

การออกแบบระบบสำหรับควบคุมแมลงในโกดังเก็บข้าวโดยใช้คลื่นความถี่สูง

นายอภิสิทธิ์ โพธิ์นา



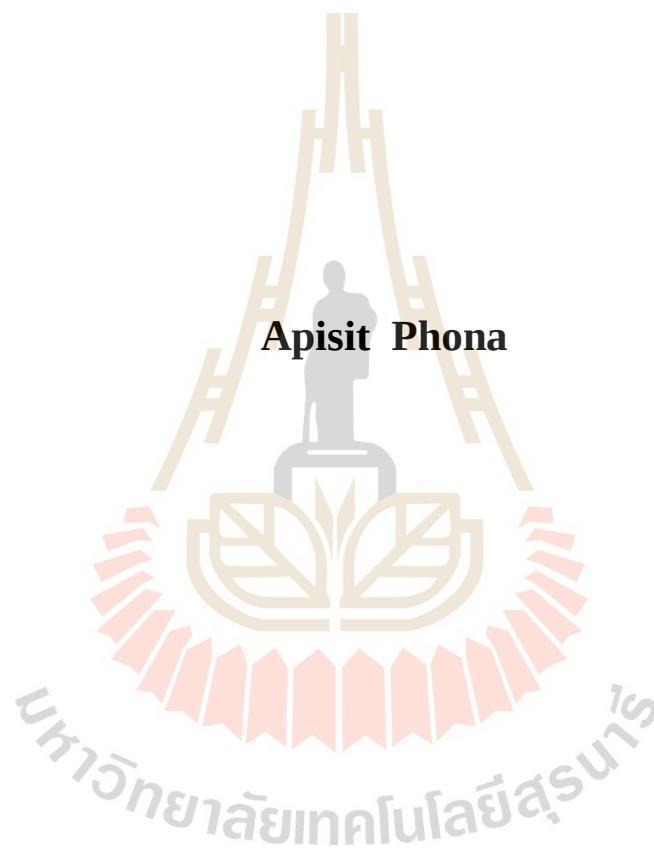
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2563

DESIGN OF SYSTEM FOR INSECT CONTROL IN GRAIN STORAGE WITH HIGH FREQUENCY



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

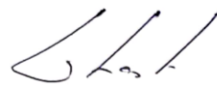
Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

การออกแบบระบบสำหรับควบคุมแมลงในโกดังเก็บข้าวโดยใช้คลื่นความถี่สูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภิต)

ประธานกรรมการ



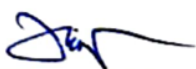
(ผศ. ดร.ชนเสฏฐ์ ทศดิกรพัฒน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

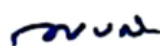
กรรมการ



(รศ. ดร. นัตถชัย โชติษฐยางกูร)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

และประกันคุณภาพ



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อภิสิทธิ์ โพธิ์นา : การออกแบบระบบสำหรับควบคุมแมลงในโกดังเก็บข้าวโดยใช้คลื่นความถี่สูง (DESIGN OF SYSTEM FOR INSECT CONTROL IN GRAIN STORAGE WITH HIGH FREQUENCY) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนเสฏฐ์ ทศดิกรพัฒน์, 85 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ความถี่สูงในการประยุกต์ใช้ในการขับไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวเปลือก โดยทำการเปรียบเทียบจำนวนของแมลงที่เกิดผลกระทบของแมลงเมื่อมีการควบคุมด้วยความถี่สูงกับไม่มีการควบคุมด้วยความถี่สูง รวมทั้งได้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของตัวกลางที่เป็นแมลงเพื่อให้สามารถทราบถึงความสามารถในการดูดซับพลังงานที่ความถี่ 2.45 กิโลเฮิร์ต และนำมาใช้ในการออกแบบการติดตั้งสายอากาศปากแตรให้สามารถครอบคลุมบริเวณกองข้าว

ผลการศึกษาพบว่าตัวกลางที่เป็นแมลงนั้นประกอบไปด้วยโมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole) โดยทั้งสองขั้วเมื่อได้รับอิทธิพลจากกลไกของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดแรงภายในโมเลกุลเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากกระทำจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานภายในจนนำไปสู่การเกิดความร้อนภายในตัวกลางหรือแมลง รวมถึงการออกแบบสร้างระบบเพื่อทดลองเก็บผลมาวิเคราะห์ โดยการทดลองได้จำลองโกดังเก็บข้าวแบ่งออกเป็น 2 ห้องเพื่อเปรียบเทียบจำนวนแมลงแต่ละตำแหน่งทั้ง 5 ตำแหน่งในกองข้าว ซึ่งกำลังงานที่ใช้ในการควบคุมอยู่ที่ 126 วัตต์ ที่ความถี่ 2.45 กิโลเฮิร์ต ผลการทดลองพบว่าตำแหน่งที่มีการปล่อยคลื่นไปหาโดยตรงจำนวนแมลงไม่มีการเพิ่มจำนวนของแมลงเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งในการทดลองใช้เวลาในการเก็บผลทั้งหมด 3 สัปดาห์ ดังนั้นระบบที่ได้ทำการทดลองนี้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีการปรับระยะและกำลังงานให้เหมาะสม

APISIT PHONA : DESIGN OF SYSTEM FOR INSECT CONTROL IN
GRAIN STORAGE WITH HIGH FREQUENCY. THESIS ADVISOR :
ASST.PROF. THANASET THODSDEEKORAPAT, Ph.D.,85 PP.

HIGH-FREQUENCY/ DIELECTRIC/ INSECT

This research examines the use of high frequency as an insect repellent application in paddy warehouses. We compared the number of insects that were affected by high-frequency control versus non-high-frequency control. Including studying the electrical properties of insect media to be able to determine the ability to absorb energy at a frequency of 2.45 gigahertz.

The results showed that the insect medium is composed of dipole water molecules, with both polarities being influenced by an electric noun mechanism that causes the forces inside the molecule to change polarity rapidly. According to the electric field that acts until it causes internal energy loss and leads to heat within the medium or insect. including designing and creating a system to try and collect the results for analysis. The experiment simulated a rice warehouse divided into 2 rooms to compare the number of insects in each of the 5 locations in the rice pile. The power used to control is 126 watts at a frequency of 2.45 gigahertz. The results showed that the direct emission of insects did not increase the number of insects compared to other locations. In the trial, it took 3 weeks to collect all the results. Therefore, the tested system can be used effectively when the distance and power are adjusted accordingly.

School of Electronic Engineering

Academic Year 2020

Student's Signature อภิสิทธิ์ วัฒนชัย

Advisor's Signature T.Thanaset

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด และให้โอกาสในการศึกษา

อาจารย์ ดร. สำราญ สันทาบุญ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำแนะนำปรึกษาทางด้านการเลือกใช้งานอุปกรณ์สำหรับออกแบบระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

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

อภิสิทธิ์ โพธิ์นา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินการ.....	4
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	5
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.8 ปรัชญา/วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	12
2.1 กล่าวนำ.....	12
2.2 หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	ทฤษฎีการกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ.....	19
2.3.1	ส่วนการแพร่คลื่นของสายอากาศปากแตร (Horn Antenna)	19
2.3.2	ท่อนำคลื่น.....	21
2.3.3	การคำนวณหาค่าอัตราขยายและกำลังของสายอากาศ.....	21
2.3.4	สายอากาศโมโนโพล.....	22
2.4	พารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศที่ใช้ในงานวิจัย.....	23
2.4.1	อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance).....	23
2.4.2	อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)	23
2.4.3	การสูญเสียจากการสะท้อนกลับ (Return Loss)	24
2.4.4	แบนด์วิธ (Bandwidth)	25
2.4.5	ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)	25
2.4.6	สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)	26
2.4.7	แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation Pattern).....	27
2.4.8	สายอากาศแบบอิมพีแดนซ์แมตช์.....	28
3	การออกแบบระบบสำหรับการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง	29
3.1	กล่าวนำ.....	29
3.2	การจำลองออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง.....	29
3.2.1	การออกแบบโพรง (Cavity)	29
3.2.2	การออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio.....	34
3.3	ผลการวัดการแผ่กระจายกำลังงานและอัตราขยาย.....	37
3.4	การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ.....	39
3.5	การทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....	40
3.6	การจำลองการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการดูดซับพลังงาน	42
3.7	สรุป.....	45
4	ผลการดำเนินงาน.....	46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1	กล่าวนำ.....	46
4.2	การทดสอบการตอบสนองที่มีผลต่อคุณสมบัติของข้าวเปลือก.....	46
4.3	การออกแบบห้องทดลอง	48
4.4	การทดลอง	49
4.5	การทดลองโดยการไม่มีที่กั้นระหว่างห้อง	59
4.6	สรุป.....	61
5	สรุปผลการดำเนินงาน อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....	62
5.1	สรุปเนื้อหาของการวิจัย.....	62
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	62
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	63
	เอกสารอ้างอิง	64
	ประวัติผู้เขียน	71

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	การแผ่กระจายคลื่นในระยะต่างๆ.....27
3.1	ค่าการลดทอนและค่าการสูญเสียกำลังงาน.....30
3.2	ค่าที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศปากแตร34
3.3	ระยะเวลาที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น.....45
4.1	อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 1.....51
4.2	อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 2.....52
4.3	อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 3.....53
4.4	สัปดาห์ที่ 1 จำนวนแมลงในบริเวณ 5 ตำแหน่งของทั้งสองห้อง.....55
4.5	สัปดาห์ที่ 2 จำนวนแมลงในบริเวณ 5 ตำแหน่งของทั้งสองห้อง.....56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	เปอร์เซ็นต์การตายของตัวอ่อน <i>Ephestia kuehniella</i>7
1.2	LT50 และ LT99 คือค่าอัตราการตายที่ 50% 99% ตามลำดับ7
1.3	บล็อกไดอะแกรมจากบทความของ Mr. Sandeep V. Gaikwad.....8
1.4	การตอบสนองของคลื่นความถี่ต่อแมลงชนิดต่างๆ.....9
1.5	การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับมอดข้าวสาธิต9
1.6	การใช้ความถี่ 39 และ 2450 MHz ต่อการตายของมอดข้าวในข้าวสาธิต.....10
1.7	ตารางแสดงข้อมูลค่าคุณสมบัติ dielectric ของแมลง11
1.8	ผลการตอบสนองของแมลงในช่วงอุณหภูมิต่างๆ.....11
2.1	อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลาง14
2.2	โมเลกุลขั้วบวกและขั้วลบพยายามจัดเรียงตัว.....14
2.3	ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane Sectoral Horn).....20
2.4	ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane Sectoral Horn)20
2.5	ปากแตรทรงพีระมิด.....20
2.6	ลักษณะของท่อนำคลื่นแบบ (ก) ท่อเหลี่ยมและ (ข) ท่อกลม21
2.7	ท่อนำคลื่นที่มีสายอากาศไดโพลขนาดเล็กเป็นจุดป้อนสัญญาณ.....21
2.8	วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ทำให้ภาวะความต้านทานสูง23
2.9	ระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ27
2.10	แบบรูปของสายอากาศแบบอิมมิไดเรกชันแนล (Omni-directional)28
3.1	การออกแบบท่อนำคลื่น.....31
3.2	การออกแบบปากแตร33
3.3	ผลการจำลองสายอากาศปากแตร34
3.4	ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane).....35
3.5	ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)35
3.6	กราฟการแสดงค่ากำลังงานสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB.....36

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7	ความถี่ 2.45 GHz มีอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 56.64 - j7.36 โอห์ม36
3.8	ที่ความถี่ 2.45 GHz ค่า VSWR อยู่ที่ 1.2:137
3.9	การวัดการแผ่กระจายพลังงานและอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ38
3.10	การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz.....38
3.11	การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz.....38
3.12	แบบวงจรขยายสัญญาณ.....39
3.13	วงจขยายสัญญาณความถี่ 2.45 GHz.....39
3.14	ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำเนิดและขับไล่แมลง.....40
3.15	ลักษณะโครงสร้างภายในและภายนอกเครื่องขับไล่แมลง41
3.16	การติดตั้งเสาอากาศของเครื่องไล่แมลงและแมลงภายใน โกดังเก็บข้าวเปลือก42
3.17	ระยะห่างระหว่างตัวปล่อยคลื่นและแมลง42
3.18	แบบจำลองการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในห้องทดลอง43
3.19	ผลการ Simulation ของตัวแมลง43
3.20	ผลการ Simulation ของตัวแมลง44
3.21	ผลการดูดซับ Simulation ของตัวแมลง.....44
4.1	การวัดการตอบสนองของคลื่นความถี่ 2.45 GHz.....47
4.2	การตอบสนองความถี่ 2.45 GHz.....47
4.3	แบบจำลองห้องโดยใช้โปรแกรม Solid work.....48
4.4	ห้องที่ออกแบบใช้ในการทดลองเก็บข้าวเปลือก.....49
4.5	แสดงการวางตำแหน่งสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....49
4.6	แรงดันที่ใช้ 18 v กระแส 7 A กำลังงานที่ปล่อยไปยังสายอากาศอยู่ที่ 126 W.....50
4.7	ขนาดของกองข้าวเปลือก 50x80 cm.....50
4.8	บริเวณตำแหน่งที่สูมนับจำนวนแมลง.....54
4.9	แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 1 ทั้ง 3 สัปดาห์58
4.10	แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 2 ทั้ง 3 สัปดาห์58

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.11	แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของกองข้าวหมายเลข 1 ทั้ง 2 สัปดาห์	60
4.12	แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของกองข้าวหมายเลข 2 ทั้ง 2 สัปดาห์	60



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในแต่ละปีประเทศไทยเพาะปลูกพืชชนิดต่างๆ จึงทำให้ได้ผลผลิตเป็นจำนวนมากทั้งพืชไร่ พืชสวน แต่พืชที่ผลิตในปริมาณมากจนเหลือบริโภคภายในประเทศและสามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้จนติดอันดับของโลกคือข้าว โดยในปีพ.ศ.2551 ประเทศไทยมีส่วนแบ่งในตลาดโลก 33.7% (ศูนย์พัฒนาความรู้การซื้อขายสินค้าเกษตรล่วงหน้า, 2553) โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าว ในปี 2555/2556 ประมาณ 80 ล้านไร่ ให้ผลผลิตรวมประมาณ 38 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นข้าวนาปี 28 ล้านตัน และเป็นข้าวนาปรัง 10 ล้านตัน ซึ่งใช้ในการบริโภคภายในประเทศประมาณ 13 ล้านตันต่อปี (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2557) จึงกล่าวได้ว่าข้าวเป็นรายได้ที่สำคัญของประเทศและเกษตรกรของไทยอีกด้วย เมื่อถึงฤดูเก็บเกี่ยว จะมีปริมาณข้าวที่ออกสู่ตลาดเป็นจำนวนมากและราคาดกต่ำ ดังนั้นเพื่อปัญหาาราคาข้าวตกต่ำ จึงมีโครงการรับจำนำข้าวให้กับเกษตรกรข้าวที่รับจำนำ จะถูกนำไปเก็บเกี่ยวตามโรงสีต่าง ๆ สถาบันที่ร่วมโครงการ รวมถึงสหกรณ์การเกษตรเพื่อการสีและจำหน่าย สภาพการเก็บเกี่ยวนั้นจะแตกต่างกันไปตามปริมาณการรับซื้อขนาดโรงสี ระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นต้น การเก็บรักษาส่วนใหญ่เป็นการเก็บแบบบรรจุกระสอบ จากผลการผลิตข้าวในแต่ละปี มีการสูญเสียผลผลิตที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งคิดเป็นปริมาณการสูญเสียที่เกิดขึ้นทุกขั้นตอนประมาณ 16.83 เปอร์เซ็นต์ (สำนักวิจัยและพัฒนาการวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร, 2548) การสูญเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดคือ การสูญเสียในขณะเก็บรักษาประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ (ประสutti และคณะ, 2526 และ 2528) ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะเก็บรักษาข้าวเปลือก คือ การเข้าทำลายของแมลงศัตรูในโรงเก็บ (ทรงเชาว์ และคณะ, 2546; นันทนา, 2549) ซึ่งส่งผลต่อผลผลิตทั้งในด้านปริมาณและคุณภาพข้าวสารเมื่อนำไปสีรวมถึงคุณภาพการหุงต้มเมื่อนำไปบริโภค ดังนั้นจำนวนผลผลิตและคุณภาพของข้าวจึงส่งผลกระทบต่อรายได้ของประเทศและเกษตรกร การเพิ่มจำนวนผลผลิตและคุณภาพของข้าวจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยการที่จะเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของข้าวได้นั้น สิ่งสำคัญคือกระบวนการเพาะปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งกระบวนการเพาะปลูกข้าวที่มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ซึ่งจะทำให้มีอัตราการงอกที่สูงและมีผลผลิตที่ดีต่อการเพาะปลูกแต่ละครั้ง อีกทั้งเมื่อทำการเก็บเกี่ยวเสร็จแล้ว ระบบการจัดเก็บที่ดีก็มีความสำคัญเนื่องจากทำให้จำนวนข้าวเสียน้อยลง มีผลให้จำนวนผลผลิตที่สามารถส่งออกได้มากขึ้น และสร้างกำไรให้กับเกษตรกรผู้ผลิตและผู้ประกอบการค้าข้าวด้วย

จึงทำให้เกษตรกรและนักวิจัยคิดค้นและพัฒนาหาหนทางและวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาและควบคุมแมลงศัตรูพืชดังกล่าวที่เกิดขึ้นเช่น การใช้แรงคนหรือเครื่องมือกล การเผาทำลาย การใช้ตาข่ายหรือกับดักจับ วิธีการทางชีววิธีและวิธีการใช้สารเคมีควบคุม เป็นต้น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นสารเคมีหรือยาฆ่าแมลง (insecticide) ยังคงเป็นวิธีการหลักของเกษตรกรที่ใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูพืช เนื่องจากสถานการณ์การใช้สารเคมีทางการเกษตรของประเทศไทยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี โดยมีมูลค่าการนำเข้าเป็นจำนวนมากกว่า 22,034 ล้านบาท [1], [2] ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อในด้านต่าง ๆ ที่สำคัญ กล่าวคือ ด้านสุขภาพของเกษตรกรและผู้บริโภคที่มีความเสี่ยงและไม่ปลอดภัยจากสารเคมีกำจัดศัตรูพืช รวมถึงด้านสิ่งแวดล้อมที่พบการตกค้างของสารเคมีในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีด้านเศรษฐกิจที่จะส่งผลกระทบต่อรายได้ของเกษตรกร การส่งออกและการขยายตัวทางเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากสารเคมีตกค้างในสินค้าพืชผลทางการเกษตร ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของประเทศในฐานะที่เป็นผู้ส่งออกสินค้าทางการเกษตรและอาหารรายใหญ่ของโลก อย่างไรก็ตามปัจจุบันประเทศไทยและนานาประเทศได้พยายามกำหนดกติกาในการควบคุมการใช้สารเคมีทางการเกษตรให้มีปริมาณลดลงและเกิดความปลอดภัยในการใช้มากยิ่งขึ้น แต่ผลกระทบเชิงลบในด้านต่าง ๆ ของประเทศไทยยังคงมีสถิติเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง และในพืชเศรษฐกิจของประเทศอย่างเช่น ข้าว ทั้งเพื่อการส่งออกจำหน่ายภายนอกประเทศและจำหน่ายภายในประเทศ ซึ่งปัจจุบันการใช้สารเคมีมีแนวโน้มยกเลิก ในหลายประเทศได้มองหาทางเลือกทดแทนการใช้สารเคมี เช่น การใช้การควบคุมระดับออกซิเจนด้วยก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการฉายรังสี เพื่อให้มอดขาดอากาศตาย เป็นต้น แต่ยังไม่มียังผลวิจัยถึงความชัดเจน และก็ยังไม่ได้แก้ปัญหาสำหรับมอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกที่เป็นต้นเหตุหลักในการเกิดมอดในข้าวจากการเก็บรักษา

ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบเชิงลบในด้านต่าง ๆ จากการใช้สารเคมีทางการเกษตร คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพื่อหาวิธีการไล่หรือกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อลดผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่เกิดจากการใช้สารเคมีทางการเกษตรตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งพบว่าการใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงเป็นวิธีการที่เหมาะสมมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟ [3] เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุหรือไมโครเวฟนั้นสามารถแผ่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าออกไปยังตัวกลางต่าง ๆ ซึ่งจะไปทำให้วัสดุหรือตัวกลางใด ๆ ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วนั้นสั่นและทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งสามารถประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกจากการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในภาคการเกษตรได้ เช่น การอบแห้ง การกำจัดแมลงศัตรูพืช มอดหรือหนอนต่าง ๆ [4] ที่ฝังตัวและหลบซ่อนอยู่ภายในผลิตผลทางการเกษตรหรือบิโอบินอยู่ในบริเวณพื้นที่การเกษตรเพื่อขับไล่หรือกำจัดได้เป็นอย่างดี เนื่องจากโครงสร้างของแมลงหรือ

สิ่งมีชีวิตดังกล่าวจะมีของเหลวหรือมีโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุทำให้เกิดเป็นความร้อนได้ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว จากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวทำให้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษา ออกแบบและสร้างระบบเครื่องกำเนิดและขับไล่แมลงศัตรูพืชโดยใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อประยุกต์ใช้ในภาคการเกษตร อีกทั้งเป็นการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรให้สอดคล้องตามมาตรฐานสากลปลอดภัยจากสารเคมีตกค้างทั้งต่อผู้ใช้และผู้บริโภค

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อออกแบบระบบสำหรับขับไล่แมลงศัตรูพืชโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยไม่ทำให้พืชหรือผลิตผลทางการเกษตรเกิดความเสียหายและปลอดภัยต่อมนุษย์
- 2) สามารถนำมาทดสอบการทำงานและติดตั้งเป็นเครื่องต้นแบบในโกดังเก็บข้าวขนาดใหญ่พื้นที่การเกษตรสำหรับติดตามประเมินผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องให้เกิดประสิทธิภาพของการทำงานสูงสุด รวมทั้งสามารถทดแทนการใช้สารเคมีในภาคเกษตรกรรมได้เป็นอย่างดี
- 3) เพื่อศึกษาออกแบบทดสอบการทำงานและติดตั้งเครื่องต้นแบบใน โกดังเก็บข้าวขนาดใหญ่พื้นที่การเกษตรสำหรับติดตามประเมินผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องให้เกิดประสิทธิภาพของการทำงานสูงสุด รวมทั้งสามารถทดแทนการใช้สารเคมีในภาคเกษตรกรรมได้เป็นอย่างดี

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

- 1) การไล่แมลงและแมลงข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่โดยใช้หลักการการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกคลื่นความถี่สูง จะช่วยให้สามารถขับไล่แมลงและแมลงข้าวเปลือกอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพที่ดีกว่าการขับไล่ด้วยสารเคมี
- 2) ซึ่งผลที่ได้คือระบบสามารถควบคุมกำลังงานได้ ทำให้การขับไล่แมลงและแมลงข้าวอย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) เนื่องจากมอดและแมลงข้าวเปลือกในโกดังเก็บข้าว มีมวลร่างกายที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลของน้ำบางส่วน ซึ่งหลักการการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกคลื่นความถี่สูง จะช่วยให้สามารถขับไล่แมลงและแมลงข้าวเปลือกอย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีสารเคมีตกค้าง

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1) ระบบการขับไล่แมลงและแมลงข้าวเปลือกผู้วิจัยได้ใช้หลักการการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก (dielectric heating) ในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกโดยการแผ่คลื่นด้วยสายอากาศนั้น ให้ความร้อนโดยตรงภายในตัวกลางที่เป็นแมลงประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส เพื่อให้แมลงเกิดความร้อน
- 2) ศึกษาการนำหลักการคลื่นความถี่สูงแบบไดอิเล็กทริก โดยการแผ่คลื่นด้วยสายอากาศที่สามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้
- 3) ศึกษาปัจจัยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่สามารถทำให้แมลงรู้สึกรำคาญหรือไม่สบายตัวจนสามารถขับไล่แมลงออกจากบริเวณโกดังเก็บข้าวได้
- 4) วิเคราะห์และออกแบบระบบทดสอบการใช้คลื่นความถี่สูงแบบไดอิเล็กทริก โดยสร้างห้องควบคุมสองห้องขนาดห้องละ 3 ตารางเมตร เพื่อทดสอบ
- 5) ทดสอบวัดอัตราการลดลงของประชากรแมลงในห้องที่มารควบคุมแมลงด้วยความถี่สูงแบบไดอิเล็กทริก

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1) ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยความถี่สูงรูปแบบต่างๆ ที่มีในปัจจุบัน
- 2) วิจัย ออกแบบระบบทดสอบขับไล่แมลงและแมลงข้าวเปลือกในโกดังเก็บข้าวด้วยความถี่สูงและศึกษาค่าคุณสมบัติของแมลงเพื่อให้สามารถขับไล่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) ทดสอบ และเปรียบเทียบอัตราการเกิดและลดลงของประชากรแมลงในห้องควบคุม รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นกับแมลงในโกดังเก็บข้าว

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินการ

ศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อที่จะใช้เป็นทางเลือกในการตัดสินใจและใช้ในการออกแบบระบบให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน จึงได้ทำการ Simulation ระหว่างตัวปล่อยพลังงานคลื่นความถี่สูงกับแมลง เพื่อที่จะหาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการติดตั้งระบบ เมื่อระบบพร้อมใช้งานจึงจะทำการทดสอบการทำงานและบันทึกค่าพารามิเตอร์ของระบบดังนี้ อุณหภูมิภายในตัวแมลง การ

ตอบสนองต่อพลังงานคลื่นความถี่สูง เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเหมาะสมในเรื่องของการใช้พลังงานและเวลาในการขับไล่แมลง

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปฐมนิเทศธรรมชาติและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) วิเคราะห์ ออกแบบ และศึกษาถึงความเป็นไปได้ด้วยข้อมูลต่างๆทางคณิตศาสตร์ หรือข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือทางวิชาการ ถึงระบบการขับไล่แมลงในโรงเก็บข้าวให้ออกจากบริเวณอย่างมีคุณภาพ โดยใช้พลังงานคลื่นความถี่สูง

3) ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและระยะเวลาในการขับไล่แมลง พร้อมทั้งทำการทดสอบสมมุติฐานในหัวข้อที่ 1.3 โดยการวัดประสิทธิภาพในด้านพลังงานและระยะเวลาในการขับไล่แมลง

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

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

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
- 2) กล้องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด (Thermal Imaging Camera)
- 3) มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล (Digital Multimeter)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากปฐมนิเทศธรรมชาติและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมข้อมูลอัตราการลดและเพิ่มของประชากรแมลงในห้องควบคุมเวลา และระดับพลังงานงาน ที่ใช้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ระบบขับไล่แมลงศัตรูพืชต้นแบบโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยไม่ทำให้พืชหรือผลิตผลทางการเกษตรเกิดความเสียหายและปลอดภัยต่อมนุษย์
- 2) สามารถนำมาทดสอบการทำงานและติดตั้งเป็นเครื่องต้นแบบในพื้นที่การเกษตรหรือโกดังเก็บข้าวเปลือก สำหรับติดตามประเมินผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องให้เกิดประสิทธิภาพของการทำงานสูงสุด

3) รู้จักการคิด วิเคราะห์ อย่างเป็นระบบเพื่อสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในทางปฏิบัติและสามารถนำความรู้ไปใช้ประกอบวิชาชีพได้

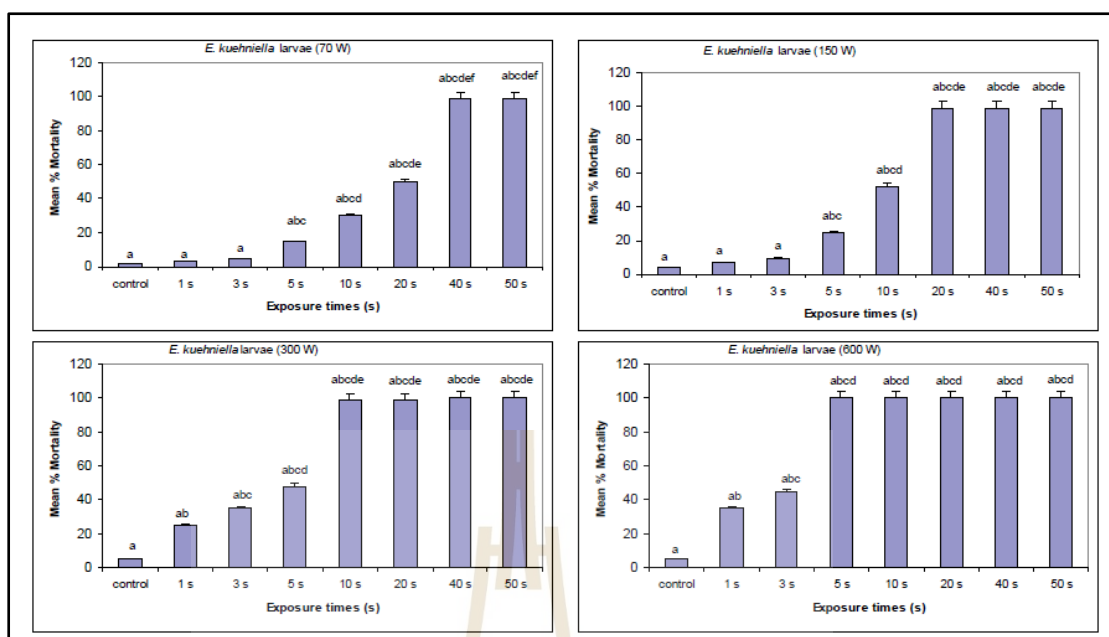
1.8 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้สำหรับนวัตกรรมด้านการกำจัดแมลงโดยใช้หลักการของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่สูงหรือการเหนี่ยวนำความร้อนต่างๆ มาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่มีความถี่สูงจะไปทำให้แมลงที่มีส่วนประกอบโมเลกุลของน้ำมีการสั่นทำให้เกิดพลังงานความร้อนภายในตัวแมลง ซึ่งที่ผ่านมาได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการทดสอบและออกแบบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับการทดสอบการจับไล่แมลง และศึกษาอัตราการเพิ่มและลดของประชากรแมลงในโกดังเก็บข้าวในระยะเวลาต่างๆ

ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้จึงได้ศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาโดยอาศัยฐานข้อมูลต่าง ๆ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และฐานข้อมูล IEICE รวมทั้งได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่างๆ ผลการสืบค้นที่ได้จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการให้ตรงตามวัตถุประสงค์สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึง ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยระบบการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กทริกที่ผ่านมา

บทความของ Dliek PANDIR และ Esra GUVEN เป็นการศึกษาการออกแบบการตรวจสอบผลของการแผ่คลื่นไมโครเวฟไปยังตัวอ่อนของ *Ephesita kuehniella* อายุตัวอ่อนอายุ 1-2 วัน พลังงานที่ใช้ 70 150 300 และ 600 วัตต์ ที่เวลาต่างกัน 1-50 วินาที อัตราการตายของตัวอ่อนเพิ่มขึ้นในขณะที่เวลาและกำลังงานเพิ่มขึ้น โดยอัตราการตายอย่างสมบูรณ์ที่ 70 วัตต์ ใช้เวลานานที่สุด 50 วินาที และได้เปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นบนเซลล์ในเนื้อเยื่อตัวอ่อน SOD CAT GPx และ MDA ถูกประมาณ SOD CAT GPx จะลดลง และระดับ MDA เพิ่มขึ้น ที่ 300 และ 600 วัตต์ ในขณะที่ 70 150 และ 300 วัตต์ ที่เวลา 50 วินาที ไม่มีการเสียหายของ DNA ที่สำคัญ อย่างไรก็ตามเวลาที่ 50 วินาที ที่ 600 วัตต์ มีผลกระทบต่อ DNA ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าการแผ่คลื่นไมโครเวฟพลังงานสูงมีผลกระทบบางอย่างกับแมลงศัตรูพืชในโรงเก็บผลิตภัณฑ์

ผลการศึกษาพบว่าตัวอ่อนที่ตายเกิดจากการเพิ่มกำลังงานของการแผ่รังสีและเวลาดังรูปที่ 1.1 ตัวอ่อนอายุ 1-2 วัน ได้รับผลกระทบอย่างมากที่ 600 วัตต์ ตายสมบูรณ์ในเวลา 5 วินาทีแรก ตารางที่ 1 อัตราการตายของตัวอ่อนเป็น 99% ที่ 600 วัตต์ ตั้งแต่เวลา 5 วินาที จนถึง 50 วินาที



รูปที่ 1.1 เปอร์เซนต์การตายของตัวอ่อน *Ephestia kuehniella*

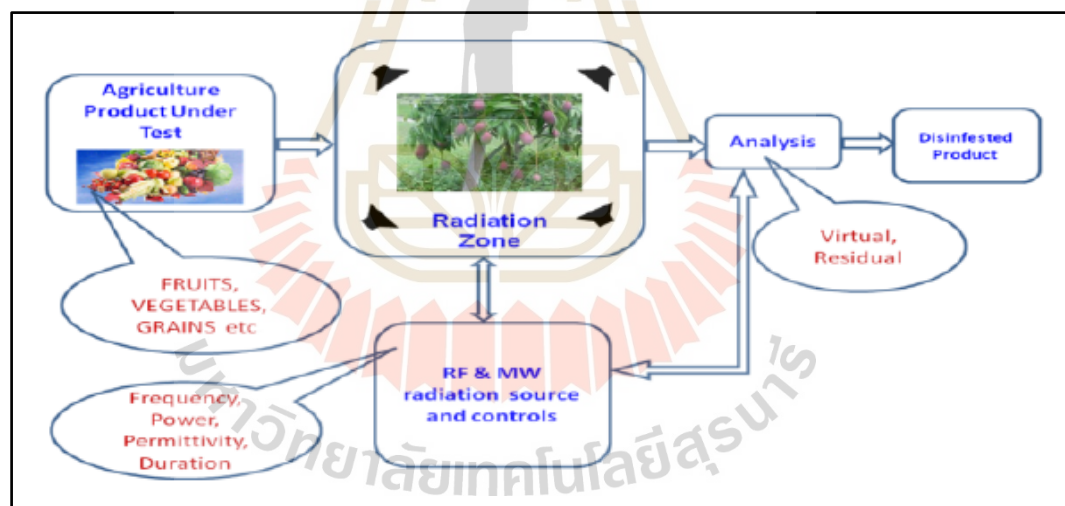
Microwave power (W)	LT ₅₀ (s)	LT ₉₉ (s)	df	N
70 W	18.568	32.216	6	10
150 W	8.144	17.244	6	10
300 W	4.835	9.654	6	10
600 W	2.304	4.62	6	10

รูปที่ 1.2 LT₅₀ และ LT₉₉ คือค่าอัตราการตายที่ 50% 99% ตามลำดับ

บทความของ Mr. Sandeep V. Gaikwad และ Dr.A.N. Gaikwad เป็นการกล่าวถึงวิธีการเก็บรักษาอื่นๆ ที่ใช้ในการเกษตรพร้อมทั้งแนะนำระบบเพื่อควบคุมแมลงและเชื้อโรค ที่ใช้ RF และ MW ที่ได้ทดสอบแล้ว ในช่วงหลังของการเก็บเกี่ยวและการรวบรวมเมล็ดพันธุ์ โดยกล่าวว่าคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น ผัก ผลไม้ เมล็ดพืช และแมลงผลไม้ เป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ในการเลือกความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมแมลงรวบรวม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและเพิ่มคุณภาพผลผลิต และมีแนวโน้มที่จะใช้ในอนาคต

จากที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นบทความนี้ได้เสนอการแผ่ของ RF และ MW สำหรับการควบคุมแมลงและเชื้อโรคที่อยู่กับ องุ่น และมะม่วง โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาค่าสัมประสิทธิ์ permittivity ของผลไม้โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ open-ended coaxial probe และใช้เป็นฐานข้อมูล
- 2) หาแมลงที่เป็นอันตรายต่อผลไม้โดยในขั้นนี้ได้เลือก Bactrocera และมอดมะม่วงหิน
- 3) วัดค่า permittivity ของแมลง ใช้ค่าจากการคำนวณความร้อนกำหนดด้วยความถี่พลังงาน และเวลา ที่วัตถุสามารถสัมผัสคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- 4) ใช้การสังเกตและบันทึกข้อมูลแมลง เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการเลือกความถี่และพลังงาน ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนั้น อัตราการตายของแมลงและการรบกวนของแมลงสามารถสังเกตได้ในห้อง anechoic (ห้องที่เงียบที่สุด)
- 5) การออกแบบระบบจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ได้จากการสังเกตเพื่อที่จะนำมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 6) ปรับระบบการแผ่รังสีในลักษณะที่ไม่ขัดขวางการสื่อสารอื่นๆ และไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์



รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมจากบทความของ Mr. Sandeep V. Gaikwad

จากเอกสารอ้างอิง [5], [6], [7] ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการตอบสนองของคลื่นความถี่แต่ละย่านต่อวัสดุไดอิเล็กตริกและแมลงชนิดต่างๆ และการประยุกต์ใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ 39 MHz และ 2450 MHz ในการฆ่ามอดข้าวดังแสดงในรูปที่ 1.4 ถึงรูปที่ 1.6 ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

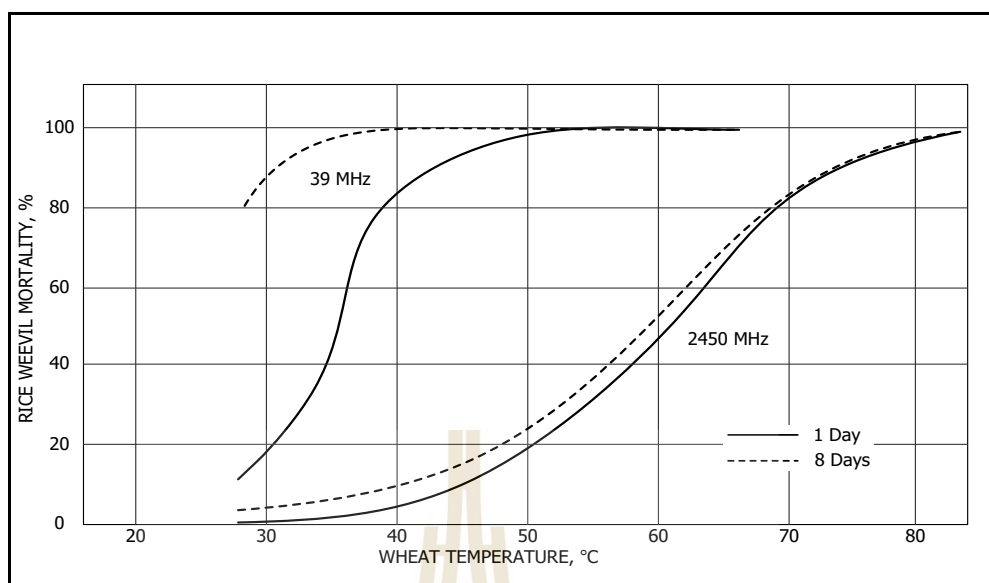
Frequency, MHz	Temp., °C	Product (Insect)	Quality	Sources
27	56	Wheat (weevil)	No	Anglade et al. (1979)
	53	Walnut (codling moth)	Yes	Wang et al. (2001a)
40	80	Pecan (weevil)	No	Nelson and Payne (1982)
915	55	Cherry (codling moth)	Yes	Ikediala et al. (1999)
915 & 2450	50-60	Cheese (microorganism)	Yes	Herve et al. (1998)
2450	45	Papaya (<i>D. dorsalis</i>)	No	Hayes et al. (1984)
	50	Fruit (Fruit fly)	Yes	Sharp et al. (1999)
	57	Wood (woodworm)	No	Andreuccetti et al. (1994)
	80	Cereal (weevil)	No	Shayesteh & Barthakur (1996)
12000-55000	43-61	Wheat (weevil)	No	Halverson et al. (1996)

รูปที่ 1.4 การตอบสนองของคลื่นความถี่ต่อแมลงชนิดต่างๆ

Table 1. Reported host-media temperatures following RF and microwave dielectric heating exposures necessary for 99 to 100% insect mortality

Species	Developmental Stage	Freq. (MHz)	Medium	Temp.* (°C)	Reference
Rice weevil, <i>Sitophilus oryzae</i> (L.)	Mixed immature	27	Wheat	56	Anglade et al., 1979
	Adult	39	Wheat	39	Nelson and Whitney, 1960
	Mixed immature	39	Wheat	61	Nelson and Whitney, 1960
	Adult	39	Wheat	40	Nelson and Stetson, 1974a
	Adult	2450	Wheat	83	Nelson and Stetson, 1974a
	Adult	2450	Wheat	> 60	Tateya and Takano, 1977
	Pupal	2450	Wheat	> 60	Tateya and Takano, 1977
	Larval	2450	Wheat	> 58	Tateya and Takano, 1977
	Egg	2450	Wheat	> 57	Tateya and Takano, 1977
Granary weevil, <i>Sitophilus granarius</i> (L.)	All	13.6	Wheat	62	Benz, 1975
	Egg	13.6	Wheat	61	Benz, 1975
	Adult	27	Wheat	55	Anglade et al., 1979
	Larval	27	Wheat	58	Anglade et al., 1979
	Pupal	27	Wheat	61	Anglade et al., 1979
	Adult	39	Wheat	41	Nelson and Kantack, 1966
	Adult	39	Wheat	42	Nelson et al., 1966
	Adult	2450	Wheat	86	Anglade et al., 1979
	Adult	2450	Wheat	> 92	Hamid et al., 1968
	Adult	2450	Wheat	> 57	Baker et al., 1956
	Larval	2450	Wheat	> 82	Baker et al., 1956
	Egg	2450	Wheat	> 72	Baker et al., 1956

รูปที่ 1.5 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับมอดข้าวสาทิ



รูปที่ 1.6 การใช้ความถี่ 39 และ 2450 MHz ต่อการตายของมอดข้าวในข้าวสาลี

จากรูปที่ 1.4 จะเป็นการพิจารณาในเรื่องของความถี่ที่เหมาะสมกับวัสดุไดอิเล็กตริกแต่ละชนิด โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดอิเล็กตริกกับตัวแมลงที่ความถี่ต่าง ๆ และจากรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.6 จะเป็นการทดสอบกับมอดข้าวและมอดยุง ในข้าวสาลี จะเห็นว่าที่ความถี่ 39 MHz ในตัวเต็มวัยของทั้งมอดข้าวและมอดยุงจะตายที่ 99-100% โดยที่อุณหภูมิในข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 °C แต่เมื่อใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2450 MHz มอดข้าวและมอดยุงก็ตายแต่อุณหภูมิสูงกว่า 70 °C ซึ่งทำให้ข้าวสาลีเสียหายจากความร้อนได้

เมื่อพิจารณารูปเปรียบเทียบการใช้ความถี่กับอุณหภูมิข้าวสาลีต่อการตายของมอดข้าวในแล้วพบว่าที่ความถี่ 39 MHz มอดข้าวมีอัตราการตายอยู่ที่ 80% โดยอุณหภูมิของข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 °C แต่ถ้าปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลาประมาณ 8 วัน อัตราการตายของมอดจะเป็น 100% แต่ถ้าจะให้มอดตาย 100% โดยไม่ต้องรอถึง 8 วัน อุณหภูมิของข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 50 °C ในขณะที่ความถี่ 2450 MHz อุณหภูมิของข้าวจะสูงมากกว่า 80 °C จึงจะทำให้มอดตาย 100% และจากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิของข้าวมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ข้าวเกิดความเสียหายได้

จากบทความของ S. O. Nelson เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการโยกย้ายของแมลงโดยใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกได้มีการรวบรวมข้อมูลค่า permittivities ของแมลงโดยสรุปไว้ในรูปแบบตารางดังรูปที่ 1.7 ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการนำไปทำแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์การดูดซับคลื่นของแมลงตัวอย่าง

Ref. no.	Insect species and stage	Frequency									
		40 MHz		200 MHz		2.4 GHz		9.4 GHz		20 GHz	
		ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''	ϵ'	ϵ''
[3]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	35	18	—	—	—	—	—	—	—	—
	<i>Tribolium confusum</i> , adult	46	19	—	—	—	—	—	—	—	—
[5]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	31	18	—	—	—	—	—	—	—	—
[9]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	—	—	—	—	—	—	36	11	—	—
[9]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	42	19	28	12	17	3	17	3	—	—
[11]	<i>Tenebrio molitor</i> , larvae	—	—	—	—	—	—	30	18	—	—
[12]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	—	—	—	—	—	—	31	13	—	—
[13]	<i>Tenebrio molitor</i> , larvae, fat	—	—	—	—	8	2.4	—	—	—	—
	<i>Tenebrio molitor</i> , larvae, muscle	—	—	—	—	54	13	—	—	—	—
[14]	<i>Leptinotarsa decemlineata</i> , adult	—	—	53	81	38	12	30	16	19	17
[15]	<i>Hylotrupes bajulus</i> , larvae	—	—	—	—	43	14	—	—	—	—
[16]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	—	—	42	28	32	9	25	12	18	13
[17]	<i>Sitophilus oryzae</i> , adult	—	—	55	48	42	13	31	16	23	16
[17]	<i>Tribolium castaneum</i> , adult	—	—	61	56	47	15	34	19	25	19
[17]	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> , adult	—	—	70	68	52	17	40	21	28	22
[17]	<i>Rhyzopertha dominica</i> , adult	—	—	63	55	43	15	34	19	25	18
[18]	<i>Cydia pomonella</i> , larvae	—	—	68	72	56	18	—	—	—	—

รูปที่ 1.7 ตารางแสดงข้อมูลค่าคุณสมบัติ dielectric ของแมลง

จากบทความของ **Fields 1992** เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการตอบสนองต่ออุณหภูมิต่างๆ โดยสามารถอุณหภูมิได้เป็น 3 ช่วง ที่มีความสำคัญสำหรับการเจริญเติบโตและตายของแมลงในโรงเก็บ คือ ช่วงอุณหภูมิที่สามารถรบกวนและไล่แมลงได้ คือ 33-42 องศาเซลเซียส และ 13 ถึง -25 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิที่แมลงเจริญเติบโตได้ดี 25-32 องศาเซลเซียส และช่วงอุณหภูมิที่สามารถทำให้แมลงตายได้คือสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 1.8

Zone	Temperature range (°C)	Effects
Lethal	above 62	death in < 1 min
	50 to 62	death in < 1 h
	45 to 50	death in < 1 day
	35 to 42	populations die out, mobile insects seek cooler environments
Suboptimal	35	maximum temperature for reproduction
	33 to 35	slower population increase
Optimal	25 to 32	maximum rate of population increase
Suboptimal	13 to 24	slower population increase
Lethal	5 to 13	slowly lethal
	3 to 5	movement ceases
	0 to -10	death in weeks, or months if acclimated
	-15 to -25	death in < 1 h

รูปที่ 1.8 ผลการตอบสนองของแมลงในช่วงอุณหภูมิต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

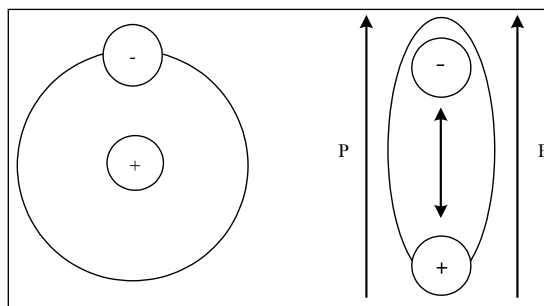
2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้นและได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้ เช่น การประกอบอาหาร การอบแห้งอาหาร การถนอมอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านการเกษตร เช่น การกำจัดศัตรูพืชและการอบแห้งที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยมีการประยุกต์ใช้หลักการส่งผ่านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียและส่งผลให้ไดอิเล็กตริกตัวกลางหรือแมลงศัตรูพืชเกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ ซึ่งการให้ความร้อนด้วยวิธีการดังกล่าวจะมีตัวแปรหลักในการพิจารณาประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้ งาน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเข้าสู่ตัวกลางที่เป็น ไดอิเล็กตริก การดูดกลืนหรือการสูญเสียของคลื่นความถี่และกำลังงานที่ต้องใช้

2.2 หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

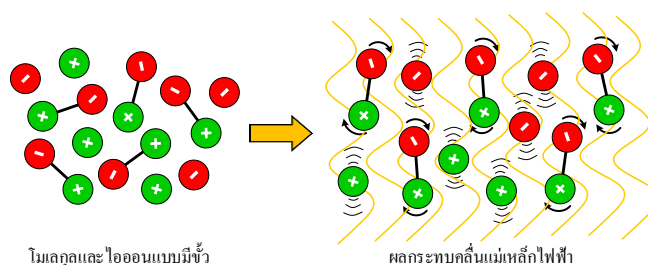
การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (dielectric heating) นั้นมีหลักการทำงานโดยอาศัยการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ (radio frequency) หรือไมโครเวฟ (microwave) ส่งผ่านเข้าไปในวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยวัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric) ที่มีการสูญเสียนั้นสามารถทำให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสถิตแล้วสนามไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาไรซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาไรซ์และจะทำให้ไดโพลโมเมนต์ของวัสดุไดอิเล็กตริกเกิดการหมุนไปตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลง การหมุนของไดโพลโมเมนต์ของวัสดุไดอิเล็กตริกเกิดการชนกันของโมเลกุลภายใน โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) สูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนภายในวัสดุไดอิเล็กตริกนั้น ๆ ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่เป็นวัสดุที่มีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบ ในสภาวะ

ทั่วไปไดอิเล็กตริกสามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล โดยกลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุจะขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดอิเล็กตริก โดยการแบ่งชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริกนั้นสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะ ซึ่งในแต่ละแบบจะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกันแต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบกวน เนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวก โดยที่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนั้นความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดโพลาไรซ์ชนิดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ คือ อันดับแรกนั้นเป็นลักษณะการเกิดโพลาไรซ์แบบสเปซชาร์จ (space charge polarization) โดยการเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF เนื่องจากการเกิดโพลาไรซ์จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดด้วยสิ่งกีดขวาง เมื่อมีการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริกแล้วอิเล็กตรอนก็จะไปสะสมบริเวณที่ส่วนกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน และมีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาไรซ์ โดยการเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้เป็นพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ ต่อมาอันดับที่สองเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบการจัดเรียงไดโพลโมเมนต์ (polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงมาก เช่น ย่านความถี่ไมโครเวฟเนื่องจากจะเกิดขึ้นในระดับของโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ต่อมาเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบไอออนิก (ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ของอินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล และสุดท้ายเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic polarization) โดยจะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงที่ใกล้กับความถี่ของอัลตราไวโอเลต ซึ่งนิวเคลียสของอะตอมซึ่งเป็นประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกของสารที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา กล่าวคือจะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรืออาจจะประกอบไปด้วยน้ำ เช่น หนองหรือแมลง ซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกัน โดยที่การเกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ส่วนวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟลอน (Teflon) หรือแก้ว ซึ่งจะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุโดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ



รูปที่ 2.1 อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลาง

สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารไดอิเล็กตริกนั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในไดอิเล็กตริก นั่นคือ ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวกันตามทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไป ซึ่งทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือเป็นการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงไปตามคาบเวลาของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ไดอิเล็กตริก ซึ่งการหมุนของไดโพลทำให้เกิดความร้อนโดยเกิดจากความเสียดทานภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) สูงพอ โดยจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ เช่น แผลงสังกะสีต่าง ๆ ซึ่งในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะผันกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล



รูปที่ 2.2 โมเลกุลขั้วบวกและขั้วลบพยายามจัดเรียงตัว

ซึ่งจะมีตัวแปรหลักในการพิจารณาประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้งาน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเข้าสู่ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก การดูดกลืนหรือการสูญเสียของคลื่นความถี่และกำลังงานที่ต้องใช้ เป็นต้น โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของคลื่นวิทยุ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นให้เหมาะสมกับค่าไดอิเล็กตริกที่ตัวกลางต่าง ๆ โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสามารถอธิบายได้ด้วยพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นความถี่สูง ซึ่งเป็นค่าสภาพยอมเชิงซ้อน (complex permittivity: ϵ^*) หรือเรียกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (effective dielectric constant) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (2.1)

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.1)$$

โดยที่ ϵ'' คือ ตัวประกอบการสูญเสียประสิทธิผล (effective loss factor) สำหรับพิจารณาการเกิดการสูญเสียในวัสดุไดอิเล็กตริกจะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจำนวนจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน ซึ่งการนิยามการสูญเสียแทนเจนต์ (loss tangent) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (2.2)$$

โดยความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟที่สำคัญที่มีการใช้ในปัจจุบันสำหรับการแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมอบแห้งนั้นจะใช้น่านความถี่วิทยุในช่วง 1-50 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ 915 MHz และ 2450 MHz ซึ่งจะใช้หลักการหมุนของไดโพลเป็นกลไกการสูญเสียที่สำคัญ ดังสมการความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\epsilon'' = \epsilon_d'' + \epsilon_\sigma'' = \epsilon_d'' + \frac{\sigma}{\epsilon_0 \omega} \quad (2.3)$$

และในแพร่กระจายคลื่นจะใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านสายอากาศและอากาศและเข้าสู่ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสัญญาณที่มีลักษณะคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปตามย่านความถี่ต่าง ๆ การแพร่กระจายคลื่นที่ความถี่ต่างกันจะทำให้ไดอิเล็กตริกได้รับคลื่นและระยะทางที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องมีการคำนวณหาการแพร่กระจายคลื่นด้วยความถี่ที่

เหมาะสม เพื่อให้ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกได้รับพลังงานจากการแพร่กระจายคลื่นได้สูงสุด เมื่อมีคลื่นสัญญาณทางไฟฟ้าไหลผ่านสายอากาศหรือลวดตัวนำ จะเกิดสนามแม่เหล็กล้อมรอบตัวนำในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ในการที่จะแพร่คลื่นได้นั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการแมกซ์เวลล์ สมการแมกซ์เวลล์สามารถเขียนในรูปเฟสเซอร์ได้ดังสมการที่ (2.4) และสมการที่ (2.5)

$$\nabla \times \bar{E} = -j\omega\mu\bar{H} \quad (2.4)$$

$$\nabla \times \bar{H} = j\omega\epsilon\bar{E} \quad (2.5)$$

โดยที่	$\bar{E}$	คือ สนามไฟฟ้า (V / m)
	$\bar{H}$	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A / m)
	ω	คือ ความถี่เชิงมุม (rad / s)
	μ	คือ ค่าคงตัวแม่เหล็ก
	ϵ	คือ ค่าคงตัวไฟฟ้า

สำหรับการพิจารณากำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกหรือตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยตัวกลางที่มีการสูญเสียดังกล่าวนั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางนั้นจากสถานะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคประจุไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกและทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่นั้นจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานไมโครเวฟและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งเมื่อ

พิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกำลังงานภายนอกที่ป้อนให้แก่วัสดุไดอิเล็กตริก ตัวกลางสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.6)

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \varepsilon'' \quad (2.6)$$

โดยที่	C_p	คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ($J / kg.K$)
	ρ	คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg / m^3)
	E	คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (V / m)
	t	คือ ระยะเวลา (s)
	ΔT	คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุ ($^{\circ}C$)
	f	คือ ความถี่ (Hz)

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายไปยังตัวรับที่เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกตัวกลางหรือตัวแมลงจากสมการที่ (2.6) นั้นพบว่าพลังงานที่ตกกระทบตัวกลางที่รับพลังงานนั้นจะมีขนาดเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่ห่างออกไปจากตัวปล่อยคลื่น (applicator) เนื่องมาจากการสูญเสียในอากาศที่ทำให้ความเข้มของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์การส่งผ่านกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ Friis (Friis transmission formular) ดังสมการต่อไปนี้ (2.7)

$$P_r = \frac{|E|^2}{Z_\eta} \frac{\lambda^2}{4\pi} G_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2.7)$$

โดยที่	P_t	คือ กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เครื่องส่งหรือตัวปล่อยคลื่น (w)
	P_r	คือ กำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตำแหน่งรับหรือตัวแมลง (w)
	Z_η	คือ อิมพีแดนซ์คลื่นในอากาศ (377Ω)
	λ	คือ ความยาวคลื่น (m)
	G_t	คือ อัตราขยายของสายอากาศส่งหรือตัวปล่อยคลื่น (เท่า)
	G_r	คือ ประสิทธิภาพการรับพลังงานของตัวรับหรือตัวแมลง (เท่า)

d คือ ระยะทางระหว่างตัวปล่อยคลื่นกับตำแหน่งรับหรือตัวแมลง (m)

สำหรับการใช้งานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เมื่อคลื่นเดินทางเข้าไปในตัวกลางแล้วสามารถหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวกลางโดยใช้การวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ยากเกินไป แต่อาจกระทำได้ด้วยการวัดหรือการประมาณจากวิธีการทางแบบจำลองเชิงเลข (numerical modeling) โดยที่ค่ากำลังที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (power absorbed per unit mass: P_d) จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการวัดค่ากำลังงานที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางและในการคำนวณหาอุณหภูมิสูงขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของสมการต่อไปนี้

$$\Delta T = \frac{1}{C_p} P_d \Delta t \quad (2.8)$$

สำหรับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟนั้นพลังงานจะลดลง ลดลง $1/e$ ($e = 2.718$) ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางได้มากกว่าคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นวิทยุมีความถี่ต่ำและมีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นความถี่จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้น ๆ ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับเนื้อวัสดุตัวกลางที่ต้องการนำมาใช้งาน โดยสามารถพิจารณาได้จากการทะลุทะลวงคลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (2.9)

$$dp = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\varepsilon' \left[\sqrt{1 + (\varepsilon''/\varepsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (2.9)$$

โดยที่ d_p คือ ความลึกของการทะลุทะลวง

c คือ ความเร็วแสงในอวกาศว่าง ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)

ดังนั้นในการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่สูงต้นแบบนั้นจะพิจารณาใช้สมการของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาดังสมการที่ (2.6) ถึงสมการที่ (2.8) และความลึกของการเกิดความร้อนที่เข้าไปในชั้นของวัสดุตัวกลาง ดังสมการที่ (2.9) โดยจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.9) ซึ่งเป็นสมการความลึกในการใช้งานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางของไดอิเล็กตริกที่มีความสูญเสียต่ำตามเงื่อนไขดังกล่าวที่มี

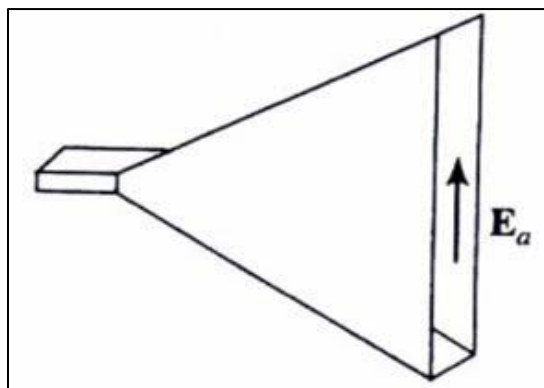
ค่าความถี่เป็นตัวแปร ซึ่งนำไปสู่การพิจารณาในรายละเอียดของปัจจัยในด้านความถี่และกำลังงานที่เหมาะสมในการออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแมลงศัตรูพืชโดยใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงต้นแบบสำหรับกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชได้ต่อไป

2.3 ทฤษฎีการกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ

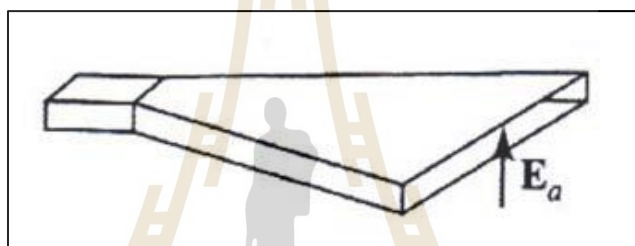
ไมโครเวฟ เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความถี่คลื่นอยู่ระหว่าง 300 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz)—300 จิกะเฮิร์ตซ์ (GHz) และมีความยาวคลื่นอยู่ช่วง 1 มิลลิเมตร- 1 เมตร ความถี่คลื่นที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไป คือ 915 MHz และ 2.45 GHz การให้ความร้อนโดยคลื่นไมโครเวฟมีหลักการที่แตกต่างจากการให้ความร้อนโดยวิธีธรรมดาทั่วไป กล่าวคือ ความร้อนที่วัสดุที่ได้รับคลื่นไมโครเวฟนั้นจะเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเองภายในชิ้นวัสดุ แทนที่จะเกิดจากการได้รับความร้อนถ่ายเทแหล่งกำเนิดความร้อนภายนอก ดังนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นโดยคลื่นไมโครเวฟนี้จะเรียกโดยทั่วไปว่าเป็นความร้อนภายในที่เกิดทั่วถึงชิ้นวัสดุ นอกจากนั้นแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิภายในชิ้นวัสดุและการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นกับวัสดุที่ได้รับความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟนั้น ยังมีลักษณะตรงกันข้ามกับวัสดุที่ได้รับความร้อนโดยวิธีอื่น คือความร้อนภายในชิ้นวัสดุจะสูงกว่าที่ผิวนอก ดังนั้นความร้อนจะถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอก

2.3.1 ส่วนการแพร่คลื่นของสายอากาศปากแตร (Horn Antenna)

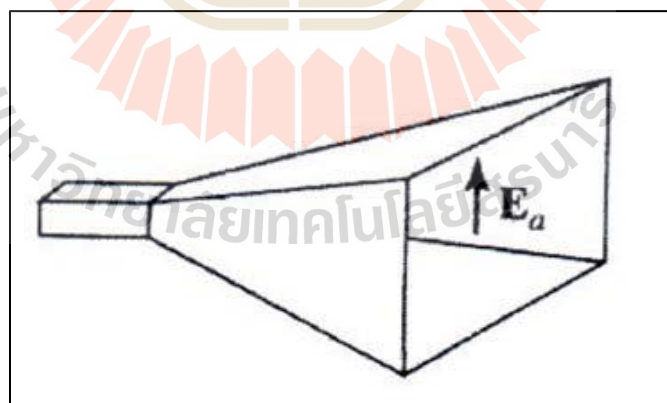
สายอากาศปากแตรเป็นสายอากาศแบบอะเพอเจอร์ (Aperture Antenna) ที่มีการปล่อยพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านออกมาจากอะเพอเจอร์หรือช่องเปิดของสายอากาศ ซึ่งจะมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการทำงานของเครื่องขยายเสียงที่เล็กกว่าเมกะโฟน (Megaphone) หรือไมโครโฟน (Microphone) แบบที่มีตัวสะท้อนพาราโบลา ในกรณีที่ใช้สายอากาศปากแตรทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณอะเพอเจอร์จะถูกใช้สำหรับส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในการออกแบบสายอากาศปากแตรให้มีความกว้างของสัญญาณมากขึ้นนั้น สามารถทำได้โดยการกาง (Flaring) ส่วนของปากแตรให้มีลักษณะตามการเปลี่ยนแปลงของสนามเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งสายอากาศปากแตรรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Horn Antenna) นิยมใช้งานกับย่านความถี่ไมโครเวฟ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เป็นจุดเด่น คือ มีอัตราขยายสูงและมีค่าอัตราคลื่นนิ่งต่ำ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบหลัก ได้แก่ ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane Sectoral Horn) ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane Sectoral Horn) และปากแตรทรงพีระมิด แสดงดังรูป 11,12 และ13 ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามแม่เหล็ก (H-Plane Sectoral Horn)



รูปที่ 2.4 ปากแตรแบบเซกเตอร์ระนาบสนามไฟฟ้า (E-Plane Sectoral Horn)



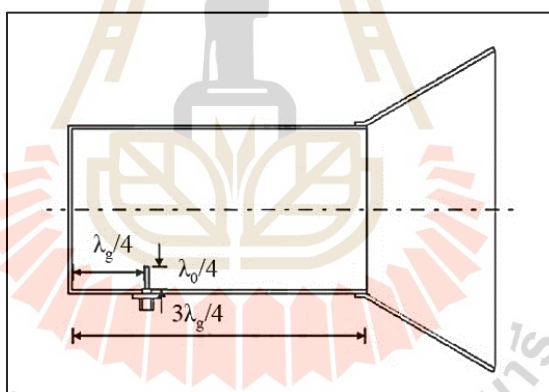
รูปที่ 2.5 ปากแตรทรงพีระมิด

2.3.2 ท่อนำคลื่น

สำหรับการป้อนกำลังงานให้แก่สายอากาศปากแตรนั้น จะใช้ท่อนำคลื่น (Waveguide) ซึ่งเป็นสายส่งสัญญาณชนิดหนึ่งที่เปรียบเสมือนสายนำสัญญาณ โคแอกเชียลที่ไม่มีตัวนำตรงกลาง โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือท่อเหลี่ยมขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ดังรูปที่ 2.6 ท่อนำคลื่นนิยมทำมาจากทองแดงหรืออลูมิเนียม ใช้สำหรับการส่งผ่านกำลังงานจากจุดป้อน คือสายอากาศไดโพลขนาดเล็ก (short Dipole) ไปยังสายอากาศปากแตรดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ลักษณะของท่อนำคลื่นแบบ (ก) ท่อเหลี่ยมและ (ข) ท่อกลม



รูปที่ 2.7 ท่อนำคลื่นที่มีสายอากาศไดโพลขนาดเล็กเป็นจุดป้อนสัญญาณ

2.3.3 การคำนวณหาค่าอัตราขยายและกำลังของสายอากาศ

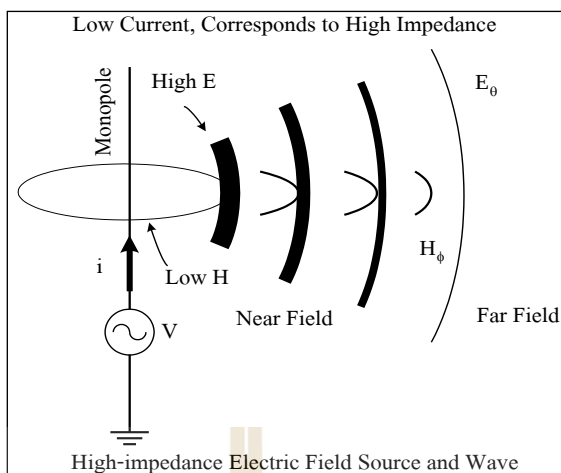
สมการของฟรีส (Friis Transmission Equation) เป็นสมการการส่งผ่านพื้นฐานที่ใช้สำหรับการคำนวณหาอัตราขยายและกำลังของสายอากาศ โดยสมการการส่งผ่านของฟรีสที่นำมาใช้ ดังสมการที่ 2.10

$$P_r(dB) - P_t(dB) = G_r(dB) + 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (2.10)$$

โดยที่ P_t	คือ กำลังที่ป้อนให้กับสายอากาศส่ง
P_r	คือ กำลังที่รับได้จากสายอากาศรับ
G_t	คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
G_r	คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
R	คือ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

2.3.4 สายอากาศโมโนโพล

สายอากาศโมโนโพล เป็นการพัฒนารูปแบบและการทำงานมาจากสายอากาศไดโพล ที่ทำงานแบบสองขั้ว โครงสร้างจะเป็นสายส่งสองตัวนำปลายเปิดสองเส้น จุดที่ความยาวจากปลายสุดเท่ากับ $\lambda/4$ เมื่อโค้ง รื้อหักงอให้ปลายสายมีลักษณะบานออกหรือหันไปทางตรงข้ามกัน จะทำให้สายตัวนำเกิดการแผ่กระจายคลื่นออกไป เรียกว่าสายอากาศไดโพล ความยาวทั้งหมดของสายอากาศไดโพลเป็น เท่ากับ $\lambda/2$ ของความถี่ที่ใช้งาน ส่วนสายอากาศโมโนโพลจะใช้ตัวนำด้านบนเพียงด้านเดียวที่เป็นตัวแผ่กระจายคลื่น ส่วนตัวนำด้านล่างจะเป็นระนาบกราวด์ ที่ความถี่เดียวกันสายอากาศโมโนโพลจะมีความยาวตัวแผ่กระจายคลื่น เท่ากับ $\lambda/4$ แต่สายอากาศไดโพลจะเท่ากับ $\lambda/4$ ทั้งสองข้าง พิจารณาได้ว่า สายอากาศโมโนโพลอาศัยการทำงานครึ่งหนึ่งของสายอากาศไดโพล และมีระนาบกราวด์เข้ามาทดแทนอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้การทำงานสมบูรณ์ จากรูปที่ 2.8 รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศโมโนโพลจะคล้ายกับสายอากาศไดโพล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระนาบกราวด์ซึ่งในทางอุดมคติระนาบกราวด์สายอากาศโมโนโพลจะเป็นระบบสมมาตรแบบ และเป็นอนันต์ส่งผลให้การแผ่กระจายคลื่นเพียงด้านเดียว แต่ในทางปฏิบัติจะพบว่า ไม่สามารถออกแบบระนาบกราวด์ได้ตามอุดมคติ ในทางปฏิบัติระนาบกราวด์จึงเล็กกว่าในทางทฤษฎีมาก จึงทำให้รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นเกิดการเปลี่ยนทิศทางออกไปทางด้านหลังของระนาบด้วย หากออกแบบระนาบกราวด์ขนาดเล็กมาก จะพบว่า รูปแบบการแผ่กระจายคลื่นมีลักษณะคล้ายกลับไดโพล มักจะเรียกว่า มีรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นคล้ายรอบตัว (like omnidirectional)



รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ให้ภาวะความต้านทานสูง

2.4 พารามิเตอร์ที่สำคัญของสายอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

2.4.1 อิมพีแดนซ์ขาเข้า (Input Impedance)

เมื่อพิจารณาสายอากาศเสมือนเป็นชิ้นส่วนหนึ่งในวงจรไฟฟ้า และต่อแหล่งกำเนิดสัญญาณเพื่อป้อนพลังงานให้กับสายอากาศ พลังงานจะไหลเข้าสู่สายอากาศที่ละน้อย แต่จะมีปรากฏการณ์การต้านการไหลของพลังงานที่เรียกว่าอิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน อิมพีแดนซ์เกิดขึ้นที่หัวของสายอากาศเรียกว่าอิมพีแดนซ์ขาเข้า สามารถหาได้ดังสมการข้างล่างนี้

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2.10)$$

โดยที่	Z_{in}	คืออิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่หัว
	R_{in}	คือความต้านทานภายในของสายอากาศที่หัว
	X_{in}	คือรีแอกแตนซ์ของสายอากาศที่หัว

2.4.2 อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง (Voltage Standing Wave Ratio)

อัตราส่วนแรงดันคลื่นนิ่ง คือ อัตราส่วนของแรงดันสูงสุดและแรงดันต่ำสุดของรูปคลื่นนิ่งบนสายสัญญาณ อัตราส่วนนี้เป็นค่าวัดปริมาณแรงดันที่ไหลคว่ำผิวดไปจากสภาวะที่ไหลคมทวนกันน้อยเท่าไรตัวอย่าง เช่น $VSWR = 1$ หมายความว่าคลื่นสม่ำเสมอตลอดสาย ซึ่งเป็น

สถานะที่โหลดแมทช์พอดี $VSWR =$ อินฟินิตี้ เมื่อ โหลด (Z_L) เป็ดวงจรหรือลัดวงจร ค่าแรงดันคลื่นนิ่งสามารถหาได้จาก

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2.11)$$

โดยที่ $\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}$

เมื่อ Γ คือ ความต้านทานเชิงจินตภาพ

V_r คือ แรงดันสะท้อนกลับ

V_i คือ แรงดันตกกระทบ

ซึ่งสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับสามารถหาได้จากอัตราส่วนผลต่างและผลรวมระหว่างโหลดกับอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

เมื่อ Z_L คือ โหลดอิมพีแดนซ์

Z_0 คือ อิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายนำสัญญาณ

2.4.3 การสูญเสียจากการสะท้อนกลับ (Return Loss)

การสูญเสียจากการสะท้อนกลับของสายอากาศจะแสดงค่ากำลังที่สูญเสียที่โหลดเมื่ออิมพีแดนซ์ของสายส่งและสายอากาศไม่แมตช์กัน ค่าการสูญเสียเนื่องจากการสะท้อนกลับมีความสัมพันธ์กับค่า $VSWR$ ซึ่งแสดงถึงการแมตช์อิมพีแดนซ์ระหว่างสายส่งกับสายอากาศ โดยค่าการสูญเสียจากการสะท้อนกลับสามารถหาได้จากสมการข้างล่างนี้

$$S_{11} = -20 \log_{10} |\Gamma| \text{ (dB)} \quad (2.12)$$

สำหรับการแมทช์อิมพีแดนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างสายส่งและสายอากาศ จะเกิดขึ้นเมื่อ $\Gamma = 0$ ซึ่งจะทำให้ค่าการสูญเสียย้อนกลับเป็นอนันต์ ซึ่งแสดงว่าไม่มีกำลังงานที่สะท้อนกลับ ในทางตรงกันข้ามเมื่อ $\Gamma = 1$ ค่าการสูญเสียย้อนกลับจะเป็น 0 dB แสดงว่ากำลังงานสะท้อนกลับหมด

สำหรับการนำไปใช้งานที่แสดงถึงประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้น VSWR ไม่ควรมีค่าเกิน 2 ซึ่งที่ตำแหน่งนี้ค่าของการสูญเสียย้อนกลับ S_{11} จะเป็นมีค่า -9.54 dB โดยประมาณ

2.4.4 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

แบนด์วิดท์ของสายอากาศจะถูกกำหนดโดยย่านของความถี่ที่เกิดจากผลต่างระหว่างความถี่ด้านสูงกับความถี่ด้านต่ำซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสายอากาศนั้น ๆ โดยทั่วไปแบนด์วิดท์จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความถี่กลาง (Center Frequency) ซึ่งช่วงของความถี่หรือแบนด์วิดท์ถูกกำหนดโดย $VSWR \leq 2$ ($S_{11} \geq -9.5$ dB) ปกติใช้ $S_{11} \geq -10$ dB

$$BW_{\text{narrowband}} = \frac{f_u - f_l}{f_c} \times 100 \quad (2.13)$$

$$BW_{\text{broadband}} = \frac{f_u}{f_l} \times 100 \quad (2.14)$$

เมื่อ BW คือ แบนด์วิดท์ของสายอากาศ
 f_u คือ ขอบความถี่ด้านสูงของย่านความถี่
 f_l คือ ขอบความถี่ด้านต่ำของย่านความถี่
 f_c คือ ความถี่กลางของย่านความถี่

2.4.5 ประสิทธิภาพของสายอากาศ (Antenna Efficiency)

ประสิทธิภาพของสายอากาศมีความสัมพันธ์ต่อเกนหรือก็คืออัตราขยายของสายอากาศ ถ้าสายอากาศมีประสิทธิภาพสูงก็จะทำให้เกนสูงเช่นกัน ซึ่งผลรวมประสิทธิภาพนี้จะใช้แทนค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นที่จุดเชื่อมต่อสายอากาศ หรือก็คือข้อจำกัดของสายอากาศ สมการของประสิทธิภาพรวมของสายอากาศสามารถเขียนได้ดังนี้

$$e_0 = e_r e_c e_d \quad (2.15)$$

โดยที่ e_0 คือ ประสิทธิภาพรวมของสายอากาศ
 e_r คือ ประสิทธิภาพจากการสะท้อนกลับเนื่องจากมีความไม่เหมาะสมกันระหว่างสายส่งกับสายอากาศ ซึ่ง $e_r = (1 - |\Gamma|^2)$

e_c คือ ประสิทธิภาพของการเป็นตัวนำ

e_d คือ ประสิทธิภาพของการเป็นฉนวน

Γ คือ สัมประสิทธิ์ของแรงดันสะท้อนกลับที่ขั้วขาเข้าของสายอากาศ

ขณะที่ Z_{in} คือ อิมพีแดนซ์ขาเข้า Z_0 คือ ค่าอิมพีแดนซ์คุณลักษณะของสายส่งแบบโคแอกเชียลโดยทั่วไปแล้วจะคำนวณหาค่า e_c และ e_d ได้ยากมาก แต่จะสามารถหาค่าได้จากการทดลอง แม้แต่การวัดก็ยังไม่สามารถหาการแยกค่าประสิทธิภาพทั้งสองออกจากกันได้ ดังนั้นเพื่อความสะดวกจะรวม e_c และ e_d เข้าด้วยกัน เป็นสมการใหม่ดังนี้

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd} (1 - |\Gamma|^2) \quad (2.16)$$

โดยที่ $e_{cd} = e_c e_d$ = ประสิทธิภาพในการแพร่กระจายของสายอากาศ ซึ่งจะสัมพันธ์กับอัตราขยายและการชี้ทิศทาง

2.4.6 สภาพเจาะจงทิศทาง (Directivity)

ไดเรกทิวิตีเป็นค่าที่บอกความสามารถเชิงทิศทางของสายอากาศ เป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มของการแผ่พลังงานในทิศทางที่สนใจกับความเข้มของการแผ่พลังงานโดยเฉลี่ย เมื่อสมมุติว่ามีการแผ่พลังงานออกไปรอบทิศทางอย่างเท่าเทียมกัน โดยละเลยกำลังงานส่วนที่สูญเสียไป

$$D = \frac{U}{U_i} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (2.17)$$

เมื่อ D คือ สภาพเจาะจงทิศทางของสายอากาศ

U คือ ความเข้มของการแผ่พลังงาน

U_i คือ ความเข้มเฉลี่ยของการแผ่พลังงาน

P_{rad} คือ กำลังงานที่สายอากาศแผ่ออกไป

โดยทั่วไปถ้าไม่เจาะจงทิศทางจะใช้ทิศทางที่สายอากาศแผ่พลังงานได้ดีที่สุด

$$D = \frac{U_{max}}{U_i} = \frac{4\pi U_{max}}{P_{rad}} \quad (2.18)$$

2.4.7 แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ (Radiation Pattern)

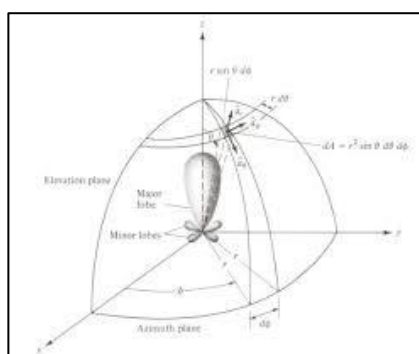
แบบรูปการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Pattern) คือรูปภาพที่ใช้เพื่อแสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพิกัดในอากาศ (Space Coordinate) โดยส่วนใหญ่แบบรูปการแผ่กระจายคลื่นนี้มักจะพิจารณาในบริเวณสนามระยะไกล (Far Field)

การอธิบายคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น จะอาศัยคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ ความเข้มของการแผ่กระจายคลื่น (Radiation Intensity) ความเข้มของสนาม (Field Strength) เฟส (Phase) หรือโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ใช้เพื่อแสดงรูปแบบของพลังงานที่เป็นฟังก์ชันของตำแหน่งสามมิติที่มีรัศมีคงที่ ซึ่งพิจารณาได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแผ่กระจายคลื่นในระยะต่างๆ

Antenna size (D)	$D \ll \lambda$	$D \approx \lambda$	$D \gg \lambda$
Reactive near field	$r < \lambda / 2\pi$	$r < \lambda / 2\pi$	$r < \lambda / 2\pi$
Radiating near field	$\lambda / 2\pi < r < 3\lambda$	$\lambda / 2\pi < r < 3\lambda \text{ and } 2D^2 / \lambda$	$\lambda / 2\pi < r < 2D^2 / \lambda$
Far field	$r > 3\lambda$	$r > 3\lambda \text{ and } 2D^2 / \lambda$	$r > 2D^2 / \lambda$

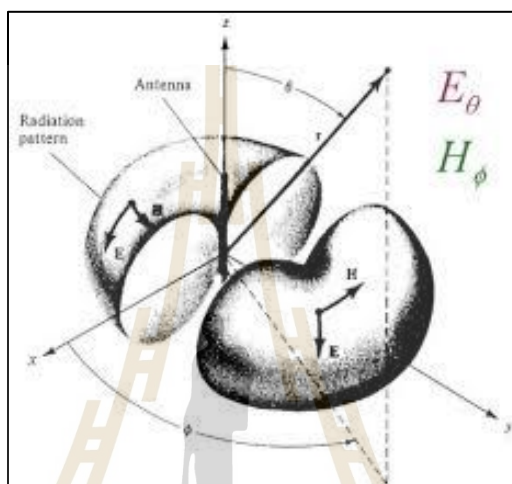
รูปที่ 2.9 แสดงระบบโคออดิเนต ที่ใช้แสดงคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่น สำหรับการใช้นั้นเพื่อแสดงกำลังงานที่สายอากาศรับได้ตามแนวรัศมีที่มีค่าคงที่มีชื่อเรียกว่า แบบรูปกำลังงาน (Power Pattern) ของสายอากาศ และกราฟที่แสดงการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าในทิศทางต่าง ๆ ที่มีรัศมีคงที่ เรียกว่าแบบรูปสนาม (Field Pattern) ของสายอากาศนั้น



รูปที่ 2.9 ระบบโคออดิเนตสำหรับการวิเคราะห์สายอากาศ

2.4.8 สายอากาศแบบอสมิตรีไดเรกชันแนล

ตัวแผ่กระจายคลื่นไอโซโทรปิก (Isotropic Radiator) คือสายอากาศที่ถูกสมมุติขึ้น โดยมีคุณสมบัติของการแผ่กระจายคลื่นเท่ากันในทุกทิศทางด้วยความเข้มสนามเท่ากัน โดยจะเป็นสายอากาศแบบหนึ่งที่ไม่สามารถสร้างจริงได้ แต่มักจะใช้เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับสายอากาศจริงเกี่ยวกับการแสดงคุณสมบัติ แสดงทิศทางของสายอากาศ



รูปที่ 2.10 แบบรูปของสายอากาศแบบอสมิตรีไดเรกชันแนล (Omni-directional)

สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omni-directional Antenna) นี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10 ส่วนสายอากาศแบบชี้ทิศทาง (Directional Antenna) คือสายอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือการรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ดี โดยเฉพาะทิศทางที่กำหนดเท่านั้น

ดังนั้นในส่วนของการออกแบบสายอากาศเพื่อที่จะนำไปใช้เป็นตัวแผ่คลื่นความถี่จึงจะต้องคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของสายอากาศ คือ การแมทซ์อิมพีแดนซ์ขาเข้าของสายอากาศ โดยจะดูค่าจากอัตราส่วนคลื่นนิ่งเพื่อที่จะเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด รวมไปถึงรูปแบบการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศอีกด้วย

บทที่ 3

การออกแบบระบบสำหรับการได้แมลงโมโนคังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง

3.1 กล่าวนำ

ในเนื้อหาบทความนี้แสดงถึงการออกแบบและจำลองโครงสร้างตัวปล่อยคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟกำลังสูงของสายอากาศปากแตรทรงพีระมิด และการออกแบบเครื่องปล่อยคลื่นความถี่สูง ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของงานวิจัยนี้ ซึ่งจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข ซึ่งการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ใช้งานที่คลื่นความถี่ 2.45 GHz ต่อมาจะเป็นการออกแบบในส่วนของห้องที่ในการทดลองและเก็บผลโดยใช้โปรแกรม SolidWorks และสุดท้ายจำลองการแผ่กระจายของคลื่น

3.2 การจำลองออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง

3.2.1 การออกแบบโพรง (Cavity)

โดยส่วนใหญ่ท่อนำคลื่นและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบใช้กันในงานทางด้านอุตสาหกรรมมักจะทำจากอะลูมิเนียมและทองแดงเนื่องจากมีข้อดีคือไม่เกิดสนิมและอัตราการลดทอนมีค่าต่ำ ซึ่งค่าอัตราการลดทอนเป็นตัวที่บอกถึงค่าการสูญเสียที่บริเวณผิวของโลหะสามารถพิจารณาได้จาก

$$\alpha_c = \frac{1}{\eta b} \left[\frac{\pi f u}{\sigma \left(1 - \left(\frac{f_c}{f} \right)^2 \right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left[1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{f_c}{f} \right)^2 \right] \quad (3.1)$$

เมื่อ α_c คือ ค่าอัตราการลดทอน (dB/m)

η คือ ค่าอิมพีแดนซ์จริงของวัสดุไดอิเล็กตริก

a คือ ความกว้างของโพรง

b คือ ความสูงของโพรง

σ คือ สภาพนำไฟฟ้า

f_c คือ ความถี่ตัด

ซึ่งในการออกแบบสายอากาศจะต้องพิจารณาค่าสภาพนำทางไฟฟ้า ค่าอัตราการลดทอน และค่ากำลังสูญเสียของวัสดุที่ใช้ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อะลูมิเนียมในการสร้างโครง ซึ่งนอกจากอะลูมิเนียมจะมีค่าลดทอนและสูญเสียกำลังงานต่ำแล้วยังสามารถเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและสามารถหาได้ง่าย และราคาถูกเหมาะสมในการเลือกใช้งานในด้านออกแบบเป็นตัวปล่อยคลื่น ซึ่งค่าการลดทอน (Attenuation) และค่าการสูญเสียกำลังงาน (Power Loss) ของโลหะชนิดต่างๆที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าการลดทอนและค่าการสูญเสียกำลังงาน

พารามิเตอร์	ขนาดของ โครง a x b (มิลลิเมตร)	ทองแดง	อะลูมิเนียม	เหล็กกล้าไร้ สนิม
สภาพนำไฟฟ้า (โอห์ม/เมตร)	n/a	5.5×10^7	3.0×10^7	1.4×10^6
อัตราการลดทอน (เดซิเบล/เมตร)	86 x 43	2.28×10^2	3.09×10^2	1.43×10^{-1}
กำลังสูญเสีย (วัตต์/เมตร) ที่ 25 กิโลวัตต์	86 x 43	132	178	837

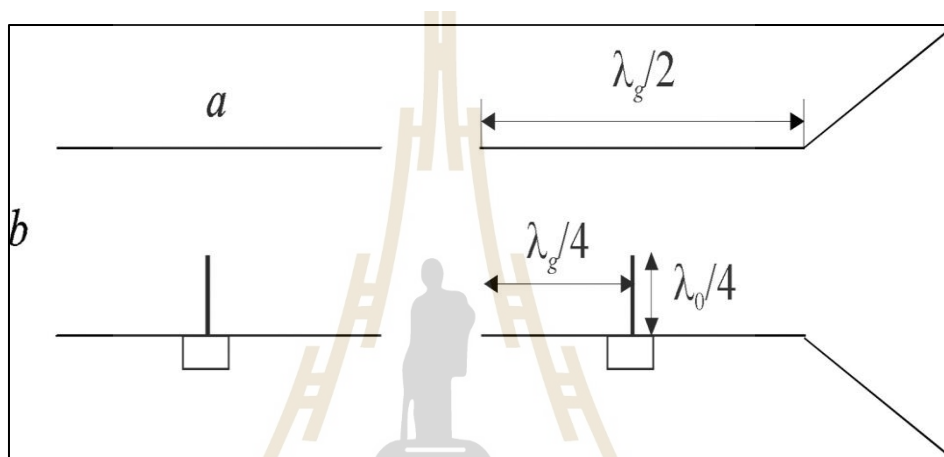
ที่มา : พิชญา ชัยปัญญา; และอภิญา อินทรนอก. (2550). เครื่องส่งความถี่วิทยุ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ กำลังงานสูง.

ขั้นตอนแรกในการสร้างสายอากาศแบบปากแตรคือการกำหนดความถี่ของสายอากาศที่ต้องการ ช่วงการทำงานของอัตราขยายของสายอากาศ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดอัตราส่วนของกำลังส่งในทิศทางของการแผ่รังสีที่สูงสุด

ขนาดของท่อนำคลื่นจะขึ้นอยู่กับความถี่ในการใช้งาน ดังรูปที่ 3.1 เป็นการแสดงท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม โดยที่ a คือความกว้างและ b คือความสูงของขนาดท่อนำคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งขนาดตัวโครงท่อนำคลื่นควรมีขนาดเท่ากับมาตรฐาน WR-430 โดยกำหนดให้ $a = 10.922$ cm และ $b =$

5.461 cm ความถี่ของท่อนำคลื่นสำหรับความถี่ของ 2.437 GHz เท่ากับความยาวคลื่นความถี่ตัด λ_g กำหนดโดยสมการที่ 3.2 ขณะที่ λ_0 คือความยาวคลื่นในที่ว่างและ λ_c คือความยาวคลื่นของความถี่ cut off สำหรับโหมดของการแพร่คลื่น

$$\lambda_g = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.1 การออกแบบท่อนำคลื่น

ความยาวคลื่นในอากาศแสง λ_0 กำหนดโดย

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_c} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2.45 \times 10^9 \text{ GHz}} = 12.3 \text{ cm} \quad (3.3)$$

ลำดับโหมดที่สูงขึ้นของการส่งสัญญาณในรูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าของท่อนำคลื่นขึ้นอยู่กับขนาดของความยาวคลื่นของโหมดต่างๆ คำนวณโดย

$$(\lambda_c)_{mn} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}} \quad (3.4)$$

โดยที่ m และ n เป็นจำนวนเต็ม โหมดแรกของการส่งผ่านคือ TE₁₀ ($m=1, n=0$) ดังนั้น $(\lambda_c)_{10} = 2a = 21.844$ cm โดย λ_0 และ λ_c ในสมการที่ xx เราจะได้ $\lambda_g = 14.88$ cm ดังนั้นจะได้ความลึกของท่อนำคลื่น $\lambda_g / 2$ เท่ากับ 7.44 cm

ต่อมาเป็นการกำหนดตำแหน่งจุดฟีดของสัญญาณโดยระยะห่างของจุดฟีดป้อนสัญญาณจากขอบท่อนำคลื่นดังรูป เท่ากับ $1/4$ ของความยาวคลื่นภายในท่อนำคลื่น นั่นคือ $\lambda_g / 4 = 3.72$ cm ความสูงของสายอากาศฟีดสัญญาณเท่ากับ $1/4$ ของความยาวคลื่นในพื้นที่ว่าง $\lambda_0 / 4 = 3.075$ cm

หลังจากคำนวณพารามิเตอร์ของท่อนำคลื่นแล้ว ต่อไปจะเป็นการการกำหนดขนาดปากแตรที่อัตราขยาย 15 dB สมการการคำนวณหาอัตราขยายของสายอากาศปากแตร

$$G = \epsilon_{ap} \times \frac{4\pi}{\lambda_0^2} \times A_{ap} \quad (3.5)$$

โดยที่ λ_0 คือความยาวคลื่น

ϵ_{ap} คือประสิทธิภาพโพรงปกติเท่ากับ 0.51

A_{ap} คือบริเวณโพรง ($A \times B$)

จากสมการ จะได้

$$A_{ap} = 0.07614$$

รูปที่ 3.2 เป็นการแสดงการออกแบบสายอากาศจำเป็นต้องหาขนาดของสายอากาศซึ่งสมการต่อไปนี้จะใช้สำหรับท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยมสายสายอากาศปากแตร

$$A \times B = 0.07614$$

$$\rho_H \left(1 - \frac{a}{A}\right) = \rho_E \left(1 - \left(\frac{b}{B}\right)\right) = R_H = R_E \quad (3.6)$$

$$A = \sqrt{3\lambda\rho_H} \quad (3.7)$$

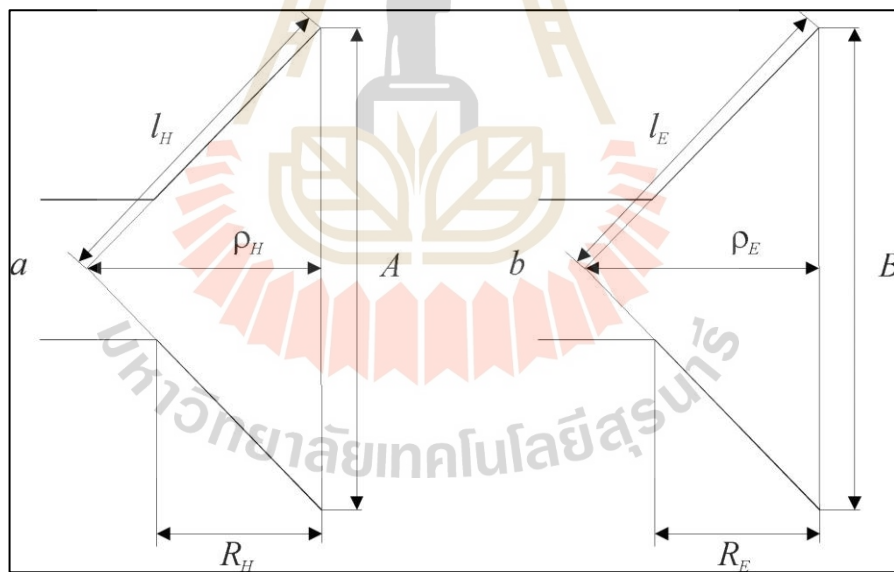
$$B = \sqrt{2\lambda\rho_E} \quad (3.8)$$

$$\rho_H / R_H = A / (A - a) \quad (3.9)$$

$$\rho_E / R_E = B / (B - b) \quad (3.10)$$

$$l_g = \sqrt{\rho_H^2 + \left(\frac{A}{2}\right)^2} \quad (3.11)$$

$$l_E = \sqrt{\rho_E^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2} \quad (3.12)$$



รูปที่ 3.2 การออกแบบปากแตร

เพื่อนำผลการคำนวณจากสมการมาใช้ในการงานที่ต้องการออกแบบสายอากาศปากแตร โดยค่าที่ได้จะเป็นไปตามตารางที่ 3 2

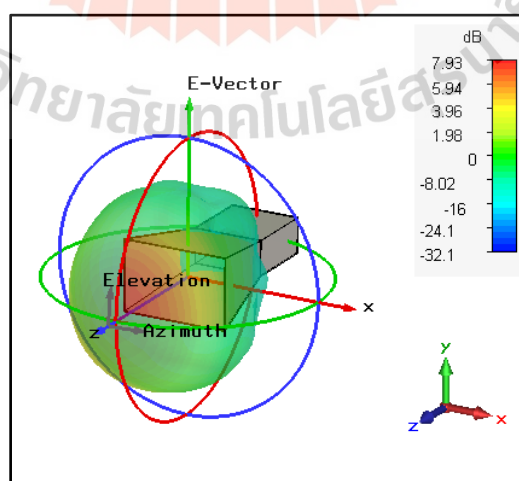
ตารางที่ 3.2 ค่าที่ใช้ในการออกแบบสายอากาศปากแตร

A(m)	B(m)	a(m)	b(m)	ρ_H (m)	ρ_E (m)	$R_E = R_H$ (m)	l_H (m)	l_E (m)
0.321	0.242	0.1103	0.0557	0.272	0.232	0.1796	0.2074	0.2015

จากการคำนวณทำให้พบว่าค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างสายอากาศปากแตรพีระมิดที่มีอัตราขยายที่ต้องการใช้งานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ความกว้างของท่อนำคลื่น a มีค่าเท่ากับ 0.1103 เมตร ความสูงของท่อนำคลื่น b มีค่าเท่ากับ 0.0557 เมตร ความกว้างของสายอากาศปากแตร A มีค่าเท่ากับ 0.321 เมตร และความสูงของปลายสายอากาศปากแตร B มีค่าเท่ากับ 0.242 เมตร ρ_H มีค่าเท่ากับ 0.272 เมตร ρ_E มีค่าเท่ากับ 0.232 เมตร ระยะห่างระหว่างปลายท่อนำคลื่นกับปลายปากแตรในระนาบสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1796 เมตร ซึ่งค่าที่ได้จากการคำนวณทั้งหมดนี้จะถูกนำไปจำลองแบบในโปรแกรม CST Microwave Studio ต่อไป

3.2.2 การออกแบบสายอากาศด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio

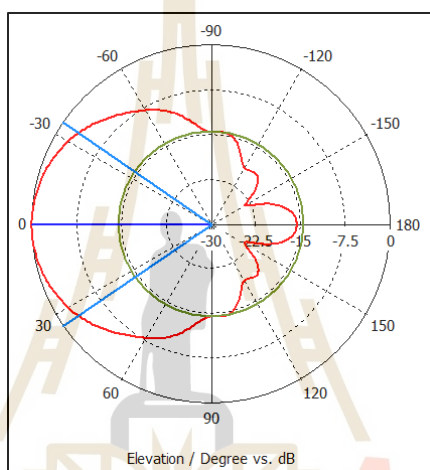
ลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยท่อนำคลื่นที่ตอนปลายเปิดกว้างออกมากกว่าปกติ ซึ่งเรียกส่วนปลายเปิดนั้นว่า “ปากแตร” ปากแตรจะบานทั้งสองทิศทางมีรูปร่างเหมือนพีระมิดถูกตัดยอดออกดังรูปที่ 3.3 การออกแบบจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาค่าการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ ในการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ใช้งานที่คลื่นความถี่ 2.45 GHz ในส่วนแรกจะทำการออกแบบและจำลองผลต่อ



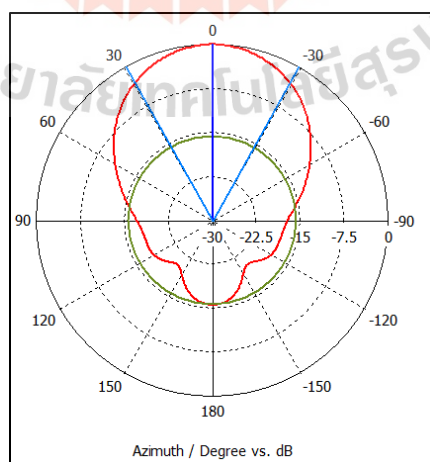
รูปที่ 3.3 ผลการจำลองสายอากาศปากแตร

โดยรูปที่ 3.3 เป็นรูปท่อนำคลื่นที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อใช้ส่งผ่านคลื่นความถี่ที่ 2.45 GHz โดยคลื่นความถี่จะมีทิศทางการแพร่กระจายไปในแนวแกน z ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการจำลองผลการแพร่กระจายคลื่นในสนามไกลเพื่อดูทิศทางการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายเทียบกับไอโซโทปิก ซึ่งมีหน่วยเป็น dBi จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยาย 7.93 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz

สายอากาศมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานจากการจำลองผลในระนาบ สนามไฟฟ้า (E-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.5

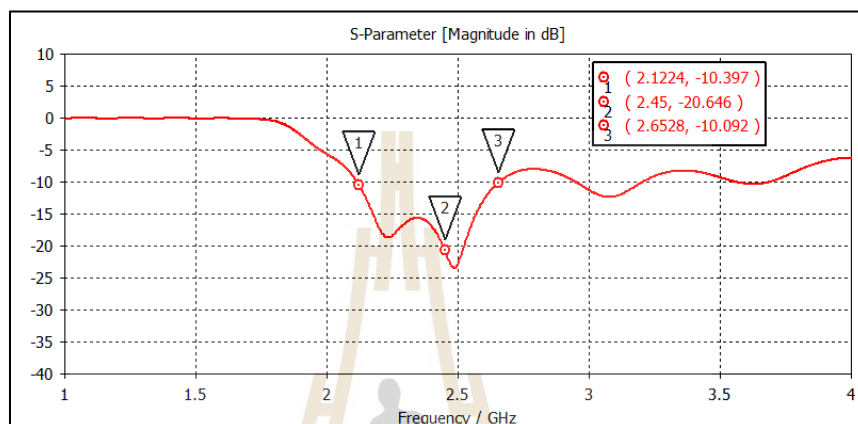


รูปที่ 3.4 ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)

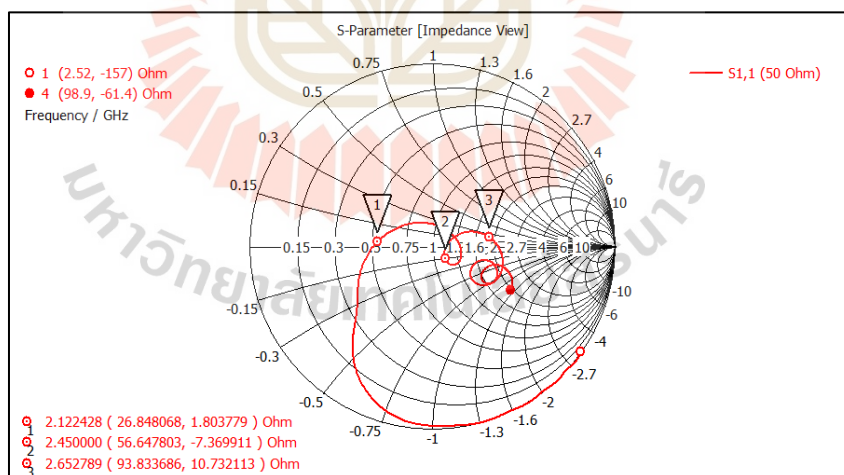


รูปที่ 3.5 ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

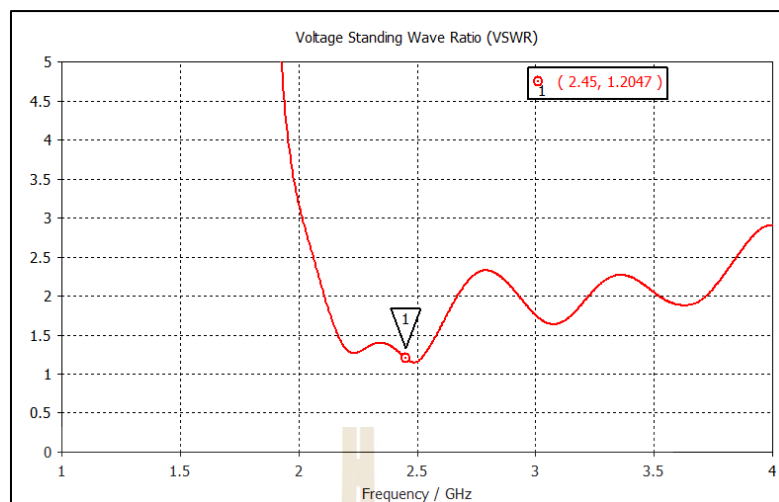
สำหรับส่วนของการจำลองผลทำนายค่าความถี่นั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นแล้วยังต้องคำนึงถึงค่า s-parameter ที่ใช้ในย่านความถี่ที่เราต้องการ ซึ่งดูได้จากรูปที่ 3.6 เป็นกราฟการแสดงค่ากำลังงานสะท้อนกลับในแต่ละย่านความถี่ที่ได้จำลองผล จะเห็นได้ว่าที่ ความถี่ 2.45 GHz มีการสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB



รูปที่ 3.6 กราฟการแสดงค่ากำลังงานสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB



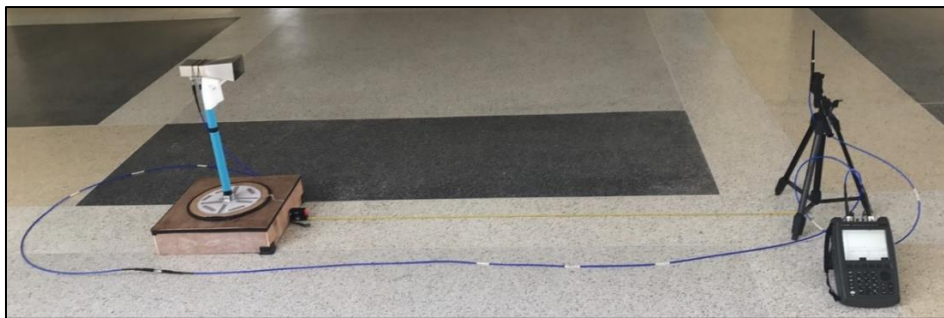
รูปที่ 3.7 ความถี่ 2.45 GHz มีอิมพีแดนซ์อยู่ที่ 56.64 - j7.36 โอห์ม



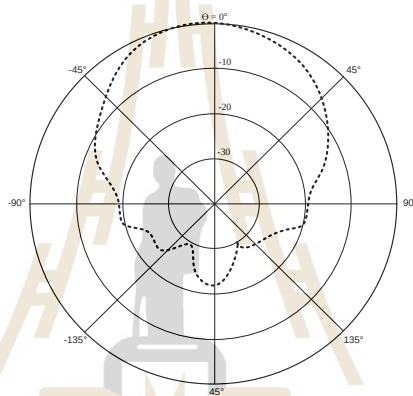
รูปที่ 3.8 ที่ความถี่ 2.45 GHz ค่า VSWR อยู่ที่ 1.2:1

3.3 ผลการวัดการแผ่กระจายกำลังงานและอัตราขยาย

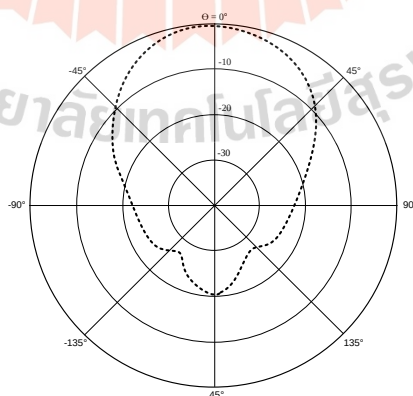
ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศปากแตรสำหรับการได้แมลงในโกดังเก็บข้าว โดยทำการวัดด้วยเครื่อง (Field Fox) Radiation Pattern Measurement สำหรับแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้น คือ รูปที่ใช้เพื่อเป็นตัวบ่งบอกลักษณะการแผ่กระจายคลื่นของสายอากาศที่เป็นฟังก์ชันของทิศทาง โดยการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศนั้น จะทำการวัดที่บริเวณ สนามระยะไกล (far field region) ทั้งในระนาบของสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) โดยสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดยที่ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับที่ทำการทดสอบที่ความถี่ต่ำสุด และ D คือ ขนาดความกว้างด้านหน้าของสายอากาศและ λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้คำนวณ โดยใช้ทดสอบอ้างอิงที่ความถี่ 2.45 GHz ดังนั้นที่สนามระยะไกลจะกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับเท่ากับ 24 เซนติเมตร ซึ่งในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยจะทำการหมุนสายอากาศต้นแบบเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นจาก 0 องศา จนถึง 360 องศา ไปยังสายอากาศตัวรับแบบไดโพลที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่สายอากาศต้นส่งที่ความถี่ 2.45 GHz โดยสายอากาศรับและส่งนั้นต้องมีโพลาไรซ์ที่เหมือนกัน และระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งเป็นการเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 3.9 การวัดการแผ่กระจายพลังงานและอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ



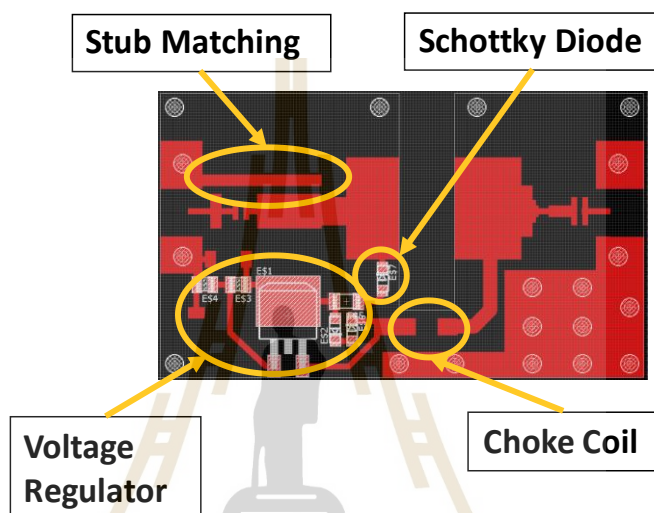
รูปที่ 3.10 การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz



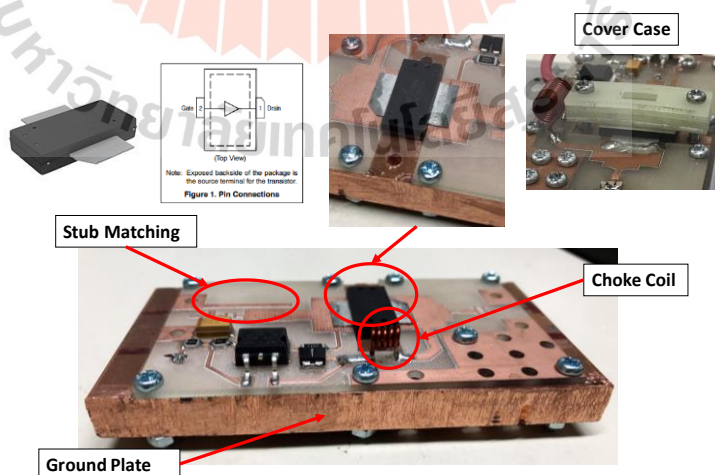
รูปที่ 3.11 การแผ่กระจายกำลังงานในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

3.4 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

การออกแบบในส่วนของวงจรขยายสัญญาณ โดยใช้ RF Power LDMOS Transistor (Freescale Semiconductor: MRF24300N) เพื่อใช้สำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใช้สำหรับการทดลองการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ในการออกแบบใช้วัสดุฐานรองชนิด FR-4 สำหรับทำแผ่นวงจรซึ่งออกแบบด้วยหลักการ Micro-strip line ออกแบบที่ความถี่ 2.45 GHz



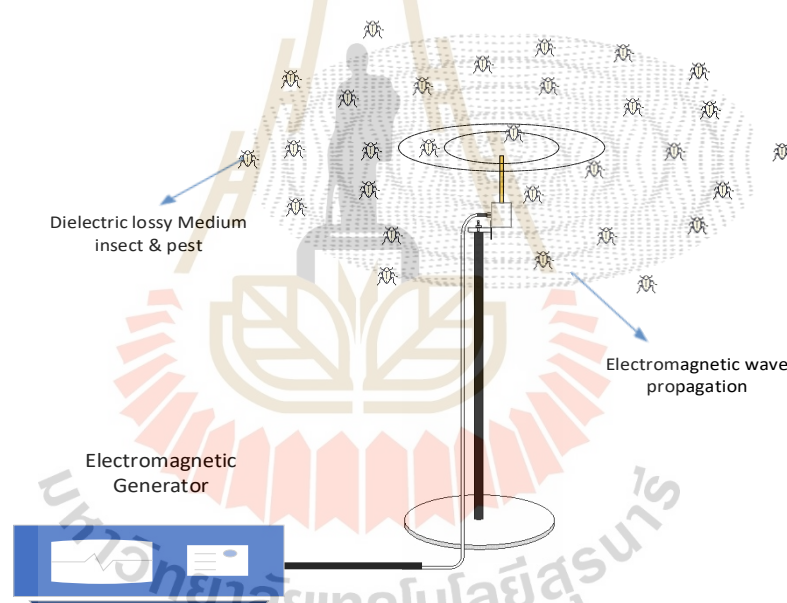
รูปที่ 3.12 แบบวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 2.45 GHz

3.5 การทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

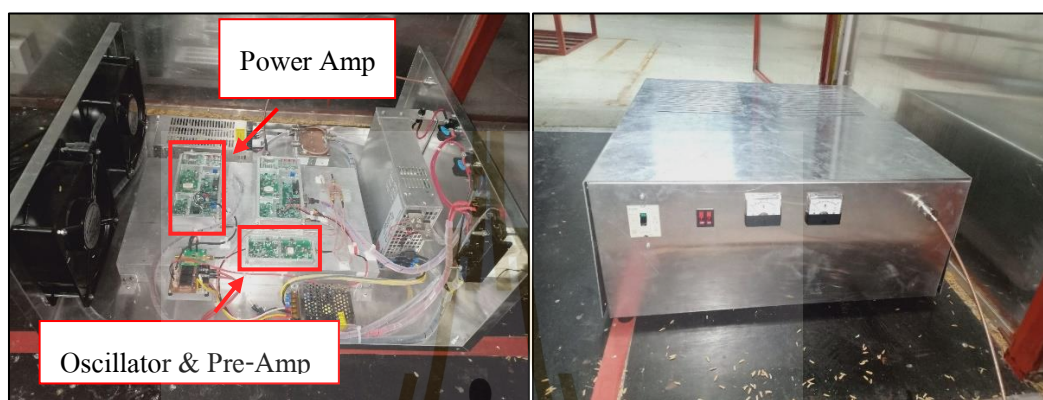
โดยลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชสามารถแสดงได้ดัง 32 ซึ่งระบบนั้นสามารถติดตั้งลักษณะคือ ให้มีการแผ่พลังงานแบบรอบตัวในทุกทิศทาง โดยเมื่อแมลงศัตรูพืชบินเข้ามาในอาณาบริเวณที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปจะทำให้ตัวแมลงเกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นและจะรบกวนการดำรงชีวิตที่เป็นปกติของแมลง ทำให้ต้องบินหนีออกไปจากบริเวณดังกล่าว หรือถ้าแมลงบินเข้ามาในบริเวณที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเข้มสูงจะทำให้ตัวแมลงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงบินออกจากบริเวณนั้นและในส่วนที่แมลงไม่สามารถบินได้ เช่น ตัวอ่อน และไข่ จะตายในที่สุด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการติดตั้งบนพื้นที่เกษตรกรรม



รูปที่ 3.14 ลักษณะ โครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลง

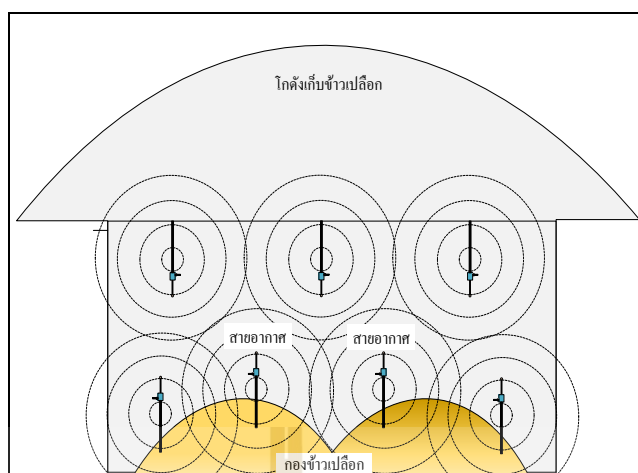
โดยภาควจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Oscillator) ของระบบนั้นจะกำเนิดสัญญาณที่มีขนาดกำลังประมาณ 120 – 200 W ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ ลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของแหล่งกำเนิดจะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตชิงอิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตช์ระหว่างภาควจรกำเนิดความถี่สูงกับภาคการแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่น (applicator) เพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร โดยสามารถออกแบบให้สามารถกำเนิดความถี่และปรับขนาดของ

กำลังงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้กำลังงานเอาต์พุตที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่สูงจะส่งผ่านไปยังภาควงจรการแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่นในภาคสุดท้ายของระบบ เพื่อให้พลังงานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปยังตัวกลางที่มีการสูญเสียที่เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกหรือตัวแมลงศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.15 ลักษณะ โครงสร้างภายในและภายนอกเครื่องขับไล่แมลง

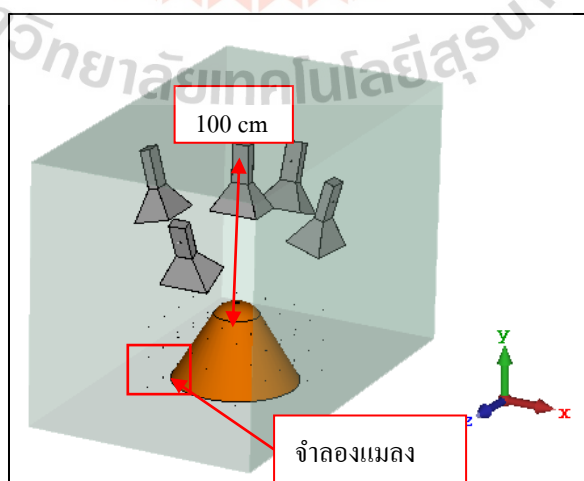
การจัดวางระบบโครงสร้างของสายอากาศในการแพร่คลื่นสัญญาณภายในโกดังเก็บข้าวเปลือกขนาดใหญ่ ใช้เป็นรูปแบบของการวางสายอากาศให้กระจายไปทั่วโกดังเก็บข้าวเปลือก โดยสายอากาศทั้งหมดจะถูกแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ติดตั้งอยู่กับเพดานของโกดังและส่วนที่ใช้เสียบไว้ที่กองข้าวเปลือก ดังแสดงในรูปที่ 3.16 เพื่อให้สามารถไล่แมลงและแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โคนส่วนที่ติดตั้งไว้บนเพดานของโกดังจะแพร่คลื่นเพื่อไล่แมลงที่อยู่ภายในอากาศ เมื่อแมลงได้รับพลังงานจากการแพร่คลื่นทำให้ตัวของแมลงมีการสะสมความร้อน และในส่วนของสายอากาศที่เสียบไว้กับกองข้าวเปลือกจะแพร่คลื่นเข้าไปในกองข้าวเปลือกและอากาศที่อยู่ในโกดัง ทำให้แมลงและแมลงที่อยู่ในกองข้าวเปลือกและอากาศพลังงานจากการแพร่คลื่นและทำให้เกิดความร้อนสะสมเช่นเดียวกับการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนเพดานของโกดัง



รูปที่ 3.16 การติดตั้งเสาอากาศของเครื่องไล่แมลงและแมลงภายใน โกดังเก็บข้าวเปลือก

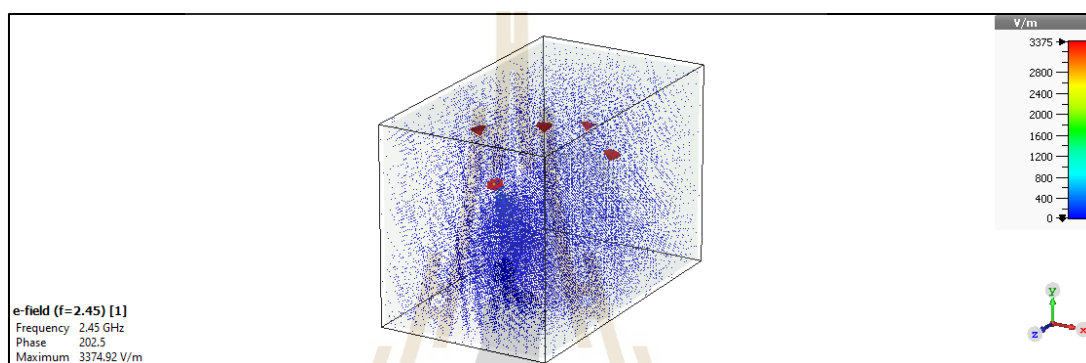
3.6 การจำลองการแพร่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการดูดซับพลังงาน

ในการออกแบบระบบเครื่องขับไล่แมลงใน โรงเก็บข้าวนี้จะมีการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม CST EM Software โดยตำแหน่งที่ใช้ในการออกแบบจากตัวปล่อยคลื่นไปยังตัวทดสอบหรือแมลงจะห่างกัน 1 เมตร เพื่อหาอัตราการดูดซับพลังงานของวัสดุที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงรู้สึกรำคาญจนบินนี้ออกจากบริเวณนั้น ซึ่งในการจำลองนี้ได้ออกแบบจำลองกองข้าว และแมลงในบริเวณกองข้าวเพื่อที่จะหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางตำแหน่งเสาอากาศให้ครอบคลุมอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังรูปที่ 3.17 และ 3.18



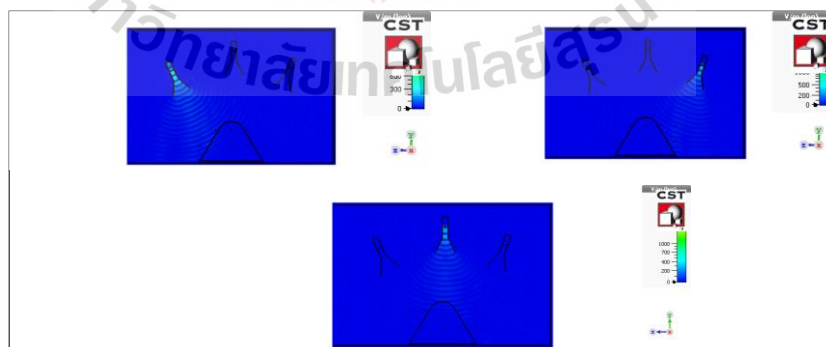
รูปที่ 3.17 ระยะห่างระหว่างตัวปล่อยคลื่นและแมลง

เพื่อที่จะให้เข้าใจถึงการแพร่กระจายคลื่นจึงได้จำลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกมาจากสายอากาศทั้ง 5 ตัว จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า e-field ในห้องทดลองที่สร้างขึ้นกระจายตัวทั่วบริเวณห้องควบคุมมีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 3374.92 V/m ที่คลื่นความถี่ 2.45 GHz แต่บริเวณที่ด้านขอบความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะลดลงตามระยะจากสายอากาศ สายอากาศทั้ง 5 ตัว การแพร่กระจายของสนามไฟฟ้ากระจายตัวครอบคลุมทั่วบริเวณห้อง ดังรูปที่ 3.18

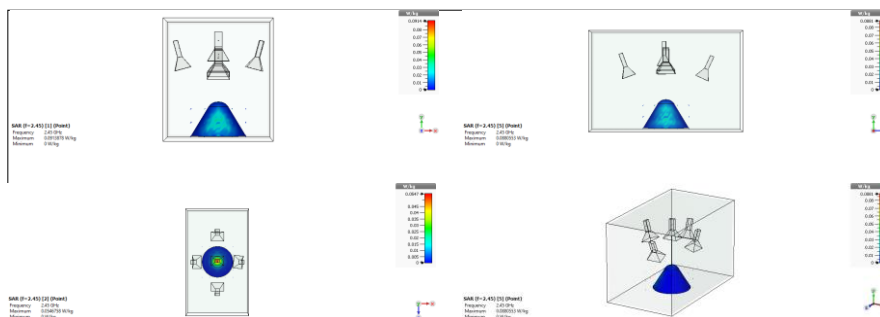


รูปที่ 3.18 แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าภายในห้องทดลอง

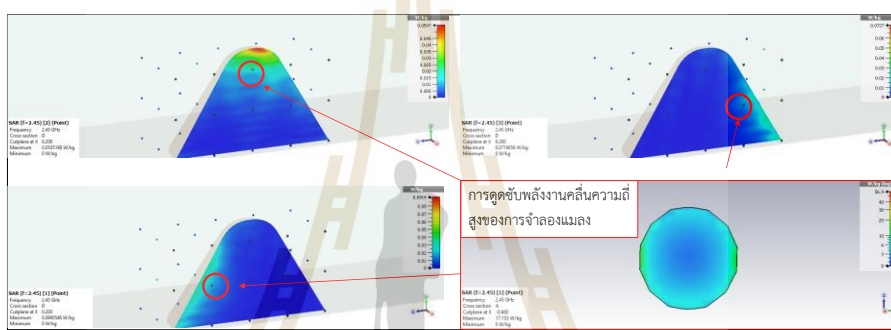
รูปที่ 3.19 เป็นการแสดงรูป cross section A ของสนาม e-field ที่ตำแหน่งสายอากาศตำแหน่งต่างๆ ซึ่งจะได้ค่าสนามสูงสุด 4309.34 V/m



รูปที่ 3.19 ผลการ Simulation ของตัวแมลง



รูปที่ 3.20 ผลการ Simulation ของตัวแมลง



รูปที่ 3.21 ผลการดูดซับ Simulation ของตัวแมลง

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นว่าตัวแมลงสามารถดูดซับคลื่นพลังงานได้ ต่อไปก็จะนำค่าที่ได้จากผลการ Simulation คือค่าอัตราการดูดซับไปคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากสมการที่ 2.8 ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงร่าคาญเวลาที่ใช้เท่าไร จากแบบจำลองเราต้องการหาเวลาที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียสจากความลึกต่างๆ ดังนี้

$$\Delta T = \frac{1}{C_p} P_d \Delta t \quad (3.10)$$

จะได้ เวลาที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นดังตารางข้างล่าง

ตารางที่ 3.3 ระยะเวลาที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

ความลึก	ค่าสนามไฟฟ้า (W/kg)	เวลา (s)	เวลา (min)
20	0.0171986	232.6	3.9
35	0.00423216	945.1	15.8
50	0.000430965	9281.5	154.7

3.7 สรุป

เนื้อหาที่สำคัญของบทนี้เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการวิเคราะห์ และออกแบบสายอากาศปากแตรและสายอากาศรอบตัวสำหรับประยุกต์ใช้กับการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว ซึ่งในการออกแบบสายอากาศดังกล่าวนี้ใช้โปรแกรมสำหรับ CST เพื่อหาค่าขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ จากผลการจำลองแบบทำให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์กว้างครอบคลุมย่านความถี่ปฏิบัติการสำหรับการขับไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นแบบมีทิศทาง และได้ทำการจำลองดูการตอบสนองทางความถี่ของแมลง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้เห็นถึงการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก และได้ทำการจำลองเพื่อหาค่าการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียเป็นความร้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 กล่าวนำ

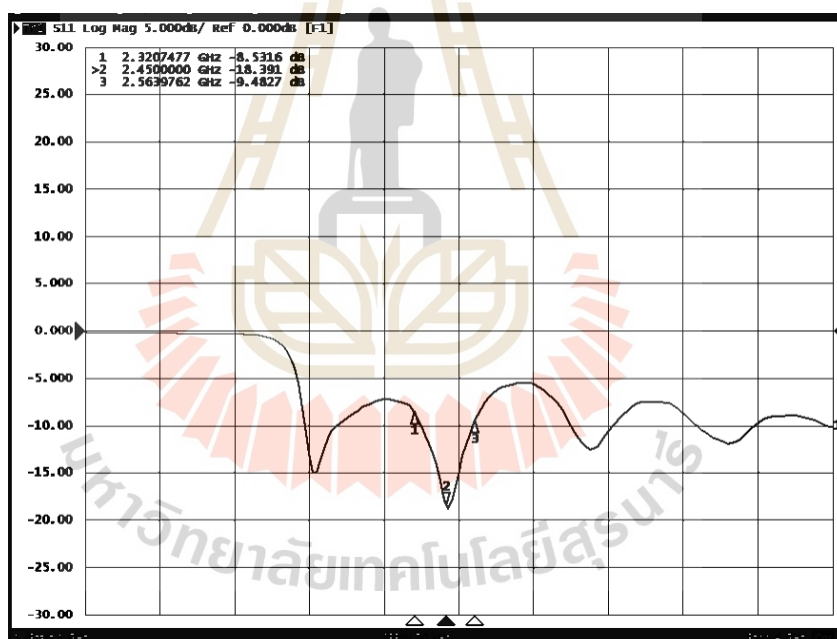
จากการกล่าวถึงการทดสอบสายอากาศสำหรับการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว เมื่อพิจารณาจากการออกแบบแบบจำลองผลพบว่า ผลที่ได้นั้นมีสอดคล้องกับทฤษฎี ดังนั้นจะต้องมีการสร้างและวัดทดสอบผล เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้และการออกแบบระบบการทดลองไล่แมลงด้วยความถี่สูง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ Electromagnetic wave generator, antenna, และ rice ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการนำทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมาเพื่อใช้สำหรับการออกแบบสร้างชิ้นงาน รวมถึงการทดลองวัดค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นสายอากาศแบบปากแตร สำหรับประยุกต์ใช้งานการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว โดยทำการทดลองวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (input reflection coefficient : S11) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ vector network analyzer (E5071C, Keysight Technology) เพื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio จากนั้นจะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เกิดขึ้นโดยถ่ายภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน IR camera (U5857A True IR, Keysight Technology)

4.2 การทดสอบการตอบสนองที่มีผลต่อคุณสมบัติของข้าวเปลือก

เพื่อทดสอบการตอบสนองของคลื่นความถี่ที่ 2.45 GHz กับกองข้าวเปลือกที่ระยะห่าง 100 cm โดยทำการทดลองวัดค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (input reflection coefficient : S11) ในช่วงความถี่ 2.45 GHz



รูปที่ 4.1 การวัดการตอบสนองของคลื่นความถี่ 2.45 GHz



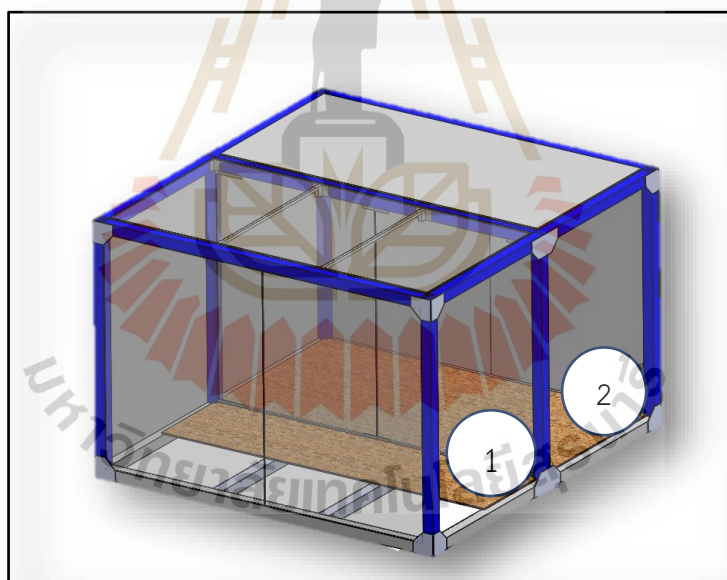
รูปที่ 4.2 การตอบสนองความถี่ 2.45 GHz

เมื่อพิจารณาค่าความสูญเสียเนื่องจากการย้อนกลับ (input reflection coefficient : S11) ในช่วงความถี่ 2.45 GHz ที่ระยะ 100 cm พบว่า มีการตอบสนองที่ดีที่สุด การตอบสนองความถี่ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลอง ซึ่งในลำดับถัดไปจะได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการได้แมลงด้วยหลักการความถี่สูงแบบไดอิเล็กตริก โดยการทดสอบประสิทธิภาพจะทำการทดลองโดย

การเก็บผลของอัตราประชากรแมลงโดยจะเลือกหุ้มา 5 ตำแหน่งในบริเวณกองข้าวเปลือกของ
ทุกๆสัปดาห์เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในหัวข้อต่อไป

4.3 การออกแบบห้องทดลอง

โดยการดำเนินการทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของเครื่อง
ไล่แมลงด้วยความถี่สูง ได้ทำการแบ่งห้องทดลองสำหรับการเก็บข้าวเปลือกออกเป็น 2 ห้อง ที่แต่ละ
ห้องมีขนาด 260 x 300 x 170 cm เพื่อที่จะทำการเก็บผลอัตราของประชากรแมลงในกอง
ข้าวเปลือกเปรียบเทียบระหว่างห้องที่ใช้คลื่นความถี่สูงควบคุมกับห้องที่ไม่มีการควบคุมเป็น
ระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยช่วงที่สัปดาห์ที่ 1 ทั้ง 2 ห้องไม่มีการควบคุมเพื่อที่จะสังเกตว่ามีแมลงใน
กองข้าวอยู่หรือไม่ ต่อมาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ห้องหมายเลข 1 มีการควบคุมด้วยคลื่น
ความถี่สูง ส่วนห้องหมายเลขที่ 2 ไม่มีการควบคุม ตามรูปที่ 4.3 และ 4.4



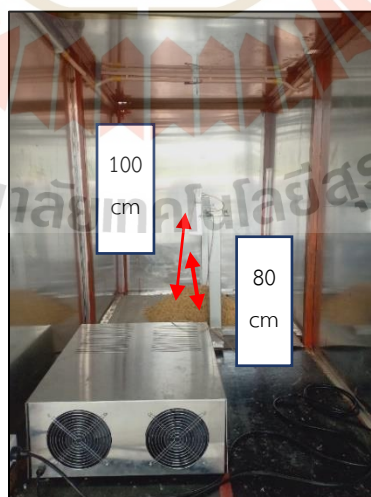
รูปที่ 4.3 แบบจำลองห้องโดยใช้โปรแกรม Solid work



รูปที่ 4.4 ห้องที่ออกแบบใช้ในการทดลองเก็บข้าวเปลือก

4.4 การทดลอง

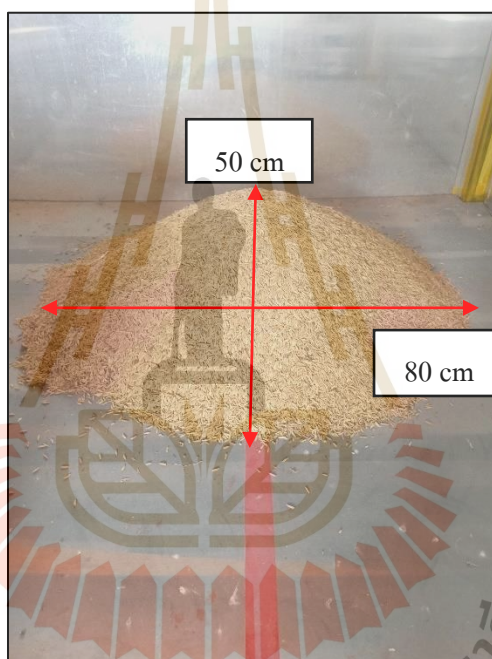
วัตถุประสงค์การทดลองเพื่อทดสอบผลการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวในโกดังเก็บข้าวด้วยการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริกทำการวางระยะห่างสายอากาศกับกองข้าวเปลือกและปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูง เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบของเวลาที่มีผลต่อคลื่นความถี่สูงในการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริกให้กับกองข้าว โดยในการทดลองได้มีการปรับระยะห่างเป็น 100 cm โดยใช้ขนาดกำลังอยู่ที่ 126 วัตต์ ดังรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 กองข้าวเปลือกของทั้ง 2 ห้องที่ใช้ในการทดลองมีขนาด ฐานxสูง อยู่ที่ 80x50 cm ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.5 แสดงการวางตำแหน่งสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก



รูปที่ 4.6 แรงดันที่ใช้ 18 v กระแส 7 A กำลังงานที่ปล่อยไปยังสายอากาศอยู่ที่ 126 W



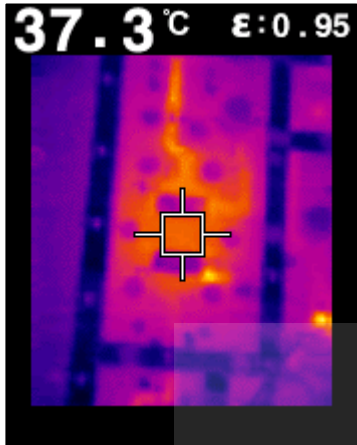
รูปที่ 4.7 ขนาดของกองข้าวเปลือก 50x80 cm

การปล่อยคลื่นด้วยความถี่สูงเพื่อทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยการเก็บข้าวไว้ในโกดังเก็บจำลองที่มีกองข้าวเปลือก ทั้ง 2 ห้อง ห้องหมายเลข 1 เก็บข้าวเปลือกโดยมีการควบคุมด้วยความถี่สูงส่วนห้องหมายเลข 2 ไม่มีการควบคุม แล้วทำการวัดอุณหภูมิและเก็บผลจำนวนประชากรของแมลงเพื่อเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 ห้อง ไปเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ทำการเก็บผล 3 ครั้ง และทำการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องวัดอุณหภูมิ FLIR TG167 ดังตารางที่ 4.1

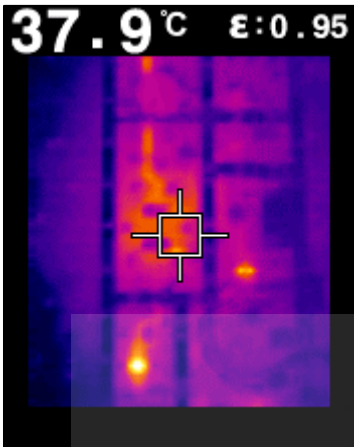
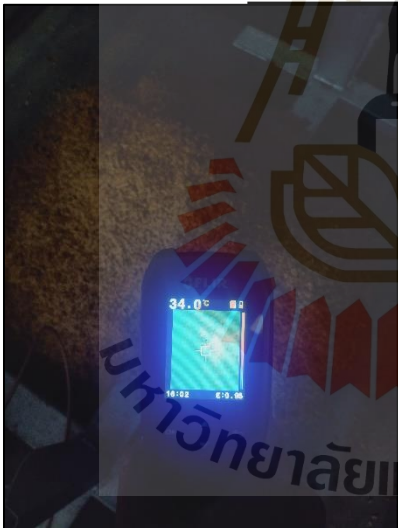
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 1

สัปดาห์ที่ 1 อุณหภูมิของ MOSFET	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 2

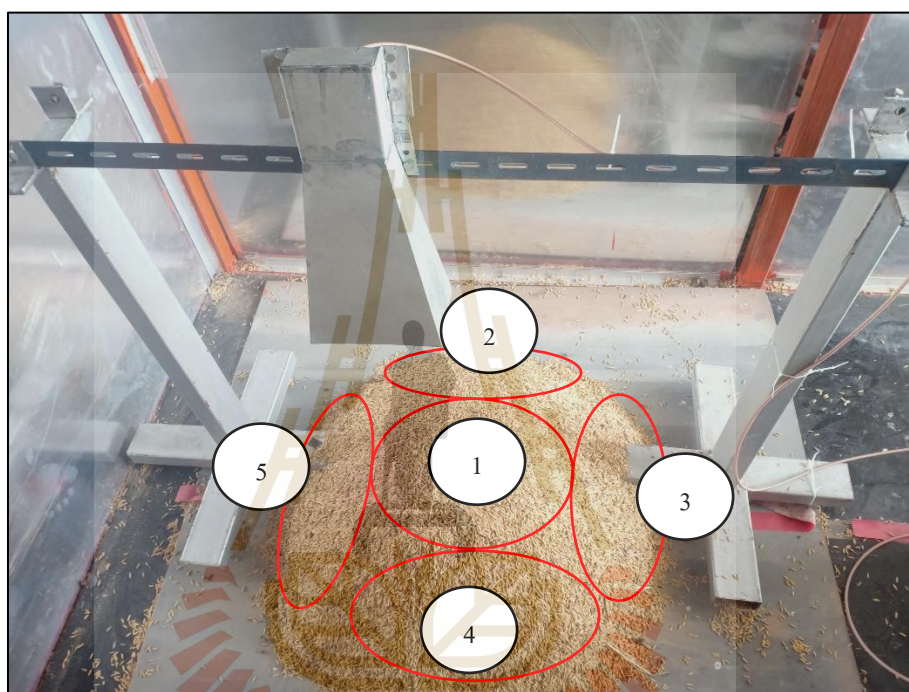
สัปดาห์ที่ 2	
 อุณหภูมิของ MOSFET	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2
	

ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 ของสัปดาห์ที่ 3

สัปดาห์ที่ 3  อุณหภูมิของ MOSFET	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2
	

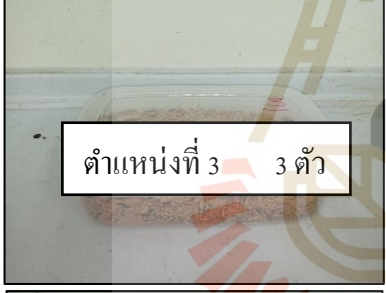
เพื่อแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องไล่แมลงด้วยความถี่สูง ผู้ทดลองได้ทำการปล่อยคลื่นความถี่สูงที่กำลังงาน 126 w แบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บผลจำนวนแมลงทั้ง 2 โดยแบ่งบริเวณออกเป็น 5 ตำแหน่งดังรูปที่ 4.9 ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 1 ถึงสัปดาห์ที่ 3 เป็นจำนวน 3 ครั้ง ได้ผลว่าในสัปดาห์ที่ 1 ห้องหมายเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 0,1,3,1,2 ตัว ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 4,2,3,3,4 ตัว ตามลำดับ ต่อมาในสัปดาห์ที่ 2 ห้องหมายเลข 1 ที่

ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 0,1,2,2,1 ตัว ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 6,3,5,4,6 ตัว ตามลำดับ และในสัปดาห์ที่ 3 ห้องหมายเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 0,1,2,1,3 ตัว ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 7,7,5,6,8 ตัว ตามลำดับ และสรุปในรูปแบบแผนภูมิในแผนภูมิที่ 4.1 และ 4.2

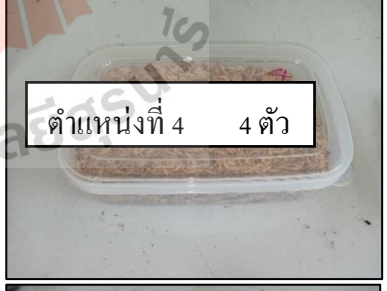


รูปที่ 4.8 บริเวณตำแหน่งที่สุ่มนับจำนวนแมลง

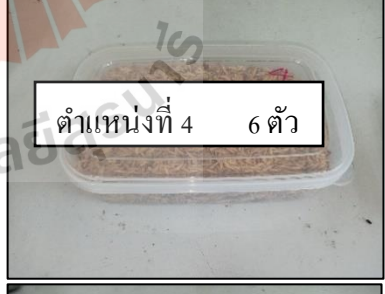
ตารางที่ 4.4 สัปดาห์ที่ 1 จำนวนแมลงในบริเวณ 5 ตำแหน่งของทั้งสองห้อง

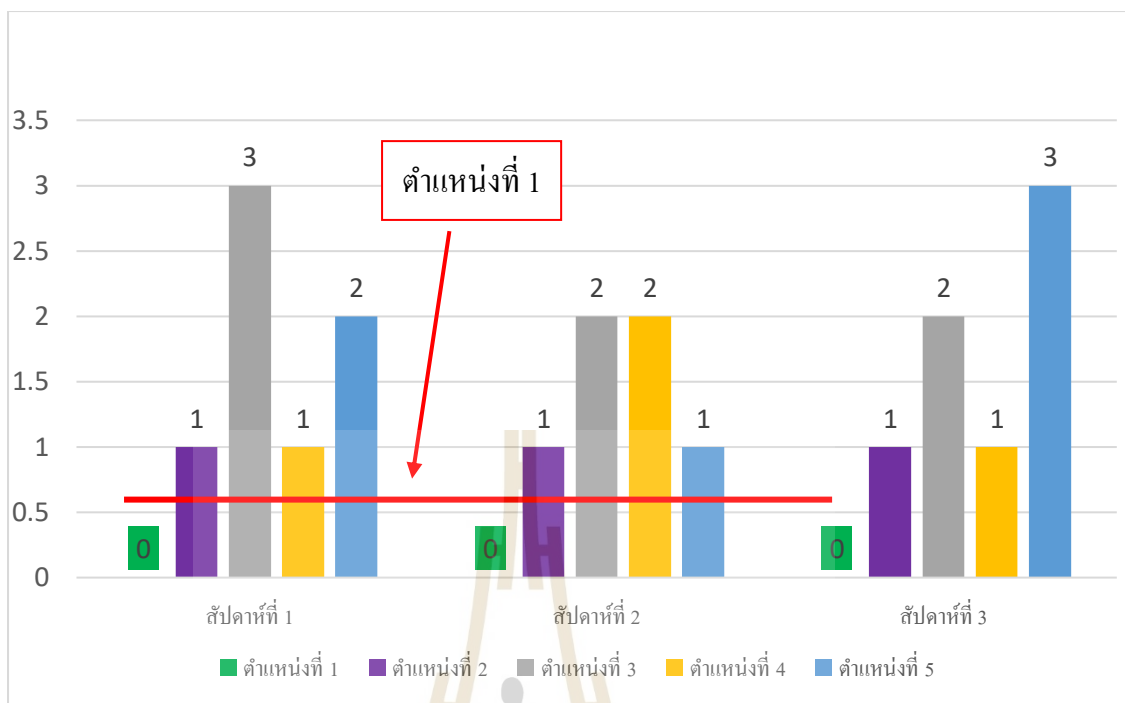
สัปดาห์ที่ 1	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2
	
	
	
	
	

ตารางที่ 4.5 สัปดาห์ที่ 2 จำนวนแมลงในบริเวณ 5 ตำแหน่งของทั้งสองห้อง

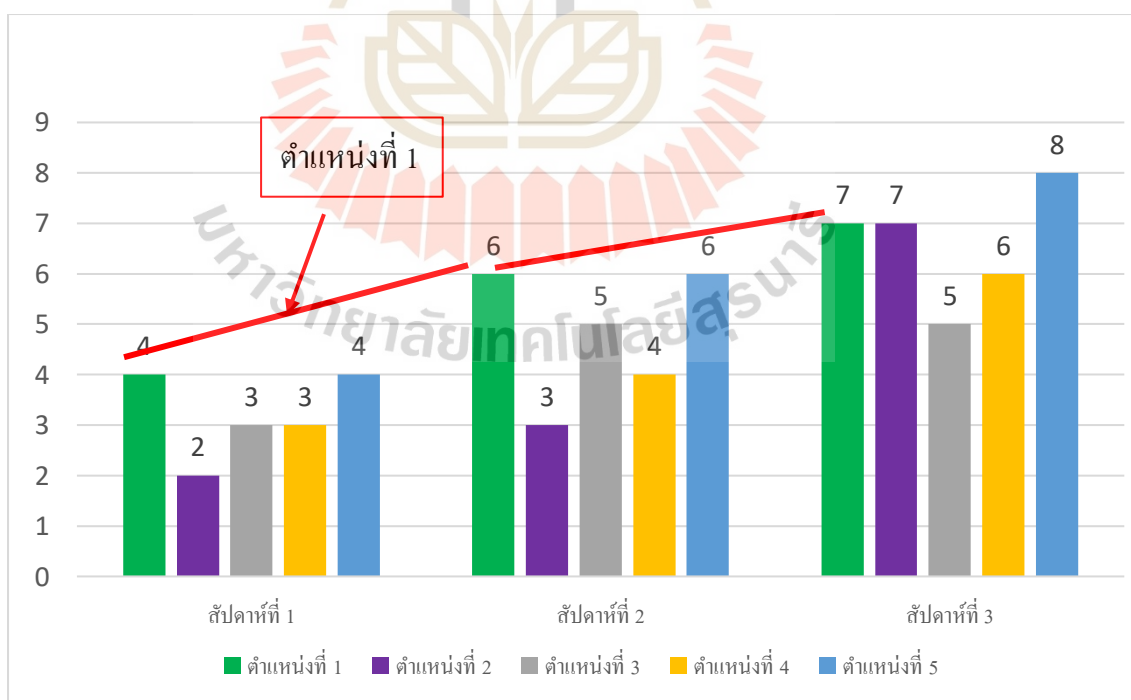
สัปดาห์ที่ 2	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2
	
	
	
	
	

ตารางที่ 4.6 สัปดาห์ที่ 3 จำนวนแมลงในบริเวณ 5 ตำแหน่งของทั้งสองห้อง

สัปดาห์ที่ 3	
ห้องหมายเลข 1	ห้องหมายเลข 2
 ตำแหน่งที่ 1 0 ตัว	 ตำแหน่งที่ 1 7 ตัว
 ตำแหน่งที่ 2 1 ตัว	 ตำแหน่งที่ 2 7 ตัว
 ตำแหน่งที่ 3 2 ตัว	 ตำแหน่งที่ 3 5 ตัว
 ตำแหน่งที่ 4 1 ตัว	 ตำแหน่งที่ 4 6 ตัว
 ตำแหน่งที่ 5 3 ตัว	 ตำแหน่งที่ 5 8 ตัว



รูปที่ 4.9 แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 1 ทั้ง 3 สัปดาห์



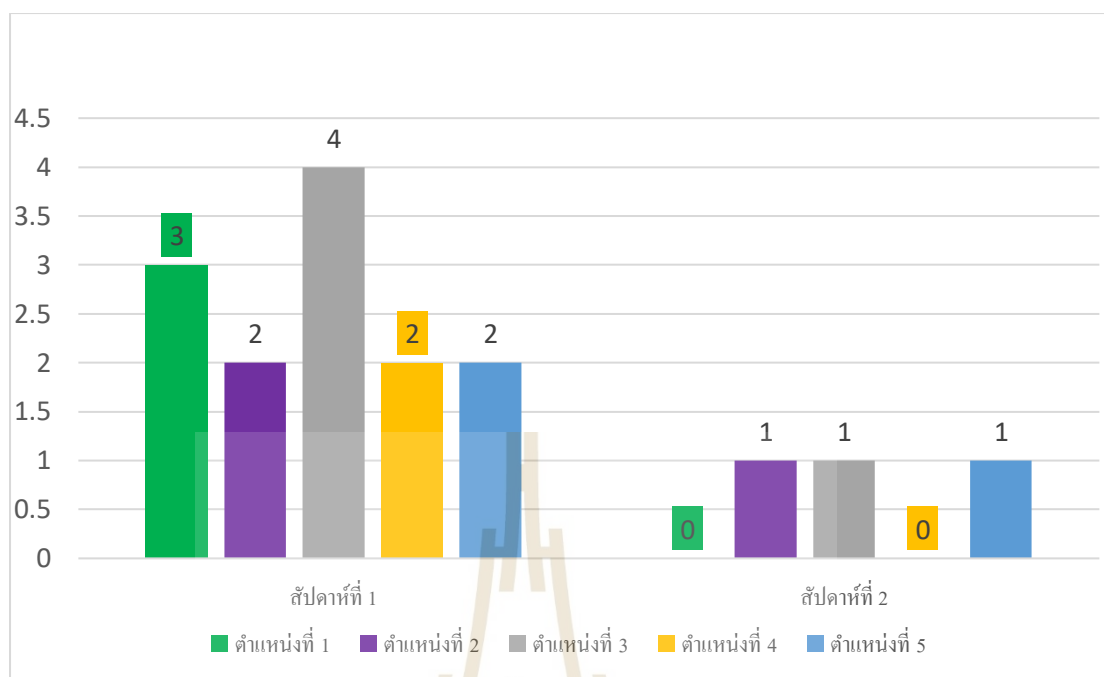
รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 2 ทั้ง 3 สัปดาห์

จากการข้อมูลที่ทำการช้มนับจำนวนแมลงในตำแหน่งต่างๆ ที่แบ่งออกเป็น 5 ตำแหน่งของ กองข้าว จะเห็นได้ว่าจากห้องที่ 1 ที่มีการควบคุมด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง สังเกตตำแหน่ง ที่ 1 จะสังเกตได้ว่าจำนวนแมลงไม่มีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากตำแหน่งที่ 1 มีความเข้มสนามแม่เหล็ก ไฟฟ้าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ จนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นด้วย และไม่มีแมลงบริเวณนี้เลย ซึ่งต่างจาก ตำแหน่งอื่นๆที่มีจำนวนแมลง และมีการเพิ่มของจำนวนแมลงเรื่อย ๆ ส่วนในห้องที่ 2 ที่ไม่มีการ ควบคุม ตำแหน่งต่างๆมีจำนวนแมลงที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

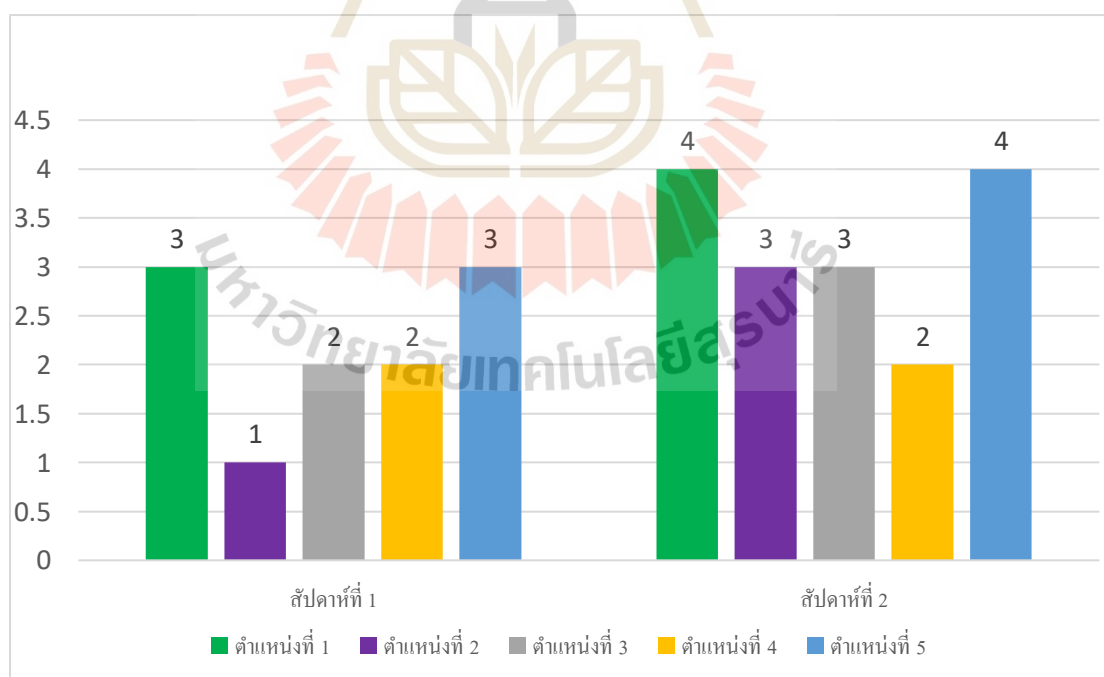
4.5 การทดลองโดยการไม่มีที่กั้นระหว่างห้อง

ในส่วนการทดลองเพิ่มเติมนี้เป็นส่วนที่ทำการเพิ่มเพื่อสังเกตการณ์เพิ่มขึ้นของแมลงทั้ง สองกองข้าวโดยทำการเอาที่กั้นระหว่างสองห้องออก ซึ่งกองข้าวทั้งสองห่างกันเป็นระยะ 100 เซนติเมตร แล้วทำการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงที่ตำแหน่งกองข้าวที่หนึ่ง โดยใช้ ระยะเวลาในการเก็บผลเป็นเวลาสองสัปดาห์ สัปดาห์แรกเป็นการเก็บข้าวโดยไม่ใช้คลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง เพื่อให้ทราบถึงจำนวนแมลงในตำแหน่งต่างๆ ก่อนที่จะมีการควบคุมด้วย ความถี่สูง ในสัปดาห์ที่สองเริ่มปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงจนครบสัปดาห์ แล้วทำการช้มนับ จำนวนแมลงในตำแหน่งต่างๆ ของทั้งสองกองข้าว เพื่อจะให้เห็นผลสังเกตว่าแมลงเคลื่อนย้ายจาก กองที่หนึ่งไปกองที่สองได้ดีกว่าการที่มีที่กั้นระหว่างห้องหรือไม่และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถ ควบคุมได้ทั้งสองกองโดยไม่มีที่กั้น

จากแผนภูมิข้อมูล ผลที่ได้จะเห็นได้ว่ากองข้าวที่มีการปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ บริเวณที่มีปริมาณความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงจะส่งผลให้จำนวนแมลงลดลงในตำแหน่ง ต่างๆ และในส่วนที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยแมลงก็จะมีจำนวนมากกว่า นั้นทำให้รู้ว่าความเข้ม สนามแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลโดยตรงกับจำนวนแมลงในกองข้าว ซึ่งการขับไล่แมลงโดยหลักการใช้ ความถี่สูงนี้ กำลังงานที่ใช้และรูปแบบการปล่อยคลื่นของสายอากาศเป็นส่วนสำคัญในการใช้ขับไล่ แมลงในบริเวณกองข้าวหรือบริเวณรอบ ๆ ได้



รูปที่ 4.11 แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของกองข้าวหมายเลข 1 ทั้ง 2 สัปดาห์



รูปที่ 4.12 แสดงจำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของกองข้าวหมายเลข 2 ทั้ง 2 สัปดาห์

4.6 สรุป

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบไล่แมลงด้วยคลื่นความถี่สูงกำลังงานของภาคส่งขนาด 126 วัตต์ โดยระยะห่างจากสายอากาศไปจนถึงกองข้าวเป็นระยะ 100 เซนติเมตร โดยอุณหภูมิก็จะขึ้นอยู่กับระยะห่างของสายอากาศ เมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้นเวลาที่ใช้ในการเพิ่มความร้อนก็จะยิ่งใช้เวลานานขึ้นตามระยะทาง ดังนั้นก็จะขึ้นอยู่กับระยะห่างของสายอากาศและกำลังงานที่ใช้ โดยอุณหภูมิที่ระยะ 100 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นจากประมาณ 26.1 องศาเซลเซียส เป็น 32.2 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้น 6.1 องศาเซลเซียส นั้นจึงทำให้สังเกตได้ว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงส่งผลกระทบต่อแมลงทำให้ควบคุมหรือไล่แมลงในกองข้าวเปลือกได้



บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการทดลองการไล่แมลงด้วยหลักการคลื่นความถี่สูงให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ทำงานที่ความถี่ 2.45 GHz ใช้ขนาดกำลังงานภาคส่งที่ 126 วัตต์ โดยอาศัยโมเลกุลของแมลงที่ประกอบด้วยน้ำบางส่วน เมื่อโมเลกุลของน้ำถูกคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงผ่านทำให้เกิดการสั่นของโมเลกุลเกิดพลังงานความร้อนภายในตัวแมลงเกิดขึ้นทำให้แมลงไม่สามารถอยู่บริเวณที่มีคลื่นความถี่สูงได้ จึงทำให้สามารถไล่แมลงบริเวณเก็บข้าวเปลือกได้ ซึ่งสามารถดูได้จากการทดลองการปล่อยคลื่นความถี่สูงการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนี้ ที่กำลังงาน 126 วัตต์ โดยติดตั้งสายอากาศปากแตรจำนวน 5 ตัว ที่ระยะ 100 เซนติเมตร เพื่อให้สามารถครอบคลุมกองข้าวขนาดฐาน 80 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร จากผลจำลองทำให้ได้เห็นว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่คลื่นได้ครอบคลุม และจากการเก็บผลการทดลองจริงที่มีการแบ่งห้องทดลองออกเป็น 2 ห้อง ห้องที่ 1 ที่มีการควบคุมด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนห้องที่ 2 ไม่มีการควบคุม โดยการชั่งจำนวนแมลงตามตำแหน่งที่กำหนด 5 ตำแหน่ง ผลที่ได้คือแมลงไม่มีในบริเวณตำแหน่งที่ 1 ที่ติดตั้งสายอากาศมีความเข้มข้นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงกว่าตำแหน่งอื่นๆ ดังนั้น คลื่นความถี่สูงสามารถป้องกันไล่แมลงออกจากบริเวณที่ควบคุมได้ กำลังงานที่ใช้เป็นปัจจัยสำคัญในการไล่แมลง โดยการออกแบบเครื่องต้องสามารถปรับค่ากำลังงานที่ใช้ได้เพื่อใช้ควบคุมแมลงในบริเวณโกดังเก็บข้าว รวมไปถึงระยะเวลาในการปล่อยคลื่น ที่จะทำให้เกิดความร้อนภายในตัวแมลงจนแมลงรำคาญ ดังนั้นการหาปริมาณของพลังและระยะเวลาในการทำงานของเครื่องที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อให้เครื่องทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด

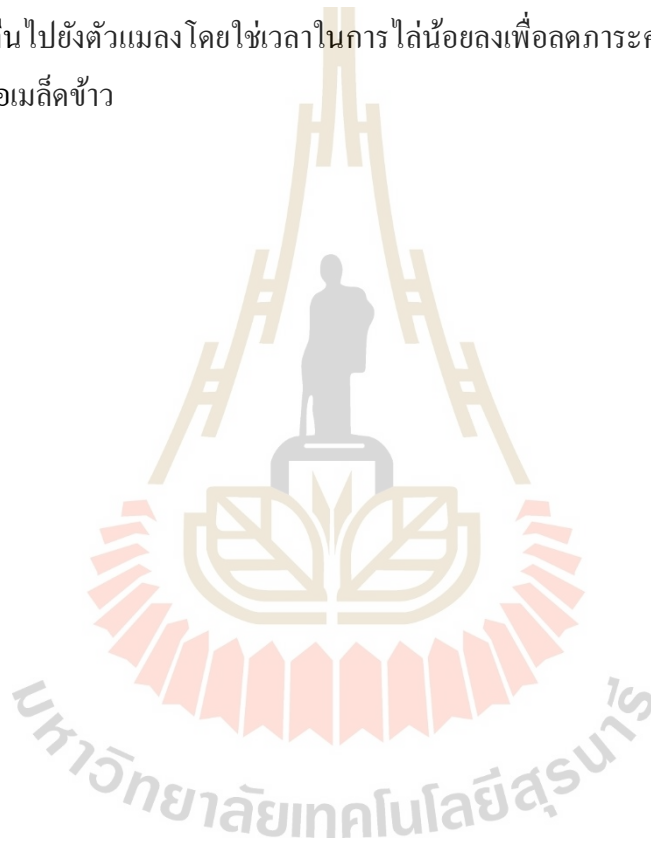
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในการดำเนินงานพบว่า เนื่องจากการเก็บผลจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนแมลงบริเวณต่างๆที่กำหนด ที่เกิดจากผลกระทบแมลงกักกินต้องใช้เวลาานาน จึงทำให้ต้องมีการเปิดเครื่องไล่แมลงอยู่ตลอดเวลาจนทำให้เกิดความร้อนสะสมเพิ่มขึ้น แต่สามารถควบคุมความร้อนสะสมของเครื่องได้ด้วยการติดตั้งพัดลมในเครื่องขนาดใหญ่พอสมควรและทำการ

ควบคุมการเปิดปิดเครื่องเป็นช่วง ๆ แทนที่จะเปิดให้เครื่องทำงานตลอดเวลา จะสามารถทำให้เครื่องทำงานได้ยาวนานมากขึ้น

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

จากงานวิจัยที่ผ่านมาผู้วิจัยได้นำเสนอสายอากาศแบบปากแตรและสายอากาศแบบปากแตรเพื่อเป็นตัวปล่อยคลื่นความถี่สูงสำหรับไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว โดยแนวทางในการพัฒนาในอนาคตจะนำเสนอในรูปแบบของสายอากาศแบบอาร์เรย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นไปยังตัวแมลงโดยใช้เวลาในการไล่แมลงเพื่อลดการระคายคายไฟและไม่เกิดความเสียหายต่อเมล็ดข้าว



เอกสารอ้างอิง

- The Preliminary Report of the 2013 Agricultural Census, 2013. National Statistical Office
Agricultural Statistics of Thailand 2012, Office of Agricultural Economics Ministry for
Agricultural and Cooperatives Bangkok, Thailand
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., "Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and microwave Treatments," *Biosystems Engineering*, Vol. 85, Issue 2, pp, 201-212, June 2003
- John Griffiths. , "Radio Wave Propagation and Antennas An introduction", Prentice-Hall International Ltd., 1987
- Nelson, S. O. and L. E. Stetson. "Possibilities for controlling insects with microwaves and lower frequency RF energy." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech n. MTT-22*(12): 1303-130
- Wang, S., Tang, J., "Radio Frequency and Microwave Alternative Treatments for Insect Control in Nuts: A Review," *Agricultural Engineering Journal*, Vol. 10, No. 3&4, pp. 105-120, 2001
- Nelson, S.O., Bartley, P.G., Jr., Lawrence, K.C., "Measuring RF and microwave permittivities of adult rice weevils." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, pp. 941-946, 1997

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา



บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Apisit Pona, Supawat Kotchapradit, Chanchai,Thongsopa, Thanaset Thosdeekoraphat. "**Design of Postharvest Control System for Pest in Grain Storage with High Frequency**", 2020 IEEE 7th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2020



Design of Postharvest Control System for Pest in Grain Storage with High Frequency

¹Apisit Phonsa

School of Electronic Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhonratchasima 30000, Thailand
e-mail: m6040048@eng.sut.ac.th

²Supawat Kotchapradit

School of Electronic Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhonratchasima 30000, Thailand
e-mail: d5740253@eng.sut.ac.th

³Chanchai Thongsopa

School of Electronic Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhonratchasima 30000, Thailand
e-mail: chan@eng.sut.ac.th

⁴Thanaset Thosdeekoraphat

School of Electronic Engineering
Suranaree University of Technology
Nakhonratchasima 30000, Thailand
e-mail: thanaset@eng.sut.ac.th

Abstract—This paper present about design of system for pest control in grain storage with high frequency. This experiment study effect of pest on high frequency radiation and experiment for using high frequency to pests controlled in storage grains. Experiment were conducted on two room to compare the changes in rice weight caused by the effects of pests between the two rooms, first room was pest controlled with high frequency, second room was not pest controlled to make the environment like a normal warehouse. In these experiments Using *Sitotroga cerealella* as grain moth, the weight of grains at any distances from the antenna are investigated. The results show weight of grains between two room are different, Room with pest controlled by high frequency had a lower rate of grains weight reduction than other rooms, in last month for experiment the weight of grains from room was pest controlled with high frequency is 990 g, while weight of grains from the room was not pest controlled is 874 g.

Keywords—electromagnetic; SAR; dielectric heating

I. INTRODUCTION

In currently the storage of rice seeds, the major of the farmers as storage by itself and operators as storage, storage must consider the duration humidity and temperature of the storage, which affect the germination rate problem in the storage of rice for a long time is the infestation of insect pests such as weevil rice other. The result, the impact on farmers and operators distribute seed rice is huge and the market was not formally certified.

The current solution, potential quarantine treatments for both domestic and international rice markets include chemical fumigation [1]-[2] such as methyl bromide and phosphine, the destruction of ozone in the atmosphere and environment. In many countries looking for alternatives to replace the use of chemicals. Such as, the level control of oxygen with other gases, nitrogen and carbon dioxide or radiation rice to the moth of air strikes. But there is no

definitive research, it is not a solution for seed weevils in rice, the main cause of the moth in grain storage.

In this paper the electromagnetic field are some innovative solutions to solve them, the thermal energy from the high-frequency electromagnetic radiation is the most appropriate way. Thermal energy sources, in particular from the use of the radio frequency and microwave [3]-[4] because of the electromagnetic radiation can be one of the fast methods and no any chemical residual in the agriculture products.

II. THE THEORY AND DIELECTRIC BY USING ELECTROMAGNETIC FIELD HIGH FREQUENCY

The properties of dielectric materials for each type variable important, which is related to frequency, because that is what will be analyzed, to contribute to the circuit design and release the wave frequency generator to suit the dielectric, the properties of the electromagnetic behavior can be explained by the use of high frequency is the complex permittivity (ϵ) or effective dielectric constant, ϵ' is dielectric constant and dielectric loss factor (ϵ''), can be determined using equation (1) [5]-[8].

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

Specific absorption rate (SAR) is the measure of the of higher frequency Radio Frequency (RF) Electromagnetic Field (EMF) absorbed by biological tissue. This rate is measured as the power absorbed within a defined area of biological tissue in a standard measurement of watts per kilogram (W/kg) where σ is electric conductivity (S/m), ρ is the material density (Kg/m³) and E is the electric field intensity (V/m). So

$$SAR = \frac{\sigma |E|^2}{\rho} \quad (2)$$

For the consideration of the task are an electromagnetic wave, which is a key variable that causes internal dielectric heating, when an energy stimulus in the form of the wave high-frequency electromagnetic fields. The mechanism of heat generated from the electromagnetic field to stimulate the particles are an electrically neutral state, cause a condition that affects the dipole magnetic field to stimulate the polarization direction of the electromagnetic field, the electromagnetic field stimulation, resulting in the media have lost another phenomenon, one that occurred in parallel, that loss can occur from direct heat conductivity, because of the dispersion of particles, ions under the influence of stimulation from the electromagnetic fields from external sources, causes of the conductivity, the dielectric material, which material dielectric loss with most converts electrical energy radio frequency and microwave to heat energy, the heat than formed as a result of the reaction between the power of the microwave and dielectric properties.

When considering the temperature changes that occur from an external input to section options can be pre-equipped dielectric material is calculated from the equation (3) [6]-[9]. Where ρ is the material density (Kg/m^3), C is specific heat of the material ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$), f is frequency (Hz), E is the electric field intensity (V/m), ϵ'' is dielectric loss factor and ΔT is change in temperature and Δt is exposure duration.

$$\rho C \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \epsilon'' \quad (3)$$

For electromagnetic analysis using the tissue of material with a measurement or estimate of the numerical modeling, where $\Delta T/\Delta t$ is the dielectric material caused by the conversion of energy from the electric field to heat of material. Specific absorption rate (SAR) and C is specific heat of the material ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$).

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{(SAR)}{C} \quad (4)$$

III. SYSTEM OF DIELECTRIC HEATING SYSTEM

For the system of electromagnetic radiation to dielectric heating, by using electromagnetic wave irradiation of high-frequency sections. Electromagnetic Wave Oscillator, Matching Impedance, O/P Applicator (Antenna), as shown in figure 1.



Figure 1. The structural characteristics of a dielectric heating system for removal of insect pests by using power frequency electromagnetic wave propagation.

The system is installed, the ambient energy is radiated in all directions, when insect pests on area intensity of radiated

electromagnetic fields spread out making the insects caused more heat and disturbance of the life of the insects need to fly out from the area [10]-[11]. Applicator can be installed in an agricultural area, shown figure 2.

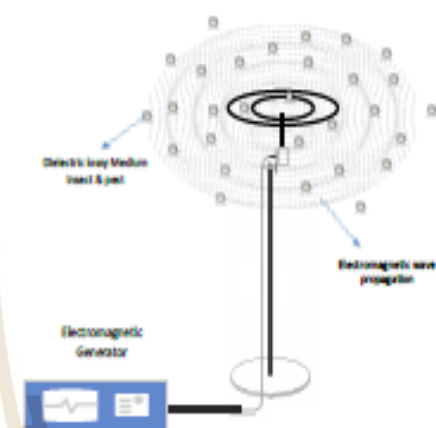


Figure 2. Structure and function of the extruder machine insect pest with the principle of an electromagnetic wave energy propagation high frequency.

Electromagnetic high frequency oscillator of the system to generate signal about 100 – 300 W, the output of the circuit that designed the impedance matching, this is a match between the high frequency generator to the electromagnetic radiation that are part of the wave (applicator) to prevent the damage of circuit, the output power from the circuit high frequency generator to the O/P applicator (Antenna) in the last sector of the system, the electromagnetic field wave radiates into lossy medium or insect pest.

Positioning system antenna structure in the wave radiates inside the grain storage, the antenna installed on the ceiling of the grain storage and the plug an inside stack shell, show in figure 3, to be able to repellent weevil rice and insects effectively, when insects get power from electromagnetic wave make of insects have to accumulate heat, the flying insects out of the area.

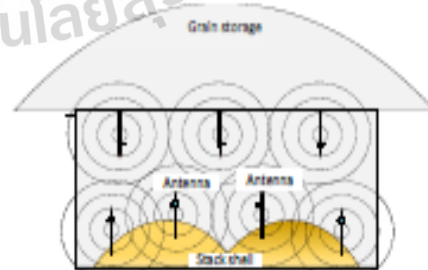


Figure 3. The installation of the antenna weevil and insect repellent in the storage rice.

IV. EXPERIMENT AND RESULT

First, we study the heating efficiency in pest by using the technology antenna as an applicator at 2.45 GHz in 3D CST studio EM software. In this experiment we used colinear antenna as applicator show in figure 4. We consider about s -parameter for 2.45 GHz s -parameter is -20.646 dB from simulation in figure 5. We use network analyzer (N9916A, 14 GHz FieldFox Microwave Analyzer, KEYSIGHT Technology) to measured s -parameter as figure 6. For simulation at 2.45 GHz VSWR is 1.204 as figure 7. In simulation for postharvest control system for pest in grain storage with high frequency the distance between antenna and pest is 30cm show in figure 8. For this experiment in insect repellants system, divided into two section, first room was pest controlled with high frequency. Second room was not pest controlled with high frequency. Then measured the weight of grains from two room.



Figure 4. colinear antenna applicator in simulation.

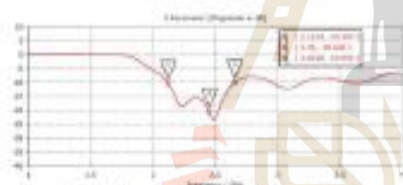


Figure 5. S -parameter at 2.45 GHz from simulation.



Figure 6. Network analyzer N9916A, 14 GHz, KEYSIGHT technology.

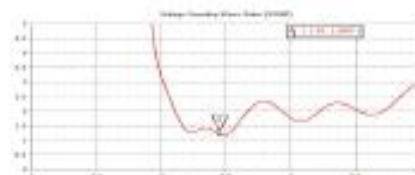


Figure 7. VSWR at 2.45 GHz from simulation.



Figure 8. Simulation between antenna and pests at 2.45 GHz using CST STUDIO EM Software.

From simulation absorption electric field intensity (V/m) and SAR in (W/kg), by using the finite difference frequency domain method, that the field present inside pest. The specific absorption rate (SAR) maximum 0.0188856 W/kg is electric field intensity maximum inside is 25396.1 V/m show in figure 9-10.

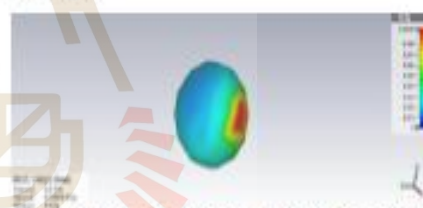


Figure 9. The field pattern absorption of the insects and pests at 2.45 GHz using CST STUDIO EM Software.



Figure 10. Cross section A of the field pattern absorption inside of the insects and pests at 2.45 GHz using CST STUDIO EM Software.

From the simulation is shows pattern absorption of insects and pests at 2.45 GHz by using technology antenna in the electric field. Form result of the field pattern absorption show electric field maximum is 25396.1 V/m and SAR maximum is 0.018885 W/kg from equation (4) convert to

thermal increase is Δt 5 °C. Where use Δt is 185 s at distance 30 cm. That able repellent pests out of that area [12].

In Thailand *Sitotroga cerealella* is most common pest in grain storage. In experimental for pest controlled with high frequency use this species. For the experimental we experiment in model of grain storage as figure 11 that separate in two room, first room apply high frequency into grains as figure 12 while other room not apply high frequency into grains.



Figure 11. The storage grain model to use in the experiment.



Figure 12. The system for pest controlled with High Frequency.

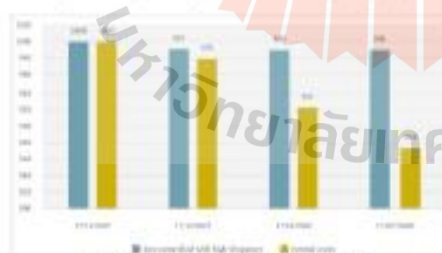


Figure 13 weight of grains between two room (g).

In experiment we measured weight of grains every 1 month for 3 months data show in Figure 13. The initial weight of the grains in both rooms to use in the experiment

was 1000 grams. Begin to measure the weight of grains in both rooms on 17/12/2019-17/02/2020. The weight of grains in the second room less than first room at 12 g, 67g, 116g.

V. CONCLUSION

From the simulation for electromagnetic wave high frequency is shown pattern absorption pests at 2.45 GHz by using technology antenna in the electric field. Result of the field pattern absorption show electric field maximum is 25396.1 V/m and SAR maximum is 0.018885 W/kg from equation (4) convert to thermal increase is Δt 5 °C. Where use Δt is 185 s at distance 30 cm. Result from experiment show weight of grains between two room are different. Room with pest controlled by high frequency had a lower rate of grains weight reduction than other rooms. Electromagnetic wave with high frequency that able repellent pests out of that grains.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT) and by the Office of the Higher Education under NRU project of Thailand.

REFERENCES

- [1] S. Wang and J. Tang "RADIO FREQUENCY AND MICROWAVE ALTERNATIVE TREATMENTS FOR INSECT CONTROL IN NUTS: A REVIEW" *Agricultural Engineering Journal* 2001,10(3&4): 105-120.
- [2] F. H. H. T.-D. K. R. Markus Kraus, "Chemical-Free Pest Control by Means of Dielectric Heating with Radio Waves/Selective Heating," *Chemical Engineering & Technology*, vol. 41, no. 1, pp. 116-123, 2017.
- [3] Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., "Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and microwave Treatments," *Biosystems Engineering*, Vol. 83, Issue 2, pp. 201-212, June 2003.
- [4] D. B. P. R. Emily T. Kostas, "The application of microwave heating in bioenergy: A review on the microwave pre-treatment and upgrading technologies for biomass," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 77, pp. 12-27, 2017.
- [5] John Griffiths, "Radio Wave Propagation and Antennas An introduction", Prentice-Hall International Ltd., 1987.
- [6] Nelson S. O. "Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control". *Trans. of the ASAE*, 39, 1475-1484, 1996.
- [7] Nelson, S. O. "HF and Microwave Possibilities of insects and some Applications" *IRIS IMTS* 2004.
- [8] Rynnman S (1995) "The electromagnetic properties of food materials: a review of the basic principles." *Journal of Food Engineering*, 29, 409-429, 1995.
- [9] Nelson, S. O. and L. E. Stelson, "Possibilities for controlling insects with microwaves and lower frequency RF energy." *IEEE Trans. Microwave Theory Tech n. MTT-22*(12): 1303-1309.
- [10] Von Hippel A.R. "Dielectric Properties and Waves". John Wiley, New York, 1954.
- [11] Larry, J., Zettler, F., Arthur, H., Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments, *Crop Protection* Vol.1, pp. 577-582, 2000.
- [12] N. SHAYESTHI and N. N. BARTHAKEUR "Mortality and Behavior of Two Stored-product Insect Species During Microwave Irradiation" *J. stored Prod. Res.* Vol 32, pp. 239-246, 1996.

ประวัติผู้เขียน

นายอภิสิทธิ์ โพธิ์นา เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2537 ที่อำเภอลำปลายมาศ จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาต้นและตอนปลายที่โรงเรียนเมืองวิทยาคม อำเภอคูเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต(วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2560 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

