๊าซและอิเล็กตรอนที่ปล่อยมาจากผิวของโลหะ (Metal Electrode) อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะถูกเร่งทันทีในทิศทางของสนามไฟฟ้าและสามารถชนกับอนุภาคที่เป็นกลางเกิดเป็น Ionized gases และอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้นด้วยเหตุนี้ อิเล็กตรอนจำนวนมากอนุภาคก๊าซ ที่มีประจุและอนุภาคอิสระจะทำให้พลาสมาเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาสั้นๆ หลังจาก เริ่มมีสนามไฟฟ้าปฏิกิริยาอื่นที่สามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะพลาสมา ปฏิกิริยารวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์และปฏิกิริยาการแตก-ตัวเป็นอนุภาคต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 เป็นขั้นตอนการชนกันของ Field emission process ได้แก่ การชนกันระหว่างอนุภาคด้วยกันเอง และการชนกันระหว่าง อนุภาคกับผิวของขั้วโลหะหรืออิเล็กตรอน เรียกว่า ปรากฏการณ์ประจุไฟฟ้า (Electric discharge phenomena) เป็นหลักพื้นฐานของงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณากรณีของก๊าซออกซิเจนเป็นสำคัญเพราะก๊าซออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดโอโซน ผ่านปฏิกิริยาในลักษณะ ต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงกลไกการชนกันของก๊าซในลักษณะต่าง ๆ

| Collisions         |                              |
|--------------------|------------------------------|
| Elastic Collisions | $e + X \rightarrow e + X$    |
| Excitation         | $e + X \rightarrow e + X^*$  |
| Ionization         | $e + X \rightarrow 2e + X^+$ |

|                          |                                          |
|--------------------------|------------------------------------------|
| Attachment               | $e \times A \times A^x$                  |
| Dissociative Attachment  | $e \times B \times B_2^x \times B$       |
| Recombination            | $e \times B_2^x \times B$                |
| Detachment               | $e \times B_2^x \times 2e \times B_2$    |
| Ion Recombination        | $A^x \times B^x \times AB$               |
| Charge Transfer          | $Ax \times B \times B \times A$          |
| Electronic Decomposition | $e \times AB \times A \times B \times e$ |
| Atomic Decomposition     | $A^* \times B \times AB \times B$        |

ตารางที่ 2.2 กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นไอออน

| Collisions              |                                          |
|-------------------------|------------------------------------------|
| Elastic Collisions      | $e \times A \times A^x$                  |
| Ionization              | $e \times B_2^x \times B$                |
| Attachment              | $e \times A \times 2e \times Ax$         |
| Dissociative Attachment | $e \times A \times e \times A^*$         |
| Recombination           | $e \times B_2^x \times B$                |
| Detachment              | $e \times B_2^x \times 2e \times B_2$    |
| Ion Recombination       | $Ax \times B \times B \times A$          |
| Charge Transfer         | $e \times AB \times A \times B \times e$ |
| Atomic Decomposition    | $A^* \times B \times AB \times B$        |

พลาสมาที่เกิดจากปรากฏการณ์นี้แบ่งได้ 2 ชนิด ชนิดแรกคือ Thermal plasma หรือ พลาสมาสมดุล (Equilibrium plasma) ซึ่งจะเกิดขึ้นในสถานะที่อุณหภูมิของก๊าซสูงพอกับอุณหภูมิ ของอิเล็กตรอนอีกชนิดหนึ่งคือ พลาสมาไม่สมดุล (Non -thermal plasma) ซึ่งจะเกิดในสถานะที่ อุณหภูมิของก๊าซตั้งแต่อุณหภูมิของอิเล็กตรอนสูง อิเล็กตรอนจะมีพลังงานอยู่ในช่วง 1 – 10 eV มีอุณหภูมิตั้งแต่ 10,000 – 100,000 องศาเซลวิน หลักการที่สามารถทำให้เกิดพลาสมาแบบไม่สมดุล มีดังนี้

- 1) ดิสชาร์จความถี่สูง (Radio frequency discharge) คลื่นความถี่สูงนี้ใช้ผลิตพลาสมาสำหรับการปลดปล่อยแสงที่มองเห็นได้ซึ่งไฟฟ้าจะอยู่ภายนอกของส่วนที่เกิดพลาสมาเพื่อป้องกันการกัดกร่อนและปะปนของพลาสมาเทคนิคนี้ใช้ได้ดีที่ความดันต่ำ
- 2) ดิสชาร์จคลื่นไมโครเวฟ (Microwave discharge) เทคนิคนี้ใช้คลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ 0.3 – 10 GHz โดยให้คลื่นเคลื่อนที่ไปยัง บริเวณ Resonant cavity
- 3) ดิสชาร์จเรืองแสง (Glow discharge) พลาสมาชนิดนี้เกิดที่ความดันระดับ 1 -10 มิลลิบาร์ ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดซึ่งเคลือบอยู่ในหลอดทดลองสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับที่ความดันต่ำเทคนิคนี้พบเห็นได้ใน อุตสาหกรรม ผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดนีออน
- 4) ดิสชาร์จโคโรนา (Corona discharge) การใช้ขั้วโลหะ 2 แผ่นวางที่ตำแหน่งตรงข้ามกันลักษณะของพลาสมาจะแตกต่างกันตาม ชนิดของขั้วแต่เนื่องจากพลาสมาจะเกิดบริเวณรอบๆวิธีการนี้เหมาะสมในการไปใช้ในการตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าได้
- 5) ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ (Dielectric barrier discharge) หลักการคือ ประจุไฟฟ้าจะเกิดในช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่วางขนานกันหรืออาจเป็นช่องว่างวงแหวนที่มีลักษณะเป็นขั้วอิเล็กโทรดทรงกระบอกวิธีการนี้จะนิยมใช้ Dielectric layer เป็นกระจุกแก้วหลักการนี้เรียกว่า Silent electric discharge

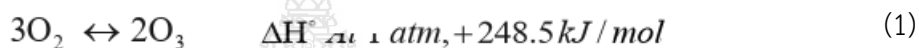
คุณสมบัติของพลาสมานั้นเป็นส่วนผสมของก๊าซที่มีทั้งค่าประจุบวก ลบ และกลางอนุภาคที่เป็นบวกคือ cations ส่วนอนุภาคที่เป็นลบอาจเป็นได้ทั้ง anions และ อิเล็กตรอน สุดท้ายคือ อนุภาคที่เป็นกลางอาจเป็นส่วนผสมของอนุภาคอิสระหรือก๊าซที่อยู่ในสภาวะปกติต่าง ๆ โดยพลาสมามีคุณสมบัติ ดังนี้

- 1) คุณสมบัติ Quasi – Neutral ความหนาแน่นทั้งหมดของอนุภาคที่มีค่าเป็นประจุบวกและประจุลบต้องมีค่าเท่ากัน
- 2) กิริยาด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพลาสมาสามารถมีอันตรกิริยาภายใต้สภาวะสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้เนื่องจากพลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ

### 2.1.2 การเกิดโอโซน

โอโซนถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1785 โดย J. Priestly, M. van Marum ได้ค้นพบบริเวณอุปกรณ์จับปริมาณก๊าซ โดยได้กลั่นบริเวณขั้วผลิตกระแสไฟฟ้าในชุดทดลอง ต่อมาการค้นพบโอโซนได้ถูกบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษรในปี ค.ศ. 1840 โดย C. F. Schobien นักเคมีชาวเยอรมัน โดยเขาตั้งชื่อก๊าซตามภาษากรีกคำว่า Ozein ซึ่งแปลว่ากลั่น

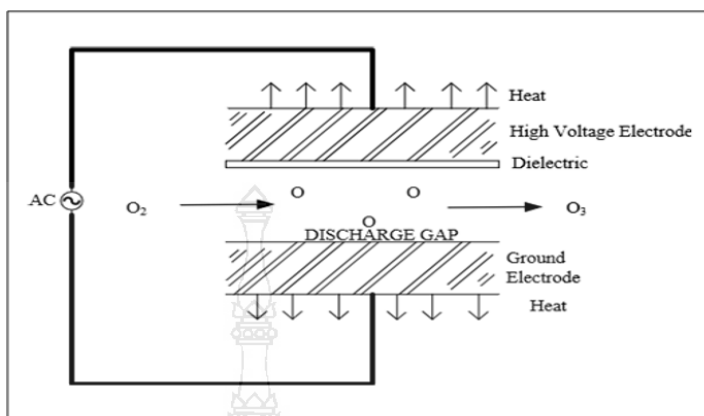
หลังจากนั้นเครื่อง ผลิตโอโซนเครื่องแรกได้ถูกผลิตโดย Werner von Siemens ในกรุงเบอร์ลิน (Berlin) โดยใช้ หลักการให้ออกซิเจนไหลผ่านช่องว่างในการดิสชาร์จระหว่างแก๊วในทรงกระบอก 2 ชั้น แล้วปล่อย กระแสไฟฟ้าแรงดันสูงบริเวณผนังแก๊ว ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า “การดิสชาร์จแบบไซเรนท์” และเป็นที่ยอมรับในการผลิตโอโซนให้เพียงพอต่อการศึกษาก๊าซโอโซนเป็นโมเลกุลกึ่งเสถียรที่เกิดจากองค์ประกอบของออกซิเจน (allotropic form) ปฏิกิริยาการเกิดโอโซนสามารถอธิบายได้ด้วยปฏิกิริยาคูดความร้อน (Endothermic reaction) ดังสมการ



และมีเอนโทรปี [  $\Delta S$  ที่ 1 atm,  $-69.9 \text{ (J/mol) / degree}$  ] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโอโซนไม่สามารถเกิดได้จากการกระตุ้นออกซิเจนด้วยความร้อนทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานอิสระของกิบส์  $\Delta G$  atm,  $+161.3 \text{ kJ/mol}$  มีค่าเป็นบวก ดังนั้นพลังงานความร้อนจะทำให้โอโซนสลายตัวได้มีค่าเป็นบวก ดังนั้นพลังงานความร้อนจะทำให้โอโซนสลายตัวได้การออกแบบเครื่องผลิตโอโซนต้องคำนึงถึงระบบความร้อนเป็นสำคัญ การผลิตโอโซนจะต้องใช้ 493 kJ/mol ถึง 762.23 kJ/mol เมื่อทำการเปลี่ยน หน่วยเป็นพลังงานไฟฟ้าจะได้ 5.583 kWh/m<sup>3</sup> ถึง 8.631 kWh/m<sup>3</sup> (Ketkaew, 2549)

### 2.1.3 การสร้างโอโซนโดยกระบวนการดิสชาร์จไฟฟ้า

การผลิตโอโซนทำได้โดยการให้ออกซิเจนหรืออากาศบริสุทธิ์ไหลผ่านสนามไฟฟ้าแรงสูงที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าอยู่ในช่วง 1 – 20 กิโลโวลต์ (Dielectric barrier discharge) หรือ (Silent electrical discharge) แสดงดังภาพที่ 2.1 แสดงถึงหลักการผลิตโอโซนโดยโมเลกุลออกซิเจนบางส่วนถูกแยกออกเป็นอะตอมออกซิเจนโดยการวิ่งชนของประจุลบ(อิเล็กตรอน) จากนั้นอะตอม ของออกซิเจนจะไปรวมกับโมเลกุลของออกซิเจนแล้วเกิดเป็นโอโซน



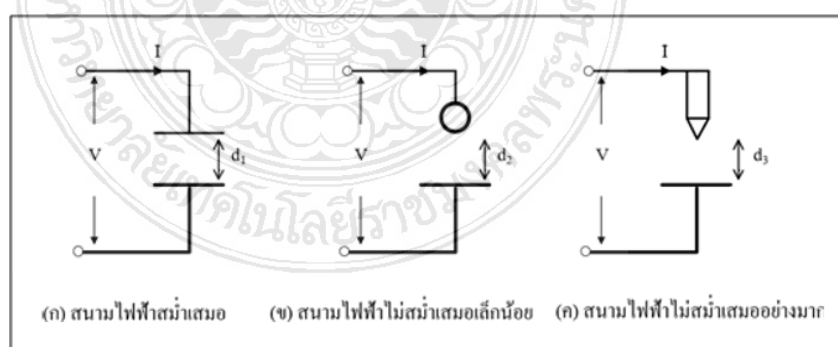
ภาพที่ 2.1 แสดงถึงหลักการกำเนิดโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD)

#### 2.1.4 สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า หมายถึง บริเวณโดยรอบที่ประจุไฟฟ้าสามารถเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้าหนึ่งไปยังขั้วไฟฟ้าหนึ่งได้ซึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของขั้วไฟฟ้าโดย ขั้วไฟฟ้าที่มีระยะใกล้กันจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงกว่าจุดที่ห่างออกไปหน่วยของสนามไฟฟ้า คือ นิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C) หรือโวลต์ต่อเมตร (V/m)

##### 2.1.4.1 รูปแบบของสนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้า โดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ กับ สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ ซึ่งสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ สนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมอเล็กน้อย (Slightly Nonuniform Field) และสนามไฟฟ้าที่ไม่สม่ำเสมออย่างมาก (Highly Nonuniform Field) แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกันจะมีสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกตำแหน่งระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่ขนานกัน แสดงดังภาพที่ 2.2 (ก) ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

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



เมื่อ  $V$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$D$  คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

$E_{av}$  คือความเครียด สนามไฟฟ้าเฉลี่ยบริเวณจุดใด ๆ ระหว่างอิเล็กโทรดมีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)

$E_{max}$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรด ที่มีลักษณะเป็นสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอจะทำให้เกิดเบรกดาวน์ขึ้นทันทีที่ความเครียดของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดถึงค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งและกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นจำนวนมากแบบทันทีทันใด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้คือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวน พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$E_d = V_b / d$$

เมื่อ  $V_b$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมีหน่วยเป็นน (V)

$E_d$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์หรือความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวนมีหน่วยเป็น (kV/mm.)

สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกันจะมีค่าของสนามไฟฟ้าและความเครียดของสนามไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งที่ต่างกันโดยค่าความเครียดจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของอิเล็กโทรดตัวอย่างเช่น ถ้าอิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกลมค่าความเครียดของสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นสูงสุดที่พื้นผิวของอิเล็กโทรดทรงกลม ดังภาพที่ 2.2 (ข) และคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{max} = V / d \eta^*$$

$\eta^*$  คือแฟกเตอร์สนามไฟฟ้า (Field Utilization Factor) มีนิยามว่า

$$\eta^* = E_{av} / E_{max} \quad 0 < \eta^* \leq 1$$

โดยทั่วไป  $\eta^* \leq 1$  ดังนั้นกล่าวได้ว่า  $\eta^*$  คือ ค่าตรรกะเพื่อให้ทราบว่าอิเล็กโทรดนั้นมีรูปแบบของลักษณะสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอมากหรือน้อยเพียงใดสามารถแสดงได้โดย

$$E_b = V_b \eta^* / d \eta^*$$

โดยสมการที่ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่มีอิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยหรือใช้กับกรณีที่ไม่เกิดโคโรนา (Corona) หรือพรีดีสชาร์จ (Pre discharge) เกิดก่อนเบรกดาวน์หรือกล่าวได้ว่าการเบรกดาวน์จะไม่มีกระแสไหลระหว่างอิเล็กโทรดเลยและลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีเปลี่ยนแปลงและจะเกิดเบรกดาวน์ทันที ที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสูงถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ  $E_b$  ในกรณีที่อิเล็กโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าความเครียด

สนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิเล็กโทรดที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเช่นขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะปลายแหลมดังแสดงในภาพที่ 2.2 (ค) ที่ระยะห่างออกจากผิวอิเล็กโทรดค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ภาพรูปที่ 2.3 ซึ่งอิเล็กโทรดแบบนี้แม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะยังไม่เกิดการเบรกดาวนแต่จะเกิดโคโรนา ดิสชาร์จขึ้นในบริเวณผิวอิเล็กโทรดคือบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดส่วนบริเวณอื่นๆ ยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนาฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิเล็กโทรดจะเกิดการ ดิสชาร์จ (Discharge) ที่ไม่สมบูรณ์คือการเกิดไม่ตลอดแนวระหว่างอิเล็กโทรดเรียกว่าการ ดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ปรากฏการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นช่วงๆ จึงทำให้ มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิเล็กโทรดกระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเบรกดาวน เรียกระแสโคโรนา (Corona Circuit) หรือกระแสพรีดิสชาร์จการเกิดการเกิดโคโรนาเป็นผลทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไปเพราะมีประจุค้าง (Space Charge) แต่ความเครียด สนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (3) และ ค่าความเครียดเบรกดาวนจะคำนวณจาก สมการ (7)

$$E_i = V_i / d \eta^*$$

เมื่อ  $E_i$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มเกิดมีหน่วยเป็นกิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร(kV/mm.)

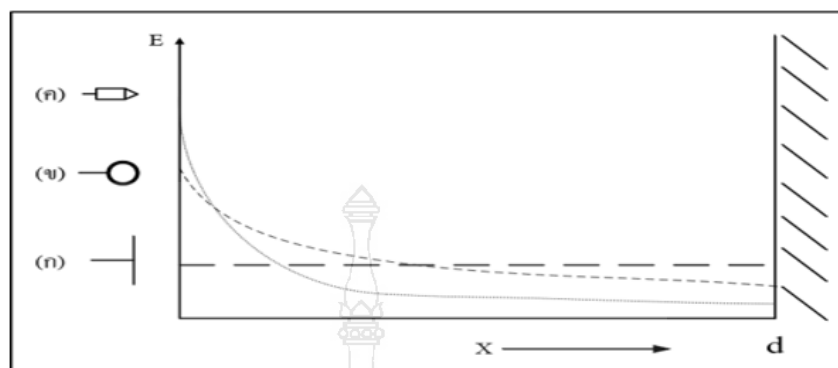
$V_i$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อน ที่โคโรนาเริ่มเกิดมีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

โดย  $E_i$  และ  $V_i$  เป็นค่าความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่โคโรนาเริ่มเกิด ฉะนั้น จึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีประจุค้างระหว่างอิเล็กโทรดหรือกล่าวได้ว่าสมการที่ (5) นี้ใช้สำหรับ คำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (Starting Voltage, Threshold Voltage, Inception Voltage) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องระหว่าง อิเล็กโทรดอาจจะเป็นเบรกดาวนในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอหรือไม่ สม่ำเสมอ เล็กน้อยและอาจจะเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด แต่ในกรณีที่แบบสนามไฟฟ้าไม่ สม่ำเสมอสูง ซึ่งค่าแรงดันเบรกดาวนจะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้นหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_i = E_i / d \eta^*$$

เมื่อ  $V_i$  คือแรงดันเริ่มต้นมีหน่วยเป็น(V)

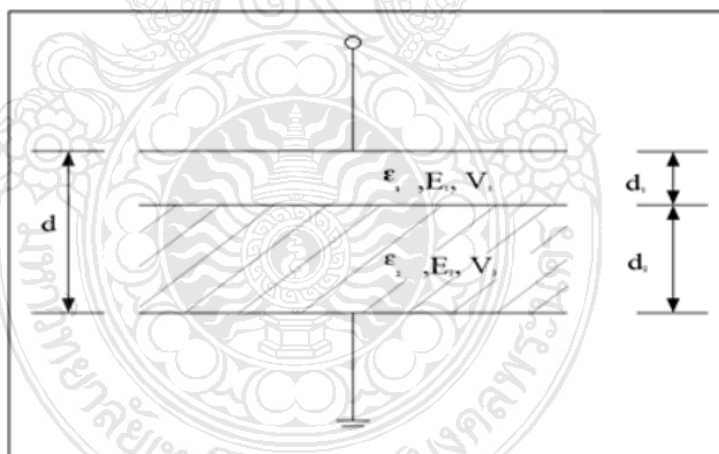
$E_i$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น  $V_i$  มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อ มิลลิเมตร (kV/mm)



ภาพที่ 2.3 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ

### 1) สนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อต่างชนิดกัน

ในอิเล็กโทรดแบบระนาบกรณีที่มีฉนวนมีค่า Permittivity ต่างกันซ้อนกันอยู่เป็น dielectric และค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ย่อมทำให้เกิดเป็นชั้นนต่อของฉนวน อันเป็นผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนต่าง ๆ การกระจายจะกำหนดด้วยความต้านทานของฉนวน โดยการวางฉนวนต้องให้รอยต่อฉนวนขนานกับระนาบของอิเล็กโทรด ค่าสัมบูรณ์ของความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด



ภาพที่ 2.4 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้ง

สองคือ  $E_1 = V$

$E_1$  คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 1

$E_2$  คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 2

$V$  คือแรงดันไฟฟ้า

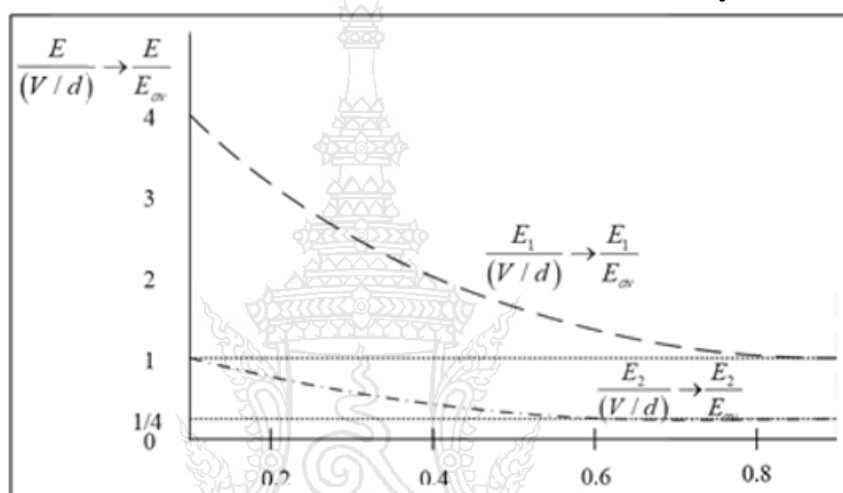
$d_1$  คือระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 1

$d_2$  คือระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 2

$\epsilon_1$  คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 1

$\epsilon_2$  คือค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 2

จะเห็นได้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้า  $E_1$  จะมากกว่า  $E_2$  ตามอัตราส่วน  $\epsilon_2 / \epsilon_1$  เมื่อ  $\epsilon_2 \geq \epsilon_1$  ถ้าเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนแต่ละชั้นกับความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะเห็นได้ว่า ถ้าในส่วนฉนวนที่มีค่า  $\epsilon$  ต่ำยิ่งบางสนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงมาก



ภาพที่ 2.5 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field ที่  $V$  และ  $d$  คงที่โดยเปลี่ยนค่า  $d_1$  และ  $d_2 = d - d_1$  ฉนวนที่  $\epsilon_2 / \epsilon_1 = 4$

## 2) สนามไฟฟ้าในอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนแกนร่วม

อิเล็กโทรดทรงกระบอกแกนร่วม 2 ชั้น จะอ้างอิงจากสมการของ Maxwell เพื่อใช้หาพลักซ์สนามไฟฟ้าที่ในพื้นผิวของทรงกระบอกดังสมการต่อไปนี้

$$Q = \int D \cdot dA \quad (12)$$

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

$$E = Q \cdot 1 \quad (13)$$

แรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) ที่จ่ายเข้าไปคือ อิเล็กโทรดทรงกระบอก

$$V = \int E r dr =$$

อิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันและมีแกนร่วมกันค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ

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

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

## 2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเป็นส่วนที่สำคัญต่อการสร้าง สนามไฟฟ้าเพื่อผลิตไอออน เนื่องจากการผลิตไอออนในปัจจุบันนั้นใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับ วงจรจลน์ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าในระบบสวิตช์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) เพราะสามารถควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งปัจจัยหลักการเกิดไอออนและให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.2.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของ วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์( แชนด์ , 2537 ) มีลักษณะดังภาพที่ 2.6 มีการทำงานคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรโดยผ่านตัวเก็บประจุ  $C_1$  กับ  $C_2$  ที่ต่ออนุกรมกันอยู่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองเหลือครึ่งหนึ่งจากแรงดันอินพุต ที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์  $Q_1$  กับ  $Q_2$  จะสลับการทำงานกันอย่างครึ่งคาบเวลา 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  $Q_1$  ไม่นำกระแส ไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม  $Q_1$  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 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม  $Q_1$  และ  $Q_2$  ขณะหยุดนำกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่านั้นแสดงดังภาพที่ 2.7 ส่วนตัวเก็บประจุคัปปลิง ( $C_b$ ) กำหนดให้ค่าแรงดันตกคร่อมอยู่ในช่วง 10 % ถึง 20 % ของแรงดัน  $V_{in}/2$  ซึ่งถ้าแรงดันตกคร่อมมากกว่านี้ทำเรกูเลชันของแหล่งจ่ายไฟเสียหายได้ เมื่อเกิดไฟตกโดยตัวเก็บประจุคัปปลิงสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

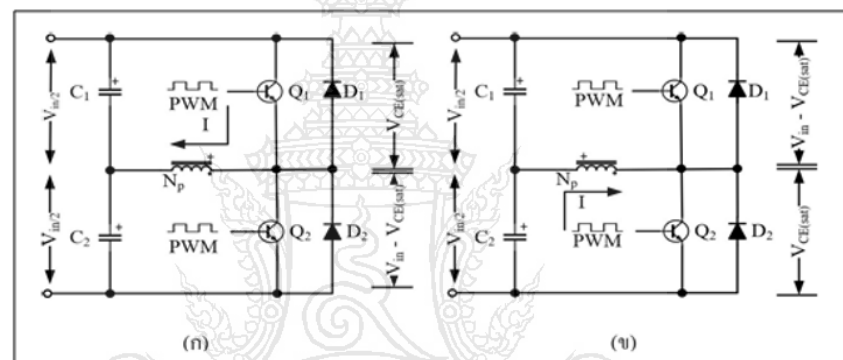
$$C_b = I \frac{dt}{dV_{cb}}$$

เมื่อ  $I$  คือกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่าน  $C_b$  ซึ่งก็คือ  $I_c$

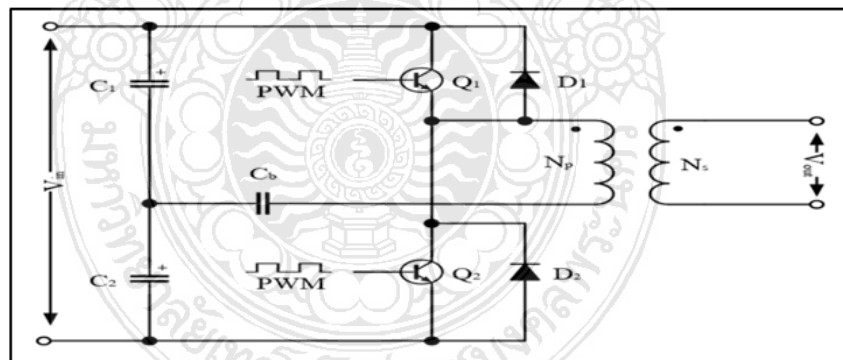
$Dt$  คือช่วงเวลาที  $C_b$  ทำการเก็บประจุ

$dV_{cb}$  คือแรงดันตกคร่อม  $C_b$  ซึ่งอยู่ในช่วง 10 % ถึง 20 % ของแรงดัน  $V_{in}$

ส่วน D1 และ D2 คือ ไดโอดคอมมิวเตตติ้งซึ่งตกคร่อม Q1 และ Q2 ซึ่งมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการดังนี้ประการแรกคือ เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแสไดโอดจะชั้กนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำในหม้อแปลงกลับคืนสู่ภาคเรกติไฟร์และฟิวเตอร์ทางด้านอินพุตประการที่สองคือ ป้องกันคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จากการสวิทช์ที่เป็นลบ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของเส้นแรงแม่เหล็กในหม้อแปลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการป้องกันทรานซิสเตอร์ไม่ให้พังเสียหายจากแรงดันย้อนกลับไดโอดคอมมิวติ่งมักจะเป็นแบบฟาสต์รีคัฟเวอรี่หรืออัลตราฟาสต์รีคัฟเวอรี่ และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของแรงดัน VCE ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส



ภาพที่ 2.6 การทำงานวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 2.7 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

### 2.2.2 หม้อแปลงความถี่สูง

จากกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) อธิบายได้ว่าเมื่อแหล่งจ่ายส่งกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดปฐมภูมิกระแสจะไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแกนปิดจะเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำในแกน โดยแรงดันเหนี่ยวนำจะเป็นไปตามการเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์ดังสมการที่ (17) ถ้านำขดลวดอีกขดมาพันรอบแกนปิดจะทำให้เกิดขดลวดทุติยภูมิและมีกำลังงานไฟฟ้าส่งผ่านไปยัง

ขดลวดนั้นด้วยดังภาพที่ 2.10 สามารถหาความสัมพันธ์ของจำนวนรอบของขดลวดและแรงดันไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (18)

$$B_{max} = \frac{V_p \times 10^8}{KfN_pA_e}$$

โดยที่  $B_{max}$  คือความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด

$V_p$  คือแรงดันด้านปฐมภูมิมีหน่วยเป็น (V)

$f$  คือความถี่มีหน่วยเป็น (Hz)

$N_p$  คือจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิมีหน่วยเป็น (Turn)

$A_e$  คือพื้นที่หน้าตัดของแกน มีหน่วยเป็น (m<sup>2</sup>)

$K$  คือค่าคงที่ 4.44 สำหรับแรงดันรูปไซน์และ 4.0 สำหรับแรงดันรูป

สี่เหลี่ยม

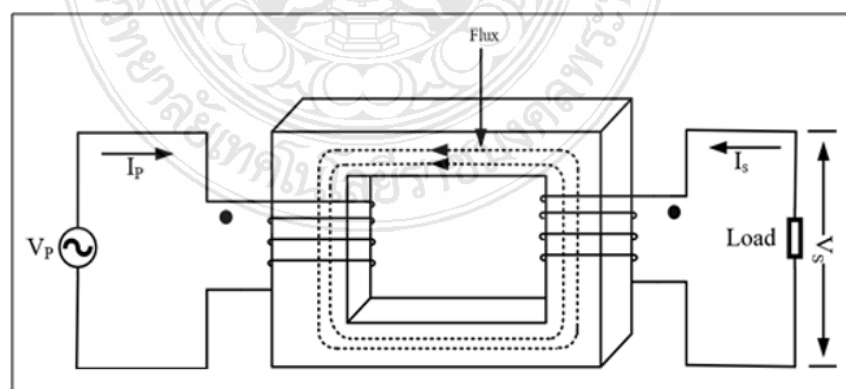
$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s}$$

เมื่อ  $N_p$  คือจำนวนขดลวดฝั่งปฐมภูมิมีหน่วยเป็น (Turn)

$N_s$  คือจำนวนขดลวดฝั่งทุติยภูมิมีหน่วยเป็น (Turn)

$V_p$  คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิมีหน่วยเป็น (V)

$V_s$  คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิมีหน่วยเป็น (V)



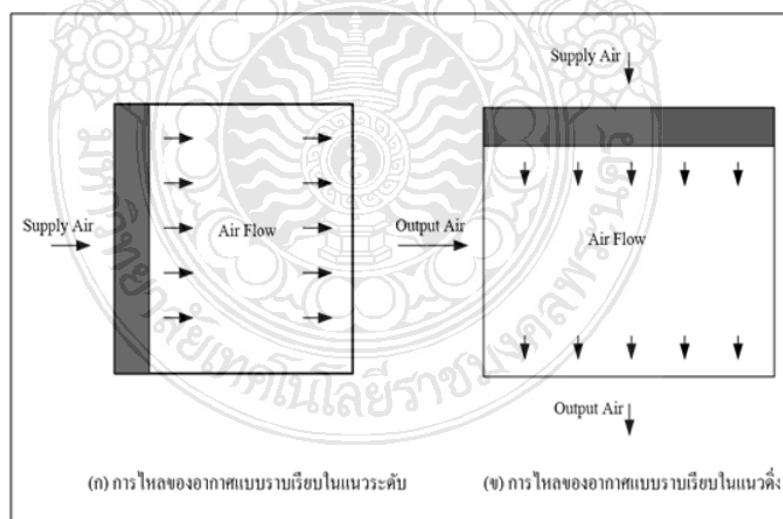
ภาพที่ 2.8 หม้อแปลงความถี่สูง

## 2.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนนั้นต้องศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับรูปแบบการไหลของอากาศที่อยู่ภายในห้อง เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องและระบายอากาศออก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการกระจายตัวของโอโซนที่จ่ายเข้าไปในห้องให้สามารถนำไป กระจายตัวได้อย่างทั่วถึง

2.3.1 รูปแบบการไหลของอากาศ รูปแบบการไหลของอากาศ (Airflow patterns) มีความสำคัญต่อการออกแบบ ระบบห้องที่รมโอโซนเพื่อให้ก๊าซโอโซนกระจายได้ทั่วห้อง ลักษณะการไหลของอากาศมีอยู่ 3 รูปแบบ คือการไหลของอากาศแบบราบเรียบ การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และการไหลของ อากาศแบบผสม (พุทธนาศัคดี, 2552) โดยมีรายละเอียดดังนี้

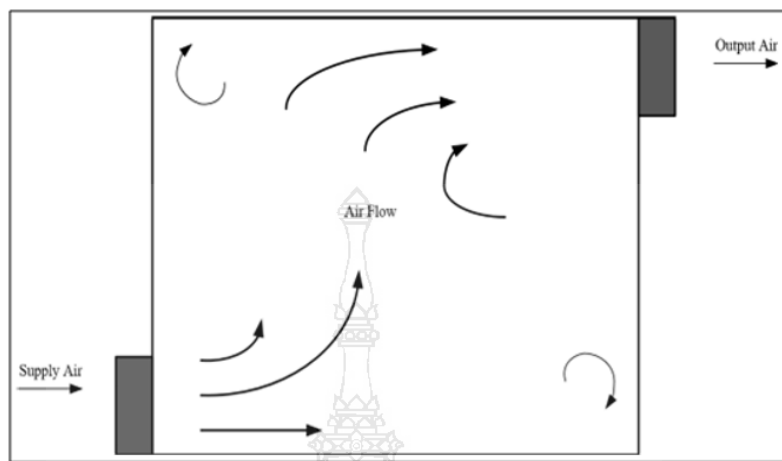
1) การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (Unidirectional Airflow) หรือ (Laminar Airflow) การไหลของอากาศแบบราบเรียบคือ การที่อากาศเดินทางไปยังฝั่งตรงข้ามของห้องโดยมีทิศทางการไหลแบบขนานกันในแนวระดับหรือแนวตั้ง แสดงดังภาพที่ 2.9



2) การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (non-unidirectional airflow)

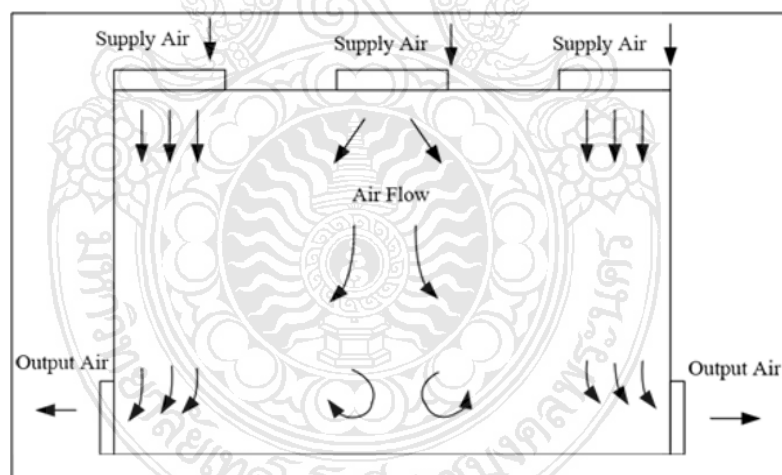
การไหลแบบปั่นป่วนโดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง ซึ่งรูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน แสดงดังภาพที่ 2.1





ภาพที่ 2.10 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน

3) การไหลของอากาศแบบผสม (mixed Airflow) การไหลของอากาศแบบผสมเป็นการไหลของอากาศในระบบที่มีทั้งการไหลแบบราบเรียบและปั่นป่วนอยู่ในระบบเดียวกันแสดงดังรูปที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การไหลของอากาศแบบผสม

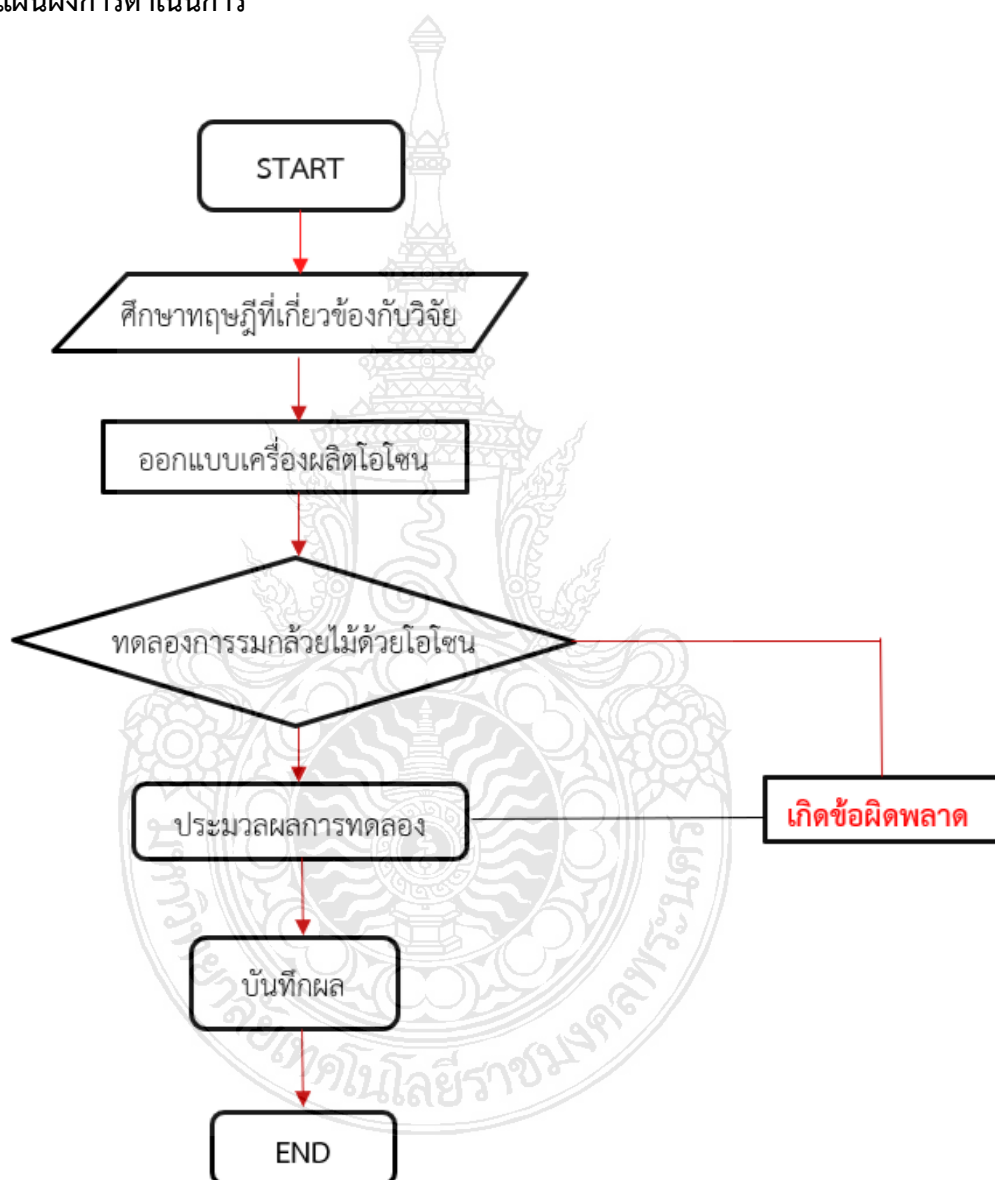
### 2.3.2 อัตราการระบายอากาศในระบบ

อัตราการระบายอากาศในระบบเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับปริมาตรของห้องหลักการนี้สามารถนำมาใช้คำนวณหาระยะเวลาในการถ่ายก๊าซโอโซนเข้าไปได้ทั่วทุกพื้นที่ของห้อง (Standard, 2013) แสดงความสัมพันธ์

### บทที่ 3

#### การวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบกำเนิดไอโซน

##### 3.1 แผนผังการดำเนินการ



ภาพที่ 3.1 แผนผังการดำเนินงาน

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 3.2.1 ศึกษาการการสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงที่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้
- 3.2.2 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลต่ออัตราการตายของแมลงที่เป็นศัตรูพืชจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.2.3 วิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้สามารถสร้างปริมาณโอโซนให้มีความเข้มข้นเพียงพอต่อการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้สามารถ ผ่านกระบวนการผลิตได้ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน
- 3.2.4 ทดสอบวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในห้องที่ใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อนำไปวิเคราะห์หาอัตราการตายของแมลงที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ
- 3.2.5 จัดทำวิทยานิพนธ์

### 3.3 ระเบียบวิธีวิจัย

- 3.3.1 ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 3.3.2 วิเคราะห์ออกแบบ และศึกษาถึงความเป็นไปได้ด้วยข้อมูลต่าง ๆ ทางคณิตศาสตร์หรือข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทางวิชาการถึงระบบการกำเนิดโอโซนที่มีประสิทธิภาพและการแบบห้องสำหรับรมโอโซน
- 3.3.3 สร้างเครื่องต้นแบบให้สามารถนำไปประยุกต์ในระบบอุตสาหกรรมเพื่อใช้ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำจัดเพลี้ยไฟในกล้วยไม้โดยการรมโอโซนโดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

### 3.4 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร 1381 ถนนประชากราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กทม. 10800 โทร 02-836-3000 ต่อ 4150-4151 แฟกซ์ 4151

### 3.5 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

- 3.5.1 ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- 3.5.2 กล้องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Thermal Imaging Camera)

- 3.5.3 มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Multimeter)
- 3.5.4 เครื่องวัดความเร็วลม (anemometer)
- 3.5.5 เครื่องวัดความเข้มข้นโอโซน (Ozone Analyzer)

### 3.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 3.6.1 เก็บรวบรวมข้อมูลจากปฐมนิเทศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 3.6.2 เก็บรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของโอโซนที่ได้จากการออกแบบและสร้างเครื่องผลิตโอโซน เก็บผลการทดลองอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชที่ ความเข้มข้นของโอโซนในระดับต่าง ๆ ที่ระยะเวลาต่าง

### 3.7 การวิเคราะห์และออกแบบระบบผลิตโอโซน

#### 3.7.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบกำเนิดโอโซน

จากการศึกษาวิจัยของ (Jodpimai et al., 2015) เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบและติดตั้งระบบผลิตโอโซนชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยในระบบมีส่วนประกอบหลักได้แก่ หลอดผลิตโอโซน ชุดหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง ถังออกซิเจน ระบบหล่อเย็น และเครื่องวัดความเข้มข้นโอโซน โดยมีหลักการทำงานคือ จ่ายก๊าซออกซิเจนบริสุทธิ์ 95% ที่อัตราการไหล 5 – 45 ลิตร/นาที่ ไปยังท่อผลิตโอโซน และมีระบบหล่อเย็นในถังผลิตโอโซนให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 15 – 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการไหลของอากาศที่ 10 ลิตร/นาที่ สามารถผลิตโอโซนได้ 210 g/m<sup>3</sup> ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตโอโซนโดยสนามไฟฟ้าชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และอุณหภูมิ ในท่อผลิตโอโซนที่มีผลโดยตรงกับปริมาณและความเข้มข้นของโอโซนจากการศึกษาวิจัยของ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงศัตรูพืชที่ อยู่ในกล้วยไม้ โดยการนำก๊าซ 3 ชนิดคือ คาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจนและอากาศที่ใช้หายใจ มาทดลองผลิต โอโซน เพื่อวิเคราะห์ และ เปรียบเทียบ ว่าชนิดใดสามารถสร้างความเข้มข้นโอโซนได้ สูงสุดในอุปกรณ์ทรงกระบอกขนาด 20 ลิตร พบว่า ไนโตรเจน ไม่สามารถ ผลิตโอโซนได้ ในส่วนของ คาร์บอนไดออกไซด์ สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึงประมาณ 400 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสสามารถกำจัดเพลี้ยไฟได้ 98 เปอร์เซ็นต์ และอากาศที่ใช้หายใจสามารถผลิตโอโซน ได้ สูงสุด 650 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสเพลี้ยไฟ มีอัตราการตายที่ 98 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้งานวิจัยนี้เป็นฉบับ

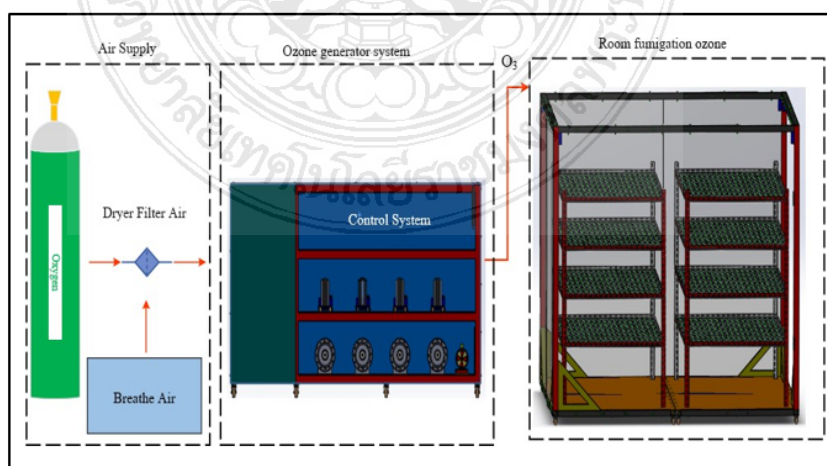
อ้างอิงว่า ควรออกแบบระบบผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นให้มากกว่า 650 ppm เพื่อให้สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ได้

### 3.7.2 การออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซน

จากการศึกษางานงานวิจัยข้างต้นทำให้ผู้วิจัยได้แนวคิดและหลักการสำหรับออกแบบระบบกำเนิดโอโซนให้สามารถผลิตโอโซนออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพและศึกษาการนำโอโซนมากำจัดแมลงเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซนที่มีผลต่ออัตราการตายของแมลง ศัตรูพืชที่อยู่กล้วยไม่ว่าปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาใดส่งผลกระทบมากที่สุดสำหรับการออกแบบระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้กำหนดให้มีอัตราการผลิตที่ 1,000 กิโลกรัมต่อวัน โดยอธิบายหลักการทำงานของระบบโดยรวมเริ่มจากระบบผลิตอากาศที่สามารถควบคุมอัตราการไหลอากาศกับปริมาณของออกซิเจนที่ความชื้นในอากาศไม่เกิน 85 % ส่งไปที่ระบบผลิตโอโซนที่สามารถผลิตโอโซนสูงถึง 432 กรัมต่อชั่วโมง แล้วจึงส่งไปที่ห้องรมโอโซนขนาด 2.5x2.5x2.5 ลูกบาศก์เมตร ระบบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.1-3.2 ดังนั้นการออกแบบระบบจ่ายอากาศ ให้มีอัตราการไหลที่เหมาะสม กับ สนามไฟฟ้าในท่อผลิตโอโซนให้สามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงแล้วจ่ายไปที่ห้องสำหรับรมโอโซนจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยสามารถหาความสัมพันธ์ได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

คำนวณเป็นหน่วย ppm ต่อพื้นที่ เมื่อ  $1 g / m^3 = 467 ppm$ .



ภาพที่ 3.2 แสดงหลักการทำงานของระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้



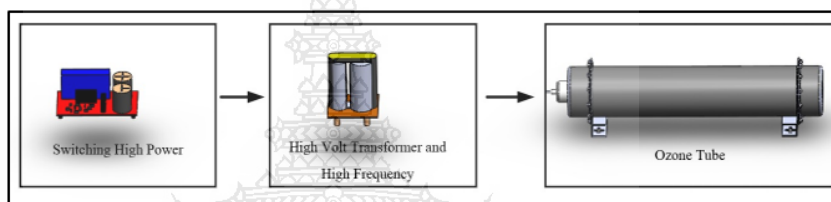
ภาพที่ 3.3 ระบบกำเนิดโอโซนความเข้มข้นเพื่อใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้

ออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนการประกอบด้วยวงจรกำเนิดไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง (Switching High Power generator) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency) และท่อผลิตโอโซน (Ozone Tube) ชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) ผลิตโดย บริษัท Shenzhen Blueocean Industry Co., Ltd. (Pinus longaeve) โดยมีหลักการทำงานที่เริ่มต้นจากวงจรสวิทช์ซึ่งกำลังงานสูงสร้างและส่งสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูงไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ 160 ถึง 4,240 โวลต์ จากนั้นส่งไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงไปยังชุดท่อผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและเมื่ออากาศที่มีออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนี้ จะเกิดการแตกตัว เนื่องจากได้รับพลังงานไอออนไนเซชันซึ่งปฏิกิริยาทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียรแล้วจับตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม จึงเกิดเป็นโอโซนโดยมีลำดับการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.3 โดยความเข้มข้น ของ โอโซน ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและอัตราการไหลของลมแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับการออกแบบจะใช้ระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 ชุด โดยคำนวณจากการใช้อากาศหายใจเป็นแหล่งกำเนิดโอโซนมีตัวแปรในการคำนวณ ดังนี้ Air flow: 75 L/min, Ozone output: 160 g/h, และปริมาตรห้อง 2.5x2.5x2.5 ลูกบาศก์เมตร มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{Ozone Concentration (g/m}^3\text{)} &= \frac{\text{Ozone production (g/hr)}}{\text{Flowrate (L/min)}} \times 1000 (\text{L/m}^3) \\ &= \frac{160 \text{ g/h}}{75 \text{ L min}} \times 1000 \text{ L/m}^3 \\ \text{Ozone Concentration (g/m}^3\text{)} &= 35.56 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

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

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่าถ้านำอากาศที่ใช้หายใจจ่ายให้กับระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 เครื่อง ภายใน 1 ชั่วโมง จะสามารถสร้างโอโซนที่มีความเข้มข้น 1,062 ppm ในห้องขนาด 2.5x2.5x2.5 ลูกบาศก์เมตร และปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มปริมาณ ออกซิเจนผสมกับอากาศที่ส่งไปยังท่อผลิตโอโซน สาเหตุที่ใช้อากาศหายใจในการคำนวณคือผู้วิจัยต้องการใช้อากาศที่ใช้หายใจสำหรับผลิตโอโซนเนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สามารถหาได้ ง่ายต่อกระบวนการผลิต ซึ่งในระบบได้ออกแบบการเพิ่มก๊าซออกซิเจนเข้าไปผสมกับอากาศเพื่อให้ ระบบสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโอโซนได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 3.4 ส่วนประกอบของระบบผลิตโอโซน

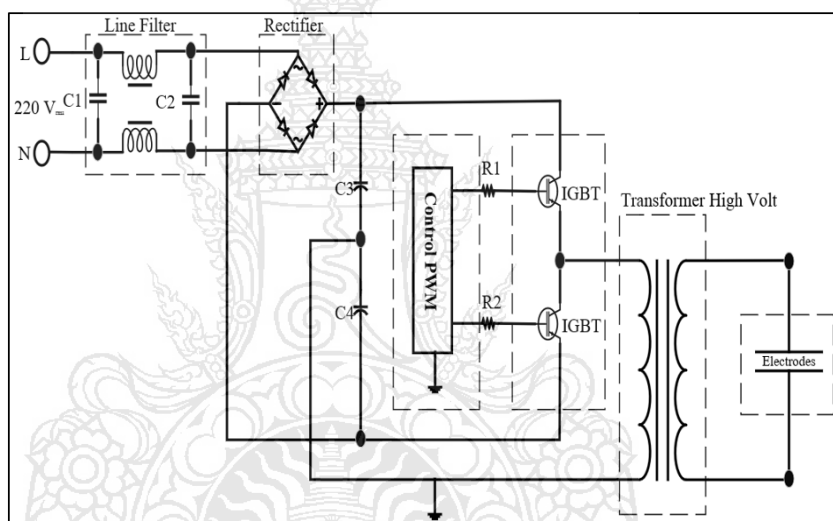
ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากการอัตราการไหลของออกซิเจนและอากาศ

| 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:<br>12mg/L | Ozone concentration: 130<br>mg/L | Ozone<br>concentration:90mg/L |
| Ozone output: 40 g/h           | Ozone output:15.6g/h             | Ozone output: 108g/h          |

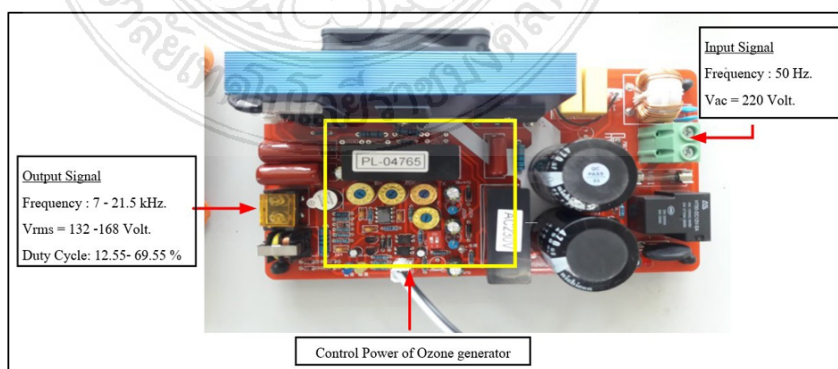
อธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์สำหรับผลิตโอโซนโดยเริ่มจากวงจรสวิตช์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power) เมื่อจ่ายแรงดัน ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 Hz จะผ่านวงจร ป้องกันสัญญาณ รบกวน ซึ่งในจุดนี้จะป้องกันสัญญาณจากภายในวงจรออกไปรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ และป้องกันสัญญาณจากภายนอกเข้ามารบกวนการทำงานของวงจร จากนั้นจะผ่านไดโอด ที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงจะได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงประมาณ 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 ปลอยเป็นสัญญาณพัลส์ไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูงโดยวงจรสวิตช์ซึ่งนี้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 1,000 วัตต์ แสดงดัง



รูปที่ 3.4 - 3.5 ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4,500 โวลต์ ลักษณะของหม้อแปลงจะเป็นแกนเฟอร์ไรต์ที่มีค่าความซึมซาบสูงส่งผลให้ทำงานในความถี่สูงได้ดีเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังงานให้กับชุดท่อผลิตโอโซน ได้เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 3.6 ในส่วนของท่อผลิตโอโซนเป็นอเล็กโทรดสำหรับสร้างสนามไฟฟ้า ชนิด Dielectric Barrier Discharge(DBD) วัสดุตัวเป็น สแตนเลสเกรด 304 โดยใช้แรงไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ ในการสร้างโอโซน และภายในตัวถังสามารถระบายความร้อนได้ด้วยวิธี น้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวนจากความร้อนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของโอโซนที่อาจจะลดลง แสดงดังรูปที่ 3.7

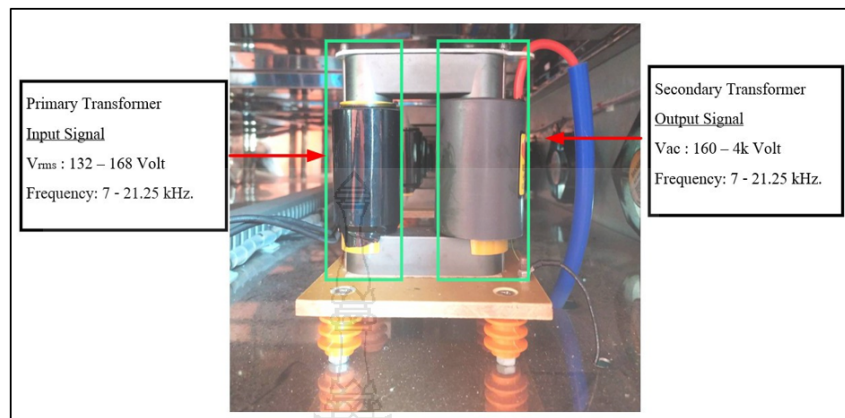


ภาพที่ 3.5 วงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)

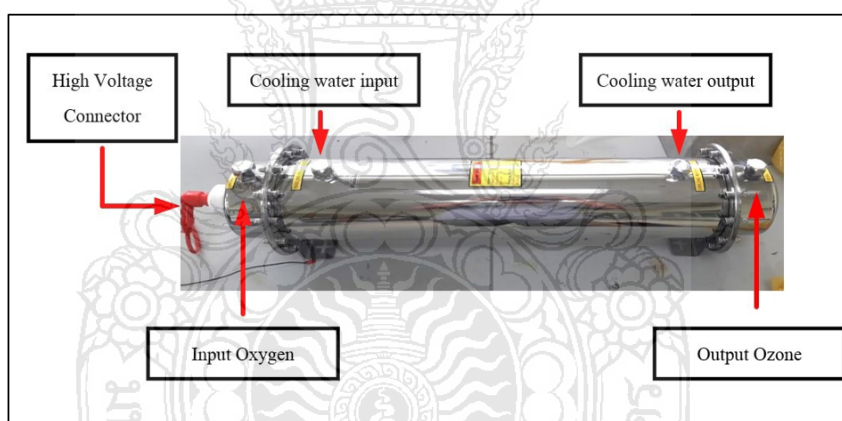


ภาพที่ 3.6 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)





ภาพที่ 3.7 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency)

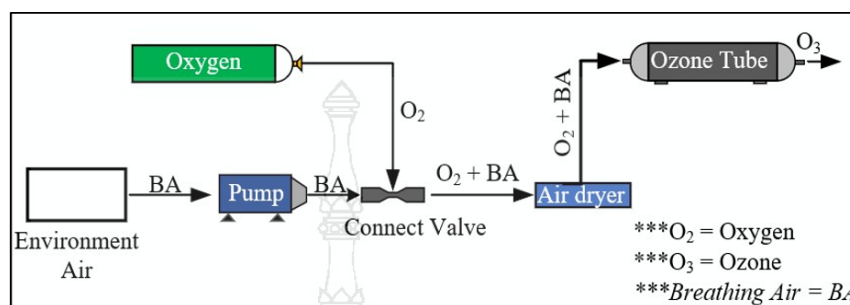


ภาพที่ 3.8 หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone Tube)

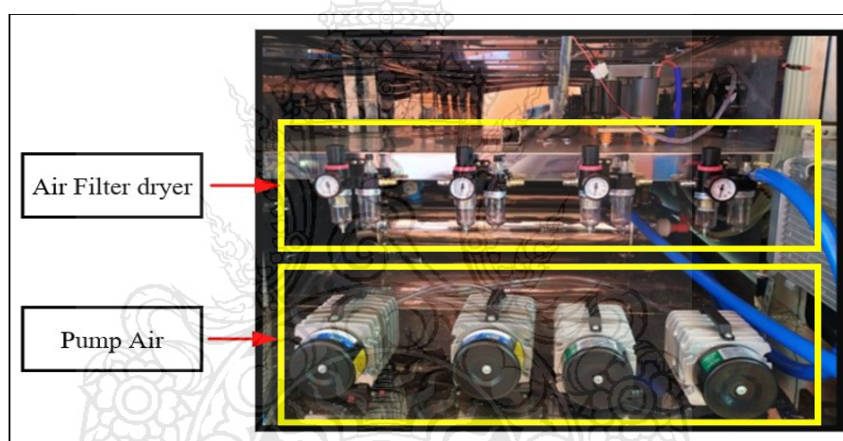
### 3.7.3 การออกแบบระบบจ่าย

การออกแบบระบบจ่ายอากาศอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเกิดโอโซนโดยมีอุปกรณ์ดังนี้ปั๊มลม (Air compressor) ถังออกซิเจน (Oxygen Tank) วาล์วควบคุมปริมาณออกซิเจน (Valve Control oxygen) และอุปกรณ์กรองความชื้น (Air dryer) มีหลักการออกแบบคือใช้ปั๊มลมที่สามารถผลิตอากาศ 75 ลิตร/นาที ซึ่งอากาศที่ผลิตได้ยังมีความชื้นผสมอยู่จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่กรองความชื้นออกจากอากาศก่อนที่จะส่งไปยังท่อผลิตโอโซนแต่ถ้านำอากาศที่ใช้หายใจในการผลิตโอโซนจะมีออกซิเจนอยู่เพียง 21 % ซึ่งทำให้ระบบผลิตโอโซนไม่สามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพดังนั้นจึงมีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ถังออกซิเจน สำหรับจ่ายเข้าไปยังถังผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้สามารถผลิตโอโซนได้ความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่

3.8 และในส่วนนี้จะสร้าง ระบบผลิตอากาศจำนวน 4 ชุด แสดงดังรูปที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างโอโซน

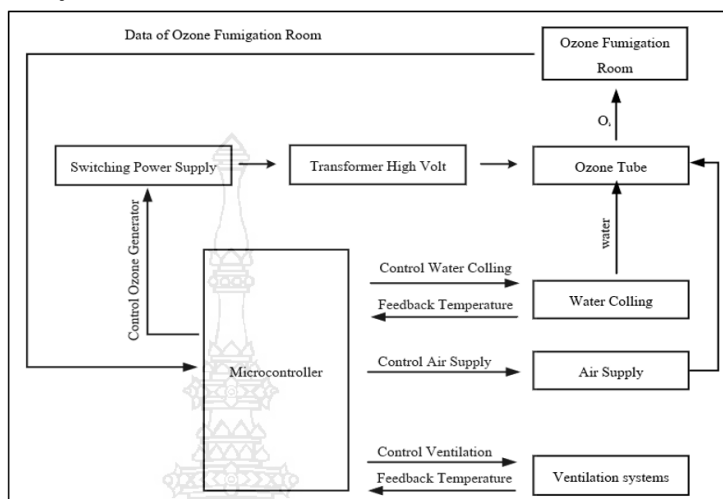


ภาพที่ 3.10 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตโอโซน

#### 3.7.4 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน

การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้หลักทำงาน คือระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน (Microcontroller control ozone generator system generator) ให้ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้จากนั้นจะสั่งให้ระบบผลิตอากาศ (Air supply) เริ่มทำงานเพื่อจ่ายอากาศไปที่ท่อผลิตโอโซนเมื่อในท่อผลิตโอโซนเกิดความร้อนขึ้นระบบหล่อเย็น (Water Colling) จะเริ่มทำงานทันทีเพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาว์นของโอโซน และความเสียหายต่อผลิตโอโซนเนื่องจากความร้อนในการทำงานที่ยาวนานของระบบอาจทำให้เกิดความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นอย่างยั้งที่มีระบบระบายความร้อน (Ventilation System) ออกจากตัวเครื่องเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและในส่วนสุดท้ายเป็นระบบเซนเซอร์ที่อยู่ ในห้องรมโอโซนโดยจะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นมาแสดงในที่หน้าจอแสดงผล

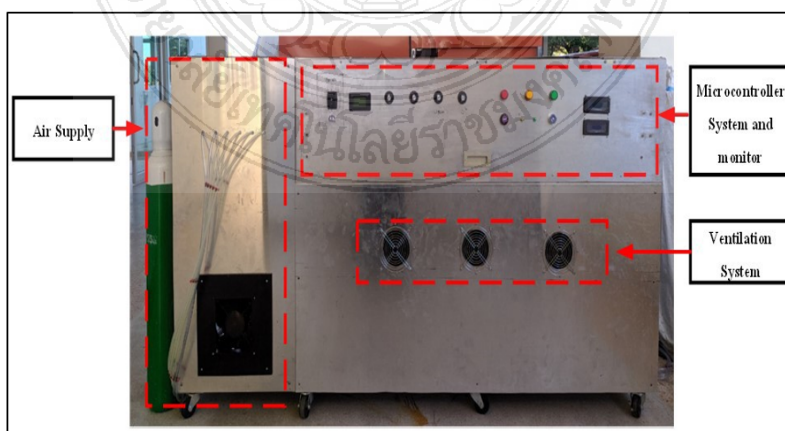
เพื่อนำไปเก็บบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลองแผนผังการทำงานแสดงดังภาพที่ 3.10



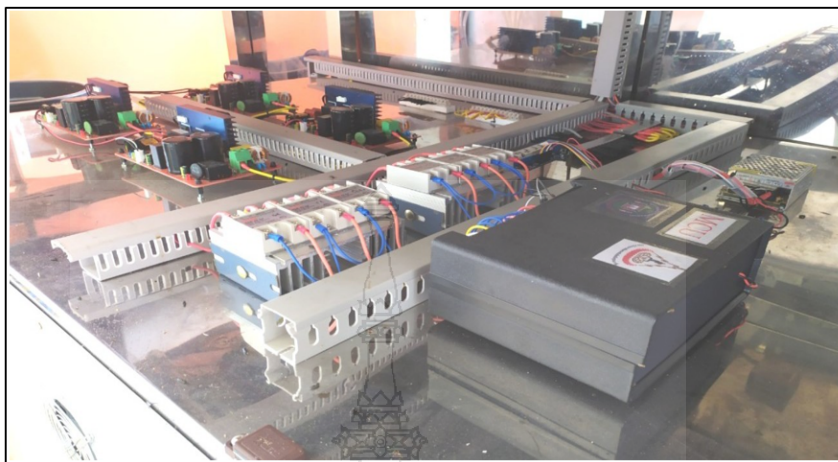
ภาพที่ 3.11 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ

### 3.7.5 ขั้นตอนการติดตั้งและสร้างระบบผลิตโอโซน

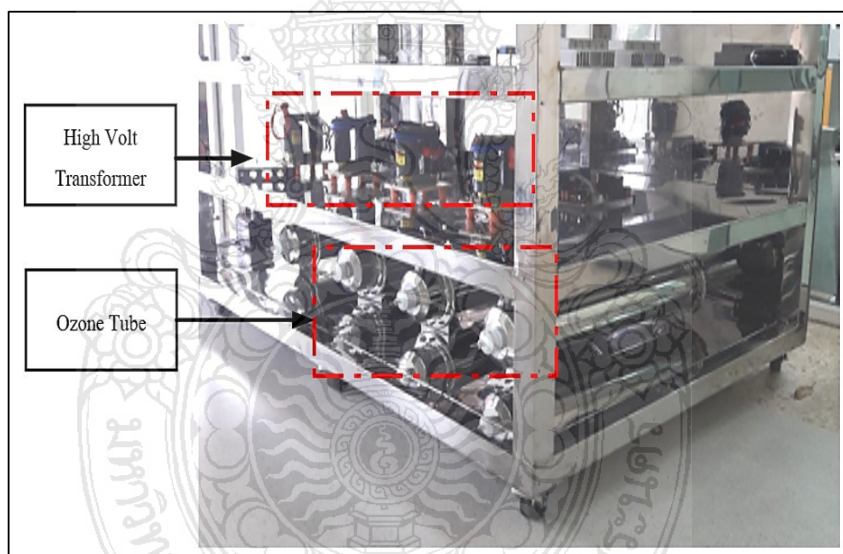
เครื่องผลิตโอโซนมีวัสดุโครงสร้างเป็นสแตนเลส ขนาด 2x1x1 เมตร แสดงดังรูปที่ 3.11 สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานและแสดงผลไว้ที่ด้านบนสุดเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.12 ในส่วนถัดมาระบบจ่าย อากาศจะทำการติดตั้งที่ตำแหน่งด้านซ้ายของเครื่องเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนจากปั๊มลมไปยังชุด วงจรควบคุม และ จะติดตั้ง ระบบระบายอากาศไว้บริเวณหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อป้องกัน ความร้อนที่เกิดจากหม้อแปลงสำหรับ การติดตั้งหม้อแปลง และท่อผลิตโอโซนจะติดตั้งให้มีระยะห่างจากกันประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าแรงดันสูงรบกวน กันภายในระบบ แสดงดังรูปที่ 3.13



ภาพที่ 3.12 เครื่องผลิตโอโซนความเข้มสูง



ภาพที่ 3.13 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซิ่ง



ภาพที่ 3.14 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตโอโซน

### 3.8 การวิเคราะห์ออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

#### 3.8.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

การศึกษางานวิจัยของ (Zahar et al., 2018) ได้ทำการศึกษาการกระจายตัวในห้องเย็นที่เป็นการเก็บรักษาปลาแช่แข็ง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ เครื่องผลิตโอโซนชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยจ่ายโอโซนเข้าไปที่ด้านบนของห้องเย็นเพื่อศึกษาการกระจายตัวของโอโซน ซึ่งภายในมีชั้นตระแกรงสำหรับวางปลา ซึ่งผลการทดลองพบว่า โอโซนสามารถกระจายตัวได้ดี มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทุกพื้นที่ของห้อง

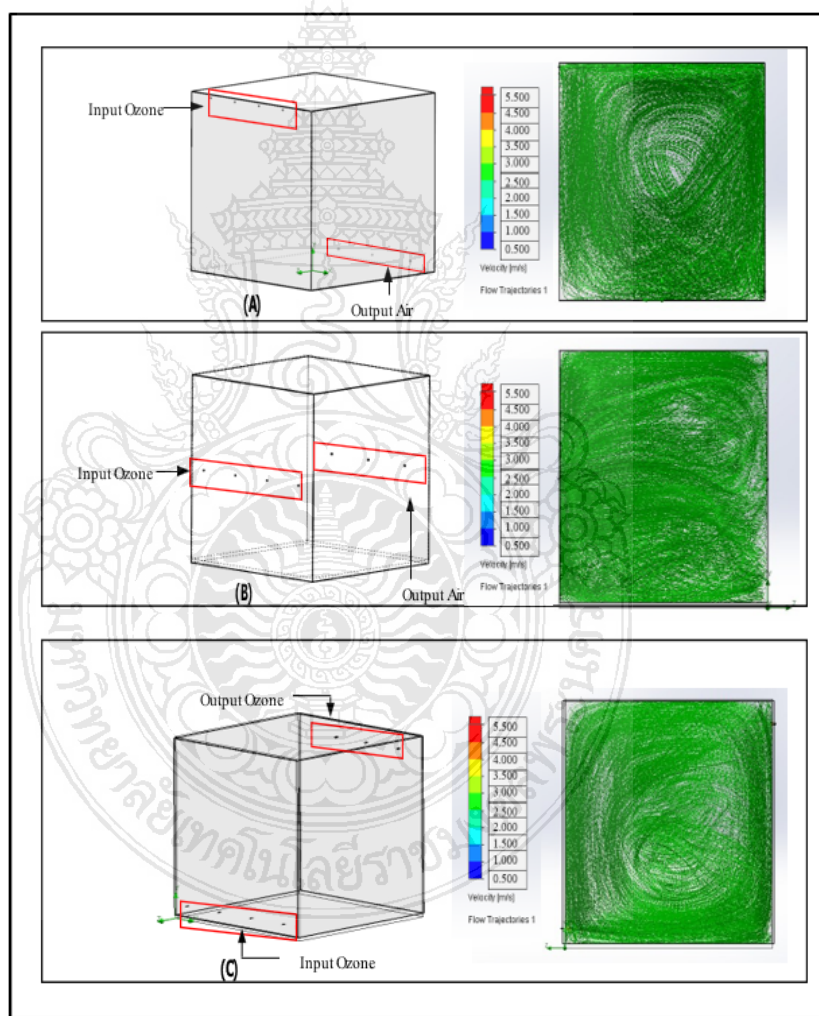


การศึกษางานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบตู้อบหัวหอม โดยศึกษาทิศการไหลของ และ แพร่กระจาย ของอากาศที่ไหลผ่านตะแกรงสำหรับวางหัวหอมในรูปแบบต่างโดยใช้โปรแกรม Solidwork flow simulation ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายและ ระบายอากาศออก ในตำแหน่งที่ต่างกันมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อการกระจายตัวของอากาศที่ไหลผ่าน สิ่งของที่ต้องการให้สัมผัส ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นแนวทางให้ศึกษาการใช้โปรแกรม และศึกษาการ กระจายตัวของอากาศให้นำไปประยุกต์ในการวิเคราะห์และออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้อย่างยิ่ง

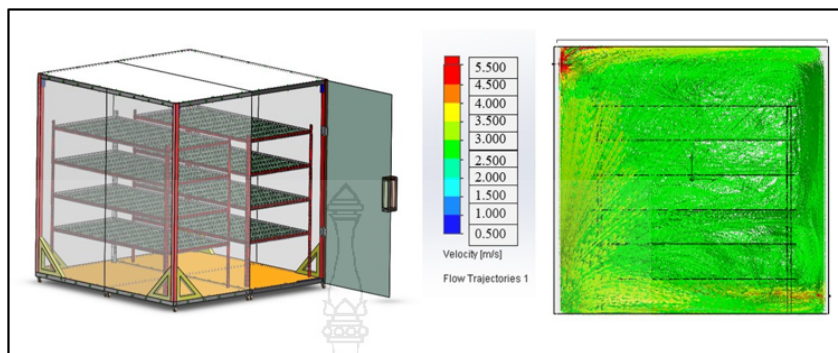
### 3.8.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายอากาศในห้องรมโอโซน

การวิเคราะห์การกระจายตัวของโอโซนได้จำลองโดยใช้โปรแกรม Solidwork simulation flow มีการวิเคราะห์ตำแหน่ง ของการปล่อย และ ระบายโอโซนอยู่ 3 รูปแบบ โดยมีการกำหนดช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าที่ความเร็วลมอยู่ที่ 5 เมตร/วินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง และระบายโอโซนออกจากห้องที่ความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง การกำหนดขนาดเท่ากันทุกการจำลองแต่ แตกต่างกันที่ตำแหน่งของการจ่ายและระบายโอโซนออกจากห้องทดลองการจ่ายโอโซนเข้า ด้านบนของห้อง และระบายออกด้านล่างที่อยู่ตรงข้ามกัน แสดงดังรูป 3.14 (A) จากการจำลองจะเห็นได้ว่าทิศทางของโอโซนจะเดินทางไป ที่อีกด้านของห้องแล้ววนกลับมา มีลักษณะหมุนวนเข้ามาที่จุด ปล่อยโอโซนเข้ามา จากนั้นจึงระบายออกถัดมาเป็นการจำลองการปล่อยโอโซน เข้า ที่ตรงกลาง ห้องและระบายออกที่ฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.14 (B) จากการจำลองสังเกตได้ว่าการปล่อย โอโซนเข้าที่บริเวณนี้จะมีทิศทางการเคลื่อนที่อยู่สองทิศทางคืออากาศจะหมุนไปที่ด้านบนและอีก ส่วนหนึ่งจะหมุนวนด้านล่างแล้วจึงระบายออกที่ด้านหลังห้อง และในส่วนสุดท้ายได้ทำการจำลอง ปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านล่างของห้อง และระบายออกที่ด้านบนของฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.14 (C) จากการจำลองพบว่าโอโซนโอโซนมีลักษณะกระจายตัวในรูปแบบที่หมุนวนจากด้านล่างของห้อง แล้วเคลื่อนที่ไปยังจุดระบายออก และ มีบางส่วนวนกลับมาที่จุดปล่อยการปล่อยลักษณะนี้การกระจายตัวในอากาศตรงกลางค่อนข้างที่จะน้อย จากการจำลองการแพร่กระจาย ของโอโซนทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้เลือกใช้การปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านบนของห้องและระบายอากาศออกด้านล่างของฝั่งตรง ข้าม เนื่องจากทิศทาง การแพร่กระจายตัวของโอโซนมีทิศทางที่เคลื่อนตัวจากด้านบนแล้ววนกลับมา ที่จุดปล่อยโอโซนและมวลต่อโมลของโอโซนมีน้ำหนัก 47.988 กรัม/โมล ซึ่งมากกว่าออกซิเจน และไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ คือ 15.999 กรัม/โมล และ 14.007 กรัม/โมล

ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ ถ้าปล่อยโอโซนจากด้านบนมีโอกาสที่จะตกมาด้านล่างได้ จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบ และจำลองการแพร่กระจายตัวของโอโซนที่ ภายในห้อง มีชั้นวางสำหรับวางกล้วยไม้ โดยกำหนดให้ มีช่องสำหรับปล่อยโอโซนเข้า ขนาด 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง อยู่ด้านบน และ ช่องสำหรับระบายอากาศออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง อยู่ตำแหน่งด้านล่างตรง ข้ามกับฝั่งขาเข้าผลการจำลอง พบว่ากระกระจายตัวของโอโซนสามารถแพร่กระจายได้ทุกพื้นที่ ของชั้นวาง แสดงดังรูปที่ 3.15



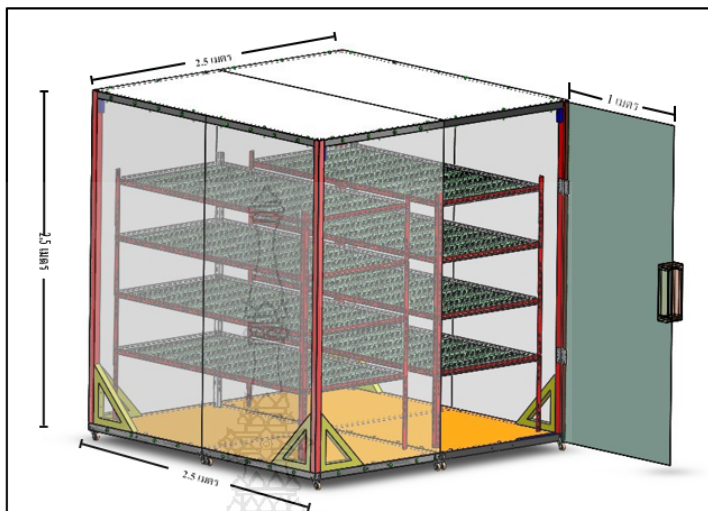
ภาพที่ 3.15 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน



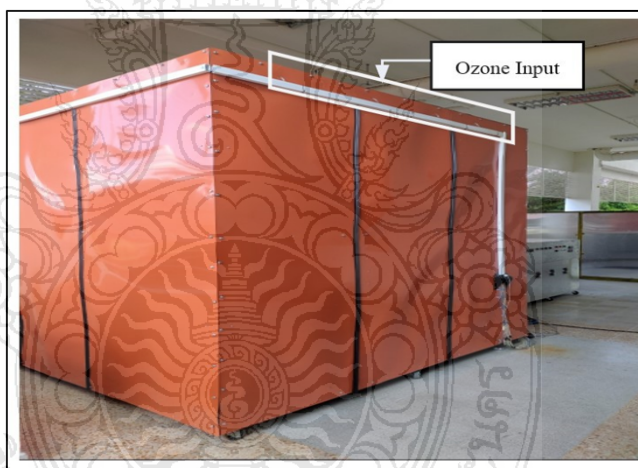
ภาพที่ 3.16 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซนที่ภายในมีชั้นก๊วยไม้

### 3.8.3 การออกแบบและสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนได้ออกแบบห้องให้มีขนาด 2.5x2.5x2.5 ลูกบาศก์เมตร ในส่วนของประตูทางเข้ามีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.16 มีช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าไปในห้อง (Ozone Input) จำนวน 4 ช่อง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.8 เซนติเมตรติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนของห้องดังภาพที่ 3.17 และช่องสำหรับระบายโอโซนออกจำนวน 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตรโดยมีพัดลมระบายอากาศติดตั้งอยู่ด้านหลังของห้องเพื่อช่วยในการกระจายตัวของโอโซนให้คงที่และช่วยลดโอโซนออกจากห้องเมื่อทำการลองเสร็จดังภาพที่ 3.18 สำหรับโครงสร้างจะเป็นเหล็กที่ถูกทาสี ป้องกันการ เกิดสนิมจากการกัดกร่อนของโอโซนส่วนของผนังห้องจะใช้วัสดุที่เป็นเมทัลชีทและด้านในจะติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนชนิด PE สำหรับป้องกันความร้อนจากภายนอกเพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีความเสถียรและชั้นวางก๊วยไม้มีจำนวน 2 อัน ในแต่ละอันมีจำนวน 4 ชั้น มีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตรยาว 200 เซนติเมตรและระยะห่างระหว่างชั้นอยู่ที่ 40 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 3.19

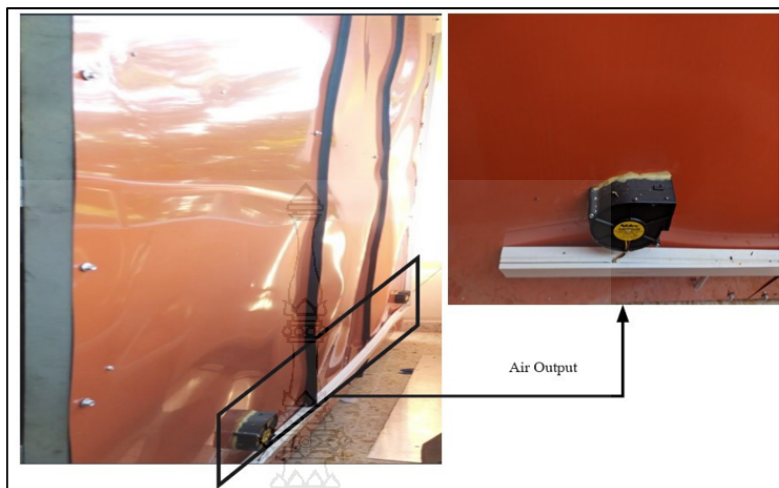


ภาพที่ 3.17 ออกแบบโครงสร้างห้องรมโอโซนและชั้นวางกล้วยไม้

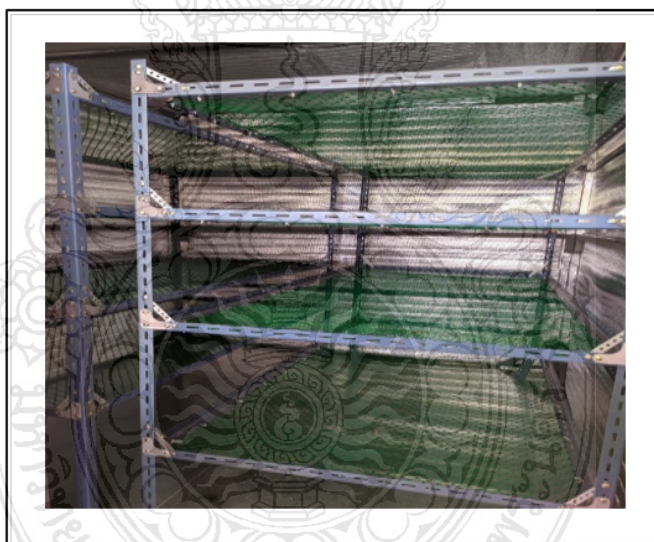


ภาพที่ 3.18 ห้องรมโอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตรและแสดงตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้า





ภาพที่ 3.19 พัฒนสำหรับระบายอากาศ



ภาพที่ 3.20 ชั้นวางกล้วยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมโอโซน

## บทที่ 4

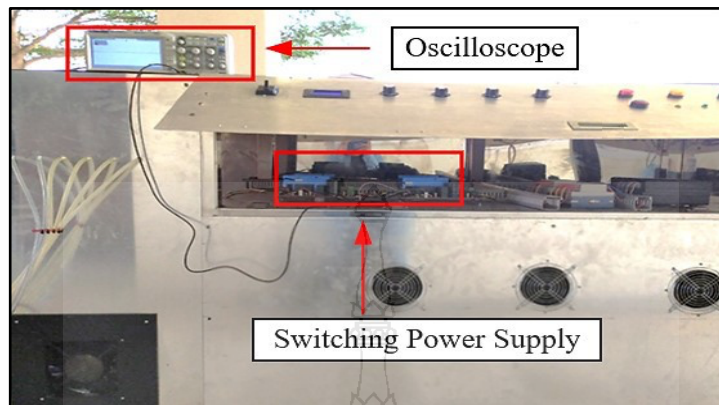
### การวัดและการทดลอง

#### 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน

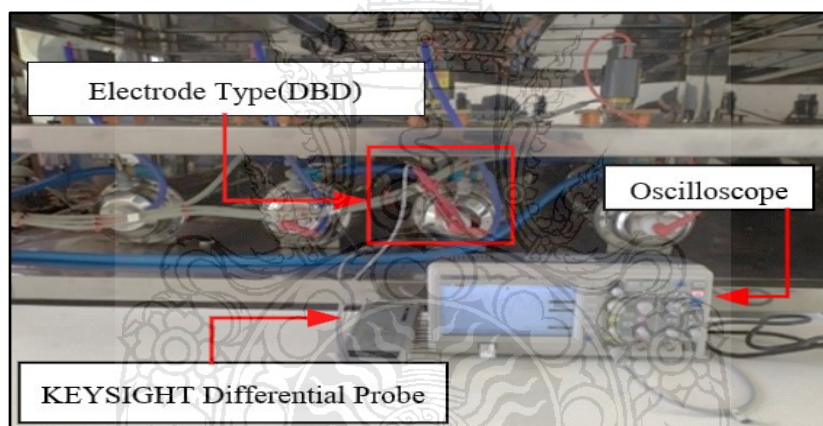
เครื่องผลิตโอโซนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ประการ คือ ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า แรงดันสูงที่ใช้สำหรับจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตโอโซน ซึ่งในส่วนนี้จะได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้ากำลังงานไฟฟ้า และความรู้ในการทำงานในส่วนถัดมาเป็นระบบจ่ายอากาศกับออกซิเจนโดยจะทำ การวัดอัตราการไหลของอากาศและปริมาณ ของออกซิเจนที่ ส่งไปยังท่อผลิตโอโซน และในส่วนสุดท้ายเป็นการควบคุมความร้อนในระบบ โดยจะทำการวัดความร้อนในระบบในกรณีที่ทำงานต่อเนื่องซึ่งการทดสอบที่กล่าวมานี้จะทำการทดสอบรวมกับการวัดปริมาณโอโซนที่ผลิตได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

##### 4.1.1 ทดสอบระบบสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน

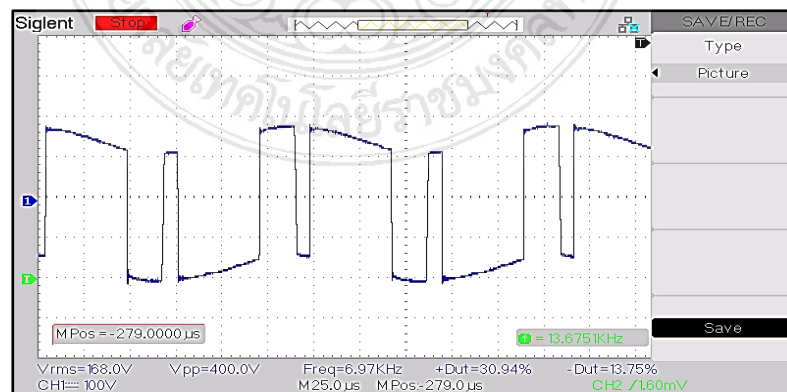
สำหรับการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซนนั้นจะทำการทดสอบอยู่ 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบสัญญาณที่ ออกจากวงจรสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายและ การทดสอบวัดสัญญาณของโพลต์ที่เป็นขั้ว อิเล็กโทรดแบบ Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยการทดสอบทั้งสองกรณีนี้จะทำการวัดลักษณะสัญญาณไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรด และความรู้ที่ใช้ทำงาน เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของ โอโซนที่ ผลิตได้เนื่องจากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน โดยใช้อุปกรณ์ทางการวัดที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับเก็บผลการทดลองซึ่งประกอบด้วย ออสซิลโลสโคปรุ่น Siglent SDS1072CML และชุดอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง รุ่น KEYSIGHT N2891A 70 MHz Differential Probe โดยการติดตั้งอุปกรณ์การวัดลักษณะ สัญญาณที่วงจรสวิทซ์เพาเวอร์ซัพพลายแสดงดังภาพที่ 4.1 ในส่วนถัดมาเป็นการวัดสัญญาณที่ขั้ว อิเล็กโทรดขณะที่ระบบทำงานโดยใช้อุปกรณ์วัดสัญญาณในอัตราส่วน 1000: 1 ต่อเข้า ออสซิลโลสโคปเพื่อแสดงค่าผลการทดลองที่ใช้ในการบันทึกผลดังภาพที่ 4.2 โดยลักษณะสัญญาณที่ วัดได้จากวงจรสวิทซ์ซึ่งแสดงดังภาพที่ 4.3 และในส่วนถัดมาเป็นผลการวัดสัญญาณจากหม้อแปลง ไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายไปยังโพลต์ที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดแสดงดังภาพที่ 4.4 โดยภาพที่แสดงนี้เป็นเป็น ผลการวัดสัญญาณในขณะที่เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพ



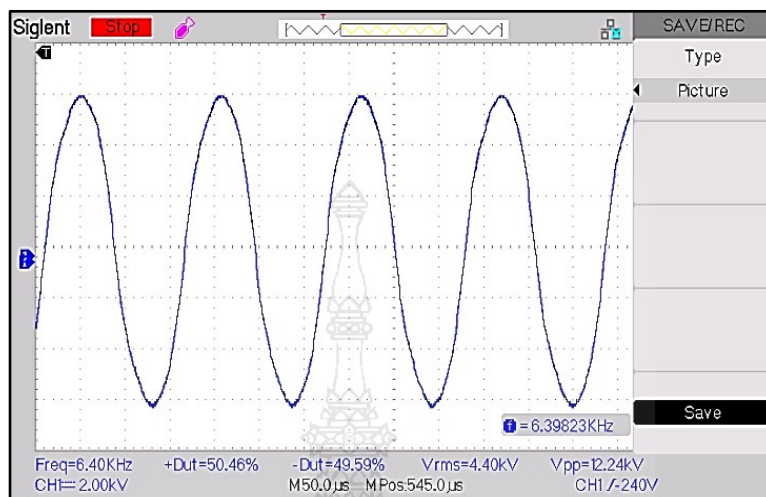
ภาพที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิ่ง



ภาพที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน



ภาพที่ 4.3 สัญญาณไฟฟ้าที่วงจรสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย



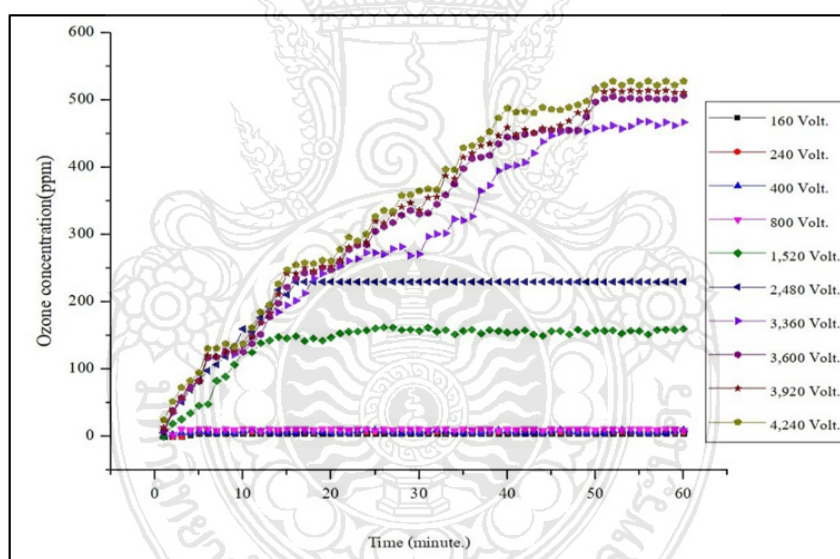
ภาพที่ 4.4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน

ตารางที่ 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน

| ลำดับที่ | Duty cycle (%) | Frequency(kHz) | Voltage(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       |

จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการทำงานของวงจรจะสร้างควมถี่ในการทำงานอยู่สองช่วงคือ ช่วง 20.40 ถึง 21.26 กิโลเฮิร์ตซ์ และการทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยการปรับค่าตัวใช้เซลล์ที่เพิ่มขึ้นนั้นทำให้แรงดันไฟฟ้า และกำลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังโหลดที่เป็น อิเล็กโทรดนั้นเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าและปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยผลการ

ทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในระดับต่างๆ ที่ใช้ผลิตโอโซนแสดงดังรูปที่ 4.5 ผลที่ได้เป็นปริมาณโอโซนที่ทำการวัดภายในห้องรมโอโซนที่ได้ออกแบบไว้สำหรับรมกล้วยไม้ โดยทำการทดลองในระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 70 ลิตร/นาที่จาก แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 800 โวลต์นั้นมีความเข้มข้นของโอโซนในปริมาณที่น้อยมากในห้องได้ออกแบบสร้างไว้ซึ่ง โอโซนจะเริ่มมีปริมาณความเข้มข้น สูงขึ้นในช่วง 1,520 โวลต์และในช่วง 3,600 ถึง 4,240 โวลต์ มีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสูงถึง 500 ppm ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 3,920 ถึง 4,240 โวลต์ นั้นสามารถผลิตโอโซนได้สูงกว่า 3,600 โวลต์ เพียงเล็กน้อยแต่ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้านั้น สูงกว่าเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของ ออกซิเจนที่ยังไม่เหมาะสมซึ่งจะแสดงการทดลองในขั้นตอนถัดไป



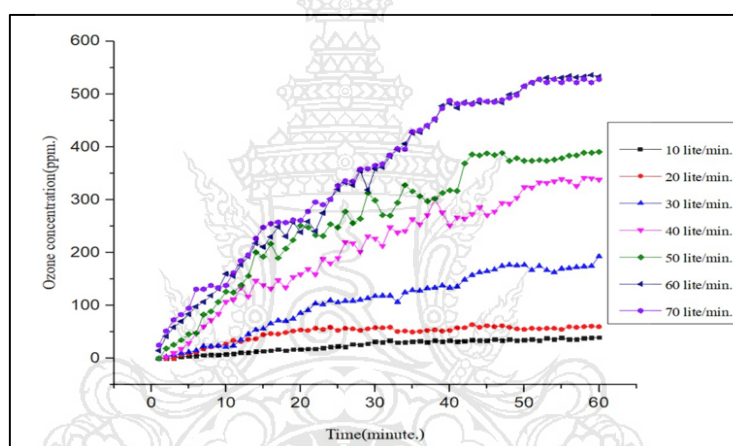
ภาพที่ 4.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซโอโซน

#### 4.1.2 ทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

สำหรับการทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตโอโซนผู้วิจัยได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้ที่ 3,600 โวลต์ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดย จะทำการทดลองปรับค่าอัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 10 ถึง 70 ลิตร/นาที่ เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตโอโซนโดยผลการวัดความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องทดลองสำหรับรมกล้วยไม้แสดงดังรูปที่ 4.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของ



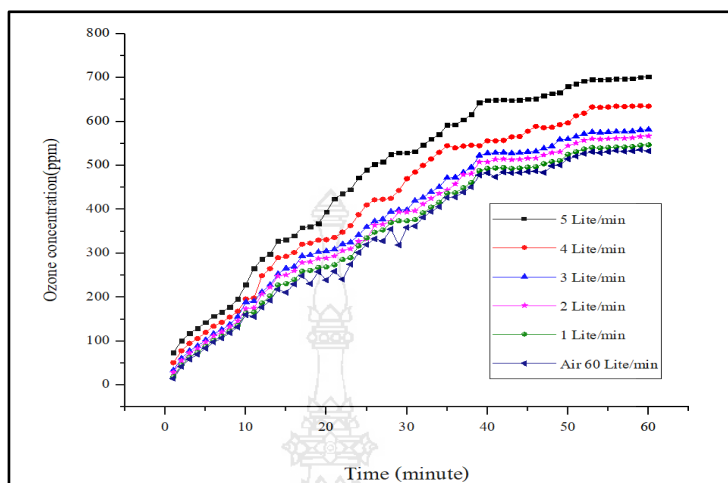
อากาศที่มากขึ้นทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องนั้นเพิ่มขึ้นตามเช่นกัน เนื่องจากอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้น ส่งผลให้มีปริมาณของออกซิเจนไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจึงส่งผลให้การแตกตัวของออกซิเจนเป็นโอโซนมีโอกาสมากขึ้นตามไปด้วยแต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองการจ่ายอากาศในช่วง 60 ถึง 70 ลิตร/นาที มีปริมาณความเข้มข้นโอโซนที่ใกล้เคียงกันซึ่งอาจเกิดจากการจ่ายอากาศให้มีอัตราการไหลในปริมาณที่สูงเกินความเหมาะสมที่พลังงานจากสนามไฟฟ้าทำให้ออกซิเจนแตกตัว จึงทำให้เกิดการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในห้องทดลองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้โอโซนที่อยู่ภายในห้องเจือจางได้



ภาพที่ 4.6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตโอโซน

#### 4.1.3 ทดสอบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

สำหรับการนำออกซิเจนมาทดลองร่วมกับอากาศที่ใช้ผลิตโอโซน เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของโอโซนโดยทำการทดลองกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจน โดยทดลองวัดความเข้มข้นโอโซนภายในห้องที่ออกแบบสร้างเพื่อใช้รมโอโซน โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดอยู่ที่ 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 60 l/min และกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจนตั้งแต่ 1 ถึง 5 ลิตร/นาที ตามลำดับ โดยผลการทดลองจะแสดงปริมาณโอโซนที่วัด ภายในห้องทดลอง สังเกตได้ว่าก๊าซโอโซนนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการจ่ายออกซิเจนที่ 60 นาทีสามารถผลิตโอโซนได้สูงถึง 700 ppm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายออกซิเจนเข้าไปเพื่อผลิตโอโซนนั้นมีอัตราความเข้มข้นของโอโซน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการจ่ายออกซิเจนที่ 5 ลิตร/นาที สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึง 550 ppm ใน ระยะเวลา 30 นาทีและมีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



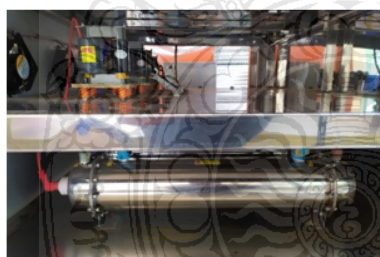
ภาพที่ 4.7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซน

#### 4.1.4 ประสิทธิภาพความร้อนในระบบเครื่องผลิตโอโซนเมื่อทำงานต่อเนื่อง

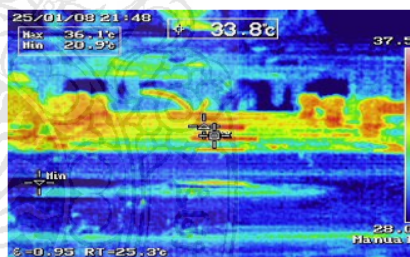
การควบคุมความร้อนในระบบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตโอโซน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน นั้นอาจส่งผลให้เกิดเบรกดาวขึ้นส่งผลให้ปริมาณของโอโซนนั้นลดลง อีกทั้งคุณสมบัติของท่อผลิตโอโซนนี้มีข้อกำหนดว่าอุณหภูมิโดยรอบไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียสเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตโอโซนนั้นลดลงโดยการควบคุมความร้อนภายในท่อผลิตโอโซนโดยใช้วิธีหล่อเย็นให้น้ำไหลผ่านภายในท่อผลิตโอโซนและมีชุดพัดลมระบายอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิภายในระบบเกิน 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองได้ทดลองระบบโดยให้เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอด 15 ชั่วโมง จำนวน 10 ครั้งซึ่งกำหนดให้เครื่องทำงานต่อเนื่องที่ระยะเวลา 90 นาทีต่อครั้งจากนั้น จะทำการวัดอุณหภูมิบริเวณท่อผลิตโอโซน โดยใช้กล้องถ่ายภาพ ความร้อนรุ่น Keysight U5855A ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะแสดงดังภาพที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความร้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 33.2 ถึง 33.8 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองภายในระยะเวลา 15 ชั่วโมง ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งอุณหภูมิที่ไม่เสถียรอาจเกิดจากสภาพอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอกแต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิในช่วงนี้ยังอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญ คืออุณหภูมิของโอโซนที่จ่ายไปยังห้องทดลองที่ต้องไม่ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในห้องเกิน 32 องศาเซลเซียส เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ได้ โดยผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.8 กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น Keysight U5855A



(ก) รูปถ่ายปกติ



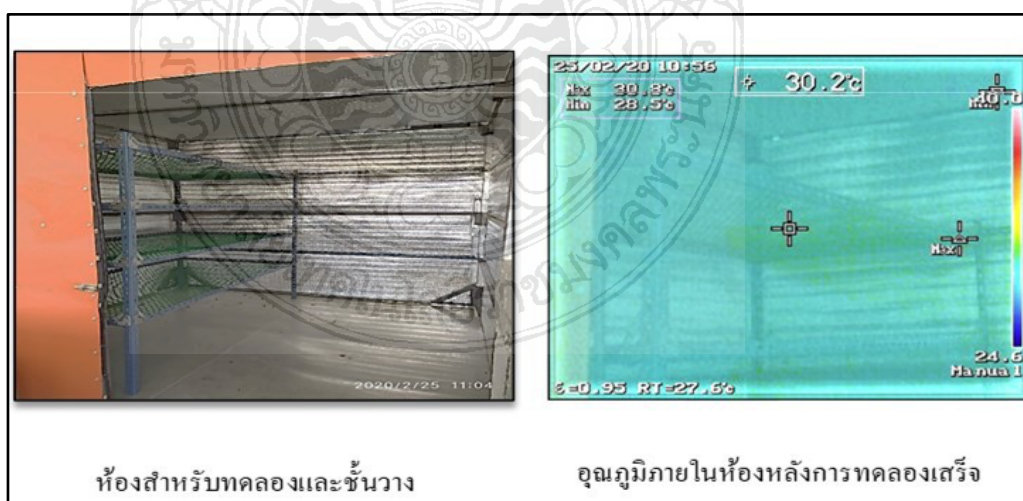
(ข) รูปถ่ายด้วยกล้อง Keysight U5855A

ภาพที่ 4.9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง



ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิตโอโซนในขณะทำงานต่อเนื่อง

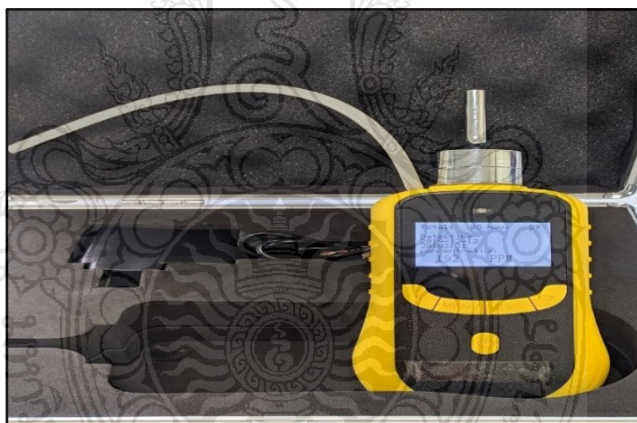
| ครั้งที่ | อุณหภูมิสูงสุด °C | อุณหภูมิต่ำสุด °C | อุณหภูมิโดยเฉลี่ย °C |
|----------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1        | 39.4              | 21.5              | 33.4                 |
| 2        | 39.6              | 21.4              | 33.7                 |
| 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                 |



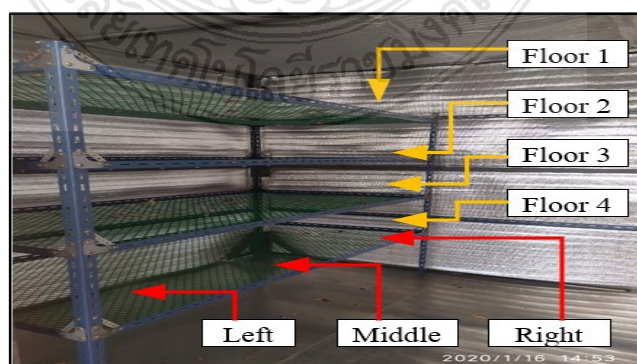
ภาพที่ 4.10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ

## 4.2 ปริมาณโอโซนภายในห้อง

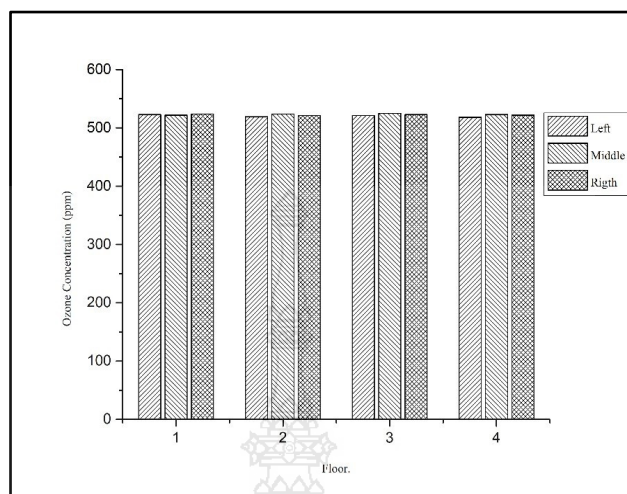
สำหรับการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ภายในห้องเพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ถึงอัตราการกระจายของโอโซนที่อยู่ภายในห้อง โดยทดลองให้ระบบผลิตโอโซนทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3,600 โวลต์ ทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์และใช้อากาศบริสุทธิ์ในการผลิตโอโซนมีอัตราการไหลอยู่ที่ 60 ลิตร/นาที่ กำหนดให้การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าเดียวกันในการทดลองทุกครั้งในการผลิตโอโซนไปที่ห้องสำหรับรมโอโซน และเครื่องมือที่ใช้วัดนั้น เป็นเครื่องมือวัดรุ่น SKZ1050 สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด 1000 ppm ที่ความละเอียด 1 ppm แสดงดังภาพที่ 4.11 โดยทำการติดตั้งเครื่องไว้ที่ตำแหน่ง ซ้าย ตรงกลาง และ ขวาของชั้นวางกล้วยไม้ แสดงดังภาพที่ 4.12 โดยความเข้มข้นโอโซนเป็นค่าที่วัดแล้วมีปริมาณ ความเข้มข้นคงที่ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากการทดลองเสร็จทุกครั้งจะทำการระบายอากาศออกจากห้องทดลองจากนั้นจะเริ่มทดลองใหม่ที่ระดับความเข้มข้นโอโซนเป็น 0 ppm.โดย ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.13 และ 4.14



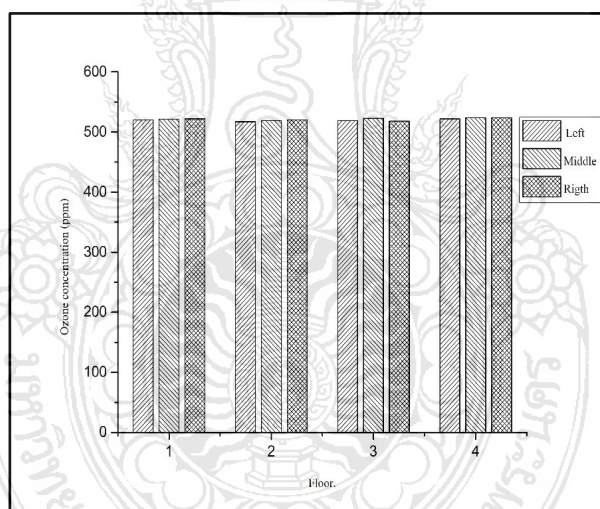
ภาพที่ 4.11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซน



ภาพที่ 4.12 การวัดโอโซนที่ตำแหน่งต่างๆ



ภาพที่ 4.13 ผลการวัดโอโซนภายในห้องที่ตำแหน่งต่างๆ บนชั้นวางกล้วยไม้



ภาพที่ 4.14 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่างๆ บนชั้นวางกล้วยไม้

### 4.3 อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน

สำหรับการทดลองหาอัตราการตายของแมลงผู้วิจัยได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชที่ชกกันกล้วยไม้ส่งออกได้แก่ เพลี้ยไฟ และไรแดง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลง พบว่าแมลงเหล่านี้มีอัตราการตายสูงถึง 98.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโอโซนในระดับความเข้มข้นในช่วง 458 -501 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยค่าตัวแปรที่อ้างอิงนี้เป็นค่าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ ตัด ดอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำงานวิจัยนี้

มาอ้างอิงถึงระดับความเข้มข้นของโอโซนเพื่อมาใช้ทดสอบกับแมลงศัตรูพืชเหล่านี้ โดยเริ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของโอโซนตั้งแต่ 450 ถึง 1,000 ppm อุณหภูมิที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาทีเพื่อหา ระดับความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้แมลงเหล่านี้ได้รับความตาย แสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าถ้าแมลงเหล่านี้ได้รับโอโซนความเข้มข้นสูงในระยะเวลาที่นานจะทำให้ได้รับอัตราการตายที่สูงขึ้น โดยการเก็บผลการทดลองจะสังเกต การตายของแมลงเหล่านี้ในกรณีที่ทดลองเสร็จทันทีรวมถึงหลังจากการทดลองเสร็จที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าแมลงเหล่านี้ถึงแก่ความตายด้วยโอโซนจริง ซึ่งการเก็บผล หลังจากการทดลองเสร็จทันทีแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 850 ถึง 950 ppm ในระยะเวลา 60 นาทีและความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 950 ถึง 1,000 ppm ในระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาทีมีอัตราการตายของแมลงอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์และจากสังเกตอาการของแมลงเหล่านี้ หลังจากการทดลองที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง พบว่าแมลงไม่มีการฟื้นตัวขึ้นแต่กลับพบว่าแมลงที่ได้รับความเข้มข้นของโอโซนในระดับ 551 ถึง 650 มีอัตราการตายที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับแต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้เป็นเพียงหาอัตราการตายของแมลง เพียงอย่างเดียว ซึ่งการวิจัยมีจุดประสงค์ที่สำคัญอีกประการคือระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้กำจัดแมลงเหล่านี้จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

ตารางที่ 4.3 ระดับความเข้มข้นโอโซนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง

| ความเข้มข้นของ<br>โอโซน (ppm) | ระยะเวลา<br>(นาที) | ตายทันที        |              | หลังจากการ<br>ทดลอง 5 ชั่วโมง |              | หลังจากการ<br>ทดลอง 8 ชั่วโมง |              |
|-------------------------------|--------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
|                               |                    | เพลี้ยไฟ<br>(%) | ไรแดง<br>(%) | เพลี้ยไฟ<br>(%)               | ไรแดง<br>(%) | เพลี้ยไฟ<br>(%)               | ไรแดง<br>(%) |
| 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 |

#### 4.4 ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้

สำหรับการทดลองนำกล้วยไม้ตัดดอกและต้นกล้วยไม้สำหรับส่งออกไปรมโอโซนเพื่อศึกษาหาผลกระทบที่จะได้รับนั้นได้ทดลองกับกล้วยไม้ตัดดอกสายพันธุ์หวายและมอคคาร่า เนื่องจากสายพันธุ์เหล่านี้ มีอัตราการส่งออกที่สร้างรายได้เป็นอันดับต้นๆของประเทศจึงทำการทดลองกับโอโซนในระดับความเข้มข้นต่างๆ ที่ได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ส่งโดย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4 โดยการสังเกตอาการจะแบ่งการสังเกตอยู่ 3 ช่วงเวลาคือ หลังจากการทดลองเสร็จทันที หลังจากการทดลองเสร็จ 1 วัน และหลังจากการทดลองเสร็จ 1 สัปดาห์ แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกล้วยไม้ตัดดอกที่ได้รับโอโซน

| ความเข้มข้น<br>โอโซน<br>(ppm) | ระยะเวลา<br>(นาท) | สังเกตทันที |          | หลังการทดลอง 1 วัน |          |
|-------------------------------|-------------------|-------------|----------|--------------------|----------|
|                               |                   | สกุลหวาย    | มอคคาร่า | สกุลหวาย           | มอคคาร่า |
| 450-550                       | 30                | ปกติ        | ปกติ     | ปกติ               | ปกติ     |
|                               | 60                | ปกติ        | ปกติ     | ปกติ               | ปกติ     |
| 551-650                       | 30                | ปกติ        | ปกติ     | ปกติ               | ปกติ     |
|                               | 60                | ปกติ        | ปกติ     | ปกติ               | ปกติ     |

|           |    |          |          |          |          |
|-----------|----|----------|----------|----------|----------|
| 651-750   | 30 | เล็กน้อย | เล็กน้อย | เล็กน้อย | เล็กน้อย |
|           | 60 | ปานกลาง  | ปานกลาง  | ปานกลาง  | ปานกลาง  |
| 751-850   | 30 | เล็กน้อย | เล็กน้อย | ปานกลาง  | ปานกลาง  |
|           | 60 | ปานกลาง  | ปานกลาง  | รุนแรง   | รุนแรง   |
| 851-950   | 30 | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   |
|           | 60 | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   |
| 950-1,000 | 30 | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   |
|           | 60 | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   | รุนแรง   |

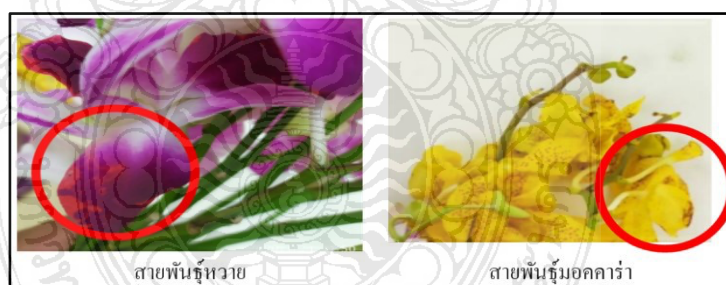
ตารางที่ 4.5 ต้นกล้วยไม้ที่รับผลกระทบจากโอโซน

| ความเข้มข้นของ<br>โอโซน (ppm) | ระยะเวลา<br>(นาท) | สังเกตพื้นที่ |      | หลังการทดลอง 1 วัน |      |
|-------------------------------|-------------------|---------------|------|--------------------|------|
|                               |                   | ลำต้น         | ใบ   | ลำต้น              | ใบ   |
| 450-550                       | 30                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
|                               | 60                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
| 551-650                       | 30                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
|                               | 60                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
| 651-750                       | 30                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
|                               | 60                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
| 751-850                       | 30                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |
|                               | 60                | ปกติ          | ปกติ | ปกติ               | ปกติ |



|           |    |      |      |      |      |
|-----------|----|------|------|------|------|
| 851-950   | 30 | ปกติ | ปกติ | ปกติ | ปกติ |
|           | 60 | ปกติ | ปกติ | ปกติ | ปกติ |
| 950-1,000 | 30 | ปกติ | ปกติ | ปกติ | ปกติ |
|           | 60 | ปกติ | ปกติ | ปกติ | ปกติ |

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับ 450 ถึง 650 ppm มีลักษณะของดอกกล้วยไม้ที่ปกติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการรมโอโซนทั้งจากการสังเกตที่ระยะเวลา หลังการทดลองเสร็จทันที หลังจากการทดลอง 1 วัน และ หลังจากการทดลอง 7 วัน ในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับความเข้มข้นของโอโซน 650 ppm ขึ้นไปกล้วยไม้จะเริ่ม ได้รับความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยความเสียหายที่ได้รับจะมีลักษณะ เหี่ยวเฉา เป็นจุดขาวๆ บริเวณดอก และ ที่ระดับความเข้มข้นโอโซน 851 ppm ที่ระยะเวลา 30 นาที ขึ้นไป กล้วยไม้จะได้รับความเสียหายที่รุนแรง โดยสายพันธุ์หวายจะมีลักษณะซ้ำที่บริเวณดอกกล้วยไม้ ในส่วนของสายพันธุ์มอศคาร่าจะได้รับความเสียหายในลักษณะเป็นรอบซ้ำ สีนํ้าตาลที่บริเวณริมดอก แสดงดังภาพที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กล้วยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากโอโซน

#### 4.5 การทดลองนำกล้วยไม้และเปลือยไฟมาทดลองในระบบใหญ่

สำหรับการทดลองนำกล้วยไม้และเปลือยไฟมาทดลองในระบบใหญ่เพื่อหาอัตราการตายของแมลงและผลกระทบของโอโซนที่ส่งผลต่อกล้วยไม้โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 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 และคงที่ อยู่ในช่วง

600 ถึง 650 ppm. จนสิ้นสุดการทดลอง โดยอัตราการตายของแมลงศัตรูพืชหลังจากการ ทดลองรม โอโซนทั้งสองชนิดจะแสดงดังตารางที่ 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       | เพลี้ยไฟ | ไรแดง |
|---------------------------|----------|-------|
| ตายทันที                  | 75 %     | 80 %  |
| หลังจากการทดลอง 5 ชั่วโมง | 90 %     | 90 %  |
| หลังจากการทดลอง 8 ชั่วโมง | 100 %    | 100 % |

#### 4.6 การเลือกใช้ขนาดไดอิเล็กตริกของหลอดโอโซน(ฉนวนแก้ว)

เมื่อพิจารณาจากศักย์ไฟฟ้า และค่าความเครียดสนามไฟฟ้าพบว่าหลอดโอโซนขนาดไดอิเล็กตริก 2 มิลลิเมตร มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าทั้งที่พื้นผิวทรงกระบอกภายใน และภายนอกมากที่สุด เมื่อพิจารณาจากการใช้โปรแกรมจะพบว่า ขนาดไดอิเล็กตริก 2.5 มิลลิเมตรสามารถผลิตโอโซนได้มากที่สุด รองลงมาคือขนาดไดอิเล็กตริก 2 และ 1 มิลลิเมตรตามลำดับ แต่เมื่อนำภาพผลเฉลยศักย์ไฟฟ้า ขณะจ่ายแรงดันสูง 15000 V มาเปรียบเทียบกับกันจะพบว่าศักย์ไฟฟ้าของไดอิเล็กตริกขนาด 1 และ 2.5 มิลลิเมตรมีปริมาณมากทั้งภายใน และภายนอกไดอิเล็กตริก ในขณะที่เดียวกันศักย์ไฟฟ้าของไดอิเล็กตริกขนาด 2 มิลลิเมตรกระจายไปตามแนวของอิเล็กโทรด ตามกฎความต่างของศักย์ไฟฟ้า ศักย์ไฟฟ้าสูงจะไหลไปหาศักย์ไฟฟ้าต่ำ จากกฎนี้จึงใช้ไดอิเล็กตริกขนาด 2 มิลลิเมตร เนื่องจากมีการกระจายของศักย์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับไดอิเล็กตริก 2.5 และ 1 มิลลิเมตรที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงกระจายทั่วทั้งหลอด โอโซน ไดอิเล็กตริก 2.5 และ 1 มิลลิเมตรโอกาสการเกิดการเบรคดาวน์ภายในเนื้อฉนวนมากที่สุด

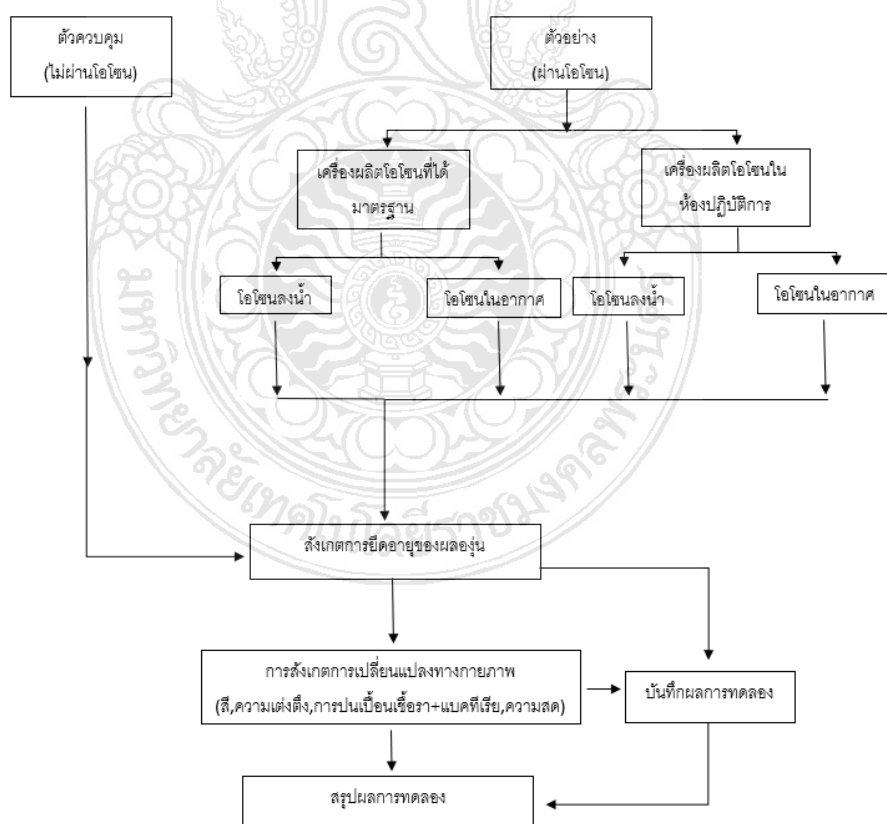


#### 4.7 ออกแบบและการทดลองกับผลไม้ประเภทองุ่น

การดำเนินการทำโครงการ ผู้จัดทำได้ออกแบบการทดลองดังภาพที่ 4.16 โดยจะใช้ตัวอย่างการทดลองเป็นองุ่นไขปลา เนื่องจากองุ่นไขปลาเป็นผลไม้เศรษฐกิจที่มีการปลูกได้ทุกที่ สามารถหาได้ง่าย อีกทั้งองุ่นยังเก็บไว้ได้ไม่นาน มีอายุประมาณ 7 - 14 วัน ยิ่งเก็บไว้นานมีการเน่าเสียขององุ่นเพิ่มมากขึ้นจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวอย่างในการทดลอง ศึกษาการยืดอายุขององุ่น



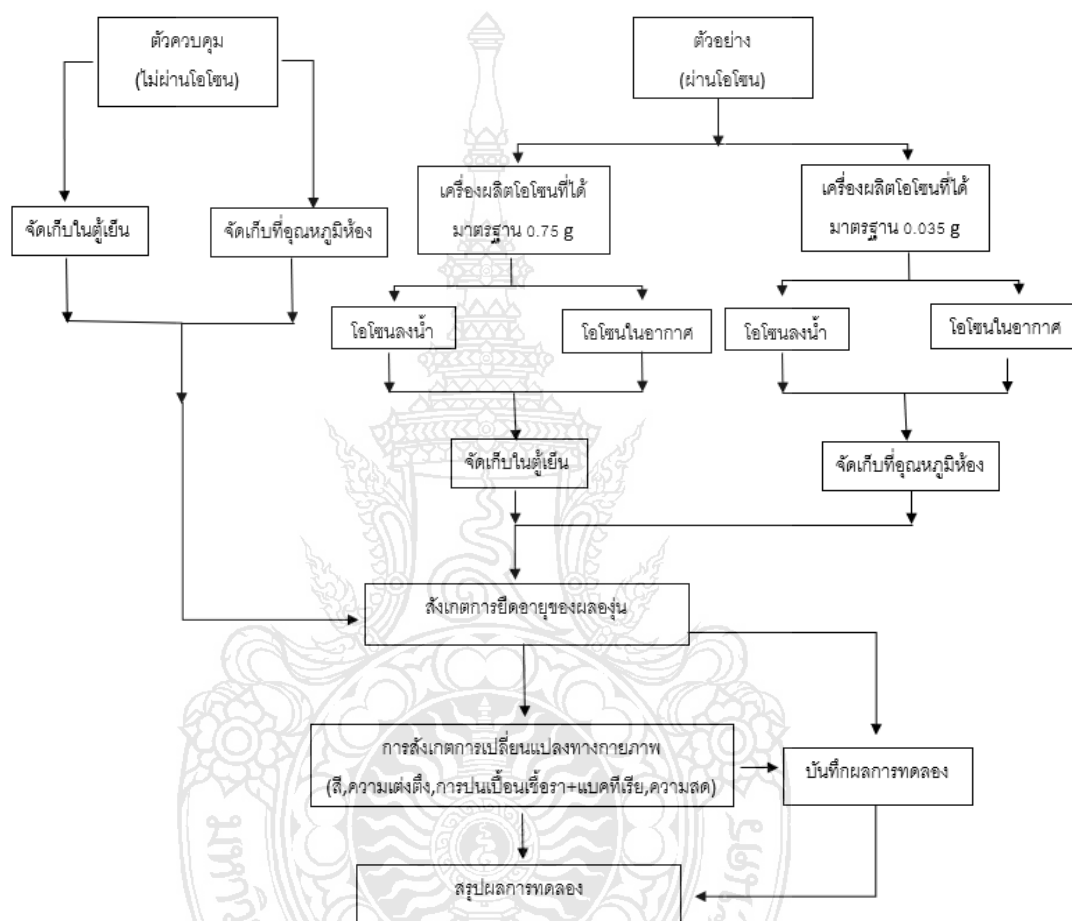
ภาพที่ 4.16 องุ่นไขปลา



ภาพที่ 4.17 แผนผังการศึกษา

#### 4.8 ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบของุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน กับเครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน

ขั้นตอนนี้องุ่นไข่ปลาจะถูกทำการทดสอบ 2 แบบ ประกอบด้วย 1) ตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซน และ 2) ตัวอย่างที่ผ่านโอโซน 2 ตัวอย่าง เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐานมีโอโซนที่ผลิตได้ คือ 0.75 g และ 0.035 g เมื่อนำตัวอย่างมาผ่านโอโซนเป็นระยะเวลา 30 นาที โดยสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 3.40–3.44



ภาพที่ 4.18 แผนผังการทดลองจำนวน 3 ครั้ง



ภาพที่ 4.19 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน 220 V ผลิตโอโซนที่ 3 กรัมต่อชั่วโมง



ภาพที่ 4.20 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน  
ใช้ผลิตโอโซนที่ความเข้มข้น 0.75 กรัมต่อครึ่งชั่วโมง



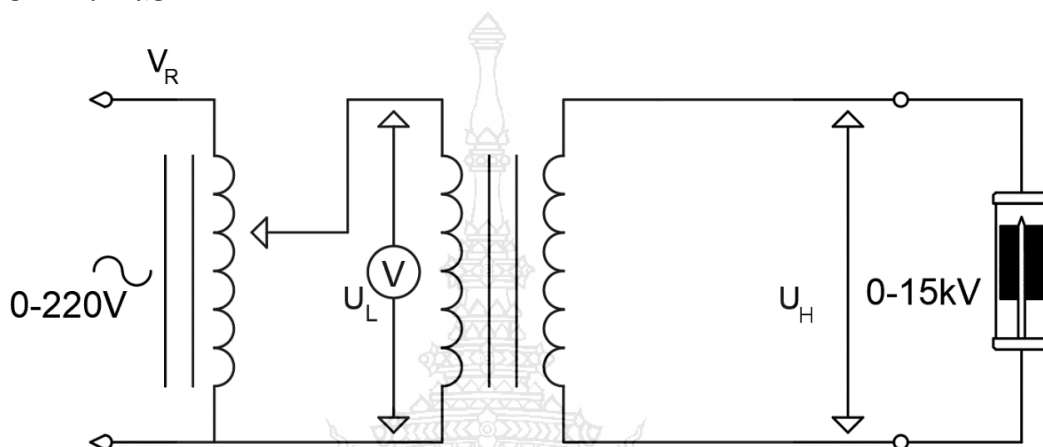
ภาพที่ 4.21 เครื่องผลิตโอโซนที่ได้มาตรฐาน  
ที่ใช้ผลิตโอโซนความเข้มข้น 0.375 กรัมต่อครึ่งชั่วโมง



ภาพที่ 4.22 ลักษณะทางกายภาพขององุ่น  
ที่ผ่านการอบโอโซนในอากาศ และในน้ำ

#### 4.9 ทำการทดลองโดยใช้เครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการ

ในการผลิตโอโซนครั้งนี้จะทำการต่อวงจรเข้ากับแหล่งจ่ายหม้อแปลงแบบปรับค่าได้ แล้วจ่ายแรงดันไปที่หม้อแปลงเพื่อป้อนแรงดัน 15000 KV เข้าไปที่อิเล็กโทรดแบบขนานของหลอดโอโซน เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูง ระหว่างอิเล็กโทรดแบบขนาน กับไดอิเล็กทริกขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วทำการต่อชิ้นงานเข้ากับปั๊มลมเพื่อดึงก๊าซโอโซนที่เกิดขึ้นในตัวชิ้นงานออกมาใช้ใสน้ำ หรืออากาศ เพื่อทำการทดลอง



ภาพที่ 4.23 วงจรไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการผลิตโอโซน

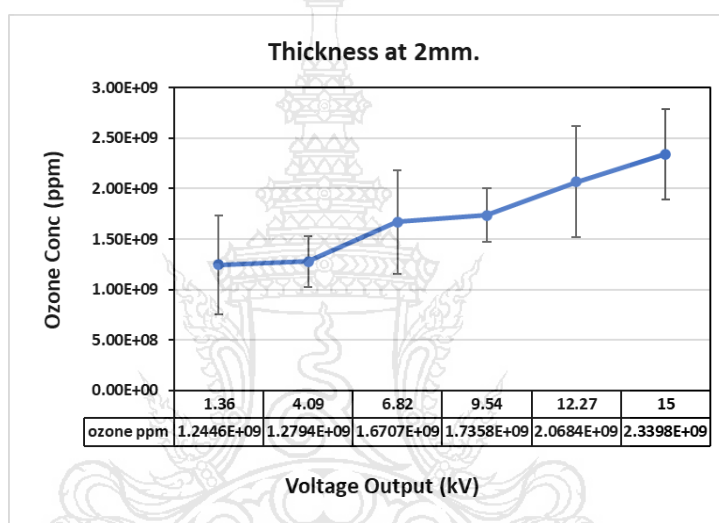


ภาพที่ 4.24 ขั้นตอนการต่อวงจรทดสอบความสามารถในการผลิตก๊าซโอโซน



ตารางที่ 4.8 แสดงการผลิตโอโซนของหลอดโอโซนขนาด 2 มิลลิเมตร [9]

| Voltage (V) | High Voltage<br>(Electric Field)<br>Maximum 220V=15kV | The amount of gas<br>Ozone concentration<br>(g./L./hr.) | Ozone (ppm) |
|-------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------|
| 20          | 1.36 kV                                               | 1,245                                                   | 1.24E+08    |
| 60          | 4.09 kV                                               | 1,279                                                   | 1.28E+08    |
| 100         | 6.82 kV                                               | 1,671                                                   | 1.67E+08    |
| 140         | 9.54 kV                                               | 1,736                                                   | 1.74E+08    |
| 180         | 12.27 kV                                              | 2,068                                                   | 2.07E+08    |
| 220         | 15 kV                                                 | 2,340                                                   | 2.34E+08    |



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงปริมาณโอโซนที่ได้จากการใช้แรงดันของอิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าไดโอดเล็กทริกหนา 2 มิลลิเมตร [9]



ภาพที่ 4.26 ขั้นตอนการป้อนแรงดันไฟฟ้าและต่อเข้าปั๊มลม



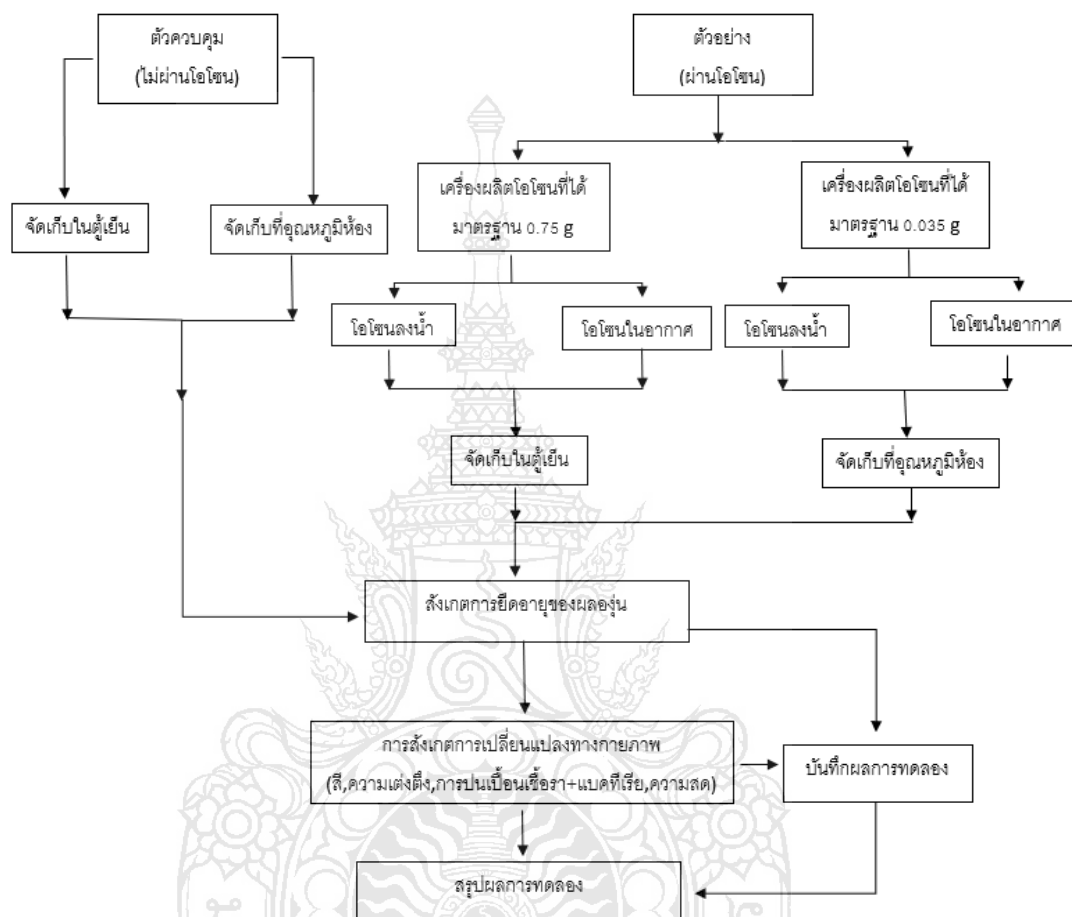
ภาพที่ 4.27 บั้มลมเพื่ออัดโอโซนให้อุ่นไขปลา



ภาพที่ 4.28 บั้มลมในการทดสอบเติมก๊าซโอโซนให้อุ่นไขปลาเป็นเวลา 30 นาที

#### 4.10 ทดสอบอายุการเก็บรักษาตัวอย่าง

ตัวอย่างถูกนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องโดยการจัดเก็บในตู้ และจัดเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อเปรียบเทียบอายุการเก็บรักษาในสภาวะการเก็บที่ต่างกัน โดยตัวอย่างที่ไม่ผ่านโอโซน และตัวอย่างที่จากเครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตขึ้นในห้องปฏิบัติการจะมีการเก็บทั้งในตู้เย็น และอุณหภูมิห้อง



ภาพที่ 4.29 แผนผังการจัดเก็บ



#### 4.11 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวองุ่นหลังจากเก็บรักษานาน 3 วัน

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 3 วัน

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                              | ภาพขององุ่น                                                                          | ผลการสังเกตเห็น                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | องุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง                 |    | สีองุ่นมีความสด ผิวขององุ่นมีความ<br>แห้ง ผิวเริ่มเหี่ยวยุบ คิดเป็น 20%<br>ไม่เกิดเชื้อรา |
| 2   | องุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน<br>เก็บที่ตู้เย็น                      |    | ผิวองุ่นดูสด ผิวมีความตึงไม่นิ่มเหลว<br>ไม่เกิดเชื้อรา                                    |
| 3   | องุ่นที่ผ่านโอโซนในอากาศ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น |   | ผิวองุ่นมีสีม่วงอมแดงมีสีที่สด ผิวมี<br>ความตึง ไม่เกิดเชื้อรา                            |
| 4   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น   |  | ผิวองุ่นมีสีม่วงเข้มมีสีที่สด ผิวมีความ<br>ตึง ไม่เกิดเชื้อรา                             |
| 5   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง  |  | ผิวองุ่นมีสีม่วงอมเขียว ผิวมีความตึง<br>มีเชื้อราเกิดขึ้นคิดเป็น 2%                       |

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 3 วัน(ต่อ)

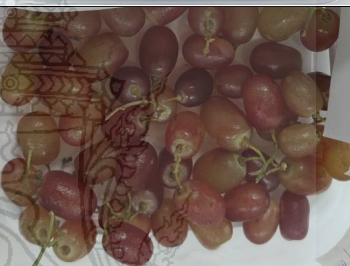
| ที่ | ประเภทการทดลอง                                                  | ภาพขององุ่น                                                                         | ผลการสังเกตเห็น                                                                            |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง |   | องุ่นมีสีม่วงอมแดงสด ผิวมีความตึง<br>ไม่เกิดเชื้อรา                                        |
| 7   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น           |   | ผิวองุ่นมีสีม่วงออกสีแดงเข้ม ผิวองุ่น<br>ยังมีความตึงไม่เกิดเชื้อรา มีสีอ่อน<br>บริเวณขั้ว |
| 8   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น      |  | ผิวองุ่นมีสีม่วงเข้ม<br>ผิวองุ่นยังมีความตึงไม่เกิดเชื้อราแต่<br>มีสีอ่อนบริเวณขั้ว        |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

จากการสังเกตเป็นเวลา 3 วัน องุ่นที่เป็นตัวควบคุมที่ไม่ผ่านโอโซนกับตัวอย่างที่ผ่านโอโซนปริมาณ 0.375g แล้วเก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นตัวอย่างองุ่นเหี่ยวเฉา และเกิดการปนเปื้อนเชื้อรา โดยการเหี่ยวเฉาขององุ่นมักจะเกิดขึ้นบริเวณผล นอกจากนั้นมิเชื้อราเกิดที่ขั้วขององุ่น ซึ่งคาดว่ามิผลมาจากความชื้นสะสมที่ขั้วองุ่น หรือเกิดจากความชื้นบริเวณที่องุ่นแช่ จากการสังเกตพบว่าองุ่นที่แช่น้ำผสมโอโซนจะมีสีที่เข้มกว่าแบบที่รมโอโซน โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นโอโซนสูงขึ้นทำให้องุ่นมีสีม่วงเข้มมากขึ้น

#### 4.12 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวองุ่นหลังจากเก็บรักษานาน 5 วัน

ตารางที่ 4.10 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 5 วัน

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                              | ภาพขององุ่น                                                                          | ผลการสังเกตเห็น                                                                    |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | องุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง                 |    | ผิวขององุ่นแห้ง มีการเหี่ยวยุบ เริ่มเน่าเสีย 10% เชื้อราขึ้นบริเวณขั้วขององุ่น 20% |
| 2   | องุ่นที่ไม่ผ่านโอโซน<br>เก็บที่ตู้เย็น                      |    | ผลองุ่นมีสีที่สด ผิวยังมีความตึง ผิวขององุ่นเริ่มมีความเหี่ยวยุบ 10 %              |
| 3   | องุ่นที่ผ่านโอโซนในอากาศ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น |   | ผิวองุ่นมีสีม่วงแดงมีสีที่สด ผิวมีความตึง ไม่เกิดเชื้อรา                           |
| 4   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น   |  | ผิวองุ่นมีสีม่วงเข้มมีสีที่สด ผิวมีความตึง ไม่เกิดเชื้อรา                          |
| 5   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง  |  | ผิวองุ่นมีความตึง มีการเกิดเชื้อราขึ้นที่ผิวขององุ่น 30% มีการเน่าเสีย 10%         |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

ตารางที่ 4.10 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 5 วัน(ต่อ)

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                                  | ภาพขององุ่น                                                                         | ผลการสังเกตเห็น                                                                                                        |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง |   | ผิวขององุ่นมีสีม่วงเขียวมีความแห้ง<br>แต่ยังคงมีความตึง ไม่มีร่องรอย<br>ของการเน่าเสีย<br>พบเชื้อราที่ผิวขององุ่น 10%  |
| 7   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น           |   | ผิวขององุ่นมีสีม่วงออกสีแดงเข้ม ผิว<br>องุ่นตึง<br>เกิดเชื้อราโดยเฉพาะตำแหน่งที่มี<br>ความชื้นบริเวณผิว เกิดเชื้อรา 2% |
| 8   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น      |  | ผิวขององุ่นมีสีม่วงเข้มขึ้น<br>ผิวขององุ่นยังมีความตึง มีสีอ่อน<br>บริเวณขั้ว พบเชื้อรา 2%                             |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

จากการเฝ้าสังเกตตัวอย่างการทดลองพบว่าองุ่นที่ไม่ผ่านการพ่นโอโซนเก็บที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 วัน มีการเน่าเสียเกิดขึ้น และองุ่นที่ผ่านการพ่นโอโซนปริมาณ 0.375g แล้วเก็บที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างองุ่นมีการเหี่ยวเฉา และมีเชื้อรา การเหี่ยวเฉาขององุ่นส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณผล ส่วนเชื้อราเกิดขึ้นบริเวณขั้วองุ่นคาดว่าเกิดมาจากการขึ้นขององุ่นสะสมที่บริเวณขั้ว นอกจากนั้นพบเชื้อราองุ่นที่ผ่านโอโซนปริมาณ 2340 g พบเชื้อราขึ้น บริเวณผลซึ่งอาจเกิดมาจากการเข้าขององุ่นที่บริเวณผล



#### 4.13 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวองุ่นหลังจากเก็บรักษานาน 7 วัน

ตารางที่ 4.11 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 7 วัน

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                              | ภาพขององุ่น                                                                          | ผลการสังเกตเห็น                                                                    |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | องุ่นที่ไม่ผ่านไอโซน<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง                 |    | ผลองุ่นมีความแห้ง และเหี่ยว焉<br>เกิดการเน่าเสีย 80%                                |
| 2   | องุ่นที่ไม่ผ่านไอโซน<br>เก็บที่ตู้เย็น                      |    | ผลองุ่นมีสีที่สด ผิวยังมีความตึง ผิว<br>ขององุ่นเริ่มมีความนุ่ม และเหี่ยว焉<br>10 % |
| 3   | องุ่นที่ผ่านไอโซนในอากาศ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น |   | ผลองุ่นมีสีที่สด ผิวยังมีความตึง มี<br>ผิวขององุ่นที่เริ่มมีความเหี่ยว焉<br>10 %    |
| 4   | องุ่นที่แช่ไอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น   |  | ผลองุ่นมีสีที่สด ผิวยังมีความตึง ผิว<br>ขององุ่นเริ่มมีความเหี่ยว焉 20 %            |
| 5   | องุ่นที่ผ่านไอโซน<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง  |  | ผลองุ่นมีสีที่อ่อน ผิวมีความนุ่ม ผิว<br>ขององุ่นเริ่มมีความเหี่ยว焉<br>30 %         |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

ตารางที่ 4.11 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 7 วัน(ต่อ)

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                                  | ภาพขององุ่น                                                                         | ผลการสังเกตเห็น                                                                            |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง |   | ผลองุ่นมีสีเข้ม ผิวมีความนิ่ม เกิดเชื้อราขึ้นเป็นใยที่องุ่น 30 %                           |
| 7   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น           |   | ผิวองุ่นมีสีม่วงเข้ม ผิวองุ่นยังมีความตึง มีสีอ่อนบริเวณขั้ว                               |
| 8   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น      |  | องุ่นมีสีม่วงเข้ม มีสีอ่อนบริเวณขั้ว ผิวมีความตึง และแข็ง เกิดรอยบากบริเวณผิวขององุ่น 30 % |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

ผลจากการสังเกตพบว่าองุ่นที่ไม่ได้รับโอโซนที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีการเน่าเสีย  $\approx 80\%$  ส่วนที่ยังไม่เน่าเสียมีความนิ่ม และเหี่ยวยุบ องุ่นที่ไม่โดนโอโซนเก็บที่ตู้เย็น ผลองุ่นเริ่มเหี่ยวและเริ่มมีความนิ่ม  $\approx 10\%$  องุ่นที่โดนโอโซนปริมาณ 0.75 g เก็บที่ตู้เย็นเริ่มมีความเหี่ยวยุบแต่ผิวยังตึงและยังมีสีที่สด องุ่นกลุ่มที่โดนโอโซนปริมาณ 0.375g เก็บที่อุณหภูมิห้อง เป็นตัวอย่างที่มีการเหี่ยวยุบ และเกิดเชื้อราโดยสาเหตุมาจากความชื้น และการเน่าเสียที่เกิดขึ้นบริเวณขั้ว เนื่องจากที่เคยเกิดเชื้อรามาแล้ว จึงอาจมีสปอร์ของเชื้อราอยู่ทำให้เกิดเชื้อราเป็นใยสีเทาๆ องุ่นที่โดนโอโซนผสมน้ำปริมาณ 2,340 g เกิดรอยบากขึ้นบริเวณผิวขององุ่น โดยรอยบากนั้นเป็นรอยที่เปลือกองุ่นยุบลงไป

#### 4.14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวองุ่นหลังจากเก็บรักษานาน 11 วัน

ตารางที่ 4.12 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 11 วัน

| ที่ | ประเภทการทดลอง                                              | ภาพขององุ่น                                                                          | ผลการสังเกตเห็น                                                                  |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 1   | องุ่นที่ไม่ผ่านไอโซน<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง                 |    | เกิดเชื้อราที่องุ่น และองุ่นในกลุ่ม<br>ตัวอย่างนี้เน่าทั้งหมด                    |
| 2   | องุ่นที่ไม่ผ่านไอโซน<br>เก็บที่ตู้เย็น                      |    | เกิดเชื้อราที่องุ่นประมาณ 15 %<br>ราที่เกิดเกิดบริเวณขั้ว มีองุ่นที่เน่า<br>10 % |
| 3   | องุ่นที่ผ่านไอโซนในอากาศ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น |   | มีองุ่นที่เกิดเชื้อรา 1 % ผิวของ<br>องุ่นยังมีความตึง                            |
| 4   | องุ่นที่แช่ไอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.75 g<br>เก็บที่ตู้เย็น   |  | เกิดเชื้อราที่องุ่น 1 % มีการเน่าผิ<br>รูป 10 %                                  |
| 5   | องุ่นที่ผ่านไอโซน<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง  |  | เกิดเชื้อราที่องุ่น และองุ่นในกลุ่ม<br>ตัวอย่างนี้เน่าทั้งหมด                    |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก



ตารางที่ 4.12 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 11 วัน (ต่อ)

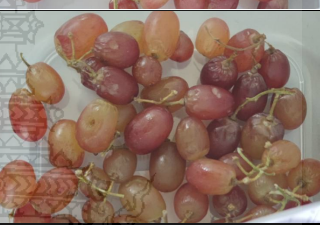
| ที่ | ประเภทการทดลอง                                                  | ภาพขององุ่น                                                                         | ผลการสังเกตเห็น                                                                                            |
|-----|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 6   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.375 g<br>เก็บที่อุณหภูมิห้อง |   | ผิวขององุ่นมีความแห้ง แต่ยังคงมีความตึง ไม่มีร่องรอยของการเน่าเสีย เกิดเชื้อราที่ผิวขององุ่น 10 %          |
| 7   | องุ่นที่ผ่านโอโซน<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น           |   | ผิวขององุ่นมีสีม่วงออกสีแดงเข้ม ผิวองุ่นยังมีความตึง เกิดเชื้อราเนื่องจากความชื้นบริเวณผิว เกิดเชื้อรา 2 % |
| 8   | องุ่นที่แช่โอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 2,340 g<br>เก็บที่ตู้เย็น      |  | ผิวขององุ่นมีสีม่วงเข้ม ผิวขององุ่นยังมีความตึง มีสีอ่อนบริเวณขั้ว เกิดเชื้อรา 2 %                         |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

ผลจากการสังเกตพบว่าองุ่นที่ไม่ได้รับโอโซนที่เก็บในอุณหภูมิห้องมีการเน่าเสียทั้งหมดลักษณะการเน่าเสียมีการเน่าเสียทั้งลูกตั้งแต่ส่วนขั้วไปจนถึงผลองุ่นที่ไม่โดนโอโซนเก็บที่ตู้เย็น ผลองุ่นเริ่มเหี่ยวและเริ่มมีความนิ่ม มีการเน่าเกิดขึ้น  $\approx 10\%$  องุ่นที่โดนโอโซนปริมาณ 0.75 g เก็บที่ตู้เย็นเริ่มมีความเหี่ยวแต่ผิวยังตึงและยังมีสีที่สด เริ่มมีเชื้อราเกิดขึ้นที่บริเวณขั้ว แบบที่แช่โอโซนผสมน้ำเกิดการเน่าผิดปกติทั่วทั้งผล  $\approx 10\%$  องุ่นกลุ่มที่โดนโอโซนปริมาณ 0.375g เก็บที่อุณหภูมิห้องเกิดเชื้อราและเน่าเสียทั้งหมดโดยสาเหตุมาจากความชื้นจากการเน่าเสีย เนื่องจากที่เคยเกิดเชื้อราเป็นยีสเหาองุ่นที่โดนโอโซนผสมน้ำปริมาณ 2,340 g เกิดรอยบากขึ้นบริเวณผิวขององุ่น โดยรอยบากนั้นเป็นรอยที่เปลือกองุ่นยุบลงไปไม่เกิดการเน่า และเชื้อราเพิ่มเติม

#### 4.15 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของตัวองุ่นหลังจากเก็บรักษานาน 17 วัน

ตารางที่ 4.13 ผลการเก็บรักษาองุ่นเป็นเวลา 17 วัน

| ตย.ที่ | ประเภทการทดลอง                                         | ภาพขององุ่น                                                                         | ผลการสังเกตเห็น                                                                                                |
|--------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | องุ่นที่ไม่โดนโอโซน<br>เก็บที่ตู้เย็น                  |   | มีองุ่นที่เน่าเสีย 70 % โดยมีการเน่าบริเวณขั้ว                                                                 |
| 2      | องุ่นที่โดนโอโซน<br>ปริมาณ 0.75 g เก็บที่ตู้เย็น       |   | มีองุ่นที่เน่าเสีย 30 % โดยมีการเน่าบริเวณขั้วเป็นส่วนใหญ่มีส่วนน้อยที่เน่าบริเวณผล เกิดเชื้อรา $\approx$ 10 % |
| 3      | องุ่นที่โดนโอโซนผสมน้ำ<br>ปริมาณ 0.75 g เก็บที่ตู้เย็น |  | มีองุ่นที่เน่าเสีย 10 % โดยมีการเน่าบริเวณขั้ว                                                                 |

หมายเหตุ % ของการเน่าเสียจำนวนองุ่นที่มีการเน่าเสียจากจำนวนองุ่นทั้งหมด 100 ลูก

ผลจากการสังเกตพบว่าองุ่นที่ไม่โดนโอโซนเก็บที่ตู้เย็น ผลองุ่นเริ่มเหี่ยวและเริ่มมีความนิ่ม มีการเน่าเกิดขึ้น  $\approx$  70 % องุ่นที่โดนโอโซนปริมาณ 0.75 g เก็บที่ตู้เย็นเริ่มมีความเหี่ยวแต่ผิวยังตึงและยังมีสีที่สด มีองุ่นที่เน่าเสีย  $\approx$  30 % โดยมีการเน่าบริเวณขั้วเป็นส่วนใหญ่มีส่วนน้อยที่เน่าบริเวณผล เกิดเชื้อรา  $\approx$  10 % เริ่มมีเชื้อราเกิดขึ้นที่บริเวณขั้ว แบบที่แช่โอโซนผสมน้ำ มีองุ่นที่เน่าเสีย  $\approx$  10 % โดยมีการเน่าบริเวณขั้วทั้งหมด

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปเนื้อหาการวิจัย

โครงการวิจัยนี้เสนอการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ โดยการผลิตโอโซนใช้หลักการของปรากฏการณ์ ไอออนไนเซชัน โดยให้อากาศบริสุทธิ์หรือออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าจึงก่อให้เกิดโมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียรจากนั้น รวมตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม หรือเรียกว่า โอโซน จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับพลังงานไฟฟ้า และรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน เพื่อให้สามารถนำมาใช้กับงานได้อย่างเหมาะสมนั้นได้เลือกใช้สนามไฟฟ้าแบบ DBD (Dielectric Barrier Discharge) เนื่องจากสามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงและที่สำคัญคือสามารถระบายความร้อนได้เพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวินในสนามไฟฟ้าเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงศึกษาการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนเพื่อศึกษาการกระจายตัวของโอโซนภายในห้องและจากการศึกษาเกี่ยวกับการนำโอโซนมากำจัดแมลง พบว่าโอโซนสามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชได้โดยอัตราการตายขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่รับสำหรับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้เพียงพอในห้องที่เป็นระบบปิดขนาดใหญ่ขึ้นการออกแบบเครื่องผลิตโอโซนเป็นสิ่งสำคัญที่สุด โดยการออกแบบเครื่องต้องสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรด ได้เพื่อใช้ควบคุมความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน ในส่วนถัดมาเป็นการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและออกซิเจน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักของ นำไปผลิตโอโซน ขึ้นค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของโอโซน จากการทดลอง พบว่าอัตราการตาย ของแมลงขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ได้รับ ซึ่งความเข้มของโอโซน ที่สูงสามารถลดระยะเวลาในการกำจัดแมลงได้ แต่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพกล้วยไม้ ดังนั้นการหาปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยไม้ส่งออก

#### 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำจัดโอโซนออกจากห้องในระบบปิดเนื่องจากในปัจจุบันต้อง ใช้เวลาประมาณ 5 -10 นาที ในการกำจัดโอโซนออกจากห้องในส่วนถัดมาเป็นการจัดหากล้วยไม้และแมลงศัตรูพืชมาทดลองในปริมาณเยอะค่อนข้างจะจัดหาได้ลำบาก และวัสดุในห้องทดลอง ไม่ควรเป็นเหล็กเนื่องจากโอโซนสามารถทำให้เกิดสนิมได้แต่สามารถ แก้ปัญหาโดยการทาสีหรือแล็กเกอร์ จะสามารถป้องกันไม่ให้โอโซนได้ทำลายวัตถุได้

### 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางการพัฒนาในอนาคตออกแบบระบบให้มีเครื่องผลิตออกซิเจนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ในการผลิตโอโซนที่ติดตั้งในระบบเลยจะได้สามารถทำงานได้ครบครันและออกแบบให้ระบบ สามารถใน ไปใช้ในโรงอบขนาดใหญ่ เพื่อตอบสนองต่อการใช้ในอุตสาหกรรมกล้วยไม้ขนาดใหญ่และสามารถ นำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชในสินค้าเกษตรกรรมชนิดอื่น ๆ ในการส่งออกได้



### บรรณานุกรม

- [1] 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
- [2] 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 DBD Ozone Generator. *Procedia Engineering*, 32, 936 - 942.  
Doi: [HTTPS://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.035](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.035)
- [3] Ketkaew, S. (2549). Ozone Gas Generation Using High Voltage at High Frequency Electric Field.
- [4] Kshirsagar, N., & Joshi, S. (2019). Air Flow Pattern Simulation of Low Temperature Drying Cabinet. *SSRN Electronic Journal*. doi:10.2139/ssrn.3347676
- [5] 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
- [6] Standard, A. A. (2013). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.
- [7] 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
- [8] 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
- [9] แซ่ตัน, ส. (2537). เทคนิคการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย.
- [10] ธรรมอักษร, อ. (2550). การจำลองระบบระบายอากาศชนิดไหลในแนวตั้งอย่างสม่ำเสมอโดยเทคนิคคำนวณพลศาสตร์ของไหล.
- [11] พุทธนาศักดิ์, ป. (2552). การจำลองการไหลเวียน และการกระจายอุณหภูมิของอากาศห้องสะอาดที่ใช้ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล.

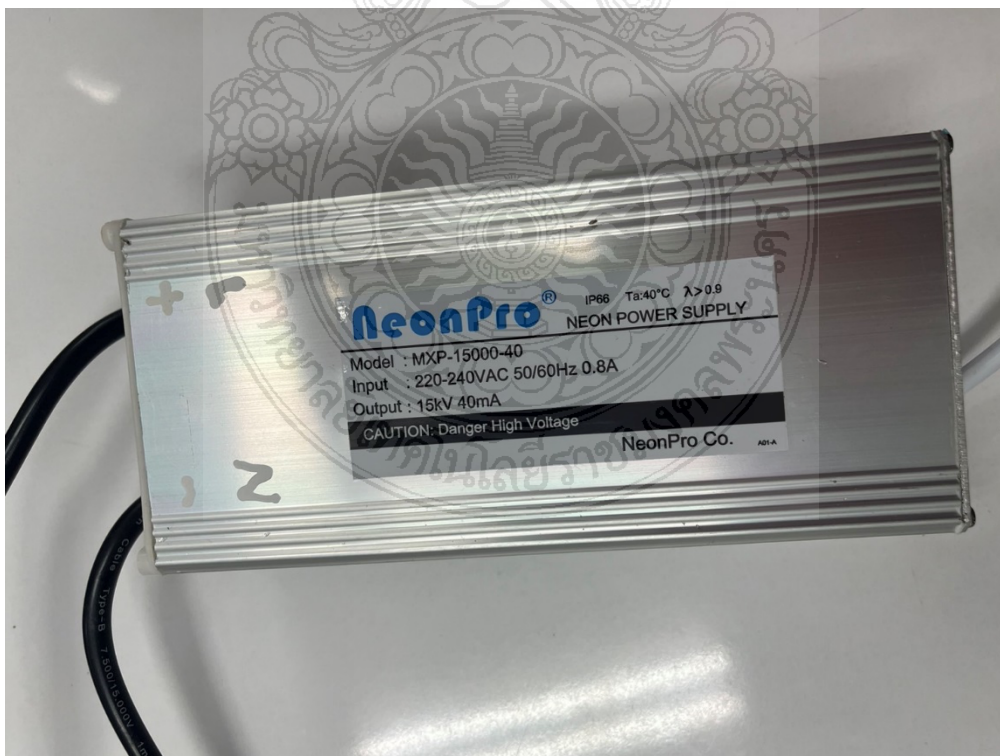
ภาคผนวก ก



เครื่องผลิตโอโซน



Neon power supply





ปั๊มลม



เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ



การต่อวงจรเข้าเครื่องผลิตโอโซน



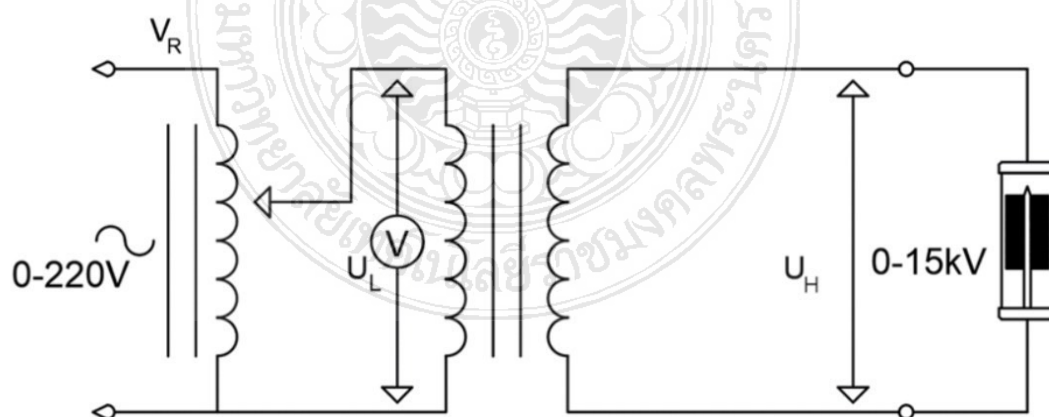
การเตรียมเครื่องโอโซนเพื่อทำการทดลอง



### การวัดค่ากระแสสลับ

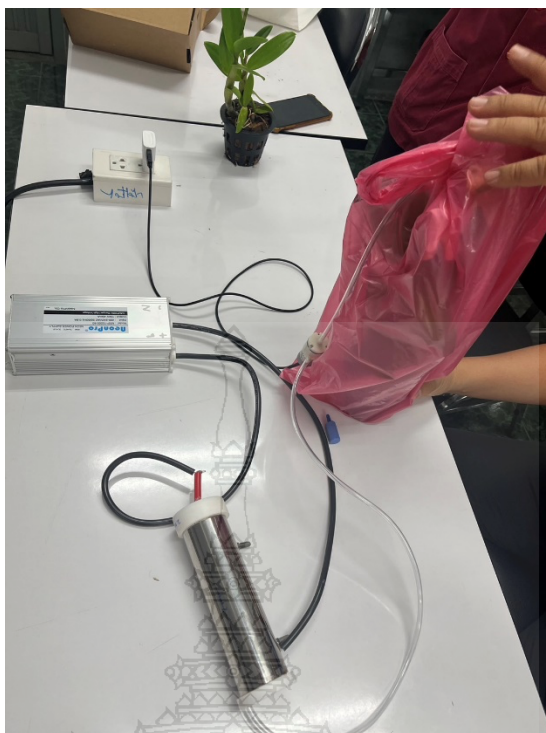


### การต่อวงจรของเครื่องผลิตโอโซน





การพ่นโอโซนใส่กล้วยไม้



กล้วยไม้ที่ยังไม่ได้ทำการพ่นโอโซน



กล้วยไม้หลังทำการพ่นไอโซนแล้ว



การเปรียบเทียบกล้วยไม้ที่พ่นไอโซนกับที่ไม่ได้พ่น



ตารางที่ ก.1 ข้อมูลหม้อแปลงนํ้าร้อน

| Maximum Load Length Chart |                               |     |     |     |     |     |
|---------------------------|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Model                     | Diameter Tubing(mm)           | 12  | 13  | 15  | 18  | 20  |
|                           | Gas pressure(mmHg)            | 11  | 10  | 9   | 8   | 7   |
| MXP-15000-40              | Load length(m) Clear/Neon     | 11m | 12m | 13m | 14m | 15m |
|                           | Load length (m) Mercury/Argon | 12m | 13m | 14m | 15m | 16m |



ภาพที่ ก.1 การวัดปริมาณไอโซนด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์



ภาพที่ ก.2 จอแสดงผลของสเปกโตรโฟโตมิเตอร์