



## รายงานการวิจัย

การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดไอโซนกำลังสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชใน  
อุตสาหกรรมกล้วยไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออกและนำเข้าที่เป็นมิตรกับ  
สิ่งแวดล้อมและทดแทนการใช้สารเคมี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



## รายงานการวิจัย

การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนกำลังสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชใน  
อุตสาหกรรมกล้วยไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออกและนำเข้าที่เป็นมิตรกับ  
สิ่งแวดล้อมและทดแทนการใช้สารเคมี

The design of a high-power ozone generator for get rid of insects in the orchid  
and flower industry for export and import are environmentally friendly  
and substitutes of chemicals

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร. ธนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ขนาดใหญ่เพื่อเป็นทางเลือกในการไม่ใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงศัตรูพืช โดยระบบที่สร้างขึ้นนี้ต้องการนำไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการรมสารเคมีก่อนส่งออกสินค้าไปต่างประเทศ จากเดิมที่ใช้สารเคมีชนิดเมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) ในการรม แต่ปัจจุบันเมทิลโบรไมด์ถูกระบุว่าเป็นสารที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ เป็นสาเหตุให้เกิดโลกร้อน และฟอสฟีนเป็นสารเคมีที่ใช้ระยะเวลารมนานซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้กับกล้วยไม้ ที่ผ่านมามีผู้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำโอโซนไปกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ เพลี้ยไฟ และไรแดง ที่อาศัยอยู่ในกล้วยไม้ส่งออกแต่ระบบนั้นเป็นระบบขนาดเล็ก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเกี่ยวกับการนำโอโซนไปกำจัดแมลงในระบบขนาดใหญ่ให้สามารถประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมได้ โดยระบบผลิตโอโซนที่ออกแบบสร้างขึ้นนั้นสามารถสร้างความเข้มข้นโอโซนได้ 550 ppm. ในระยะเวลา 30 นาที ภายในห้องที่มีปริมาตร  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  ลูกบาศก์เมตร และจากการทดลองนำแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ชนิดเพลี้ยไฟและไรแดงไปทดลองรมโอโซนที่ระดับความเข้มข้น 550 ถึง 650 ppm ในระยะเวลา 60 นาที สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชทั้งสองชนิดนี้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้ระบบทำงานดังนี้ กำหนดให้ใช้แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังท่อผลิตโอโซน 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศที่ 60 ลิตร/นาที อัตราการไหลของออกซิเจนบริสุทธิ์ที่ 5 ลิตร/นาที อุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วง 30 ถึง 35 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาในการทำงานหมดของระบบจะใช้เวลาอยู่ที่ 90 นาที ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้า 2,647 วัตต์ หลังจากการทดลองกล้วยไม้ไม่ได้รับผลกระทบจากการรมโอโซน และไม่ทิ้งสารเคมีตกค้าง งานวิจัยนี้จึงเป็นทางเลือกในการพัฒนานำเทคโนโลยีเกี่ยวกับโอโซนมาประยุกต์ใช้สำหรับกำจัดศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ในปัจจุบันและอนาคต

## **Abstract**

This research presents manufactured high concentration ozone generators to eliminate pests for the orchid export industry without chemicals. Alternatively, this system is not used chemical fumigation procedures before transport the product out overseas. Methyl Bromide and Phosphine cause ozone-destroying in the atmosphere to result in global warming and spend a lot of time fumigating. The previous research is found that the ozone can be used to eliminate Thrips. However, this study that smaller system has been studied. Therefore, the researcher has designed the systems to use for the orchid export industry, the system can generate an ozone 500 ppm in room-scale 2.5×2.5×2.5 cubic meters in 30 minutes. The experiment shows that the system can eliminate Thrips and Moina around 100 %, use ozone concentration 550 to 650 ppm in 60 min. The flow rate of an air compressor into an ozone tube about 60 liter/min and combination with oxygen gas amount 5 liter/min. the surrounding temperature room for fumigation around 30 to 35 degrees Celsius, the system uses electrical power of 2,647 watts. The ozone concentration 0 to 650 ppm can't affect the orchid in 90 minutes. After the experiment, ozone will be discharged into the outside air and can decompose without leaving any chemical residue. This research is a guideline for the development and application of ozone technology for pest control in the orchid export industry at present and in the future.

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเพื่อเครื่องมือและสถานที่สำหรับการทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์

หัวหน้าโครงการวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## สารบัญ

หน้า

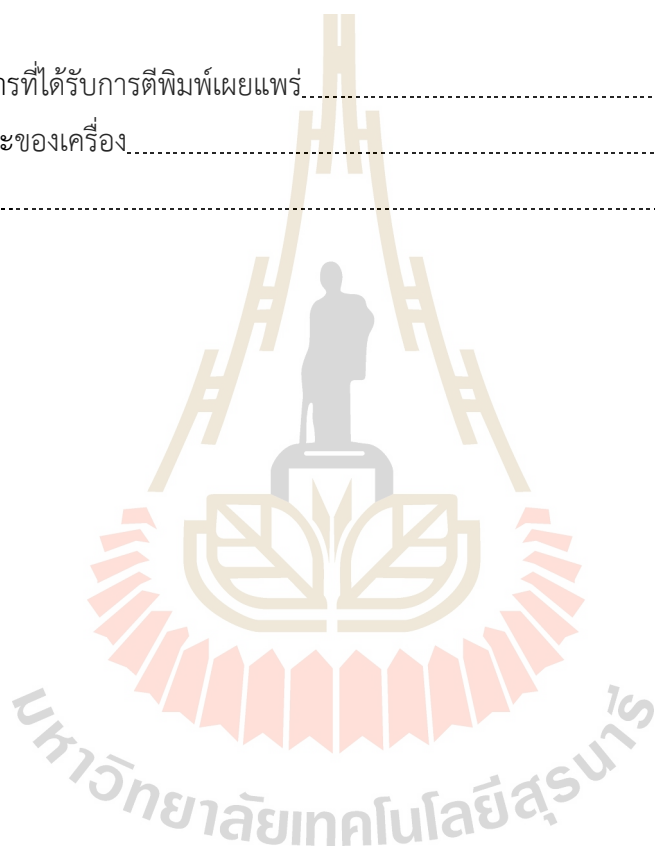
บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>2 ปรีทศวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการนำไอโซนมากำจัดแมลง.....	4
2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดไอโซน.....	7
2.2.1 การเกิดพลาสมา.....	8
2.2.2 การเกิดไอโซน.....	12
2.2.3 การสร้างไอโซนโดยกระบวนการดิสชาร์จไฟฟ้า.....	12
2.2.4 สนามไฟฟ้า.....	13
2.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง.....	20
2.3.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของ วงจรถ่ายพลังงานด้วยคอนเวอร์เตอร์.....	20
2.3.2 หม้อแปลงความถี่สูง.....	22
2.4 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องรมไอโซน.....	23
2.4.1 รูปแบบการไหลของอากาศ.....	24
2.4.2 อัตราการระบายอากาศในระบบ.....	26
ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล.....	26
2.5สรุป.....	28

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	29
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	29
3.2 การออกแบบระบบการสร้างโอโซนเพื่อประยุกต์สำหรับ กำจัดแมลงศัตรูในกล้วยไม้ .....	29
3.2.1 การออกแบบระบบผลิตสนามไฟฟ้า .....	31
3.2.2 การออกแบบระบบจ่ายอากาศ .....	35
3.2.3 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงาน ระบบผลิตโอโซน .....	36
3.2.4 ขั้นตอนการติดตั้งและสร้างระบบผลิตโอโซน .....	37
3.3 การวิเคราะห์และออกแบบสร้างห้องรมโอโซน .....	39
3.3.1 การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างห้องสำหรับรมโอโซน .....	39
3.3.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายอากาศในห้องรมโอโซน .....	40
3.3.3 การออกแบบและสร้างห้องสำหรับรมโอโซน.....	42
3.4 สรุป.....	45
<b>4 ผลการดำเนินงาน</b> .....	46
4.1 บทนำ .....	46
4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน .....	46
4.2.1 ทดสอบระบบสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน .....	47
ทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อการเกิดโอโซน .....	50
4.2.2.....	50
4.2.3 ทดสอบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดโอโซน .....	51
4.2.4 ประสิทธิภาพความร้อนในระบบเครื่องผลิตโอโซนเมื่อทำงานต่อเนื่อง.....	52
4.3 ปริมาณโอโซนภายในห้อง .....	54
4.4 อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน .....	57
4.5 ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้ .....	58
4.6 การทดลองนำกล้วยไม้และเพลี้ยไฟมาทดลองในระบบใหญ่ .....	61
4.7 สรุป.....	62

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5 สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	63
5.1 บทสรุป .....	63
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ .....	64
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	64
ภาคผนวก	
บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	68
คุณสมบัติเฉพาะของเครื่อง.....	71
ประวัตินักวิจัย.....	72





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงกลไกการชนกันของก๊าซในลักษณะต่าง ๆ .....	9
2.2 กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นโอโซน .....	10
3.1 แสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากการอัตราการไหลของออกซิเจนและอากาศ .....	32
4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน .....	49
4.2 แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิตโอโซนในขณะที่เครื่องทำงานต่อเนื่อง .....	54
4.3 ระดับความเข้มข้นโอโซนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง .....	58
4.4 ผลการทดสอบกล้วยไม้ตัดดอกที่ได้รับโอโซน .....	59
4.5 ต้นกล้วยไม้ที่รับผลกระทบจากโอโซน .....	60
4.6 ค่าพารามิเตอร์ในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่ .....	61
4.7 ผลการทดลองในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่เพื่อหาอัตราการของแมลงศัตรูพืช .....	62

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผลการทดลองการรวมไอซอนที่ เวลา อุณหภูมิ ชนิดของก๊าซ และความเข้มข้นของไอซอนเพื่อสังเกตความเสียหายที่พีชจะได้รับ .....	7
2.2 แสดงถึงหลักการกำเนิดไอซอนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD) .....	Error! Bookmark not defined.
2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ .....	13
2.4 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอิเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ .....	17
2.5 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ .....	17
2.6 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field ที่ $V$ และ $d$ คงที่โดยเปลี่ยนค่า $d_1$ และ $d_2 = d - d_1$ ฉนวนที่ $\epsilon_2 / \epsilon_1 = 4$ .....	19
2.7 วงจรฮาร์ลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ .....	21
2.8 การทำงานวงจรฮาร์ลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ .....	22
2.9 หม้อแปลงความถี่สูง .....	23
2.10 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ .....	24
2.11 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน .....	25
2.12 การไหลของอากาศแบบผสม .....	25
3.1 แสดงหลักการทำงานของระบบกำเนิดไอซอนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้ .....	30
3.2 ส่วนประกอบของระบบผลิตไอซอน .....	32
3.3 วงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power) .....	33
3.4 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power) .....	34
3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency) .....	34
3.6 หลอดกำเนิดไอซอน (Ozone Tube) .....	35
3.7 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างไอซอน .....	36
3.8 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตไอซอน .....	36
3.9 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ .....	37
3.10 เครื่องผลิตไอซอนความถี่สูง .....	38
3.11 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซึ่ง .....	38
3.12 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตไอซอน .....	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ผลการจำลองการแพร่กระจายของไอโซนภายในห้องรมไอโซน.....	41
3.14 ผลการจำลองการแพร่กระจายของไอโซนภายในห้องรมไอโซนที่ภายในมีชั้นกัลวยไม้ .....	42
3.15 ออกแบบโครงสร้างห้องรมไอโซนและชั้นวางกัลวยไม้ .....	43
3.16 ห้องรมไอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตรและแสดงตำแหน่งการจ่ายไอโซนเข้า.....	43
3.17 พัดลมสำหรับระบายอากาศ.....	44
3.18 ชั้นวางกัลวยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมไอโซน .....	44
4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายสวิตซ์ซิ่ง.....	47
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง จ่ายไปยังหลอดผลิตไอโซน.....	48
4.3 สัญญาณไฟฟ้าที่จากวงจรสวิตซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย .....	48
4.4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังหลอดผลิตไอโซน .....	49
4.5 ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซไอโซน.....	50
4.6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตไอโซน .....	51
4.7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตไอโซน .....	52
4.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Keysight U5855A .....	53
4.9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง .....	53
4.10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ .....	54
4.11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นไอโซน.....	55
4.12 การวัดไอโซนที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ.....	55
4.13 ผลการวัดไอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกัลวยไม้.....	56
4.14 ผลการวัดไอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกัลวยไม้.....	56
4.15 กัลวยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากไอโซน .....	61

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

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

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

กล้วยไม้ถือเป็นสินค้าส่งออกทางเกษตรที่มีความสำคัญและเป็นหนึ่งในสินค้าที่เป็น สัญญาลักษณ์ของประเทศไทย สามารถนำรายได้เข้าประเทศได้ไม่น้อยและมีบทบาทที่สำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งถูกกำหนดให้เป็นพืชในกลุ่ม Product Champion ที่สามารถทำรายได้สูงและมีปริมาณการส่งออกในสัดส่วนที่สูง สายพันธุ์ที่ส่งออก ได้แก่ สกุลหวาย ม็อคคาร่า และ แวนดา ช่วงผลผลิตสูง 2 ช่วง คือ เดือน ก.พ. - มี.ค. และเดือน ส.ค. - ก.ย. พื้นที่ปลูกกล้วยไม้ในประเทศไทยมีประมาณ 20,000 ไร่ โดยเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นร้อยละ 1-2 ต่อปี พื้นที่เพาะปลูกและสถานประกอบการเพื่อการส่งออกดอกกล้วยไม้โดยส่วนมากอยู่ในภาคกลาง ของไทย ได้แก่ จังหวัด นครปฐม จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดราชบุรี และจังหวัดนนทบุรี ผลผลิตที่ส่งออกแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ต้นกล้วยไม้และดอกกล้วยไม้ ดอกกล้วยไม้ถูกส่งออกไปจำหน่ายที่ต่างประเทศเฉลี่ย 44,000-47,000 ต้น/ปี เพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 1-2 ต่อปี ซึ่งการส่งออกดอกกล้วยไม้ร้อยละ 95 ของกล้วยไม้ที่ส่งออกทั้งหมดเป็นกล้วยไม้สกุลหวาย โดยมีประเทศคู่ค้าในการส่งออกกล้วยไม้ของไทยแบ่งออกเป็น ตลาดเอเชีย ได้แก่ ญี่ปุ่น เวียดนาม จีน เกาหลีใต้ โดยตลาดญี่ปุ่นเป็นลูกค้าที่สำคัญที่สุด ตลาดยุโรป ได้แก่ อิตาลี เนเธอร์แลนด์ อเมริกา ออสเตรเลีย โดยตลาดอิตาลีเป็นลูกค้าที่สำคัญ โดยแยกเป็น ปริมาณการส่งออกร้อยละ 40 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 60 เป็นการผลิตเพื่อใช้ในประเทศซึ่งเป็นกล้วยไม้ที่มีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานการส่งออก โดยมาตรฐานกล้วยไม้แห่งประเทศไทยได้กำหนดมาตรฐานขั้นต่ำต้องปลอดศัตรูพืชขณะนั้นการปรับปรุงคุณภาพมาตรฐานการส่งออก (Lerthiran, 2019) จึงจำเป็นต้องตระหนักถึงปัญหาการระบาดของศัตรูพืชและปริมาณของสารเคมีตกค้าง เป็นต้น หลายปีที่ผ่านมากล้วยไม้ที่ส่งไปยังสหภาพยุโรปประสบปัญหาในด้านการส่งออก โดยพบแมลงศัตรูพืชที่มีชีวิตติดไปกับดอกกล้วยไม้โดยเฉพาะเพลี้ยไฟและพบสารเคมีตกค้างเกินกว่าค่ามาตรฐานสหภาพยุโรปกำหนด (Factsheet, 2016) ทำให้มีการเผาทำลายกล้วยไม้ดังกล่าว จึงก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผู้ประกอบการส่งออกกล้วยไม้เกษตรกรโดยวิธีการ พ่นสารเคมีกำจัดแมลงสามารถลดประชากรของแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้กล้วยไม้ได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ไม่สามารถกำจัดแมลงที่หลบซ่อนอยู่ตามส่วนต่างของกล้วยไม้ได้หมด และหากใช้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดสารตกค้าง ดังนั้นการหาวิธีการป้องกัน และกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูของกล้วยไม้ก่อนการส่งออกจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นประเทศไทยได้กำหนดให้ใช้วิธีการรมสารเคมีเพื่อ ป้องกันและกำจัดแมลงที่เป็นศัตรูพืชในผลผลิตของเกษตรกร

ก่อนการส่งออกมาเป็นเวลานานสารรมมีอยู่หลายชนิดแต่ที่นิยมมาก คือ เมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) และฟอสฟีน (phosphine) ในปัจจุบันการรมด้วยสารรมทั้งสองชนิดเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวางในกลุ่มผู้ส่งออกสารรมเมทิลโบรไมด์ (methyl bromide) เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากประสิทธิภาพดีและใช้เวลาในการรมสั้นแต่เนื่องจากการใช้สารเมทิลโบรไมด์แต่ถูกระบุว่าเป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศและแมลงบางชนิดเกิดการดื้อยา (Niakousari, Erjaee, & Javadian, 2010) ในส่วนของฟอสฟีนใช้เวลาในการรมค่อนข้างนาน ดังนั้นการใช้เทคโนโลยีที่สามารถใช้กำจัดศัตรูพืชได้หมดโดยไม่ใช้สารเคมีและไม่มีสารเคมีตกค้างจึงเป็นสิ่งสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งคณะผู้วิจัยได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของปัญหาดังกล่าว จึงได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับการนำเทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์และหลักการทางวิศวกรรมศาสตร์มาแก้ปัญหาเหล่านี้ จากการศึกษาพบว่าโอโซนเป็นสิ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากโอโซนมีคุณสมบัติที่ประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม และสามารถเจอจางในสภาพแวดล้อมได้อย่างรวดเร็ว โดยมีงานวิจัยที่นำโอโซนไปใช้ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชในภาคการเกษตรทั้งในระยะยาวและระยะสั้น รวมถึงการนำมากำจัดแมลงที่อยู่ในไม้ดอกไม้ประดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่โอโซนความเข้มข้นสูงสามารถกำจัดแมลงได้ในระยะเวลาอันสั้น และในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ทำให้แมลงตายนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) การพัฒนาระบบผลิตโอโซนให้ความเข้มข้นสูงให้สามารถนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่ง

ดังนั้นจากความสำคัญและที่มาของปัญหาที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาและออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งได้มีการศึกษาหลักการเกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนจากหลักการสนามไฟฟ้า รูปแบบทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการกำเนิดโอโซนด้วยสนามไฟฟ้า วิธีการควบคุมปริมาณการผลิตโอโซนในระบบจากปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการวิเคราะห์ผลการทดลองที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปปรับแก้ให้ระบบสามารถพัฒนาได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

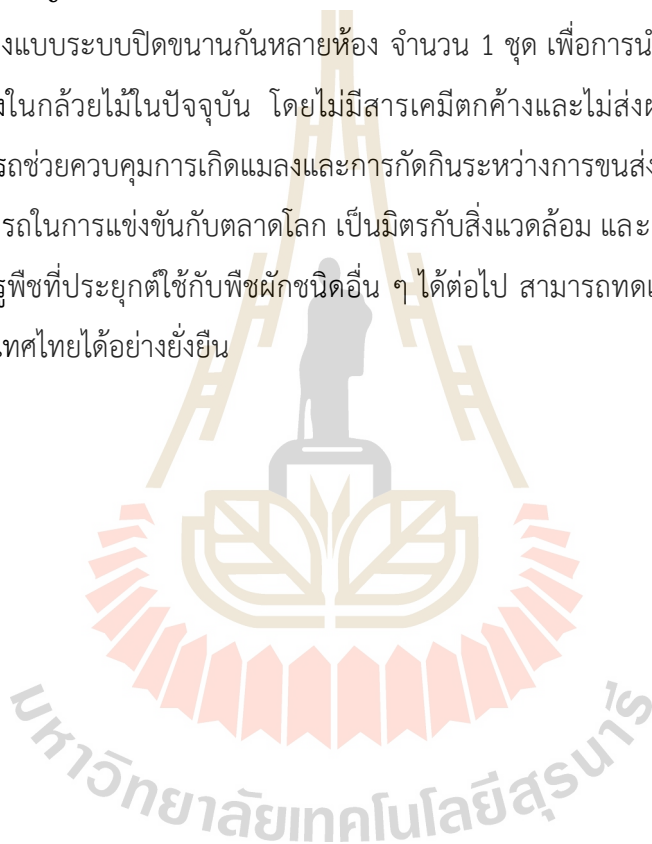
## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดแมลงและศัตรูพืชสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกหรือนำเข้าดอกไม้กล้วยไม้และดอกไม้สดขนาดใหญ่ด้วยเทคโนโลยีโอโซน จำนวน 1 ชุด ในลักษณะเป็นห้องแบบระบบปิดขนานกันหลายห้อง เพื่อนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่าแมลงในกล้วยไม้ในปัจจุบันโดยไม่มีสารเคมีตกค้างและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยไม้ พร้อมทั้งติดตั้งทดสอบการทำงานของเครื่อง ประเมินติดตามผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่อง

กำจัดแมลงศัตรูพืชในดอกกล้วยไม้ด้วยเทคโนโลยีไอโซนให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สามารถช่วยควบคุมการเกิดแมลงและการกีดกันระหว่างการขนส่ง ไม่มีสารเคมีใด ๆ ตกค้าง เพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับตลาดโลก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สามารถประยุกต์ใช้กับพืชผักชนิดอื่น ๆ ต่อไป และทดแทนการนำเข้าและการใช้สารเคมีในประเทศไทยได้อย่างยั่งยืน

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ระบบกำจัดแมลงและศัตรูพืชสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกหรือนำเข้าดอกกล้วยไม้และดอกไม้สดขนาดใหญ่ด้วยเทคโนโลยีไอโซน กำลังการผลิตไม่ต่ำกว่ากว่า 1 ตัน/ชั่วโมงโดยประมาณ ในลักษณะเป็นห้องแบบระบบปิดขนานกันหลายห้อง จำนวน 1 ชุด เพื่อการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่าแมลงในกล้วยไม้ในปัจจุบัน โดยไม่มีสารเคมีตกค้างและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยไม้ สามารถช่วยควบคุมการเกิดแมลงและการกีดกันระหว่างการขนส่ง ไม่มีสารเคมีใด ๆ ตกค้าง เพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับตลาดโลก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังได้เทคโนโลยีใหม่ในการกำจัดแมลงศัตรูพืชที่ประยุกต์ใช้กับพืชผักชนิดอื่น ๆ ได้ต่อไป สามารถทดแทนการนำเข้าและการใช้สารเคมีในประเทศไทยได้อย่างยั่งยืน



## บทที่ 2

### ปรีทศวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับการนำโอโซนมากำจัดแมลง

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

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนเพื่อพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรม เป็นงานวิจัยของ (Jodpimai, Boonduang, & Limsuwan, 2015) ได้ทำการออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงโดยใช้แหล่งกำเนิดโอโซนชนิดที่เป็นท่อทรงกระบอก และใช้โอเล็คโตรดสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในรูปแบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ภายในท่อผลิตโอโซนสามารถระบายความร้อนด้วยระบบหล่อเย็นเพื่อให้ระบบสามารถผลิตโอโซนให้มีปริมาณความเข้มข้นที่คงที่และสามารถทำงานได้ต่อเนื่อง สำหรับระบบผลิตโอโซนมีส่วนประกอบหลักดังนี้ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง (HV transformer) หลอดผลิตโอโซน (Ozone tube) ถังออกซิเจน (Oxygen tank) และเครื่องวัดปริมาณโอโซน (Ozone monitor) โดยมีหลักการทำงานคือ หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจะจ่าย



แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0 ถึง 2.7 กิโลโวลต์ ที่ความถี่ 1.25 กิโลเฮิรตซ์ และค่าตัวเก็บประจุ 48 เปอร์เซ็นต์ไปที่หลอดผลิตโอโซนเพื่อใช้สร้างโอโซน จากนั้นปล่อยออกซิเจนให้ไหลผ่านระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่วางขนานกันภายในท่อผลิตโอโซน จึงทำให้เกิดโอโซน ระบบผลิตโอโซนสามารถผลิตโอโซนได้สูงสุด 210 กรัม/ลูกบาศก์เมตร ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนขึ้นอยู่กับกำลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังแผ่นอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตโอโซน รวมถึงการควบคุมอัตราการไหลของออกซิเจนให้มีปริมาณที่เหมาะสมต่อการเกิดโอโซน (S. Boonduang, Limsuwan, Kongsri, & Limsuwan, 2012) และควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ควรทำให้เกิดความร้อน เนื่องจากความร้อนในท่อผลิตโอโซนจะทำให้ปริมาณโอโซนนั้นลดลงจากการศึกษาของ (Surapon Boonduang & Limsuwan, 2013) กล่าวว่า การใช้ท่อผลิตโอโซนแบบ Dielectric barrier discharge (DBD) ทรงกระบอกนั้น ไม่ควรให้ระบบความร้อนเกิดขึ้นระหว่างที่ทำงาน จากการทดลองพบว่าระยะเวลาที่ระบบผลิตโอโซนเริ่มทำงานปริมาณของโอโซนจะลดลงจาก 14 กรัม/ชั่วโมง เหลือเพียง 3 กรัม/ชั่วโมง ในระยะเวลา 10 นาที เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 26 องศาเซลเซียส ไปยัง 96 องศาเซลเซียส ดังนั้น การควบคุมอุณหภูมิภายในท่อผลิตโอโซนไม่ให้เกิดความร้อนจะทำให้ระบบสามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบให้โอโซนสามารถกระจายตัวในห้องภายในห้องนั้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการกระจายตัวของอากาศเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบห้องรมโอโซน จากงานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) ได้ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับทิศทางการจ่ายอากาศเข้าและออกตู้อบแห้งโดยให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านตะแกรงที่เป็นช่องว่างขนาด 15 มิลลิเมตร โดยได้ทำการจำลองการกระจายตัวของอากาศทั้งหมด 6 แบบ ที่อัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 0.15 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และความเร็วลมที่จ่ายเข้าอยู่ที่ 6.67 เมตร/วินาที โดยจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (SolidWorks CFD Tool available) การจ่ายอากาศที่ด้านบนของตู้อบและออกด้านล่างของฝั่งเดียวกัน ส่งผลให้หัวหอมที่นำไปอบแห้งได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด จากการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำหลักการเกี่ยวกับการออกแบบการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการไหลของโอโซนในห้องรมโอโซนในอนาคต

การศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงในภาคการเกษตร ได้ศึกษาถึงปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ใช้ทดลองซึ่ง (Weber et al., 2018) ได้นำโอโซนมากำจัดแมลงชนิด (*A. diaperinus* species) ที่อยู่ในอุตสาหกรรมสัตว์ปีก เพราะแมลงชนิดนี้เป็นพาหะในแพร่กระจายเชื้อโรคต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่ออุตสาหกรรมสัตว์ปีก โดยนำโอโซน มาทดลองที่ความเข้มข้น 30, 40, 60 ppm โดยใช้ระยะเวลาในการทดลอง 24 ถึง 48 ชั่วโมง จ่ายโอโซนด้วยอัตรา

การไหลที่ 3 ลิตร/นาที่ โดยมีการจ่ายโอโซนเข้าไปในภาชนะลักษณะที่เป็นทรงกลมสูง 50 เซนติเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 70 เซนติเมตร วัสดุเป็นแก้ว และ ช่องที่นำโอโซนเข้าไปมีขนาด 10 มิลลิเมตร ช่องที่ให้ออกซิเจนออกมีขนาด 5 มิลลิเมตร โดยผลการทดลองพบว่าที่ระดับความเข้มข้นของโอโซน 30 ถึง 60 ppm ในระยะเวลา 24 ถึง 48 ชั่วโมง สามารถกำจัดตัวอ่อนของแมลงได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของตัวเต็มวัยนั้นมียอดการตายที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ในระดับความเข้มข้น 30 ppm ในระยะเวลา 48 ชั่วโมง 40 ppm ในระยะเวลา 36 ชั่วโมง และที่ 60 ppm สามารถทำให้แมลงตัวเต็มวัย ตายได้ที่ 80 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็น การทดลองที่ใช้เวลานานแต่ ใช้ความเข้มข้นโอโซนในระดับต่ำสำหรับการกำจัดแมลง ดังนั้นจึงได้ศึกษางานวิจัยที่ใช้ระดับความเข้มข้นโอโซนสูงซึ่งเป็นงานวิจัยของ (Niakousari et al., 2010) งานวิจัยได้ศึกษานำโอโซนความเข้มข้นสูงในระดับ 600 – 4,000 ppm ไปกำจัดแมลงผีเสื้อกลางคืน (*Plodia interpunctella*) และด้วงฟันเลื่อย (*Oryzaephilus surinamensis*) ในอินทผลัม จากการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นโอโซนในระดับมากกว่า 2,000 ppm จะทำให้ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยตายในระยะเวลา 2 ชั่วโมง และในความเข้มข้นที่ 4,000 ppm สามารถทำลายไข่ของแมลงเหล่านี้ได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยอุปกรณ์ในการทดลองใช้ เครื่องผลิตโอโซนที่สามารถผลิตได้สูงสุด 5 กรัม/ชั่วโมง และถังอบโอโซนขนาด 20 ลิตร ทำจาก สแตนเลส 304 นอกเหนือจากนั้นงานวิจัยได้แนะนำว่าถ้าทดลองรวมกับคาร์บอนไดออกไซด์จะสามารถเพิ่มอัตราการตายของแมลงและไข่ได้ และจากการศึกษางานวิจัยที่นำโอโซนไปกำจัดเพลี้ยไฟ และเพลี้ยแป้งในไม้ดอกและไม้ประดับด้วยวิธีการรวมโอโซนรวมกับการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (Hollingsworth & Armstrong, 2005) ได้ทำการทดลองนำโอโซนตั้งแต่ 0 - 3800 ppm ใช้เวลาในการรวมโอโซน 30 – 120 นาที ให้ความดันอากาศในระบบอยู่ที่ 0 – 0.4 บาร์ และกำหนดให้อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 32.2 – 40.6 องศาเซลเซียส ทดลองในถังขนาด 20 ลิตร ก๊าซที่ใช้ทดลองประกอบด้วย ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และ อากาศที่ใช้หายใจ การทดลองใช้ก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์บริสุทธิ์ไปกำจัดแมลงพบว่าสามารถกำจัดเพลี้ยไฟได้ 41 ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส ถัดมาเป็นการนำก๊าซคาร์บอนไดร์ออกไซด์ไปผลิตโอโซนพบว่าที่ ประมาณ 200 ppm ในระยะเวลา 30 นาที สามารถกำจัดเพลี้ยไฟตัวเต็มวัยได้สูงสุด 98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้อากาศหายใจไปสร้างโอโซนพบว่าที่ระดับความเข้มข้น 458 -501 ppm สามารถกำจัดเพลี้ยไฟเพศผู้ได้ 96.2 เปอร์เซ็นต์ เพศเมีย 98.9 เปอร์เซ็นต์ ตัวอ่อน 76.6 เปอร์เซ็นต์ และไข่ของเพลี้ยไฟ 76.6 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของก๊าซไนโตรเจนไม่สามารถนำมาสร้างโอโซนได้ ในบทความงานวิจัยนี้กล่าวว่าพืชที่ใบมีลักษณะมันวาวหรือใบที่มีขนาดหนาๆจะได้รับผลกระทบน้อยมากจากพิษของโอโซน โดยการทดลองศึกษาผลกระทบที่โอโซนมีผลกระทบต่อไม้ดอกไม้ประดับสามารถแสดงดัง

รูปที่ 2.1 โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำเสนอมาในส่วนใหญ่มุ่งเน้นการวิเคราะห์เพื่อออกแบบสร้างและศึกษาผลการทดลองของงานวิจัยเกี่ยวกับการสร้างระบบโอโซนให้สามารถผลิตโอโซนได้อย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงศึกษาการควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่อประมาณการเกิดโอโซนเช่น อุณหภูมิภายในห้องผลิตโอโซน อัตราการไหลของออกซิเจน ในส่วนถัดมาเป็นการศึกษาการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนได้ทำการศึกษาถึงการปล่อยโอโซนเข้าและออกภายในห้อง โดยศึกษาและวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองผล และสุดท้ายเป็นการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับการนำโอโซนมากับแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในอุตสาหกรรมการเกษตร โดยงานวิจัยที่ศึกษามีแนวโน้มตรงกันคือ อัตราการตายของศัตรูพืชจะมีจำนวนมากขึ้นขึ้นอยู่กับปริมาณของความเข้มข้นของโอโซน และระยะเวลาที่แมลงศัตรูพืชนั้นได้รับเป็นสิ่งสำคัญ

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

รูปที่ 2.1 ผลการทดลองการรมโอโซนที่ เวลา อุณหภูมิ ชนิดของก๊าซ และความเข้มข้นของโอโซน เพื่อสังเกตความเสียหายที่พืชจะได้รับ

## 2.2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเกิดโอโซน

การเกิดโอโซนสามารถอธิบายได้จากหลักการเกิดพลาสมาเพียงแต่โอโซนนั้นเกิดจากก๊าซที่มีอะตอมของออกซิเจนเป็นส่วนประกอบเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า ซึ่งระหว่างที่เคลื่อนที่ผ่านนั้นสามารถเกิดปรากฏการณ์ขึ้นหลายรูปแบบ และได้รับพลังงานที่เหมาะสมต่อการเกิดโอโซนซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจขึ้นอยู่กับลักษณะของสนามไฟฟ้าสนามไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ

### 2.2.1 การเกิดพลาสมา

พลาสมาคือ ก๊าซที่มีสภาพเป็นไอออนและเป็นสถานะหนึ่งของสสารโดยประกอบด้วยอนุภาคอิสระที่มีประจุ ได้แก่ ไอออนบวก ไอออนลบ อิเล็กตรอน และอะตอมที่เป็นกลาง การมีสภาพเป็นไอออนนี้จะส่งผลให้อิเล็กตรอนอย่างน้อย 1 ตัวหลุดออกจากโมเลกุลจึงทำให้เกิดประจุไฟฟ้าอิสระขึ้นพลาสมาเกิดขึ้นได้จากก๊าซที่เป็นกลางเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าแล้วเกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลของก๊าซและอิเล็กตรอนที่ปล่อยมาจากผิวของโลหะ (Metal Electrode) อิเล็กตรอนที่หลุดจากผิวโลหะจะถูกเร่งขึ้นในทิศทางของสนามไฟฟ้า และสามารถชนกับอนุภาคที่เป็นกลางเกิดเป็น Ionized gases และอิเล็กตรอนจะเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้อิเล็กตรอนจำนวนมากอนุภาคก๊าซที่มีประจุ และอนุภาคอิสระ จะทำให้พลาสมาเกิดขึ้นได้ในระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากเริ่มมีสนามไฟฟ้าปฏิกิริยาอื่นที่สามารถเกิดได้ภายใต้สภาวะพลาสมาขึ้น ทั้งปฏิกิริยารวมตัวเป็นผลิตภัณฑ์ และปฏิกิริยาการแตกตัวเป็นอนุภาคต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นขั้นตอนการชนกันของ Field emission process ได้แก่ การชนกันระหว่างอนุภาคด้วยกันเอง และการชนกันระหว่างอนุภาคกับผิวของขั้วโลหะหรืออิเล็กตรอน เรียกว่าปรากฏการณ์ประจุไฟฟ้า (Electric discharge phenomena) ซึ่งเป็นหลักพื้นฐานของงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณากรณีของก๊าซออกซิเจนเป็นสำคัญ เพราะก๊าซออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นที่ก่อให้เกิดโอโซนผ่านปฏิกิริยาในลักษณะต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.1 แสดงกลไกการชนกันของก๊าซในลักษณะต่าง ๆ

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

ตารางที่ 2.2 กลไกการแตกตัวของออกซิเจนเป็นไอออน

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

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

- 1) ดิสชาร์จความถี่สูง (Radio frequency discharge)

คลื่นความถี่สูงนี้ใช้ผลิตพลาสมาสำหรับการปลดปล่อยแสงที่มองเห็นได้ ชั่วไฟฟ้าจะอยู่ภายนอกของส่วนที่เกิดพลาสมา เพื่อป้องกันการกักความร้อนและปะปนของพลาสมา เทคนิคนี้ใช้ได้ถึงความดันต่ำ และบางครั้งสามารถใช้ได้กับความดันบรรยากาศในการทำพลาสมาสมดุล

2) ดิสชาร์จคลื่นไมโครเวฟ (Microwave discharge)

เทคนิคนี้ใช้คลื่นไมโครเวฟในช่วงความถี่ 0.3 – 10 GHz โดยให้คลื่นเคลื่อนที่ไปยังบริเวณ Resonant cavity

3) ดิสชาร์จเรืองแสง (Glow discharge)

พลาสมาชนิดนี้เกิดที่ความดันระดับ 1 -10 มิลลิบาร์ ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดซึ่งเคลือบอยู่ในหลอดทดลองสามารถใช้ได้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับที่ความต่ำ เทคนิคนี้พบเห็นได้ในอุตสาหกรรมผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดนีออน

4) ดิสชาร์จโคโรนา (Corona discharge)

การใช้ขั้วโลหะ 2 แผ่นวางที่ตำแหน่งตรงข้ามกัน ลักษณะของพลาสมาจะแตกต่างกันตามชนิดของขั้ว แต่เนื่องจากพลาสมาจะเกิดบริเวณรอบ ๆ วิธีการนี้เหมาะสมในการนำไปใช้ในการตกตะกอนโดยใช้ไฟฟ้าได้

5) ไดอิเล็กทริกแบริเออร์ดิสชาร์จ(Dielectric barrier discharge)

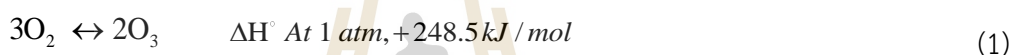
หลักการคือ ประจุไฟฟ้าจะเกิดในช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่วางขนานกัน หรืออาจเป็นช่องว่างวงแหวนที่มีลักษณะเป็นขั้วอิเล็กโทรดทรงกระบอกวิธีการนี้จะนิยมใช้ Dielectric layer เป็นฉนวนกั้น หลักการนี้เรียกว่า Silent electric discharge

คุณสมบัติของพลาสมานั้นเป็นส่วนผสมของก๊าซที่มีทั้งค่าประจุ บวก ลบ และกลาง อนุภาคที่เป็นบวกคือ cations ส่วนอนุภาคที่เป็นลบอาจเป็นได้ทั้ง anions และ อิเล็กตรอน สุดท้ายคืออนุภาคที่เป็นกลางอาจเป็นส่วนผสมของอนุภาคอิสระหรือก๊าซที่อยู่ในสภาวะปกติต่าง ๆ โดยพลาสมามีคุณสมบัติดังนี้

- 1) คุณสมบัติ Quasi – Neutral ความหนาแน่นทั้งหมดของอนุภาคที่มีค่าเป็นประจุบวกและประจุลบต้องมีค่าเท่ากัน
- 2) อันตรกิริยาด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า พลาสมาสามารถมีอันตรกิริยาภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้เนื่องจากพลาสมาประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุ

## 2.2.2 การเกิดโอโซน

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

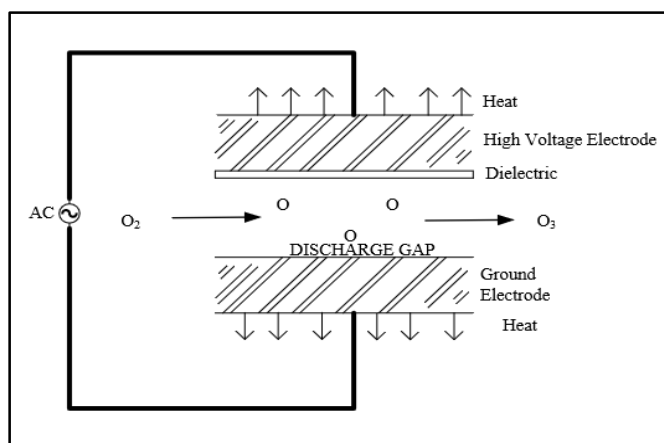


และมีเอนโทรปี [ $\Delta S^\circ$  ที่ 1 atm, -69.9 (J/mol)/degree ] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโอโซนไม่สามารถเกิดได้จากการกระตุ้นออกซิเจนด้วยความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากค่าพลังงานอิสระของกิบส์  $\Delta G^\circ \text{ At } 1 \text{ atm}, +161.3 \text{ kJ} / \text{mol}$  มีค่าเป็นบวก ดังนั้นพลังงานความร้อนจะทำให้โอโซนสลายตัวได้ การออกแบบเครื่องผลิตโอโซนต้องคำนึงถึงระบบความร้อนเป็นสำคัญ การผลิตโอโซนจะต้องใช้พลังงานทางเคมีในการแตกตัวของออกซิเจนตั้งแต่ 493 kJ/mol ถึง 762.23 kJ/mol เมื่อทำการเปลี่ยนหน่วยเป็นพลังงานไฟฟ้าจะได้ 5.583 kWh/m<sup>3</sup> ถึง 8.631 kWh/m<sup>3</sup> (Ketkaew, 2549)

## 2.2.3 การสร้างโอโซนโดยกระบวนการดิสชาร์จไฟฟ้า

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





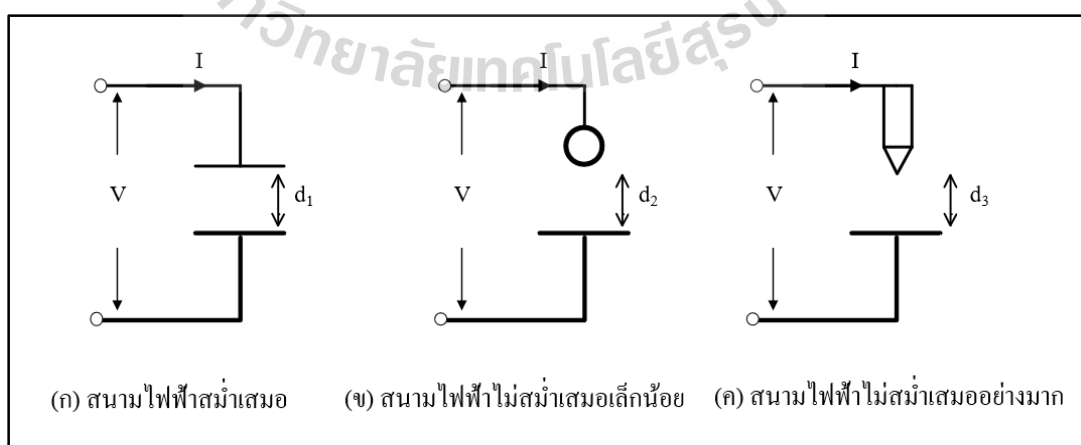
รูปที่ 2.2 แสดงถึงหลักการกำเนิดโอโซนโดยใช้สนามไฟฟ้าในรูปแบบ (DBD)

## 2.2.4 สนามไฟฟ้า

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

### 1) รูปแบบของสนามไฟฟ้า

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



รูปที่ 2.3 อิเล็กโทรดที่มีลักษณะสนามไฟฟ้าแบบต่าง ๆ

สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกัน จะมีสนามไฟฟ้าที่สม่ำเสมอเท่ากันทุกตำแหน่งระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดที่ขนานกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

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

เมื่อ  $V$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไประหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

$d$  คือระยะห่างระหว่างอิเล็กโทรด มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร (mm.)

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

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

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอิเล็กโทรด ที่มีลักษณะเป็น สนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ จะทำให้เกิดเบรกดาวน์ขึ้นทันที ที่ความเครียดของสนามไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดถึงค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งและกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากแบบทันทีทันใด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแรงดันขณะจะเกิดเบรกดาวน์นี้คือค่าความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าของฉนวนพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

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

เมื่อ  $V_b$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์ด้วยสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ มีหน่วยเป็น (V)

$E_d$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดเบรกดาวน์หรือความคงทนทางไฟฟ้าของฉนวนมีหน่วยเป็น (kV/mm.)

สนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอ หมายถึง อิเล็กโทรดที่วางขนานกันจะมีค่าของสนามไฟฟ้าและความเครียดของสนามไฟฟ้าแต่ละตำแหน่งที่ต่างกัน โดยค่าความเครียดจะขึ้นอยู่กับรูปทรงของอิเล็กโทรด

ตัวอย่างเช่น ถ้าอิลีทริกโทรดมีลักษณะเป็นทรงกลมค่าความเครียดของสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นสูงสุดที่พื้นผิวของอิลีทริกโทรดทรงกลม ดังรูปที่ 2.2 (ข) และคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

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

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

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

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

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

โดยสมการนี้ใช้ได้เฉพาะในกรณีที่อิลีทริกโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยหรือใช้กับกรณีที่ไม่เกิดโคโรนา (Corona) หรือพรีดีสชาร์จ (Pre discharge) เกิดก่อนเบรกดาวน์ หรือกล่าวได้ว่า ก่อนการเบรกดาวน์จะไม่มีกระแสไหลระหว่างอิลีทริกโทรดเลยและลักษณะสนามไฟฟ้าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงและจะเกิดเบรกดาวน์ทันที ที่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดสูงถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติ  $E_b$  ในกรณีที่อิลีทริกโทรดมีสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูงซึ่งค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับผิวอิลีทริกโทรดที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเช่น ขั้วไฟฟ้าที่มีลักษณะปลายแหลม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (ค) ที่ระยะห่างออกจากผิวอิลีทริกโทรด ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งอิลีทริกโทรดแบบนี้แม้ว่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าถึงค่าวิกฤติแล้วก็ตามจะยังไม่เกิดการเบรกดาวน์แต่จะเกิดโคโรนาดีสชาร์จขึ้นในบริเวณผิวอิลีทริกโทรดคือบริเวณที่มีค่าความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุด ส่วนบริเวณอื่น ๆ ยังมีความเครียดสนามไฟฟ้าต่ำจะไม่เกิดโคโรนา ฉะนั้นในช่องว่างระหว่างอิลีทริกโทรดจะเกิดการดีสชาร์จ ( Discharge ) ที่ไม่สมบูรณ์คือการเกิดไม่ตลอดแนวระหว่างอิลีทริกโทรด เรียกว่าการดีสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ปรากฏการณ์อาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นช่วง ๆ จึงทำให้มีกระแสไหลในวงจรที่ป้อนแรงดันให้กับอิลีทริกโทรด กระแสนี้จะเกิดขึ้นและวัดได้ก่อนเบรกดาวน์เรียก กระแสโคโรนา (Corona Circuit) หรือกระแสพรีดีสชาร์จ การเกิดโคโรนาเป็น

ผลทำให้สนามไฟฟ้าแห่งเรขาคณิตเปลี่ยนไปเพราะมีประจุค้ำง (Space Charge) แต่ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดยังคำนวณได้จากสมการ (3) และค่าความเครียดเบรกดาวน์จะคำนวณจากสมการ (7)

$$E_i = \frac{V_i}{d\eta^*}$$

(7)

เมื่อ  $E_i$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าเริ่มเกิด มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)

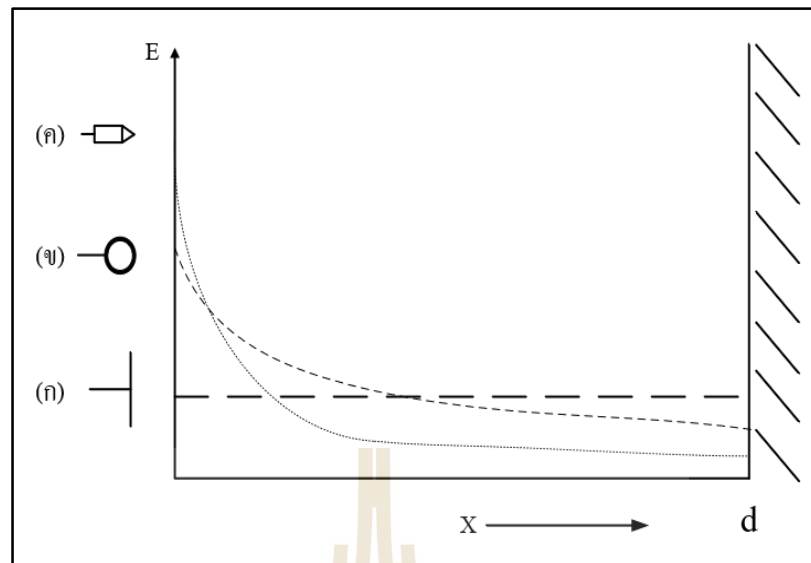
$V_i$  คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนที่โคโรนาเริ่มเกิด มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

โดย  $E_i$  และ  $V_i$  เป็นค่าความเครียดสนามไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่โคโรนาเริ่มเกิด ฉะนั้นจึงใช้ได้เฉพาะกรณีที่ไม่มีการจู่ค้ำงระหว่างอิเล็กโทรดหรือกล่าวได้ว่าสมการที่ (5) นี้ใช้สำหรับคำนวณหาความเครียดสนามไฟฟ้าหรือแรงดันเริ่มต้น (Starting Voltage, Threshold Voltage, Inception Voltage) ซึ่งหมายถึงแรงดันที่ทำให้เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่องระหว่างอิเล็กโทรดอาจจะเป็นเบรกดาวน์ ในกรณีที่อิเล็กโทรดเป็นแบบสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอเล็กน้อยและอาจจะเป็นแรงดันที่โคโรนาเริ่มเกิด แต่ในกรณีที่ป้อนแบบสนามไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอสูง ซึ่งค่าแรงดันเบรกดาวน์จะมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันเริ่มต้น หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

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

เมื่อ  $V_i$  คือแรงดันเริ่มต้นมี หน่วยเป็น (V)

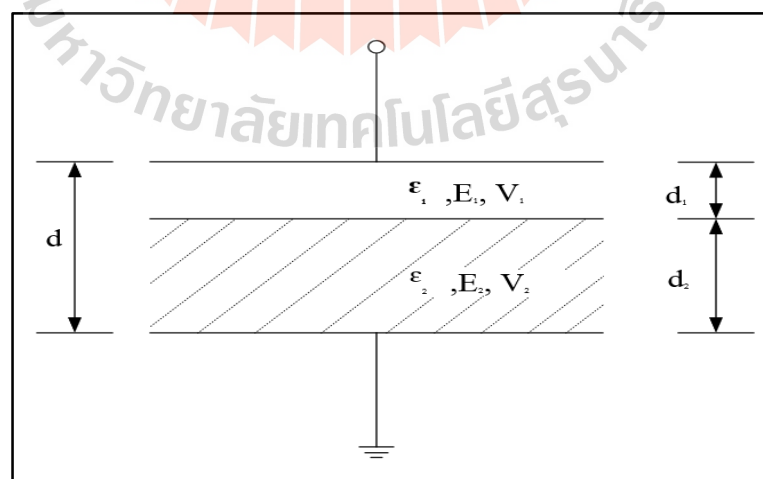
$E_i$  คือความเครียดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดจากแรงดันเริ่มต้น  $V_i$  มีหน่วยเป็น กิโลโวลต์ต่อมิลลิเมตร (kV/mm.)



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบสนามไฟฟ้าของอเล็กโทรดลักษณะต่าง ๆ

### 1) สนามไฟฟ้าในวัสดุสารเนื้อต่างชนิดกัน

ในอเล็กโทรดแบบระนาบ กรณีที่ฉนวนมีค่า Permittivity ต่างกันซ้อนกันอยู่เป็น dielectric และค่าความต้านทานจำเพาะต่างกัน ย่อมทำให้เกิดเป็นชั้นต่อของฉนวน อันเป็นผลให้ความเครียดสนามไฟฟ้าในชั้นฉนวนต่าง ๆ การกระจายจะกำหนดด้วยความต้านทานของฉนวน โดยการวางฉนวนต้องให้รอยต่อฉนวนขนานกับระนาบของอเล็กโทรด ค่าสัมบูรณ์ของความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นมีค่าคงตัวหรือเท่ากันตลอด



รูปที่ 2.5 ชั้นฉนวนวางซ้อนกันในสนามไฟฟ้าสม่ำเสมอ

ค่าความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนทั้งสองคือ

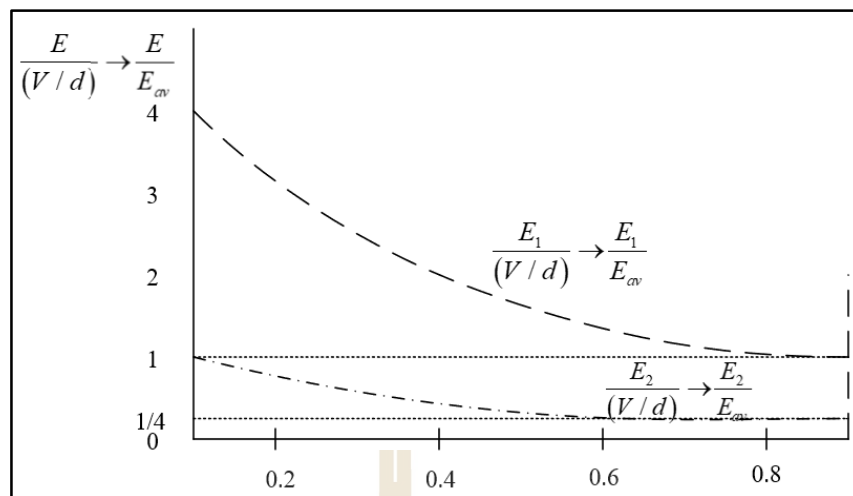
$$E_1 = \frac{V}{d_1 + d_2 \left( \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2} \right)} \quad (9)$$

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

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

เมื่อ	$E_1$	คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 1
	$E_2$	คือความเข้มสนามไฟฟ้าที่ฉนวนที่ 2
	$V$	คือแรงดันไฟฟ้า
	$d_1$	คือระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 1
	$d_2$	คือ ระยะห่างช่องอากาศของฉนวนที่ 2
	$\epsilon_1$	คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 1
	$\epsilon_2$	คือ ค่าสภาพยอมทางไฟฟ้า (Permittivity) ของฉนวนที่ 2

จะเห็นว่าความเครียดสนามไฟฟ้า  $E_1$  จะมากกว่า  $E_2$  ตามอัตราส่วน  $\epsilon_2 / \epsilon_1$  เมื่อ  $\epsilon_2 \geq \epsilon_1$  ถ้าเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในส่วนฉนวนแต่ละชั้นกับความเครียดสนามไฟฟ้าแบบสม่ำเสมอจะเห็นว่า ถ้าในส่วนฉนวนที่มีค่า  $\epsilon$  ต่ำยิ่งบาง สนามไฟฟ้าจะยิ่งสูงมาก



รูปที่ 2.6 เปรียบเทียบความเครียดสนามไฟฟ้าในฉนวนแต่ละชั้นกับค่าเฉลี่ย Uniform field ที่  $V$  และ  $d$  คงที่โดยเปลี่ยนค่า  $d_1$  และ  $d_2 = d - d_1$  ฉนวนที่  $\epsilon_2 / \epsilon_1 = 4$

## 2) สนามไฟฟ้าในอิเล็กโทรดแบบทรงกระบอกซ้อนกัน

อิเล็กโทรดทรงกระบอกซ้อนกัน 2 ชั้น จะอ้างอิงจากสมการของ Maxwell เพื่อใช้หา ฟลักซ์สนามไฟฟ้าที่อยู่ในพื้นผิวของทรงกระบอกดังสมการต่อไปนี้

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

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

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

แรงดันไฟฟ้า ( $V$ ) ที่จ่ายเข้าไปขั้วอิเล็กโทรดทรงกระบอก

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

อิเล็กโทรดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกซ้อนกันและมีแกนร่วมกัน ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าเป็นไปตามสมการ

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

เมื่อ  $E_{\max}$  คือค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด (kV/mm.)

$V$  คือแรงดันไฟฟ้า (kV)

$r_1$  คือรัศมีของอิเล็กโทรดชั้นใน (mm.)

$r_2$  คือรัศมีของอิเล็กโทรดชั้นนอก (mm.)

## 2.3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง

การศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเป็นส่วนที่สำคัญต่อการสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อผลิตไอซอน เนื่องจากการผลิตไอซอนในปัจจุบันนี้ใช้เทคโนโลยีเกี่ยวกับ วงจรจรรยาตีแรงดันไฟฟ้าในระบบสวิตซ์ซึ่งเพาเวอร์ซัพพลาย (Switching power supply) เพราะสามารถควบคุมความถี่และแรงดันไฟฟ้าได้ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักการเกิดไอซอน และให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.3.1 หลักการของแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้หลักการของ วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ (แซ่ตัน, 2537) มีลักษณะดังรูปที่ 2.6 มีการทำงานคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรโดยผ่านตัวเก็บประจุ C1 กับ C2 ที่ต่ออนุกรมกันอยู่จะทำให้แรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองเหลือครึ่งหนึ่งจากแรงดันอินพุต ที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 กับ Q2 จะสลับการทำงานกันอย่างครึ่งคาบเวลา เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแสไฟฟ้า และ Q2 ไม่นำกระแส แรงดันที่ไฟฟ้าที่ตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมขดลวดด้านไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  หรือมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q2 นำกระแสไฟฟ้าและ Q1 ไม่นำกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม Q1 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  เช่นเดียวกัน แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ขดลวดด้านไพรมารี  $N_p$  ก็ยังมีค่าเท่ากับ  $V_{in}/2 - V_{CE(sat)}$  เนื่องจาก  $V_{CE(sat)}$  มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะหยุดนำกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.7 ส่วนตัวเก็บประจุคัปปลิ่ง ( $C_b$ ) กำหนดให้ค่าแรงดันตกคร่อมอยู่



ในช่วง 10 % ถึง 20 % ของแรงดัน  $V_{in}/2$  ซึ่งถ้าแรงดันตกคร่อมมากกว่านี้จะทำแรงเคลื่อนของแหล่งจ่ายไฟเสียหายได้ เมื่อเกิดไฟตก โดยตัวเก็บประจุคัปปลิ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

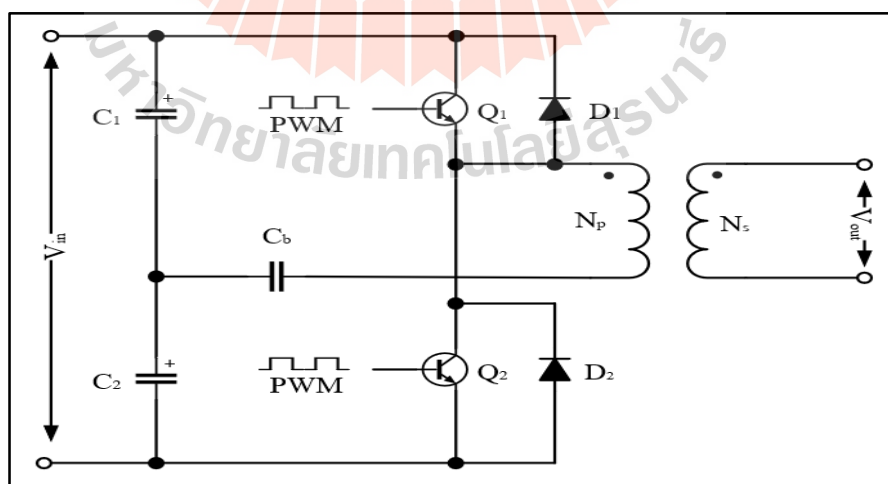
$$C_b = I \frac{dt}{dV_{cb}} \quad (16)$$

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

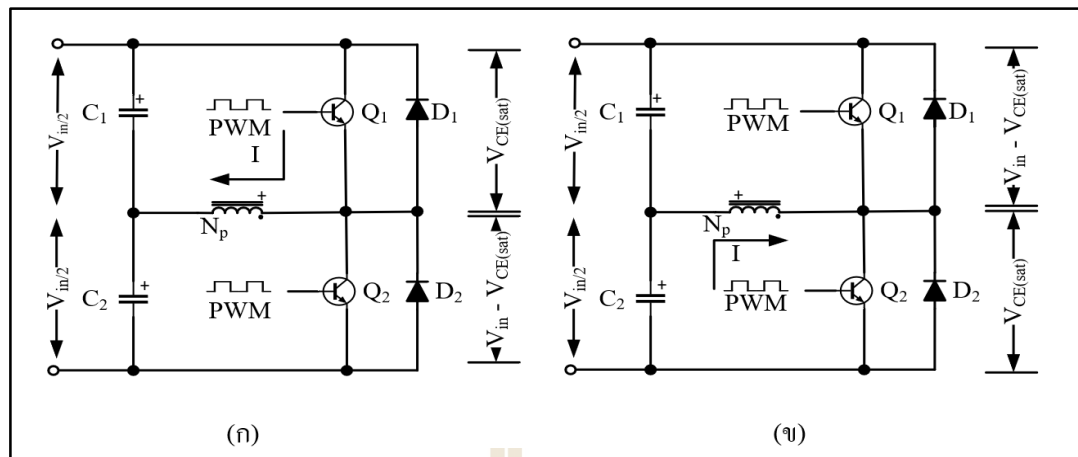
$dt$  คือช่วงเวลาที  $C_b$  ทำการเก็บประจุ  $dt = \frac{T \cdot t(\max)}{2} = \frac{1 \times t(\max)}{2f}$

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

ส่วน D1 และ D2 คือ ไดโอดคอมมิวเตตติ้ง ซึ่งตกคร่อม Q1 และ Q2 ซึ่งมีหน้าที่หลักอยู่ 2 ประการ ดังนี้ ประการแรกคือ เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส ไดโอดจะชักนำพลังงานจากค่าความเหนี่ยวนำในหม้อแปลงกลับคืนสู่ภาคเรกติไฟร์และฟิวเตอร์ทางด้านอินพุต ประการที่สองคือ ป้องกันคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์จากการสวิงที่เป็นลบ อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของเส้นแรงแม่เหล็กในหม้อแปลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นการป้องกันทรานซิสเตอร์ไม่ให้พังเสียหายจากแรงดันย้อนกลับ ไดโอดคอมมิวเตตติ้งมักจะเป็นแบบฟาสต์รีคัฟเวอรี หรืออัลตราฟาสต์รีคัฟเวอรี และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อยที่สุดเป็น 2 เท่าของแรงดัน VCE ขณะที่ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส



รูปที่ 2.7 วงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.8 การทำงานวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

### 2.3.2 หม้อแปลงความถี่สูง

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

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

โดยที่  $B_{\max}$  คือความหนาแน่นของฟลักซ์สูงสุด

$V_p$  คือแรงดันด้านปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (V)

$f$  คือความถี่ มีหน่วยเป็น (Hz)

$N_p$  คือจำนวนรอบขดลวดปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)

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

$K$  คือค่าคงที่ 4.44 สำหรับแรงดันรูปไซน์ และ 4.0 สำหรับแรงดันรูปสี่เหลี่ยม

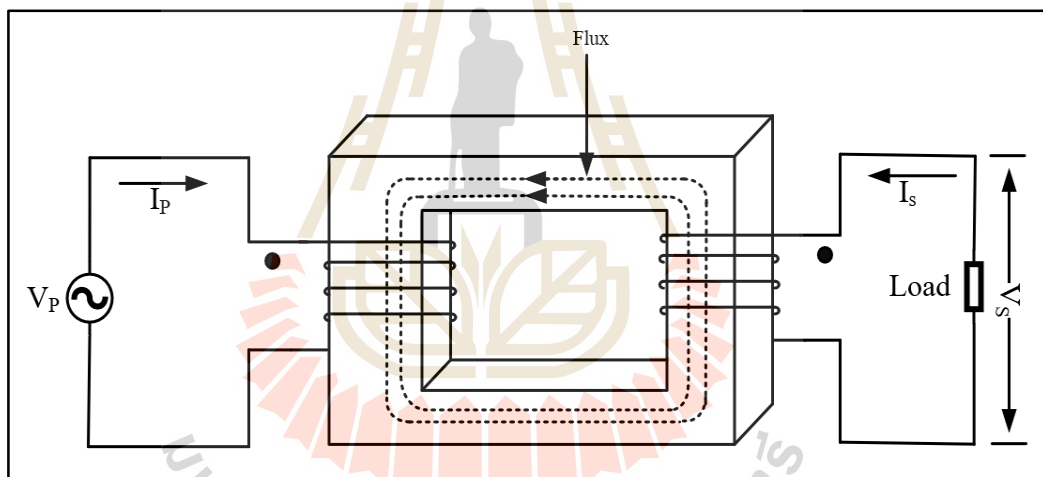
$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (18)$$

เมื่อ  $N_p$  คือจำนวนขดลวดฝั่งปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)

$N_s$  คือจำนวนขดลวดฝั่งทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น (Turn)

$V_p$  คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งปฐมภูมิ มีหน่วยเป็น (V)

$V_s$  คือแรงดันไฟฟ้าฝั่งทุติยภูมิ มีหน่วยเป็น (V)



รูปที่ 2.9 หม้อแปลงความถี่สูง

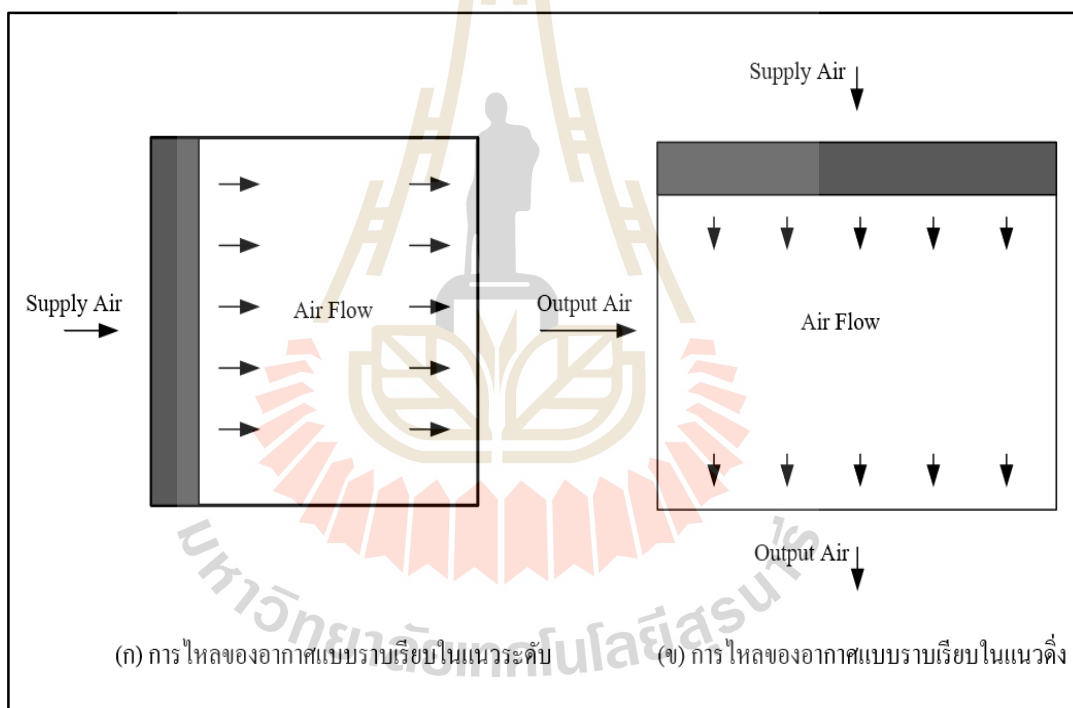
## 2.4 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนนั้นต้องศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับรูปแบบการไหลของอากาศที่อยู่ในห้อง เพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องและระบายอากาศออก เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับการกระจายตัวของโอโซนที่จ่ายเข้าไปในห้องให้สามารถนำไปกระจายตัวได้อย่างทั่วถึง

### 2.4.1 รูปแบบการไหลของอากาศ

รูปแบบการไหลของอากาศ (Airflow patterns) มีความสำคัญต่อการออกแบบระบบห้องที่รมไอโซน เพื่อให้ก๊าซไอโซนกระจายได้ทั่วห้อง ลักษณะการไหลของอากาศมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ การไหลของอากาศแบบราบเรียบ การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน และการไหลของอากาศแบบผสม (พุทธธนา ศักดิ์, 2552) โดยมีรายละเอียดดังนี้

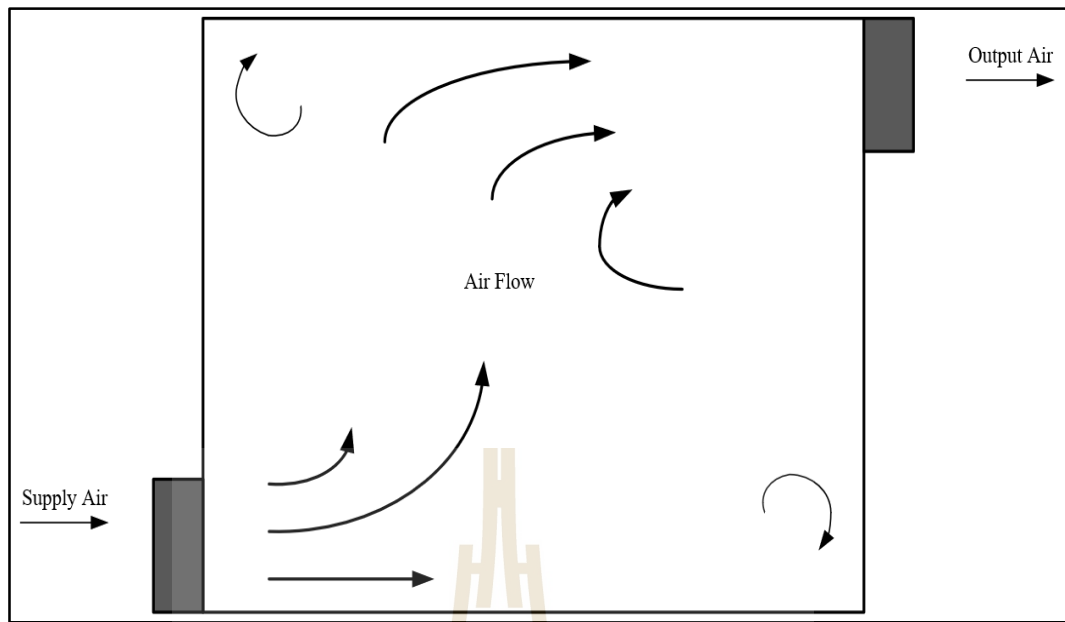
- 1) การไหลของอากาศแบบราบเรียบ (Unidirectional Airflow) หรือ (Laminar Airflow) การไหลของอากาศแบบราบเรียบคือ การที่อากาศเดินทางไปยังฝั่งตรงข้ามของห้องโดยมีทิศทาง การไหลแบบขนานกันในแนวระดับหรือแนวตั้งแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.10 การไหลของอากาศแบบราบเรียบ

- 2) การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน (Non - unidirectional airflow)

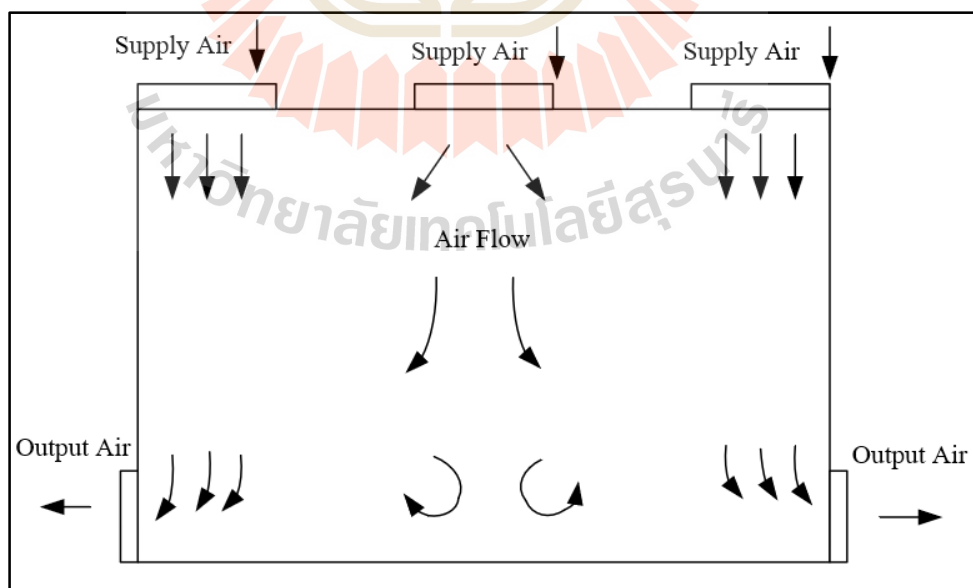
การไหลแบบปั่นป่วนโดยทั่วไปเกิดขึ้นกับของไหลที่มีค่าความหนืดต่ำและไหลด้วยความเร็วสูง ซึ่งรูปแบบการไหลของของไหลมีทิศทางและความเร็วที่ไม่แน่นอน แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 การไหลของอากาศแบบปั่นป่วน

3) การไหลของอากาศแบบผสม (mixed Airflow)

การไหลของอากาศแบบผสมเป็นการไหลของอากาศในระบบที่มีทั้ง การไหลแบบราบเรียบ และปั่นป่วนอยู่ในระบบเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.12 การไหลของอากาศแบบผสม

## 2.4.2 อัตราการระบายอากาศในระบบ

อัตราการระบายอากาศในระบบ เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการไหลของอากาศกับ ปริมาตรของห้อง ซึ่งหลักการนี้สามารถนำมาใช้คำนวณหาระยะเวลาในการจ่ายก๊าซไอโซนเข้าไป ได้ทั่วทุกพื้นที่ของห้อง (Standard, 2013) แสดงความสัมพันธ์ ดังสมการ

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

เมื่อ	<i>Air flow</i>	คือปริมาณที่อากาศไหลเข้าไปในระบบ มีหน่วยเป็น (m <sup>3</sup> /h)
	<i>Volume</i>	คือขนาดของห้องที่ให้อากาศไหลผ่าน (m <sup>3</sup> )
	<i>ACH</i>	คืออัตราการเปลี่ยนถ่ายอากาศในระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็น (h <sup>-1</sup> )

การคำนวณหาปริมาณอากาศที่ไหลเข้าไปในระบบโดยการกำหนดขนาดของท่อนำอากาศและความเร็วลมที่จ่ายไปในท่อสามารถ คำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ	<i>Flow velocity</i>	คือความเร็วลมที่ไหลในท่อนำอากาศ มีหน่วยเป็น (m/s)
	<i>Area</i>	คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ $\pi r^2$ มีหน่วยเป็น (m <sup>2</sup> )

ทฤษฎีกลศาสตร์ของไหล

### 1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

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

เมื่อ  $u$  คือเวกเตอร์ความเร็ว มีหน่วยเป็น (m/s)

$\rho$  คือหนาแน่นของของไหล

สมการอนุรักษ์โมเมนตัม (Momentum Equation)

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

เมื่อ  $P$  คือ ความดัน

### สมการอนุพันธ์

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

### 2) การไหลแบบปั่นป่วน

ในกรณีที่มีการไหลแบบปั่นป่วนแบบจำลองมาตรฐาน (Standard  $k-\varepsilon$  model) จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณร่วมกับสมการอนุพันธ์มวล และ สมการโมเมนตัม (ธรรมอักษร, 2550) โดยมีรูปแบบของสมการดังนี้

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

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

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

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

โดยที่ค่าคงที่  $\sigma_k, \sigma_\epsilon, \sigma_{\epsilon_1}, \sigma_{\epsilon_2}$  และ  $C_\mu$  เป็นค่าคงที่มาตรฐานของ Spalding and Launder (1972)

## 2.5 สรุป

สำหรับการออกแบบระบบผลิตไอโซนความเข้มข้นสูงสิ่งสำคัญคือต้องเข้าใจถึงหลักการของการเกิดไอโซน องค์ประกอบที่สำคัญต่อการเกิดไอโซน การควบคุมค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อปริมาณการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของไอโซน ซึ่งในบทนี้จะได้กล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดไอโซนจะได้อธิบายถึงปฏิกิริยาการชนกันของก๊าซที่ทำให้เกิดไอโซนเมื่อก๊าซเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้า อธิบายเกี่ยวกับลักษณะของสนามสนามไฟฟ้ารูปแบบต่าง ๆ และกล่าวถึงค่าระดับพลังงานไฟฟ้าที่ทำให้เกิดไอโซน หลักการสร้างสนามไฟฟ้าด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับการทำงานของวงจรสวิตซ์ซิ่งและการออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงเพื่อจ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดเพื่อทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น และหลักการที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบห้องรมไอโซนซึ่งอธิบายเกี่ยวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่อยู่ภายในห้องในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอากาศที่ปล่อยเข้าและระบายออกจากห้อง ทั้งนี้เพื่อนำมาวิเคราะห์สำหรับการนำไปออกแบบสร้างระบบให้เหมาะสมกับการใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ การนำโอโซนมาประยุกต์ใช้กับการกำจัดแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ระบบผลิตโอโซนต้องสามารถผลิตโอโซนให้มีความเข้มข้นของโอโซนอยู่ในช่วง 500 – 600 ppm. ภายในเวลาที่เร็วที่สุด และควบคุมระบบไม่ให้เกิดความร้อน ดังนั้นระบบจึงใช้ขั้วอิเล็กโทรดสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าแบบ Dielectric Barrier Discharge (DBD) เพื่อผลิตโอโซนซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ระบบวงจรไฟฟ้าที่ใช้สำหรับสร้างกระแสไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง จากนั้นจ่ายกระแสไฟฟ้าไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อนำไปสร้างสนามไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดซึ่งมีอากาศจากระบบจ่ายอากาศเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าบริเวณนี้จึงทำให้เกิดกระบวนการผลิตโอโซนขึ้น โดยในส่วนนี้ต้องควบคุมเรื่องการระบายความร้อนเป็นอย่างดีเพื่อให้โอโซนที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังห้องที่เป็นระบบปิดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงร่วมกับระบบควบคุมปริมาณความเข้มข้นของโอโซนและการออกแบบสร้างห้องสำหรับอบโอโซนที่เป็นระบบปิดให้สามารถนำไปกำจัดแมลงในกล้วยไม้ได้ สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและให้สามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการออกแบบห้องสำหรับอบโอโซนได้ใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation ในการออกแบบและจำลองการแพร่กระจายของโอโซนที่อยู่ในห้องเพื่อวิเคราะห์ตำแหน่งของการติดตั้งท่อเพื่อจ่ายโอโซนเข้าไปในห้องซึ่งมีผลต่อทิศทางการกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง เพื่อให้การวางกล้วยไม้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในห้องสามารถสัมผัสโอโซนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

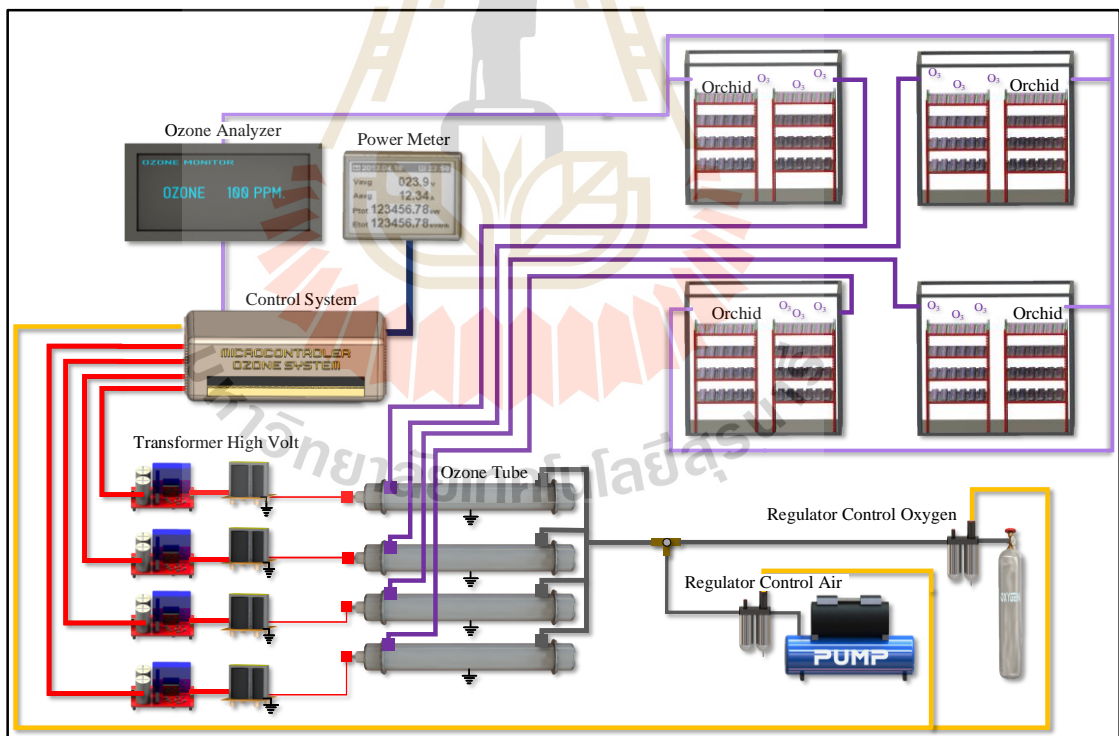
#### 3.2 การออกแบบระบบการสร้างโอโซนเพื่อประยุกต์สำหรับการกำจัดแมลงศัตรูในกล้วยไม้

การออกแบบระบบผลิตโอโซนเพื่อประยุกต์สำหรับการกำจัดแมลงในกล้วยไม้ส่งออกมีส่วนประกอบของระบบที่สำคัญคือ ระบบสร้างสนามไฟฟ้า ระบบจ่ายอากาศ ระบบควบคุมการทำงาน และห้องที่เป็นระบบปิด เมื่อระบบเริ่มทำงานในส่วนของการควบคุม (control System) จะมีคำสั่งให้ชุดวงจรสร้างไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเริ่มทำงานแล้วส่งสัญญาณไฟฟ้ายังหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer High Volt) เพื่อแปลงผันแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อจ่ายไปยังท่อผลิตโอโซน (Ozone

Tube) ที่มีลักษณะเป็นขั้วอิเล็กโทรดแบบ Dielectric Barrier Discharge (DBD) ให้สามารถสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มข้นสูงที่เพียงพอต่อการผลิตโอโซน จากนั้นระบบควบคุมจะสั่งให้ระบบผลิตอากาศที่สามารถควบคุมปริมาณออกซิเจนได้เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างของขั้วอิเล็กโทรด จากนั้นโอโซนที่ผลิตขึ้นจะเคลื่อนที่ไปยังห้องสำหรับอบโอโซนและภายในห้องจะมีเซนเซอร์วัดความเข้มข้นของโอโซนที่ติดตั้งอยู่เพื่อส่งค่ากลับมายังระบบประมวลผล (Ozone Analyzer) เพื่อให้ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องอยู่ระดับที่กำหนดไว้ โดยกระบวนการทำงานโดยรวมของระบบทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3.1 และ การคำนวณหาความเข้มข้นของโอโซนที่ระบบสามารถผลิตได้แล้วส่งไปภายในห้องสามารถคำนวณได้ดังสมการดังต่อไปนี้

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

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



รูปที่ 3.1 แสดงหลักการทำงานของระบบกำเนิดโอโซนเพื่อใช้กำจัดศัตรูพืชในกล้วยไม้

### 3.2.1 การออกแบบระบบผลิตสนามไฟฟ้า

การออกแบบระบบผลิตสนามไฟฟ้าประกอบด้วย วงจรกำเนิดไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง (Switching High Power generator) หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency) และท่อผลิตโอโซน (Ozone Tube) ชนิด Dielectric Barrier Discharge (DBD) ผลิตโดยบริษัท Shenzhen Blueocean Industry Co., Ltd. (Pinuslongaeva) โดยมีหลักการทำงานที่เริ่มต้นจากวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูงสร้างและส่งสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูงไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้ได้ 160 ถึง 4,240 โวลต์ จากนั้นส่งไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงไปยังชุดท่อผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโทรดและเมื่ออากาศที่มีออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนี้ จะเกิดการแตกตัวขึ้นเนื่องจากได้รับพลังงานไอออนไนเซชันซึ่งปฏิกิริยาทำให้เกิดออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียรแล้วจับตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม จึงเกิดเป็นโอโซน โดยมีลำดับการทำงานของอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและอัตราการไหลของลมแสดงได้ดังตารางที่ 3.1 สำหรับการออกแบบจะใช้ระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 ชุด โดยคำนวณจากการใช้อากาศหายใจเป็นแหล่งกำเนิดโอโซน มีตัวแปรในการคำนวณ ดังนี้ Air flow: 75 L/min, Ozone output: 160 g/h, และปริมาตรห้อง  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  ลูกบาศก์เมตร มีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

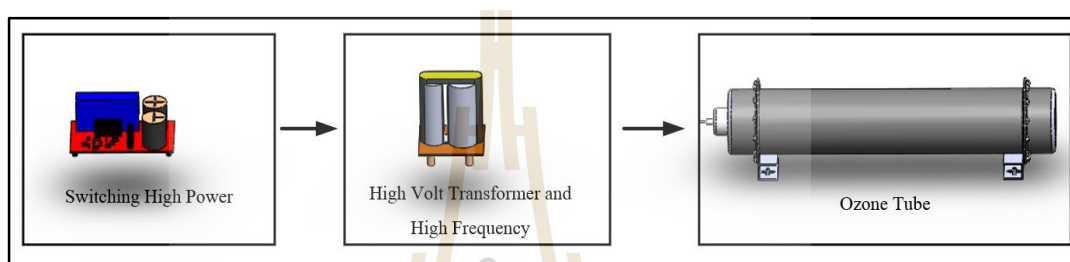
$$\begin{aligned} \text{Ozone Concentration (g / m}^3\text{)} &= \frac{\text{Ozone production (g / hr)}}{\text{Flowrate (L / min)}} \times 1000 (\text{L / m}^3) \\ &= \frac{160 \text{ g / h}}{75 \text{ L / min}} \times 1000 \text{ L / m}^3 \end{aligned}$$

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

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

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

จากการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ถ้านำอากาศที่ใช้หายใจจ่ายให้กับระบบผลิตโอโซนจำนวน 4 เครื่อง ภายใน 1 ชั่วโมง จะสามารถสร้างโอโซนที่มีความเข้มข้น 1,062 ppm ในห้องขนาด  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  ลูกบาศก์เมตร และปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสามารถเพิ่มขึ้นได้เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนผสมกับอากาศที่ส่งไปยังท่อผลิตโอโซน สาเหตุที่ใช้อากาศหายใจในการคำนวณคือผู้วิจัยต้องการใช้อากาศที่ใช้หายใจสำหรับผลิตโอโซนเนื่องจากเป็นทรัพยากรที่สามารถหาได้ง่ายต่อกระบวนการผลิต ซึ่งในระบบได้ออกแบบการเพิ่มก๊าซออกซิเจนเข้าไปผสมกับอากาศเพื่อให้ระบบสามารถเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโอโซนได้อย่างรวดเร็ว



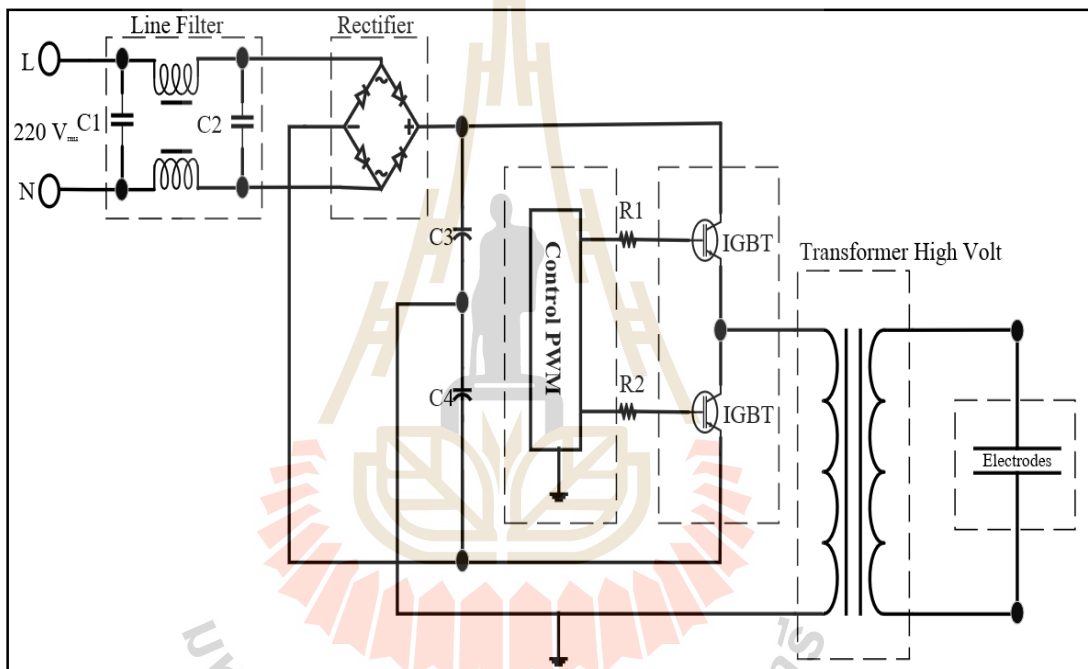
รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบของระบบผลิตโอโซน

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากการอัตราการไหลของออกซิเจนและอากาศ

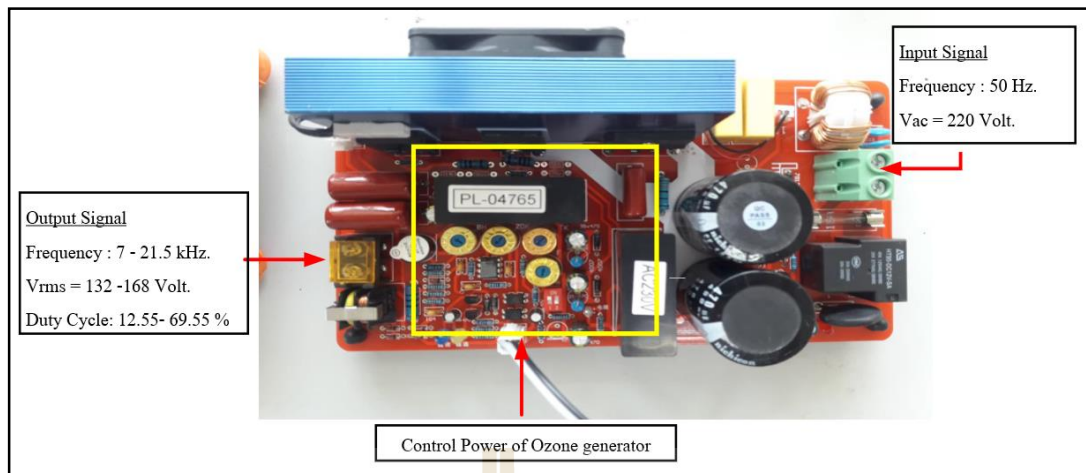
Air source	Oxygen source (98%)	Oxygen source(98%)
Air flow: 75 L/min	Oxygen flow: 2 L/min	Oxygen flow: 5 L/min
Ozone concentration: 12mg/L	Ozone concentration: 130 mg/L	Ozone concentration: 90mg/L
Ozone output: 40 g/h	Ozone output: 15.6g/h	Ozone output: 108g/h

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

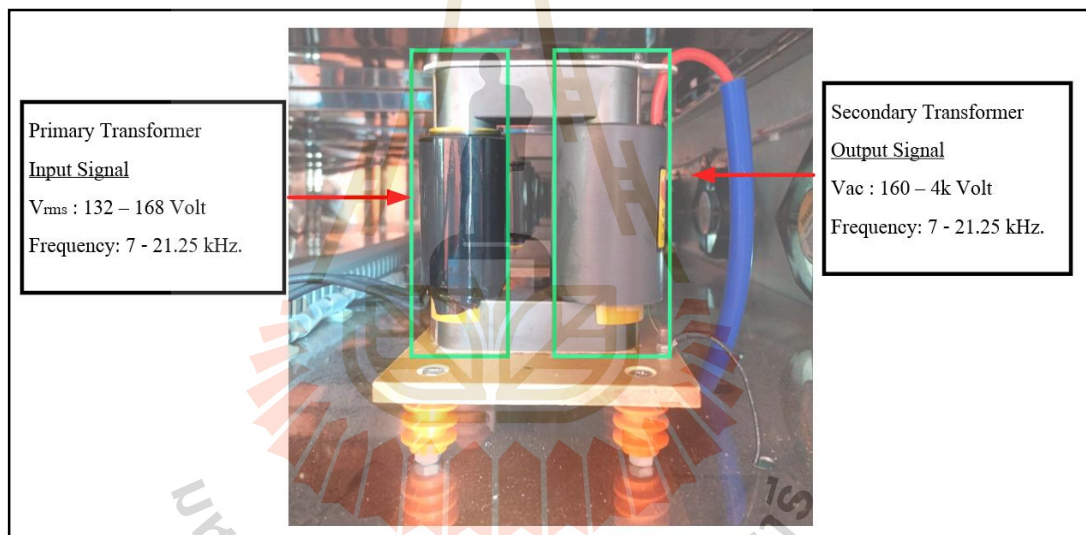
พลัสไปที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูง โดยวงจรสวิตซ์ซึ่งนี้สามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าได้สูงสุด 1,000 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 3.3 - 3.4 ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นมีหน้าที่เพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0 ถึง 4,500 โวลต์ ลักษณะของหม้อแปลงจะเป็นแกนเฟอร์ไรต์ที่มีค่าความซึมซาบสูงส่งผลให้ทำงานในความถี่สูงได้ดีเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังงานให้กับชุดท่อผลิตโอโซนได้เพียงพอ แสดงดังรูปที่ 3.5 ในส่วนของท่อผลิตโอโซนเป็นอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสร้างสนามไฟฟ้าชนิด Dielectric Barrier Discharge(DBD) วัสดุตัวเป็น สแตนเลส เกรด 304 โดยใช้แรงไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ ในการสร้างโอโซน และภายในตัวถังสามารถระบายความร้อนได้ด้วยวิธีน้ำหล่อเย็นเพื่อป้องกันการเกิดประกายคาวาน์จากความร้อนซึ่งส่งผลโดยตรงต่อปริมาณของโอโซนที่อาจจะลดลงแสดงดังรูปที่ 3.6



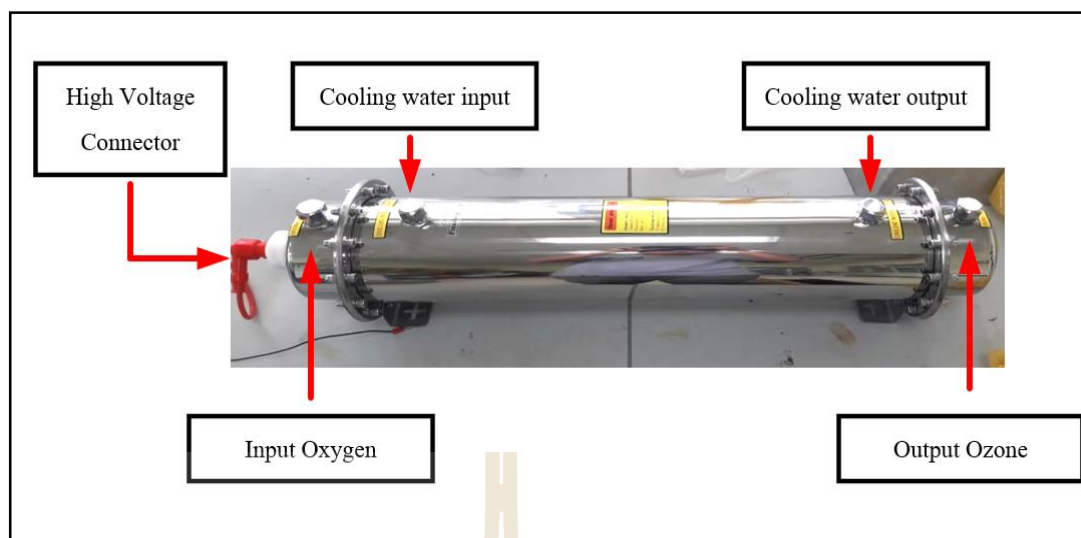
รูปที่ 3.3 วงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)



รูปที่ 3.4 บอร์ดวงจรสวิตซ์ซึ่งกำลังงานสูง (Switching High Power)



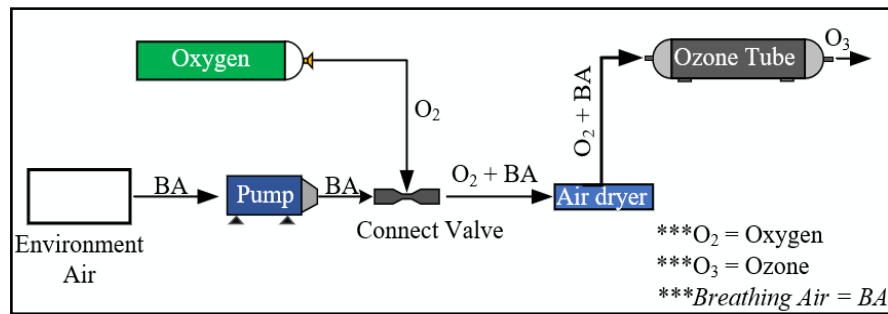
รูปที่ 3.5 หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันความถี่สูง (High Volt Transformer and High Frequency)



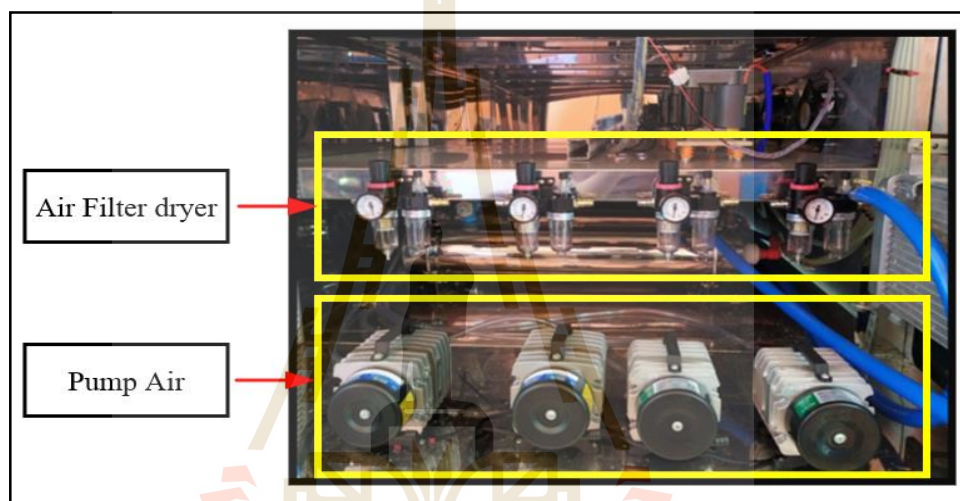
รูปที่ 3.6 หลอดกำเนิดโอโซน (Ozone Tube)

### 3.2.2 การออกแบบระบบจ่ายอากาศ

การออกแบบระบบจ่ายอากาศอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งต่อการเกิดโอโซน โดยมีอุปกรณ์ดังนี้ ปัมลม (Air compressor) ถังออกซิเจน (Oxygen Tank) วาล์วควบคุมปริมาณออกซิเจน (Valve Control oxygen) และอุปกรณ์กรองความชื้น (Air dryer) มีหลักการออกแบบคือ ใช้ปัมลมที่สามารถผลิตอากาศ 75 ลิตร/นาที ซึ่งอากาศที่ผลิตได้ยังมีความชื้นผสมอยู่จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่กรองความชื้นออกจากอากาศก่อนที่จะส่งไปยังท่อผลิตโอโซน แต่ถ้านำอากาศที่ใช้หายใจในการผลิตโอโซนจะมีออกซิเจนอยู่เพียง 21 % ซึ่งทำให้ระบบผลิตโอโซนไม่สามารถผลิตโอโซนได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงมีอุปกรณ์ที่สำคัญคือ ถังออกซิเจน สำหรับจ่ายเข้าไปยังถังผลิตโอโซนซึ่งจะทำให้สามารถผลิตโอโซนได้ความเข้มข้นที่สูงขึ้น โดยขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.7 และในส่วนนี้จะสร้างระบบผลิตอากาศจำนวน 4 ชุด แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 แผนผังการทำงานของระบบผลิตอากาศสำหรับสร้างโอโซน

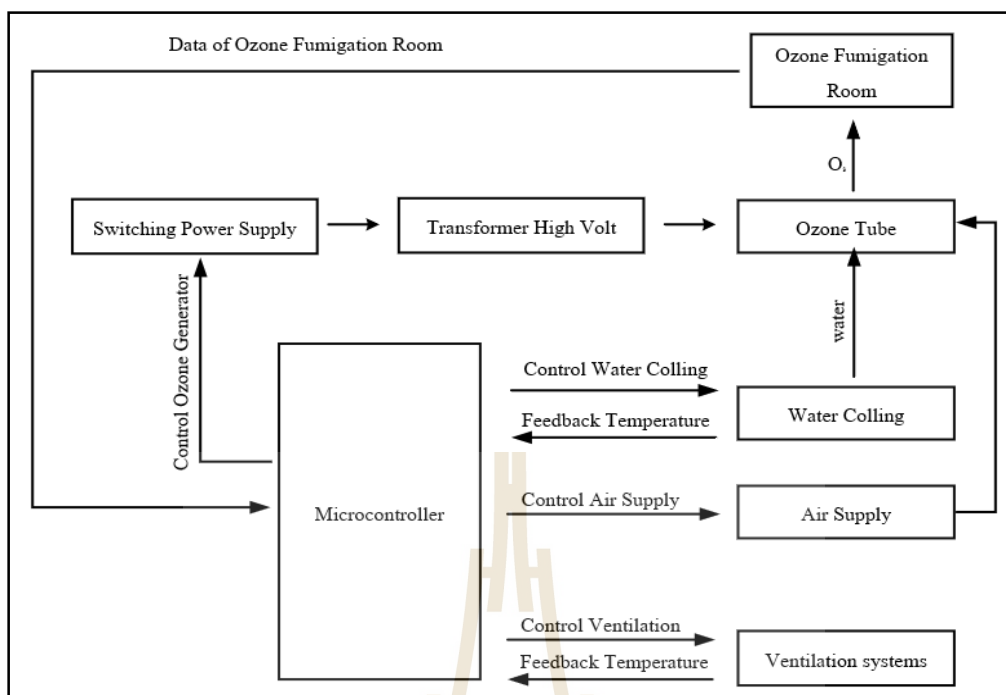


รูปที่ 3.8 ระบบผลิตอากาศสำหรับจ่ายไปที่ท่อผลิตโอโซน

### 3.2.3 การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน

การออกแบบระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้สามารถควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน (Microcontroller control ozone generator system) มีหลักทำงาน คือ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบผลิตโอโซน (Ozone generator) ให้ทำงานตามเวลาที่ตั้งไว้จากนั้นจะสั่งให้ระบบผลิตอากาศ (Air supply) เริ่มทำงานเพื่อจ่ายอากาศไปที่ท่อผลิตโอโซนเมื่อในท่อผลิตโอโซนเกิดความร้อนขึ้นระบบหล่อเย็น (Water Colling) จะเริ่มทำงานทันทีเพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาว์นของโอโซนและความเสียหายท่อผลิตโอโซนเนื่องจากความร้อนในการทำงานที่ยาวนานของระบบอาจทำให้เกิดความร้อนจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำเป็นอย่างยิ่งที่มีระบบระบายความร้อน (Ventilation System) ออกจากตัวเครื่องเพื่อให้อุปกรณ์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในส่วนสุดท้ายเป็นระบบเซนเซอร์ที่อยู่ในห้องรมโอโซนโดยจะนำค่าอุณหภูมิและความชื้นมาแสดงในหน้าจอแสดงผลเพื่อนำไปเก็บบันทึกข้อมูลสำหรับการทดลอง แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.9

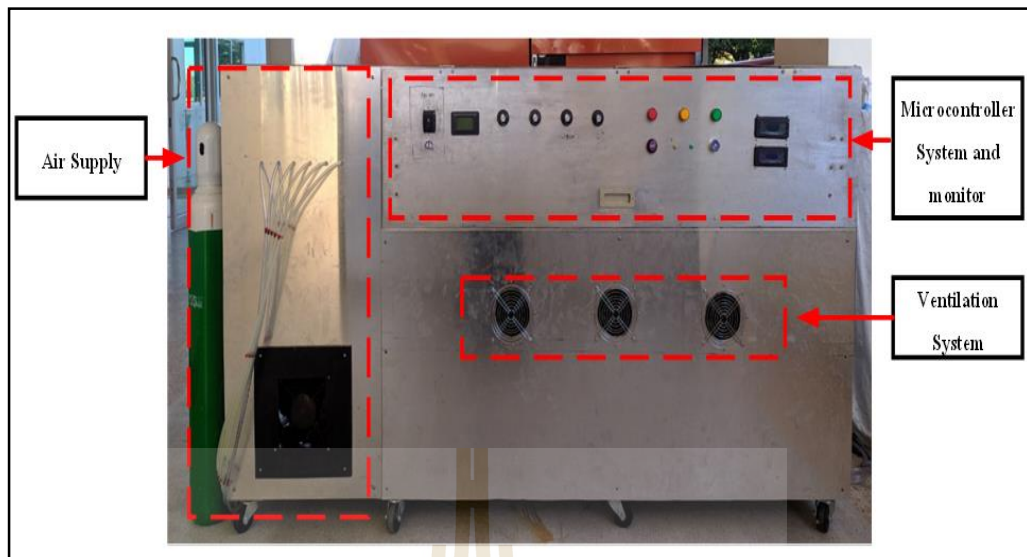




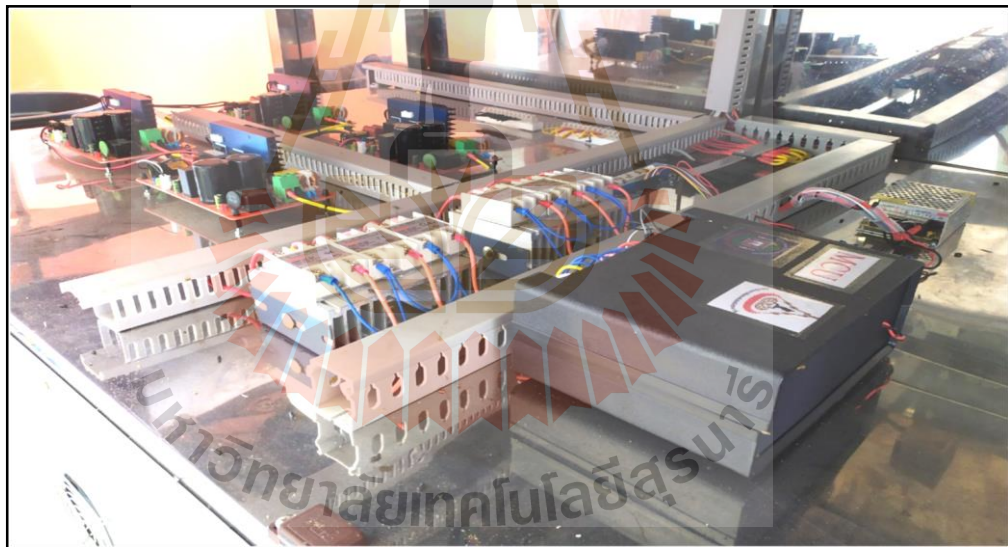
รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบ

### 3.2.4 ขั้นตอนการติดตั้งและสร้างระบบผลิตโอโซน

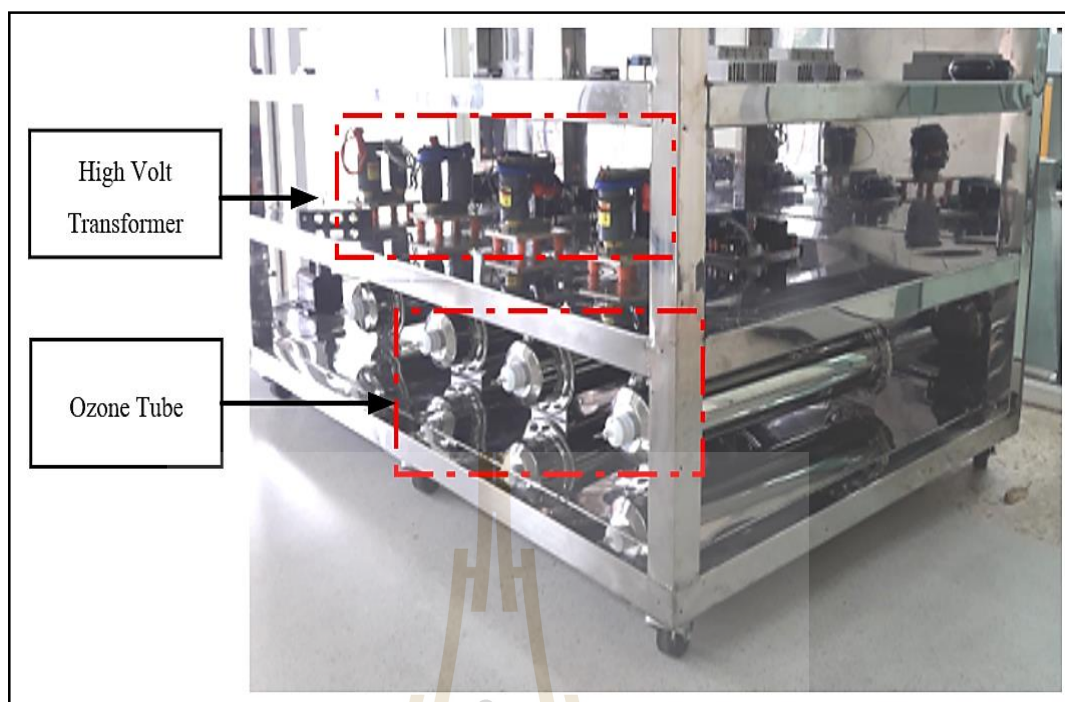
เครื่องผลิตโอโซนมีวัสดุโครงสร้างเป็นสแตนเลส ขนาด  $2 \times 1 \times 1$  เมตร แสดงดังรูปที่ 3.10 สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ได้ทำการติดตั้งระบบควบคุมการทำงานและแสดงผลไว้ที่ด้านบนสุดเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากสนามไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.11 ในส่วนถัดมาระบบจ่ายอากาศ จะทำการติดตั้งที่ตำแหน่งด้านซ้ายของเครื่องเพื่อป้องกันการสั่นสะเทือนจากปั๊มลมไปยังชุดวงจรควบคุม และจะติดตั้งระบบระบายอากาศไว้บริเวณหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อป้องกันความร้อนที่เกิดจากหม้อแปลง สำหรับการติดตั้งหม้อแปลงและท่อผลิตโอโซนจะติดตั้งให้มีระยะห่างจากกันประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการรบกวนจากสนามไฟฟ้าแรงดันสูงรบกวนกันภายในระบบ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.10 เครื่องผลิตโอโซนความเข้มสูง



รูปที่ 3.11 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบและวงจรสวิตซ์ซิ่ง



รูปที่ 3.12 การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงและท่อผลิตโอโซน

### 3.3 การวิเคราะห์และออกแบบสร้างห้องรมโอโซน

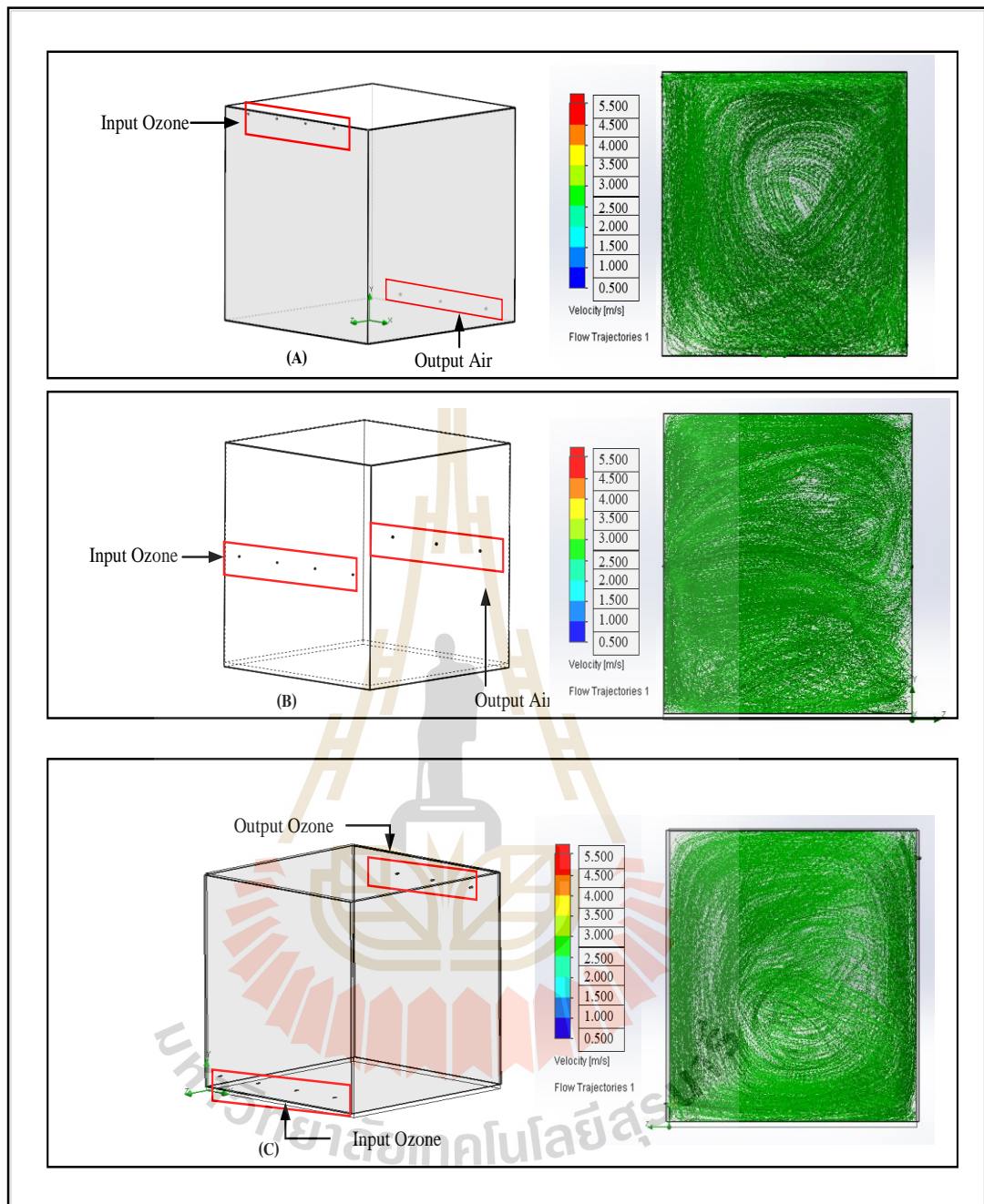
#### 3.3.1 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

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

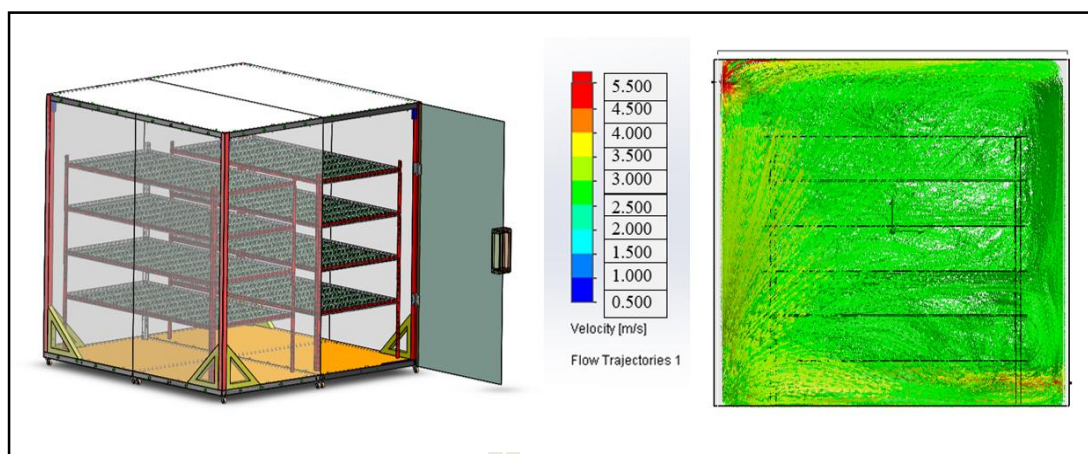
การศึกษางานวิจัยของ (Kshirsagar & Joshi, 2019) วิจัยเกี่ยวกับการออกแบบตู้อบหัวหอมโดยศึกษาทิศการไหลของและแพร่กระจายของอากาศที่ไหลผ่านตะแกรงสำหรับวางหัวหอมในรูปแบบต่างโดยใช้โปรแกรม Solidwork flow simulation ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายและระบายอากาศออก ในตำแหน่งที่ต่างกันมีผลเป็นอย่างยิ่งต่อการกระจายตัวของอากาศที่ไหลผ่านสิ่งของที่ต้องการให้สัมผัส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

### 3.3.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายอากาศในห้องรมโอโซน

การวิเคราะห์การกระจายตัวของโอโซนได้จำลองโดยใช้โปรแกรม Solidwork simulation flow มีการวิเคราะห์ตำแหน่งของการปล่อยและระบายโอโซนอยู่ 3 รูปแบบ โดยมีการกำหนดช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าที่ความเร็วลมอยู่ที่ 5 เมตร/วินาที ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง และระบายโอโซนออกจากห้องที่ความเร็วลม 2.5 เมตร/วินาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง การกำหนดขนาดเท่ากันทุกการจำลองแต่แตกต่างกันที่ตำแหน่งของการจ่ายและระบายโอโซนออกจากห้องทดลอง การจ่ายโอโซนเข้าด้านบนของห้อง และระบายออกด้านล่างที่อยู่ตรงข้ามกัน แสดงดังรูป 3.13 (A) จากการจำลองจะเห็นได้ว่าทิศทางของโอโซนจะเดินทางไปอยู่อีกด้านของห้องแล้ววนกลับมาจะมีลักษณะหมุนวนเข้ามาที่จุดปล่อยโอโซนเข้ามา จากนั้นจึงระบายออก ถัดมาเป็นการจำลองการปล่อยโอโซนเข้าที่ตรงกลางห้องและระบายออกที่ฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.13 (B) จากการจำลองสังเกตได้ว่าการปล่อยโอโซนเข้าที่บริเวณนี้จะมีทิศทางเคลื่อนที่อยู่สองทิศทางคืออากาศจะหมุนไปที่ด้านบนและอีกส่วนหนึ่งจะหมุนวนด้านล่างแล้วจึงระบายออกที่ด้านหลังห้อง และในที่สุดท้ายได้ทำการจำลองปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านล่างของห้อง และระบายออกที่ด้านบนของฝั่งตรงข้าม แสดงดังรูปที่ 3.13 (C) จากการจำลองพบว่าโอโซนโอโซนมีลักษณะกระจายตัวในรูปแบบที่หมุนวนจากด้านล่างของห้องแล้วเคลื่อนที่ไปยังจุดระบายออกและมีบางส่วนวนกลับมาที่จุดปล่อยการปล่อยลักษณะนี้การกระจายตัวในอากาศตรงกลางค่อนข้างที่จะน้อย การจำลองการแพร่กระจายของโอโซนทั้ง 3 แบบ ผู้วิจัยได้เลือกใช้การปล่อยโอโซนเข้าที่ด้านบนของห้องและระบายอากาศออกด้านล่างของฝั่งตรงข้ามเนื่องจากทิศทางการแพร่กระจายตัวของโอโซนมีทิศทางที่เคลื่อนตัวจากด้านบนแล้ววนกลับมาที่จุดปล่อยโอโซนและมวลต่อโมลของโอโซนมีน้ำหนัก 47.988 กรัม/โมล ซึ่งมากกว่าออกซิเจนและไนโตรเจนที่อยู่ในอากาศ คือ 15.999 กรัม/โมล และ 14.007 กรัม/โมล ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ถ้าปล่อยโอโซนจากด้านบนมีโอกาสที่จะตกมาด้านล่างได้ จากนั้นจึงได้ทำการออกแบบและจำลองการแพร่กระจายตัวของโอโซนที่ภายในห้องมีชั้นวางสำหรับวางกล้วยไม้ โดยกำหนดให้ มีช่องสำหรับปล่อยโอโซนเข้า ขนาด 0.8 เซนติเมตร จำนวน 4 ช่อง อยู่ด้านบน และ ช่องสำหรับระบายอากาศออกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร จำนวน 2 ช่อง อยู่ที่ตำแหน่งด้านล่างตรงข้ามกับฝั่งขาเข้า ผลการจำลองพบว่ากระกระจายตัวของโอโซนสามารถแพร่กระจายได้ทุกพื้นที่ของชั้นวาง แสดงดังรูปที่ 3.14



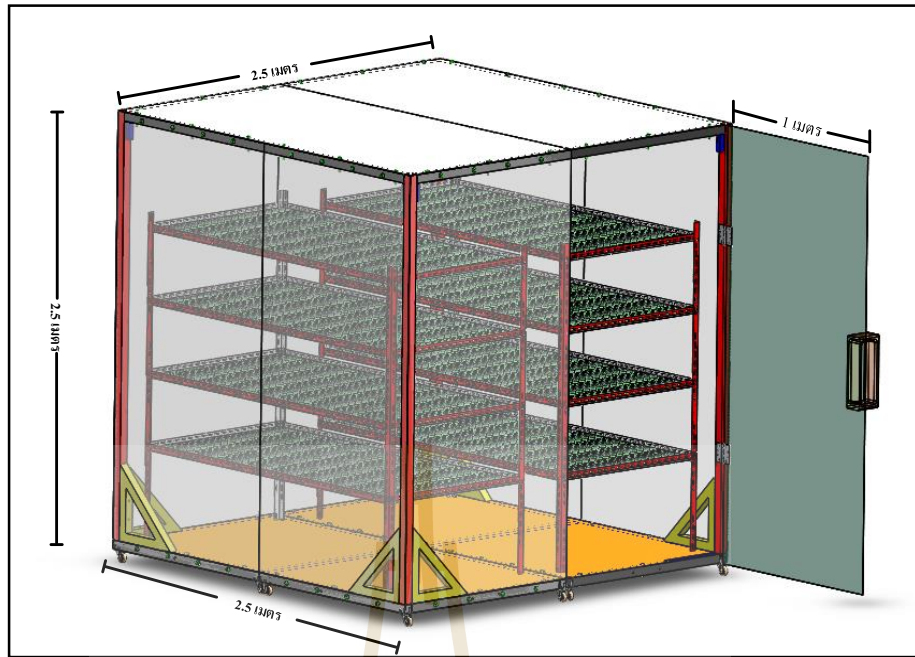
รูปที่ 3.13 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซน



รูปที่ 3.14 ผลการจำลองการแพร่กระจายของโอโซนภายในห้องรมโอโซนที่ภายในมีชั้นก๊วยไม้

### 3.3.3 การออกแบบและสร้างห้องสำหรับรมโอโซน

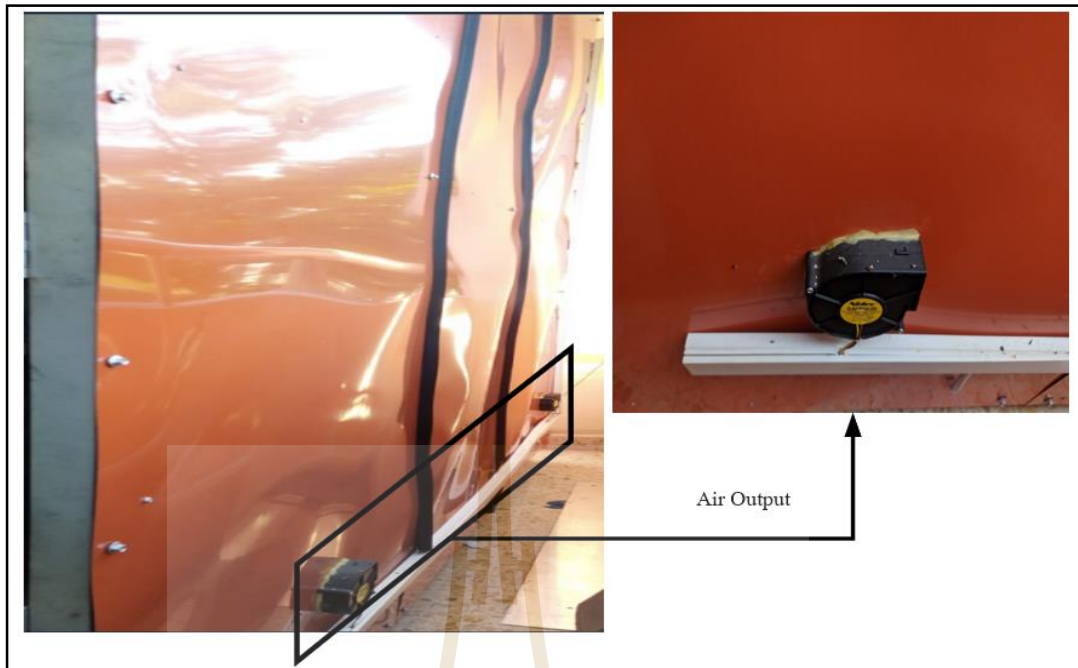
การออกแบบสร้างห้องสำหรับรมโอโซนได้ออกแบบห้องให้มีขนาด  $2.5 \times 2.5 \times 2.5$  ลูกบาศก์เมตร ในส่วนของประตูทางเข้ามีขนาดกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.15 มีช่องสำหรับจ่ายโอโซนเข้าไปในห้อง (Ozone Input) จำนวน 4 ช่อง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.8 เซนติเมตรติดตั้งที่ตำแหน่งด้านบนของห้อง ดังรูปที่ 3.16 และช่องสำหรับระบายโอโซนออก จำนวน 2 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร โดยมีพัดลมระบายอากาศติดตั้งอยู่ด้านหลังของห้องเพื่อช่วยในการกระจายตัวของโอโซนให้คงที่และช่วยดูดโอโซนออกจากห้องเมื่อทำการลงเสร็จ ดังรูปที่ 3.17 สำหรับโครงสร้างจะเป็นเหล็กที่ถูกทาสีป้องกันการเกิดสนิมจากการกัดกร่อนของโอโซน ส่วนของผนังห้องจะใช้วัสดุที่เป็นเมทัลชีทและด้านใน จะติดตั้งฉนวนป้องกันความร้อนชนิด PE สำหรับป้องกันความร้อนจากภายนอกเพื่อให้อุณหภูมิในห้องมีความเสถียร และชั้นวางก๊วยไม้มีจำนวน 2 อัน ในแต่ละอันมีจำนวน 4 ชั้น มีขนาด กว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 200 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างชั้นอยู่ที่ 40 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.15 ออกแบบโครงสร้างห้องรมโอโซนและชั้นวางกล้วยไม้



รูปที่ 3.16 ห้องรมโอโซนขนาด 15.625 ลูกบาศก์เมตรและแสดงตำแหน่งการจ่ายโอโซนเข้า



รูปที่ 3.17 พัดลมสำหรับระบายอากาศ



รูปที่ 3.18 ชั้นวางกล้วยไม้ที่วางอยู่ในห้องรมโอโซน



### 3.4สรุป

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



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินงาน

#### 4.1 บทนำ

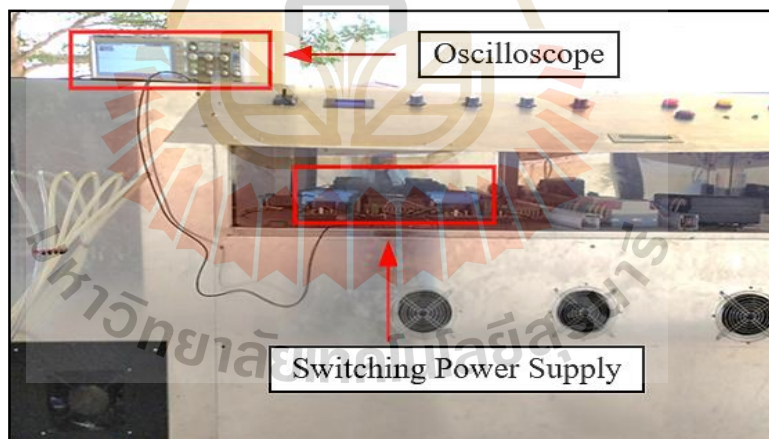
จากการออกแบบสร้างระบบผลิตไอโซนความเข้มข้นสูงเพื่อใช้สำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ เครื่องผลิตไอโซนความเข้มข้นสูง และห้องสำหรับนำกล้วยไม้เข้าไปรมไอโซน ในส่วนของเครื่องผลิตไอโซนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณที่จ่ายไปยังหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อแปลงผันแรงดันจากไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงสำหรับจ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดเพื่อให้ออกสามารถสร้างสนามไฟฟ้าความถี่สูงที่ใช้สำหรับผลิตไอโซนจำนวน 4 ชุด และมีระบบที่ใช้สำหรับผลิตอากาศที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของอากาศและออกซิเจนเพื่อใช้สำหรับผลิตไอโซน รวมถึงการออกแบบห้องสำหรับรมไอโซนโดยใช้โปรแกรม Solidwork ในการจำลองอัตราการกระจายตัวของไอโซนภายในห้อง ดังนั้นสำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอโซน การวัดความเข้มข้นของไอโซนที่อยู่ภายในห้องรมไอโซนเพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของไอโซน จากนั้นได้นำไอโซนไปทดลองกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้เพื่อนำผลการทดลองไปวิเคราะห์หาอัตราการตายของแมลง และส่วนสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบที่กล้วยไม้ได้รับจากไอโซน

#### 4.2 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตไอโซน

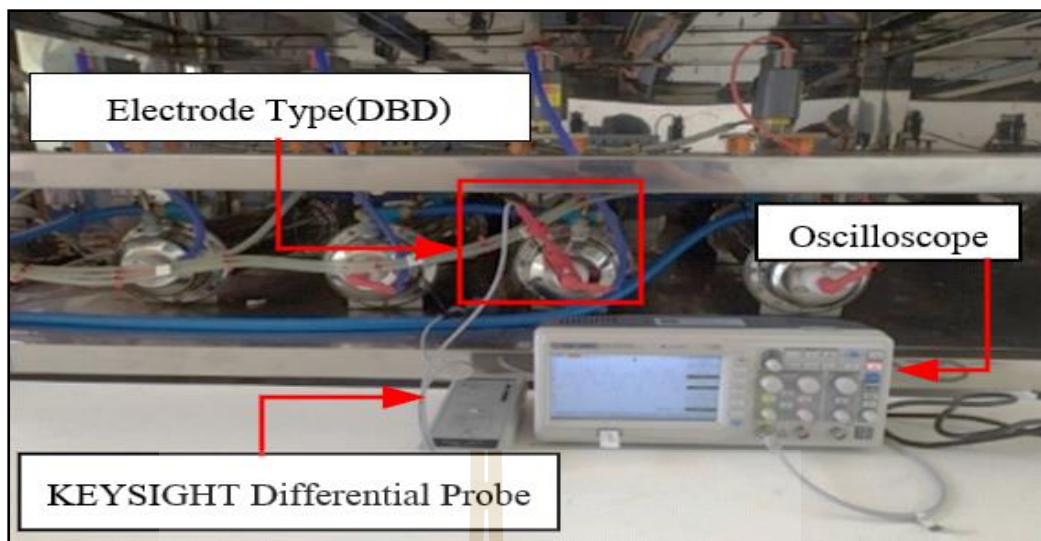
เครื่องผลิตไอโซนนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 3 ประการ คือ ระบบหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้สำหรับจ่ายกำลังงานไฟฟ้าเพื่อสร้างสนามไฟฟ้าที่ขั้วอิเล็กโทรดที่อยู่ภายในท่อผลิตไอโซน ซึ่งในส่วนนี้จะได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กำลังงานไฟฟ้า และความถี่ในการทำงาน ในส่วนถัดมาเป็นระบบจ่ายอากาศกับออกซิเจนโดยจะทำการวัดอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนที่ส่งไปยังท่อผลิตไอโซน และในส่วนสุดท้ายเป็นการควบคุมความร้อนในระบบ โดยจะทำการวัดความร้อนในระบบในกรณีทำงานต่อเนื่อง ซึ่งการทดสอบที่กล่าวมานี้จะทำการทดสอบรวมกับการวัดปริมาณไอโซนที่ผลิตได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 4.2.1 ทดสอบระบบสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน

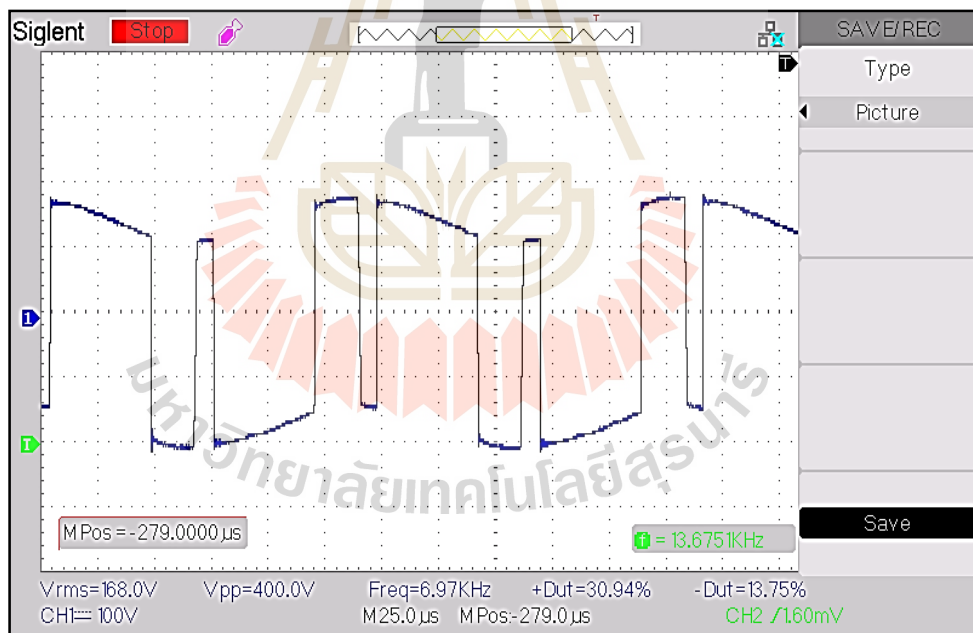
สำหรับการทดสอบค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซนนั้นจะทำการทดสอบอยู่ 2 ส่วนได้แก่ การทดสอบสัญญาณที่ออกจากวงจรสวิทซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลาย และการทดสอบวัดสัญญาณของโพลต์ที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดแบบ Dielectric Barrier Discharge (DBD) โดยการทดสอบทั้งสองกรณีนี้จะทำการวัดลักษณะสัญญาณไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรด และความถี่ที่ใช้ทำงาน เพื่อศึกษาอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่ผลิตได้ เนื่องจากค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน โดยใช้อุปกรณ์ทางการวัดที่มีความน่าเชื่อถือสำหรับเก็บผลการทดลองซึ่งประกอบด้วย ออสซิลโลสโคปรุ่น Siglent SDS1072CML และชุดอุปกรณ์วัดสัญญาณไฟฟ้าแรงดันสูงความถี่สูงรุ่น KEYSIGHT N2891A 70 MHz Differential Probe โดยการติดตั้งอุปกรณ์การวัดลักษณะสัญญาณที่วงจรสวิทซ์ซิ่งเพาเวอร์ซัพพลายแสดงดังรูปที่ 4.1 ในส่วนถัดมาเป็นการวัดสัญญาณที่ขั้วอิเล็กโทรดขณะที่ระบบทำงานโดยใช้อุปกรณ์ลดสัญญาณในอัตราส่วน 1000: 1 ต่อเข้าออสซิลโลสโคปเพื่อแสดงค่าผลการทดลองที่ใช้ในการบันทึกผลดังรูปที่ 4.2 โดยลักษณะสัญญาณที่วัดได้จากวงจรสวิทซ์ซิ่งแสดงดังรูปที่ 4.3 และในส่วนถัดมาเป็นผลการวัดสัญญาณจากหม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายไปยังโพลต์ที่เป็นขั้วอิเล็กโทรดแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยรูปที่แสดงนี้เป็นเป็น ผลการวัดสัญญาณในขณะที่เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพ



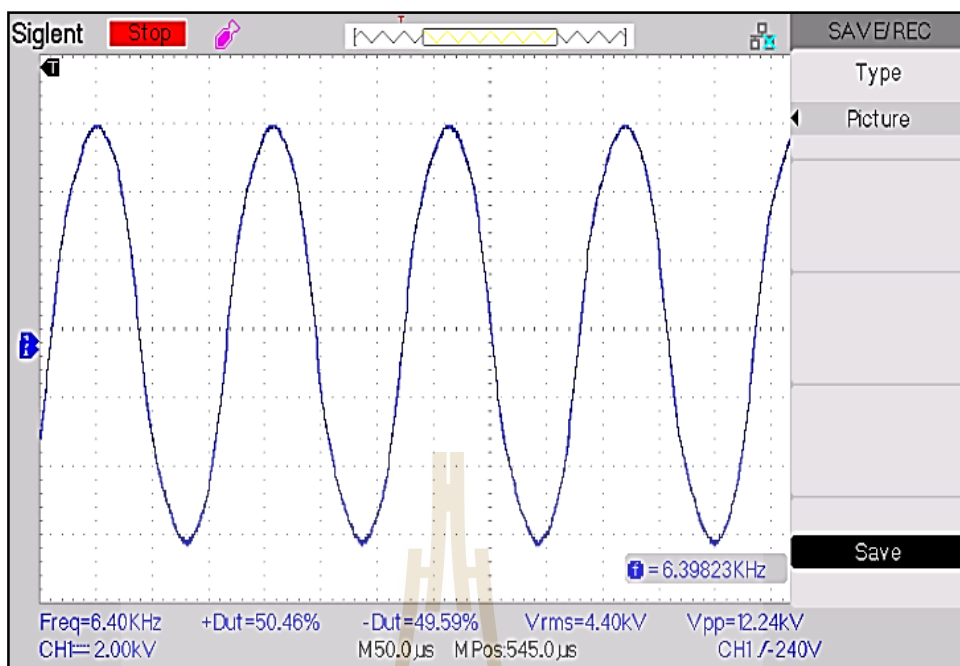
รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการทดลองวัดสัญญาณที่ออกจากวงจรแหล่งจ่ายสวิทซ์ซิ่ง



รูปที่ 4.2 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน



รูปที่ 4.3 สัญญาณไฟฟ้าที่จากวงจรสวิตซ์ซิงเพาเวอร์ซัพพลาย



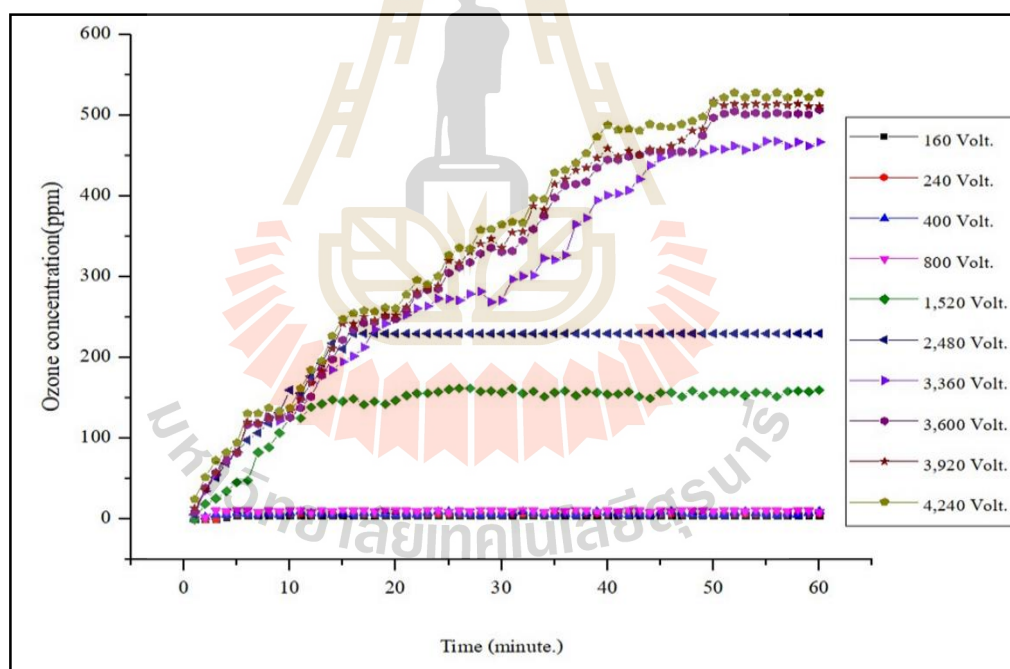
รูปที่ 4.4 สัญญาณไฟฟ้าที่จ่ายไปยังหลอดผลิตโอโซน

ตารางที่ 4.1 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน

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

จากตารางที่ 4.1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซน จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการทำงานของวงจรจะสร้างความถี่ในการทำงานอยู่สองช่วงคือ ช่วง 20.40 ถึง 21.26 กิโลเฮิร์ตซ์ และการทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยการปรับค่าตัวรีซิสเตอร์ที่เพิ่มขึ้นนั้น ทำให้แรงดันไฟฟ้า

และกำลังงานไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจ่ายไปยังโหลดที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์นั้นเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าและปริมาณโอโซนเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยผลการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าในระดับต่าง ๆ ที่ใช้ผลิตโอโซนแสดงดังรูปที่ 4.5 ผลที่ได้เป็นปริมาณโอโซนที่ทำการวัดภายในห้องรมโอโซนที่ได้ออกแบบไว้สำหรับรมกล้วยไม้โดยทำการทดลองในระยะเวลา 1 ชั่วโมง กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 70 ลิตร/นาที่ จากแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายในช่วง 160 ถึง 4,240 โวลต์ พบว่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง 160 ถึง 800 โวลต์นั้นมีความเข้มข้นของโอโซนในปริมาณที่น้อยมากในห้องได้ออกแบบสร้างไว้ ซึ่งโอโซนจะเริ่มมีปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้นในช่วง 1,520 โวลต์ และในช่วง 3,600 ถึง 4,240 โวลต์ มีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนสูงถึง 500 ppm ระดับแรงดันไฟฟ้าในช่วง 3,920 ถึง 4,240 โวลต์ นั้นสามารถผลิตโอโซนได้สูงกว่า 3,600 โวลต์ เพียงเล็กน้อยแต่ระดับการใช้พลังงานไฟฟ้านั้นสูงกว่าเป็นอย่างมาก ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุของการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและปริมาณของออกซิเจนที่ยังไม่เหมาะสมซึ่งจะแสดงการทดลองในขั้นตอนถัดไป

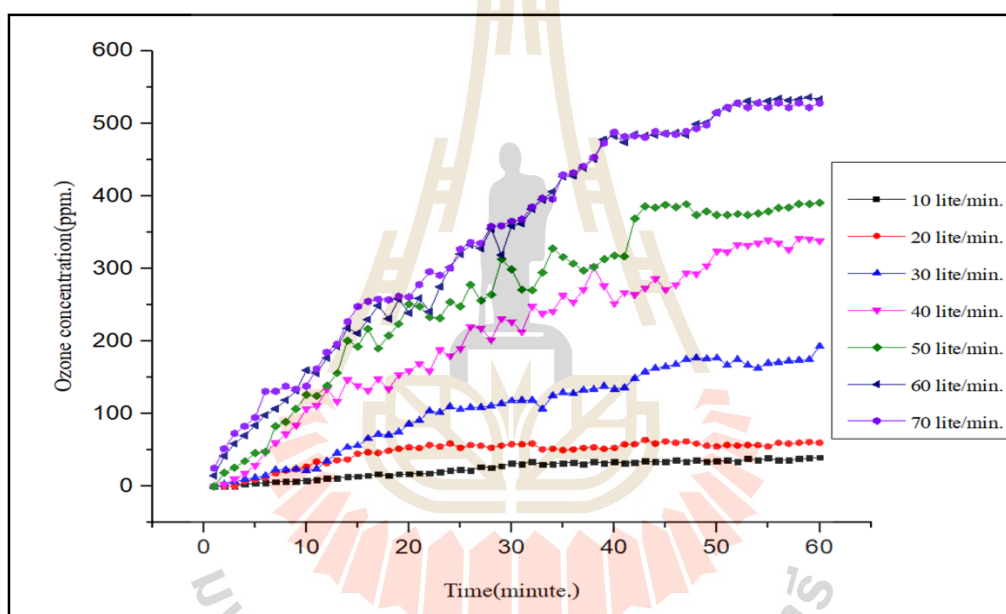


รูปที่ 4. 5ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตก๊าซโอโซน

#### 4.2.2 ทดสอบอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

สำหรับการทดสอบหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมต่อการผลิตโอโซน ผู้วิจัยได้จ่ายแรงดันไฟฟ้าออกจากหม้อแปลงไฟฟ้าให้ที่ 3,600 โวลต์ ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง โดยจะทำการทดลองปรับค่าอัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 10 ถึง 70 ลิตร/นาที่ เพื่อหาอัตราการไหลของอากาศที่

เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตโอโซน โดยผลการวัดความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องทดลองสำหรับปริมาณกล้วยไม้ แสดงดังรูปที่ 4.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอัตราการไหลของอากาศที่มากขึ้นทำให้ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนภายในห้องนั้นเพิ่มขึ้นตามเช่นกันเนื่องจากอัตราการไหลของอากาศที่เพิ่มขึ้นนั้นส่งผลให้มีปริมาณของออกซิเจนไหลผ่านขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจึงส่งผลให้การแตกตัวของออกซิเจนเป็นโอโซนมีโอกาสสูงขึ้นตามไปด้วย แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองการจ่ายอากาศในช่วง 60 ถึง 70 ลิตร/นาที มีปริมาณความเข้มข้นโอโซนที่ใกล้เคียงกันซึ่งอาจเกิดจากการจ่ายอากาศให้มีอัตราการไหลในปริมาณที่สูงเกินความเหมาะสมที่พลังงานจากสนามไฟฟ้าทำให้ออกซิเจนแตกตัวจึงทำให้เกิดการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าไปในห้องทดลองในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้โอโซนที่อยู่ภายในห้องเจือจางได้

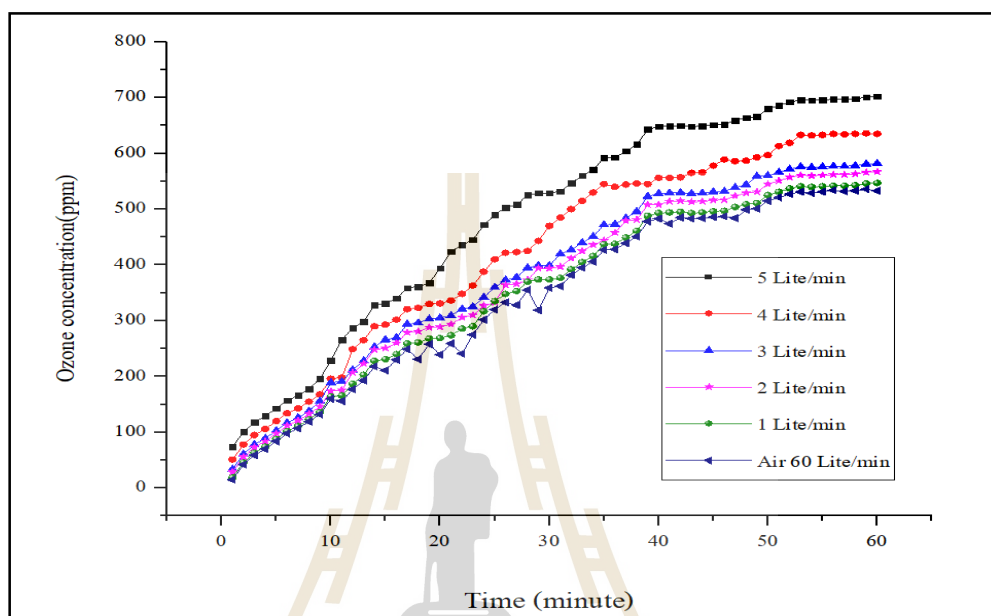


รูปที่ 4.6 อัตราการไหลของอากาศสำหรับใช้ผลิตโอโซน

#### 4.2.3 ทดสอบปริมาณออกซิเจนที่มีผลต่อการเกิดโอโซน

สำหรับการนำออกซิเจนมาทดลองร่วมกับอากาศที่ใช้ผลิตโอโซน เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของโอโซนโดยทำการทดลองกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจน โดยทดลองวัดความเข้มข้นโอโซนภายในห้องที่ออกแบบสร้างเพื่อใช้รมโอโซน โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าที่ใช้จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดอยู่ที่ 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศอยู่ที่ 60 l/min และกำหนดอัตราการไหลของออกซิเจนตั้งแต่ 1 ถึง 5 ลิตร/นาที ตามลำดับ โดยผลการทดลองจะแสดงปริมาณโอโซนที่วัดภายในห้องทดลองสังเกตได้ว่าก๊าซโอโซนนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเวลาการจ่ายออกซิเจนที่ 60 นาที สามารถผลิต

โอโซนได้สูงถึง 700 ppm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจ่ายออกซิเจนเข้าไปเพื่อผลิตโอโซนนั้นมีอัตราความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งการจ่ายออกซิเจนที่ 5 ลิตร/นาที สามารถผลิตโอโซนได้สูงถึง 550 ppm ในระยะเวลา 30 นาที และมีปริมาณความเข้มข้นของโอโซนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4. 7 อัตราการไหลของออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซน

#### 4.2.4 ประสิทธิภาพความร้อนในระบบเครื่องผลิตโอโซนเมื่อทำงานต่อเนื่อง

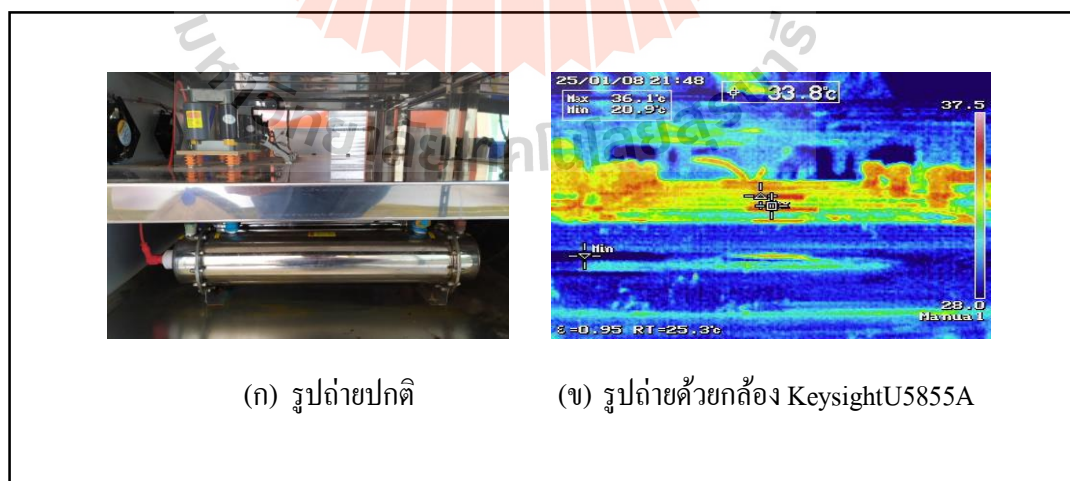
การควบคุมความร้อนในระบบเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตโอโซน เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ใช้สำหรับผลิตโอโซนนั้นอาจส่งผลให้เกิดเบรกตาวนขึ้นส่งผลให้ปริมาณของโอโซนนั้นลดลง อีกทั้งคุณสมบัติของท่อผลิตโอโซนนี้ มีข้อกำหนดว่า อุณหภูมิโดยรอบไม่ควรเกิน 40 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิการผลิตโอโซนนั้นลดลงโดยการควบคุมความร้อนภายในท่อผลิตโอโซนโดยใช้วิธีหล่อเย็นให้น้ำไหลผ่านภายในท่อผลิตโอโซนและมีชุดพัดลมระบายอากาศเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิภายในระบบเกิน 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองได้ทดลองระบบโดยให้เครื่องทำงานเต็มประสิทธิภาพตลอด 15 ชั่วโมง จำนวน 10 ครั้ง ซึ่งกำหนดให้เครื่องทำงานต่อเนื่องที่ระยะเวลา 90 นาที ต่อครั้ง จากนั้นจะทำการวัดอุณหภูมิบริเวณท่อผลิตโอโซน โดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนรุ่น Keysight U5855A ในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะแสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีความร้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 33.2 ถึง 33.8 องศาเซลเซียส โดยผลการทดลองภายในระยะเวลา 15 ชั่วโมง ได้แสดงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งอุณหภูมิที่ไม่เสถียรอาจเกิดจากสภาพอากาศจากสิ่งแวดล้อมภายนอก แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิใน



ช่วงนี้ยังอยู่ในช่วงที่ระบบสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และอีกส่วนหนึ่งที่สำคัญคืออุณหภูมิของไอโซนที่จ่ายไปยังห้องทดลอง ที่ต้องไม่ส่งผลให้เกิดความร้อนภายในห้องเกิน 32 องศาเซลเซียส เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของไอโซนที่ผลิตได้ซึ่งอาจทำให้ปริมาณความเข้มข้นลดลง รวมถึงส่งผลต่อกล้วยไม้ได้ โดยผลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.8 กล้องถ่ายภาพความร้อน รุ่น Keysight U5855A



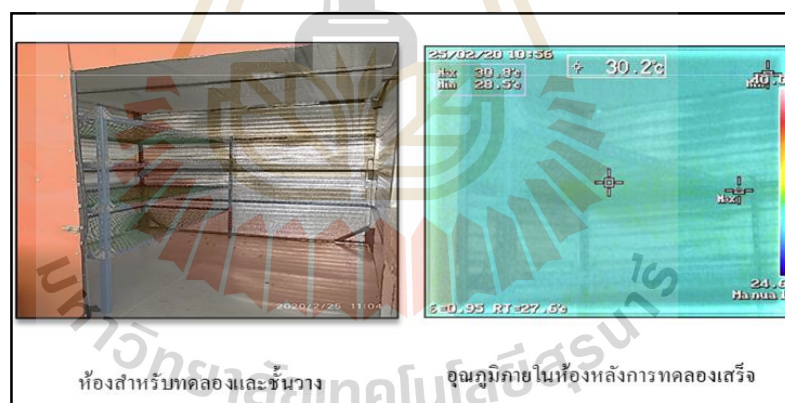
(ก) รูปถ่ายปกติ

(ข) รูปถ่ายด้วยกล้อง Keysight U5855A

รูปที่ 4. 9 ความร้อนในระบบขณะที่ทำงานต่อเนื่อง

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิในระบบเครื่องผลิตโอโซนในขณะที่เครื่องทำงานต่อเนื่อง

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

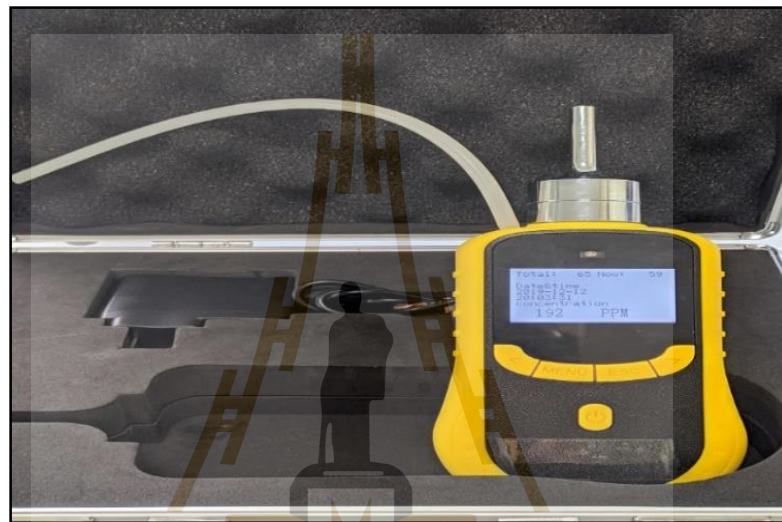


รูปที่ 4.10 อุณหภูมิภายในห้องหลังการทดลองเสร็จ

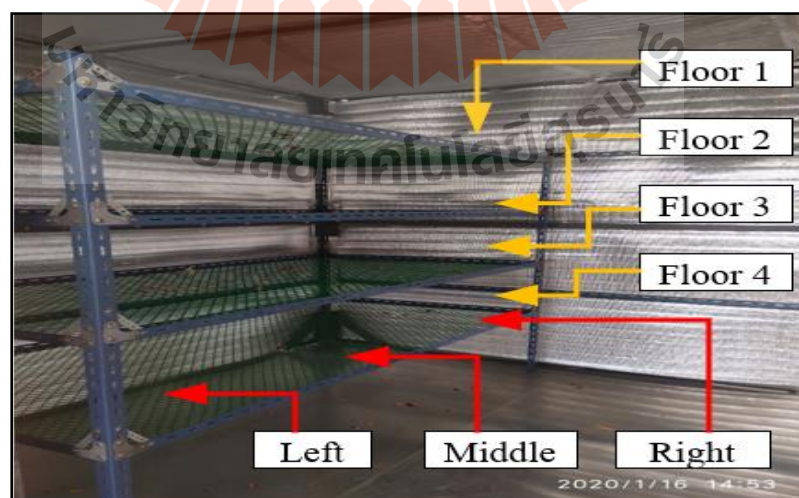
#### 4.3 ปริมาณโอโซนภายในห้อง

สำหรับการวัดปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่อยู่ภายในห้อง เพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ถึงอัตราการกระจายของโอโซนที่อยู่ภายในห้อง โดยทดลองให้ระบบผลิตโอโซนทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3,600 โวลต์ ทำงานที่ความถี่ 6.97 กิโลเฮิร์ตซ์ และใช้อากาศบริสุทธิ์ในการผลิตโอโซน มีอัตราการไหลอยู่ที่ 60 ลิตร/ นาที กำหนดให้การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นค่าเดียวกันในการทดลองทุกครั้งที่ในการผลิตโอโซนไปที่ห้องสำหรับรมโอโซน และเครื่องมือที่ใช้วัดนั้น เป็นเครื่องมือวัด

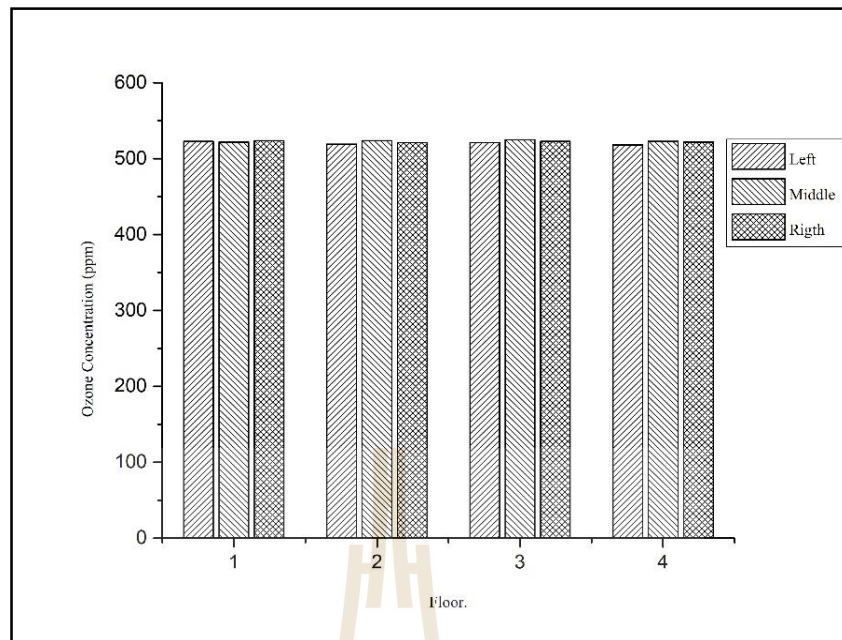
รุ่น SKZ1050 สามารถวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซนได้สูงสุด 1000 ppm ที่ความละเอียด 1 ppm แสดงดังรูปที่ 4.11 โดยทำการติดตั้งเครื่องไว้ที่ตำแหน่ง ซ้าย ตรงกลาง และขวา ของชั้นวางกล้วยไม้ แสดงดังรูปที่ 4.12 โดยความเข้มข้นโอโซนเป็นค่าที่วัดได้แล้วมีปริมาณความเข้มข้นคงที่ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากการทดลองเสร็จทุกครั้งจะทำการระบายอากาศออกจากห้องทดลอง จากนั้นจะเริ่มทดลองใหม่ที่ระดับความเข้มข้นโอโซนเป็น 0 ppm. โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 และ 4.14



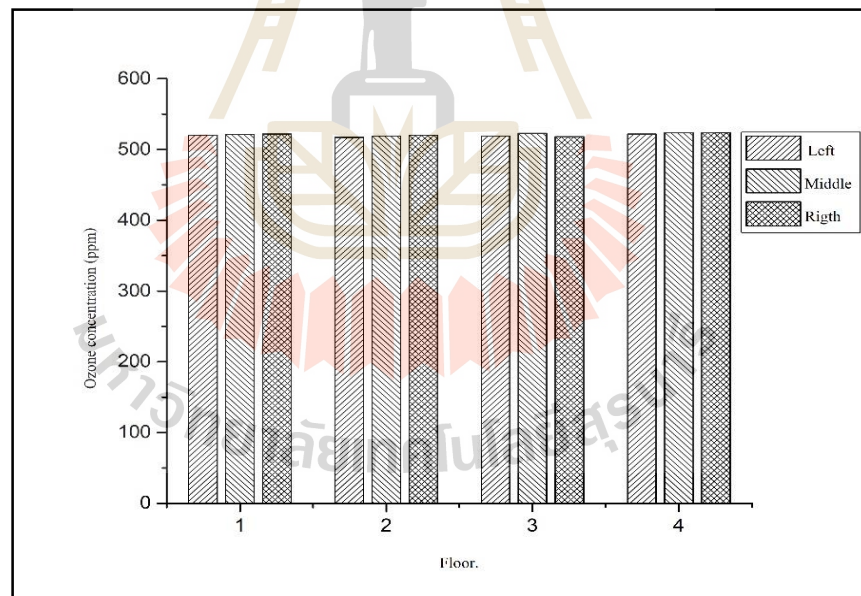
รูปที่ 4.11 เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นโอโซน



รูปที่ 4.12 การวัดโอโซนที่ตำแหน่ง ต่าง ๆ



รูปที่ 4. 13 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้ที่ 1



รูปที่ 4.14 ผลการวัดโอโซนภายในห้อง ที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนชั้นวางกล้วยไม้ที่ 2

#### 4.4 อัตราการตายของแมลงเมื่อได้รับโอโซน

สำหรับการทดลองหาอัตราการตายของแมลงผู้วิจัยได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชกักกันในกล้วยไม้ส่งออกได้แก่ เพลี้ยไฟ และไรแดง ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงพบว่าแมลงเหล่านี้มีอัตราการตายสูงถึง 98.9 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้รับโอโซนในระดับความเข้มข้นในช่วง 458 -501 ppm ในระยะเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยค่า

ตัวแปรที่อ้างอิงนี้เป็นค่าที่ไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ตัดดอก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำงานวิจัยนี้มาอ้างอิงถึงระดับความเข้มข้นของโอโซนเพื่อมาใช้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชเหล่านี้ โดยเริ่มทดลองที่ระดับความเข้มข้นของโอโซนตั้งแต่ 450 ถึง 1,000 ppm อุณหภูมิที่ใช้ทดลองอยู่ในช่วง 32 ถึง 37 องศาเซลเซียส โดยการทดลองจะแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ 30 และ 60 นาที เพื่อหาระดับความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้แมลงเหล่านี้ได้รับความตายแสดงดังตารางที่ 4.3 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ถ้าแมลงเหล่านี้ได้รับโอโซนความเข้มข้นสูงในระยะเวลาที่นานจะทำให้ได้รับอัตราการตายที่สูงขึ้น โดยการเก็บผลการทดลองจะสังเกตการตายของแมลงเหล่านี้ในกรณีที่ทดลองเสร็จทันทีรวมถึงหลังจากการทดลองเสร็จที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าแมลงเหล่านี้ถึงแก่ความตายด้วยโอโซนจริง ซึ่งการเก็บผลหลังจากการทดลองเสร็จทันทีแสดงให้ว่าความ

เข้มข้นของโอโซนในช่วง 850 ถึง 950 ppm ในระยะเวลา 60 นาที และความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 950 ถึง 1,000 ppm ในระยะเวลา 30 นาที และ 60 นาที มีอัตราการตายของแมลงอยู่ที่ 100 เปอร์เซ็นต์ และจากสังเกตอาการของแมลงเหล่านี้หลังจากการทดลองที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง และ 8 ชั่วโมง พบว่าแมลงไม่มีการฟื้นตัวขึ้น แต่กลับพบว่าแมลงที่ได้รับความเข้มข้นของโอโซนในระดับ 551 ถึง 650 มีอัตราการตายที่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ เป็นเพียงหาอัตราการตายของแมลงเพียงอย่างเดียว ซึ่งการวิจัยมีจุดประสงค์ที่สำคัญอีกประการคือระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ใช้กำจัดแมลงเหล่านี้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้

ตารางที่ 4.3 ระดับความเข้มข้นโอโซนที่นำไปกำจัดแมลงประเภทเพลี้ยไฟและไรแดง

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

#### 4.5 ทดลองปริมาณโอโซนที่ส่งผลกระทบต่อดอกกล้วยไม้และต้นกล้วยไม้

สำหรับการทดลองนำกล้วยไม้ตัดดอกและต้นกล้วยไม้สำหรับส่งออกไปรมโอโซนเพื่อศึกษาหาผลกระทบที่จะได้รับนั้นได้ทดลองกับกล้วยไม้ตัดดอกสายพันธุ์หวายและมอคคาร่า เนื่องจากสายพันธุ์เหล่านี้มีอัตราการส่งออกที่สร้างรายได้เป็นอันดับต้นๆของประเทศ จึงทำการทดลองกับโอโซนใน ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ได้ทดลองกับแมลงศัตรูพืชในกล้วยไม้ส่งโดยผลการทดลองแสดงดังตาราง



ตารางที่ 4. 5 ต้นกล้วยไม้ที่รับผลกระทบจากโอโซน

ความเข้มข้นของโอโซน (ppm)	ระยะเวลา (นาที)	สังเกตทันที		หลังการทดลอง 1 วัน		หลังการทดลอง 7 วัน	
		ลำต้น	ใบ	ลำต้น	ใบ	ลำต้น	ใบ
450-550	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
551-650	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
651-750	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
751-850	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ
851-950	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปานกลาง	รุนแรง
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปานกลาง	รุนแรง
950-1,000	30	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	รุนแรง	รุนแรง
	60	ปกติ	ปกติ	ปกติ	ปกติ	รุนแรง	รุนแรง

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับ 450 ถึง 650 ppm มีลักษณะของดอกกล้วยไม้ที่ปกติเมื่อเทียบกับกล้วยไม้ที่ไม่ผ่านการรมโอโซนทั้งจากการสังเกตที่ระยะเวลา หลังการทดลองเสร็จทันที หลังจากการทดลอง 1 วัน และ หลังจากการทดลอง 7 วัน ในระดับความเข้มข้นของโอโซนที่ระดับความเข้มข้นของโอโซน 650 ppm ขึ้นไปกล้วยไม้จะเริ่มได้รับความเสียหายเล็กน้อยถึงปานกลาง โดยความเสียหายที่ได้รับจะมีลักษณะ เหี่ยวเฉา เป็นจุดขาวๆ บริเวณดอก และที่ระดับความเข้มข้นโอโซน 851 ppm ที่ระยะเวลา 30 นาที ขึ้นไป กล้วยไม้จะได้รับความเสียหายที่



รุนแรง โดยสายพันธุ์หวายจะมีลักษณะซ้ำที่บริเวณดอกกล้วยไม้ ในส่วนของสายพันธุ์มอคคาร่าจะได้รับความเสียหายในลักษณะเป็นรอบซ้ำสีน้ำตาลที่บริเวณริมดอก แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 กล้วยไม้ที่ได้รับผลกระทบจากโอโซน

#### 4.6 การทดลองนำกล้วยไม้และเพลี้ยไฟมาทดลองในระบบใหญ่

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

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่

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

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองในการรมโอโซนในห้องขนาดใหญ่เพื่อหาอัตราการของแมลงศัตรูพืช

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

#### 4.7 สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับใช้กำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชที่อยู่ในกล้วยไม้ประเภท เพลี้ยไฟ และไรแดง ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้ระดับความเข้มข้นของโอโซนในช่วง 550 ถึง 650 ppm ใช้เวลาในการทำงานโดยรวมทั้งหมด 90 นาที โดยมีพารามิเตอร์ในการทำงานของระบบผลิตโอโซน ดังนี้ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดสำหรับผลิตโอโซนที่ 3,600 โวลต์ อัตราการไหลของอากาศบริสุทธิ์อยู่ที่ 60 ลิตร/นาที อัตราการไหลของออกซิเจนอยู่ที่ 5 ลิตร/นาที โดยใช้กำลังงานไฟฟ้า 2,647 วัตต์ อุณหภูมิภายในห้องทดลองควรอยู่ในช่วง 30 ถึง 32 องศาเซลเซียส และภายในระบบไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า แมลงศัตรูพืชมีอัตราการตายที่สูงขึ้นเมื่อได้เมื่อได้รับความเข้มข้นโอโซนในระดับที่สูงและใช้เวลาสำหรับกำจัดน้อยลงแต่เนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนในระดับสูงนั้นส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ ดังนั้นจึงหาปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในระดับที่เหมาะสมที่สามารถทำให้แมลงศัตรูพืชมีอัตราการตายสูงสุดและไม่ส่งผลกระทบต่อกล้วยไม้ และประหยัดกำลังงานไฟฟ้า เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

## บทที่ 5

### สรุปปัญหาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนความเข้มข้นสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมส่งออกกล้วยไม้ โดยการผลิตโอโซนใช้หลักการของปรากฏการณ์ไอออนในเซชัน โดยให้อากาศบริสุทธิ์หรือออกซิเจนเคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าจึงก่อให้เกิดโมเลกุลของออกซิเจนแตกตัวตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่ไม่เสถียร จากนั้นรวมตัวกันเป็นออกซิเจน 3 อะตอม หรือเรียกว่าโอโซน จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระดับพลังงานไฟฟ้าและรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน เพื่อให้สามารถนำมาใช้กับงานได้อย่างเหมาะสมนั้นได้เลือกใช้สนามไฟฟ้าแบบ DBD(Dielectric Barrier Discharge) เนื่องจากสามารถผลิตโอโซนได้ปริมาณความเข้มข้นสูงและที่สำคัญคือสามารถระบายความร้อนได้เพื่อป้องกันการเกิดเบรกดาวในสนามไฟฟ้าเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง รวมถึงศึกษาการออกแบบห้องสำหรับรมโอโซนเพื่อศึกษาการกระจายตัวของโอโซนภายในห้อง และจากการศึกษาเกี่ยวกับการนำโอโซนมากำจัดแมลงพบว่าโอโซนสามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชได้ โดยอัตราการตายนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซนและระยะเวลาที่รับ สำหรับการออกแบบสร้างระบบผลิตโอโซนให้เพียงพอในห้องที่เป็นระบบปิดขนาดใหญ่สำหรับการออกแบบเครื่องผลิตโอโซนเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด โดยการออกแบบเครื่องต้องสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายไปยังขั้วอิเล็กโทรดได้เพื่อใช้ควบคุมความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าที่ใช้สำหรับผลิตโอโซน ในส่วนถัดมาเป็นการควบคุมอัตราการไหลของอากาศและออกซิเจน เนื่องจากเป็นวัตถุประสงค์หลักของการนำไปผลิตโอโซน ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อการควบคุมปริมาณความเข้มข้นของโอโซน จากการทดลองพบว่าอัตราการตายของแมลงขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มข้นของโอโซนกับระยะเวลาที่ได้รับ ซึ่งความเข้มข้นของโอโซนที่สูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการกำจัดแมลงได้ แต่จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพกล้วยไม้ ดังนั้นการหาปริมาณความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของกล้วยไม้ส่งออก

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำจัดไอโซนออกจากห้องในระบบปิด เนื่องจากในปัจจุบันต้องใช้เวลาประมาณ 5 -10 นาที ในการกำจัดไอโซนออกจากห้อง ในส่วนถัดมาเป็นการจัดการกล้วยไม้และแมลงศัตรูพืชมาทดลองในปริมาณเยอะค่อนข้างจะจัดหาได้ลำบาก และวัสดุในห้องทดลองไม่ควรเป็นเหล็กเนื่องจากไอโซนสามารถทำให้เกิดสนิมได้ แต่สามารถแก้ปัญหาโดยการทาสีหรือแล็กเกอร์ จะสามารถป้องกันไม่ให้ไอโซนได้ทำลายวัสดุได้

## 5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

แนวทางการพัฒนาในอนาคตออกแบบระบบให้มีเครื่องผลิตออกซิเจนซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตไอโซนที่ติดตั้งในระบบเลย จะได้สามารถทำงานได้ครบครัน และออกแบบให้ระบบสามารถนำไปใช้ในโรงอบขนาดใหญ่เพื่อตอบสนองต่อการใช้ในอุตสาหกรรมกล้วยไม้ขนาดใหญ่และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชในสินค้าเกษตรกรชนิดอื่น ๆ ในการส่งออกได้

## รายการอ้างอิง

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

- Standard, A. A. (2013). Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.
- Weber, A., Moecke, E., Krebs de Souza, C., Ratto Reiter, M. G., Scussel, V., & Soares, C. (2018). Use of Ozone Gas as a Green Control Alternative to Beetles *Alphitobius diaperinus* (Panzer) Infestation in Aviary Bed Utilized in the Poultry Industry. *Chemical Engineering Transactions*, 64. doi:10.3303/CET1864099
- Zahar, I., Yuliani, Y., Yulianto, E., Meliza, M., Susan, A., Sumariyah, S., & Nur, M. (2018). Determination of ozone distribution in fish cold storage dedicated plasma ozone technology. *MATEC Web of Conferences*, 197, 02005. doi:10.1051/mateconf/201819702005
- แช่ตัน, ส. (2537). เทคนิคการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย.
- ธรรมอักษร, อ. (2550). การจำลองระบบระบายอากาศชนิดไหลในแนวตั้งอย่างสม่ำเสมอโดยเทคนิคคำนวณพลศาสตร์ของไหล.
- พุทธธนาศักดิ์, ป. (2552). การจำลองการไหลเวียน และการกระจายอุณหภูมิของอากาศภายในห้องสะอาดที่ใช้ ประกอบหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีคำนวณด้านพลศาสตร์ของไหล.



## บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

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





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

Kachaporn Lhathum\*, Supawat Kotchapradit, Thanaset Thosdeekoraphat\*, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa

School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

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

**Abstract** - In this paper, present analysis and design of microwave plasma for ozone generator system. The principle of magnetron tube to transfer microwave energy in waveguide type of cavity operated at 2.45 GHz. Then electrons move along electromagnetic fields incur plasma, then the oxygen is transferred through quartz tube and plasma incur ozone. The experiment for 10 minutes can create the ozone 24.5 (mg/m<sup>3</sup>) in area (100x100x100) cm<sup>3</sup> by use power 850 watt.

**Index Terms** — Microwave plasma, ozone, waveguide cavity.

## 1. Introduction

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

## 2. Theory and Methods experiment

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

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

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

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

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

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

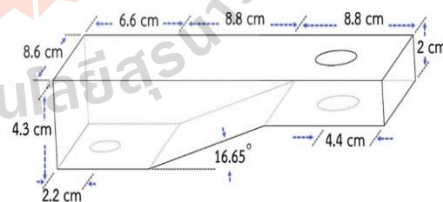


Fig. 1. Design wave guide cavity for generator Plasma For production ozone.

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

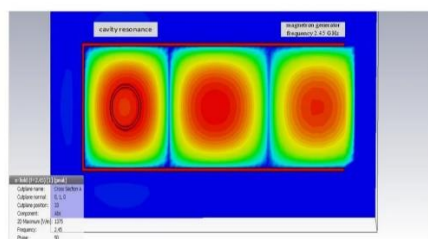


Fig. 2. Simulation waveguide cavity of the magnetic field.

### 3. Results

The experiment of an ozone generator system operating at high frequency by using microwave plasma. Then wave propagation through waveguide cavity to the resonance cavity oxygen flows through quartz tube, which is use 0.25 bar oxygen pump, will cause ozone with high volume and concentration. Then transfer ozone into closed system has a size (100x100x100) cm<sup>3</sup>. And measure the value of ozone is 24.5 (mg/m<sup>3</sup>) per 10 minutes, The results test show in Fig.4.

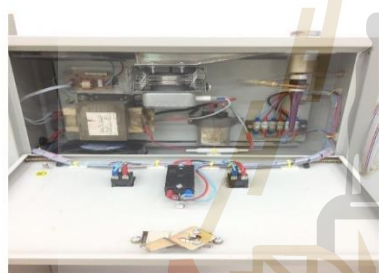


Fig. 3. System of generator ozone by using the 2.45 GHz microwave plasma



Fig. 4. Measure the value of ozone

Table I shows the experimental results. In time 10 minutes, we can have created ozone 24.5 (mg/m<sup>3</sup>) in closed sytem. And use power 850 watt. After the trial not have toxic residue.

TABLE I Shows the volume ozone, aphid death rate.

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

### 4. CONCLUSIONS

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

### Acknowledgment

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

### References

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

**คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องกำเนิดโอโซนกำลังสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชใน  
อุตสาหกรรมกล้วยไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออกและนำเข้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม  
และทดแทนการใช้สารเคมี**

**คุณสมบัติเฉพาะ**

**คุณลักษณะทั่วไป**

- ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 3.5 กิโลวัตต์
- สามารถผลิตโอโซนได้สูงสุดที่ 400 กรัม/ชั่วโมง
- สามารถทำงานได้ต่อเนื่องมากกว่า 8 ชั่วโมง
- สามารถกำจัดแมลงศัตรูพืชในสินค้าทางการเกษตรโดยไม่ทิ้งสารเคมีตกค้าง

**ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ**

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 30 แอมป์
- มีชุดควบคุมอัตราการผลิตความเข้มข้นของโอโซน
- มีชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด
- มีจอแสดงผลสำหรับตั้งค่าการทำงานมีการแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าในขณะที่เครื่องทำงาน
- มีการแสดงผลกำลังงานไฟฟ้าในขณะที่เครื่องทำงาน

**ความปลอดภัยของระบบ**

- สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วจากตัวเครื่อง
- สามารถป้องกันคลื่นสนามไฟฟ้าด้วยโครงสร้างของตัวเครื่องที่เป็นสแตนเลส
- ตัวเครื่องออกแบบให้ระบบเชื่อมต่อไฟฟ้าสามารถใช้ระบบสายดินเดียวกับสิ่งปลูกสร้างได้

## ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสกฐ์ ทศศิกรพัฒน์  
(ภาษาอังกฤษ) Asst. Prof. Dr. Thanaset Thosdeekoraphat

### การศึกษา/คุณวุฒิ:

- ปริญญาเอก : วศ.ด. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2556  
ปริญญาโท : วศ.ม. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2552  
ปริญญาตรี : วศ.บ. (วิศวกรรมโทรคมนาคม) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, พ.ศ. 2549

### ตำแหน่งปัจจุบัน:

หัวหน้าสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (Chair, School of Electronics Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (Asst. Prof., School of Electronics Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand)

### ประวัติการทำงาน:

- ปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 2558 – ปัจจุบัน Reviewers of ECTI Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications (EEC)
- 2558 – ปัจจุบัน Reviewers of Suranaree Journal of Science and Technology (Suranaree J. Sci. Technol.: SJST)

- 2557 – ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 2557 – ปัจจุบัน อาจารย์ที่ปรึกษากิจการรมนักศึกษา (ชมรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์)
- 2557 – ปัจจุบัน Reviewers of Nakhon Ratchasima Rajabhat University (NRRU) Community Research Journal
- 2556 – ปัจจุบัน Reviewers of International Journal of Antennas and Propagation (IJAP)
- 2555 – ปัจจุบัน Reviewers of Journal of Industrial Technology Ubon-Ratchathani Rajabhat University
- 2555 – ปัจจุบัน Reviewers of IEEE International Conferences
- 2555 – 2557 อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 2556 Organizing Committee, Local Arrangement Chairs of Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2014)
- 2556 Panel chair, Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON 2014)
- 2551 – 2554 อาจารย์พิเศษ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ (ในพระบรมราชูปถัมภ์)
- 2551 – 2553 อาจารย์พิเศษ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
- 2549 – 2552 อาจารย์พิเศษ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

**สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ**

Hyperthermia, RF & Microwave circuit design, Microwave heating, Microwave plasma, Dielectric heating, Active antenna, Induction heating, Antenna, Ultrasonic application, Ultra-wideband technology

### **ความรู้พิเศษและความชำนาญเชิงปฏิบัติการและการประยุกต์ใช้**

- การออกแบบวงจรมอดูเลชันความถี่วิทยุและไมโครเวฟสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ
- การออกแบบระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกให้เหมาะสมกับวัสดุไดอิเล็กทริกชนิดต่างๆ เพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตรและทางการแพทย์
- การออกแบบวงจรถูกให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นโลหะเพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตรและทางการแพทย์
- การออกแบบระบบแหล่งกำเนิดความร้อนโดยใช้พลาสมาความถี่สูง

### **รางวัลที่ได้รับ**

บทความตีพิมพ์จากสมาคมนักวิชาการไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ คอมพิวเตอร์ โทรคมนาคมและสารสนเทศ แห่งประเทศไทย (หัวข้อเรื่อง: Development and Design of Mobile Jammer System) ในงานการประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์

### **โครงการวิจัย**

- 1) **หัวข้อโครงการวิจัย**  
**เรื่อง:** การออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณไซน์โหมดกระแสโดยใช้อุปกรณ์แอกทีฟสมัยใหม่  
**แหล่งทุน:** ทุนวิจัยเพื่อรับสิทธิบัตรหรือตีพิมพ์ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)
- 2) **หัวข้อโครงการวิจัย**  
**เรื่อง:** การสังเคราะห์และออกแบบวงจรถูกความถี่หลายหน้าที่โหมดกระแสที่ควบคุมด้วยวิธีอิเล็กทรอนิกส์  
**แหล่งทุน:** ทุนวิจัยเพื่อรับสิทธิบัตรหรือตีพิมพ์ผลงานในวารสารระดับนานาชาติ (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)
- 3) **หัวข้อโครงการวิจัย**  
**เรื่อง:** ศึกษาและออกแบบการเหนี่ยวนำความร้อนเพื่อประยุกต์ใช้ในระบบไฟโรไลซิสสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันจากยางรถยนต์เก่า  
**แหล่งทุน:** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

- 4) **หัวหน้าโครงการวิจัย**  
เรื่อง: การวิเคราะห์และออกแบบระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟสำหรับการบำบัดรักษามะเร็ง  
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 5) **หัวหน้าโครงการวิจัย**  
เรื่อง: การวิเคราะห์และออกแบบสร้างเครื่องอบย่างพาราโดยใช้พลังงานคลื่นความถี่สูงร่วมกับหลักการอบด้วยลมร้อน  
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 6) **ผู้ร่วมโครงการวิจัย**  
เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวกับโรงสีข้าวขนาดใหญ่และขนาดชุมชน  
แหล่งทุน: ทุนอุดหนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผ่าน สวก.
- 7) **ผู้ร่วมโครงการวิจัย**  
เรื่อง: เครื่องฆ่ามอดมะขามด้วยคลื่นความถี่วิทยุ  
แหล่งทุน: ทุนอุดหนุนการวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ผ่าน สวก.
- 8) **ผู้ร่วมโครงการวิจัย**  
เรื่อง: ระบบป้อนแบบใหม่โดยใช้เทคนิคช่องว่างแถบแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสายอากาศแถวลำดับไมโครสตริบแบบแพทช์  
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 9) **ผู้ร่วมโครงการวิจัย**  
เรื่อง: การออกแบบและสร้างสายอากาศสำหรับตรวจหาตำแหน่งน้ำยางของต้นยางพารา  
แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
- 10) **ผู้ร่วมโครงการวิจัย**  
เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยใช้ตัวปล่อยคลื่นขนาดใหญ่สำหรับอุตสาหกรรมการเก็บรักษาข้าว  
แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2561 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 11) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สดสำหรับอุตสาหกรรมทางเกษตรและส่งออกผลไม้สดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 12) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดมะขามหวานและผลไม้แห้งสำหรับกลุ่มเกษตรกรและภาคอุตสาหกรรมการส่งออกมะขามหวานและผลไม้แห้งด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 13) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดในเมล็ดธัญพืชสำหรับเกษตรกรและอุตสาหกรรม การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์รวมถึงการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อทดแทนการใช้สารเคมี

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 14) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การออกแบบสร้างเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจรโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลกของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืน

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 15) หัวหน้าโครงการวิจัย

เรื่อง: ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดแมลงและศัตรูพืชจำพวกไม้น้ำสำหรับเกษตรกรและอุตสาหกรรมการเพาะปลูกพืชน้ำเพื่อการส่งออกโดยไม่ใช้สารเคมี

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)

## 16) หัวหน้าโครงการวิจัย

เรื่อง: การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดโอโซนกำลังสูงสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชในอุตสาหกรรมกล้วยไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออกและนำเข้าที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและทดแทนการใช้สารเคมี

แหล่งทุน: ทุนงบประมาณแผ่นดินประจำปี 2562 (งบบูรณาการวิจัยและนวัตกรรม)



## 17) หัวหน้าโครงการวิจัย

เรื่อง: การศึกษาและออกแบบระบบกำจัดเห็บโคโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

แหล่งทุน: โครงการยกระดับงานวิจัยเพื่ออนาคตสู่ภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปี 2563 (Forthcoming Research Initiative)

## 18) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การออกแบบสร้างตัวตรวจรู้ภาวะขาดน้ำจากปริมาณแร่ธาตุในเหงื่อเพื่อประยุกต์ใช้งานบนอุปกรณ์สวมใส่สำหรับนักกีฬา

แหล่งทุน: โครงการยกระดับงานวิจัยเพื่ออนาคตสู่ภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปี 2563 (Forthcoming Research Initiative)

## 19) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: ผลกระทบของคลื่นเสียงความถี่สูงต่อการชะลอความสุกของมะม่วงและผลไม้สดสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการยืดอายุการเก็บรักษาเพื่อการส่งออก

แหล่งทุน: โครงการยกระดับงานวิจัยเพื่ออนาคตสู่ภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปี 2563 (Forthcoming Research Initiative)

## 20) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: ผลกระทบของคลื่นความถี่วิทยุต่อการปรับปรุงข้าวแข็งให้เป็นข้าวนุ่มเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมข้าวไทย

แหล่งทุน: โครงการยกระดับงานวิจัยเพื่ออนาคตสู่ภาคอุตสาหกรรม เทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีประจำปี 2563 (Forthcoming Research Initiative)

## 21) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การควบคุมแมลงศัตรูข้าวเปลือกและวิเคราะห์คุณภาพในการผลิตเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อการผลิตข้าวอินทรีย์แปลงใหญ่

แหล่งทุน: สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร สวก.

## 22) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การพัฒนาต่อยอดระบบตัดสัญญาณควบคุมอากาศยานไร้คนขับกำลังงานสูง พร้อมแจ้งเตือนผ่านระบบสื่อสารไร้สายสำหรับป้องกันภัยคุกคามระยะไกลเพื่อความมั่นคงของกองทัพ

แหล่งทุน: สำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม

## 23) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การพัฒนาเครื่องลดความชื้นข้าวแบบไฮบริดจ์ประสิทธิภาพสูงโดยอาศัยการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ คลื่นไมโครเวฟ และการเหนี่ยวนำความร้อน

แหล่งทุน: สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร สวก.

## 24) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การพัฒนาสร้างเครื่องกำจัดเชื้อไวรัสและกรองอากาศด้วยระบบโคโรนาดีสชาร์จ สำหรับติดตั้งใช้งานในโรงพยาบาลสูงเนิน จังหวัดนครราชสีมา

แหล่งทุน: บริษัทซีเกท เทคโนโลยีประเทศไทย จำกัด

## 25) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: สร้างเครื่องกำจัดมอดและไข่มอดข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุเพื่อส่งเสริมวิสาหกิจชุมชนอย่างยั่งยืน

แหล่งทุน: สำนักงานอุทยานวิทยาศาสตร์และนวัตกรรม เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## 26) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การพัฒนากระบวนการและผลิตภัณฑ์ข้าวสารบรรจุถุงปราศจากมอดโดยไม่ใช้สารเคมี

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปี 2563

## 27) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

เรื่อง: การออกแบบและสร้างเครื่องป้องกันเพรียงโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงสำหรับแบร็งรับเพลลาเรือ

แหล่งทุน: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปี 2563

## 28) หัวหน้าโครงการวิจัย

**เรื่อง:** การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่ไมโครเวฟสำหรับการบำบัดรักษามะเร็งโดยแบบจำลองเต้านมเสมือนจริง

**แหล่งทุน:** ทุนวิจัยเพื่อรับสิทธิบัตรหรือตีพิมพ์ผลงานในวารสารระดับนานาชาติประจำปี 2563 (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

## 29) หัวหน้าโครงการวิจัย

**เรื่อง:** การออกแบบสร้างระบบกำจัดวงจรชีวิตยูงในแหล่งน้ำชุมชนด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง

**แหล่งทุน:** สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปี 2563 (การแพทย์และสาธารณสุข)

## 30) หัวหน้าโครงการวิจัย

**เรื่อง:** ออกแบบสร้างนวัตกรรมระบบกำจัดขยะติดเชื้อโดยใช้เทคโนโลยีพลาสมาความถี่สูงกำลังสูงสำหรับพื้นที่เสี่ยงต่อการแพร่ระบาดของเชื้อโรค

**แหล่งทุน:** กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กสว.) : โครงการ Flagship ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563

ผลงานทางวิชาการ / ผลงานวิจัย:

บทความในวารสารระดับชาติ / นานาชาติ

- T. Thosdeekoraphat, S. Summart, C. Saetiaiw, S. Santalunai and C. Thongsopa, "Resistor-less Current-mode Universal Biquadratic Filter Using CCTAs and Grounded Capacitors, World Academy of Science, Engineering and Technology vol. 69, 2012, pp. 559-563.
- T. Thosdeekoraphat, S. Summart, C. Saetiaiw, S. Santalunai, and C. Thongsopa, (2013) "CCTAs based Current-mode Quadrature Oscillator with High Output Impedances," International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 1, No. 1, March 2013, pp. 52-56.
- J. Monthasuwan, T. Thosdeekoraphat, C. Thongsopa, (2013) "Design of curved patch array antenna for small missile application, Applied Mechanics and Materials," vol. 378, pp. 487-491.

- Kongsak Ratniyomchai, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, and Chanchai Thongsopa, Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect, Trans Tech Publications, Applied Mechanics & Materials, Vol. 343, July 2013, pp. 101-105.
- Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, and Chanchai Thongsopa Thermal Analysis of Inductive Coils Array against Cylindrical Material, Steel for Induction Heating Applications, Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials, Vol. 330, June 2013, pp. 754-759.
- **Thanaset Thosdeekoraphat** Saksit Summart, Chanchai Thongsopa, Current-mode Sinusoidal Quadrature Oscillator Using Single Dual-output Current Controlled Current Conveyor Transconductance Amplifier (DO-CCCCTA), Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 7 No. 8, June 2013, pp. 230-236.
- **Thanaset Thosdeekoraphat** and Chanchai Thongsopa, The Optimization of Non-invasive Focused Deep Hyperthermia Inductive Heating for Breast Cancer Treatment by Using Nanoparticles and Magnetic Shielding System, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 7 No. 8, June 2013, pp. 757-766.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Samran Santalunai, and Chanchai Thongsopa, "Improved the Performance of Focusing Deep Hyperthermia Inductive Heating for Breast Cancer Treatment by Using Ferro-fluid with Magnetic Shielding System," Trans Tech Publications, Applied Mechanics and Materials, Vols. 325-326, June 2013, pp. 353-358.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Saksit Summart and Chanchai Thongsopa, "A Simple Current-mode Sinusoidal Quadrature Oscillators Using Single DO-CDTA Based-on all-pass Filter," Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 7(14), pp. 120-127, December 2013.
- Chanchai Thongsopa and **Thanaset Thosdeekoraphat**, "Analysis and Design of Magnetic Shielding System for Breast Cancer Treatment with Hyperthermia Inductive Heating," International Journal of Antennas and Propagation, Vol. 2013 (Electromagnetics in Biomedical Applications), September 2013
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, Prapol Jarataku, Samran Santalunai, "The Optimization of U-shaped Cross Section Antenna with a Strip on a U-shaped Ground Plane for WLAN Applications," International Journal of Information Engineering, Vol. 3, Iss. 4, pp. 113-121, December 2013.

- Monthasuwan, J, **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C., Design of Curved Patch Array Antenna for Small Missile Application, Applied Mechanics and Materials, 378, pp: 478-491, 2013
- **T. Thosdeekoraphat**, S. Summart, C. Thongsopa, “ A Simple Current- Mode Sinusoidal Quadrature Oscillators Using Single DO-CDTA Based-on All-pass Filter. Australian Journal of Basic & Applied Sciences 8(12), 233-242. 2013
- Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2014). Optimization of Electric Field Distribution on Capacitor Copper Plate by Increasing Input Power Ports for Dielectric Heating Applications, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 8(7), PP. 58-65.
- Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.**, Thongsopa, C. (2014). “The Effect of Electric Field Distributions on Grains and Insect for Dielectric Heating Applications.” World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 8 no 7 pp. 667-673.
- S. Summart, C. Saetiaw, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa. "First Order Filter Based Current- mode Sinusoidal Oscillators Using Current Differencing Transconductance Amplifiers (CDTAs)", World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 8 no 7 pp. 977-981.
- Wasusathien, W., Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.**, Thongsopa, C. (2014) “Ultra Wideband Breast Cancer Detection by Using SAR for Indication the Tumor Location.”, World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 8 no 7 pp. 376-380.
- Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa, and **Thanaset Thosdeekoraphat**, (2016) “The Effect of Electric Field Distributions on Mixture Dielectric Loads by Using Electrode Plate for Pests Controls in Agriculture,” International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 4, No. 4, August 2016.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, Samran Santalunai, and Saksit Summart, (2016) “The Magnetic Field Controlling of Focusing Inductive Heating for Breast Cancer Treatment by Using Nanoparticles in Conjunction with Magnetic Shielding System,” International Journal of Electronics and Electrical Engineering Vol. 4, No. 4, August 2016.
- **Thosdeekoraphat, T.**, Thongsopa, C. Summart, S. and Saetiaw, C. (2016). “Second order current- mode Quadrature Oscillators Using OTAs,” PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY (Electrical Review), ISSN 0033-2097, R. 92 NR 2/2016, pp. 156-160.

- Phatsagul Thitimahatthanagusol, Charinsak Saetiaw, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, and Saksit Summart. (2017), “CCCLs-Based First-Order All-Pass Filter and Quadrature Oscillators,” Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 26, No. 6, pp. 1750094-1-1750094-18.
- S. KOTCHAPRADIT, C. THONGSOPA, **T. THOSDEEKORAPHAT**. (2019), “Analysis and Design of Microwave Dielectric Heating with Curved Plate Applicator for Deep Hyperthermia in Breast Cancer,” RADIOENGINEERING, VOL. 28, NO. 4, DECEMBER 2019, pp. 703-713.
- MONTREE BUAPHUEAN, SAMRAN SANTALUNAI, **THANASET THOSDEEKORAPHAT**, CHANCHAI THONGSOPA, NUCHANART FHAFHIEM (2019) DUAL-BAND AND HIGH GAIN U-SHAPED ANTENNA FOR JAMMING THE UNPRECEDENTED UAV. International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, Volume-7, Issue-9, PP.16-19
- Worawut Boonpeang, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa (2020), A new Modeling of IGBT and Freewheeling Diode based on Electric Behavioral with Independently of Time Condition, PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY. Vol 2020, Nr 8, PP. 10-16
- มาโนทย์ มาปะโท, **ธนเสฏฐ์ ทศดิกรพัฒน์**, “การตรวจจับอุณหภูมิผิวหนัง สำหรับคัดกรอง COVID-19”, วิศวกรรมสาร ปีที่ 73 ฉบับที่ 2/2563, หน้า 12-21

#### บทความในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- Sivilai Thanormsuay, **Thanaset Thosdeekoraphat** and Chanchai Thongsopa, (2008) “Array of Quasi-Rhomboid Antenna for Ultra Wideband Applications,” ECTI-CON, Krabi, Thailand, pp. 293-296.
- Thanormsuay Sivilai, **Thanaset Thosdeekoraphat** and Thongsopa Chanchai, (2008) “Impulse Signal Mathematical Analysis and Quasi-Rhomboid Antenna Design for Ultra Wideband Communication Systems,” EUROEM 2008, European Electromagnetics, Lausanne, Switzerland, pp.285.
- Chanchai Thongsopa and **Thanaset Thosdeekoraphat**, (2009) “Array of Quasi Rhomboid Shaped Element Bowtie Antenna with Reflector for Ultra Wideband Applications,” ISAP 2009, Bangkok, THAILAND, pp.289-292.
- **T. Thanaset** and T. Chanchai, (2011) “Design of an UWB Quasi Rhomboid Shaped Element Bowtie Antenna for MIMO Applications,” WCE 2011, IAENG, South Kensington campus, Imperial College London, U.K (Online).

- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Montree Chinanupakorn and Chanchai Thongsopa, (2011) “Design of Magnetic Shielding System for Cancer Treatment with Hyperthermia Inductive Heating,” ISAP 2011, Lotte Hotel Jeju, Korea.
- Montree Chinanupakorn, **Thanaset Thosdeekoraphat** and Chanchai Thongsopa, (2011) “Dual Band Quasi- Rhomboid Antenna for Bio- medical Monitoring Applications,” ISAP 2011, Lotte Hotel Jeju, Korea.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2012) “Development of Magnetic Shielding System for Breast Hyperthermia Inductive Heating,” IEEE Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2012), Hard Rock Hotel, Resorts World™ Sentosa, Singapore, 21-24 May 2012, pp.465-468.
- Sumran Santalunai, Apichart Intarapanich, Saksit Summart, **Thanaset Thosdeekoraphat**, and Chanchai Thongsopa, (2012) “Wireless Power Transfer Efficiency of Flat and Conical Spiral Coil,” International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, July 15-18, pp.1-2.
- **T. Thosdeekoraphat**, S. Summart, C. Saetiauw, S. Santalunai and C. Thongsopa, (2012) “Resistor-less Current-mode Universal Biquadratic Filter Using CCTAs and Grounded Capacitors,” International Conference on Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering (ICECECE 2012) River View Hotel, Singapore, September 12-13, pp.559-563.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Samran Santalunai, and Chanchai Thongsopa, (2013) “Improved the Performance of Focusing Deep Hyperthermia Inductive Heating for Breast Cancer Treatment by Using Ferro-fluid with Magnetic Shielding System,” International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2013), Vancouver, Canada, April 13-14, pp.353-358.
- Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, and Chanchai Thongsopa, (2013) “Thermal Analysis of Inductive Coils Array against Cylindrical Material Steel for Induction Heating Applications,” International Conference on Manufacturing Engineering and Process (ICMEP 2013), Vancouver, Canada, April 13-14, pp.754-759.
- **T. Thosdeekoraphat**, S. Summart, C. Saetiauw, S. Santalunai and C. Thongsopa, (2013) “CCTAs based Current-mode Quadrature Oscillator with High Output Impedances,” International Conference on Solid-State and Integrated Circuit (ICSIC 2013), Vancouver, Canada, April 13-14, pp.52-56.

- Tapakorn Roopngam, **Thanaset Thosdeekoraphat** and Chanchai Thongsopa, “ Design of Wireless Power Transfer Inductive Coil for Rechargeable Battery Implanted Medical Devices,” Thailand-Japan Microwave Conference (TJMW2013), December 2-4, 2013, Thailand, pp.1-4.
- Wittawat Wasusathien, **Thanaset Thosdeekoraphat**, and Chanchai Thongsopa, “ A Simple UWB Monocycle Pulse Generator Using CR-RC Differentiator and Integrator Circuit,” Thailand-Japan Microwave Conference (TJMW2013), December 2-4, 2013, Thailand, pp.1-4.
- Santalunai, S., Thongsopa, C., and **Thosdeekoraphat, T.** “An Increasing the Power Transmission Efficiency of Flat Spiral Coils by Using Ferrite Materials for Wireless Power Transfer Applications” Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Nakhonratchasima, Thailand. 2014, pp.1-4.
- Santalunai, S., Ratniyomchai, K., **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2014). “Design of dielectric heating for kills rice weevils” Science at the 4th International Rice Congress, (IRC2014), 27-31 October, 2014, Bangkok, Thailand, pp.1-4.
- Wittawat Wasusathien, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa. (2014). “ Ultra Wideband Breast Cancer Detection by Using SAR for Indication the Tumor Location,” International Conference on Mobile Communications, Networking and Applications, Prague, Czech Republic, July 10 – 11, pp.398-402.
- S. Summart, C. Saetiaw, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa. (2014). “First Order Filter Based Current-Mode Sinusoidal Oscillators Using Current Differencing Trans conductance Amplifiers (CDTAs),” International Conference on Military Electronics Systems Engineering, Prague, Czech Republic, July 10 – 11, pp.926-930.
- S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa. (2014). “The Effect of Electric Field Distributions on Grains and Insect for Dielectric Heating Applications,” International Conference on Biotechnology, Agriculture, Environment and Energy, Prague, Czech Republic, July 10 – 11, pp.723-729.
- Santalunai, S., Thongsopa, C., and **Thosdeekoraphat, T.** (2015). “The Efficiency of Dielectric Heating by Increasing the Electric Power Ports in Symmetrically model on Electrode Plate for Pest Control” Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua-Hin, Thailand, June 24 – 27, pp.1-4.



- Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2015). "The Effect of Electric Field Distributions on Mixture Dielectric Loads by Using Electrode Plate for Pests Controls in Agriculture," International Conference on Electronics, Mechatronics and Automation (ICEMA), Toronto, Canada, August, 17-18, pp.126-130.
- **Thosdeekoraphat, T.**, Thongsopa, C., Santalunai, S., and Summart, S., (2015). "The Magnetic Field Controlling of Focusing Inductive Heating for Hyperthermia Breast Cancer Treatment by Using Ferro-fluid Nanoparticles in Conjunction with Magnetic Shielding System," International Conference on Electronics, Mechatronics and Automation (ICEMA), Toronto, Canada, August, 17-18, pp.296-300.
- **Thosdeekoraphat, T.**, Thongsopa, C., Boonpeang, W., Kochapradit, S., Saetiaiw, C., and Summart, S. (2016). "A Current-Mode Sinusoidal Quadrature Oscillator Using Single CCCFTA," the 10th SEATUC Symposium, SIT, Tokyo, February 22-24, pp.1-4.
- Kochapradit, S. , Boonpeang, W. , Srisuma, C. , Kuntayom, P. , Krajaipote, K. , **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2016). "Design of a Quasi-Rhomboid Shaped Antenna with Cylindrical Parabolic Reflector for Ultra Wideband Communications," the 10th SEATUC Symposium, SIT, Tokyo, February 22-24, pp.1-4.
- Srisuma, C. , Krajaipote, K. , Boonpeang, W. , Kuntayom, P. , Kochapradit, S. , Santalunai, S. , **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2016). "The Radio Frequency Heating to Eliminate Microorganisms in Wine Packaged in Glass Jars Sealed," the 10th SEATUC Symposium, SIT, Tokyo, February 22-24, pp.1-4.
- Krajaipote, K. , Boonpeang, W. , Srisuma, C. , Kuntayom, P. , Kochapradit, S. , **Thosdeekoraphat, T.**, Santalunai, S., and Thongsopa, C. (2016). "Study and Analysis of the Different Microwave Drying Power Effects on the Microstructure of Air Dried Sheet (ADS) Rubber," the 10th SEATUC Symposium, SIT, Tokyo, February 22-24, pp.1-4.
- Boonpeang, W., Krajaipote, K., Srisuma, C., Kuntayom, P., Kochapradit, S., Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2016). "Mathematical Modeling of Pixel Identification Base on Thermal Imaging for Real Time Dead Animal Detection," the 10th SEATUC Symposium, SIT, Tokyo, February 22-24, pp.1-4.
- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Kachaporn Lhathum, Metharak Jokpudsa, Chanchai Thongsopa. (2017). "Analysis and Design of Induction Heating to Apply for Pyrolysis System in The Oil Production from Waste Tires," the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.

- Chanon Srisuma, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2017), “THE ANALYSIS AND DESIGN OF MILK PASTEURIZATION BY USING RADIO FREQUENCY HEATING,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-6.
- Warangcana Jantamongcol, Supawat Kochapradit, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa, (2017), “Analysis and Design of Modifying Atmospheric Conditions by Using Ionization Technology,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-6.
- Nuttakorn Pukseesang, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Samran Santalunai, Worawut Boonpeang, Chanchai Thongsopa, (2017), “ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF THE SUITABLE POWER TO MAGNETOSTRICTIVE FOR REDUCE OVERHEAT GENERATED BY THE OPERATION OF THE TRANSDUCER IN A LONG TIME,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.
- Phanupong Seaung, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Samran Santalunai, Chanchai Thongsopa, (2017), “ANALYSIS OF MAGNETIC INDUCTION HEATING BY USING IRON-OXIDE NANOPARTICLES WITHIN THE INSECT BODY FOR INSECT PEST CONTROL IN AGRICULTURE,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.
- Poramin Kuntayom, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2017), “THE ANALYSIS OF ELECTRIC FIELD DISTRIBUTION ON DIELECTRIC LOAD BY USING LARGE ELECTRODE PLATES FOR TOBACCO TREATMENT WITH DIELECTRIC HEATING,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.
- Metharak Jokpudsa, Phakawan Thasangka, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Sawarin Champanoi, Kachaporn Lhathum, and Chanchai Thongsopa, (2017), “STUDY AND DESIGN OF SYSTEM TO SEPARATION SLUDGES OIL CONTAMINATED FROM OLD DRILL HOLES BY USING THE ELECTROLYSIS,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-6.
- Natthapon Poopraditmetakul, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2017), “NITROGEN FIXATION BY PULSED HIGH VOLTAGE DISCHARGE IN STEAM,” the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.

- **Thanaset Thosdeekoraphat**, Kompisit Krajaipote, Chanchai Thongsopa, (2017), "ANALYSIS AND DESIGN OF HIGH FREQUENCY DIELECTRIC HEATING SYSTEM FOR HYPERTHERMIA CANCER TREATMENT," the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.
- Kompisit Krajaipote, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2017), "STUDY AND ANALYSIS OF THE DIFFERENCE HEATING APPLICATOR FOR DEHUMIDIFICATION THE RUBBER SHEET," the 11th SEATUC Symposium, Ho Chi Minh city University of Technology, Vietnam, March 13-14, pp.1-5.
- Chanon Srisuma, Samran Santalunai, **Thanaset Thosdeekoraphat**, Chanchai Thongsopa, (2017) "The Analysis and Design of Milk Pasteurization System by Using Radio Frequency Electric Fields," IEEE Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2017), Yonsei University, Seoul, Korea, 20-23 June 2017, pp.158-160.
- S. Kotchapradit, **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai, and C. Thongsopa. "Numerical Method of Microwave Heating to Modified for Lifting Condensation Level of Clouds Formation," Proceedings of the World Congress on Engineering, WCE 2017, IAENG, South Kensington campus, Imperial College London, July 5-7, 2017, (Online).
- Thanaset Thosdeekoraphat, Samran Santalunai, Kompisit Krajaipote, Chanchai Thongsopa (2017) "The Analysis of High Frequency Plate Applicator for Deep Hyperthermia Cancer Treatment by Using Dielectric Heating," IEEE Radio and Antenna Days of the Indian Ocean (IEEE RADIO 2017), Protea Hotel by Marriott Cape Town Sea Point, South Africa, 25 - 28 September 2017, pp.1-2.
- J. Srituvanont, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa and S. Santalunai, "Experiment of induction heating application for heating multilayer metallic hollow altered cylinder," *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Singapore, 2018, pp. 475-478.
- N. Pukseesang, S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat** and C. Thongsopa, "Experiment and optimization of magnetostrictive for long time operation to find amplitude of vibration and thermal limit," *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Singapore, 2018, pp. 129-133.
- P. Saeung, S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat** and C. Thongsopa, "Improved efficiency of insect pest control system by SSPA," *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Singapore, 2018, pp. 179-183.

- S. Kotchaprakit, **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai and C. Thongsopa, "Analysis of microwave precipitation in the topographic barrier for the lifting condensation level of clouds formation," *2018 5th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, Singapore, 2018, pp. 174-178.
- C. Thongsopa, S. Kotchaprakit, S. Santalunai and **T. Thosdeekoraphat**, "Breast Cancer Detection by Using Microwave Ultra- Wideband Antenna," *251ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE, ENGINEERING & TECHNOLOGY - ICSET*, Sydney, 2018, oo.1-4.
- S. Kotchaprakit, **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai and C. Thongsopa, " Analysis of High Frequency Curved Plate Applicator for Deep Hyperthermia in Breast Cancer Treatment by Using Dielectric Heating," *2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Busan, 2018, pp.1-2.
- K. Lhathum, S. Kotchaprakit, **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai and C. Thongsopa, " Analysis and Design of Microwave Plasma for Ozone Generator System by Using Magnetron Tube," *2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Busan, 2018, pp.1-2.
- A. Rattananamlom, S. Kotchaprakit, S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat**, P. Moungnoul and C. Thongsopa, " Design of High Power Transmission Line Transformer for RF Heating Generator," *2018 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP)*, Busan, 2018, pp.1-2.
- S. Kotchaprakit, **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai and C. Thongsopa, " Improvement of Electric Field Focusing for Deep Hyperthermia in Breast Cancer Treatment by Using Microwave Dielectric Heating with Curved Plate Applicator," *2018 Asia-Pacific Microwave Conference Proceedings (APMC)*, Kyoto, 2018, pp. 1474-1476.
- M. Jokpudsa, S. Kotchaprakit, C. Thongsopa, **T. Thosdeekoraphat**, " Analysis of High-Frequency C-Core Magnetic Flux Leakages for Bone Tumor with Induction Heating by Using Multi-Coil or," *17Th International Conference on Microwave and High Frequency Heating (AMPERE 2019)*, Valencia, Spain, September 9-12, 2019, pp.112-119.
- S. Korsing, S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat**, and C. Thongsopa, "Dielectric Property Measurement of Freshwater Fishes and Parasite Affecting Infection *Opisthorchis Viverrini* for Dielectric Heating Application," in *2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*, 2020, pp. 439-442.

- A. Phona, S. Kotchpradit, C. Thongsopa, and **T. Thosdeekoraphat**, "Design of Postharvest Control System for Pest in Grain Storage with High Frequency," in 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2020, pp. 770-773.
- P. Thasangkha, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa, and S. Kotchpradit, "Exterminate Borer Worm by High-Frequency Electromagnetic Wave," in 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2020, pp. 662-666.
- W. Wasusathien, S. Santalunai, **T. Thosdeekoraphat**, and C. Thongsopa, "Rice Types Classification by Using Dielectric Properties Measurement with Saline Water Increasing Technique," in 2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM), 2020, pp. 433-438.
- K. Tanthai, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa and S. Santalunai, "Design a High-Frequency Sound Wave Receiving and Transmission System Mimicking Real Signals from The Source by an Ultrasonic Transduced," in 2021 The 15th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC), Indonesia, Feb. 2021.
- W. Bunpradit, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa and S. Santalunai, "High Frequency Plasma Generator for Electronic Waste Disposal," in 2021 The 15th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC), Indonesia, Feb. 2021.
- W. Pongtham, **T. Thosdeekoraphat**, C. Thongsopa and S. Santalunai, "Modification of Time Attendance Devices to Use as IOT Using Raspberry Pi 4 Board," in 2021 The 15th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC), Indonesia, Feb. 2021.
- K. Banlusilp, **T. Thosdeekoraphat**, M. Mapato and C. Thongsopa, "Improved the Focality of Transcranial Magnetic Stimulation with Magnetic Resonant Coupling Coil," in 2021 The 15th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC), Indonesia, Feb. 2021.

### บทความในการประชุมวิชาการระดับชาติ

- **T. Thanaset** and C. Thongsopa, (2007) “Quasi-Rhomboid Antenna for Ultra Wideband Wireless Communication System,” EE-CON 30th, Felix River Kwai Resort, Kanchanaburi, Thailand.
  - C. Thongsopa and **T. Thanaset**, (2009) “Development of Monocycle Pulse Generator Circuit for Ultra Wideband Applications,” EE-CON 32th, Tawa Ravadee Resort, Prachinburi, Thailand, pp.1-4.
  - C. Thongsopa and **T. Thanaset**, (2011) “Development and Design of Mobile Jammer Systems,” ECTI-CARD 2011, Bangkok, THAILAND, (*Best Paper award*), pp.1-6.
  - Montree Chinanupakorn, **Thanaset Thosdeekoraphat** and Chanchai Thongsopa, (2011) “Design of Dual Band Quasi-Rhomboid Antenna for Human On-body Applications,” EE-CON 34th, Ambassador City Jomtien, Chonburi, Thailand, pp.1-4.
  - **T. Thosdeekoraphat**, S. Santalunai and C. Thongsopa, “Design of High-Power Low Pass Filter for FM Frequency range of 88 - 108 MHz,” ECTI-CARD 2012, Pathum Thani, THAILAND, pp.1-6.
  - Santalunai, S., **Thosdeekoraphat, T.** and Thongsopa, C. (2015). “Design of Radio Frequency Circuit for Dielectric Heating Applications,” Proceedings of the Electrical Engineering Conference, ECTI-CARD 7, Trang, Thailand, July 8-10, pp.1-4.
  - Krajaipote, K. , Boonpeang, W. , Kochapradit, S. , Srisuma, C. , Kuntayom, P. , **Thosdeekoraphat, T.**, and Thongsopa, C. (2015). “Design and Construction of The Firearms Weapons Cleaning Machine by Using High Frequency for Military and Police Agencies,” ECTI-CARD 7, Trang, Thailand, July 8-10, pp.1-4
-