

การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหนดในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อน
แบบไดอิเล็กตริก



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

**ELECTRIC FIELD ANALYSIS OF LOAD IN PLATE
FOR DIELECTRIC HEATING**

Samran Santalunai



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Doctor of Philosophy in Telecommunication Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อน
แบบไดอิเล็กตริก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยพิจารณาเป็นส่วนตัวหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาคุณวุฒิปบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ร.อ. ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์)

กรรมการ

(รศ. ดร.ชวรงค์ พงศ์เจริญพาณิชย์)

กรรมการ

(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจ่างค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สำราญ สันทาลุณย์ : การวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหลดในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (ELECTRIC FIELD ANALYSIS OF LOAD IN PLATE FOR DIELECTRIC HEATING) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ, 134 หน้า.

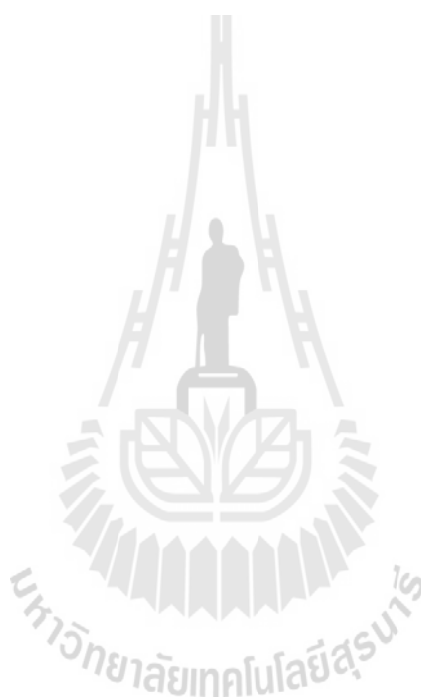
เทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เป็นเทคโนโลยีการให้ความร้อนโดยอาศัยคลื่นสนามไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุหรือไมโครเวฟสำหรับการส่งผ่านกำลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้าเข้าไปยังเนื้อวัสดุไดอิเล็กตริก โดยวัสดุที่สามารถเกิดความร้อนขึ้นได้นั้นต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและที่สำคัญการส่งผ่านกำลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้าเข้าไปยังวัสดุให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงคุณลักษณะของโหลดไดอิเล็กตริกของแต่ละชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าแตกต่างกัน ประกอบกับในปัจจุบันผลกระทบจากการรบกวนของแมลงศัตรูพืชที่ทำลายผลผลิตทางการเกษตรนั้นกำลังประสบปัญหาอย่างหนัก ซึ่งได้มีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการใช้สารเคมีในการอบรมควันเพื่อการกำจัดหรือควบคุมการเกิดแมลงผลที่ตามมาคือความกังวลในความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้และผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นตัวการที่ทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการประยุกต์ใช้ในการกำจัดแมลง โดยใช้โหลดไดอิเล็กตริกตัวอย่างในการวิเคราะห์ที่เป็นข้าวและมอดข้าว ซึ่งได้นำเสนอการวิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดในแผ่นเพลต เพื่อทราบถึงผลของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าและการตอบสนองของโหลดแต่ละชนิด โดยลักษณะของการวิเคราะห์จะใช้วิธีการจากการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และทำการสร้างชุดทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับโหลดในแผ่นเพลต โดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอก เพื่อให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังงานไปยังโหลดไดอิเล็กตริก ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก มีผลของความร้อนที่แตกต่างกันเนื่องจากค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยผลจากการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

SAMRAN SANTALUNAI : ELECTRIC FIELD ANALYSIS OF LOAD IN
PLATE FOR DIELECTRIC HEATING. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
CHANCHAI THONGSOPA, Ph.D., 134 PP.

DIELECTRIC HEATING/DIELECTRIC PROPERTIES/ELECTRIC FIELD/
ELECTROD PLATE

Dielectric heating technology is a technology of heating based on the electric field at radio frequency or microwave to transmit the power in form of an electric field into the dielectric materials. In heating process, the heated material must be the polar molecules. Especially, to perform the best efficiency of power transmission in form of an electric field into the material; the characteristic of the dielectric load has to be considered for its several electric properties. Additionally, agriculturists faced a lot of problems because of the distraction of pests affecting on damaging agricultural productivity; therefore, chemical substances were widely used as troubleshooting alternative to eliminate and or control of insects. However the side-effect of toxic chemicals in fumigation process caused destroying the ozone layer and providing the negative impact on environments. Therefore, researcher presents a dielectric heating method applied for eliminating insect by using dielectric load model to identify rice and rice weevil. The result of an electric analysis of dielectric load in the plate was investigated to determine the electric distribution, the electric intensity and the responds generated within each load. Calculation and simulation was used for data analysis. In addition, the dielectric heating model was constructed to investigate the dielectric heating in plate by using the excitation source to excite the power into plates for generating electric field to transmit the power to the dielectric load. It was found that

the efficiency of the dielectric heating resulted on different levels of heating because of the difference of electrical properties. In conclusion, the findings of this research can be applied for the variety of dielectric materials to gain the most efficiently practicable applications.



School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรณ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ มีสวัสดิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ความรู้ทางวิชาการและให้โอกาสในการศึกษา

อาจารย์ ดร.ชนเสถียร ทศศิกรพัฒน์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด คุณปณิษฐาท์ อาจหาญ ที่ช่วยดูแลในเรื่องเอกสารต่าง ๆ ระหว่างศึกษาจนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่าน ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ให้ความรักความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดียิ่งมาโดยตลอด อีกทั้งเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อแท้และท้อแท้ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา รวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

สำราญ สันทาลุนัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตของเรื่อง.....	4
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.8 ปรัชญา/บรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.9 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	17
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหนดในแผ่นเพลต	
สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก	18
2.1 กล่าวนำ.....	18
2.2 ลักษณะทั่วไปของการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก	19
2.3 พื้นฐานและกลไกของการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก.....	19
2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....	19
2.3.2 กลไกการเกิดความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก	20

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.3	ไดโพลโมเมนต์ที่ถูกดูดซึม	22
2.4	หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก	25
2.4.1	คุณสมบัติพื้นฐานของไดอิเล็กตริก	25
2.4.2	รูปแบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก	26
2.4.3	การเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของไดอิเล็กตริก	27
2.4.4	ระดับความถี่ผิว	29
2.5	การส่งผ่านความร้อน	31
2.6	การให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า.....	32
2.6.1	ลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของตัวสร้างคลื่นแบบแผ่นเพลต	33
2.6.2	คุณลักษณะของตัวเหนี่ยวนำ.....	35
2.6.3	วงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน	36
2.7	สรุป.....	39
3	การวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.....	40
3.1	กล่าวนำ.....	40
3.2	แนวความคิดในการออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โหลด ไดอิเล็กตริก	41
3.3	การวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก	43
3.3.1	การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่มีผลต่อการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า	44
3.3.2	การวิเคราะห์และจำลองลักษณะการแพร่กระจายคลื่น สนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต	45
3.3.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้กำลังงานสำหรับการให้ความร้อน กับโหลดไดอิเล็กตริกในการกำจัดแมลง.....	61
3.4	การวิเคราะห์คลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตของโหลดไดอิเล็กตริก ที่มีการเปลี่ยนแปลง	69
3.4.1	การจำลองผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดอิเล็กตริกเมื่อ มีการแมตซ์ซิงด้วยตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....	71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.2	การจำลองผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดอิเล็กตริกเมื่อมีการ แมตซ์ชิ่งด้วยตัวเหนี่ยวนำแต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลง ของโหลด	75
3.5	สรุป.....	79
4	การวัดและผลการทดลอง.....	81
4.1	กล่าวนำ.....	81
4.2	การสร้างตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและตัวเหนี่ยวนำ.....	82
4.2.1	การสร้างตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าและการวัดค่าตัวเก็บประจุ แบบแผ่นเพลต	82
4.2.2	การสร้างตัวเหนี่ยวนำและการวัด.....	85
4.3	ผลการทดสอบวัดค่าการแพร่กระจายความร้อนด้วยการให้ความร้อน แบบไดอิเล็กตริก.....	90
4.3.1	การทดสอบการให้ความร้อนที่กำลังงานระดับต่าง ๆ	90
4.3.2	การทดสอบการให้ความร้อนเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง	95
4.5	สรุป.....	98
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	99
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	99
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	100
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	100
	รายการอ้างอิง	101
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	106
	ประวัติผู้เขียน	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟ กับมอดข้าวสาลีจนมีอัตราการตายที่ 99-100%	11
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก.....	13
3.1 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่เลือกมาทำการทดสอบประสิทธิภาพ การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า.....	45
3.2 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การแพร่กระจายคลื่น	46
3.3 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การแพร่กระจายคลื่น	49
3.4 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การแพร่กระจายคลื่น	52
3.5 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ การแพร่กระจายคลื่น	55
3.6 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละรูปแบบ	58
3.7 การเปรียบเทียบพื้นที่ของสนามไฟฟ้าที่ระดับความเข้มเท่ากับ 26.1 V/m และความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละรูปแบบ	61
3.8 ตำแหน่งการวางมอดข้าวสำหรับการจำลองผล	65
3.9 ผลการคำนวณพารามิเตอร์ของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน.....	70
4.1 ค่าความจุที่วัดได้ในแต่ละรูปแบบ	85
4.2 ค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้ในแต่ละรูปแบบ	89

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าว สาธิตต่อการตายของมอดข้าว.....12
1.2	ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลของไดอิเล็กตริกกับความถี่ ของมอดข้าวและข้าวสาธิต.....12
2.1	โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....19
2.2	โครงสร้างอะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กตริก.....20
2.3	ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีกันของ โมเลกุลขั้วบวกและขั้วลบพยายาม จัดเรียงตัวกันตามทิศทางของคลื่นสนามไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไปในไดอิเล็กตริก.....21
2.4	โครงสร้างตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต.....33
2.5	โครงสร้างตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีส่วนประกอบของ โพลไดอิเล็กตริก.....34
2.6	โครงสร้างพื้นฐานของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน.....37
2.7	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ X_L และ X_C ต่อความถี่ของวงจร รีโซแนนซ์ RLC แบบขนาน.....38
3.1	ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....41
3.2	รูปแบบของแนวคิดการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริก.....43
3.3	แนวความคิดในการออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริก.....44
3.4	รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น สนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต.....46
3.5	ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต.....48
3.6	รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต.....49
3.7	ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต.....51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต.....	52
3.9 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต	54
3.10 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต.....	55
3.11 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต	57
3.12 การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต 2 พอร์ต 4 พอร์ต และ 6 พอร์ต.....	59
3.13 ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ที่ระยะเวลาใด ๆ.....	63
3.14 โครงสร้างของการจำลองแบบสำหรับให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.....	64
3.15 ลักษณะตำแหน่งการวางมอดข้าวสำหรับการจำลองผล.....	64
3.16 ลักษณะตำแหน่งการวางมอดข้าวในหลอดพลาสติกสำหรับการจำลองผล.....	64
3.17 ผลการให้กำลังงานต่อระยะเวลาที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์	66
3.18 ผลการให้กำลังงานและอัตราการตายของมอดข้าวที่เวลาใด ๆ.....	66
3.19 ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายทั้งหมด ในเวลา 10 วินาที และใช้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์.....	67
3.20 ผลการให้กำลังงานต่ออุณหภูมิข้าวที่ตำแหน่งใกล้กับจุดป้อนกำลังงานที่สุด ในเวลา 5 วินาที 10 วินาที 15 วินาที และ 20 วินาที.....	67
3.21 โครงสร้างการจำลองเมื่อหลอดไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลงแบบพลวัต.....	70
3.22 โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อหลอดไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร.....	72
3.23 โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อหลอดไดอิเล็กตริกมีขนาดความสูงเท่ากับ 5 มิลลิเมตร	62

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24	โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีขนาดความสูงเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร.....72
3.25	การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....73
3.26	การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....73
3.27	การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....73
3.28	ความเข้มสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิสูงสุดของขั้วเมื่อโหลดไดอิเล็กตริก มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาของโหลด.....75
3.29	ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....76
3.30	ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....76
3.31	ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....76
3.32	ความเข้มสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิสูงสุดของขั้วเมื่อโหลดไดอิเล็กตริก มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาของโหลด.....78
3.33	ผลการเปรียบเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงของโหลด ไดอิเล็กตริกเมื่อมีการแมตซ์ชิงและไม่แมตซ์ชิงตัวเหนี่ยวนำ ตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....78
3.34	การเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิความร้อนเมื่อมีการแมตซ์ชิงและไม่แมตซ์ชิง ตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด.....79
4.1	โครงสร้างระบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อน แก่ไดอิเล็กตริก.....82
4.2	รูปแบบและโครงสร้างของแผ่นเพลตสำหรับทดสอบการให้ความร้อน แบบไดอิเล็กตริก.....83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 รูปแบบการวัดค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ที่มีความหนาของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร.....	84
4.4 ค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีความหนาของ โพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร	84
4.5 ค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีความหนาของ โพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 5 มิลลิเมตร	85
4.6 คุณลักษณะของขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับแมตซ์กับโพลไดอิเล็กตริก ที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร	86
4.7 คุณลักษณะของขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับแมตซ์กับโพลไดอิเล็กตริก ที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร.....	86
4.8 รูปแบบการวัดค่าขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับแมตซ์.....	87
4.9 ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับแมตซ์กับวงจรมือโพลไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนา เท่ากับ 10 มิลลิเมตร.....	88
4.10 ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับแมตซ์กับวงจรมือโพลไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนา เท่ากับ 5 มิลลิเมตร.....	88
4.11 โครงสร้างของระบบสำหรับทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก	89
4.12 ลักษณะรูปร่างของตัวกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR SYSTEMS รุ่น T360 (ภาพจากเว็บไซต์ของบริษัทเทอร์โมสแกน จำกัด).....	90
4.13 การเตรียมการจัดวางมอดข้าวในหลอดพลาสติก.....	91
4.14 โครงสร้างระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับ การทดสอบการให้พลังงาน.....	92
4.15 การให้กำลังงานต่ออัตราการตายของมอดข้าวเมื่อมีการป้อนกำลังงาน แบบ 1 พอร์ต และ 4 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที.....	93
4.16 การให้กำลังงานต่ออุณหภูมิความร้อนของข้าวเมื่อมีการป้อนกำลังงาน แบบ 1 พอร์ต และ 4 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที.....	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ภาพถ่ายความร้อนเมื่อใช้กำลังงาน 560 วัตต์ เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนแบบ 1 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที.....	94
4.18 ภาพถ่ายความร้อนเมื่อใช้กำลังงาน 560 วัตต์ เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนแบบ 4 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที.....	94
4.19 ภาพถ่ายความร้อนจากการทดสอบให้ความร้อนแก่โพลด์ไดโอดีเล็กตริกเมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำแมตซิงตามการเปลี่ยนแปลงของโพลด์ไดโอดีเล็กตริก 5 มิลลิเมตร.....	96
4.20 ภาพถ่ายความร้อนจากการทดสอบให้ความร้อนแก่โพลด์ไดโอดีเล็กตริกเมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำที่ไม่แมตซิงตามการเปลี่ยนแปลงของโพลด์ไดโอดีเล็กตริก 5 มิลลิเมตร.....	97

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	คิกซ์เวกเตอร์แม่เหล็ก
B	=	magnetic flux density
C	=	capacitor
C_p	=	Specific heat of the material
D	=	electric flux density
E	=	electric field
E_{loc}	=	สนามไฟฟ้าภายใน
H	=	magnetic field
L	=	inductor
L_h	=	latent heat of vaporization
N	=	โมเลกุลในหนึ่งหน่วยปริมาตร
P	=	heat power source density
ρ_c	=	specific heat capacity of an object
P_D	=	penetration depth
P_o	=	Incident power on medium
P_d	=	power absorbed per unit mass
ϵ^*	=	complex permittivity
ϵ_r	=	relative permittivity
ϵ_0	=	permittivity of free space
ϵ''	=	dielectric loss factor of the material
ϵ''_{eff}	=	effective loss factor
ϵ_{eff}	=	effective dielectric constant
σ_d	=	ค่าความนำของไดอิเล็กตริก
μ_0	=	permeability of free space
f	=	frequency
λ	=	wavelength
ω	=	angular frequency

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

k	=	thermal conductivity
ρ	=	density of the material
Δ	=	delta factor
Δt	=	time duration
ΔT	=	temperature rise in the material
l	=	ความยาว
χ	=	susceptibility
σ	=	electrical conductivity
T	=	temperature
q	=	กำลังงานต่อหน่วยปริมาตร
a	=	thermal diffusivity
J_s	=	forced current density
M_l	=	liquid of mass ratio
T_0	=	period
R_T	=	distribution temperature
$d t$	=	time delay
ν	=	magnetic reluctance
rms	=	root mean square
DC	=	direct current
SAR	=	specific absorption rate
N_p	=	turns of the coil inductance
R_w	=	equivalent resistance of the material
IEEE	=	the Institute of Electrical and Electronics Engineers
PCB	=	printed circuit board

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรากฏการณ์การให้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีด้านการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น นับได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญในกาวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนารูปแบบการให้ความร้อนด้วยวิธีการต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ (Induction Heating) (Mangesh, et al. 2013; Sarnago, et al. 2013; Lichan, et al. 2011; Ahmed, et al. 2011) เป็นการให้พลังงานความร้อน โดยอาศัยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน กระแสส่วนใหญ่มักจะไหลผ่านชิ้นงานในระดับของความลึกผิว (Skin Depth) ซึ่งกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของกระแสที่เหนี่ยวนำและความต้านทานสมมูลทางเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน และจะถ่ายเทความร้อนไปบริเวณอื่น ๆ โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน นั่นคือ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เป็นรูปแบบที่สามารถให้ความร้อนเข้าไปโดยตรงกับวัสดุที่เป็น ไดอิเล็กตริกที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อช่วงความถี่ใช้งาน ซึ่งทำให้ไม่กระทบต่อวัสดุอื่น ๆ เนื่องจากการให้ความร้อน โดยการทำให้โมเลกุลของวัสดุ ไดอิเล็กตริกเกิดการสั่น และเกิดการเสียดสีกันของ โมเลกุลระหว่างขั้วและทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้ โดยลักษณะโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของสนามไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสามารถใช้หลักการการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าโดยพิจารณาจากการใช้สมการ $D = \epsilon E$ นั่นคือค่าความซึมซาบได้ของวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในปัจจุบัน ประกอบด้วย 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ (1) การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating) (Nelson, 1996; Andreuccetti, et al. 1994) ซึ่งเป็นการให้พลังงานความร้อนโดยการแผ่กระจายคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน โดยวัสดุนั้น ๆ จะต้องมีส่วนประกอบของโมเลกุลของน้ำหรือโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ และ (2) การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Heating) (Gao, et al. 2010; Nelson, et al. 1982; Mitcham, et al.

2004; Lagunas-Solar, et al. 2007) ซึ่งกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากสำหรับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นย่านความถี่เหมาะสมกับแมลงที่เป็นศัตรูพืช และประกออบกับในปัจจุบันพืชผลทางการเกษตรที่ได้มาจากการเก็บเกี่ยว และเก็บไว้เป็นเวลานานซึ่งทำให้แมลงศัตรูพืชสามารถเข้ามาทำลายหรือกัดกิน ซึ่งทำให้เสียหายได้ ซึ่งวิธีการรักษาและกำจัดโดยใช้วิธีการกรรมควันสารเคมีสำหรับการควบคุมศัตรูพืช (Rajendran, et al. 2001) ก่อนที่จะถูกส่งไปยังตลาดในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งผู้บริโภคส่วนใหญ่ยังมีความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบจากการกรรมควันสารเคมีในการกำจัดแมลง ซึ่งส่งผลกับผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจากเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาวิธีการที่จะควบคุมหรือกำจัดศัตรูพืชโดยไม่ใช้สารเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก แต่การให้ความร้อนจะส่งผลกระทบต่อศัตรูพืชด้วย วิธีการที่สำคัญในการควบคุมความร้อนให้เกิดความสมดุลของความร้อนในการฆ่าแมลงที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของธัญ โดยการใช้ความถี่ความถี่วิทยุ (RF) หรือไมโครเวฟ (MW) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจและได้ศึกษาค้นคว้ารูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในย่านความถี่วิทยุเป็นหลัก รวมถึงการศึกษาย่านความถี่ไมโครเวฟเพื่อเปรียบเทียบและสรุปผลสำหรับศึกษาค้นคว้าต่อไป

สำหรับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟ ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งสำหรับรูปแบบการให้ความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นั้น ได้มีการประยุกต์ใช้ในงานทางด้านเกษตรมากขึ้น (Myungsik, et al. 2012); (Oka, et al. 2011) อย่างเช่นอุตสาหกรรมการอบแห้งอุตสาหกรรมการถนอมผลไม้และการอบแห้งไม้ นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับสิ่งมีชีวิตหรือศัตรูพืชต่าง ๆ ในภาคการเกษตรได้ เช่น การกำจัดแมลง มอดข้าวหรือหนอนต่าง ๆ ที่ฝังตัวและหลบซ่อนอยู่ภายในผลิตภัณฑ์หรือเมล็ดพืช เนื่องจากโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวมีช่องหรือมีโมเลกุลที่สามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยการกำจัดแมลงที่ปะปนมาในธัญพืชนั้น จำเป็นต้องให้มีอุณหภูมิความร้อนสะสมในตัวแมลงค่อนข้างสูง ซึ่งระดับอุณหภูมิที่สูงจะส่งผลกระทบต่อแมลงโดยตรงกับเมล็ดพืช ทำให้เมล็ดพืชเกิดความเสียหายและด้อยคุณภาพลงได้ ถ้าช่วงความถี่การใช้งานไม่เหมาะสมกับการตอบสนองโดยตรงต่อแมลง ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับมอดและข้าวสาลี (Nelson, 1995) เพื่อทดสอบคุณสมบัติของการตอบสนองทางความถี่ พบว่าที่ความถี่ 39 MHz มอดข้าวตายทั้งหมดและอุณหภูมิความร้อนในข้าวสาลีอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ในขณะที่การใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2.45 GHz พบว่ามอดตายหมดเช่นเดียวกันแต่อุณหภูมิข้าวสาลีสูงขึ้นถึง 70 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลให้ข้าวเกิดการเสียหายจากความร้อนได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิเคราะห์และออกแบบวิธีการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริกแต่ละชนิดเพื่อให้มีความเหมาะสมและให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งการใช้ย่านความถี่วิทยุเท่ากับ 39 MHz จึงเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับสำหรับงานวิจัยนี้

จากความเป็นมาข้างต้น ซึ่งเป็นทิศทางการเป็นมาของการใช้ประโยชน์จากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และนำมาสู่การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูง และสืบเนื่องจากปัจจุบัน ผลกระทบของแมลงศัตรูพืชที่ทำลายผลผลิตทางการเกษตร โดยแมลงเหล่านี้จะปะปนอยู่ในเมล็ดพันธุ์พืช โดยมีการแก้ปัญหาด้วยการใช้สารเคมีในการอบรมควัน เพื่อกำจัดแมลง ซึ่งสารรมควันที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) โดยทำการรมควันประมาณ 5-7 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้ ซึ่งวิธีการนี้ยังคงมีใช้จนถึงปัจจุบัน แต่ยังคงพบผลที่ตามมาคือความกังวลของความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เวลากำจัดที่นานและยังใช้พื้นที่จัดเก็บในขั้นตอนการรมควันที่มากขึ้นด้วย และประกอบกับปัจจุบันการใช้สารเคมี มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานยาของแมลง การตกค้างของสารเคมี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดแมลง โดยไม่ใช้สารเคมี รวมถึงประหยัดเวลาในการกำจัด โดยในงานวิจัยนี้ ใช้โพลไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าวและมอดข้าวเป็นโพลไดอิเล็กตริกหลักในการวิเคราะห์ เนื่องจากกำลังประสบปัญหาอย่างมากในปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมส่งออกข้าว โดยลักษณะของการวิเคราะห์การให้ความร้อนจะใช้แผ่นอิเล็กโทรดแบบเพลตเป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถทำให้โพลไดอิเล็กตริกเกิดความร้อนขึ้นได้ โดยได้ใช้หลักการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อพิจารณาระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลในแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลต่อการเกิดความร้อน และสร้างชุดทดสอบ สำหรับทดสอบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลตโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอกที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ การจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสม รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาค้นคว้าข้อมูลของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยสนามไฟฟ้า
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์และออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นดีที่สุด
- 1.2.3 เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเกิดความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกเนื่องจากสนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต

1.3 สมมุติฐานของการวิจัย

สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผ่นเพลตที่ได้จากการออกแบบและสร้างคลื่นด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ สามารถทำให้โพลดีไดอิเล็กตริกเกิดความร้อนขึ้นได้ เมื่อโพลดีไดอิเล็กตริกมีคุณสมบัติการตอบสนองในย่านความถี่ของการใช้งานนั้น ๆ

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่มีผลมาจากสนามไฟฟ้าและคุณสมบัติของโพลดีไดอิเล็กตริกที่มีการตอบสนองในย่านความถี่ของการใช้งานนั้น ๆ

1.4.2 วิเคราะห์ ออกแบบและจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับวิเคราะห์ระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลดีไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต

1.4.3 ทดสอบการให้ความร้อนกับโพลดีไดอิเล็กตริก นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อน

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติการตอบสนองของไดอิเล็กตริก หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพลดีไดอิเล็กตริกที่อยู่ในแผ่นเพลต

1.5.2 วิจัย พัฒนา ออกแบบ และสร้างชุดทดสอบ ที่สามารถทดสอบได้จริง ในย่านความถี่วิทยุได้

1.5.3 ทดสอบการให้ความร้อนกับโพลดีไดอิเล็กตริก วิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1. ศึกษาและสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และลักษณะของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อโพลดีไดอิเล็กตริก ที่อยู่ในแผ่นเพลต

2. วิเคราะห์ผลด้วยข้อมูลทางคณิตศาสตร์และจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป สำหรับวิเคราะห์ระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลดีไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต

3. ออกแบบและสร้างชุดทดสอบต้นแบบกำลังงานสูงสำหรับทดสอบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับโพลดในแผ่นเพลต โดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอก เพื่อให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลดไดอิเล็กตริก

4. นำผลที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสมมากที่สุด

5. จัดทำวิทยานิพนธ์

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล โดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2. ออกแบบ วิเคราะห์ และศึกษาความเป็นไปได้ของการเกิดสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ที่มีผลต่อโพลดไดอิเล็กตริก ด้วยข้อมูลทางคณิตศาสตร์และการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป

3. สร้างเครื่องต้นแบบ วัดทดสอบประสิทธิภาพการให้ความร้อน รวมถึงสามารถปรับปรุงลักษณะการให้ความร้อนให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานมากที่สุด

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 (F3) และ ห้องวิจัยและปฏิบัติการระบบสื่อสารไร้สาย สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม อาคารเครื่องมือ 4 (F4) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (function generator)
3. เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer)
4. เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer)
5. เครื่องวัดกำลัง (power meter)
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (power supply)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมผลที่ได้จากการจำลองแบบ การออกแบบ การสร้างชุดทดสอบและวัดทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะแบ่งเป็นสองส่วนคือการวิเคราะห์ข้อมูลจากการออกแบบด้วยข้อมูลทางคณิตศาสตร์ที่สำรวจจากปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อดูความเป็นไปได้ของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของโพลไดอิเล็กตริกและบันทึกค่าคุณสมบัติต่าง ๆ จากนั้นวิเคราะห์ผลโดยการจำลองแบบด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อยืนยันความเป็นไปได้ และสร้างชุดต้นแบบเพื่อทดสอบ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกเพื่อวิเคราะห์ถึงอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นต่อโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต เป็นต้น

1.6.7 การทดสอบสมมุติฐาน

สมมุติฐานที่กำหนดในหัวข้อที่ 1.3 จะได้รับการพิสูจน์จากการวัดและวิเคราะห์ผลการทดสอบจากการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกด้วยตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 เป็นองค์ความรู้ในการวิจัยและพัฒนาต่อไปสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เป็นผลมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

1.7.2 เป็นแนวทางในการนำหลักการมาประยุกต์ใช้กับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ และพัฒนาต่อสู่อุตสาหกรรมได้

1.8 บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเฉพาะวัสดุที่มีการตอบสนองต่อความถี่ที่ใช้งาน จึงทำให้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงาน ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างวงจร รวมถึงรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในรูปแบบวิธีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานได้ดีที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ จึงได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป เนื้อหาในหัวข้อนี้กล่าวถึง บริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์

จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อน ลักษณะของรูปแบบการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในการกำจัดแมลง ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลมีดังหัวข้อต่อไปนี้

1.8.1 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อน ซึ่งการให้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีด้านการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้านับได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญในกาวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรม ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ (Induction Heating) (Mangesh, et al. 2013; Sarnago, et al. 2013; Lichan, et al. 2011; Ahmed, et al. 2011) เป็นการให้พลังงานความร้อนโดยอาศัยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน ซึ่งกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานในระดับความลึกผิว (Skin Depth) และกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลทางเส้นทางการไหลผ่าน และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปบริเวณอื่น โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และสำหรับอีกรูปแบบหนึ่งคือ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกเป็นรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงไปยังวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีความเหมาะสมต่อช่วงความถี่ใช้งานและทำให้ไม่กระทบต่อวัสดุอื่น ๆ โดยโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสามารถใช้หลักการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกประกอบด้วย 2 รูปแบบ คือ (1) การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating) (Nelson, 1996; Andreuccetti, et al. 1994) ซึ่งเป็นการให้พลังงานความร้อนโดยการแผ่กระจายคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน โดยวัสดุนั้น ๆ จะต้องมีส่วนประกอบของโมเลกุลของน้ำ หรือโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ และ (2) การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Heating) (Gao, et al. 2010; Nelson, et al. 1982; Mitcham, et al. 2004; Lagunas-Solar, et al. 2007) ซึ่งกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากสำหรับเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเหมาะสมกับแมลงที่เป็นศัตรูพืช และประกอบกับในปัจจุบันพืชผลทางการเกษตรที่ได้มาจากการเก็บเกี่ยวและเก็บไว้เป็นเวลานานซึ่งทำให้แมลงศัตรูพืชสามารถเข้ามาทำลายหรือกัดกิน ซึ่งทำให้เสียหายได้ ซึ่งวิธีการรักษาและกำจัดโดยใช้วิธีการการรมควันสารเคมีสำหรับการควบคุมศัตรูพืช ก่อนที่จะถูก

ส่งไปยังตลาดในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งคนส่วนใหญ่ยังมีความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของ การรบกวนสารเคมี ซึ่งส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจากเทคโนโลยีการให้ความร้อน แบบไดอิเล็กตริก จึงทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาวิธีการที่จะควบคุมศัตรูพืชโดยไม่ใช้ สารเคมี โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก แต่การให้ความร้อนจะส่งผล กระทบต่อศัตรูพืชด้วย วิธีการที่สำคัญในการควบคุมความร้อนให้เกิดความสมดุลของความร้อนใน การฆ่าแมลงที่ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของธัญ โดยการใช้ความถี่ความถี่วิทยุ (RF) หรือไมโครเวฟ (MW) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจและได้ศึกษาค้นคว้ารูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ในย่านความถี่วิทยุเป็นหลัก รวมถึงการศึกษาย่านความถี่ไมโครเวฟ เพื่อเปรียบเทียบและสรุปผล สำหรับศึกษาค้นคว้าต่อไป

1.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบตัวสร้างคลื่นและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่ สูง สำหรับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริกที่ผ่านมานั้น ใช้รูปแบบการให้ความร้อนโดยใช้ลักษณะ ตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อเป็นสื่อกลางในการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าให้กับ ตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย ส่งผลให้ตัวกลางซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกนั้น ๆ เกิดเป็น ความร้อนขึ้น ซึ่งลักษณะการกระจายสนามไฟฟ้าบนแผ่นเพลตนั้น จะมีความเข้มข้นสนามไฟฟ้ามาก ที่สุดบริเวณจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดและจะค่อย ๆ มีความเข้มข้นสนามไฟฟ้าลดลงตามระยะทาง โดยงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้มีการใช้รูปแบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยมีลักษณะ เป็นแบบวงกลม (Cotterell and Parkes, 1962) ซึ่งได้วิเคราะห์ถึงลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น สนามไฟฟ้าสำหรับประยุกต์ใช้ในกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งนี้เป็นรูปแบบที่มีการกระจายคลื่น แบบสมมาตรลดการสูญเสียพลังงานบริเวณขอบของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้า หรืออีกรูปแบบหนึ่ง ได้มีการใช้เป็นลักษณะแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีการป้อนกำลังงานเพียงจุดเดียว (Ernst, 1995) ซึ่งใช้ ในอุตสาหกรรมการอบผลไม้ หรืออบไม้เป็นต้น ลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีการ กระจายบริเวณใกล้เคียงกับจุดป้อนกำลังงานและมีการแพร่กระจายคลื่นแบบสมมาตรเช่นเดียวกัน แต่การเลือกใช้วิธีการนี้เพื่อให้เหมาะสมกับงานเฉพาะกลุ่มงาน แต่สำหรับงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัย ได้มีความสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์การให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลง แบบพลวัต ในกลุ่มของแมลงที่เป็นศัตรูพืชที่ปะปนมากับธัญพืช เช่น มอดข้าวที่อยู่ในข้าว ซึ่งกระบวนการกำจัด จำเป็นต้องให้มีการไหลหรือถูกทำลาย ทั้งนี้เพื่อให้การให้ความร้อนที่ ต่อเนื่องและเกิดประโยชน์การใช้งานมากที่สุด จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงขนาดและความยาวของตัว สร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อมีลักษณะที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการไหลของข้าว หรือการ ประยุกต์ใช้งานมากที่สุด เมื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่การ ให้ความร้อนมากที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาและพบว่าลักษณะแผ่นเพลตที่เป็นลักษณะของรูปสี่เหลี่ยม พื้นผามีความเหมาะสมกับการออกแบบสำหรับวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ซึ่งจากข้อมูลเบื้องต้น

ลักษณะของสนามไฟฟ้าจะมีการแพร่กระจายคลื่นแบบสมมาตร จึงได้มีการการศึกษาและวิเคราะห์ถึงจำนวนการป้อนสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มสนามไฟฟ้าที่ตรงกลางมากที่สุด และจะเริ่มลดลงเมื่อออกห่างจากจุดป้อนกำลังงานและมีลักษณะเป็นวงกลมออกไป ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงลักษณะการป้อนกำลังงานในแผ่นเพลต เพื่อกระจายสนามไฟฟ้าให้เต็มพื้นที่การใช้งาน โดยจะได้แสดงการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ในบทที่ 3 ต่อไป

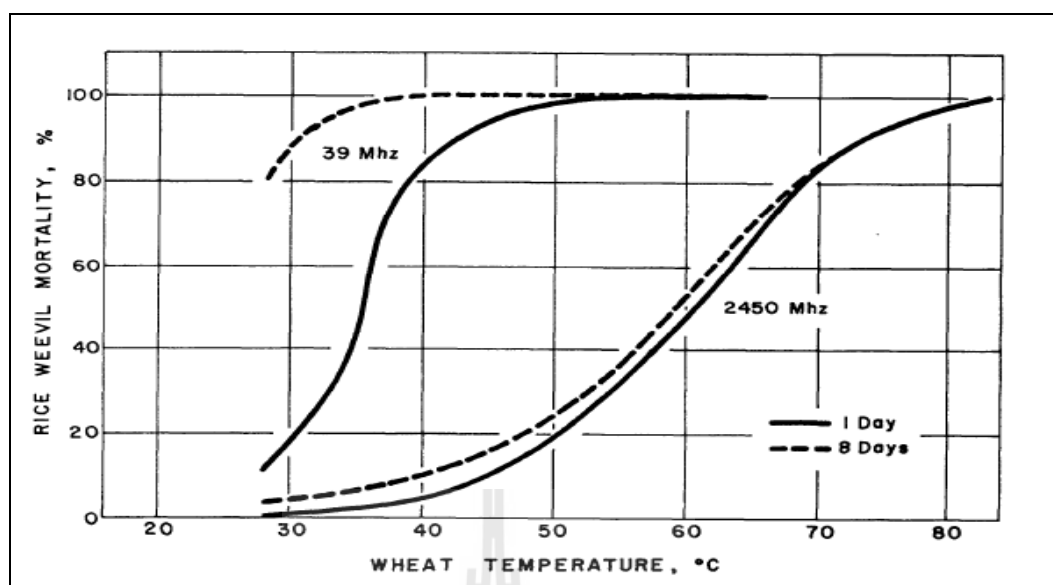
1.8.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในการกำจัดแมลง ซึ่งใช้รูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟ โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำไปใช้ในการถนอมผลไม้ อุตสาหกรรมการอบแห้งและการถนอมอาหาร โดยการใช้หลักการของการกระจายคลื่นความถี่วิทยุและคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟนั้น สามารถทำปฏิกิริยากับวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุล ซึ่งทำให้เกิดการสั่นพ้องของโมเลกุลและสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุและไมโครเวฟเป็นเทคนิควิธีการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ซึ่งโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบแบบไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้เพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก จะเป็นการสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่น ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางเข้าคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุล จึงเป็นสาเหตุทำให้วัสดุไดอิเล็กตริกเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่สามารถทำให้เกิดความร้อน ได้จะต้องอาศัยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย นั้น ๆ จากสถานะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลารไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้า ซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้า ภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น นั่นคือเกิดจากการสลับกลับไปมาของการโพลารไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อน โดยการให้ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ในการให้ความร้อนกับตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก

การเลือกใช้ช่วงความถี่ที่ใช้สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกจึงเป็นสิ่งสำคัญของระบบการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพ โดยสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปทางการให้ความร้อนเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมแมลงสำหรับการกำจัดแมลงที่อยู่ในธัญพืช นั่นคือการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟ ที่สามารถมีช่วงความถี่ที่ตอบสนองต่อแมลง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา ค้นคว้า การให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงขึ้นมา โดยจากงานวิจัยของ (Nelson, 1995) ได้ทำการวิจัยเรื่องคลื่นความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟ โดยได้ทดสอบโดยเลือกใช้ความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz ในการหาช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการฆ่ามอดข้าว ดังแสดงในตารางที่ 1.1 เป็นการทดสอบการให้ความร้อนกับมอดข้าวและมอดขุ่นในข้าวสาลี ซึ่งพบว่าที่ความถี่ 39 MHz ในตัวเต็มวัยของทั้งมอดข้าวและมอดขุ่นจะตายที่ 99-100% โดยที่อุณหภูมิในข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2.45 GHz ในขณะที่มอดข้าวและมอดขุ่นตาย 99-100% เช่นเดียวกัน แต่อุณหภูมิข้าวสาลีจะสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งส่งผลทำให้ข้าวสาลีเสียหายเนื่องจากจากความร้อนได้ และในรูปที่ 1.1 ซึ่งได้แสดงการพิจารณาเปอร์เซ็นต์การตายของมอดข้าวต่ออุณหภูมิความร้อนของข้าว ซึ่งจะเห็นได้ชัดถึงอุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตายที่ 80% ที่ความถี่ 39 MHz จะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียสและถ้าปล่อยให้ไ้เป็นเวลาประมาณ 8 วันก็จะตายเป็น 100% ถ้าอุณหภูมิข้าวอยู่ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส มอดข้าวจะตาย 100% โดยไม่ต้องปล่อยให้ไ้ถึง 8 วัน ส่วนที่ความถี่ 2450 MHz อุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตาย 100% จะมากกว่า 80 องศาเซลเซียสและจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ข้าวเสียหายได้

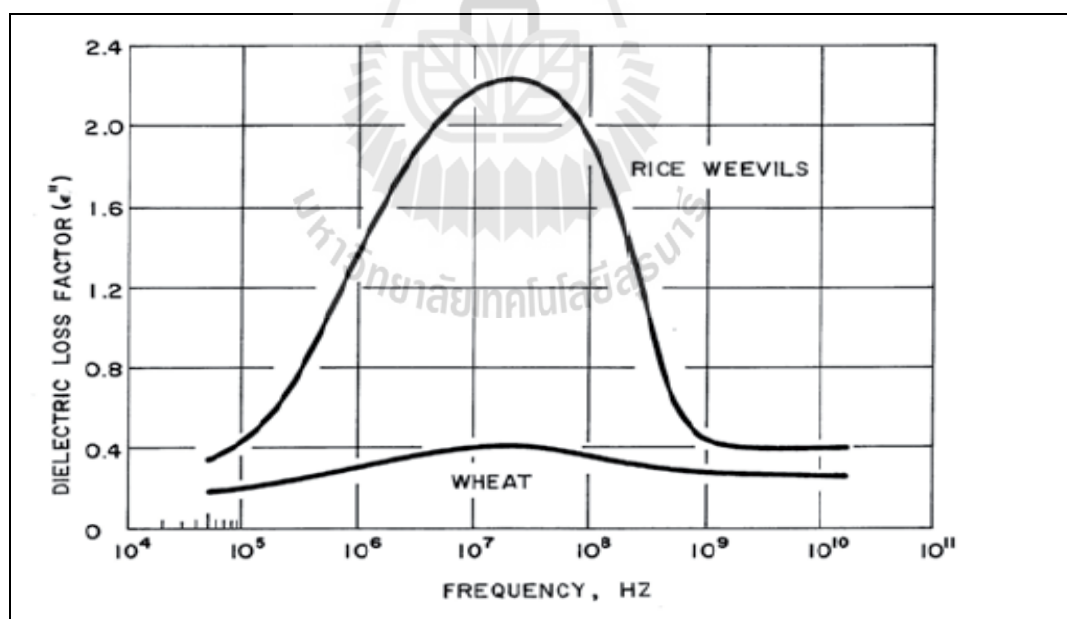
นอกจากนี้ในงานวิจัยของ Nelson ได้นำเสนอขบวนการตอบสนองทางความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาลีที่มีผลต่อค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) ดังแสดงในรูปที่ 1.2 โดยได้นำเสนอช่วงของการตอบสนองของมอดข้าวจะอยู่ในตั้งแต่ช่วงความถี่ประมาณ 50 kHz ถึงประมาณ 12 GHz แต่จะพบว่าช่วงความถี่ที่มีค่า ปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก ที่ดีที่สุดของมอดข้าวอยู่ที่ความถี่ประมาณ 39 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 2.24 ส่วนข้าวสาลีจะมีค่าน้อยมาก และพบว่าช่องความถี่ที่มีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกสูงอยู่ในความถี่ประมาณ 5 MHz ถึงประมาณ 100 MHz เป็นช่วงความถี่ที่ความเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์และออกแบบได้ดีที่สุด ดังนั้นจะเห็นว่าย่านความถี่วิทยุสามารถให้ความร้อนได้เหมาะสมมากกว่าย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงความถี่ใช้ย่านความถี่วิทยุ โดยใช้ความถี่เท่ากับ 39 MHz ในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ โหลด ไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับแมลงศัตรูพืช

ตารางที่ 1.1 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟ
กับมอดข้าวสาธิตจนมีอัตราการตายที่ 99-100%

Species	Develop- mental sta ge	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 granaries</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., 1956
	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 1.1 การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าว สาลีต่อการตายของมอดข้าว



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลของไดอิเล็กตริกกับความถี่ของมอดข้าว และข้าวสาลี

จากการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก โดยมีรูปแบบของการวิจัยและพัฒนามากมาย เช่น การใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อน ลักษณะของรูปแบบการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและรูปแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์ในการกำจัดแมลง โดยนักวิจัยได้มีความพยายามที่จะพัฒนาการแพร่กระจายคลื่นด้วยเทคนิคต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องเสมอมา ซึ่งการสืบค้นจากฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงที่ได้กล่าวถึงข้างต้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันสามารถสรุปได้โดยย่อดังตารางที่ 1.2 โดยเรียงลำดับตามปี ค.ศ. ที่งานวิจัยนั้นได้รับการตีพิมพ์

ตารางที่ 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก

ปี ค.ศ.	ผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1948	Scott	ได้ศึกษาถึงการให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งได้อธิบายถึงการเกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำ โดยสามารถเหนี่ยวนำกับวัสดุที่เป็นโลหะได้และการเกิดความร้อนแบบไดอิเล็กตริกซึ่งสามารถใช้คลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียได้
1958	Baker	ได้นำเสนอการนำหลักการการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสำหรับการศึกษาการให้ความร้อนกับเหล็กแท่งเพื่อการประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อน ซึ่งพบว่าการใช้การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสามารถให้ความร้อนกับเหล็กแท่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
1958	Langton and Matthews	ได้นำเสนอการใช้หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในการให้ความร้อนกับยาง ซึ่งพบว่าสามารถให้ผลการให้ความร้อนได้เป็นอย่างดี
1960	Nelson and Whitney	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการกำจัดแมลง โดยการพิจารณามอดข้าวกับความร้อนของข้าวสาลี เมื่อมอดข้าวมีอัตราการตายที่ 99 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ทดสอบที่ความถี่ 39 MHz พบว่า ข้าวสาลีมีอุณหภูมิสูงขึ้น 39 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1962	Cotterell and Parkes	ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นรูปแบบวงกลม เพื่อพิจารณาการเกิดความร้อน โดยพิจารณาจากการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นเพลตแบบวงกลม พบว่าลักษณะของสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของแผ่นเพลตมากที่สุดและมีการกระจายไปยังรอบแผ่นเพลต
1974	Nelson and Stetson	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการกำจัดมอดข้าวกับความร้อนของข้าวสาลี เมื่อมอดข้าวมีอัตราการตายที่ 99 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ทดสอบที่ความถี่ 39 MHz พบว่า ข้าวสาลีมีอุณหภูมิสูงขึ้น 40 องศาเซลเซียส และเมื่อใช้ความถี่ 2450 MHz พบว่า ข้าวสาลีมีอุณหภูมิสูงขึ้น 83 องศาเซลเซียส
1977	Tateyo and Takano	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการกำจัดมอดข้าวกับความร้อนของข้าวสาลี เมื่อมอดข้าวมีอัตราการตายที่ 99 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ทดสอบที่ความถี่ 2450 MHz พบว่า ข้าวสาลีมีอุณหภูมิ มากกว่า 60 องศาเซลเซียส เมื่อมอดตัวเต็มวัยตาย มากกว่า 58 องศาเซลเซียส เมื่อมอดที่เป็นดักแด้ตาย และมากกว่า 57 องศาเซลเซียส เมื่อไข่มอดตาย
1979	Anglade	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการกำจัดมอดข้าวกับความร้อนของข้าวสาลี เมื่อมอดข้าวมีอัตราการตายที่ 99 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ โดยได้ทดสอบที่ความถี่ 27 MHz พบว่า ข้าวสาลีมีอุณหภูมิ มากกว่า 56
1991	Nelson	ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของค่าไดอิเล็กตริกยังผล (Dielectric loss factor) ของมอดข้าวและข้าวสาลีที่มีผลการตอบสนองต่อความถี่ตั้งแต่ 50 kHz ถึง 2 GHz โดยพบว่าที่ความถี่ 39 MHz มอดข้าวจะมีค่าไดอิเล็กตริกยังผลสูงที่สุดประมาณ 2.24 โดยที่ข้าวสาลีมีค่าประมาณ 0.4

ตารางที่ 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
1995	Ernst Helmut Brandt	ศึกษาเกี่ยวกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นรูปแบบสี่เหลี่ยมเพื่อพิจารณาการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นเพลต พบว่าลักษณะของสนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของแผ่นเพลตมากที่สุดและมีการกระจายไปยังรอบแผ่นเพลต
1995	Nelson	ศึกษาเกี่ยวกับการใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าวสาลีต่อการตายของมอดข้าว โดยพบว่าอุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตายที่ 80% ที่ความถี่ 39 MHz จะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียสและถ้าปล่อยไว้เป็นเวลาประมาณ 8 วันก็จะตายเป็น 100% ถ้าอุณหภูมิข้าวอยู่ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส มอดข้าวจะตาย 100% โดยไม่ต้องปล่อยทิ้งไว้ถึง 8 วัน ส่วนที่ความถี่ 2450 MHz อุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตาย 100% จะมากกว่า 80 องศาเซลเซียส และจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ข้าวเสียหายได้
2003	Wang, Tang, Johnson, Mitcham, Hansen, Hallman, Drake, and Wang,	ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของผักกับแมลงที่เป็นศัตรูพืช โดยใช้ความถี่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟ
2006	Nelson	ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุไดอิเล็กตริกทางการเกษตรซึ่งมีผลต่อความถี่ ซึ่งได้วัดค่าของผลไม้สด และเนื้อเยื่อของพืช สำหรับการประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก
2007	Wang and Monzon	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนกับแมลงที่อยู่ในผลไม้เพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและเพื่อควบคุมการเกิดของแมลง โดยใช้ย่านความถี่วิทยุ ซึ่งสามารถให้ผลการให้ความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนกับไดอิเล็กตริก (ต่อ)

ปี ค.ศ.	ผู้วิจัย	การดำเนินงานวิจัย
2009	Marra, Zhang, and Lyng	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับการประยุกต์ใช้ถนอมอาหาร โดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นวิธีการใหม่ ที่มีประสิทธิภาพ โดยไม่ต้องใช้สารเคมี
2012	Granada, and Ferney	ศึกษาเกี่ยวกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับการประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนสำหรับอบไม้ โดยใช้ความถี่ 40.7 MHz ซึ่งพบว่ามีความเหมาะสมต่อการเนื่องจากมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่สูงการอบไม้แบบธรรมดา

โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาและนำเสนอมานั้น เป็นจุดกำเนิดของการใช้ประโยชน์จากคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อน ซึ่งมีการใช้ประโยชน์อยู่ 2 ลักษณะคือ การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำและการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งการใช้ประโยชน์ในแต่ละแบบจะมีการใช้รูปแบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก มีการศึกษาการให้ความร้อนอยู่ 2 รูปแบบคือการใช้คลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟและย่านความถี่วิทยุ ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้ในวัสดุรูปแบบต่าง ๆ โดยมีการวิจัยต่อมาอย่างต่อเนื่อง เช่น การให้ความร้อนกับ ผลไม้ การให้ความร้อนสำหรับถนอมอาหาร การให้ความร้อนสำหรับอบไม้ และการทดสอบกับการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงศัตรูพืช สำหรับการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงศัตรูพืชนั้น พบว่าย่านความถี่วิทยุจะมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่ดีกว่าเนื่องจากไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของพืชมาก และสืบเนื่องจากปัจจุบัน ผลการทบทวนของแมลงศัตรูพืชที่ทำลายผลผลิตทางการเกษตร โดยแมลงเหล่านี้จะปะปนอยู่ในเมล็ดพันธุ์พืช โดยมีการแก้ปัญหาด้วยการใช้สารเคมีในการอบรมควัน เพื่อกำจัดแมลง ซึ่งสารรมควันที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) โดยทำการรมควันประมาณ 5-7 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้ ซึ่งวิธีการนี้ยังคงมีใช้จนถึงปัจจุบัน แต่ยังคงพบผลที่ตามมาคือความกังวลของความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เวลากำจัดที่นานและยังใช้พื้นที่จัดเก็บในขั้นตอนการรมควันที่มากขึ้นด้วย และประกอบกับปัจจุบันการใช้สารเคมี มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานยาของแมลง การตกค้างของสารเคมี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหนดไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดแมลง

โดยไม่ใช้สารเคมี รวมถึงประหยัดเวลาในการกำจัด โดยในงานวิจัยนี้ ใช้โพลีไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าวและมอดข้าวเป็นโพลีไดอิเล็กตริกหลักในการวิเคราะห์ เนื่องจากกำลังประสบปัญหาอย่างมากในปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมส่งออกข้าว โดยลักษณะของการวิเคราะห์การให้ความร้อนจะใช้แผ่นอิเล็กโทรดแบบเพลตเป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลีไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถทำให้โพลีไดอิเล็กตริกเกิดความร้อนขึ้นได้ โดยได้ใช้หลักการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อพิจารณาระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลีไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลต่อการเกิดความร้อน และสร้างชุดทดสอบ สำหรับทดสอบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับโพลีไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลตโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอกที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลีไดอิเล็กตริกและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสมรวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

1.9 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย รวมถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโพลีไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า พื้นฐานและกลไกของการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก รวมถึงการส่งผ่านความร้อนไปยังโพลีไดอิเล็กตริก

บทที่ 3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย แนวความคิดในการออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โพลีไดอิเล็กตริกและการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โพลีไดอิเล็กตริก

บทที่ 4 การทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ประกอบด้วยผลของ การสร้างและการวัดตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและตัวเหนี่ยวนำ การทดสอบวัดค่าการแพร่กระจายความร้อนด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยมีการทดสอบการให้ความร้อนที่กำลังงานระดับต่าง ๆ และการทดสอบการให้ความร้อนกับโพลีไดอิเล็กตริก

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและผลของการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ปัญหาและข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

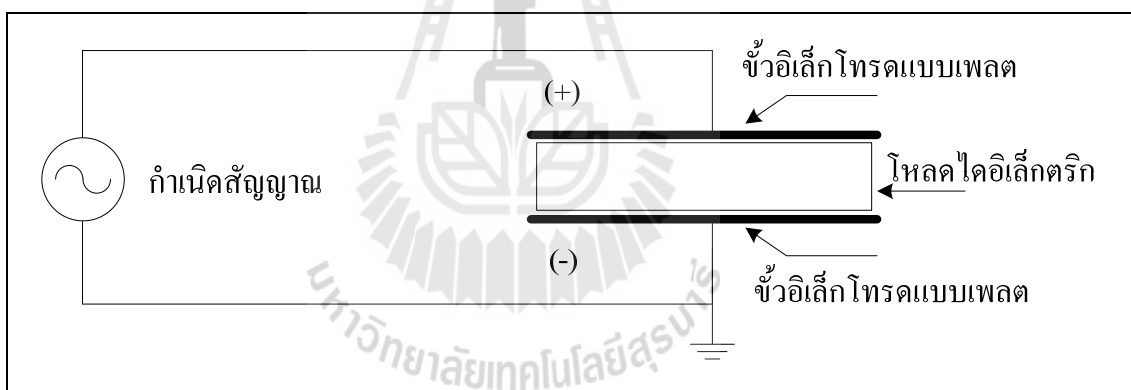
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหลดในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

2.1 กล่าวนำ

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนั้น เป็นวิธีการการให้พลังงานความร้อนในรูปแบบของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยคลื่นสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อวัสดุไดอิเล็กจะทำปฏิกิริยากับโหลดไดอิเล็กตริกให้เกิดการแปรผันเป็นพลังงานในรูปแบบของไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งเป็นวิธีการให้ความร้อนไปยังวัสดุไดอิเล็กตริกโดยตรง ทำให้มีประสิทธิภาพการให้ความร้อนสูง โดยในปัจจุบัน ได้มีการประยุกต์ใช้ในงานทางด้านภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากขึ้น เช่นภาคเกษตรกรรม ได้นำเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับอุตสาหกรรมการอบแห้งผลไม้เพื่อการส่งออก อุตสาหกรรมการถนอมผลไม้ การถนอมอาหารและการอบแห้งไม้ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนกับสิ่งมีชีวิตหรือศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ได้ เช่นเดียวกัน โดยจากปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้สืบค้นงานวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ศึกษาและนำเสนอมานั้น งานวิจัยส่วนใหญ่ได้มีการนำเสนอถึงความ เป็นไดอิเล็กตริก และการตอบสนองต่อความถี่ ในกลุ่มแมลง ทำให้ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาและวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหลดไดอิเล็กตริก ในแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และใช้โหลดไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าวและมอดข้าวเป็นโหลดไดอิเล็กตริกหลักในการวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยนี้ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อการวิเคราะห์และการทดสอบผลอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อหลัก ได้แก่ หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า ทฤษฎีพื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก โครงสร้างพื้นฐานการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อน ซึ่งส่วนต่าง ๆ เหล่านี้จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงทฤษฎีของหลักการทำงานในแต่ละภาคส่วน รวมถึงการประยุกต์ใช้งานและโครงสร้างวัสดุไดอิเล็กตริกต่าง ๆ เพื่อนำมาซึ่งการวิเคราะห์ ออกแบบและทดสอบให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อการใช้งานมากที่สุด โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์หรือกล่าวอ้างถึงในการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้เนื้อหามีความกระชับชัดเจน สำหรับใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหลดในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกต่อไป

2.2 ลักษณะทั่วไปของการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก

ลักษณะโดยทั่วไปของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนกำเนิดสัญญาณ ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะของสัญญาณและความถี่ที่ต้องการใช้งาน รวมถึงระดับกำลังงานที่ใช้สำหรับให้ความร้อน สำหรับป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตมีทั้งหมด 2 ชั้น คือ ขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงาน (ขั้วบวก) (Upper electrode) เพื่อสร้างสนามไฟฟ้า และส่งผ่านกำลังงานไปยังโหลดไดอิเล็กตริก และเข้าสู่ขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตที่เป็นกราวด์ (ขั้วลบ) (Lower electrode) และอีกส่วนประกอบหนึ่งคือ โหลดไดอิเล็กตริก ซึ่งรูปแบบของการให้ความร้อนแบบโหลดไดอิเล็กตริกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยมีรูปแบบของวงจรที่ใช้ในการให้ความร้อนแบบรีโซแนนซ์แบบอนุกรม ดังนี้สำหรับการวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก จึงต้องศึกษาถึงทฤษฎีของการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก ทฤษฎีของการให้ความร้อนที่เป็นผลมาจากคลื่นสนามไฟฟ้า รวมถึงทฤษฎีของวงจรรีโซแนนซ์ เพื่อให้การวิเคราะห์ ออกแบบและทดสอบ ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด



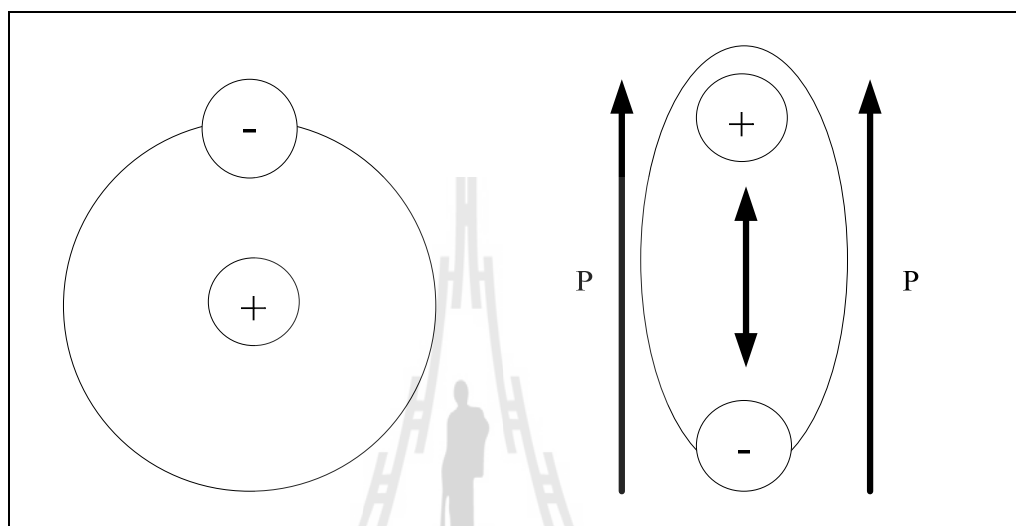
รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

2.3 พื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก

2.3.1 โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (dielectric heating) นั้นมีหลักการทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ (radio frequency) หรือย่านความถี่ไมโครเวฟ (microwave) กำลังสูงส่งผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยวัสดุที่สามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกได้นั้นจะต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือจะต้องเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วหรืออาจจะประกอบไปด้วยน้ำ ซึ่งมีโมเลกุลแบบมีขั้วเช่นกัน

เป็นองค์ประกอบ ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาริซชันของประจุภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตแล้วสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาริซชัน แต่ในกรณีที่ป้อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาริซชันดังแสดงในรูปที่ 2.2



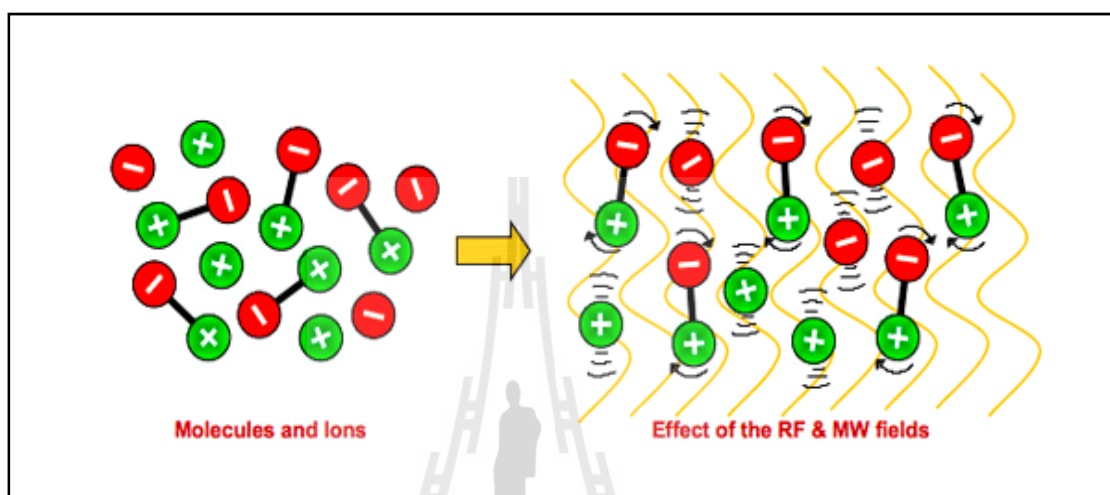
รูปที่ 2.2 โครงสร้างอะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กตริก

ส่วนวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว เช่น อากาศ เทฟลอน (Teflon) หรือแก้ว ซึ่งจะไม่สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ โดยคลื่นจะผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อวัสดุ โดยไม่เกิดความร้อนหรือการเปลี่ยนแปลงใด ๆ สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการถ่ายเทพลังงานเป็นความร้อนเกิดภายในเนื้อวัสดุโดยตรง ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการให้ความร้อนแบบดั้งเดิมซึ่งใช้เชื้อเพลิงหรือขดลวดไฟฟ้า ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจะอาศัยการพาของอากาศร้อนหรือการแผ่รังสีจากแหล่งความร้อนเป็นหลัก ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นจะถ่ายเทไปที่ผิววัสดุก่อน จากนั้นจึงจะค่อยเกิดการนำความร้อนจากผิวนอกของวัสดุเข้าไปสู่ภายในวัสดุ

2.3.2 กลไกการเกิดความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

สำหรับวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสาร ไดอิเล็กตริกนั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาริซชันของประจุภายในไดอิเล็กตริกเมื่อทำการป้อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตแล้วสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาริซชัน แต่ในกรณี

ที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาไรซ์ นั่นคือ
 ขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวกันตามทิศทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่าน
 เข้าไป ซึ่งทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือ
 เป็นการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีกันของ โมเลกุลขั้วบวกและขั้วลบพยายามจัดเรียงตัว
 กันตามทิศทางของคลื่นสนามไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไปในไดอิเล็กตริก

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงไปตามคาบเวลาของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อน
 ให้แก่ไดอิเล็กตริก ซึ่งการหมุนของไดโพลที่ทำให้เกิดความร้อน โดยเกิดจากความเสียดทานภายใน
 ของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) สูงพอ
 โดยจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ไดอิเล็กตริกที่มี
 การสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก
 สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจาก
 การป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของ
 อะตอมหรือโมเลกุล

ในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิด
 จากประจุบวกและประจุลบ ที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้า
 ไปภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือ โมเลกุล กลไกของการเกิดการแยก
 ห่างกันของประจุขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับตัวกลาง

ไดอิเล็กตริก โดยสามารถแบ่งชนิดของการเกิดโพลาริเซชันของไดอิเล็กตริกได้ 4 แบบใหญ่ ซึ่งในแต่ละแบบจะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน แต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบกวนเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวก โดยที่พลังงานสนามไฟฟ้าสลับนี้ ความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาริเซชัน จะอธิบายการเกิดโพลาริเซชันชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้ คือ การเกิดโพลาริเซชันแบบสเปซชาร์จ (Space charge polarization) การเกิดโพลาริเซชันชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF โดยการเกิดโพลาริเซชันจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระโดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดโดยส่วนกีดขวาง เมื่อมีการป้อนพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก อิเล็กตรอนจะไปสะสมบริเวณที่ส่วนกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน มีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาริเซชัน การเกิดโพลาริเซชันแบบการจัดเรียงไดโพล (Polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาริเซชันลักษณะนี้ เกิดขึ้นที่ความถี่สูงมากเช่น ย่านความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งจะเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก การเกิดโพลาริเซชันแบบไอออนิก (Ionic polarization) การเกิดโพลาริเซชันลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ย่านความถี่อินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล และการเกิดโพลาริเซชันแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic polarization) การเกิดโพลาริเซชันลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ที่ใกล้เคียงกับความถี่ของอัลตราไวโอเล็ต โดยนิวเคลียสของอะตอม ซึ่งเป็นประจุบวก จะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา

2.3.3 ไดโพลโมเมนต์ที่ถูกดูดซึม

ในวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นแบบไม่มีขั้วภายในโมเลกุลก็จะไม่มีไดโพลไฟฟ้าถาวร แต่จะสามารถเหนี่ยวนำโมเมนต์ได้โดยการทำให้โมเลกุลมีรูปร่างที่เปลี่ยนไปโดยการป้อนพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริก ความสามารถในการเกิดโพลาริเซชัน (Polarizations, α') จะสามารถวัดได้จากการเหนี่ยวนำไดโพลโมเมนต์ของสนามไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$p = \alpha' E_{loc} \quad (2.1)$$

เมื่อ E_{loc} คือ สนามไฟฟ้าภายใน

α' คือ ความสามารถในการเกิดโพลาริเซชัน

จากสมการที่ (2.1) ถ้าสมมติให้มีโมเลกุลเป็น N โมเลกุลในหนึ่งหน่วยปริมาตร สามารถแสดงไดโพลโมเมนต์รวมได้ดังสมการที่ (2.2) หรือในรูปฟังก์ชันของการป้อนสนามไฟฟ้า สามารถได้ดังสมการที่ (2.3)

$$p = N\alpha' E_{loc} \quad (2.2)$$

$$P = \chi E \quad (2.3)$$

เมื่อ χ คือ ค่าซ์เซพติบิลิตี (Susceptibility) ของตัวกลางไดอิเล็กตริก

สำหรับค่าซ์เซพติบิลิตีของไดอิเล็กตริกของตัวกลางที่เป็นอวกาศว่าง (free space) นั้นจะเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้า (D) และสนามไฟฟ้า (E) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.4) แต่ถ้าพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้างกล่าวในไดอิเล็กตริกจะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5)

$$D = \epsilon_0 E \quad (2.4)$$

$$D = \epsilon_0 E + P \quad (2.5)$$

เมื่อทำการแทนค่าสมการที่ (2.3) ลงในสมการ (2.5) แล้วจัดรูปใหม่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$D = (\epsilon_0 + \chi) E \quad (2.6)$$

หรือ

$$D = \epsilon' E \quad (2.7)$$

ถ้า

$$\chi = \epsilon' - \epsilon_0 \quad (2.8)$$

สามารถหาค่าความไวสัมพัทธ์ (Relative susceptibility, χ_r) ได้ดังสมการที่ (2.9) เมื่อแทนค่าสมการ (2.8) ลงในสมการ (2.9) แล้วจัดรูปใหม่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.10)

$$\chi_r = \frac{\chi}{\epsilon_0} \quad (2.9)$$

$$\chi_r = \epsilon'_r - 1 \quad (2.10)$$

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity, ϵ'_r) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กตริกกับค่าความสามารถในการเกิดโพลาริซ ซึ่ง เป็นคุณสมบัติของโมเลกุลเนื่องจากค่าของสนามไฟฟ้าภายในจะแตกต่างจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา แสดงได้ดังสมการที่ (2.11) แต่ยกเว้นสำหรับกรณีของก๊าซความดันต่ำ (Low pressure gases)

$$\frac{N\alpha'}{\epsilon_0} = \epsilon'_r - 1 \quad (2.11)$$

และนอกจากนี้สำหรับในตัวกลางอื่น ๆ จะสามารถแสดงค่าสนามไฟฟ้าภายในได้ ดังสมการที่ (2.12)

$$E_{loc} = E + \frac{P}{3\epsilon_0} = E \left(1 + \frac{\chi}{3\epsilon_0} \right) = \frac{\epsilon' + 2\epsilon_0}{3\epsilon_0} E = \frac{\epsilon'_r + 2}{3} E \quad (2.12)$$

จากนั้นเมื่อแทนค่าสมการ (2.11) ลงในสมการ (2.2) จะเขียนสมการการเกิด โพลาริซได้ดังสมการที่ (2.13)

$$P = N\alpha' \frac{\epsilon'_r + 2}{3} E \quad (2.13)$$

โดยจากสมการที่ (3.13) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ_r' กับ α' ได้ดังสมการที่ (3.14) ซึ่งเรียกความสัมพันธ์ของสมการที่ (3.14) นี้ว่า สมการของ Clausius-Mosotti

$$\frac{N\alpha'}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon_r' - 1}{\epsilon_r' + 2} \quad (2.14)$$

2.4 หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

2.4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไดอิเล็กตริก

คุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กตริกของวัสดุใด ๆ ที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวกับคลื่นความถี่ จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงลักษณะการเกิดและการแพร่กระจายความร้อนในไดอิเล็กตริกด้วยสนามไฟฟ้า เพื่อให้ตัวกลางไดอิเล็กตริกของวัสดุใด ๆ มีความร้อนและมีช่วงความถี่ใช้งานเหมาะสมที่สุด จึงต้องมีการศึกษาถึงคุณสมบัติของไดอิเล็กตริก ซึ่งคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกนั้นสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ ด้วยค่าสภาพยอมเชิงซ้อน (Complex permittivity, ϵ^*) หรือที่เรียกว่า “ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกยังผล (dielectric constant)” ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2.15)$$

เมื่อ ϵ'' คือ ปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (dielectric loss factor) โดยสำหรับการพิจารณาค่าการสูญเสีย นั้น จะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน และสามารถนิยามค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Loss tangent) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (2.16)$$

โดยความถี่วิทยุที่สำคัญที่มีการใช้ในปัจจุบันสำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้ จะใช้ย่านความถี่วิทยุในช่วง 1 MHz–100 MHz ซึ่งจะใช้หลักการหมุนของไดโพลเป็นกลไกการสูญเสียที่สำคัญ ดังสมการความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\varepsilon'' = \varepsilon_d'' + \varepsilon_\sigma'' = \varepsilon_d'' + \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} \quad (2.17)$$

2.4.2 รูปแบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric) ที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นการทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาริซชันของประจุภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสถิตแล้วสนามไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาริซชัน แต่ในกรณีที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาริซชันและจะทำให้ไดโพลเกิดการหมุนไปตามคาบเวลาของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อน การหมุนของไดโพลทำให้เกิดความร้อนโดยเกิดจากความเสียดทานภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) สูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ ซึ่งในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบที่แยกห่างออกจากกัน เนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล โดยกลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุจะขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดอิเล็กตริก โดยการแบ่งชนิดของการเกิดโพลาริซชันของไดอิเล็กตริกนั้นสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะ ซึ่งในแต่ละแบบจะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกันแต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบกวน เนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวกโดยที่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนั้นความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาริซชัน ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดโพลาริซชันชนิดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ คือ อันดับแรกนั้นเป็นลักษณะการเกิดโพลาริซชันแบบสเปซชาร์จ (space charge polarization) โดยการเกิดโพลาริซชันชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF เนื่องจากการเกิดโพลาริซชันจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดด้วยสิ่งกีดขวาง

เมื่อมีการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริกแล้วอิเล็กตรอนจะสะสมบริเวณที่ส่วนกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน และมีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาริซชัน โดยการเกิดโพลาริซชันลักษณะนี้เป็นพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ ต่อมาอันดับที่สองเป็นการเกิดโพลาริซชันแบบการจัดเรียงตัวของไดโพล (polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาริซชันแบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงมาก เช่น ย่านความถี่ไมโครเวฟ

โดยจะเกิดขึ้นในระดับของโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ต่อมาเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบไอออนิก (ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ของอินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล และสุดท้ายเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ที่ใกล้เคียงกับความถี่ของอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งนิวเคลียสของอะตอมซึ่งเป็นประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา

2.4.3 การเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของไดอิเล็กตริก

การทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของพลังงานของสนามไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งพลังงานที่แพร่กระจายนี้จะทำให้เกิดการหมุนของไดโพล และจะเกิดความเสียหายจากการหมุนทำให้เกิดความร้อน การแพร่กระจายของกำลังงาน ที่ทำให้เกิดความร้อนในหนึ่งหน่วยปริมาตร V_a จะแปรผันตรงกับกำลังงานของคลื่นสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายในหนึ่งหน่วยปริมาตรและจะเป็นไปตามสมการที่ (2.18)

$$\frac{P}{V_a} = \sigma_d E_{loc}^2 \quad (2.18)$$

เมื่อ σ_d คือ ค่าความนำของไดอิเล็กตริก (Dielectric conductivity) และมีค่าเท่ากับสมการที่ (2.19) เมื่อแทนค่าจากสมการที่ (2.19) ลงในสมการที่ (2.18) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.20)

$$\sigma_d = \omega \varepsilon' \varepsilon_o \tan \delta \quad (2.19)$$

$$\frac{P}{V_a} = \omega \varepsilon' \varepsilon_o \tan \delta E_{loc}^2 \quad (2.20)$$

ในกรณีของคลื่นภายในตัวกลางที่มีความแตกต่างจากคลื่นที่ให้จากภายนอก โดยที่คลื่นเดินทางภายในตัวกลางในทิศทาง Z สามารถได้กำลังงานของคลื่นภายในตัวกลางดังสมการที่ (2.21)

$$P_{(z)} = P_o e^{-2\alpha z} \quad (2.21)$$

เมื่อ P_o คือ กำลังงานคลื่นที่ตกกระทบในตัวกลาง
 α คือ ค่าคงที่ของการลดทอนกำลังงานคลื่นใน ไดอิเล็กตริก

ในกรณีที่พิจารณาสนามที่เคลื่อนที่ในระยะทาง d_1 สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.22) ถ้าพิจารณาสมการ (2.20) ใหม่จะให้ความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (2.23)

$$\int_0^{d_1} e^{-2\alpha z} dz = \frac{1}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha d_1}) \quad (2.22)$$

$$\frac{P(d_1)}{V_a} = \omega \varepsilon' \varepsilon_o \tan \delta E_{loc}^2 \frac{1}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha d_1}) \quad (2.23)$$

สำหรับการพิจารณาเกิดความร้อนภายในตัวกลางไดอิเล็กตริกจะมีการแพร่กระจายของความร้อนในตัวกลางด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การนำ (Conduction) การพา (Convection) และการแผ่ (Radiation) แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการแพร่กระจายของความร้อนโดยการนำและการแผ่เท่านั้น การเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นความถี่ภายในตัวกลางจะสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบสมการมาตรฐานของสมการการส่งถ่ายความร้อน ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านความถี่วิทยุให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งค่ากำลังที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (Power absorbed per unit mass, P) สามารถหาได้จาก การแทนค่าจากสมการที่ (2.16) ลงในสมการที่ (2.20) ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{P}{V_a} = \omega \varepsilon' \varepsilon_o (\varepsilon'' / \varepsilon') E_{loc}^2$$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาในรูปของตัวกลางไดอิเล็กตริกใด ๆ สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.24)

$$P = 5.563 \times 10^{-11} f \varepsilon'' E_{loc}^2 \quad (2.24)$$

โดยที่ E_{loc} คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)

f คือ ความถี่ (Hz)

ε'' คือ ปัจจัยที่มีการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor)

ในการใช้งานคลื่นความถี่สนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อคลื่นเดินทางเข้ามาในตัวกลาง การหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวกลางโดยวิธีการวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ยากมาก แต่อาจจะทำได้ โดยการวัดหรือการประมาณ โดยวิธีทางแบบจำลองเชิงเลข (Numerical modeling) โดยที่ค่ากำลังที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (Power absorbed per unit mass, P) จะเป็นตัวบ่งชี้การวัดค่ากำลังงานที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลาง และในการคำนวณหาอุณหภูมิสูงขึ้นก็สามารถหาได้จากสมการที่ (2.25)

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{\rho C_p} \quad (2.25)$$

โดยที่ C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ($J/kg \cdot ^\circ C$)

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

Δt คือ ระยะเวลา (s)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุ ($^\circ C$)

2.4.4 ระดับความลึกผิว

สำหรับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นความถี่วิทยุที่พลังงานจะลดลง $1/e$ เมื่อ ($e = 2.718$) ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางได้มากกว่าคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นวิทยุมีความถี่ต่ำและมีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นความถี่จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้น ๆ ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับเนื้อวัสดุที่ต้องการนำมาใช้งาน โดยสามารถพิจารณาได้จากการทะลุทะลวงคลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_p = \frac{1}{2\alpha}$$

$$\alpha = \omega \left(\frac{\mu_0 \mu' \varepsilon_0 \varepsilon'}{2} \right)^{1/2} \left[\left(1 + (\varepsilon'' / \varepsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2}$$

$$d_p = \frac{1}{2\omega \left(\frac{\mu_0 \mu' \varepsilon_0 \varepsilon'}{2} \right)^{1/2} \left[\left(1 + (\varepsilon'' / \varepsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2}}$$

เมื่อพิจารณาสมการข้างต้นในอากาศว่างที่มี $\mu' = 1$ จากนั้นจัดรูปสมการใหม่แล้วจะ
ได้ความสัมพันธ์ดังสมการ (2.26)

$$d_p = \frac{\lambda}{2\pi(2\varepsilon')^{1/2}} \left[\left(1 + (\varepsilon'' / \varepsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2}$$

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\vare'} \left[\sqrt{1 + (\varepsilon'' / \varepsilon')^2} - 1 \right]} \quad (2.26)$$

โดยที่ d_p คือ ความลึกของการทะลุทลวง

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

สำหรับกรณีของไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียต่ำ โดยที่ค่า $(\varepsilon'' / \varepsilon') = 1$ นั้นสามารถ
จัดรูปแบบสมการใหม่ได้ดังสมการที่ (2.27)

$$d_p = \frac{\lambda(\varepsilon')^{1/2}}{2\pi\varepsilon''}$$

หรือ

$$d_p = \frac{c(\epsilon')^{1/2}}{2\pi f \epsilon''} \quad (2.27)$$

โดยจากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.27) ซึ่งเป็นสมการความลึกในการใช้งานของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางของไดอิเล็กตริกที่มีความสูญเสียต่ำตามเงื่อนไขดังกล่าว โดยมีค่าความถี่เป็นตัวแปรซึ่งนำไปสู่การพิจารณาในรายละเอียดของปัจจัยในด้านความถี่ที่ถูกเลือกนำไปใช้งานสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกต่อไป

2.5 การส่งผ่านความร้อน

สำหรับการพิจารณากำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกหรือตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยตัวกลางที่มีการสูญเสียดังกล่าวนั้นสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นซึ่งอยู่ในรูปของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง โดยกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางนั้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคประจุไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกและทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นภายใต้เงื่อนไขว่าเป็นตัวกลางที่มีการสูญเสียชนิดเดียวและมีการส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (heat conduction) ภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียที่มีการพาความร้อนที่บริเวณผิวของตัวกลางที่มีการสูญเสีย และไม่เกิดการระเหยของน้ำกลายเป็นไอ (มวลไม่เปลี่ยนแปลง) โดยแหล่งกำเนิดอื่นที่ทำให้เกิดการโพลาไรซ์มาจากประจุไฟฟ้าที่บริเวณผิวของตัวกลางที่แตกต่างกับประจุไฟฟ้าในอากาศหรือการโพลาไรซ์ของแมกเวลล์ (Maxwell-wagner polarization) ซึ่งโครงสร้างของการโพลาไรซ์ของแมกเวลล์นั้นจะมีลักษณะเป็น การเปลี่ยนแปลงสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (สลับขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว และเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่สูง ซึ่งการแพร่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อจะให้เกิด

ความร้อนแก่วัตถุใด ๆ สามารถแสดงด้วยสมการการส่งผ่านความร้อน (heat transport equation) (Metaxas et al., 1983; ดวงอาทิตย์ ศรีมูล, 2544; ชาญชัย ทองโสภณ, 2545) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f \varepsilon'' E_{loc}^2 \quad (2.28)$$

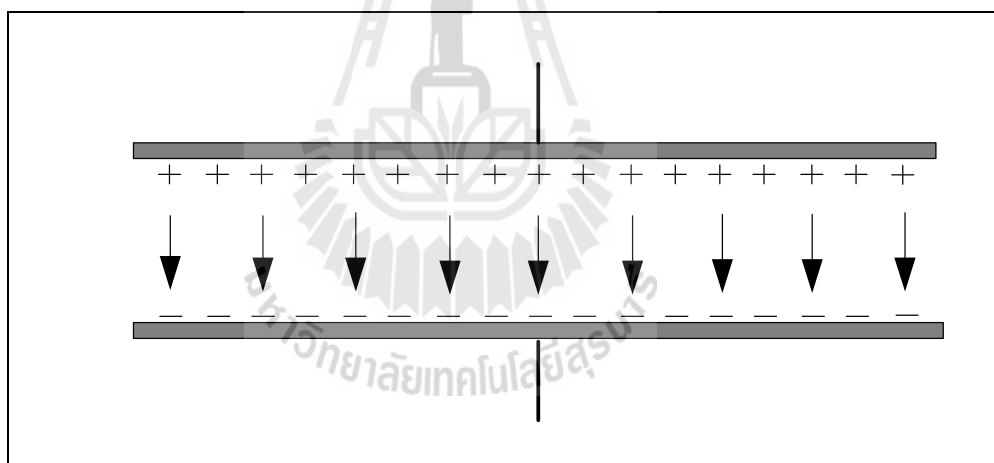
- โดยที่ E_{loc} คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (V / m)
 f คือ ความถี่ (Hz)
 ε'' คือ ปัจจัยที่มีการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor)
 C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ($J / kg \cdot ^\circ C$)
 ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg / m^3)
 Δt คือ ระยะเวลา (s)
 ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุ ($^\circ C$)

2.6 การให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า

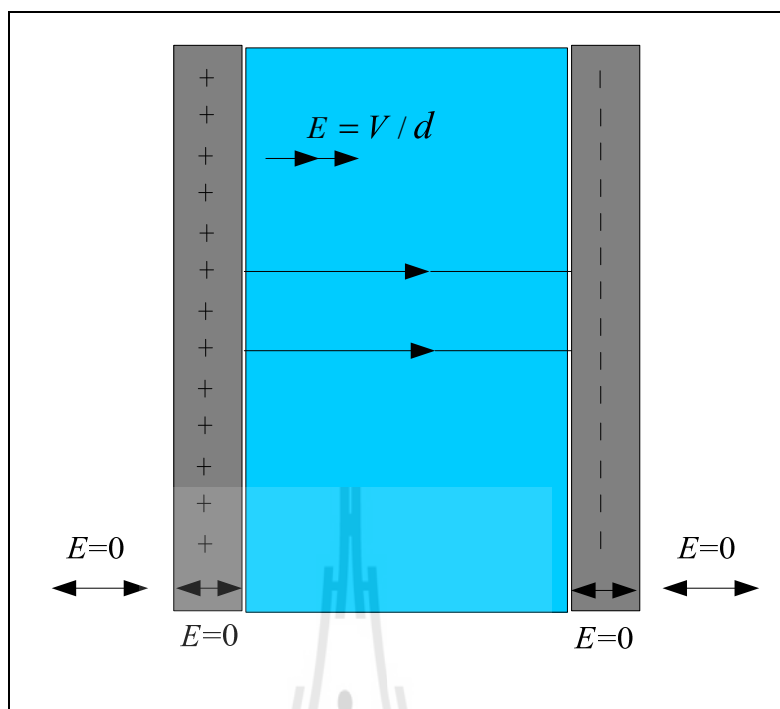
จากเนื้อหาในข้างต้นได้กล่าวไว้ว่าการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนได้ โดยการป้อนคลื่นสนามไฟฟ้าเข้าไปในวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นผลของการทำให้เกิดความร้อน โดยเกิดจากจากความสามารถของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาริซชันของประจุภายในไดอิเล็กตริกเมื่อทำการป้อนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสถิตแล้วสนามไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดโพลาริซชัน แต่ในกรณีที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาริซชัน นั่นคือขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบพยายามเรียงตัวกันตามทิศทางของคลื่นสนามไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้าไป ซึ่งทำให้เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุล เกิดเป็นความร้อนกระจายทั่วภายในเนื้อวัสดุหรือเป็นการถ่ายเทพลังงานจากคลื่นสนามไฟฟ้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถทำให้เกิดการแปลงผันพลังงานจากสนามไฟฟ้าเป็นความร้อนได้ ดังนั้นการศึกษาทฤษฎีของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจึงเป็นอีกหัวข้อที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ผลของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อวัสดุไดอิเล็กตริก สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอการใช้ตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับการวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งจะได้อีกถึงทฤษฎีของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของตัวสร้างคลื่นแบบแผ่นเพลตในหัวข้อต่อไป

2.6.1 ลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของตัวสร้างคลื่นแบบแผ่นเพลต

การพิจารณาตัวกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริก ให้มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลางซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางกรไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กโทรดประจุบวกไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งพลังงานในแผ่นเพลตสามารถคำนวณได้จากสมการ $U = CV^2$ เมื่อ U คือ พลังงานในแผ่นเพลต C คือค่าความจุ และ V คือแรงดันตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต



รูปที่ 2.4 โครงสร้างตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต



รูปที่ 2.5 โครงสร้างตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีส่วนประกอบของโหนดไดอิเล็กตริก

พิจารณาในรูปที่ 2.5 ในกรณีที่ตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้ามีโหนดไดอิเล็กตริกอยู่ระหว่างแผ่นเพลต ลักษณะของคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางวิ่งเข้าหาวัสดุไดอิเล็กตริก ก่อนที่จะวิ่งเข้าหาประจุลบ ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เกิดความเข้มสนามไฟฟ้าภายในของโหนดไดอิเล็กตริก โดยความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.29)

$$E = \frac{V}{d} \quad (2.29)$$

โดยที่ V คือ แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต

การคำนวณค่าความจุของตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต สามารถคำนวณและ
ออกแบบได้จากสมการที่ (2.30) ดังนี้

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d} \quad (2.30)$$

โดยที่ k คือ ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุไดอิเล็กตริกที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลต

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต (m^2)

ϵ_0 คือ 8.854×10^{-12} F/m

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต (m)

2.6.2 คุณลักษณะของตัวเหนี่ยวนำ

การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำจะต้องไม่ทำให้เกิดการหักล้างสนามแม่เหล็ก
จากเหตุผลข้างต้นขดลวดเหนี่ยวนำจะต้องสามารถทำให้เกิดความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในพื้นที่
ที่ต้องการให้ความร้อนได้ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทหลักดังนี้

- A helical solenoid จะให้ความร้อนแก่ชิ้นงานภายในขดลวดเหนี่ยวนำ
- A pancake coil จะให้ความร้อนเฉพาะบริเวณผิวหน้าด้านหนึ่งของชิ้นงาน
- An internal coil จะให้ความร้อนบริเวณรอบนอกของขดลวดเหนี่ยวนำ

โดยทั่วไปแล้วขดลวดเหนี่ยวนำนิยมจากลวดแดง ทั้งนี้เพราะทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ซึ่งลักษณะ
ตัวอย่างขดลวดแบบต่าง ๆ ได้แก่ แบบ (1) round (2) rectangular (3) formed (4) pancake (5) spiral-
helical และ (6) internal โดยขดลวดแบบต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกนำไปใช้ตามสภาวะของงานตามรูปร่าง
วัสดุที่มีความเหมาะสม ทำให้มีกำลังสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำต่ำ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบมี
ประสิทธิภาพสูง สำหรับการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำนั้นจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ส่งผล
ต่อกระแสไฟฟ้าในขดลวด จำนวนเส้นแรงแม่เหล็กหรือความเข้มของสนามแม่เหล็กโดยรวม โดย
การคำนวณหรือการพิจารณาค่าความเหนี่ยวนำนั้นถูกกำหนดโดย 3 ปัจจัยดังนี้

1) จำนวนรอบของขดลวด โดยถ้าตัวเหนี่ยวนำมีจำนวนรอบของขดลวดมากขึ้น
สนามแม่เหล็กที่เกิดจากการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้าในขดลวดเกิดขึ้นมากด้วย สนามแม่เหล็ก
ปริมาณมากนี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ และจากการที่มีเส้นแรงแม่เหล็กจำนวน
มากตัดกับขดลวด จึงส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็น
สัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบของขดลวด

2) พื้นที่ของขดลวด โดยถ้าพื้นที่ของขดลวดเพิ่มขึ้นสำหรับขดลวดที่มีจำนวนรอบใด ๆ จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กมีจำนวนมากขึ้นด้วย และการมีสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นตาม ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพื้นที่ของขดลวด

3) ความยาวของขดลวด โดยถ้าทำให้ขดลวดจำนวน 4 รอบขยายพื้นที่ออกผลรวมของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดแต่ละขดจะมีปริมาณลดลง แต่ในทางกลับกันถ้าขดลวดที่มีจำนวนเท่าเดิมนี้นำมาพันให้อยู่ชิดกันมากขึ้นความยาวของขดลวดสั้นลงสนามแม่เหล็กที่เกิดจากขดลวดในแต่ละขดจะเสริมซึ่งกันและกันทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่ามากตามไปด้วย ดังนั้น ค่าความเหนี่ยวนำจึงเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาวของขดลวด

$$L = \frac{\mu AN^2}{l} \quad (3.31)$$

เมื่อ L คือค่าความเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นเฮนรี่ (H)

μ คือค่าความซึมซาบได้

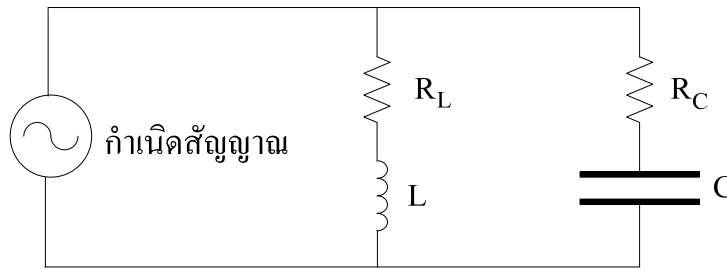
N คือจำนวนรอบของขดลวด

A คือพื้นที่หน้าตัด มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

l คือความยาวของวัสดุที่นำมาทำแกน มีหน่วยเป็นเมตร (m)

2.6.3 วงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน

สำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบขนานนั้นจะมีลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งรีโซแนนซ์สูงสุด โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรดังกล่าวจะมีค่าน้อยซึ่งทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่ามากที่สุดและทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูงสุด ซึ่งวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้านั้นสามารถทำได้โดยการลดแรงดันที่จ่ายให้วงจรหรือการเลื่อนความถี่ใช้งานให้มีค่าต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งรีโซแนนซ์ โดยที่วงจรรีโซแนนซ์ RLC ที่ต่อแบบขนานนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของวงจรรีโซแนนซ์ในรูปที่ 2.9 แล้วพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรรีโซแนนซ์ RLC ที่ต่อแบบขนานจะมีค่าดังสมการที่ (2.32) ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐานดังสมการที่ 3.33

$$Z = \frac{Z_L Z_C}{Z_L + Z_C}$$

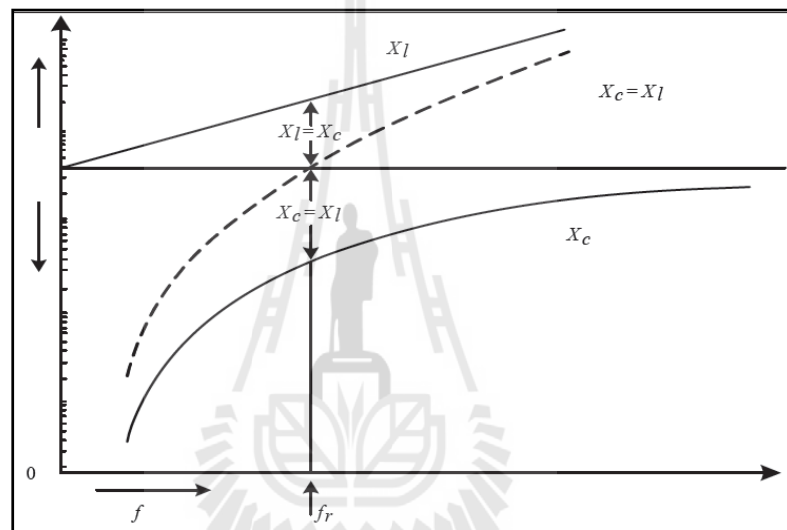
$$Z = \frac{(R_L + j\omega L) \left(R_C - \frac{j}{\omega C} \right)}{(R_L + R_C) + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)} \quad (3.32)$$

$$Z = R + j(X_L + X_C) \quad (3.33)$$

ถ้ากำหนดให้ $X_L = X_C$ และนั่นคือ $2\pi fL = 1/2\pi fC$ จากนั้นจัดรูปใหม่ซึ่งจะได้ค่าของความถี่ $f^2 = 1/(2\pi)^2 LC$ ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ของความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ดังแสดงในสมการที่ (3.34)

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (3.34)$$

จากสมการ 3.34 จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/2\pi fC$ โดยเมื่อพิจารณาวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมในรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเมื่อความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น ค่า X_L จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าของ X_C จะมีค่าลดลงด้วย โดยผลรวมของค่ารีแอกแตนซ์จะมีค่าเท่ากับ $(X_L - X_C)$ ดังนั้นถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับความถี่รีโซแนนซ์จะมีผลทำให้ค่ารีแอกแตนซ์รวมมีค่าเป็นศูนย์ และอิมพีแดนซ์รวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน ($Z=R$) ซึ่งสามารถพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ RLC ได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพีแดนซ์ X_L และ X_C ต่อความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรม

เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมในรูปที่ 2.7 พบว่าค่าของแรงดันไฟฟ้าภายในวงจรรีโซแนนซ์นั้นสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.35) และกระแสที่ไหลเมื่อวงจรเกิดสภาวะการรีโซแนนซ์นั้นคือ $X_L = X_C$ จะแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ (2.36)

$$V = I * R + j(X_L + X_C) \quad (2.35)$$

$$V = IR \quad (2.36)$$

โดยค่าความถี่ ไซแนซนั้นเป็นความถี่เฉพาะค่าหนึ่งที่กำลังดัน ค่ากระแส และค่าความต้านทานอย่างใดอย่างหนึ่งมีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังความสัมพันธ์ในสมการต่อไปนี้

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.36)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.37)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.38)$$

โดยที่ L คือ ตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นเฮนรี (H)

C คือ ตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

2.7 สรุป

สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสิ่งสำคัญคือต้องเข้าใจถึงหลักการทำงานของวงจรระบบ และ โครงสร้างของอุปกรณ์ที่นำมาออกแบบและสร้างสำหรับการวิเคราะห์ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโพลดิพลวัตในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึง ทฤษฎีพื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งได้อธิบายถึงโครงสร้างพื้นฐานการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก จะอธิบายถึงสมการการเกิดความร้อนและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนและหลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า เพื่อให้ทราบถึงพลังงานที่จะเกิดขึ้นบนตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต และกล่าวถึงหลักการให้ความร้อนด้วยคลื่นสนามไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของตัวสร้างคลื่นแบบแผ่นเพลต คุณสมบัติของตัวเหนี่ยวนำ และวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน ทั้งนี้เพื่อนำมาซึ่งการวิเคราะห์ ออกแบบและทดสอบให้มีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

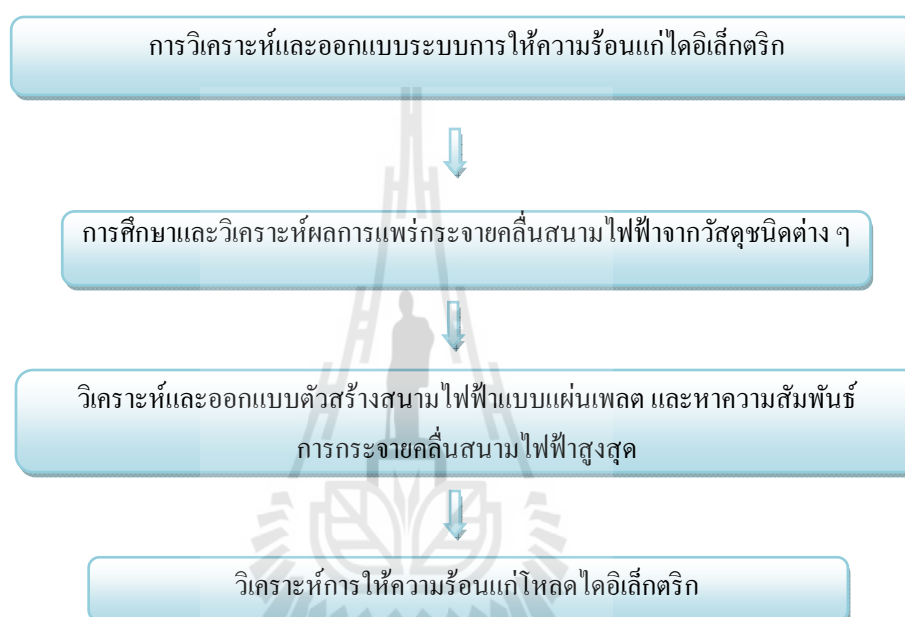
บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กทริก

3.1 กล่าวนำ

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเกิดอุณหภูมิความร้อนกับโพลไดอิเล็กทริก ซึ่งโพลไดอิเล็กทริกในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยกลุ่มของวัสดุพีซีและแมลงที่ทำให้วัสดุพีซีเหล่านั้นเสียหาย โดยได้เลือกใช้ข้าวและมอดข้าวเป็นโพลไดอิเล็กทริกหลักสำหรับทดสอบ เนื่องจากกำลังประสบปัญหาอย่างหนักในปัจจุบัน สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก จะใช้โปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อการวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการศึกษาความเป็นไปได้ของรูปแบบระบบการให้ความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้า ทั้งนี้ เพื่อประยุกต์ใช้ในเทคโนโลยีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก โดยเบื้องต้นนั้น จะเป็นการศึกษาและวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้สำหรับออกแบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักในการกำเนิดสนามไฟฟ้า ทั้งนี้ เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการกำเนิดสนามไฟฟ้าจากวัสดุแต่ละชนิด และสามารถนำมาออกแบบและสร้างตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตให้มีความเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานและให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จากนั้นได้นำตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีผลการกระจายสนามไฟฟ้าดีที่สุด ที่ได้จากการศึกษาและวิเคราะห์มาทำการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์และหาประสิทธิภาพของการกระจายสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่ดีที่สุด ซึ่งการจำลองนั้นจะใช้วิธีการป้อนกำลังงานด้วยสัญญาณคลื่นความถี่ 39 MHz ซึ่งในส่วนนี้เริ่มต้นจากการศึกษาผลการจำลองแบบด้วยวิธีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ และใช้เทคนิคการเพิ่มจำนวนจุดป้อนกำลังงานเพื่อให้ได้ตำแหน่งและจำนวนจุดป้อนกำลังงานที่ดีที่สุด เมื่อได้วิธีการป้อนกำลังงานที่เหมาะสม จากนั้นทำการจำลองผลการให้ความร้อนกับโพลไดอิเล็กทริกด้วยการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตที่ระดับต่าง ๆ เพื่อหาประสิทธิภาพของกำลังงานสำหรับการให้ความร้อนกับโพลไดอิเล็กทริกที่เหมาะสมในการให้ความร้อน โดยใช้โพลไดอิเล็กทริกตัวอย่างที่เป็นข้าวและมอดข้าวในการทดสอบ นอกจากนี้ ยังมีการวิเคราะห์ผลการจำลองเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของโพลไดอิเล็กทริก เพื่อวิเคราะห์ถึงผลของระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพล และพิจารณาประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่เกิดขึ้น เมื่อมีการให้ความร้อนจากตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งได้จากการแปรพลังงานของ

สนามไฟฟ้าให้เป็นอนุกรม โดยใช้สมการของการส่งผ่านความร้อนสำหรับการวิเคราะห์ การกระจายอุณหภูมิภายในหลอดไดโอดีเล็คทริกที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งผลเฉลยของสมการการส่งผ่าน ความร้อนนั้นได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST EM STUDIO ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายใน ตัวกลางที่มีการสูญเสียที่สัมพันธ์กับเวลา ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการทดสอบระบบการให้ความร้อน แบบไดโอดีเล็คทริกที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานต่อไป โดยรูปแบบและขั้นตอนการวิเคราะห์ และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดโอดีเล็คทริกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1

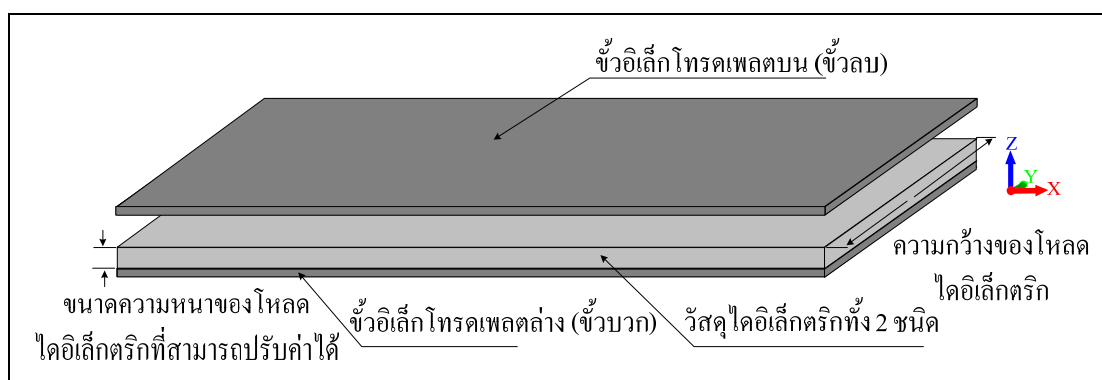


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดโอดีเล็คทริก

3.2 แนวความคิดในการวิเคราะห์ออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่หลอด ไดโอดีเล็คทริก

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแบบไดโอดีเล็คทริกด้วยการใช้สนามไฟฟ้าที่ได้ กล่าวมาแล้วข้างต้น พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่จะมีการใช้ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เนื่องจากสามารถให้ความเข้มสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด และเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งาน และสืบเนื่องจากปัญหาในปัจจุบัน ผลกระทบของแมลงศัตรูพืชที่ทำลายผลผลิตทางการเกษตร โดยแมลงเหล่านี้จะปะปนอยู่ในเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งได้มีการแก้ปัญหาด้วยการใช้สารเคมีในการอบรม ควัน เพื่อกำจัดแมลง ซึ่งสารรมควันที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิล โบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) โดยทำการรมควันประมาณ 5-7 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้ ซึ่งวิธีการนี้ยังคงมีใช้จนถึงปัจจุบัน แต่ยังพบผลที่ตามมาคือความกังวลของความเป็นพิษของสารเคมี

ต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การใช้เวลากำจัดที่นานและยังใช้พื้นที่จัดเก็บในขั้นตอนการรวมควันทึ่มากขึ้นด้วย และประกอบกับปัจจุบันการใช้สารเคมี มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานยาของแมลง การตกค้างของสารเคมี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลต สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นวิธีการกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมี รวมถึงประหยัดเวลาในการกำจัด โดยในงานวิจัยนี้ ใช้โพลไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าวและมอดข้าวเป็นโพลไดอิเล็กตริกหลักในการวิเคราะห์ เนื่องจากกำลังประสบปัญหาอย่างมากในปัจจุบันสำหรับอุตสาหกรรมส่งออกข้าว โดยลักษณะของการวิเคราะห์การให้ความร้อนจะใช้แผ่นอิเล็กโทรดแบบเพลตเป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถทำให้โพลเกิดความร้อนขึ้นได้ โดยได้ใช้หลักการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อพิจารณาระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลในแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลต่อการเกิดความร้อน และสร้างชุดทดสอบ สำหรับทดสอบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกกับโพลไดอิเล็กตริกในแผ่นเพลตโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานจากภายนอกที่ออกแบบและสร้างขึ้น เพื่อให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบสำหรับสร้างสนามไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับ การจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการให้ความร้อนและสามารถปรับปรุงให้มีความเหมาะสม รวมทั้งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุไดอิเล็กตริกชนิดต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป ซึ่งรูปแบบของแนวคิดการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักคือ ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต มีทั้งหมด 2 ขั้ว คือ ขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงาน (ขั้วบวก) (Upper electrode) เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าและส่งผ่านกำลังงานไปยังโพลไดอิเล็กตริกและเข้าสู่ขั้วอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตที่เป็นกราวด์ (ขั้วลบ) (Lower electrode) และอีกส่วนประกอบหนึ่งคือ โพลไดอิเล็กตริกที่ประกอบไปด้วยวัสดุที่เป็นข้าวและมอดข้าว ทั้งนี้วัสดุทั้ง 2 ชนิดจะมีการวิเคราะห์ผลของการให้ความร้อน โดยกำหนดให้โพลมีลักษณะเต็มพื้นที่ระหว่างแผ่นเพลตและการปรับเปลี่ยนขนาดตามต้องการ เพื่อวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลที่เปลี่ยนแปลง สำหรับหาวิธีการออกแบบและสร้างระบบให้มีประสิทธิภาพการทำงานและมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุด ซึ่งก่อนที่จะวิเคราะห์ถึงผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริก ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกเพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการกระจายสนามไฟฟ้าและขนาดของกำลังงานที่ใช้ทดสอบให้เหมาะสมที่สุด

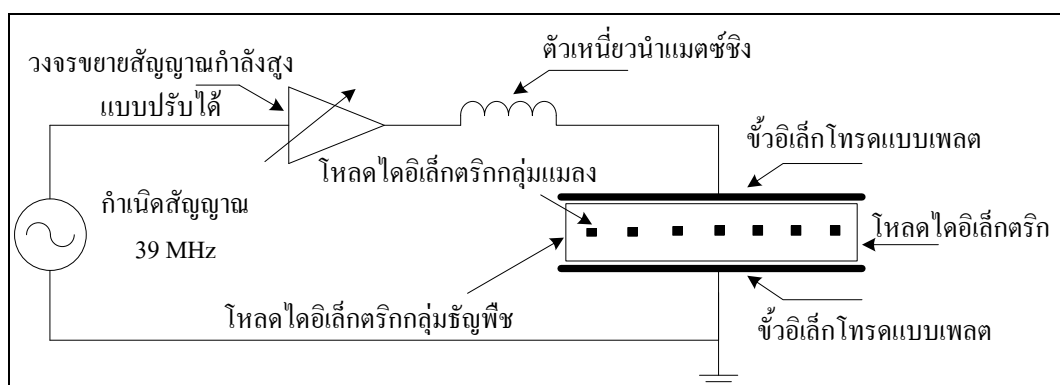


รูปที่ 3.2 รูปแบบของแนวคิดการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก

3.3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก

สำหรับหัวข้อต่อไปนี้จะได้กล่าวถึงแนวความคิดในการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกสำหรับวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดอิเล็กตริก ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อในการวิเคราะห์และออกแบบ คือ การวิเคราะห์การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจากตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยแผ่นเพลตมีการเลือกใช้วัสดุชนิดต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ถึงผลของการแพร่กระจายคลื่นอันเนื่องมาจากค่าคุณสมบัติของวัสดุแต่ละชนิด ทั้งนี้เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการกระจายสนามไฟฟ้า การออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต และการเลือกใช้งานที่เหมาะสม การวิเคราะห์ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต เพื่อปรับแต่งให้มีประสิทธิภาพการกระจายสนามไฟฟ้าที่ดีที่สุด และการวิเคราะห์การให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกโดยการพิจารณากำลังงานสำหรับให้ความร้อนที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังสามารถวิเคราะห์การให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลง สำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานในการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกอีกด้วย

สำหรับแนวความคิดในการจัดวางระบบการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งประกอบด้วยส่วนของวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ กำหนดความถี่เท่ากับ 39 MHz ส่งต่อกำลังงานให้กับวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงที่สามารถปรับกำลังงานได้ หลังจากนั้นส่งกำลังงานไปยังภาควงจรโซแนนซ์ ประกอบด้วยค่าของตัวเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุ ซึ่งเป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ประกอบด้วยขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรมเพลตบนสำหรับเป็นขั้วบวกสำหรับสร้างสนามไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านพลังงานความร้อนไปยังโหลดไดอิเล็กตริกที่ประกอบไปด้วยไดอิเล็กตริกที่เป็นแมลงและธัญพืชและเข้าสู่ขั้วอิเล็กทรอนิกส์โทรมเพลตล่างเป็นขั้วลบ ซึ่งเป็นการทำงานของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก



รูปที่ 3.3 แนวความคิดในการออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก

3.3.1 การวิเคราะห์ผลของวัสดุที่มีผลต่อการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า

จากแนวความคิดการออกแบบในรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นรูปแบบของระบบการให้ความร้อนแก่โหลดไดอิเล็กตริก โดยเริ่มต้นจากวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ กําเนิดความถี่เท่ากับ 39 MHz ส่งต่อกำลังงานให้กับวงจรขยายสัญญาณกำลังสูงที่สามารถปรับกำลังงานได้และป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลด เพื่อสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าและแปรผันพลังงานไฟฟ้าให้เป็นความร้อน โดยสนามไฟฟ้าจะแพร่กระจายในทิศทางของหัวอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลดที่มีการป้อนกำลังงาน (ขั้วบวก) เข้าสู่หัวอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลดที่เป็นกราวด์ (ขั้วลบ) สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะไปทำปฏิกิริยากับโหลดไดอิเล็กตริกและเปลี่ยนเป็นรูปแบบของพลังงานความร้อน ตัวแปรสำคัญในการกําเนิดคลื่นสนามไฟฟ้านั้นคือ วัสดุที่ใช้ในการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลด ซึ่งในหัวข้อนี้ จะได้มีการวิเคราะห์หลักประสิทธิภาพของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของวัสดุแต่ละชนิด เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการแพร่กระจายและนำมาเพื่อออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ให้มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าผลของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อค่าสภาพนำทางไฟฟ้าของวัสดุแต่ละชนิด และวัสดุที่ใช้ในการพิจารณาคูณลักษณะของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้น ได้เลือกใช้วัสดุที่มีค่าตัวแปรของสภาพนำทางไฟฟ้าและตัวแปรของค่าความซึมซาบได้ ในการพิจารณาเป็นหลัก โดยวัสดุที่เลือกใช้ได้แก่ ทองแดง (Cu) อลูมิเนียม (Al) วัสดุเหล็ก โครงสร้าง (Fe) และ เหล็กกล้าไร้สนิม (SST) จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุที่เป็นทองแดง ซึ่งมีค่าสภาพนำทางไฟฟ้าเท่ากับ 59.6×10^6 S/m เมื่อเทียบกับค่าสภาพนำทางไฟฟ้าของวัสดุอื่นที่มีค่าที่น้อยกว่า ทำให้วัสดุที่เป็นทองแดงสามารถแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นทองแดงเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและสร้างตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลด โดยที่ค่าสภาพนำทางไฟฟ้าและค่าความซึมซาบได้ของวัสดุแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่เลือกมาทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า

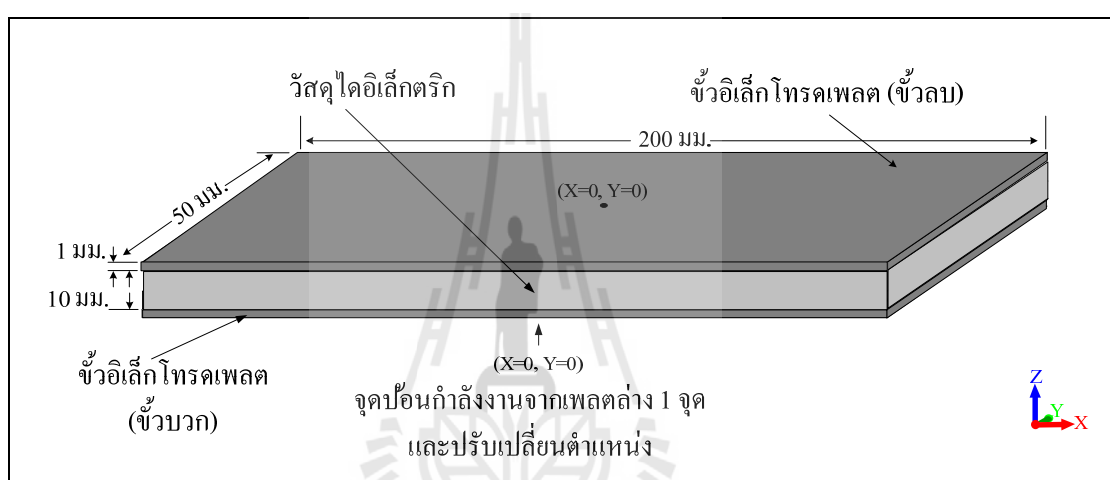
ชนิดของวัสดุ	ค่าสภาพนำทางไฟฟ้า (S/m)	ค่าความซึมซาบได้
ทองแดง (Cu)	59.6×10^6	1
อลูมิเนียม (Al)	35.0×10^6	1
เหล็กโครงสร้าง (Fe)	10.0×10^6	4000
เหล็กกล้าไร้สนิม (SST)	1.45×10^6	200000

3.3.2 การวิเคราะห์และจำลองลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมและการแพร่กระจายเต็มพื้นที่การใช้งาน และสืบเนื่องมาจากงานวิจัยนี้ ได้มุ่งเน้นไปทางด้านการศึกษาและวิเคราะห์การให้ความร้อนในการกำจัดแมลงที่ปะปนมาในเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งเมล็ดพันธุ์พืชและแมลงเหล่านั้น จะต้องถูกทำลายหรือไหลผ่านตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อทำการให้ความร้อนในการกำจัดแมลง ดังนั้น เพื่อการออกแบบและสร้างตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตให้มีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในอนาคต การเลือกใช้และออกแบบลักษณะของตัวสร้างสนามไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งพบว่าแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีลักษณะที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน ดังนั้น ในหัวข้อนี้ จึงได้มีการเลือกใช้ขนาดของแผ่นเพลตที่มีความกว้างเท่ากับ 5 เซนติเมตร และความยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ และใช้ค่าคุณสมบัติเฉพาะของมอดข้าวเป็น โหลด ไดอิเล็กตริกสำหรับการจำลอง ทั้งนี้เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและสามารถปรับแต่งจนทำให้มีพื้นที่การแพร่กระจายสำหรับการใช้งานมากที่สุด และเนื่องจากปริทศวรรณกรรมในบทที่ 1 พบว่าการใช้จุดป้อนกำลังงานมีผลต่อการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้ จะใช้เทคนิคการเพิ่มและการปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานสำหรับกรณีวิเคราะห์ในหัวข้อนี้ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 รูปแบบ คือ การพิจารณาจุดป้อนกำลังงาน 1 พอร์ต 2 พอร์ต 4 พอร์ต และ 6 พอร์ต โดยพิจารณาจากการจำลองผล โดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO สำหรับวิเคราะห์ผลทั้ง 4 รูปแบบ โดยการปรับเปลี่ยนตำแหน่งในแนวแกน X และ Y เพื่อให้ได้ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่ดีและเหมาะสมที่สุด โดยการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นของแต่ละรูปแบบสามารถแสดงได้ดังนี้

- กรณีที่ 1 การวิเคราะห์การป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการจำลองผลด้วยการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต ให้กับแผ่นเพลตและทำการปรับเปลี่ยนจุดป้อนสัญญาณที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นที่ของแผ่นเพลต เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กตริกที่อยู่ในแผ่นเพลต โดยการป้อนกำลังงานเท่ากับ 600 วัตต์ ลักษณะและรูปแบบการจำลองเมื่อใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 1 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.4 และตำแหน่งการป้อนกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.2



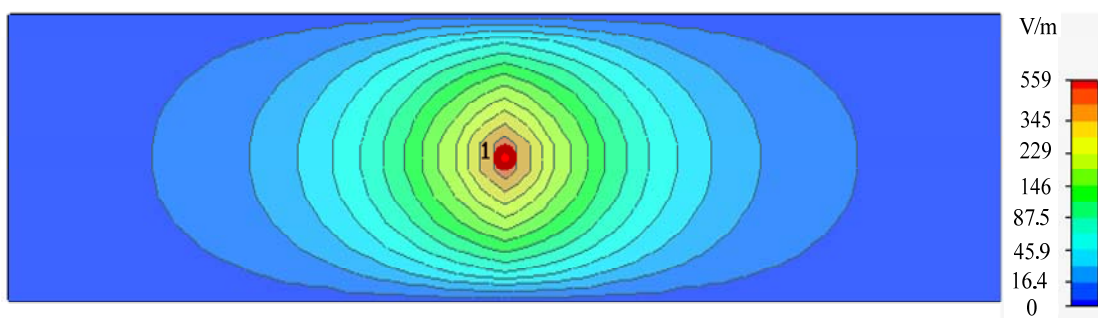
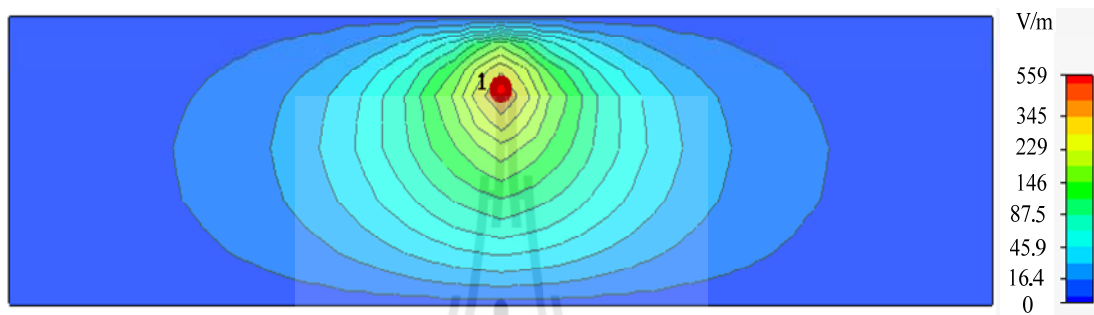
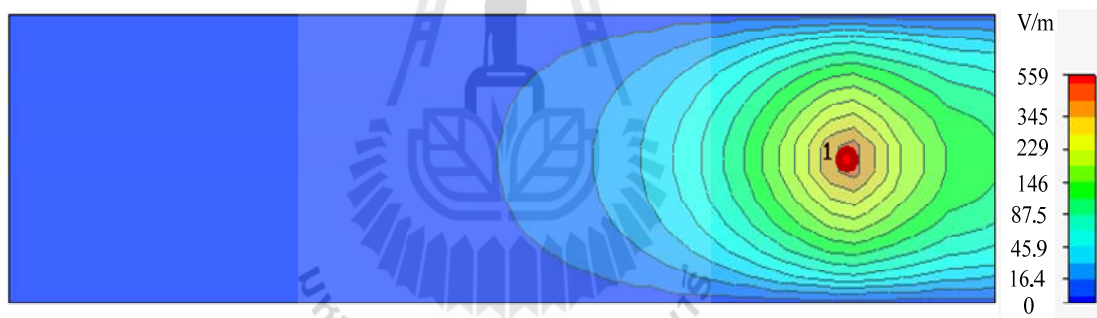
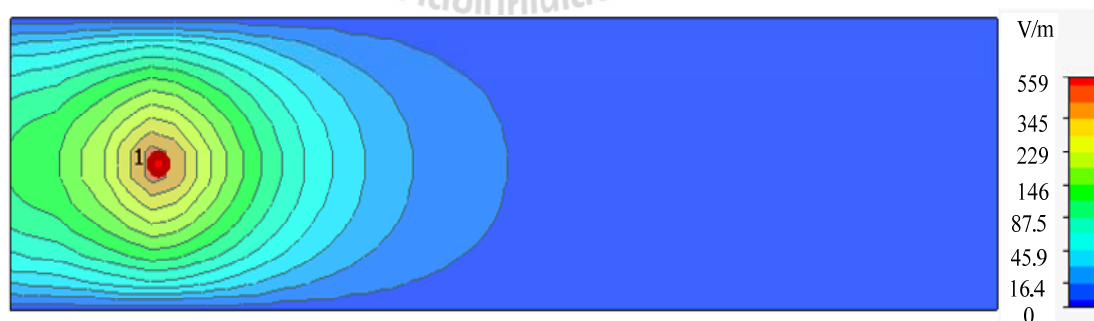
รูปที่ 3.4 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

การแพร่กระจายคลื่น

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน
1	(X=0, Y=0)
2	(X=0, Y=-1.25)
3	(X=7.5, Y=0)
4	(X=-7.5, Y=0)

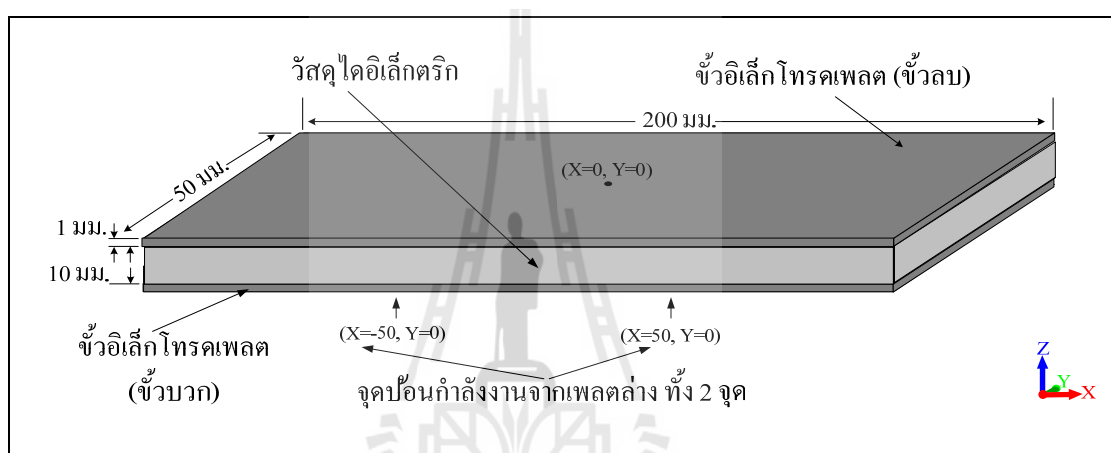
ผลจากการจำลองด้วยการกำหนดตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 4 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.5 พบว่าคลื่นสนามไฟฟ้ามีการกระจายไปรอบ ๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะมีความเข้มมากที่สุดที่บริเวณตรงกลางของตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณและจะมีค่าลดลงเรื่อย ๆ เมื่อมีระยะการกระจายห่างออกไปจากจุดป้อนสัญญาณ แต่ลักษณะของการกระจายคลื่นและความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นยังคงอยู่กับการกำหนดตำแหน่งของจุดป้อนสัญญาณ ดังเช่นในรูปที่ 3.5 (ก) เป็นการป้อนสัญญาณที่ตำแหน่ง $(X = 0, Y = 0)$ ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางของแผ่นเพลต พบว่าคลื่นสนามไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะมีการกระจายไปรอบ ๆ บริเวณตรงกลางของวัสดุไดอิเล็กตริกและความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งตรงกับจุดป้อนกำลังงานซึ่งมีค่าเท่ากับ 559 V/m และจะมีค่าน้อยมากที่บริเวณขอบทางด้านบนและขอบทางด้านล่าง และไม่มีความเข้มเลยทางด้านบริเวณใกล้กับขอบด้านข้างของทั้ง 2 ด้าน เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง $(X=0, Y=-1.25)$ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ข) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งขอบด้านบนทางแกน $(-Y)$ ของแผ่นเพลต ลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริกโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านบนซึ่งตรงกับตำแหน่งจุดป้อนสัญญาณและจะมีค่าน้อยมากบริเวณใกล้กับขอบด้านล่างและไม่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเลยทางด้านใกล้กับบริเวณขอบทั้ง 2 ด้าน ซึ่งมีผลคล้ายกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง $(X=7.5, Y=0)$ ดังแสดงใน รูปที่ 3.5 (ค) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งขอบด้านข้างทางแกน $(+X)$ ของแผ่นเพลต พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริกโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านข้างทางแกน $(+X)$ และจะมีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มีเลยที่บริเวณตรงกลางและขอบด้านข้างทางแกน $(-X)$ ซึ่งเป็นผลตรงข้ามกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง $(X=-7.5, Y=0)$ ดังแสดงใน รูปที่ 3.5 (ง) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งขอบด้านข้างทางแกน $(-X)$ ของแผ่นเพลต ซึ่งพบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริกโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านข้างทางแกน $(-X)$ และจะมีค่าน้อยมากหรือแทบไม่มีเลยที่บริเวณตรงกลางและขอบด้านข้างทางแกน $(+X)$ ซึ่งนอกจากการพิจารณาดำเนินการของจุดป้อนกำลังงานทั้ง 4 รูปแบบนี้แล้วยังได้ทำการจำลองที่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อหาดำเนินการที่ดีที่สุด พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของการป้อนกำลังงานแบบพอร์ตเดียว คือ ตำแหน่ง $(X = 0, Y = 0)$ ซึ่งมีการกระจายตัวไปรอบ ๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้านที่เท่า ๆ กัน อย่างสมมาตร แต่ยังไม่สามารถกระจายได้เต็มพื้นที่ของแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะมีกำลังงานที่บริเวณตรงกลางที่มากเกินไป ทำให้ที่บริเวณขอบทั้ง 2 ด้านแทบไม่มีความเข้มสนามไฟฟ้าเลย

(ก) ($X = 0, Y = 0$)(ข) ($X = 0, Y = -1.25$)(ค) ($X = 7.5, Y = 0$)(ง) ($X = -7.5, Y = 0$)

รูปที่ 3.5 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต
ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต

- กรณีที่ 2 การวิเคราะห์การป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต

สำหรับหัวข้อนี้เป็นผลการจำลองโดยการป้อนสัญญาณ 2 พอร์ต ให้กับแผ่นเพลต โดยแต่ละพอร์ตกำหนดให้ค่ากำลังงานอินพุตเท่ากับ 300 วัตต์ เพื่อให้กำลังงานที่ใช้เท่ากับการจำลองในกรณีที่ 1 และได้ทำการปรับเปลี่ยนการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นเพลต เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหนดไดอิเล็กตริกที่อยู่ในแผ่นเพลต เช่นเดียวกัน โดยลักษณะการใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 2 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.6 และตำแหน่งการป้อนกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.3

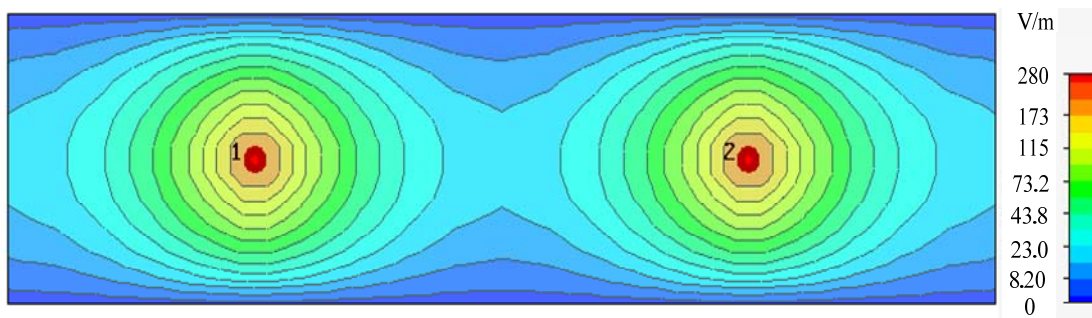


รูปที่ 3.5 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต

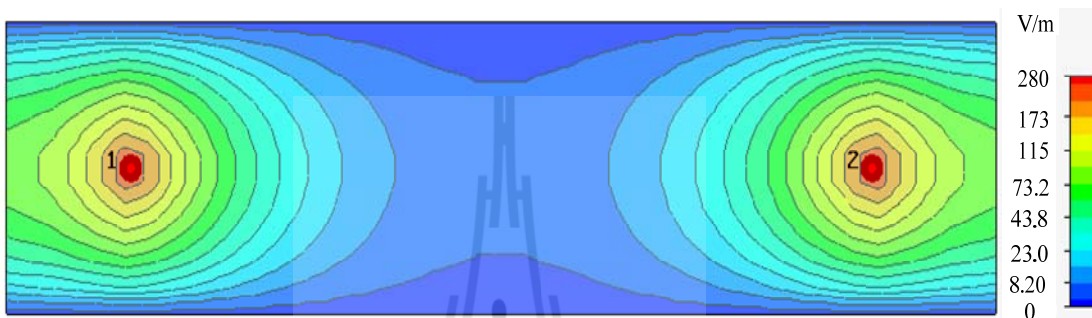
ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน	
	พอร์ต 1	พอร์ต 2
1	(X=-5, Y=0)	(X=5, Y=0)
2	(X=-7.5, Y=0)	(X=7.5, Y=0)
3	(X=-2.5, Y=0)	(X=2.5, Y=0)
4	(X=-5, Y= -1.25)	(X=5, Y= -1.25)

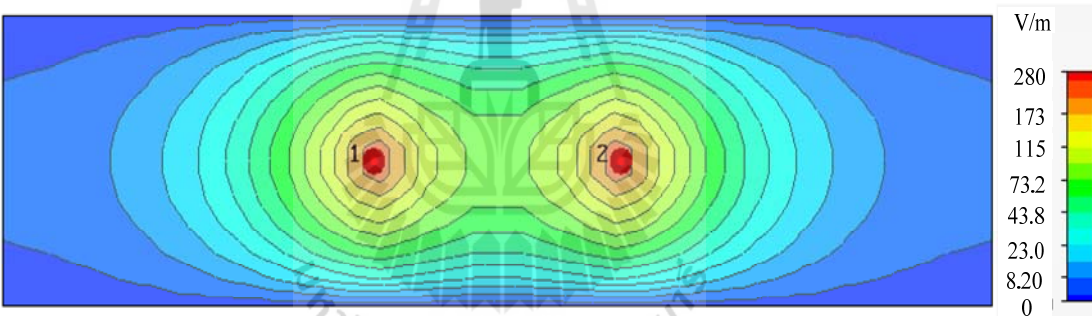
ผลจากการจำลองด้วยการกำหนดตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ากระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกับกรณีที่ 1 เพียงแต่จะมีการกระจายเต็มพื้นที่มากขึ้นแต่ในขณะที่เดียวกันความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีการกระจายกำลังงานไปทั้ง 2 พอร์ต โดยผลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นเพลตสามารถแสดงผลได้ดังนี้ รูปที่ 3.7 (ก) พอร์ต 1 ($X=-5, Y=0$) และพอร์ต 2 ($X=5, Y=0$), พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายไปรอบๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้าน แต่สังเกตเห็นว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของการป้อนกำลังสัญญาณแบบพอร์ตเดียว และจะมีความเข้มที่บริเวณใกล้กับตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 280 V/m ซึ่งมีผลเช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=0$) และพอร์ต 2 ($X=7.5, Y=0$) แสดงดังรูปที่ 3.7 (ข) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งใกล้กับขอบของแผ่นเพลตในแต่ละด้าน ซึ่งพบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ โหลด ไดอิเล็กทริก โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบ และจะมีค่าน้อยมากบริเวณตรงกลางเมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน ซึ่งมีผลตรงข้ามกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง พอร์ต 1 ($X=-2.5, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=2.5, Y=0$) แสดงดังรูปที่ 3.7 (ค) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับตรงกลางของแผ่นเพลต พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ โหลด ไดอิเล็กทริก โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลาง และจะมีค่าน้อยมากบริเวณขอบด้านข้างเมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน สำหรับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่ง พอร์ต 1 ($X=-5, Y=-1.25$) พอร์ต 2 ($X=5, Y=-1.25$) แสดงดังรูปที่ 3.7 (ง) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งใกล้กับขอบทางด้านล่างของแผ่นเพลต พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับ โหลด ไดอิเล็กทริก โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านล่าง และจะมีค่าน้อยมากบริเวณขอบด้านบนเมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน ซึ่งจากการพิจารณาค่าตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานที่แสดงทั้ง 4 รูปแบบแล้วยังได้ทำการจำลองที่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อหาดำแหน่งที่ดีที่สุด พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต คือ พอร์ต 1 ($X=-5, Y=0$) และ พอร์ต 2 ($X=5, Y=0$) ซึ่งมีการกระจายตัวไปรอบ ๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้านที่เท่า ๆ กัน อย่างสมมาตร และมีพื้นที่การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด แต่ก็ยังไม่สามารถกระจายได้เต็มพื้นที่ของแผ่นเพลตซึ่งความเข้มของสนามไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางที่มากเกินไป เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต แต่มีพื้นที่มากขึ้นกว่าเดิม



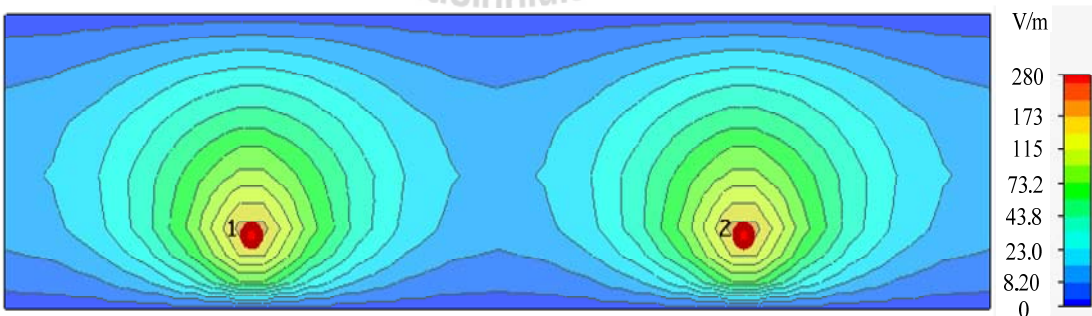
(ก) พอร์ต 1 ($X=-5, Y=0$) และ พอร์ต 2 ($X=5, Y=0$)



(ข) พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=0$) และ พอร์ต 2 ($X=7.5, Y=0$)



(ค) พอร์ต 1 ($X=-2.5, Y=0$) และ พอร์ต 2 ($X=2.5, Y=0$)

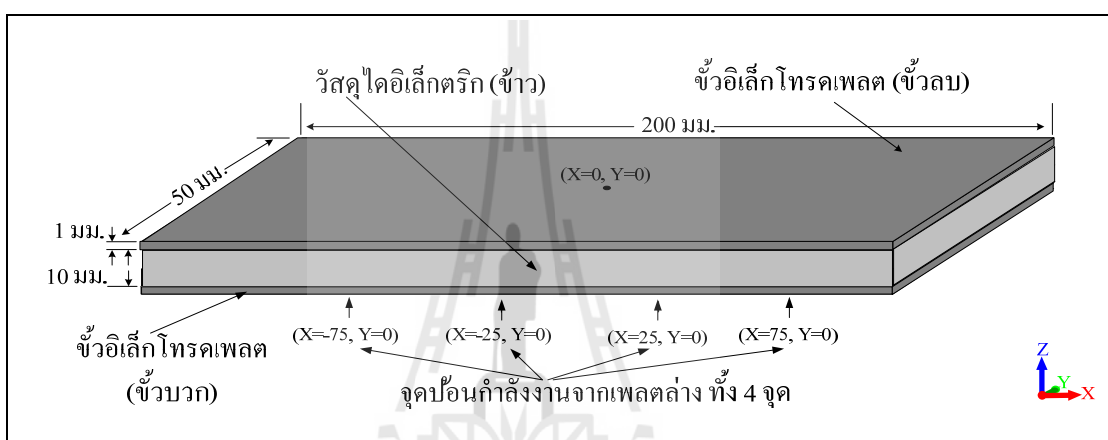


(ง) พอร์ต 1 ($X=-5, Y=-1.25$) และ พอร์ต 2 ($X=5, Y=-1.25$)

รูปที่ 3.7 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต
ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต

- กรณีที่ 3 การวิเคราะห์การป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต

สำหรับหัวข้อนี้เป็นผลการจำลองโดยการป้อนกำลังสัญญาณ 4 พอร์ต ให้กับแผ่นเพลต โดยแต่ละพอร์ตกำหนดให้ค่ากำลังงานอินพุตเท่ากับ 150 วัตต์ เพื่อให้กำลังงานที่ใช้เท่ากับการจำลองในกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 2 และได้ทำการปรับเปลี่ยนการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นเพลต เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหนดไดอิเล็กตริกที่อยู่ในแผ่นเพลต เช่นเดียวกัน โดยลักษณะการใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 4 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.8 และตำแหน่งการป้อนกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.4

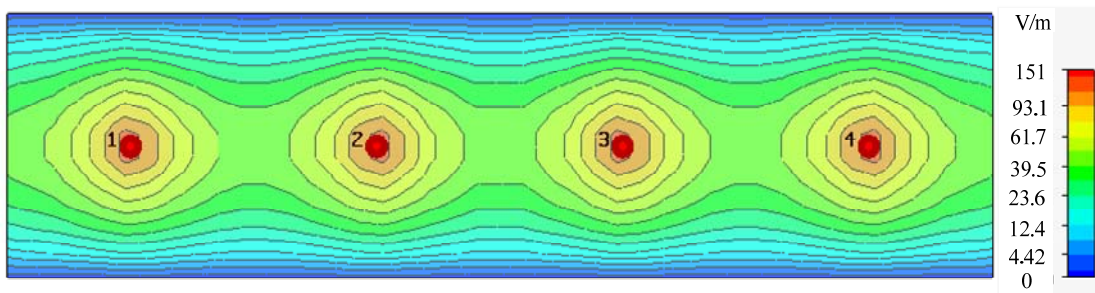


รูปที่ 3.8 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต

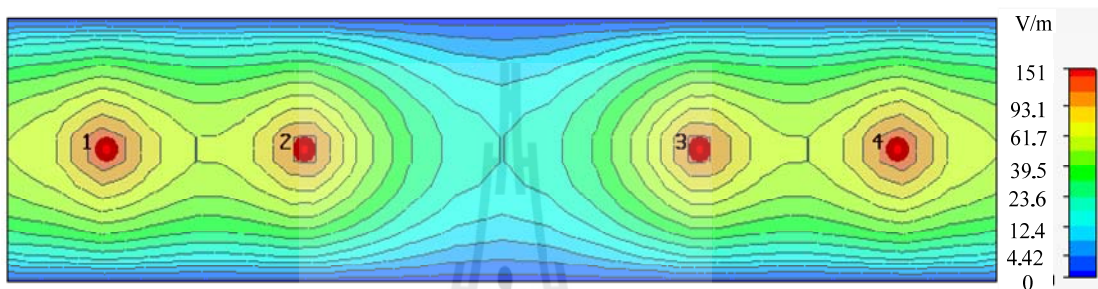
ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน			
	พอร์ต 1	พอร์ต 2	พอร์ต 3	พอร์ต 4
1	(X=-7.5, Y=0)	(X=-2.5, Y=0)	(X=2.5, Y=0)	(X=7.5, Y=0)
2	(X=-8, Y=0)	(X=-4, Y=0)	(X=4, Y=0)	(X=8, Y=0)
3	(X=-7.5, Y=-1.25)	(X=-2.5, Y=1.25)	(X=2.5, Y=-1.25)	(X=7.5, Y=1.25)
4	(X=-7.5, Y=1.25)	(X=-2.5, Y=-1.25)	(X=2.5, Y=1.25)	(X=7.5, Y=-1.25)

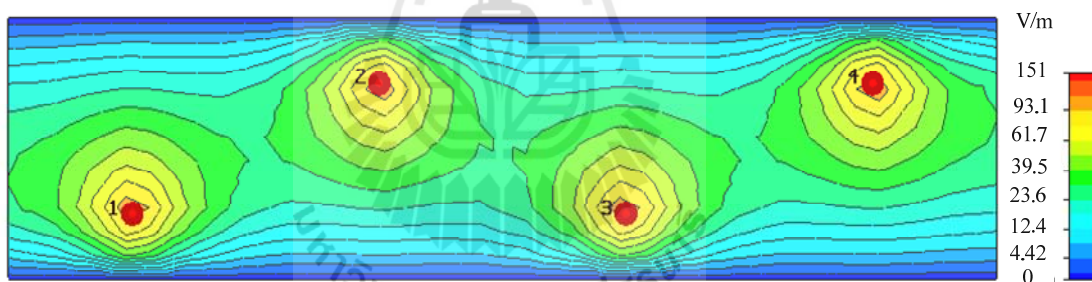
ผลจากการจำลองด้วยการกำหนดตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ากระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เพียงแต่จะมีการกระจายเต็มพื้นที่มากขึ้นแต่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีการกระจายกำลังงานไปทั้ง 4 พอร์ตโดยผลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นเพลตสามารถแสดงผลได้ดังนี้ รูปที่ 3.9 (ก) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตรงกลางในแนวแกน Y และให้ตำแหน่งที่เท่าๆกัน พบว่าการกระจายคลื่นของสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายไปรอบๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้าน ซึ่งจะมีความเข้มที่บริเวณใกล้กับตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 151 V/m เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.9 (ข) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตรงกลางในแนวแกน Y ให้มีความใกล้เคียงกับขอบทั้ง 2 ด้าน พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบทั้ง 2 ด้าน และสังเกตเห็นว่าที่บริเวณตรงกลางจะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน สำหรับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3.9 (ค) และ 3.9 (ง) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบสลับทิศทางแกน +Y และ -Y พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นแบบสลับทิศทางแกน +Y และ -Y เช่นเดียวกัน ซึ่งพื้นที่การกระจายก็จะสลับทิศทางทำให้ไม่สามารถกระจายได้ทั่วทั้งพื้นที่ ซึ่งจากการพิจารณาดำเนินการของจุดป้อนกำลังงานที่แสดงทั้ง 4 รูปแบบแล้วยังได้ทำการจำลองที่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อหาดำเนินการที่ดีที่สุดแล้วนั้น พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต คือ พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=-2.5, Y=0$), พอร์ต 3 ($X=2.5, Y=0$) และพอร์ต 4 ($X=7.5, Y=0$) ซึ่งมีการกระจายตัวไปรอบ ๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้านที่เท่า ๆ กัน อย่างสมมาตร



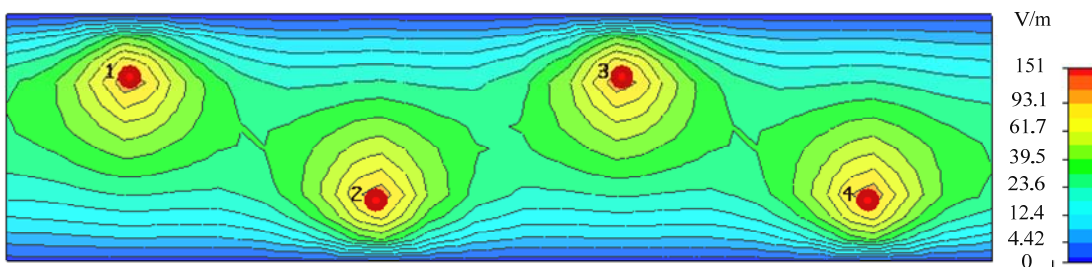
(ก) พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=-2.5, Y=0$), พอร์ต 3 ($X=2.5, Y=0$),
พอร์ต 4 ($X=7.5, Y=0$)



(ข) พอร์ต 1 ($X=-8, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=-4, Y=0$), พอร์ต 3 ($X=4, Y=0$),
พอร์ต 4 ($X=8, Y=0$)



(ค) พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=-1.25$), พอร์ต 2 ($X=-2.5, Y=1.25$), พอร์ต 3 ($X=2.5, Y=-1.25$),
พอร์ต 4 ($X=7.5, Y=1.25$),

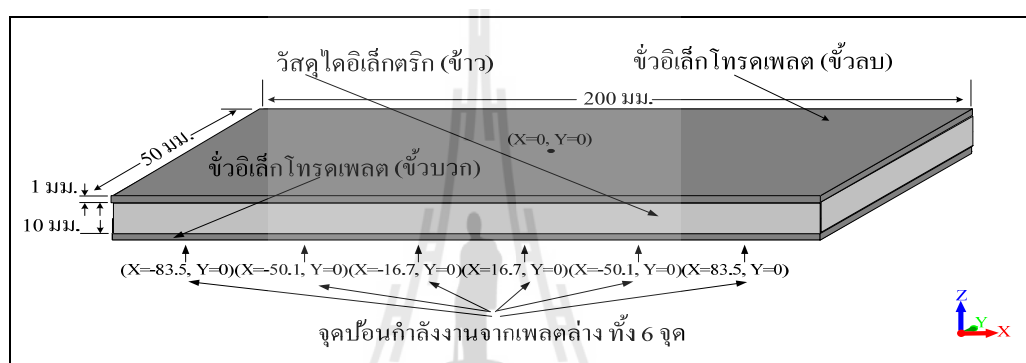


(ง) พอร์ต 1 ($X=-7.5, Y=1.25$), พอร์ต 2 ($X=-2.5, Y=-1.25$), พอร์ต 3 ($X=2.5, Y=1.25$),
พอร์ต 4 ($X=7.5, Y=-1.25$),

รูปที่ 3.9 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต
ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต

- กรณีที่ 4 การวิเคราะห์การป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต

สำหรับหัวข้อนี้ เป็นผลการจำลองโดยการป้อนกำลังสัญญาณ 6 พอร์ต ให้กับแผ่นเพลต โดยแต่ละพอร์ตกำหนดให้ค่ากำลังงานอินพุตเท่ากับ 100 วัตต์ เพื่อให้กำลังงานที่ใช้เท่ากับการจำลองในกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 และได้ทำการปรับเปลี่ยนการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นเพลต เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็คทริกที่อยู่ในแผ่นเพลตเช่นเดียวกัน โดยลักษณะการใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 6 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.10 และตำแหน่งการป้อนกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.5

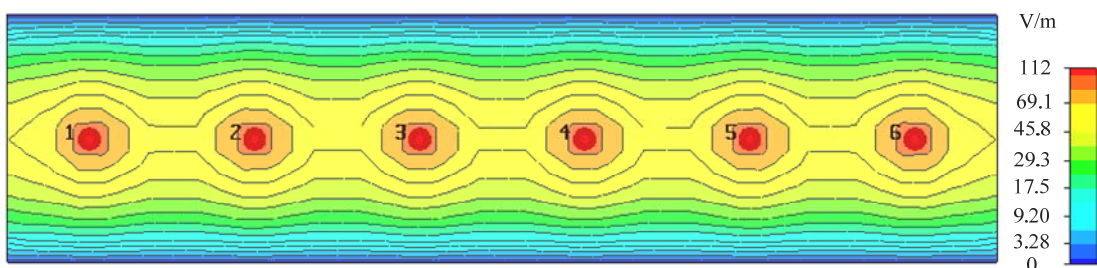


รูปที่ 3.10 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต

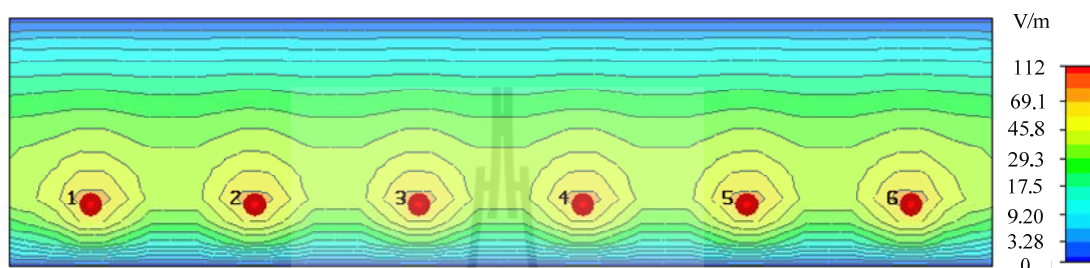
ตารางที่ 3.5 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน					
	พอร์ต 1	พอร์ต 2	พอร์ต 3	พอร์ต 4	พอร์ต 5	พอร์ต 6
1	(X=-8.35, Y=0)	(X=-5.01, Y=0)	(X=-1.67, Y=0)	(X=1.67, Y=0)	(X=5.01, Y=0)	(X=8.35, Y=0)
2	(X=-8.35, Y=-1.25)	(X=-5.01, Y=-1.25)	(X=-1.67, Y=-1.25)	(X=1.67, Y=-1.25)	(X=5.01, Y=-1.25)	(X=8.35, Y=-1.25)
3	(X=-8.35, Y=1.25)	(X=-5.01, Y=-1.25)	(X=-1.67, Y=1.25)	(X=1.67, Y=-1.25)	(X=5.01, Y=1.25)	(X=8.35, Y=-1.25)
4	(X=-8.35, Y=-1.25)	(X=-5.01, Y=1.25)	(X=-1.67, Y=-1.25)	(X=1.67, Y=1.25)	(X=5.01, Y=-1.25)	(X=8.35, Y=1.25)

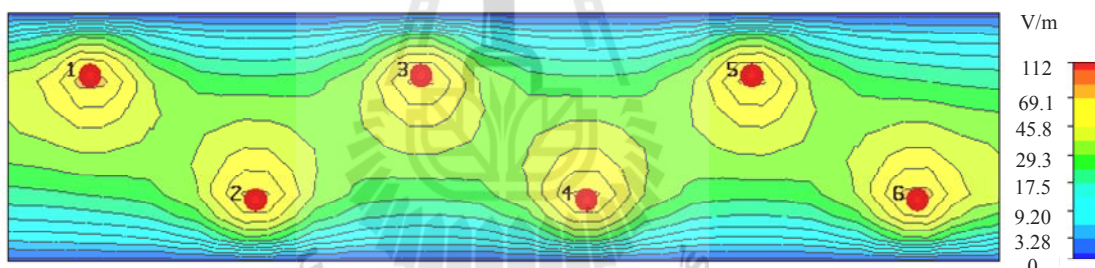
ผลจากการกำหนดตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองด้วยการกำหนดตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้ง 4 รูปแบบ พบว่ากระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้ามีลักษณะเช่นเดียวกับกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 และ กรณีที่ 3 เพียงแต่จะมีการกระจายคลื่นจะมีบริเวณมากขึ้นแต่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าก็จะมีค่าลดลงตามไปด้วย เนื่องจากมีการกระจายกำลังงานไปทั้ง 6 พอร์ต โดยผลที่ได้จากการกำหนดตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่างๆ บนแผ่นเพลตสามารถแสดงผลได้ดังนี้ รูปที่ 3.11 (ก) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งการป้อนกำลังงานที่ตรงกลางในแนวแกน Y และให้ตำแหน่งที่เท่าๆกัน พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายไปรอบๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้าน แต่สังเกตเห็นว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าจะมีค่าลดลง เนื่องจากกำลังงานจะถูกกระจายไปทุก ๆ พอร์ต ซึ่งมีความเข้มที่บริเวณใกล้กับตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 100 V/m สำหรับการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งดังรูปที่ 3.11 (ข) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งด้านล่างในแนวแกน +Y ทั้ง 6 พอร์ต พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กตริกโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบด้านล่างในแนวแกน +Y และจะมีค่าน้อยมากที่บริเวณขอบด้านบนในแนวแกน - Y เมื่อเทียบกับที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานดังรูปที่ 3.11 (ค) และรูปที่ 3.11 (ง) ที่มีการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบสลับทิศทางแกน +Y และ - Y พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กตริกโดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นแบบสลับทิศทางแกน +Y และ - Y และพื้นที่การกระจายก็จะสลับทิศทางทำให้ไม่สามารถกระจายได้ทั่วทั้งพื้นที่เช่นเดียวกัน ซึ่งจากการพิจารณาดำเนินการของจุดป้อนกำลังงานที่แสดงทั้ง 4 รูปแบบแล้วยังได้ทำการจำลองที่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดแล้วนั้น พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต คือ พอร์ต 1 ($X=-8.35, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=-5.01, Y=0$), พอร์ต 3 ($X=-1.67, Y=0$), พอร์ต 4 ($X=1.67, Y=0$) พอร์ต 5 ($X=5.01, Y=0$) และ พอร์ต 6 ($X=8.35, Y=0$), ซึ่งมีการกระจายตัวไปรอบ ๆ บริเวณของจุดป้อนกำลังงานของแต่ละด้านที่เท่า ๆ กัน อย่างสมมาตร



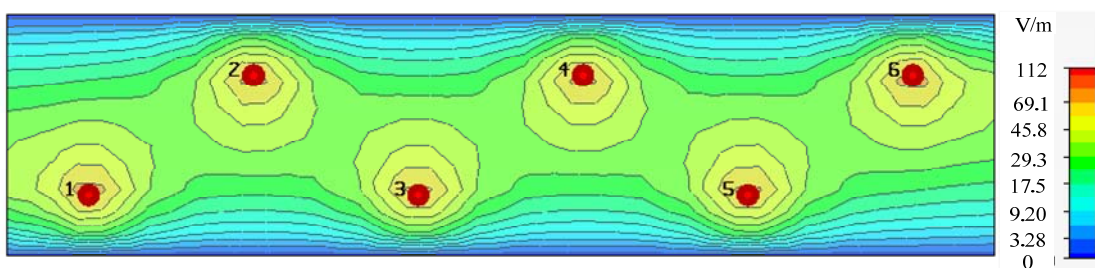
(ก) พอร์ต 1 ($X=-8.35, Y=0$), พอร์ต 2 ($X=-5.01, Y=0$), พอร์ต 3 ($X=-1.67, Y=0$),
พอร์ต 4 ($X=1.67, Y=0$), พอร์ต 5 ($X=5.01, Y=0$), พอร์ต 6 ($X=8.35, Y=0$)



(ข) พอร์ต 1 ($X=-8.35, Y=-1.25$), พอร์ต 2 ($X=-5.01, Y=-1.25$), พอร์ต 3 ($X=-1.67, Y=-1.25$),
พอร์ต 4 ($X=1.67, Y=-1.25$), พอร์ต 5 ($X=5.01, Y=-1.25$), พอร์ต 6 ($X=8.35, Y=-1.25$)



(ค) พอร์ต 1 ($X=-8.35, Y=1.25$), พอร์ต 2 ($X=-5.01, Y=1.25$), พอร์ต 3 ($X=-1.67, Y=1.25$),
พอร์ต 4 ($X=1.67, Y=-1.25$), พอร์ต 5 ($X=5.01, Y=1.25$), พอร์ต 6 ($X=8.35, Y=-1.25$)



(ง) พอร์ต 1 ($X=-8.35, Y=-1.25$), พอร์ต 2 ($X=-5.01, Y=1.25$), พอร์ต 3 ($X=-1.67, Y=-1.25$),
พอร์ต 4 ($X=1.67, Y=1.25$), พอร์ต 5 ($X=5.01, Y=-1.25$), พอร์ต 6 ($X=8.35, Y=1.25$)

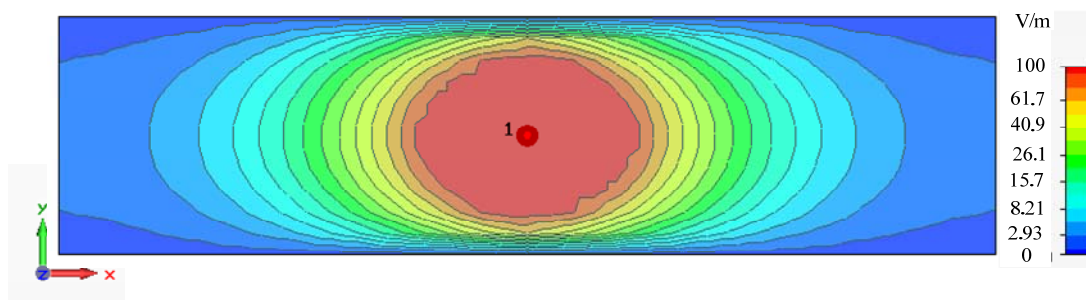
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต
ที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต

จากผลการจำลองการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตทั้ง 4 กรณี ซึ่งเป็นผลการจำลองโดยการป้อนกำลังสัญญาณ แบบ 1 พอร์ต 2 พอร์ต 4 พอร์ต และ แบบ 6 พอร์ต ให้กับแผ่นเพลต และได้ทำการปรับเปลี่ยนการป้อนกำลังงานที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นเพลต เพื่อพิจารณาลักษณะการกระจายคลื่นและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหนดไดอิเล็กตริกที่อยู่ในแผ่นเพลต โดยลักษณะการใช้จุดป้อนกำลังงานที่ดีที่สุดของแต่ละกรณี แสดงดังตารางที่ 3.6

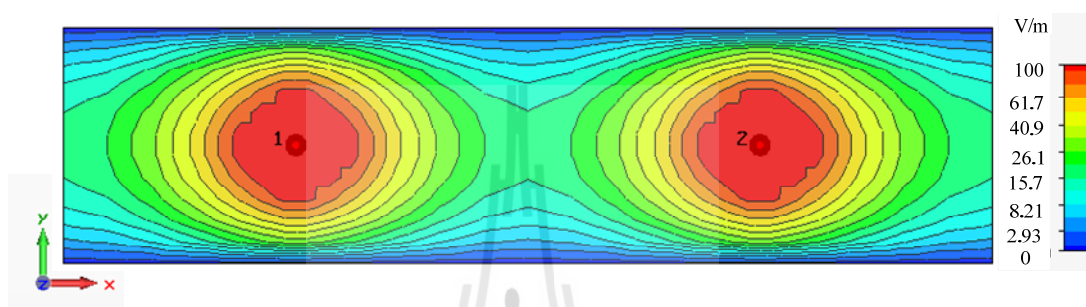
ตารางที่ 3.6 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละรูปแบบ

จำนวนจุดป้อนกำลังงาน	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุด
1 พอร์ต	(X=0, Y=0)
2 พอร์ต	(X=-5, Y=0 และ X=5, Y=0)
4 พอร์ต	(X=-7.5, Y=0; X=-2.5, Y=0; X=2.5, Y=0; และ X=7.5, Y=0)
6 พอร์ต	(X=-8.35, Y=0); (X=-5.01, Y=0); (X=-1.67, Y=0); (X=1.67, Y=0); (X=5.01, Y=0) และ (X=8.35, Y=0)

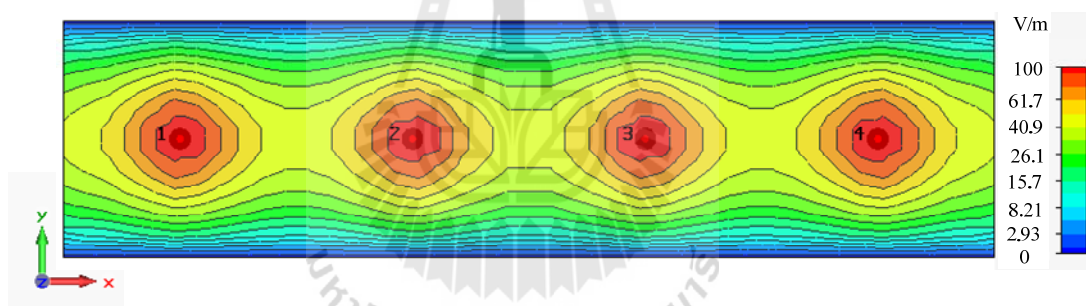
จากนั้นนำผลการจำลองเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 600 วัตต์ และแสดงผลของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจากการจำลองด้วยการตัดส่วนของตำแหน่งการเกิดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหนดไดอิเล็กตริกที่แกน Z เท่ากับ 5 มิลลิเมตร และแสดงผลความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 100 V/m เพื่อแสดงผลการเปรียบเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าของแต่ละรูปแบบ โดยสามารถแสดงดังรูปที่ 3.12 โดยผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 1 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.12 (ก) การป้อนกำลังงานเท่ากับ 2 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.12 (ข) ป้อนกำลังงานเท่ากับ 4 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.12 (ค) และการป้อนกำลังงานเท่ากับ 6 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 3.12 (ง)



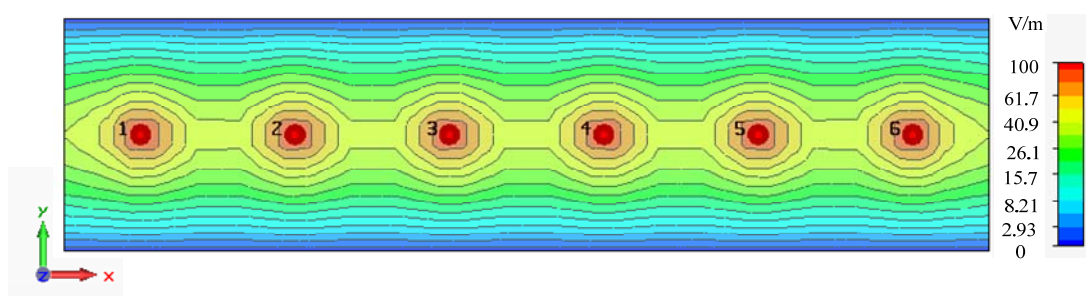
(ก) การป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต



(ข) การป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต



(ค) การป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต



(ง) การป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต

รูปที่ 3.12 การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต 2 พอร์ต 4 พอร์ต และ 6 พอร์ต

จากผลของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต 2 พอร์ต 4 พอร์ต และ 6 พอร์ต เมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเท่ากับ 26.1 V/m ในแต่ละรูปแบบ พบว่าในรูปแบบการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 32 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของจุดป้อน โดยมีค่าเท่ากับ 559 V/m ทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกอาจส่งผลกระทบต่อโหลดไดอิเล็กตริกชนิดอื่นที่อยู่บริเวณตรงกลางได้ เนื่องจากมีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าถึง 21.41 เท่า สำหรับในรูปแบบการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 280 V/m ซึ่งเมื่อนำไปใช้งานจริงในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกอาจส่งผลกระทบต่อ การให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกชนิดอื่น เช่นเดียวกัน เนื่องจากมีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าถึง 13.07 เท่า สำหรับในรูปแบบการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด ที่เกิดขึ้นบริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานมีค่าเท่ากับ 151 V/m เมื่อเปรียบเทียบกับ การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าต่อของพื้นที่เท่ากับ 26.1 V/m พบว่ามีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าประมาณ 7.05 เท่า และสำหรับในรูปแบบการป้อนกำลังงานแบบ 6 พอร์ต พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าจะอยู่ที่ประมาณ 44 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 112 V/m พบว่ามีความเข้มสนามไฟฟ้ามากกว่าประมาณ 5.23 เท่า แต่พบว่าพื้นที่ของการกระจายสนามไฟฟ้ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ทั้งหมด โดยการเปรียบเทียบพื้นที่ของสนามไฟฟ้าที่ระดับความเข้มเท่ากับ 26.1 V/m และความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละรูปแบบแสดงได้ดังตารางที่ 3.7 ซึ่งจะพบว่าการจำลองเมื่อมีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต และเป็นการป้อนกำลังงานแบบสมมาตรกับพื้นที่ทั้งหมด สามารถให้พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าได้มากที่สุด ถึงประมาณ 74 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ทั้งหมด และมีความเข้มสนามไฟฟ้าต่างจากความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดเพียง 7.05 เท่า ซึ่งต่างจากการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต ที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าต่างจากความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดถึง 21.41 เท่า จึงเป็นวิธีการที่สามารถนำไปพัฒนาและประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกต่อไปได้อย่างเหมาะสม และทำให้เกิดประสิทธิภาพการใช้งานมากที่สุด

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบพื้นที่ของสนามไฟฟ้าที่ระดับความเข้มเท่ากับ 26.1 V/m และความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละรูปแบบ

จำนวนจุดป้อนกำลังงาน	ความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด (V/m)	พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้า (%)	ความแตกต่างเมื่อเทียบกับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุด
1 พอร์ต	559	32	21.41
2 พอร์ต	280	50	13.07
4 พอร์ต	151	74	7.05
6 พอร์ต	112	44	5.23

3.3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการให้กำลังงานสำหรับการให้ความร้อนกับโหลดไดอิเล็กตริกในการกำจัดแมลง

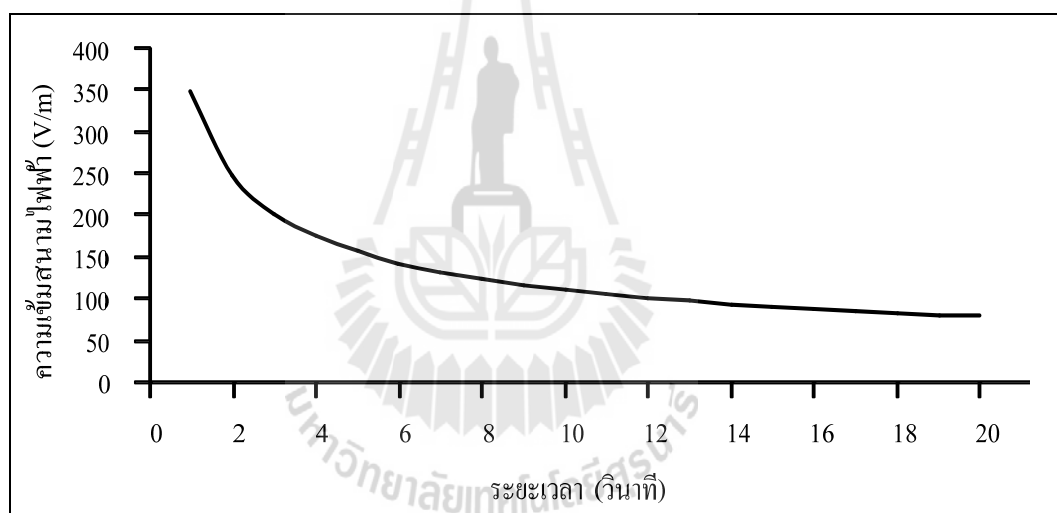
สำหรับหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกจากการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลมาจากการให้กำลังงานที่ระดับต่าง ๆ กับแผ่นเพลต โดยความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นตัวแปรสำคัญที่สามารถทำให้เกิดความร้อนภายในโหลดไดอิเล็กตริกได้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ในบทที่ 2 และนำไปสู่การคำนวณเพื่อทราบถึงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของโหลดไดอิเล็กตริก ซึ่งโหลดไดอิเล็กตริกที่ได้รับพลังงานในรูปของสนามไฟฟ้าจะแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยาระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกและมีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำคลื่นสนามไฟฟ้าให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยผลของการเกิดพลังงานในโหลดไดอิเล็กตริกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3 เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุไดอิเล็กตริก (kg/m^3) C_p คือ ความร้อนจำเพาะของไดอิเล็กตริก (Specific heat) $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริก ($^\circ\text{C}$) Δt คือ ระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลงมีหน่วยเป็นวินาที โดยในสมการนี้ พลังงานที่เกิดขึ้นในโหลดไดอิเล็กตริกจะมีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิและเวลา ซึ่งเมื่อทราบถึงระดับพลังงานที่เกิดขึ้นภายในโหลดไดอิเล็กตริก จึงสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในของโหลด เพื่อออกแบบระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก โดยสามารถคำนวณจากสมการที่ 3.4 เมื่อ f คือ ความถี่ (Hz) ϵ'' คือ ปัจจัยที่มีการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) และ P คือ พลังงานที่เกิดขึ้นในโหลดไดอิเล็กตริก

$$P = \rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3.3)$$

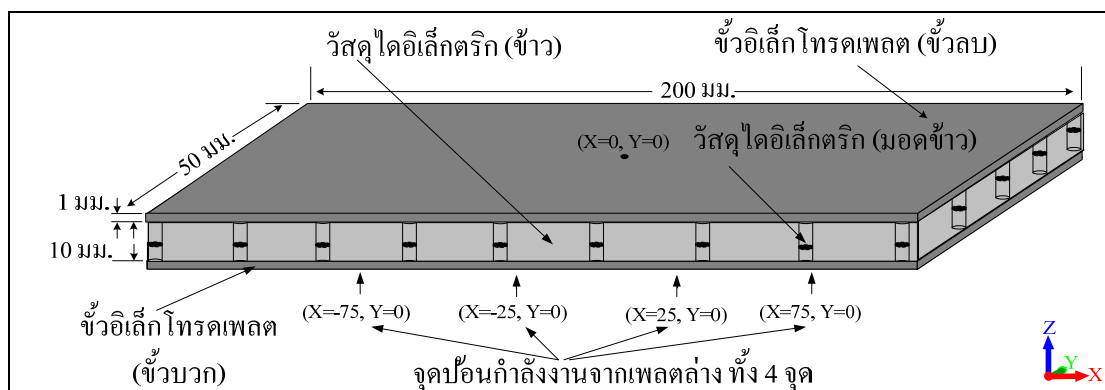
$$E_{loc} = \sqrt{\frac{P}{5.563 \times 10^{-11} f \epsilon''}} \quad (3.4)$$

การประยุกต์ใช้หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับการกำจัดแมลงให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องทราบถึงพารามิเตอร์ในสมการที่ 3.3 และ 3.4 ซึ่งสามารถทราบถึงประสิทธิภาพของการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกได้ โดยในสมการที่ 3.3 เป็นสมการที่แสดงถึงผลของพลังงานที่เกิดขึ้น (Power absorbed) ในตัวของโหนดไดอิเล็กตริก เมื่อทราบถึงอุณหภูมิเวลาและค่าคุณสมบัติของโหนดเหล่านั้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้มอดข้าวเป็นโหนดไดอิเล็กตริกและเป็นแมลงที่ต้องการกำจัด โดยในงานวิจัยของ Robinson ได้ศึกษาถึงความร้อนที่สามารถกำจัดมอดข้าวได้หรือสามารถทำให้มอดข้าวตายได้ เมื่อมอดข้าวเกิดอุณหภูมิความร้อนสะสมภายในที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส และลักษณะตัวโดยมาตรฐานของมอดข้าวจะมีขนาดความกว้างประมาณ 1 มิลลิเมตร ความยาวตั้งแต่ 3.1 - 4.8 มิลลิเมตร และความสูงประมาณ 1 มิลลิเมตร (Robinson, 2005) และงานวิจัยของ Wang ได้ระบุถึงคุณสมบัติเฉพาะของแมลง ซึ่งมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 3.450 kJ/kg °C ความหนาแน่นเท่ากับ 1000 kg/m³ (Wang et al, 2003) ดังนั้น จากสมการที่ 3.3 เมื่อกำหนดให้เวลาในการให้ความร้อนที่สามารถทำให้มอดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้น 24 องศาเซลเซียส จนถึง 60 องศาเซลเซียส เมื่อใช้เวลาในการกำจัดตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 20 วินาที สามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าวที่เวลาใด ๆ จากสมการที่ 4 และผลการคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนจากสมการที่ 5 แสดงดังรูปที่ 3.13 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวมีอัตราการตายที่เร็วต้องใช้สนามไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อกำลังงานที่ใช้เพื่อกำเนิดสนามไฟฟ้า นอกจากนี้ ในงานวิจัยได้มีการวิเคราะห์ผลของความร้อนที่เกิดขึ้นในธัญพืช ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในงานวิจัย โดยใช้คุณสมบัติของข้าวเป็นโหนดทดสอบ ซึ่งจากคุณสมบัติของข้าวนี้ พบว่ามีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 2.510 kJ/kg °C ความหนาแน่นเท่ากับ 900 kg/m³ ซึ่งสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในข้าวได้จากสมการที่ 3.3 เช่นเดียวกัน เมื่อข้าวมีขนาดโดยมาตรฐานที่ความกว้างเท่ากับ 2 - 3 มิลลิเมตร ความยาวตั้งแต่ 5 - 12 มิลลิเมตร และความสูงประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถคำนวณโดยใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ เหมือนกับการคำนวณผลของมอดข้าว ซึ่งจะทำให้ทราบอุณหภูมิข้าวได้ จากนั้นเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการให้ความร้อนซึ่งได้จากผลของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโหนดไดอิเล็กตริก จึงได้มีการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อทดสอบและวิเคราะห์

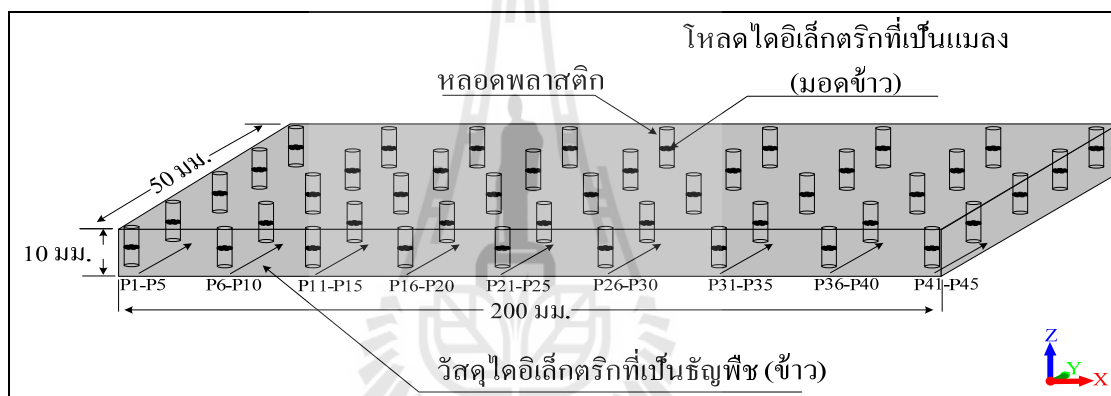
ผลการจำลอง โดยใช้ตัวปล่อยคลื่นที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 5 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 20 เซนติเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และให้โหนดไดอิเล็กตริกเป็นวัสดุของข้าวและมอดข้าวอยู่เต็มพื้นที่ระหว่างแผ่นเพลต และเลือกใช้วิธีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ซึ่งเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่ดีที่สุด ให้กำลังงานกับแผ่นเพลตที่ระดับต่าง ๆ กับแผ่นเพลตตั้งแต่ 50 วัตต์ จนถึงระดับกำลังงานที่สามารถกำจัดมอดข้าวได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายในระยะเวลา 1 วินาที จนถึง 20 วินาที ซึ่งรูปแบบการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.14 ลักษณะการวางตำแหน่งของมอดข้าวสำหรับการจำลองผลแสดงดังรูปที่ 3.15 โดยมอดข้าวจะถูกวางไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมด 45 จุด ตามตารางที่ 3.8 และกำหนดให้มอดข้าวถูกติดตั้งอยู่ในหลอดพลาสติกดังแสดงในรูปที่ 3.16 โดยควบคุมให้อยู่ตรงกลางของหลอดพลาสติก เพื่อการวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกให้มีประสิทธิภาพและถูกต้องที่สุด



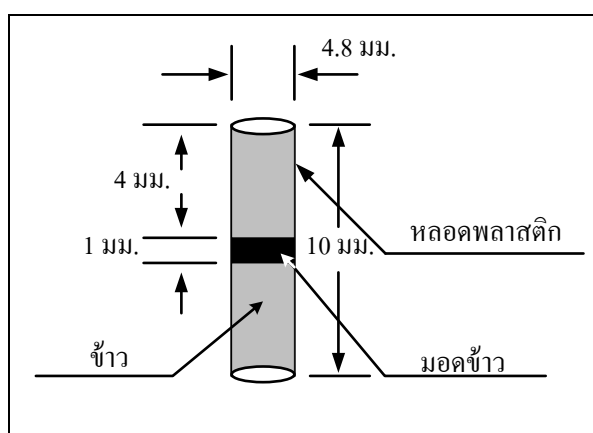
รูปที่ 3.13 ความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่ระยะเวลาใด ๆ



รูปที่ 3.14 โครงสร้างของการจำลองแบบสำหรับให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก



รูปที่ 3.15 ลักษณะตำแหน่งการวางมอดข้าวสำหรับการจำลองผล



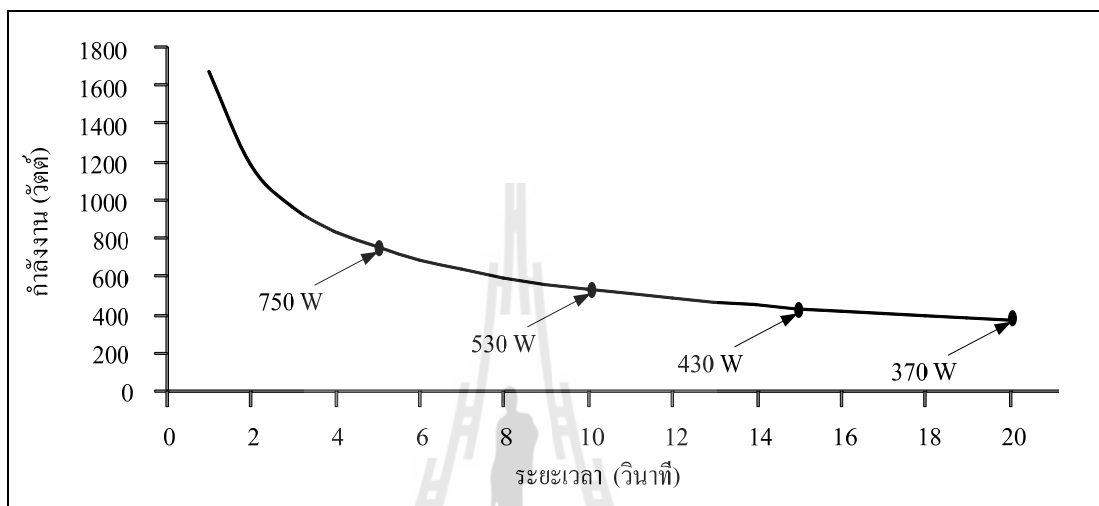
รูปที่ 3.16 ลักษณะตำแหน่งการวางมอดข้าวในหลอดพลาสติกสำหรับการจำลองผล

ตารางที่ 3.8 ตำแหน่งการวางมอดข้าวสำหรับการจำลองผล

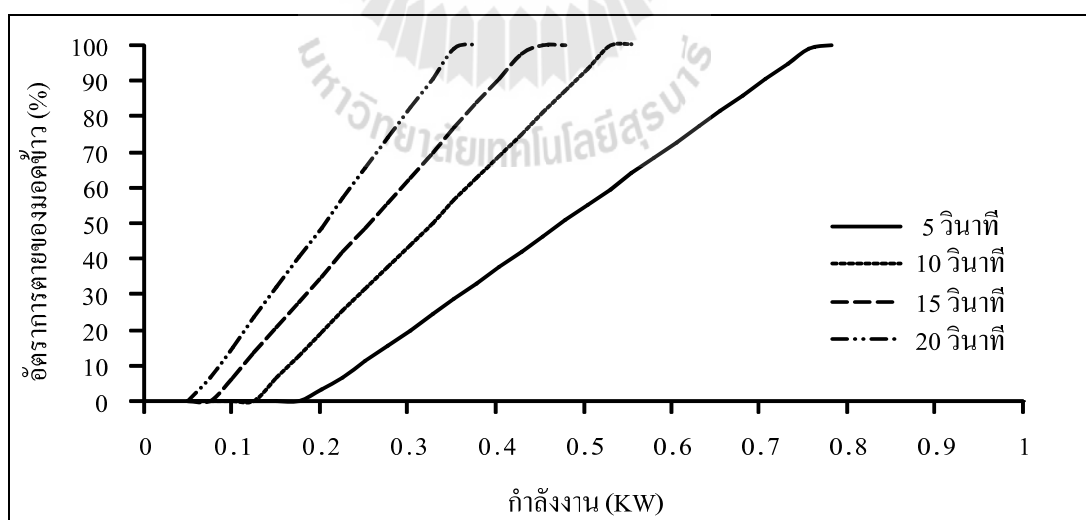
จุดทดสอบ	ตำแหน่งการวาง (X,Y) (มม.)	จุดทดสอบ	ตำแหน่งการวาง (X,Y) (มม.)	จุดทดสอบ	ตำแหน่งการวาง (X,Y) (มม.)
P1	-99,-24	P16	-25,-24	P31	50,-24
P2	-99,-12.5	P17	-25,-12.5	P32	50,-12.5
P3	-99,0	P18	-25,0	P33	50,0
P4	-99,12.5	P19	-25,12.5	P34	50,12.5
P5	-99,24	P20	-25,24	P35	50,24
P6	-75,-24	P21	0,-24	P36	75,-24
P7	-75,-12.5	P22	0,-12.5	P37	75,-12.5
P8	-75,0	P23	0,0	P38	75,0
P9	-75,12.5	P24	0,12.5	P39	75,12.5
P10	-75,24	P25	0,24	P40	75,24
P11	-50,-24	P26	25,-24	P41	99,-24
P12	-50,-12.5	P27	25,-12.5	P42	99,-12.5
P13	-50,0	P28	25,0	P43	99,0
P14	-50,12.5	P29	25,12.5	P44	99,12.5
P15	-50,24	P30	25,24	P45	99,24

จากผลการจำลองเพื่อพิจารณาระดับกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวเกิดความร้อนและตายได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาใด ๆ โดยใช้วิธีการปรับกำลังงานและตรวจสอบระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับมอดข้าว ซึ่งผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.17 พบว่า เมื่อต้องการให้มอดข้าวมีความร้อนสูงและตายเร็วขึ้น ต้องใช้กำลังงานที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน เช่น เมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลา 5 วินาที ต้องใช้กำลังงานเท่ากับ 750 วัตต์ และเมื่อต้องการให้ตายในเวลาที่ยาวลงเป็น 10 วินาที ต้องใช้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์ เป็นต้น และผลการให้กำลังงานต่อเปอร์เซ็นต์การตายของมอดข้าวที่เวลา 5 วินาที 10 วินาที 15 วินาที และ 20 วินาที เมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 50 วัตต์ จนถึงกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงดังรูปที่ 3.18 และลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.19 โดยตัวอย่างการวัดผลของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้ผลจากการให้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์ ในเวลาที่สามารถทำให้มอดข้าวตายใน 10 วินาที และแสดงการตัดส่วนของโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ที่ระยะเท่ากับ

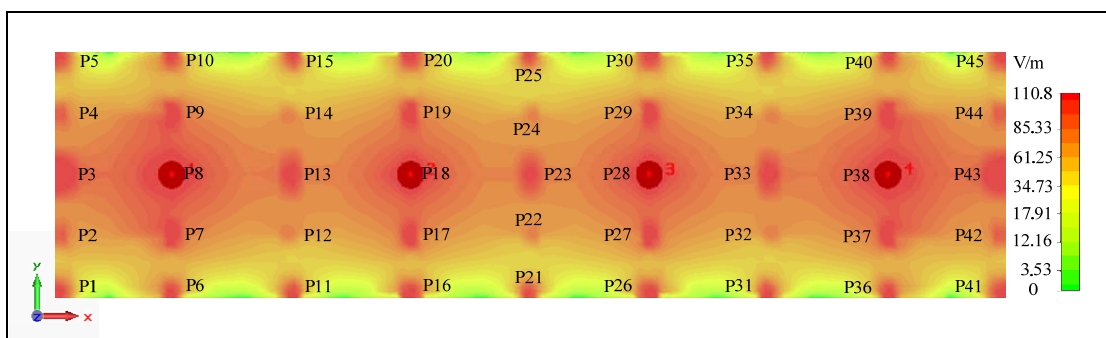
5.5 มิลลิเมตร ในแนวแกน Z และวัดระดับความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 110.8 V/m ลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะการกระจายไปทั่วทั้งบริเวณในแผ่นเพลต โดยระดับความเข้มสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่เข้าหามอดข้าวได้มากกว่าข้าว ซึ่งทำให้มอดข้าวเกิดอุณหภูมิความร้อนที่เร็วและตายในที่สุด



รูปที่ 3.17 ผลการให้กำลังงานต่อระยะเวลาที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์

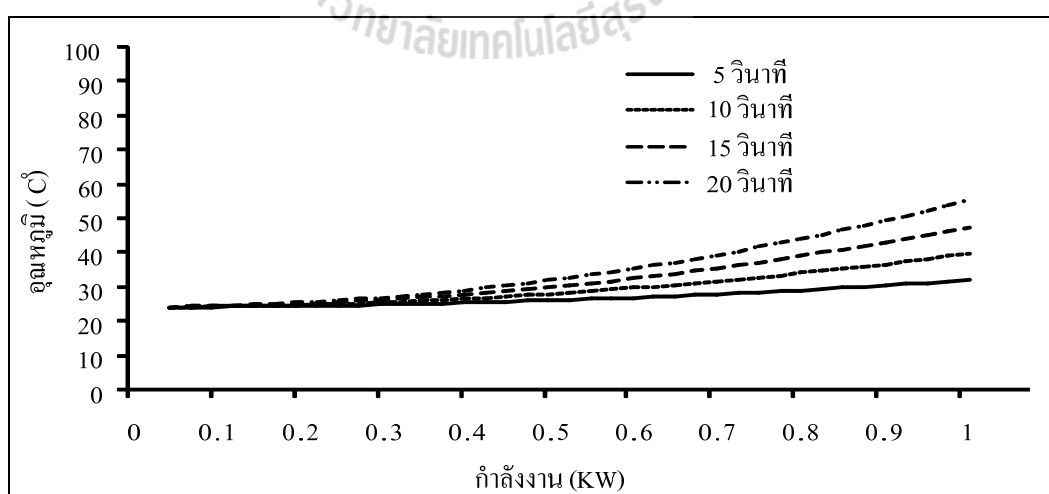


รูปที่ 3.18 ผลการให้กำลังงานและอัตราการตายของมอดข้าวที่เวลาใด ๆ



รูปที่ 3.19 ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายทั้งหมด
ในเวลา 10 วินาที และใช้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์

สำหรับการวิเคราะห์อุณหภูมิความร้อนของข้าว เมื่อมีการให้ความร้อนแบบ
ไดอิเล็กตริก ซึ่งส่งผลทำให้ข้าวเกิดอุณหภูมิความร้อน จากผลการจำลองข้างต้นทำให้ทราบว่า
เมื่อต้องการให้มอดข้าวมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นต้องใช้กำลังงานที่สูงขึ้นและในขณะเดียวกันเมื่อใช้เวลาที่
มากขึ้นจะทำให้มอดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นผลทำให้ข้าวมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นด้วย
ดังนั้นเพื่อทดสอบอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นกับข้าว ในรูปที่ 3.20 แสดงผลการให้กำลังงานต่อ
อุณหภูมิข้าวที่ตำแหน่งใกล้กับจุดป้อนกำลังงานที่สุด ในเวลา 5 วินาที 10 วินาที 15 วินาที และ
20 วินาที พบว่า เมื่อมีการให้กำลังงานที่สูงขึ้นอุณหภูมิข้าวจะสูงขึ้นตามไปด้วย เช่นเดียวกับ
อุณหภูมิความร้อนของมอดข้าว

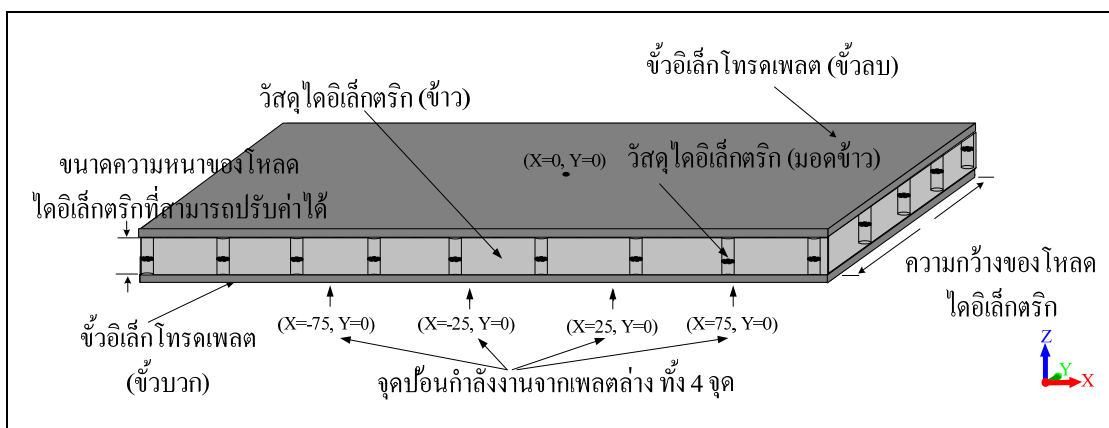


รูปที่ 3.20 ผลการให้กำลังงานต่ออุณหภูมิข้าวที่ตำแหน่งใกล้กับจุดป้อนกำลังงานที่สุด
ในเวลา 5 วินาที 10 วินาที 15 วินาที และ 20 วินาที

จากการวิเคราะห์ผลของระบบการให้ความร้อนแก่อไหลด์ไดอิเล็กตริกในหัวข้อที่ 3.3 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ถึงลักษณะของวัสดุที่สามารถส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า สำหรับใช้เป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยพบว่าวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นทองแดงสามารถสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าสภาพนำทางไฟฟ้าสูงกว่าชนิดอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นทองแดงเพื่อใช้เป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและเลือกใช้แผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ทั้ง 2 แผ่นเพลต แล้วกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับงานวิจัย ที่มุ่งเน้นไปทางด้านการศึกษาหรือการให้ความร้อนสำหรับการกำจัดแมลงที่ปะปนมาในเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งเมล็ดพันธุ์พืชและแมลงเหล่านั้นจะต้องถูกทำลายหรือไหลผ่านตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อทำการให้ความร้อนในการกำจัดแมลง และเพื่อการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในอนาคต ดังนั้นจึงมีการใช้แผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในการจำลองสำหรับการให้ความร้อนแก่อไหลด์ไดอิเล็กตริก หลังจากนั้นได้วิเคราะห์ถึงลักษณะของจำนวนจุดป้อนกำลังงาน เพื่อทราบถึงการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต และสามารถปรับปรุงให้มีพื้นที่การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด ซึ่งพบว่า การใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 4 พอร์ต และเป็นการวางที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่สมมาตรกันกับแผ่นเพลตมีการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าดีที่สุด และมีประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด ซึ่งเมื่อได้ลักษณะการป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นได้มีการจำลองผลการให้กำลังงานกับแผ่นเพลต เพื่อวิเคราะห์ถึงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผ่นเพลตและสามารถกำจัดแมลงได้ โดยไม่ทำให้ธัญพืชเกิดความเสียหายมากเกินไป ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้ โดยได้พิจารณาเมื่อมีการใช้เวลาในการให้ความร้อนตั้งแต่ 1 วินาที จนถึง 20 วินาที โดยพิจารณาที่ระดับกำลังงานที่สามารถทำให้หมอดข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า เมื่อต้องการให้ไหลด์ไดอิเล็กตริกมีความร้อนเร็วขึ้นต้องใช้กำลังงานที่มากขึ้นด้วย และเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้งานให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด การวิเคราะห์ผลการจำลองเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของไหลด์ไดอิเล็กตริก จึงเป็นอีกหัวข้อที่น่าสนใจ สำหรับการวิเคราะห์ผลจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

3.4 การวิเคราะห์คลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตของโพลไดอิเล็กตริก ที่มีการเปลี่ยนแปลง

จากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3.3 สามารถนำมาเป็นส่วนหนึ่งของค่าพารามิเตอร์หลักในการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยผลของกำลังงานที่ได้จากการวิเคราะห์สำหรับการนำมอดข้าวจะถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งสำหรับวิเคราะห์โดยเลือกใช้ผลการวิเคราะห์เมื่อมีการใช้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์ ในเวลา 10 วินาที ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของระดับกำลังงานและระยะเวลาที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังงานและระยะเวลาสำหรับการวิเคราะห์ผล โดยการจำลองผลการให้ความร้อนเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลง จะเลือกใช้วิธีการจำลองด้วยการเปลี่ยนแปลงขนาดความหนาของโพลไดอิเล็กตริก โดยกำหนดรูปแบบการเปลี่ยนแปลงสำหรับการวิเคราะห์ทั้งหมดออกเป็น 4 รูปแบบ แต่ละรูปแบบกำหนดให้โพลไดอิเล็กตริกมีระดับความหนาที่แตกต่างกัน และให้มอดข้าวอยู่ตรงกลางระหว่างความหนาของโพลไดอิเล็กตริกทุกขนาด การเปลี่ยนแปลง ซึ่งการกำหนดขนาดของโพลไดอิเล็กตริกสำหรับจำลองนี้ พิจารณาขนาดความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร 7.5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร และกำหนดให้ตำแหน่งของมอดข้าวอยู่ตามตำแหน่งในตารางที่ 3.8 ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์ถึงผลของการเกิดคลื่นสนามไฟฟ้ากับโพลไดอิเล็กตริกของแต่ละรูปแบบ โดยรูปแบบการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.20 ประกอบด้วย (1) แผ่นเพลตหรือขั้วอิเล็กโทรดเพลต (ขั้วบวก) ซึ่งมีจุดป้อนกำลังงานทั้งหมด 4 จุด คือ $(X=-75, Y=0)$, $(X=-25, Y=0)$, $(X=25, Y=0)$, และ $(X=75, Y=0)$, (มิลลิเมตร) โดยที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นเพลตกำหนดให้เป็นตำแหน่งเท่ากับ $(X=0, Y=0)$ (2) โพลไดอิเล็กตริกที่สามารถปรับความหนาได้ ประกอบด้วยขั้วและมอดข้าว โดยมอดข้าวจะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบการจำลองของหลอดพลาสติกและติดตั้งไว้ตรงกลางระหว่างความหนาของโพลไดอิเล็กตริก และ (3) แผ่นเพลตหรือขั้วอิเล็กโทรดเพลต (ขั้วลบ) ซึ่งเป็นส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ โดยการจำลองยังมีการเปรียบเทียบการให้ความร้อนเมื่อมีการแมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล และไม่มีแมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.21 โครงสร้างการจำลองเมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลง

เพื่อให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กสูงที่สุด การพิจารณาสมการของวงจรีโซแนนซ์ จึงเป็นหัวข้อสำคัญในการออกแบบและวิเคราะห์นี้ ซึ่งจำเป็นต้องทราบถึงค่าตัวเก็บประจุและค่าความเหนี่ยวนำของระบบเพื่อจำลองการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุด ดังนั้นสำหรับการวิเคราะห์และออกแบบในหัวข้อนี้ จึงต้องทราบผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เมื่อโหนดมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากความสัมพันธ์ของสมการในการคำนวณเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุในแผ่นเพลต ดังสมการที่ 2.30 ซึ่งสามารถพิจารณาได้ว่า เมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลง นั่นคือค่าตัวเก็บประจุที่เกิดขึ้นในแผ่นเพลตจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การปรับเปลี่ยนรูปแบบของโหนดไดอิเล็กตริกทั้ง 4 รูปแบบ จึงสามารถคำนวณค่าที่เปลี่ยนแปลงและจากสมการที่ 2.33 ซึ่งเป็นสมการของวงจรีโซแนนซ์แบบอนุกรม เมื่อค่าตัวเก็บประจุมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยจากผลการคำนวณของแต่ละรูปแบบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.9

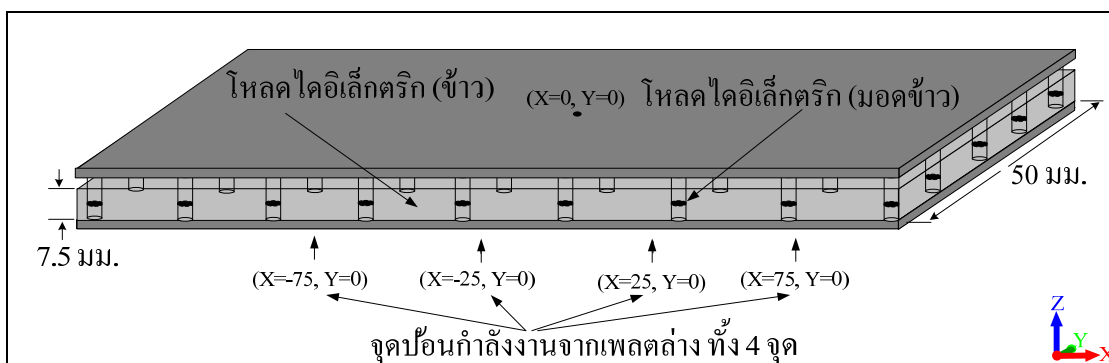
ตารางที่ 3.9 ผลการคำนวณพารามิเตอร์ของวงจรีโซแนนซ์แบบขนาน

ระดับความหนาของโหนดไดอิเล็กตริก (มม.)	ค่าตัวเก็บประจุ (C)	ค่าความเหนี่ยวนำ (L)
10	31.10 pF	0.53 uH
7.5	24.25 pF	0.68 uH
5.0	19.47 pF	0.85 uH
2.5	13.98 pF	1.19 uH

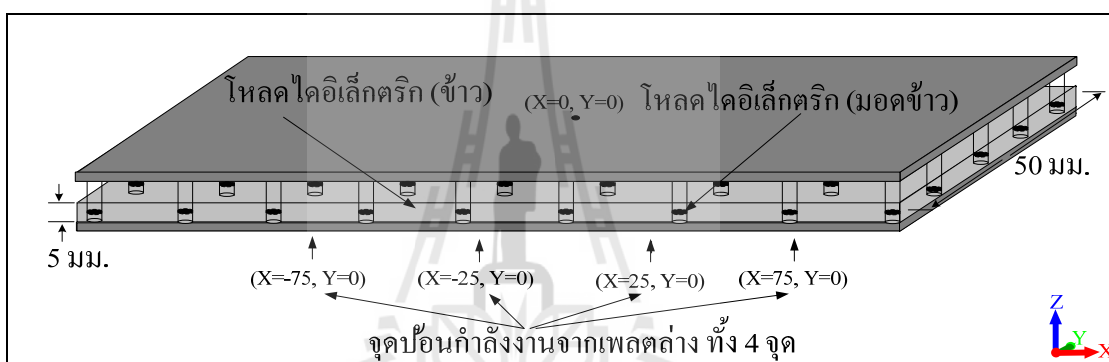
จากผลการคำนวณในตารางที่ 3.9 พบว่าเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีค่ามากทำให้ค่าตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้นและค่าความเหนี่ยวนำจะมีค่าลดลง ซึ่งผลที่ได้ดังตารางจะถูกกำหนดสำหรับเป็นพารามิเตอร์ในการจำลองผล เพื่อวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า และความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดอิเล็กตริก ซึ่งในหัวข้อที่ผ่านมาได้พิสูจน์ให้เห็นว่า เมื่อต้องการให้หมอดข้าวตายเร็วขึ้นต้องใช้กำลังงานที่สูงขึ้นหรือในขณะเดียวกันเมื่อต้องการใช้กำลังงานในการให้ความร้อนที่น้อย ต้องใช้เวลาในการให้ความร้อนที่นานขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นสำหรับหัวข้อนี้จึงเลือกใช้เวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 10 วินาที ที่กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์ ซึ่งเป็นกำลังงานที่สามารถทำให้หมอดข้าวตายได้ทั้งหมด เพื่อพิจารณาผลของคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลงทั้ง 4 รูปแบบ

3.4.1 การจำลองผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดอิเล็กตริกเมื่อมีการแมตซ์ซิงด้วยตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด

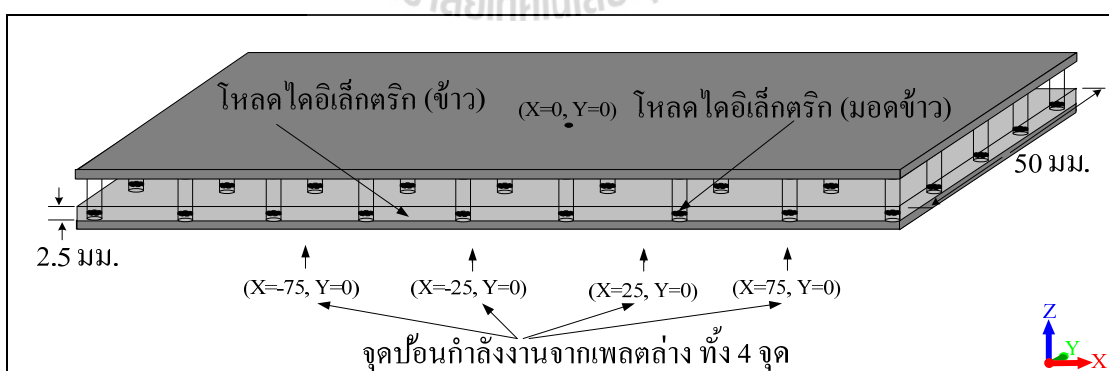
โดยในเบื้องต้นการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงโหลดไดอิเล็กตริกและมีการเปลี่ยนแปลงตัวเหนี่ยวนำสำหรับแมตซ์ซิงตามการเปลี่ยนแปลงจะถูกพิจารณาก่อน ซึ่งรูปแบบของโหลดที่มีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ได้ถูกพิจารณาในหัวข้อที่ 3.3 แล้ว โดยพบว่ารูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีทิศทางไหลเข้าสู่โหลดไดอิเล็กตริกที่เป็นหมอดข้าวเป็นหลักและมีระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงที่บริเวณของโหลดที่มีการติดตั้งใกล้กับจุดป้อนกำลังงานและมีการกระจายออกไปจนทั่วทั้งบริเวณในแผ่นเพลตและทำให้หมอดข้าวตายทั้งหมด สำหรับรูปแบบของการจำลองเมื่อโหลดไดอิเล็กตริกมีการเปลี่ยนแปลงความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 2.5 มิลลิเมตร สามารถแสดงดังรูปที่ 3.22 3.23 และ 3.24 และผลการจำลองของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตสามารถแสดงดังรูปที่ 3.25 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ



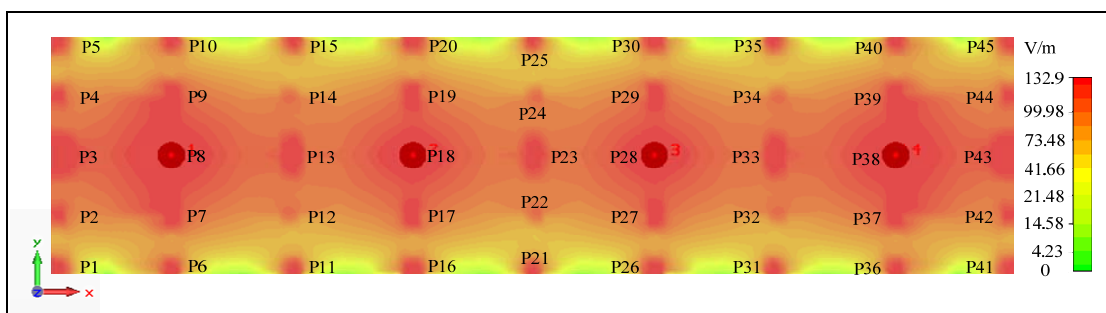
รูปที่ 3.22 โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อโพลีไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร



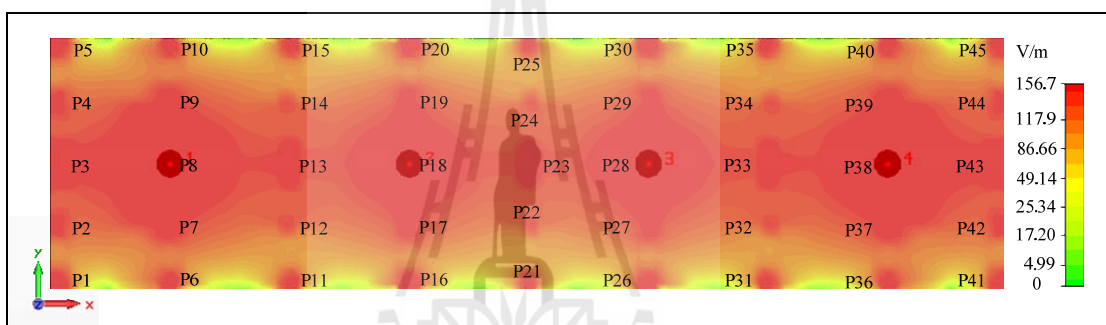
รูปที่ 3.23 โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อโพลีไดอิเล็กตริกมีขนาดความสูงเท่ากับ 5 มิลลิเมตร



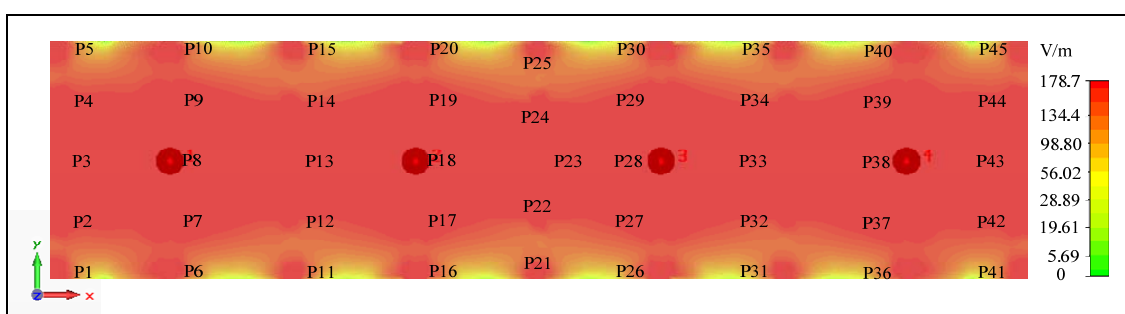
รูปที่ 3.24 โครงสร้างการจำลองแบบเมื่อโพลีไดอิเล็กตริกมีขนาดความสูงเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.25 การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล

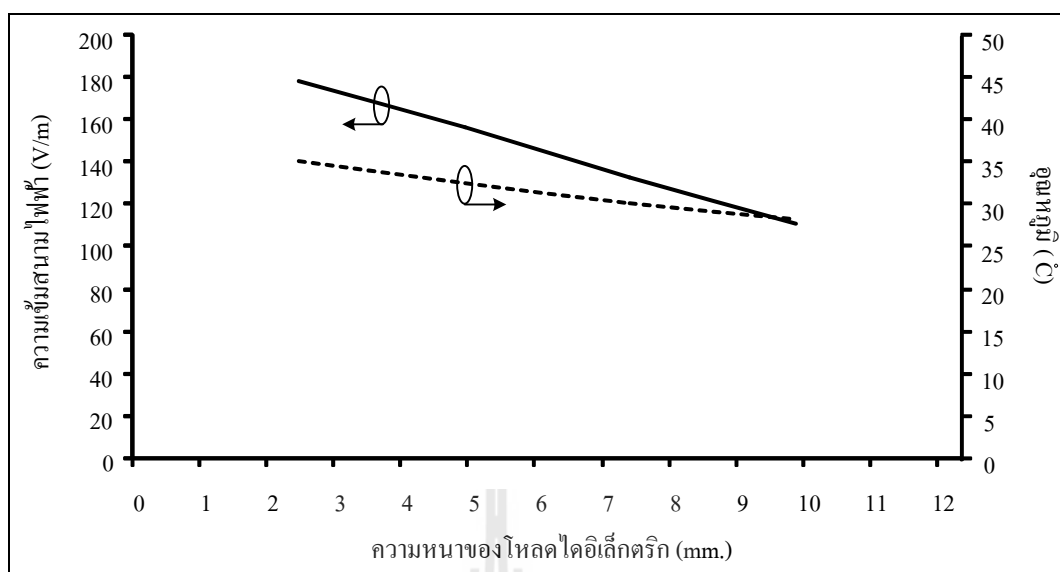


รูปที่ 3.26 การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล



รูปที่ 3.27 การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล

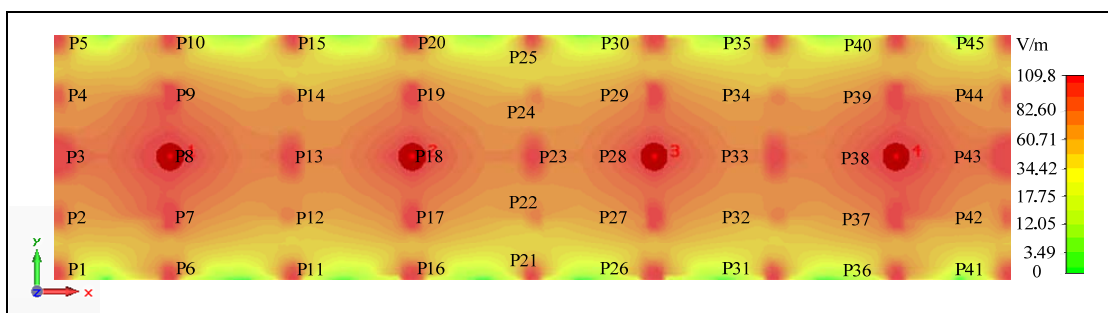
จากผลการจำลอง โดยใช้วิธีการแมตซ์ซิงจวจรด้วยค่าความเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพลไดอิเล็กตริกดังตารางที่ 3.9 เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิผลของการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุดไปยังโพลไดอิเล็กตริก พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีขนาดความหนาลดลง จะมีทิศทางเข้าหาโพลไดอิเล็กตริกที่มีคุณสมบัติทางค่าไดอิเล็กตริกยังผล (Dielectric loss factor) ที่สูงกว่า นั่นคือเกิดความเข้มข้นไฟฟ้าที่แบบจำลองมอดข้าวสูงกว่าแบบจำลองข้าว โดยมีค่าความเข้มข้นไฟฟ้าสูงสุดที่บริเวณของโพลไดอิเล็กตริกที่มีการติดตั้งใกล้กับจุดป้อนกำลังงานและมีการกระจายคลื่นออกไปจนทั่วบริเวณในแผ่นเพลต โดยบริเวณที่โพลไดอิเล็กตริกที่เป็นมอดข้าวที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณขอบของแผ่นเพลตจะมีความเข้มข้นไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณข้างในแผ่นเพลต เนื่องจากผลของคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณขอบของแผ่นเพลต และโดยจุดที่เกิดความเข้มข้นไฟฟ้าน้อยที่สุด พบว่าเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง P14, P12, P24, P22, P34 และ P32 ซึ่งเป็นจุดที่อยู่ห่างจากจุดป้อนกำลังงานและไม่ได้อยู่ใกล้กับบริเวณของแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการจำลองผลเมื่อโพลไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร แต่ระดับความเข้มข้นไฟฟ้าของแต่ละจุดบนพื้นที่ของโพลไดอิเล็กตริกจะมีขนาดเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของโพล โดยการเปลี่ยนแปลงของโพลไดอิเล็กตริกเมื่อมีขนาดความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ระดับความเข้มข้นไฟฟ้าที่บริเวณที่มีความเข้มข้นไฟฟ้าน้อยที่สุด จะเพิ่มขึ้นจาก 110.8 V/m ซึ่งเป็นระดับความเข้มข้นไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เป็น 132.9 V/m ซึ่งมีขนาดเพิ่มขึ้นถึง 22.1 V/m สำหรับผลการจำลองเมื่อลดขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร พบว่าระดับความเข้มข้นไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 156.7 V/m เพิ่มขึ้น 45.9 V/m และเมื่อลดขนาดความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร พบว่าระดับความเข้มข้นไฟฟ้าของโพลไดอิเล็กตริกเพิ่มขึ้นเท่ากับ 178.7 V/m เพิ่มขึ้น 67.9 V/m ซึ่งผลจากการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นไฟฟ้าของแต่ละการลดระดับ ส่งผลทำให้อุณหภูมิความร้อนของโพลไดอิเล็กตริกมีขนาดที่สูงขึ้นด้วย นั่นคือสามารถกำจัดมอดข้าวได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เนื่องจากใช้เวลาน้อยลง ซึ่งผลการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริก (มอดข้าว) และอุณหภูมิข้าว ทั้ง 4 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.28 โดยอุณหภูมิสูงสุดของข้าวที่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดป้อนกำลังงาน เมื่อความหนาของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร จะมีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 28.28 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 30.16 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 32.57 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโพลไดอิเล็กตริกเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 35.14 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าเมื่อโพลมีขนาดความหนาลดลงความเข้มข้นไฟฟ้าจะมีระดับสูงขึ้นและอุณหภูมิข้าวจะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน



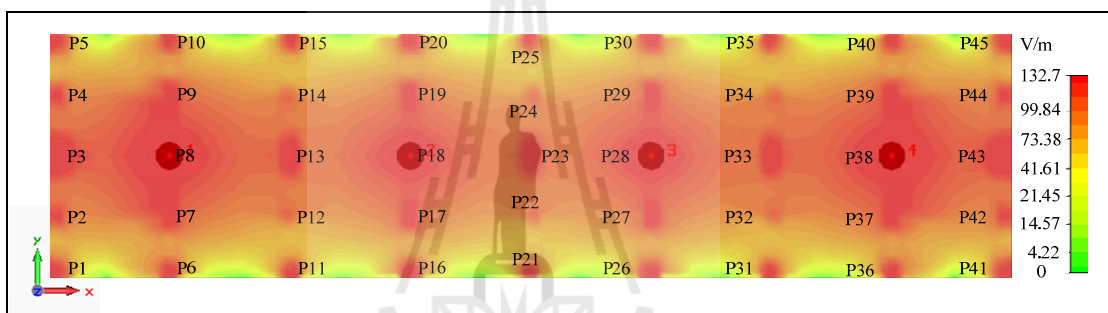
รูปที่ 3.28 ความเข้มสนามไฟฟ้าและอุณหภูมิสูงสุดของข้าวเมื่อโพลดีอิเล็กทริก มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาของโพลดี

3.4.2 การจำลองผลการเปลี่ยนแปลงของโพลดีอิเล็กทริกเมื่อมีการแมตซ์ซิงด้วยตัวเหนี่ยวนำแต่ไม่เปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของโพลดี

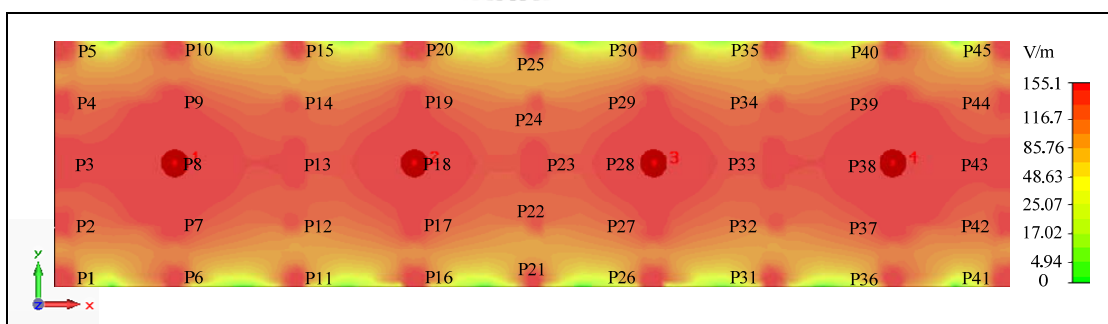
ผลการจำลองข้างต้นเป็นผลการจำลองเมื่อโพลดีมีการลดระดับความหนาของโพลดีอิเล็กทริกและเปลี่ยนค่าการแมตซ์ซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำเพื่อให้การถ่ายโอนกำลังงานได้ดีที่สุด ทั้งนี้เพื่อยืนยันการแมตซ์ซิงของแต่ละรูปแบบ จึงได้มีการจำลองผลเมื่อมีการลดระดับความหนาของโพลดีแต่ยังใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่แมตซ์ซิงของโพลดีอิเล็กทริกมีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการถ่ายโอนกำลังงานไปยังโพลดีอิเล็กทริก สำหรับผลการจำลองของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและความเข้มสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลตสามารถแสดงดังรูปที่ 3.29 3.30 และ 3.31 ตามลำดับ



รูปที่ 3.29 ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหนด

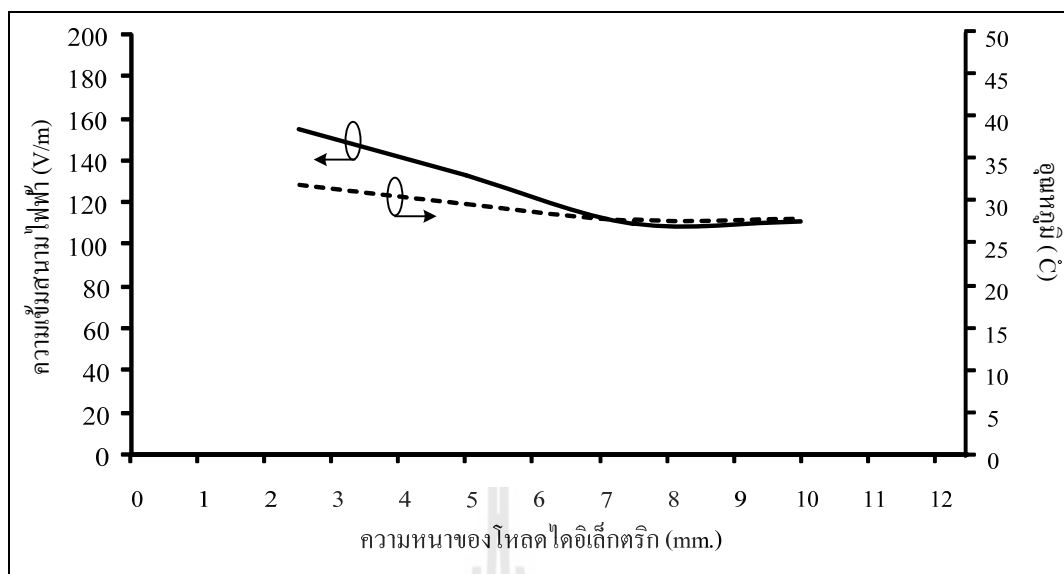


รูปที่ 3.30 ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหนด

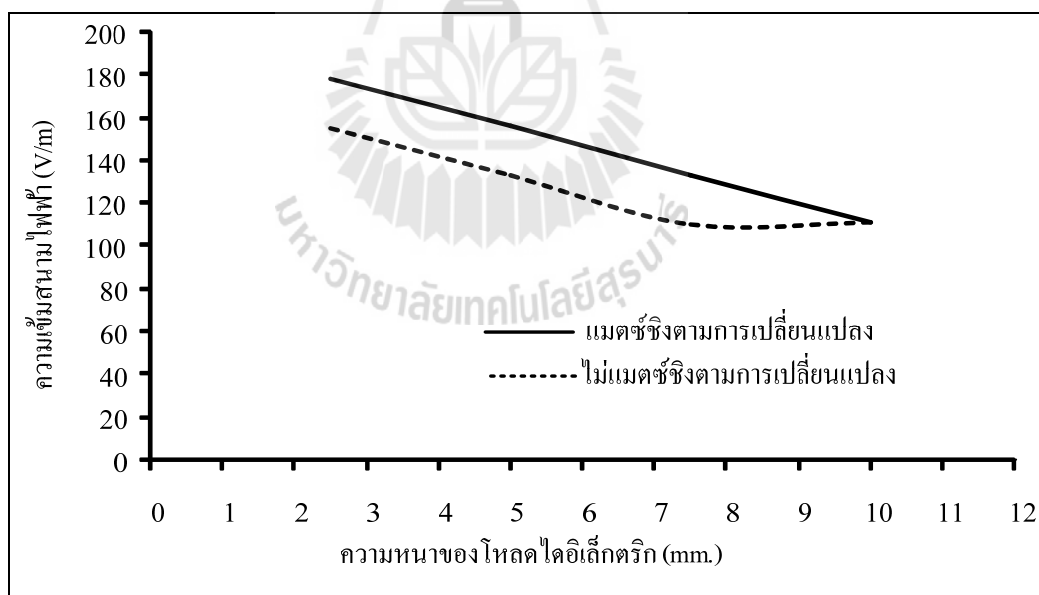


รูปที่ 3.31 ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งไม่มีการแมตชิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหนด

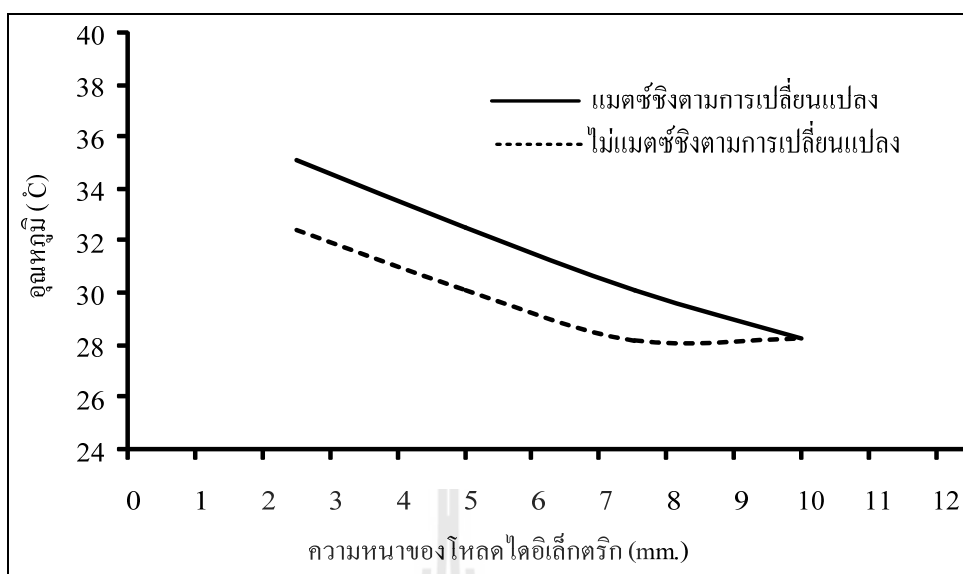
จากผลการจำลอง โดยใช้วิธีการแมตซ์ซิงวงจรด้วยค่าความเหนี่ยวนำที่แมตซ์ซิงของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์มีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์ดังตารางที่ 3.9 พบว่าลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเมื่อโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์มีขนาดความหนาลดลง จะให้ผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเช่นเดียวกับการใช้ตัวเหนี่ยวนำแมตซ์ซิงตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด แต่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าของแต่ละจุดบนพื้นที่ของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์จะมีขนาดลดลง เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความหนาของโหลดที่เท่ากัน โดยการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เมื่อมีขนาดความหนาเท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่บริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยที่สุด จะลดลงจาก 132.9 V/m เป็น 109.8 V/m ซึ่งมีขนาดลดลงถึง 23.1 V/m สำหรับผลการจำลองเมื่อลดขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร พบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 132.7 V/m ลดลง 24.02 V/m และเมื่อลดขนาดความหนาเท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร พบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 155.1 V/m เพิ่มขึ้น 23.58 V/m ซึ่งผลจากการลดลงของความเข้มสนามไฟฟ้าของแต่ละการลดระดับ ส่งผลทำให้อุณหภูมิความร้อนของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์มีขนาดต่ำลงด้วย ซึ่งผลการเปรียบเทียบระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์ (มอดข้าว) และอุณหภูมิข้าว ทั้ง 4 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 3.32 โดยอุณหภูมิสูงสุดของข้าวที่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดป้อนกำลังงาน เมื่อความหนาของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 10 มิลลิเมตร จะมีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 28.28 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 7.5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 28.20 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 30.14 องศาเซลเซียส เมื่อการลดระดับความหนาของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เท่ากับ 2.5 มิลลิเมตร มีอุณหภูมิข้าวสูงสุดที่ 32.39 องศาเซลเซียส และผลการเปรียบเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์เมื่อมีการแมตซ์ซิงและไม่แมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดแสดงดังรูปที่ 3.33 และการเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิความร้อนเมื่อมีการแมตซ์ซิงและไม่แมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลดแสดงดังรูปที่ 3.34 ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าถ้าไม่มีการแมตซ์ซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำ เมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง ความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีระดับลดลง ดังนั้นเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องมีการแมตซ์ซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายโอนกำลังงานไปยังโหลดไดโอดเล็กทรอนิกส์สูงสุด



รูปที่ 3.32 ความเข้มสนามไฟฟ้าและมุมเค้นสูงสุดของข้าวเมื่อโพลีไดอิเล็กตริก มีการเปลี่ยนแปลงตามความหนาของโพลี



รูปที่ 3.33 ผลการเปรียบเทียบความเข้มสนามไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงของโพลีไดอิเล็กตริก เมื่อมีการเมตซ์ซิงและไม่เมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพลี



รูปที่ 3.34 การเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิความร้อนเมื่อมีการแมตซ์ซิงและไม่แมตซ์ซิงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพล

3.5 สรุป

การวิเคราะห์และออกแบบผลของระบบการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกในบทนี้เป็นการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการเกิดอุณหภูมิความร้อนกับโพลไดอิเล็กตริก ซึ่งโพลไดอิเล็กตริกในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยกลุ่มของฉนวนพีชและแมลงที่ทำให้ฉนวนพีชเหล่านั้นเสียหาย ซึ่งได้เลือกใช้ข้าวและมอดข้าวเป็นโพลไดอิเล็กตริกหลักสำหรับทดสอบ เนื่องจากกำลังประสปปัญหาอย่างหนักในปัจจุบัน โดยระบบดังกล่าวมีการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานซึ่งในลำดับแรกได้วิเคราะห์ถึงลักษณะของวัสดุกับการตอบสนองในการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า สำหรับใช้เป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งพบว่าวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นทองแดงสามารถสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าได้มากกว่าวัสดุชนิดอื่น ๆ เนื่องจากมีค่าความนำทางไฟฟ้ามากกว่าวัสดุชนิดอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นทองแดงเพื่อใช้เป็นตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและเลือกใช้แผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยเลือกใช้ขนาดของแผ่นเพลตที่มีความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ทั้ง 2 แผ่นเพลต แล้วกำหนดระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกับงานวิจัย ที่มุ่งเน้นไปทางด้านการศึกษาหรือการให้ความร้อนสำหรับการกำจัดแมลงที่ปะปนมาในเมล็ดพันธุ์พืช ซึ่งเมล็ดพันธุ์พืชและแมลงเหล่านั้นจะต้อง

ถูกทำลายหรือไหลผ่านตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อทำการให้ความร้อนในการกำจัดแมลง และเพื่อการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตมีความเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานในอนาคต ดังนั้นจึงมีการใช้แผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าในการจำลองสำหรับการให้ความร้อนแก่วอลเตจไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ หลังจากนั้นได้วิเคราะห์ถึงลักษณะของจำนวนจุดป้อนกำลังงาน เพื่อทราบถึงการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต และสามารถปรับปรุงให้มีพื้นที่การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด ซึ่งพบว่า การใช้จุดป้อนกำลังงานเท่ากับ 4 พอร์ต และเป็นการวางที่ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานที่สมมาตรกันกับแผ่นเพลตสามารถให้การแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด และมีประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสูงสุด ซึ่งเมื่อได้ลักษณะการป้อนกำลังงานที่เหมาะสมที่สุดแล้ว หลังจากนั้นได้มีการจำลองผลการให้กำลังงานกับแผ่นเพลต เพื่อวิเคราะห์ถึงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผ่นเพลตและสามารถกำจัดแมลงได้ โดยไม่ทำให้ตัวยุงเกิดความเสียหายมากเกินไป ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของงานวิจัยนี้ โดยได้พิจารณาเมื่อมีการใช้เวลาในการให้ความร้อนเท่ากับ 5 วินาที 10 วินาที 15 วินาที และ 20 วินาที และสามารถทำให้มอดข้าวตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ต้องใช้กำลังงานเท่ากับ 750 วัตต์ สำหรับการให้ความร้อนที่ 5 วินาที ใช้กำลังงานเท่ากับ 530 วัตต์ สำหรับการให้ความร้อนที่ 10 วินาที ใช้กำลังงานเท่ากับ 430 วัตต์ สำหรับการให้ความร้อนที่ 15 วินาที และ ใช้กำลังงานเท่ากับ 370 วัตต์ สำหรับการให้ความร้อนที่ 20 วินาที ซึ่งทำให้ความเข้มสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นกับโพลไดโอดอิเล็กทรอนิกส์และสามารถกำจัดแมลงได้เต็มพื้นที่ในแผ่นเพลต โดยพบว่าเมื่อต้องการให้โพลไดโอดอิเล็กทรอนิกส์มีความร้อนเร็วขึ้นต้องใช้กำลังงานที่มากขึ้นด้วย นอกจากนี้ได้ทำการวิเคราะห์การให้ความร้อนกับโพลไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยจำลองด้วยการให้ความร้อนเมื่อโพลไดโอดมีการเปลี่ยนแปลงความหนาที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อขนาดความหนาลดลงและมีการแมตซ์ซึ่งตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโพลพบว่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีขนาดสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่สูงขึ้นเนื่องจากโพลไดโอดอิเล็กทรอนิกส์มีขนาดน้อยลง และเมื่อลดขนาดของโพลไดโอดอิเล็กทรอนิกส์แต่ไม่เปลี่ยนแปลงตัวเหนี่ยวนำสำหรับแมตซ์ซึ่ง พบว่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีขนาดลดลง นั่นคือทำให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานลดลงตามไปด้วย โดยผลจากการจำลองและออกแบบจะถูกยืนยันด้วยผลการทดสอบในบทที่ 4 ต่อไป

บทที่ 4

การวัดและผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

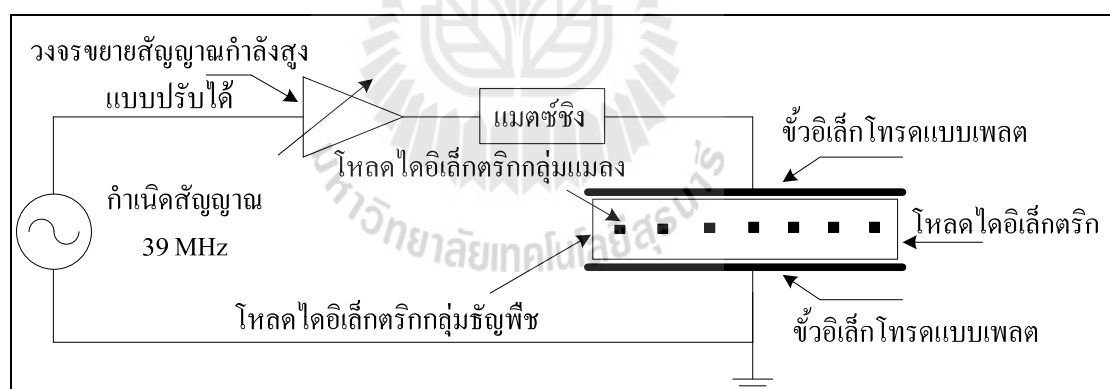
จากการกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับให้ความร้อนกับโพลไดอิเล็กตริก เพื่อกำจัดแมลงที่อยู่ในธัญพืช โดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนั้น ซึ่งได้พบว่าลักษณะตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีการใช้วิธีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ที่ระยะห่างเท่า ๆ กัน แบบสมมาตรเป็นเทคนิคที่ทำให้มีการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมและมีการถ่ายโอนความร้อนไปยังโพลไดอิเล็กตริกได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และได้วิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั้งหมดเมื่อเทียบกับระยะเวลาการให้ความร้อน นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ผลของคลื่นสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อโพลไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งการออกแบบในบทที่ 3 นั้น ให้ผลของคลื่นสนามไฟฟ้าซึ่งเป็นผลต่อโพลไดอิเล็กตริกและก่อให้เกิดเป็นอุณหภูมิความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาจากการออกแบบและจำลองผลพบว่าผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งต่อไปจะได้นำผลการออกแบบดังกล่าวไปสร้างและวัดทดสอบจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบและการจำลองแบบที่ได้ในบทก่อนหน้า

ดังนั้นในบทที่ 4 จะได้ทำการสร้างและวัดทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันผลการให้ความร้อนแก่โพลไดอิเล็กตริกดังกล่าว ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการนำทฤษฎีและหลักการต่าง ๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา เพื่อใช้สำหรับการออกแบบและสร้างระบบจริง โดยมีตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ซึ่งจะต้องแมตชิงด้วยตัวเหนี่ยวนำ และมีโพลไดอิเล็กตริก ซึ่งประกอบด้วยธัญพืช นั่นคือ ข้าว และแมลงที่ปะปนมาในธัญพืช นั่นคือมอดข้าว สำหรับทดสอบผลของอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นจากคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลต จากนั้นในการทดสอบจะทำการจ่ายกำลังงานคลื่นสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 39 MHz ให้กับตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยผ่านชุดแมตชิงรีโซแนนซ์ ซึ่งประกอบด้วย ตัวเหนี่ยวนำ (L) เป็นตัวปรับเพื่อให้ได้กำลังงานสูงสุดและมีประสิทธิภาพการถ่ายโอนกำลังงานสูงสุด และวัดทดสอบคุณลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดแมตชิงรีโซแนนซ์ ค่าตัวเก็บประจุของแผ่นเพลตที่มีส่วนประกอบของโพลไดอิเล็กตริกและค่าอุณหภูมิความร้อนในส่วนของวัสดุ

ไดอิเล็กตริกของข้าวและมอดข้าว โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะของการกระจายความร้อนนั้น จะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR SYSTEMS รุ่น T360 และสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบในรูปของความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อนกับผลการจำลองค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่จากโปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

4.2 การสร้างตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและตัวเหนี่ยวนำ

จากการออกแบบคุณลักษณะโครงสร้างของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับให้ความร้อนกับโหลไดอิเล็กตริก เพื่อกำจัดแมลงที่อยู่ในชั้นฟืนนั้น อุปกรณ์ในการทดสอบนั้นจะประกอบไปด้วยชุดแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ 39 MHz พร้อมด้วยส่วนขยายสัญญาณกำลังสูงที่สามารถปรับกำลังงานได้ เชื่อมต่อกับขดลวดเหนี่ยวนำสำหรับปรับรีโซแนนซ์ และเชื่อมต่อกับตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีวัสดุไดอิเล็กตริกของข้าวและมอดข้าว สำหรับทดสอบผลการให้ความร้อนที่เกิดจากคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง โดยโครงสร้างระบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก ต้นแบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

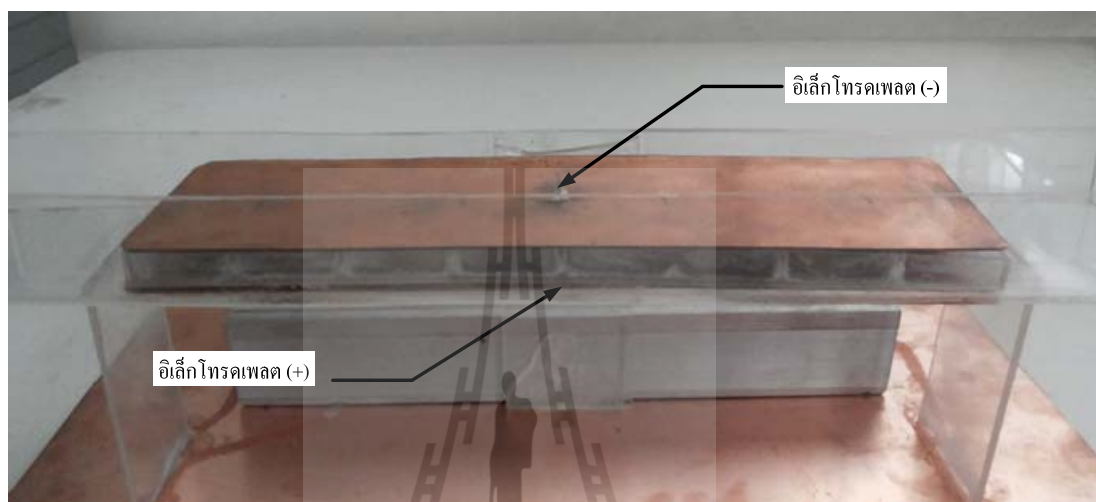


รูปที่ 4.1 โครงสร้างระบบตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

4.2.1 การสร้างตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าและการวัดค่าตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลต

สำหรับการสร้างตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตนั้นจะได้นำผลการวิเคราะห์และออกแบบในบทที่ 3 มาเพื่อทำการสร้างสำหรับทดสอบ ซึ่งแผ่นเพลตที่ได้ออกแบบมีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ซึ่งในบทที่ 3 มีการพิจารณาลักษณะของตัวเก็บ

ประจูปแบบแผ่นเพลทที่มีโพลด์ไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าวและมอดข้าว อยู่ในแผ่นเพลท 2 รูปแบบ คือ (1) เมื่อมีโพลด์ไดอิเล็กตริกเต็มแผ่นเพลท และ (2) เมื่อโพลด์ไดอิเล็กตริกมีความหนาที่ไม่เท่ากัน โดยในเบื้องต้นได้ทำการออกแบบและวัดค่าของตัวเก็บประจูปแบบแผ่นเพลทที่มีโพลด์ไดอิเล็กตริกเต็มเพลท ซึ่งลักษณะของแผ่นเพลทนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

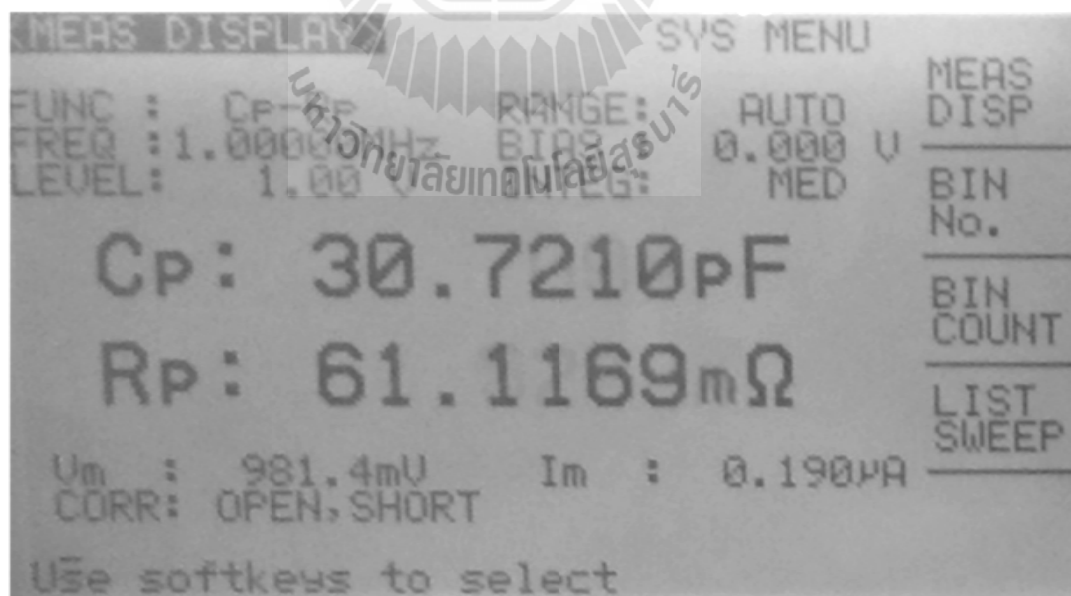


รูปที่ 4.2 รูปแบบและ โครงสร้างของแผ่นเพลทสำหรับทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

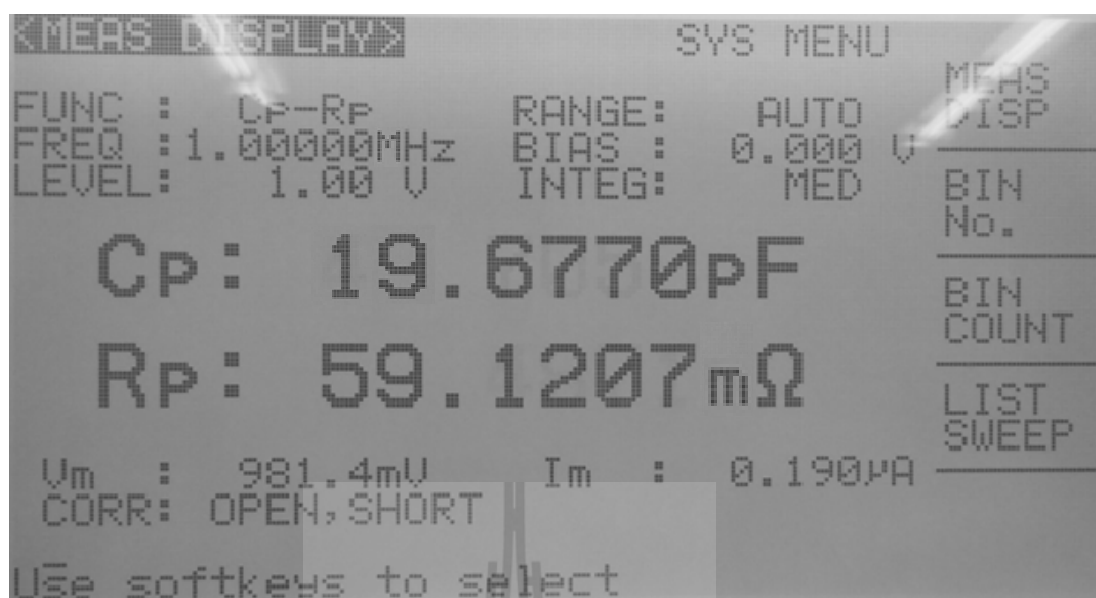
จากนั้นทำการวัดค่าความจุของแผ่นเพลทโดยใช้เครื่องมือวัด LCR ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 4284A ซึ่งรูปแบบการวัดและค่าความจุของแผ่นเพลทสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 และผลการวัดค่าความจุเมื่อโพลด์ไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ โดยเลือกวงจรสมมูลสำหรับการวัดเป็นแบบขนาน ซึ่งผลการวัดค่าความจุของแต่ละรูปแบบแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าผลของค่าความจุแต่ละขนาดมีผลใกล้เคียงกับการออกแบบในบทที่ 3



รูปที่ 4.3 รูปแบบการวัดค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีความหนาของโพลติไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.4 ค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีความหนาของโพลติไดอิเล็กตริกเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.5 ค่าความจุของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีความหนาของ
โพลติไดอิเล็กทริกเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.1 ค่าความจุที่วัดได้ในแต่ละรูปแบบ

ความหนาของโพลติไดอิเล็กทริก (มิลลิเมตร)	ความกว้างของโพลติไดอิเล็กทริก (มิลลิเมตร)	ค่าตัวเก็บประจุ (pF)
10	50	30.7210
5	50	19.6770

4.2.2 การสร้างตัวเหนี่ยวนำและการวัด

สำหรับการสร้างตัวเหนี่ยวนำนั้นจะได้นำผลการวิเคราะห์และออกแบบในบทที่ 3 มาเพื่อทำการสร้างสำหรับทดสอบเช่นเดียวกัน ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำได้จากการคำนวณด้วยวงจรรีโซแนนซ์แบบขนาน โดยค่าที่ออกแบบในบทที่ 3 แสดงดังตารางที่ 3.9 นั้นคือผลของค่าความเหนี่ยวนำสำหรับการแมตชิ่งกับวงจรทั้งหมด ซึ่งลักษณะของตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบใช้ลวดทองแดงเบอร์ 13-SWG มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 4.15 มิลลิเมตร² หรือเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.3 มิลลิเมตร โดยคุณลักษณะของขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับทดสอบเมื่อโพลติไดอิเล็กทริกมีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตรแสดงดังรูปที่ 4.6 และโพลติไดอิเล็กทริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตรแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 คุณลักษณะของขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับเมตซิงกับโหลดไดอิเล็กตริก
ที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.7 คุณลักษณะของขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับเมตซิงกับโหลดไดอิเล็กตริก
ที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

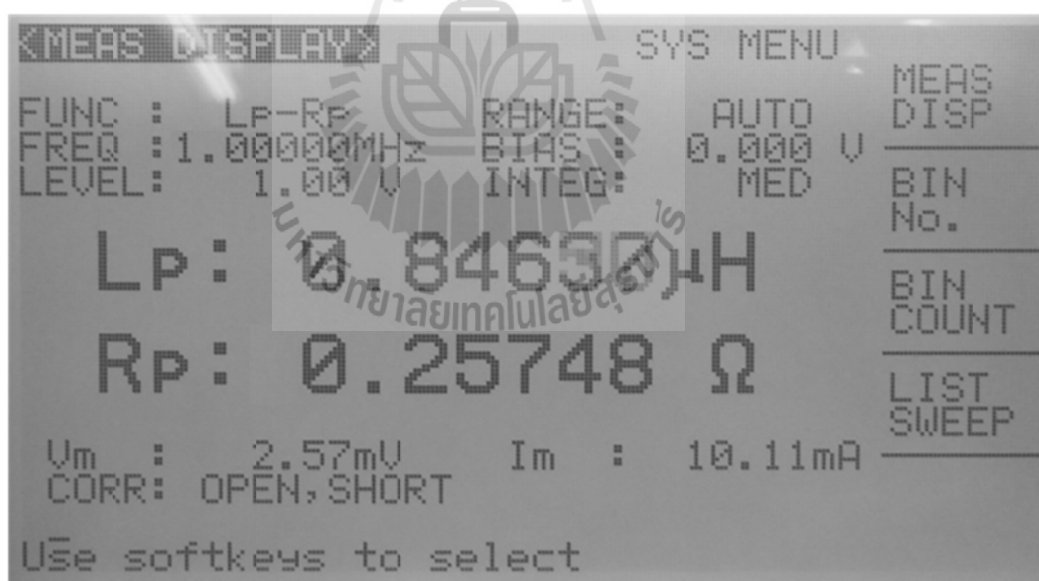
จากนั้นทำการวัดค่าความเหนี่ยวนำโดยใช้เครื่องมือวัด LCR ยี่ห้อ Hewlett Packard รุ่น 4284A เช่นเดียวกัน ซึ่งรูปแบบการวัดค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8 และผลการวัดค่าความเหนี่ยวนำสำหรับแมตซิงกับโหลด ไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่มีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และ 5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ โดยเลือกวงจรสมมูลสำหรับการวัดเป็นแบบขนาน ซึ่งผลการวัดค่าความเหนี่ยวนำของแต่ละรูปแบบแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าผลของค่าความเหนี่ยวนำแต่ละขนาดมีผลใกล้เคียงกับการออกแบบในบทที่ 3



รูปที่ 4.8 รูปแบบการวัดค่าขดลวดที่ออกแบบที่ออกแบบสำหรับแมตซิง



รูปที่ 4.9 ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับแมตซิงกับวงจรเมื่อโหลดไดโอดีเล็กตริกมีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.10 ค่าความเหนี่ยวนำสำหรับแมตซิงกับวงจรเมื่อโหลดไดโอดีเล็กตริกมีขนาดความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.2 ค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้ในแต่ละรูปแบบ

ความหนาของโพลด์ ไดอิเล็กตริก (มิลลิเมตร)	ความกว้างของโพลด์ ไดอิเล็กตริก (มิลลิเมตร)	ค่าความเหนี่ยวนำ (uH)
10	50	0.52539
5	50	0.84630

เมื่อได้อุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ สำหรับการทดสอบครบถ้วนแล้ว ต่อไปจะได้จัดวางรูปแบบโครงสร้างของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับทดสอบการให้ความร้อนกับโพลด์ไดอิเล็กตริก ทั้งนี้เพื่อยืนยันผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและการให้ความร้อนในบทที่ 3 ซึ่งสามารถแสดงดังในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 โครงสร้างของระบบสำหรับทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

จากรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นรูปแบบของการจัดวางอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองตามโครงสร้างของระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่ได้กำหนดไว้ในรูปที่ 4.1 โดยการทดลองนั้นจะมีโพลด์ไดอิเล็กตริกสำหรับทดสอบผลที่เกิดเนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าจากแผ่นเพลต ซึ่งการแสดงผลนั้นจะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR SYSTEMS รุ่น T360 สำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะของการกระจายความร้อน เพื่อจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบในรูปแบบความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อนกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST EM STUDIO ที่ได้ทำการจำลองแบบในบทที่ 3

4.3 ผลการทดสอบวัดค่าการแพร่กระจายความร้อนด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

สำหรับผลการทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกจะเริ่มต้นจากการทดสอบด้วยการให้กำลังงาน เพื่อทดสอบหากล้างงานสูงสุดที่สามารถทำให้หม้อข้าวตายทั้งหมด และทดสอบการให้ความร้อนกับโหลไดอิเล็กตริกที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำการวัดค่าอุณหภูมิของโหลไดอิเล็กตริกด้วยการใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR T360 ซึ่งสามารถแสดงลักษณะรูปร่างของตัวกล้องถ่ายภาพความร้อนได้ดังรูปที่ 4.12 โดยระหว่างที่ทำการวัดนั้นจะหยุดการให้กำลังงานจากแหล่งกำเนิดก่อน เนื่องจากคลื่นความถี่ที่มีกำลังงานสูงนั้นจะรบกวนการทำงานของตัวกล้องถ่ายภาพความร้อนและส่งผลกระทบต่อค่าอุณหภูมิได้



รูปที่ 4.12 ลักษณะรูปร่างของตัวกล้องถ่ายภาพความร้อน FLIR SYSTEMS รุ่น T360 (ภาพจากเว็บไซต์ของบริษัทเทอร์โมสแกน จำกัด;

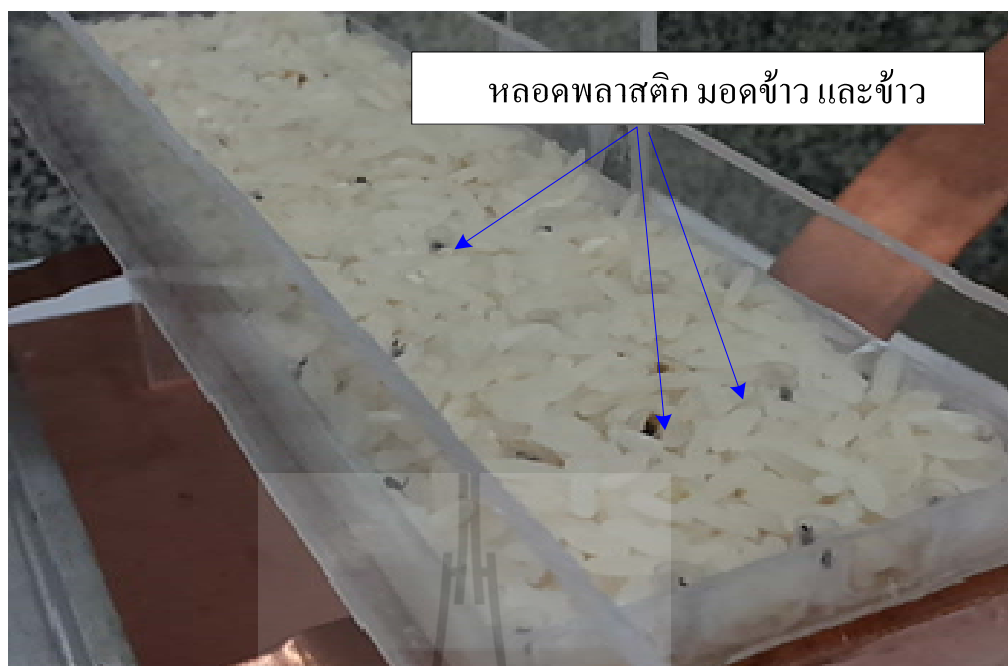
4.3.1 การทดสอบการให้ความร้อนที่กำลังงานระดับต่าง ๆ

สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนที่กำลังงานระดับต่าง ๆ นั้น กำหนดรูปแบบการให้ความร้อนตามบทที่ 3 ซึ่งได้กำหนดวิธีการใส่หม้อข้าวไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างหลอดพลาสติกแบบทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4.8 มิลลิเมตร ความสูงเท่ากับ 10 มิลลิเมตร และติดตั้งไว้ข้างในระหว่างแผ่นเพลตที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งหมด 45 จุด เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการกำจัดหม้อข้าวในแผ่นเพลต เมื่อมีการปรับเปลี่ยนกำลังงาน และบริเวณ โดยรอบของหลอดพลาสติกประกอบด้วยโหลไดอิเล็กตริกที่เป็นข้าว โดยลักษณะการเตรียมการจัดวางหม้อข้าวในหลอดพลาสติกแสดงดังรูปที่ 4.13 และการจัดวางหม้อข้าวและข้าวที่มีขนาดความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 4.14 และเริ่มทำการทดสอบโดยการกำหนดให้วัสดุไดอิเล็กตริกในรูป

ของข้าวและมอดข้าวจำลอง มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่ต่ำให้กับระบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อทำการให้พลังงานสนามไฟฟ้าหรือเส้นแรงไฟฟ้าไหลผ่านโพลดีเอทิลีนทริค โดยทดสอบให้กำลังงานตั้งแต่ 50 วัตต์ จนถึง 1000 วัตต์ โดยใช้เวลาในการทดสอบกับโพลดีเอทิลีนทริคเท่ากับ 10 วินาที เพื่อทดสอบการให้ความร้อนของระบบ

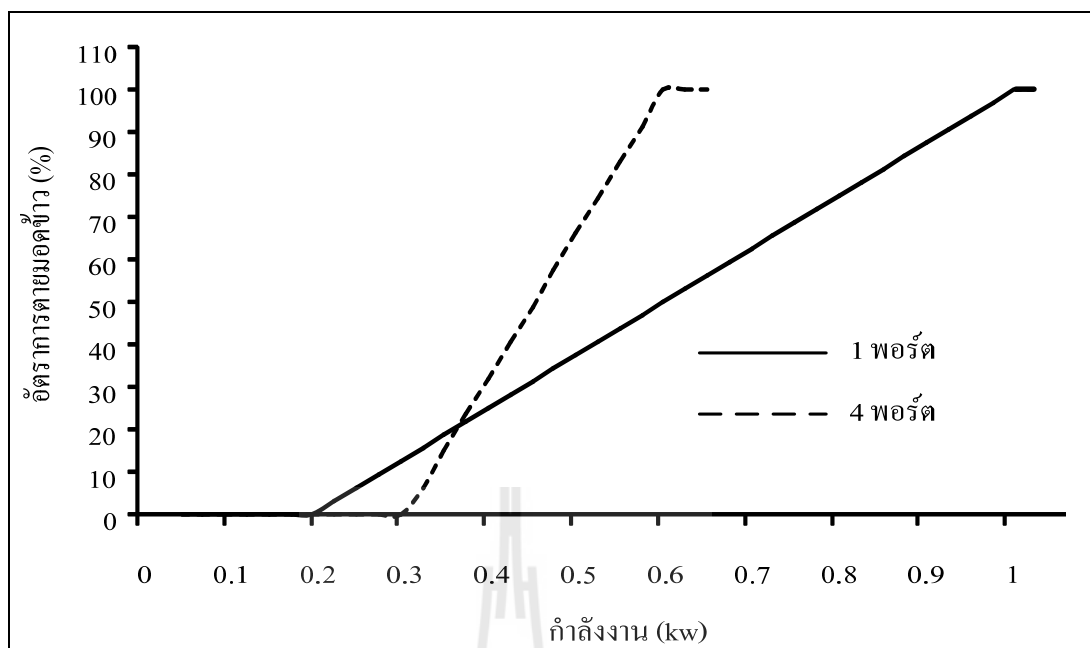


รูปที่ 4.13 การเตรียมการจัดวางมอดข้าวในหลอดพลาสติก

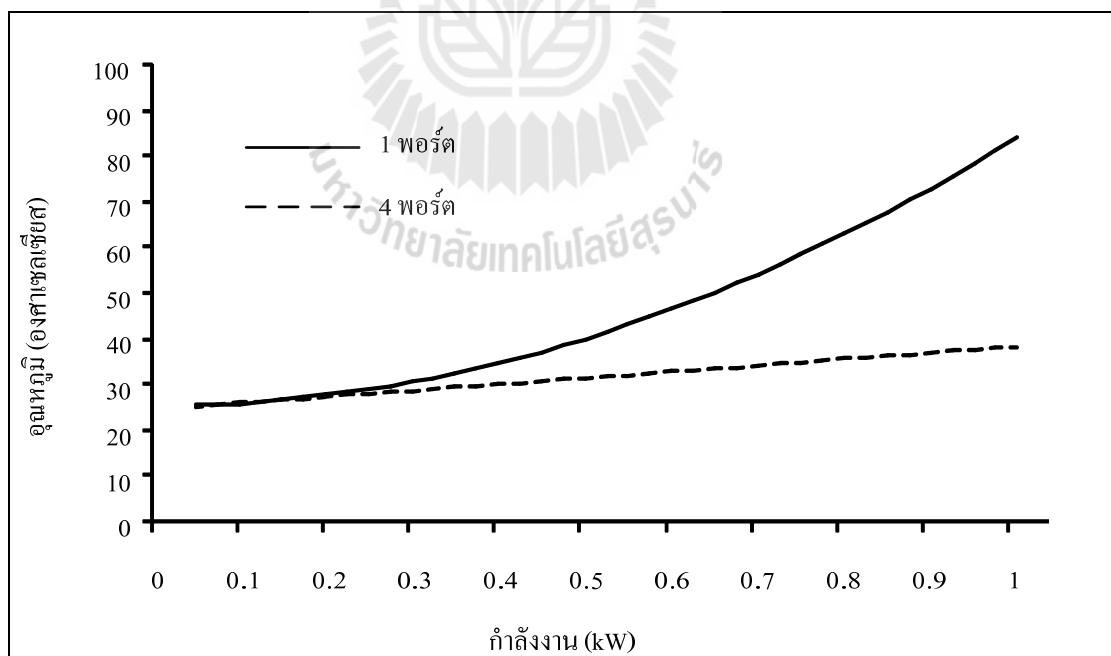


รูปที่ 4.14 โครงสร้างระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับการทดสอบการให้พลังงาน

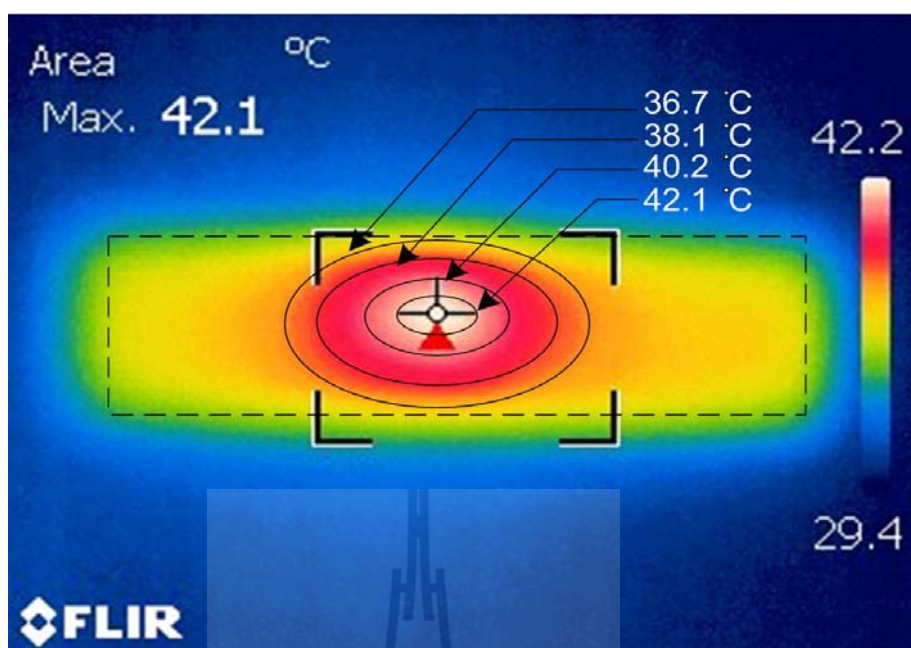
จากการทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สามารถแสดงผลการให้กำลังงานต่ออัตราการตายของมอดข้าวดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการให้กำลังงานแบบ 1 พอร์ต และ 4 พอร์ต พบว่าขนาดของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตายทั้งหมด เมื่อให้กำลังงานแบบ 1 พอร์ต ต้องใช้กำลังงานประมาณ 960 วัตต์ ในขณะที่การให้กำลังงานแบบ 4 พอร์ต จะใช้กำลังงานที่ประมาณ 560 วัตต์ โดยลักษณะของการตายของมอดข้าวจะตายที่บริเวณใกล้กับจุดป้อนกำลังงานก่อน และจะเริ่มตายที่บริเวณโดยรอบในแผ่นเพลต เช่นเดียวกับการเปรียบเทียบอุณหภูมิข้าว แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่าลักษณะการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ตจะมีอุณหภูมิสูงกว่าแบบ 4 พอร์ต โดยเมื่อเทียบที่การให้กำลังงานเท่ากับ 560 วัตต์ พบว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าประมาณ 13.4 องศาเซลเซียส และจะมีการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามการเพิ่มของกำลังงาน ซึ่งสามารถแสดงลักษณะของภาพถ่ายความร้อนเมื่อใช้กำลังงาน 560 วัตต์ เมื่อป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่าข้าวมีอุณหภูมิความร้อนสูงสุดที่ประมาณ 42.1 องศาเซลเซียส ที่บริเวณตรงกลางบริเวณจุดป้อนกำลังงานและผลจากการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต แสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งเป็นการให้กำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตายทั้งหมด พบว่าข้าวมีอุณหภูมิความร้อนสูงสุดที่ประมาณ 28.7 องศาเซลเซียส โดยเกิดขึ้นที่จุดใกล้กับจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดเช่นเดียวกัน ดังนั้นการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต จึงเป็นวิธีการที่สามารถให้ความร้อนได้ดีที่สุด ตามที่ได้ออกแบบใน บทที่ 3



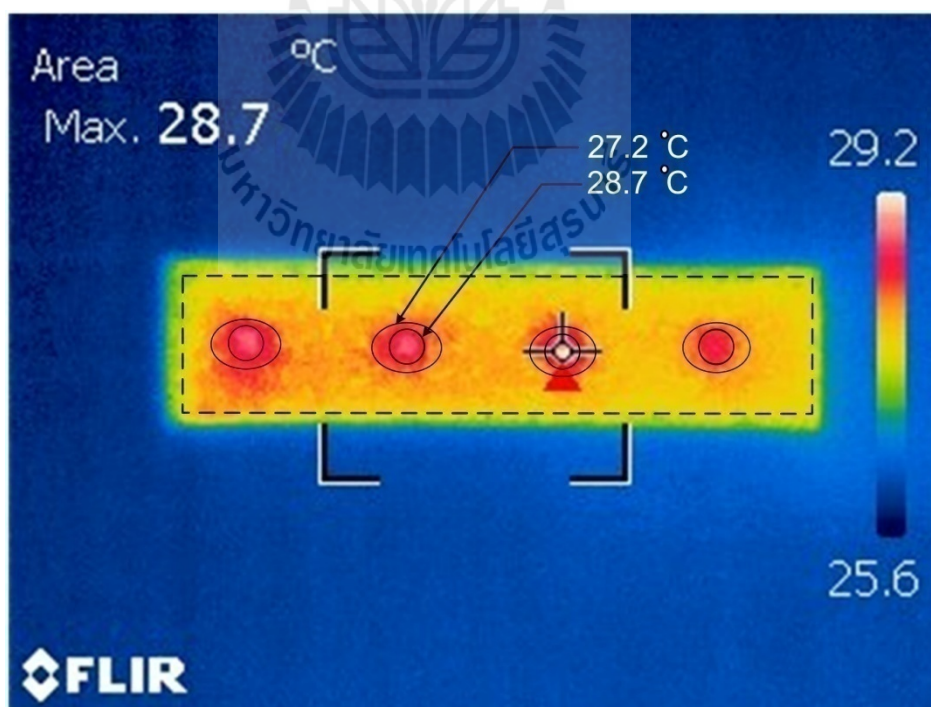
รูปที่ 4.15 การให้กำลังงานต่ออัตราการตายของมอดข้าวเมื่อมีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต และ 4 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.16 การให้กำลังงานต่ออุณหภูมิความร้อนของข้าวเมื่อมีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต และ 4 พอร์ต ที่เวลา 10 วินาที



รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายความร้อนเมื่อใช้กำลังงาน 560 วัตต์ เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนแบบ 1 พอร์ต
ที่เวลา 10 วินาที



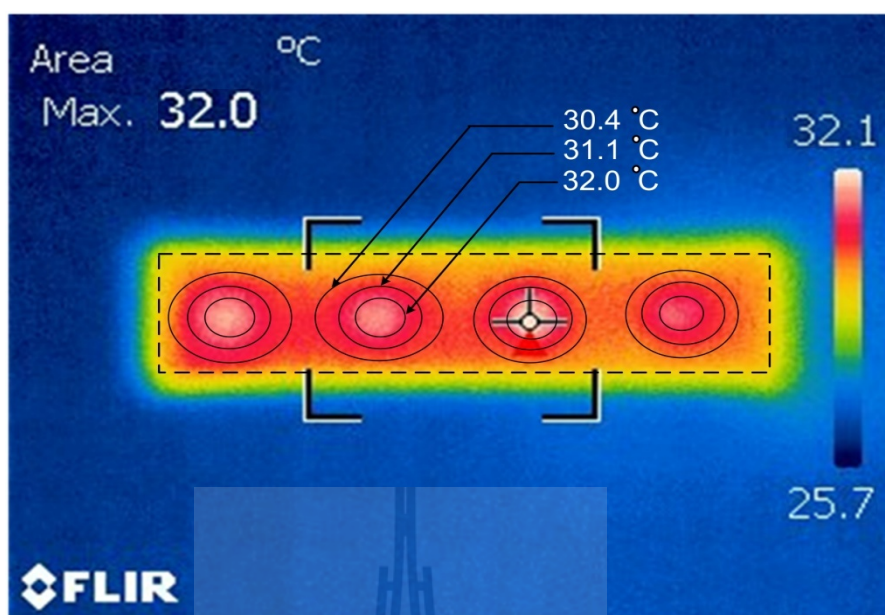
รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายความร้อนเมื่อใช้กำลังงาน 560 วัตต์ เมื่อใช้วิธีการให้ความร้อนแบบ 4 พอร์ต
ที่เวลา 10 วินาที

4.3.2 การทดสอบการให้ความร้อนเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลง

สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงนั้น จะมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของโหลดในแผ่นเพลตที่ไม่เท่ากัน โดยมีการทดสอบเมื่อมีการแมตซึ่งค่าความเหนียวนำตามการเปลี่ยนแปลงของ โหลด และไม่มีแมตซึ่งตามการเปลี่ยนแปลงของ โหลด ซึ่งสามารถแสดงผลการทดสอบดังนี้

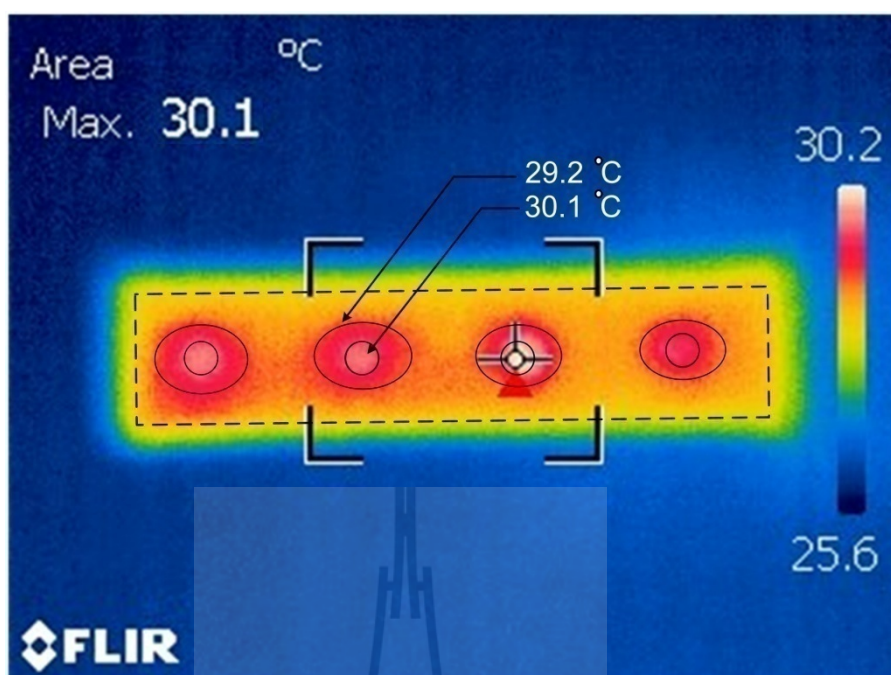
- การทดสอบการให้ความร้อนแก่อิเล็กทริกเมื่อโหลดอิเล็กทริกมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของโหลดที่ไม่เท่ากัน

สำหรับหัวข้อนี้เป็นการทดสอบให้ความร้อนแบบอิเล็กทริก เพื่อพิจารณาอุณหภูมิความร้อนที่เกิดขึ้นกับโหลดอิเล็กทริก โดยกำหนดการทดสอบให้โหลดอิเล็กทริกมีระดับความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตรและกำหนดให้มอดข้าวอยู่ตรงกลางระหว่างความหนาของโหลดอิเล็กทริก และใช้ตัวเหนียวนำสำหรับ แมตซึ่งตามตารางที่ 4.2 โดยเริ่มทำการทดสอบโดยการกำหนดให้วัสดุอิเล็กทริกในรูปของข้าวและมอดข้าวจำลอง มีอุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการเปิดแหล่งกำเนิดคลื่นความถี่จ่ายให้กับระบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อทำการให้พลังงานสนามไฟฟ้าหรือเส้นแรงไฟฟ้าไหลผ่านโหลดอิเล็กทริก โดยทดสอบใช้กำลังงานเท่ากับ 560 วัตต์ และใช้เวลาในการทดสอบกับโหลดอิเล็กทริกเป็นเวลา 10 วินาที สำหรับระบบการให้ความร้อนของระบบ ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับหัวข้อการออกแบบในบทที่ 3 โดยในเบื้องต้นการพิจารณารูปแบบของโหลดที่มีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ได้ถูกพิจารณาในหัวข้อที่ 4.3.1 โดยพบว่าอุณหภูมิความร้อนจะเกิดขึ้นสูงที่บริเวณใกล้กับจุดป้อนกำลังงาน โดยที่อุณหภูมิของข้าวโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยประมาณ 28.7 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดสอบเมื่อโหลดอิเล็กทริกมีการเปลี่ยนแปลงความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร สามารถแสดงภาพถ่ายความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายความร้อนจากการทดสอบให้ความร้อนแก่โพลด์ไดอิเล็กตริก
เมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กตามการเปลี่ยนแปลง
ของโพลด์ไดอิเล็กตริก 5 มิลลิเมตร

จากภาพถ่ายความร้อนในรูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นการทดสอบให้ความร้อนแก่โพลด์ไดอิเล็กตริก เมื่อโพลด์ไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร พบว่า การทดสอบสามารถให้ผลการนำมอดเข้าได้ทั้งหมดทุกจุด และลักษณะของอุณหภูมิความร้อนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดเช่นเดียวกันกับการให้ความร้อนเมื่อโพลด์ไดอิเล็กตริกมีความสูงเท่ากับ 10 มิลลิเมตร แต่มีอุณหภูมิขั้วที่สูงกว่า นั่นคือแสดงให้เห็นว่าในโพลด์ไดอิเล็กตริกมีการรับพลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่า ซึ่งส่งผลให้โพลด์ไดอิเล็กมีอุณหภูมิความร้อนที่สูงขึ้นซึ่งเมื่อเทียบกับจุดที่อยู่ใกล้กับจุดป้อนกำลังงาน พบว่าจะมีระดับอุณหภูมิความร้อนสูงขึ้นประมาณ 3.3 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่าเมื่อโพลด์มีขนาดความหนาลดลงจะทำให้อุณหภูมิขั้วสูงขึ้นเช่นเดียวกัน ซึ่งผลการจำลองข้างต้นเป็นผลการจำลองเมื่อโพลด์มีการลดระดับความหนาและเปลี่ยนค่าการแมตซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำเพื่อให้การถ่ายโอนกำลังงานได้ดีที่สุด ทั้งนี้เพื่อยืนยันการแมตซิง จึงได้มีการจำลองผลเมื่อมีการลดระดับความหนาแต่ใช้ค่าความเหนี่ยวนำที่แมตซิงเมื่อโพลด์ไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการถ่ายโอนกำลังงานไปยังโพลด์ไดอิเล็กตริก ซึ่งผลการทดสอบการให้ความร้อนสามารถแสดงดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายความร้อนจากการทดสอบให้ความร้อนแก่โหนดไดอิเล็กตริก
เมื่อใช้ตัวเหนี่ยวนำที่ไม่แมตซิงตามการเปลี่ยนแปลง
ของโหนดไดอิเล็กตริก 5 มิลลิเมตร

จากภาพถ่ายความร้อนในรูปที่ 4.20 ซึ่งเป็นการทดสอบให้ความร้อนแก่โหนดไดอิเล็กตริก เมื่อโหนดไดอิเล็กตริกมีความหนาเท่ากับ 5 มิลลิเมตร แต่ใช้ตัวเหนี่ยวนำสำหรับแมตซิงกับโหนดไดอิเล็กตริกที่มีความหนาเท่ากับ 10 มิลลิเมตร พบว่า การทดสอบไม่สามารถให้ผลการนำออกซ้ำได้ทั้งหมดทุกจุด โดยยังเหลือที่ จุด P14, P12, P24, P22, P34 และ P32 ซึ่งเป็นผลมาจากมีพลังงานสนามไฟฟ้าที่น้อยลง จึงส่งผลกระทบต่อการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกแต่ลักษณะของอุณหภูมิความร้อนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณใกล้กับจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดเช่นเดียวกัน แต่มีอุณหภูมิซ้ำจะน้อยกว่า การใช้ตัวเหนี่ยวนำที่มีการแมตซิงตามการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อเทียบอุณหภูมิความร้อนกับจุดที่อยู่ใกล้กับจุดป้อนกำลังงาน พบว่าจะมีระดับอุณหภูมิความร้อนน้อยลงประมาณ 1.9 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลดังกล่าวทำให้สรุปได้ว่า ถ้าไม่มีการแมตซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำที่เหมาะสม เมื่อโหนดมีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการให้ความร้อนจะมีระดับลดลง ดังนั้นเมื่อโหนดมีการเปลี่ยนแปลงจำเป็นต้องมีการแมตซิงด้วยค่าความเหนี่ยวนำ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการถ่ายโอนกำลังงานไปยัง โหนดไดอิเล็กตริกสูงสุด โดยผลการทดสอบการเปรียบเทียบทั้ง 2 รูปแบบ สามารถยืนยันผลการทดสอบเป็นไปตามการออกแบบในบทที่ 3

4.4 สรุป

จากการทดสอบผลของการให้ความร้อนแก่โพลดไดอิเล็กตริกในบดนี้ เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันผลของการเกิดความร้อนกับโพลไดอิเล็กตริกซึ่งใช้เป็นมอดข้าวและข้าว โดยได้ทดสอบด้วยการให้ความร้อนเมื่อมีการใช้เวลาเท่ากับ 10 วินาที เพื่อหาขนาดของกำลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั้งหมด 100 เปอร์เซ็นต์ โดยทดสอบการใช้กำลังงานเริ่มต้นจาก 50 วัตต์ จนถึง 1000 วัตต์ ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบรูปแบบการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต และแบบ 4 พอร์ต ซึ่งพบว่าแบบการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต ต้องใช้กำลังงานเท่ากับ 960 วัตต์ ถึงจะสามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั้งหมด ในขณะที่การป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ใช้กำลังงานสูงสุดเท่ากับ 560 วัตต์ ซึ่งทำให้อุณหภูมิความร้อนเกิดขึ้นกับโพลไดอิเล็กตริกและสามารถกำจัดมอดข้าวได้เต็มพื้นที่ในแผ่นเพลตดังนั้นการเลือกใช้วิธีการป้อนกำลังงานแบบสมมาตร เป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพการทำงานได้ดีที่สุด และยังพบอีกว่าเมื่อต้องการให้โพลไดอิเล็กตริกมีความร้อนเร็วขึ้นต้องใช้กำลังงานที่มากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการให้ความร้อนกับโพลไดอิเล็กตริกเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโพลด โดยพบว่าเมื่อมีการลดขนาดความหนาของโพลไดอิเล็กตริก ลักษณะของอุณหภูมิความร้อนจะเกิดขึ้นสูงที่บริเวณที่มีมอดข้าว และสามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั้งหมด อุณหภูมิของข้าวโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยและเกิดขึ้นมากที่สุดบริเวณใกล้กับจุดป้อนกำลังงาน แต่ระดับอุณหภูมิความร้อนของโพลไดอิเล็กตริกจะสูงขึ้นเมื่อมีการทดสอบด้วยการแมตซิงด้วยตัวเหนี่ยวนำให้เหมาะสมในแต่ละรูปแบบ ดังนั้นการในการประยุกต์ใช้งานควรมีวงจรถูดแมตซิงด้วยตัวเหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับรูปแบบที่ใช้ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ในแผ่นเพลตสำหรับการประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนแบบไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้หลักการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณและการจำลองผลด้วยโปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อพิจารณาระดับความเข้มและการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ในแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแปรพลังงานของสนามไฟฟ้าให้เป็นอนุหภูมิ และการทดสอบผลการให้ความร้อนในระบบจริง เพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์จากการจำลอง โดยเริ่มต้นจากการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการให้ความร้อนแก่ไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษาคุณสมบัติของการเกิดสนามไฟฟ้าของชนิดวัสดุที่ใช้สำหรับการทำในส่วนของตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการกำเนิดสนามไฟฟ้าสูงสุดจากวัสดุแต่ละชนิด ซึ่งพบว่าวัสดุที่ทำมาจากทองแดงสามารถสร้างสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด จึงเลือกใช้สำหรับงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นได้ศึกษาขนาดและรูปแบบของตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านการเกษตร จึงเลือกพิจารณาแผ่นเพลตที่เป็นลักษณะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยมีขนาดความกว้างเท่ากับ 50 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 200 มิลลิเมตร และความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร จากนั้นนำผลที่ได้จากการศึกษามาทำการจำลองแบบเพื่อหาประสิทธิภาพของการกระจายสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต โดยมีการพิจารณาลักษณะการป้อนกำลังงานด้วยวิธีการเพิ่มจำนวนจุดป้อนกำลังงานและปรับเปลี่ยนตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงาน พบว่าการป้อนกำลังงานแบบสมมาตร สามารถให้พื้นที่การกระจายสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด จากนั้นทำการจำลองผลการให้ความร้อนที่กำลังงานระดับต่าง ๆ เพื่อหาประสิทธิภาพของกำลังงานสำหรับการให้ความร้อนกับโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์และความสัมพันธ์ต่อเวลาที่ใช้ โดยไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ข้าวและมอดข้าว พบว่าเมื่อใช้กำลังงานมากขึ้นทำให้โหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 2 ชนิด จะมีความเข้มสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้สามารถใช้เวลาในการให้ความร้อนได้เร็วขึ้น และพบว่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับมอดข้าวจะมีอัตราที่สูงกว่าข้าว นอกจากนี้ยังได้จำลองผลการให้ความร้อนกับโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งพบว่าเมื่อขนาดความหนาของโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์ลดลงและมีการแมตซ์จึงตัวเหนี่ยวนำตามการเปลี่ยนแปลงของโหลด ความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีขนาดสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้มีประสิทธิภาพการให้ความร้อนที่สูงขึ้น เนื่องจากโหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์

มีขนาดน้อยลง และเมื่อลดขนาดของโหลดไดโอดีลิกแต่ไม่เปลี่ยนแปลงตัวเหนี่ยวนำ สำหรับแมตซ์จึง พบว่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะมีขนาดลดลง นั่นคือทำให้ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังงานลดลงตามไปด้วย จากนั้นได้นำผลการวิเคราะห์และจำลองแบบดังกล่าวไปสร้างและวัดทดสอบจริงเพื่อเปรียบเทียบและยืนยันผลการจำลองแบบ ซึ่งจากผลการทดลองนั้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎีและผลการจำลองด้วยโปรแกรม โดยระบบดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการให้ความร้อนแก่โหลดไดโอดีลิกชนิดต่าง ๆ และสามารถประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนกับวัสดุอื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์คือ การกำหนดค่ากำลังงานที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากเครื่องมือวัดกำลังงานมีความละเอียดไม่มากพอ ทำให้อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ และการกำหนดค่าของโหลดไดโอดีลิกที่เป็นมอดจิว ซึ่งมีขนาดที่แตกต่างกัน และการควบคุมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการนั้นเป็นเรื่องยาก อาจมีความคลาดเคลื่อนต่อผลการส่งผ่านกำลังงานความร้อนได้ และปัญหาด้านเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่มีข้อจำกัด ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองได้ สำหรับข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์ยังสามารถวิเคราะห์และพิจารณาส่วนของการหาความสัมพันธ์ระหว่างจุดป้อนกำลังงานบนตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีผลต่อขนาดของแผ่นเพลต ซึ่งสามารถทำให้ทราบถึงการป้อนกำลังงานที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบอื่น ๆ ต่อไป นอกจากนี้อาจจะต้องเพิ่มเติมในการทดลองการวัดความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในโหลดไดโอดีลิกเพื่อให้การทดลองมีชัดเจนมากขึ้นและความผิดพลาดน้อยลงจนเป็นที่ยอมรับได้ตามหลักทฤษฎีนำไปสู่การประยุกต์ใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับโหลดไดโอดีลิก ซึ่งส่งผลต่อการให้ความร้อนแบบไดโอดีลิก ซึ่งได้นำเสนอการวิเคราะห์สนามไฟฟ้าของโหลดไดโอดีลิกในแผ่นเพลตสำหรับการให้ความร้อนแบบไดโอดีลิก โดยรูปแบบและโครงสร้างการนำเสนอของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการจำลองทั้งส่วนการวิเคราะห์ การจำลองและการทดลอง ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ที่สนใจนำไปเป็นแนวทางการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานจริงหรือทำการทดสอบเพิ่มเติมกับแมลงชนิดอื่น ๆ หรือ สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสัตว์หรือตลอดจนมนุษย์ ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์จากการให้ความร้อนแบบไดโอดีลิก แต่อย่างไรก็ตามระบบดังกล่าวนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาสำหรับกำจัดแมลงที่ปะปนมากับธัญพืช ด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบไดโอดีลิก เพื่อลดปัญหาการเกิดแมลงในธัญพืช ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

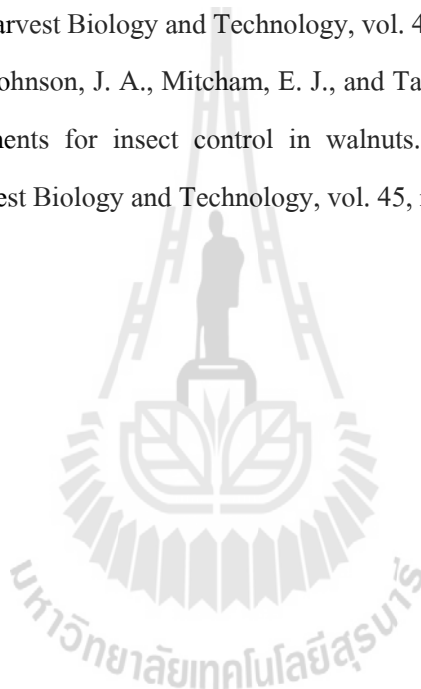
- Ahmed, N.A., (2011). **High-Frequency Soft-Switching AC Conversion Circuit With Dual-Mode PWM/PDM Control Strategy for High-Power IH Applications**, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58: 1440 - 1448.
- Andreuccetti, D., Bini, M., Ignesti, A., Gambetta, A., and Olmi, R. (1994). Microwave destruction of woodworms, Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, vol. 29, no. 3, pp. 153–160.
- Bayrashev, A., Ziaie, B., (2002). **Silicon wafer bonding with an insulator interlayer using RF dielectric heating**, Micro Electro Mechanical Systems, The Fifteenth, International Conference on IEEE, pp. 419- 422.
- Bell, C.H., and Wilson, S.M. (1995). Phosphine tolerance and resistance in trogoderma granarium everts (Coleoptera: Dermestidae), journal of stored products research, vol. 31, no. 3, pp. 199-205.
- Du, Y. Cheng, T. C. and Farag, A. S. (1996). **Principles of power frequency magnetic field shielding with flat sheets in a source of long conductors**, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 38, no. 3, pp. 450–459.
- Das, I., Kumar, G., and Shah, N.G. (2013). Microwave Heating as an Alternative Quarantine Method for Disinfestation of Stored Food Grains, **International Journal of Food Science**, Hindawi Publishing Corporation.
- Edward, P.M. and Elena, S. K. (1997). **Aminopeptidase-Like Activity in Hemolymph Plasma from Larvae of the Gypsy Moth**, Lymantria dispar (Lepidoptera: Lymantriidae) Comp Biochem Physiol, Vol. 116B, pp. 11-18
- Granada, M. and Ferney, W. (2012). **Experimental prototype for endogenous drying wood by radio frequency (RF)**. Alternative Energies and Energy Quality (SIFAE), International Symposium on IEEE. pp. 1- 8.
- Gao, M., Tang, J., Wang, Y., Powers, J., and Wang, S. (2010). Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation, Postharvest Biology and Technology, vol. 58, no.3, pp. 225–231.

- Hasselgren, L. and Luomi, J. (1995). **Geometrical aspects of magnetic shielding at extremely low frequencies**, IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 37, no. 3, pp. 409–420.
- Kurose, H., Miyagi, D., Takahashi, N., Uchida, N and Kawanaka, K. (2009). **3-D Eddy Current Analysis of Induction Heating Apparatus Considering Heat Emission, Heat Conduction, and Temperature Dependence of Magnetic Characteristics**, IEEE Transactions on Magnetics, 45: 1847 - 1850.
- Komarov, V. (2012). Dielectric and Thermal Properties of Materials at Microwave Frequencies, Handbook, Artech House.
- Lichan, M., Cheng, K.W.E and Ka W.C., **Systematic Approach to High-Power and Energy-Efficient Industrial Induction Cooker System: Circuit Design, Control Strategy, and Prototype Evaluation**, IEEE Transactions on Power Electronics, 26: 3754 - 3765.
- Lagunas-Solar, M. C., Pan, Z., Zeng, N. X., Truong, T. D., Khir, R., and Amaratunga, K. S. P. (2007). Application of radiofrequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes, Applied Engineering in Agriculture, vol. 23,no. 5, pp. 647–654.
- Li, C. Wang, J. andZhu, J. (2010). **Experiment and Theoretical Study on Thermal Performance of Honeycomb Ceramic Regenerative Heat Exchanger**, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC) Asia-Pacific, pp. 1-6.
- Larry Zettler J., and Arthur, F. H. (2000). **Chemical control of stored product insects with fumigants and residual treatments**, Crop Protection Vol.1, p p. 577-582.
- Myungsik K., and Kwangsoo K. (2012). **Development of a compact cylindrical reaction cavity for a microwave dielectric heating system**. Review of Scientific Instruments, Vol, 83, pp. 1,
- Meng, L.C., Cheng, K.W.E and Wang, W.M. (2011). **Thermal Impacts of Electromagnetic Proximity Effects in Induction Cooking System With Distributed Planar Multicoils**, IEEE Transactions on Magnetics, 47: 3212 - 3215.
- Mangesh, B., and Sunil, T. (2013). A 25kW, 25kHz Induction Heating Power Supply for MOVPE System Using L-LC Resonant Inverter, **Advances in Power Electronics**, Hindawi Publishing Corporation.

- Mukhametshina, A., and Martynova, E. (2013). Electromagnetic Heating of Heavy Oil and Bitumen: A Review of Experimental Studies and Field Applications, *Journal of Petroleum Engineering*, Hindawi Publishing Corporation.
- Mitcham, E. (2001). Quarantine issues in 2000, *Acta Horticulture*, vol. 553, pp. 451–455.
- Mitcham, E. J., Veltman, R. H. Feng X. (2004). Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 33, no. 1, pp. 93–100.
- Marra, F., Zhang, L., and Lyng, J. G. (2009). Radio frequency treatment of foods: review of recent advances, *Journal of Food Engineering*, vol. 91, no. 4, pp. 497–508.
- Nelson, S. O. (2006). **Agricultural applications of dielectric measurements**, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 13, p.688-702.
- Nelson, S. O. (1996). **Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control**. *Transactions of the ASAE*, 39, pp. 1475–1484.
- Nelson, S. O. (1991). **Dielectric properties of agricultural products Measurements and Applications**, *IEEE Trans. Elect. Insul.*, Vol.26, pp. 845-869.
- Nelson, S. O., and Stetson, L. E. (1974). **Comparative Effectiveness of 39- and 2450-MHz Electric Fields for Control of Rice Weevils in Wheat**, *J. Econ. Entomol.*, Vol. 67, No. 5, pp. 592-595.
- Nelson, S. O., and Payne, J. A., (1982). RF dielectric heating for pecan weevil control, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, vol. 31, pp. 456–458.
- Nelson, S. O., (1973). Insect-control Studies with Microwaves and Other Radio-frequency Energy, *Bul. Entomol. Soc. Amer.*, Vol. 19, No. 3, pp. 157-163.
- Oka, H., Uchidate, S., Sekino, N., Namizaki, Y., Kubota, K., Osada, H., Dawson, F.P., and Lavers, J.D. (2011). **Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized Powder-Type Magnetic Wood**, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 47, pp. 3078-3070.
- Okamoto, Y. Himeno, R. Ushida, K. Ahagon, A. and Fujiwara, K.(2008). **A Dielectric Heating Analysis Method With Accurate Rotational Motion of Stirrer Fan Using Nonconforming Mesh Connection**, *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 44, p. 806-809.

- Robinson W.H. (2005). **Handbook of urban insects and arachnids: A handbook of urban entomology**, Cambridge University Press, 2005.
- Rajendran, S., and Muralidharan, N. (2001). Performance of phosphine in fumigation of bagged paddy rice in indoor and outdoor stores, *Journal of Stored Products Research*, vol. 37, no. 4, pp. 351–358.
- Sarnago, H., Lucia, O., Mediano, A and Burdio, JM., (2013). **Class-D/DE Dual-Mode-Operation Resonant Converter for Improved-Efficiency Domestic Induction Heating System**, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28: 1274-1285.
- Sonerud, B. Bengtsson, T. Blennow J. and Gubanski, S.M. (2009). **Dielectric heating in insulating materials subjected to voltage waveforms with high harmonic content**, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 16, pp. 926-933.
- Sitophilus, O., and Koehler, P. G., (2012). **Rice Weevil**, University of Florida, IFAS Extension, Revised.
- Thongsopa, C., and Thosdeekoraphat, T. (2013). **Analysis and Design of Magnetic Shielding System for Breast Cancer Treatment with Hyperthermia Inductive Heating**, *International Journal of Antennas and Propagation*, Volume 2013, 2013.
- Wang, S., Tang, J., Johnson, J.A., Mitcham, E., Hansen, J.D., Hallman, G., Drake, S.R., and Wang, Y. (2003). **Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments**, *Biosystems Engineering*, Vol. 85, p. 201-212. 2003.
- Wang, S., Tang, J., and Cavalieri, R. P. (2001). Modeling fruit internal heating rates for hot air and hot water treatments, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 22, no. 3, pp. 257–270.
- Wang, S., Tiwari, G., Jiao, S., Johnson, J. A., and Tang, J. (2010). Developing postharvest disinfestations treatments for legumes using radio frequency energy, *Biosystems Engineering*, vol. 105, no. 3, pp. 341–349.
- Wang, S., Tang, J., Johnson J. A. (2002). Process protocols based on radio frequency energy to control field and storage pests in inshell walnuts, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 26, no. 3, pp. 265–273.

- Wang, S., Tang, J., Johnson, J. A., and Hansen, J. D. (2002). Thermal death kinetics of fifth-instar *Amyelois transitella* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), *Journal of Stored Products Research*, vol. 38, no. 5, pp. 427–440.
- Wang, S., Ikediala, J. N., Tang, J., and Hansen, J. D. (2002). Thermal death kinetics and heating rate effects for fifth-instar *Cydiapomonella* (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), *Journal of Stored Products Research*, vol. 38, no. 5, pp. 441–453.
- Wang, S., Monzon, M., Johnson, J. A., Mitcham, E. J., and Tang, J. (2007). Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. I: Heating uniformity and energy efficiency, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 240–246.
- Wang, S., Monzon, M., Johnson, J. A., Mitcham, E. J., and Tang, J. (2007). Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. II: Insect mortality and product quality, *Postharvest Biology and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 247–253.





ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

วารสารวิชาการ

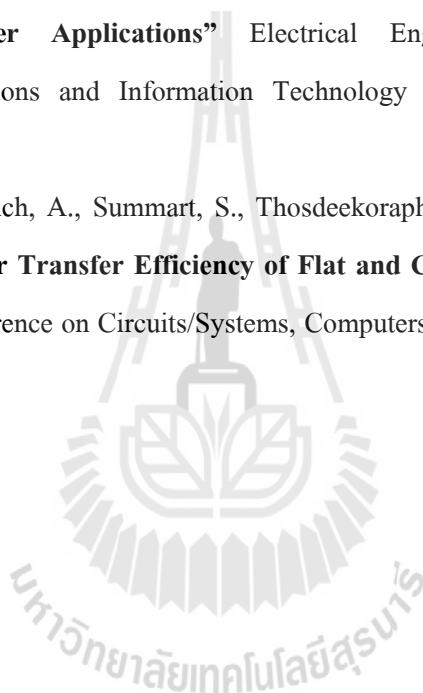
- Santalunai, S., and Thongsopa, C. (2014). **Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications**, Applied Engineering in Agriculture. (Submitted)
- Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., and Thongsopa, C. (2014). **Optimization of Electric Field Distribution on Capacitor Copper Plate by Increasing Input Power Ports for Dielectric Heating Applications**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 8(7), PP. 58-65.
- Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C. (2014). **The Effect of Electric Field Distributions on Grains and Insect for Dielectric Heating Applications.**, International Journal of Biological, Veterinary, Agricultural and food Engineering, Vol:8 No:7, PP. 667-673.
- Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., and Thongsopa, C. (2013). **Thermal Analysis of Inductive Coils Array against Cylindrical Material Steel for Induction Heating Applications.** Applied Mechanics and Materials, Vol. 330, PP. 754-759
- Ratniyomchai, K., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C. (2013). **Optimization of Capacitor Copper Plate for Dielectric Heating to Eliminate Insect.** Applied Mechanics and Materials, Vol. 343, PP. 101-105
- Wasusathien, W., Santalunai, S., Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C. (2014) "Ultra Wideband Breast Cancer Detection by Using SAR for Indication the Tumor Location." International Journal of Medical, Health, Pharmaceutical and Biomedical Engineering, Vol:8 No:7, PP. 376-380.
- Thosdeekoraphat, T., Santalunai, S., and Thongsopa, C. (2013). **Improved the Performance of Focusing Deep Hyperthermia Inductive Heating for Breast Cancer Treatment by Using Ferro-Fluid with Magnetic Shielding System.** Applied Mechanics and Materials, Vol. 325, PP. 353-358
- Thosdeekoraphat, T., Thongsopa, C., Jarataku, P., and Santalunai, S., (2013). **The Optimization of U-shaped Cross Section Antenna with a Strip on a U-shaped Ground Plane for WLAN.**, International Journal of Information Engineering Vol. 3, No. 4, PP. 113-121.

บทความวิชาการ

Santalunai, S., Thongsopa, C., and Thosdeekoraphat, T. (2015). “The Efficiency of Dielectric Heating by Increasing the Electric Power Ports in Symmetrically model on Electrode Plate for Pest Control” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Hua Hin, Thailand. (Submitted)

Santalunai, S., Thongsopa, C., and Thosdeekoraphat, T. (2014). “**An Increasing the Power Transmission Efficiency of Flat Spiral Coils by Using Ferrite Materials for Wireless Power Transfer Applications**” Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Nakhonratchasima, Thailand .

Santalunai, S., Intarapanich, A., Summart, S., Thosdeekoraphat, T., and Thongsopa, C. (2012). “**Wireless Power Transfer Efficiency of Flat and Conical Spiral Coil**”. International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, July 15-18, Sapporo, Japan.



Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications

Samran Santalunai^{1*} and Chanchai Thongsopa²

¹*School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Muang District, Nakorn Ratchasima 30000, Thailand*

²*School of Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Muang District, Nakorn Ratchasima 30000, Thailand*

Abstract. This research was conducted to analyze the effect of electric field distribution and intensity in dielectric loads. The electric fields were caused by varying the electric power on electrode plates to improve the thermal temperatures of dielectric loads. The dielectric loads of the grains and pests, the rice and rice weevils were the target dielectric materials for analyzing the impact of thermal temperatures of the rice weevils and minimal thermal on the rice. To investigate the difference of electric power on heating predicted by the theoretical model, the electric field distribution and intensity were analyzed by using the finite difference time domain method. Theoretical analyzes was conducted to make power system effective for controlling the electric field distribution on the model. Theoretical and experimental investigations were carried out using dielectric load. The results demonstrated that the efficiency of the dielectric heating exterminated pests and temperature of grains without losing the quality. The advantage of the method is being able to be utilized for the dielectric heating applications to eliminate insects and control the appropriate temperature of the grains in the future.

Keywords: Dielectric heating, dielectric load, electric power, electrode plate, exterminate pests

1. Introduction

The phenomena of heating technology by using the electromagnetic fields are important in engineering and sciences research. The developments of heating technology are discriminated into induction and dielectric heating. The induction heating is caused by an induction of electromagnetic fields which flow into the model producing electrical current in the inductive coil. [1-7]. The heating depends on amount of induction current and the equivalent impedance flowing through the current path. Furthermore, the heat is transferred to the other regions of the model by the heat conduction and the heat convection, but their induction heating will only be reacted with the metal.

Alternatively, the dielectric heating technique is interested in the heating technology as the most important feature of thermal energy directly composed to the dielectric material with appropriate frequency range, thus, this technique does not affect other materials. The dielectric heating structure uses the frequency spectrum principle, which is applied as an electric field to transfer power into the dielectric material with polar molecules. The resonances of the molecules occurring in the dielectric material and dielectric heating are quickly and evenly generated. The dielectric heating is being applied in many applications [8-10], such as, dehydration industry and fruit pre serration industry. In addition, the dielectric heating can be also applied to eliminate the pests in agriculture since the structure of a pest is a liquid or polar molecule which can induce the electric field to heating. [11-14].

Nowadays, grains derived from the harvests are treated by chemical fumigation to control storage pests (methyl bromide and phosphine) [15-17] before being shipped to domestic and international markets. Most people have concerned about the side effects of chemical fumigation on consumers and environment,

*Corresponding author: Samran Santalunai, Tel.: +6644224392; Fax: +6644224603; E-mail: Santalunai.sja@gmail.com

we, the researchers, are interested to develop the methods to pests control without using chemical, especially heating methods, but both making will be heating an impact on insects and grains. An important method to develop in thermal control, the balance of heating for pests control with a minimal impact on quality of grains by using the electromagnetic energies are radio frequency (RF) or microwave (MW) dielectric heating to control the pests in grains before being shipped.

Electromagnetic energies; the radio frequency and microwave heating, have been studied for several years to control pest heated by electromagnetic field distribution and energy absorb in the product. Researchers proposed thermal based on radio frequency and microwave energy to replace chemical fumigation in order to control the other pest's insect [18-28]. Moreover, they have reported the acceptable product quality after treating product with radio frequency energies to control pest's infestation [27, 29-33]. The controlled features of pests when the material being heated are the mixture of different materials. There is the possibility for selective heating, and this was considered for the possibility that the pests may be heated at a faster rate than grains by using an electromagnetic field on radio frequency dielectric heating. In a mixture of pests and grains, both materials are subjected to fields of the same frequency, but the electric field intensity depends on the geometry and the dielectric constant and the heating is also proportional to the dielectric loss factor of each material. Thus, dielectric properties and wide frequency response ranges are being interested in heating the mixture of different materials.

To generate the electromagnetic fields for dielectric heating, the plates were used as applicators to control generate electric field distributed between plates to heat the dielectric load. Many papers had reported the structures of the electrode plate with physically description of circular and square plates. Because the characteristic of the plate model and the distribution of electromagnetic fields were symmetrically and evenly electric field; however the dielectric heating with the pests and grains in the circular and square plates which finitude structures are not appropriate for applications, due to the circular plate is designed to be suitable for the dielectric load of the circular structure and the square plate is designed to static dielectric load, but the pests and grains are flowed through the plate. Thus, the structures of rectangular plate are interested for conducting the research for pests control with gains embedded to influence the most effective applications because plate can expand the area and flow through the plate for the heating.

In this paper, we presented the effect of the distribution and intensity of electric field on the mixture dielectric load in the rectangular electrode. The electric field distributions caused varying the electric power to provide dielectric heating those pests appropriated to radio frequency to heat. The dielectric loads were the grain and pests to analyze the rice and rice weevils as the targets of the main dielectric materials for an analysis of thermal temperatures that most rice weevils and minimal thermal impact on the rice. The distribution and intensity of the dielectric load are analyzed by using the finite difference time domain method. The electrode plate of rectangular applicator had the diameter of 200 and 50 mm in width and length, respectively, and the input port powers used the 1 and 4 ports to analyze and control the distribution and intensity. The details, concept, and construction of were analyzed by using the electric power on electrode plates for dielectric heating applications to exterminating pests presented in the next section.

2. The Concept and Construction of Dielectric Heating

The most effectiveness of applications of dielectric heating with mixture dielectric loads should comprise the structures and patterns for the appropriate heat and provide minimal thermal impact in the near materials. This research presented the structure of dielectric heating for exterminate pests applications shown in the Fig. 1. The diagram configuration of the generated oscillator frequency with 39 MHz, transferred into the high-power amplifier, can control power watts; then transferred to the electrode plate. The electrode plates consisted of two plates: the upper electrode plate is anode for generating an electric field to the mixture dielectric loads, and the other lower electrode plate is cathode.

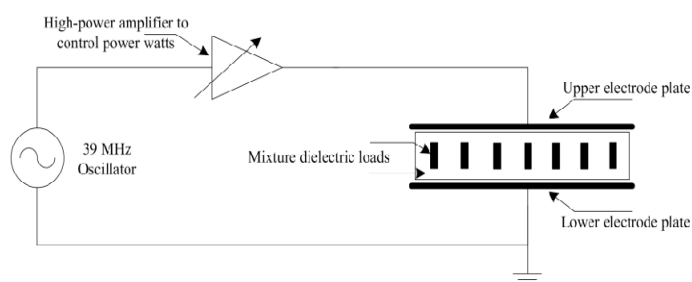


Fig. 1. The diagram of dielectric heating structure for exterminating pests applications.

According to this simulation, the mixture of dielectric loads comprised the grain and pests, the rice and rice weevils as the target dielectric materials. The properties of materials were presented the guidelines, in Table 1. The dielectric loss factor and permeability of dielectric property of rice were 0.4 and 3.4, respectively; whereas, the dielectric loss factor and permeability of rice weevil were 2.24 and 7.2, respectively [34, 35].

The dielectric heating technique of electrode plates materials used for generating the electric field can be divided into two ways as follows. (1) The electric power in electrode plates which was an important key to control the electric field generator for the dielectric load. It can control the voltage and the current flowing on the electrode plates, which are important for the electric fields to be generated. (2) Highly conductive materials could be able to generate electric field intensity which effective to provide heating. In this investigation, highly conductive materials had been selected. The conductivity and relative permeability of the different four materials: copper (Cu), aluminum (Al), steel (Fe) and iron, were illustrated in Table 2 [36-38]. The higher conductivity the copper materials (Cu) the more possibility of the maximum electric field was generated in the study.

The parameters of dielectric heating system were electrode plates composed into a rectangular applicator. This copper material had a diameter, width, length, thickness, and distance of 200, 50, 2, and 10 mm., respectively, as shown in Fig. 2. The simulation results comparing between the electric field distribution and intensity with 1 and 4 input-power ports were shown in Table 3.

The mixture dielectric load materials in the electrode plates consisted of the material properties of rice (grains materials) and rice weevils (pest's materials). The material properties of rice were set as wide as the gap between the electrode plates and the rice weevils were located in plastic tube with diameter and height of 4.8 and 10 mm, respectively, the location of 45 tubes were denoted in Fig. 3 and concluded in Table 4. The sizes of the rice weevils material had the width, length, and height of 1, 4.8, and 1 mm., respectively, it can be located with the plastic tube as illustrated in Fig. 4. The plastic tube was the polypropylene polymers (PP) that excellent electrical insulator properties.

Table 1
The properties of mixture dielectric loads materials are the rice and rice weevil at the frequency resonance of 39 MHz [34, 35],[39]

Materials	Dielectric loss factor	Permeability
Rice	0.4	3.4
Rice weevil	2.24	7.2

Table 2
The properties of electrode plate's materials are the copper, aluminum, steel and iron to analyze the electric field distributions.

Materials	Conductivity (S/m)	Relative permeability
Copper (Cu)	59.6×10^6	1
Aluminum (Al)	35.0×10^6	1
Steel (Fe)	1.45×10^6	4000
Iron	10.0×10^6	200000

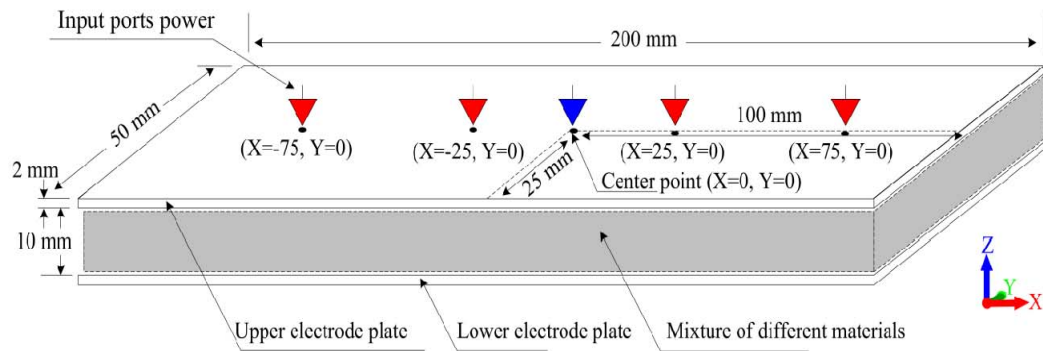


Fig. 2. The structural positions of excitation source in 1-port and 4-ports on the electrode plates to analyze of thermal temperature and electric field distribution.

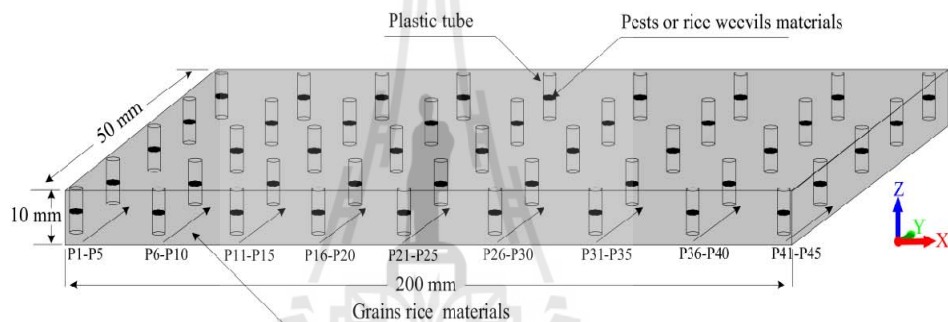


Fig. 3. The structural positions of the grains and the pests for analyzing the mortality rate of rice weevils, thermal temperature and electric field distribution.

Table 3
The appropriate position of excitation sources in 1-port and 4-ports on the rectangular electrode plates

Number of feed	Port 1 (X,Y)	Port 2 (X,Y)	Port 3 (X,Y)	Port 4 (X,Y)
1	0,0	-	-	-
4	-75,0	-25,0	25,0	75,0

Table 4
The position of plastic tube setting for analyze of mortality rate of rice weevils and electric field distribution.

Number of point	Center of position (X,Y)	Number of point	Center of position (X,Y)	Number of point	Center of position (X,Y)
P1	-99,-24	P16	-25,-24	P31	50,-24
P2	-99,-12.5	P17	-25,-12.5	P32	50,-12.5
P3	-99,0	P18	-25,0	P33	50,0
P4	-99,12.5	P19	-25,12.5	P34	50,12.5
P5	-99,24	P20	-25,24	P35	50,24
P6	-75,-24	P21	0,-24	P36	75,-24
P7	-75,-12.5	P22	0,-12.5	P37	75,-12.5
P8	-75,0	P23	0,0	P38	75,0
P9	-75,12.5	P24	0,12.5	P39	75,12.5
P10	-75,24	P25	0,24	P40	75,24
P11	-50,-24	P26	25,-24	P41	99,-24
P12	-50,-12.5	P27	25,-12.5	P42	99,-12.5
P13	-50,0	P28	25,0	P43	99,0
P14	-50,12.5	P29	25,12.5	P44	99,12.5
P15	-50,24	P30	25,24	P45	99,24

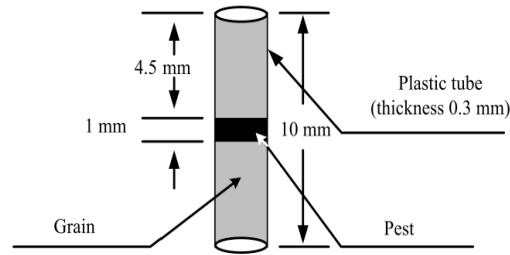


Fig. 4. The structure of plastic tube and the position of rice weevil setting to analysis.

3. Temperature Analysis of Dielectric Heating

The material property known as the loss factor ϵ'' is the ability of the dielectric material to convert the applied electric field into heat. The higher loss factor was the dielectric material, which was easier to be affected by dielectric heating; the loss factor of material was the greater than 0.02. This was generally considered to be dielectric heating. [40]. However, sometimes the thermal temperature of the material heated can increase the loss factor of some materials. The permittivity denoted by the symbol ϵ is the ability of the dielectric material to be polarized. Dividing the permittivity of free space $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ F/m resulted on the relative permittivity of dielectric constancy ϵ' can be calculated by equations 1.

$$\epsilon' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

The permittivity of a material could be expressed as a complex quantity, the real part was associated with the capability of the material for storing energy, and the imaginary part was associated with the dissipation of electric energy in the material by conversion of electric energy to heat. The complex permittivity is shown in equations 2, where j represents the complex operator, as $\sqrt{-1}$.

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2)$$

For polarized materials, the friction between molecules is generated from the reaction toward the electric field applied and yields increased in material temperature. However, the delay between the penetration of the electric field and the material of heat that is called the loss angle δ . The electrical conductivity associated with the dielectric loss in the material $\sigma = \omega \epsilon_0 \epsilon''$ in S/m, where ω is the angular frequency in $2\pi f$. The loss angle was expressed as a component of the loss factor as shown equations 3. The loss tangent and the dielectric constant were varied with the frequency applied and the temperature of the material.

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (3)$$

The power that the material absorbed was the value of heat generated through the material as represented in equations 4. Where E is the rms of electric field strength on the material in V/m. The power density P in W/m^3 , σ is conductivity in $1\Omega m$, f is frequency in Hz, ϵ_0 is permittivity of free space in F/m and ϵ'' is loss factor of material.

$$P = E^2 \sigma = 2\pi f E^2 \epsilon_0 \epsilon'' \quad (4)$$

The changing rate of the temperature increased, $\Delta T / \Delta t$ in $^{\circ}C/s$, in the dielectric material caused by the conversion of energy from the electric field to heat in the material by equations 5. Where, c is specified heat of the material (kJ/kg $^{\circ}C$) and ρ its density of the material in kg/m^3 .

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{\rho c} \quad (5)$$

The penetration of skin depth was the depth that the energies had decayed to 0.368 (1/e) of its maximum value and might be varied, depending on the loss factor and the frequency of used. Usually, the higher the loss factor as a result to the lower penetration of skin depth and the wavelength to increase as a result to the penetration of skin depth increased. The relationship between wavelength and penetration depth is expressed as equations 6, where d_p is penetration of skin depth in cm, and c is speed of light (3×10^8).

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[\sqrt{1 + (\epsilon''/\epsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (6)$$

The dielectric heating was the high efficiency- heating technique, using the alteration principle of noting electric field between anode and cathode of capacitor plates. The heating material was placed between anode and cathode of electric field while the molecular of dielectric material was continually reversing the pole at the resonance frequency for the reversed direction of the pole. Because of the fiction of molecular movement, the dielectric material was rapidly heated. The structure of the capacitor of parallel plate was as illustrated in Fig. 5.

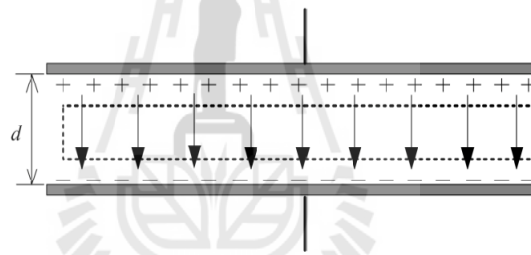


Fig. 5. The structure of the electrode plates comprised anode and cathode, as considering the parallel capacitance for dielectric heating.

The capacitance of plates can be calculated as in equations 7, where A is plate area, d is distance between the plates and ϵ is permittivity of material. The electric field between two large parallel plates is given by equations 8, where σ conductivity of dielectric material and V is voltage difference between the two plates.

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (7)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d} \quad (8)$$

Dielectric heating analysis applied in the mixture dielectric load to exterminate the pest's applications needed for the parameter in Equations 4 and 5, can generate the effective heating for dielectric load. In Equation 5, the power absorbed could be obtained in the dielectric load when T , t , and ρ are temperature, time, and characteristic load, respectively. In this paper, the rice weevils and the rice are the dielectric load of the mixture dielectric material in the electrode plates to be eliminated by dielectric heating techniques. According to Robinson's research, the rice weevils are clearly eliminated when the inside temperature absorbed is estimated to 60 Celsius degrees, Moreover it also represented the specification of rice weevil

Santalunai, et al., Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications

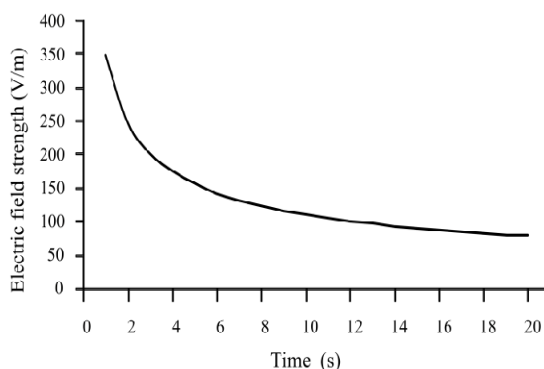


Fig. 6. The result of the electric field strength and period times to eliminate the rice weevils calculated.

with the width, the length, and the height of about 1, 3.1-4.8, and 1 mm, respectively [41]. In addition, Wang represented that the individual specified heat and densities of the insects were 3.450 kJ/kg°C and 1000 kg/m³, respectively [42]. Therefore, the power absorption of rice weevils can be calculated as in Equation 5, when the initial temperature is 24 degree Celsius and increased to maximum temperature of 60 degree Celsius, thus the Temperature variations ΔT are 36 Degree Celsius and the eliminating times of rice weevils Δt between 1 to 20 seconds are used for analyzers. The power absorption from the calculation is the parameter to calculate electric field strength of the dielectric heating as shown in Equation 4. The result calculated by Equation 4 and 5, showed that the electric field strength and period times to eliminate the rice weevils as illustrated in Figure 6, were the higher rate of electric field strength whereas the mortality rates of rice weevils were much faster than eliminate time.

In addition, the analysis dielectric heating of the thermal temperature impact in cereal, the rice as the targets dielectric materials for analyze of thermal temperatures. The researcher by Wang represents the individual specified heat and densities of the cereal are the specified heat is 2.510 kJ/kg°C and the density is 900 kg/m³ [42]. In the seems that, the power absorption and electric field strength was calculated by Equation 4 and 5, when the rice had the width, length, and height are 2-3, 5-12, and 2-3 mm, respectively. These were the dimensions selected to be calculated and the thermal temperature impact results of rice could be obtained.

4. The Simulation results

To study the heating efficiency in dielectric load for exterminating the pest's applications, the electric field distributions and intensity in electrode plates are considered by using the finite difference time domain method. The simulations of electric field distributions and excitation source in anode plate are divided into two cases, which are 1-port and 4-ports to compare the distributions efficiency. The parameters setup to simulation, as shown in Section 2, are specification of the electric powers which are varied from 50 watt until the rice weevils reaching 100% mortality rates of rice weevils of eliminated times ranging between 1 sec to 20 sec. The results of the simulations illustrated in Figs 7 and 8 demonstrated the electric field distributions and electric flux density on the mixture dielectric load in the electrode plates of excitation sourced in 1-port and 4-ports, respectively. As showing that the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis was 5 mm, (It's the habitat of rice weevils) and it used the eliminated time of 10 sec as referred to Fig. 6. The eliminated time of 10 sec is the electric field strength at 110.8 V/m. The results of excitation source in 1-port was generated at the center of anode plate, the power watt at 0.960 kW and excitation source in 4-ports had the 0.530 kW of power watt that could be able to eliminate the rice weevils with the increase of mortality rate up to 100%. The radiation of electric field surrounded the dielectric load, closed to the excitation source then the electric flux density was directed to the rice weevils than the rice.

Santalunai, et al., Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications

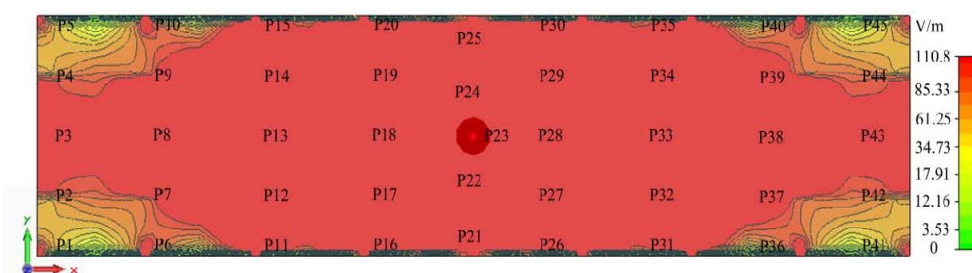


Fig. 7. Electric field distribution on dielectric load for excitation source in 1-port and the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis equal to 5 mm.

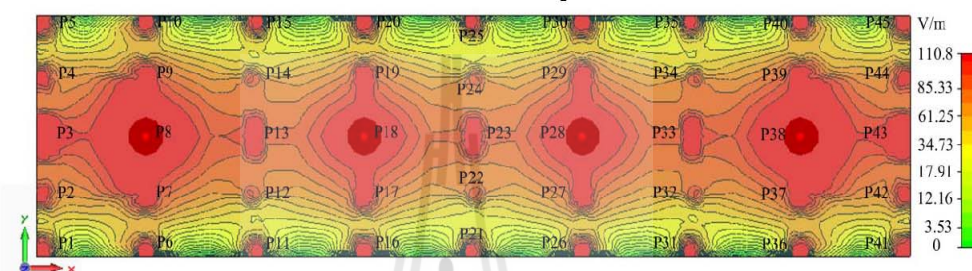


Fig. 8. Electric field distribution on dielectric load for excitation source in 1-port and the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis equal to 5 mm.

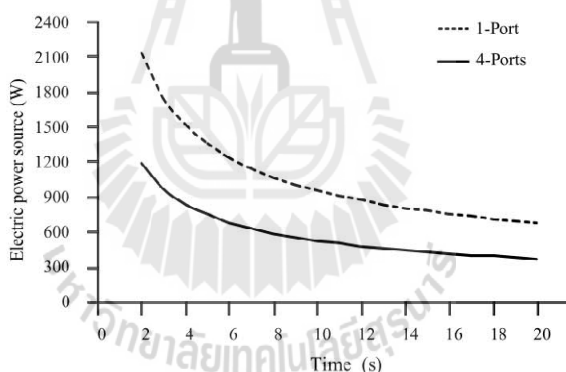


Fig. 9. The simulation of electric power source for the heating to period of time that the rice weevils are eliminated 100% of excitation source in 1-port and 4 ports.

The excitation power watts and period times of the simulation were generated by excitation source in 1-port and 4-ports to eliminate the rice weevils with up to 100% of mortality rate illustrated in Fig. 9. This suggested that the excitation source of 4-ports can be able to save more energies than the excitation source of 1-port. The result of the excitation power watts and mortality rate in eliminating the rice weevils during 5, 10, 15 and 20 sec of excitation source in 1-port and 4-ports was illustrated in Figs 10 and 11, respectively. It was showing that the higher power watts, mortality rates of rice weevils which were much faster than eliminate time, such as, the percentage of mortality at eliminated time of 10 sec illustrated in Fig. 12, the input power watt was 0.300 kW, the mortality of rice weevils was approximately 28% and 53% with 1-port and 4-ports, respectively. Moreover, the input power watt increased to 0.530 kW, the mortality of rice weevils was approximately 48% and 100% with 1-port and 4-ports, respectively. It seemed that the excitation source in 1-port used more power than the excitation source in 4-ports, thus the excitation source in 4-ports was appropriate to the applications for the dielectric heating to exterminating pests since it can save more energies and cover the active area of heating.

Samudhuni, et al., Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications

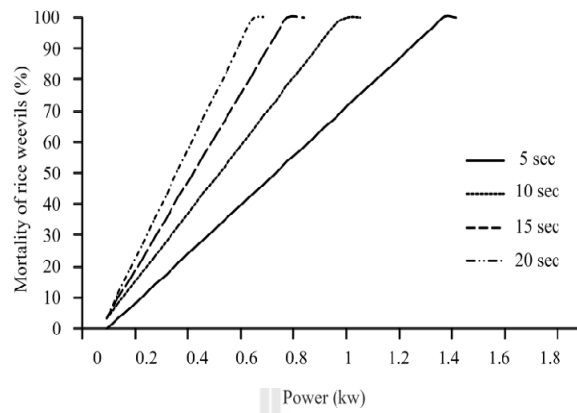


Fig. 10. The simulation results of the excitation source in 1-port power to comparative mortality of rice weevil of 5, 10, 15 and 20 sec with varying electrical power source.

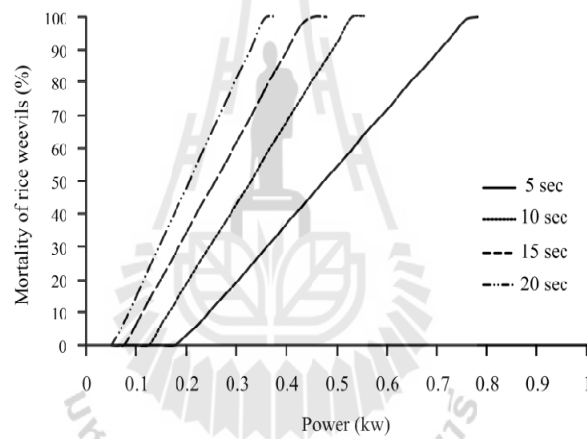


Fig. 11. The simulation results of the excitation source in 4-ports to comparative mortality of rice weevil of 5, 10, 15 and 20 sec with varying electrical power source.

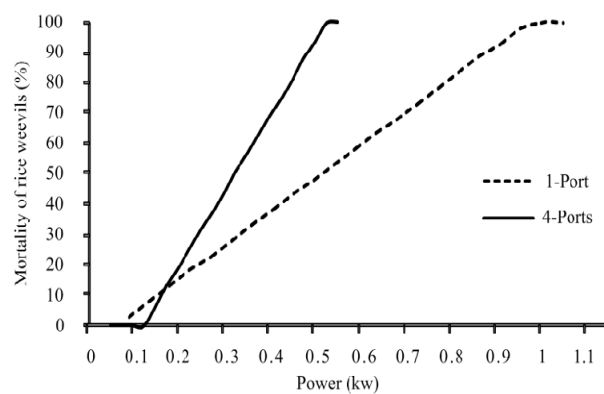


Fig. 12. The simulation results of the excitation source in 1-port and 4-ports to comparative mortality of rice weevil of 10 sec with varying electrical power source.

Santahunci, et al., Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plates for Exterminating Pests Applications

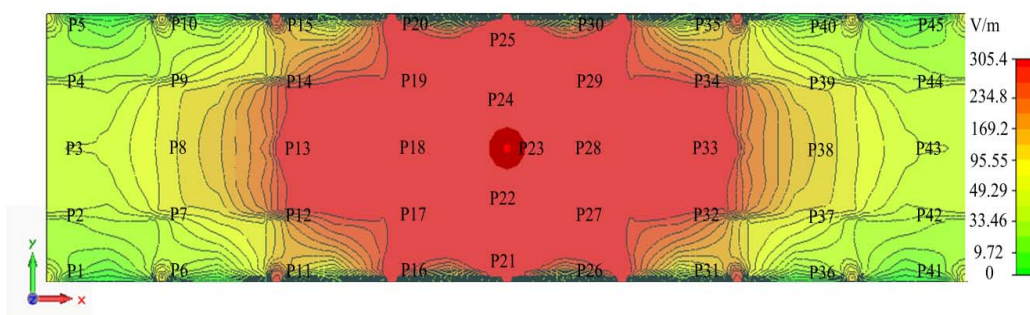


Fig. 13. Electric field distribution on dielectric load for excitation source in 1-port and the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis equal to 5.6 mm,

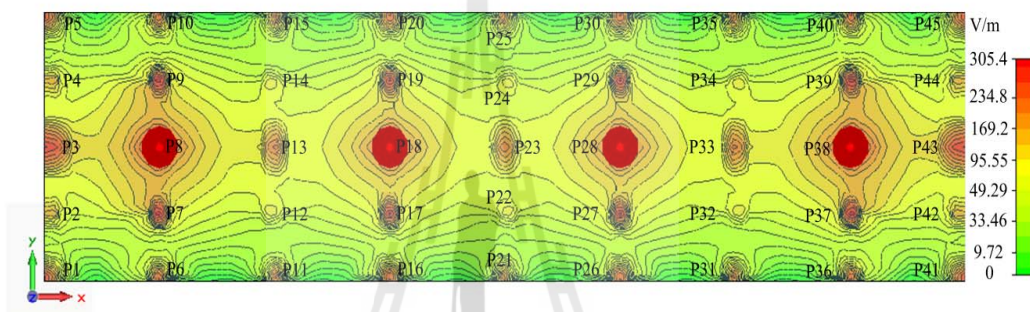


Fig. 14. Electric field distribution on dielectric load for excitation source in 4-port and the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis equal to 5.6 mm,

To analyze the thermal temperature of rice, Figs 13 and 14 demonstrated the electric field distributions and electric flux density of excitation source in 1-port and 4-ports, respectively. As showing that the cross section of mixture dielectric loads at Z-axis was 5.6 mm, (It's the habitats near of the rice weevils) and elimination power watt was about 0.530 kW, the rice weevil was absolutely 100% mortal with eliminated time at 10 sec. The maximum electric field distribution of excitation source in 4-ports, the dielectric load maximum of electric flux density was 305.4 V/m then the compression of the excitation source in 1-port as well as the electric flux density of rice became approximately 50% lower than in dielectric load. The increasing of electric flux density was affected by the thermal temperature of dielectric load was damaged. The results of Figs 15 and 16 represented the excitation source in 1-port and 4-ports when comparing between temperatures of rice at the differently eliminated time at 5, 10, 15 and 20 sec with varying electric power watts. When the power watts increased higher, the eliminated time to increase temperature of rice was higher as well. However, the excitation source in 1-port had the highest thermal temperature. The compression of elimination time affected on increasing the temperature of rice at 10 sec as illustrated in Fig. 17. According to the figure, the input power watt was 0.300 kW, the temperature of rice was approximately 29 degree Celsius and 25.39 degree Celsius. At the same time, the input power watt of the excitation source in 1-port and 4-ports increased to 0.530 kW, the temperatures of rice was approximately 39 degree Celsius and 28 degree Celsius, respectively. However, when replacing the electric flux density as mentioned in Eq.4, the heating of power density in W/m^3 obtained and replaced the power density into the last term of eq.5, then the heating temperature unit per time was obtained in degree Celsius. For example, at 0.300 kW the maximum value of electric flux and density of rice was 263.12 V/m; in order to generate the power density to be $60.08 W/m^3$, the temperature from rice needed to increase up to 29 degree Celsius.

Santalunai, et al., Effect of Electric field on Dielectric Loads by Using the Electrode Plaes for Exterminating Pests Applications

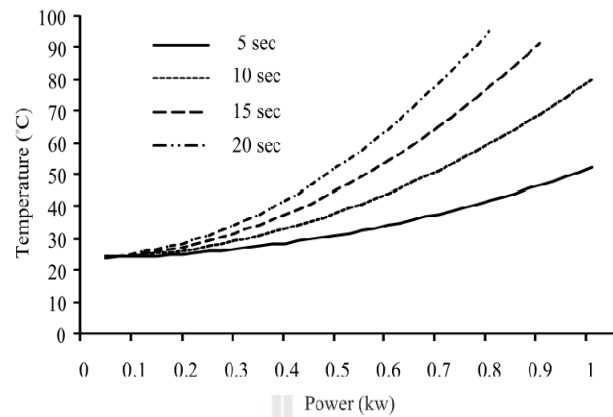


Fig. 15. The maximum temperature of excitation source in 1-port to comparative rice temperature of 5, 10, 15, and 20 sec with varying electrical power source.

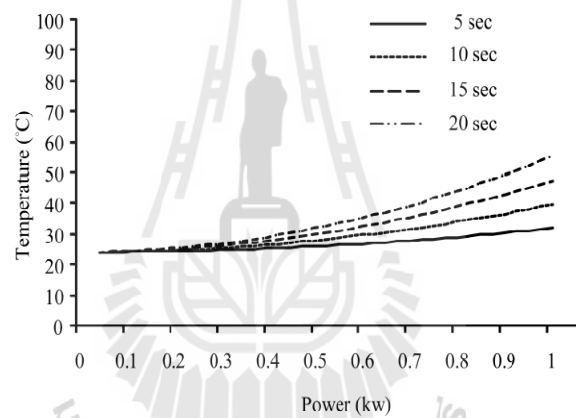


Fig. 16. The maximum temperature of excitation source in 4-ports to comparative rice temperature of 5, 10, 15, and 20 sec with varying electrical power source.

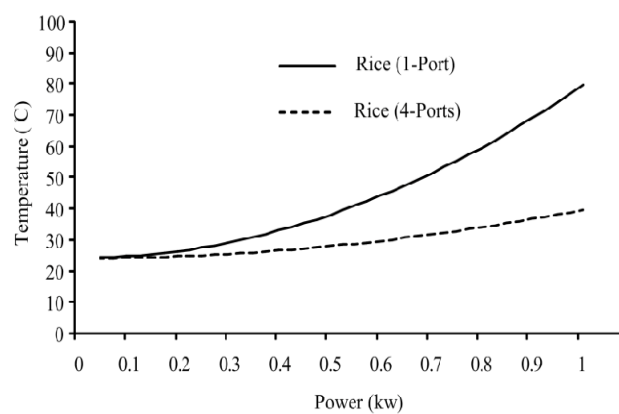


Fig. 17. The maximum temperature of excitation sources in 1-port and 4-ports to comparative rice temperature of 10 sec with varying electrical power source.

As results of the dielectric heating, the effect of electric field distribution and intensity in the mixture dielectric loads was used for the electrode plates to create the electric field and transfer energy conversion to the power absorbed in the dielectric load. The rectangular plates can increase the area and control flowing rate through of pasts and grains in the plates to be heated suitably for agricultural industry applications. Furthermore, the symmetric of excitation source technique is suitable to produce the high efficiency of these applications. The higher of power watts and the eliminated time cause the higher temperature of dielectric load. The calculation and simulation results of the experiment and the measurement of the dielectric heating are presented in the next section.

5. The Heating Experiment and Measurement Results

To verify the calculation and simulation results of the dielectric heating, the system was constructed and tested, as illustrated in Fig. 1. The components and parameters of dielectric heating system consisted of four parts which were excitation source, power amplifier, electrode plates, and dielectric load. The excitation sources were 1-port and 4-port inputs and resonant frequency of 39 MHz was generated. The power watts varying from 50 to 1000 watts were controlled by the high-power amplifier. In addition, the series LC resonance circuit, important to analyze the system efficiency, consisted of conductor (C), inductor (L), and resonant frequency. The conductor was composed with two electrode plates and the gap between the plates was filled up with the dielectric loads of rice and rice weevils. The parameters of electrode plates and dielectric load, illustrated in Fig. 2, could be designs and calculated as in Equation 7. The calculation result found that the capacitor of electrode plates and dielectric loads were 30.10 pF and the inductor for matching had a value 553.27 nH as the resonance circuit was tested for setting up the dielectric heating. The construction of dielectric heating system was illustrated in Fig. 18 and the arrangement of dielectric load was illustrated in Fig. 19 (a). The rice weevils were placed at the center of plastic tube with diameter of 4.8 mm and array of 5×9 points to be set and placed between two electrode plates. The dielectric material of rice was dispersed around the plastic tube, as illustrated in Fig. 19 (b). The result of thermal temperature distribution was observed for the dielectric load with period of heating time. The varied power of excitation sources investigated with a thermograph (FLIR SYSTEMS Model T360).

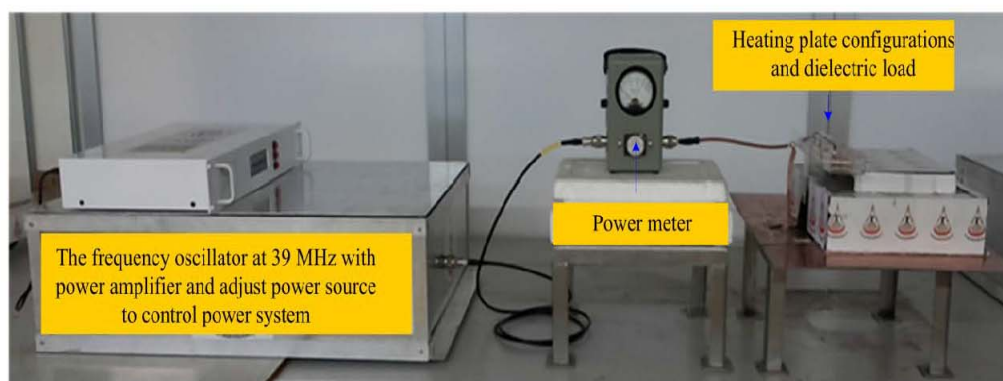


Fig. 18. Constructions of dielectric heating system to verify the numerical and simulation results, in the experiment of proposed system consists of the frequency oscillator at 39 MHz with high-power amplifier to adjust and control power watts, power meter, electrode plates, and the mixture dielectric load.



Fig. 19. Constructions of dielectric load configurations, (a) the rice weevils are placed in the center of plastic tube with diameter of 4.8 mm and arrayed of 5×9 points (b) The dielectric material of rice is dispersed around the plastic tube.

The experimental results, the mortality of rice weevils affected by excitation sources: 1-port and 4-port inputs, within the heating time of 10 sec, and the electric power watts variably adjusted to control the heat was illustrated in Fig. 20. The higher power watts increased were the higher mortality rates of rice weevils increased as well. For example, if the excitation sources of 1-port case power watt were 0.560 kW, the 50% mortality rates of power watt increased to 960 kW then the mortality rate became 100%. However, the excitation sources of 4-port case with the power watt of 0.560 kW had 100% of mortality rates; this suggested that the excitation source of 4-port can save more energy than the excitation source of 1-port. The compression the temperature of rice in Fig. 21, it was found that the higher power watts the higher the temperature increased as well. For instance, the input power watt was 0.300 kW, the temperature of rice was approximately 25.2 degree Celsius and 24.9 degree Celsius for excitation source in 1-port and 4-port powers, respectively, and the input power watt increased to 0.560 kW, the temperature of rice would be approximately 42.1 degree Celsius and 30.1 degree Celsius, respectively.

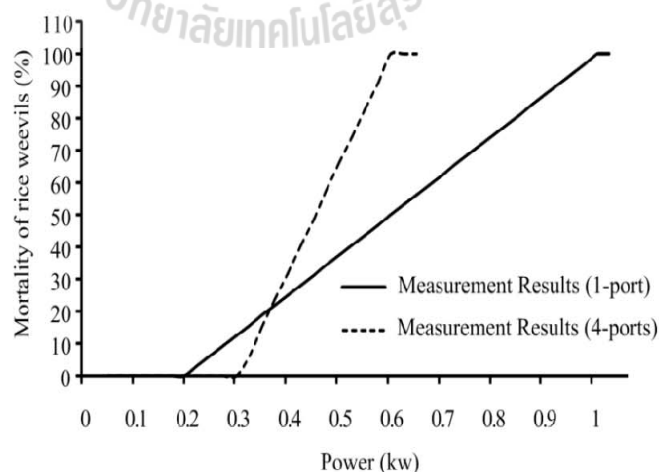


Fig. 20. The experimental and measurement results of the excitation sources are 1-port and 4-ports to comparative mortality rate of rice weevil by heated time of 10 sec with varied electric power watt.

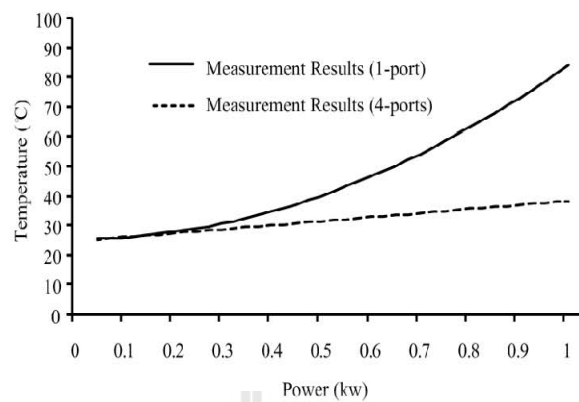


Fig. 21. The experimental and measurement results of the excitation sources are 1-port and 4-ports to comparative maximum temperature of rice by heated time of 10 sec with varied electric power watt.

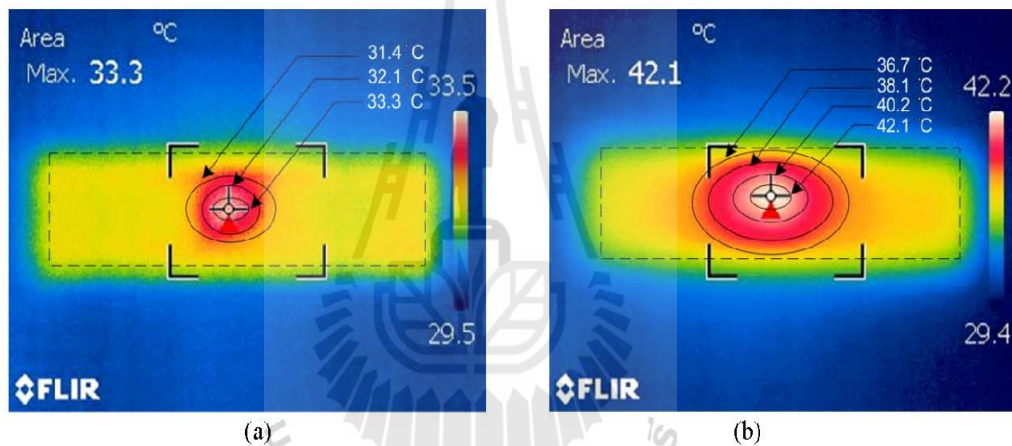


Fig. 22. Thermal temperature distribution by the thermograph on dielectric load by excitation source is 1-port and electric power watt is 0.560 kW when the heated time of (a) 5 sec and (b) 10 sec.

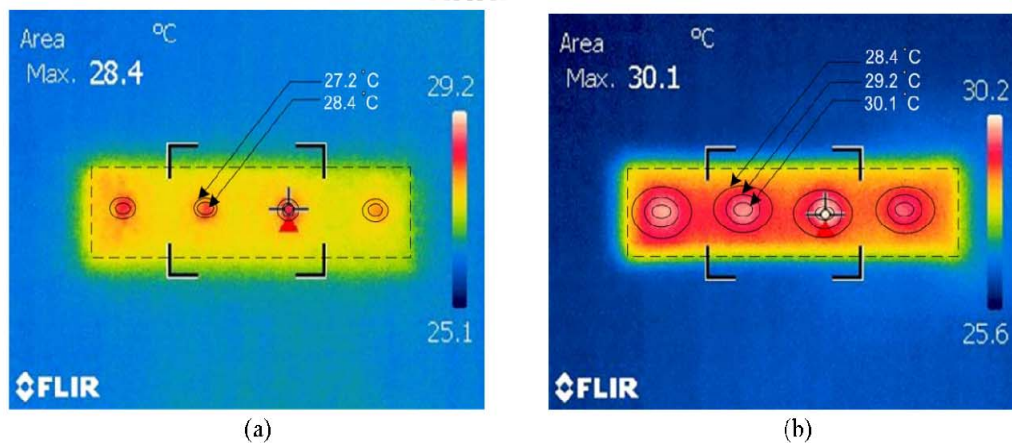


Fig. 23. Thermal temperature distribution by the thermograph on dielectric load by excitation sources is 4-ports and electric power watt is 0.560 kW when the heated time of (a) 5 sec and (b) 10 sec

In order to verify the effectiveness of the dielectric heating and the eliminated time, incensement was investigated to find out an effect on increasing the temperature. The results of thermal temperature distributed by the thermograph illustrated in Figures 22 and 23, were used for the excitation sources in 1-port and 4-port inputs, respectively when the electric power watt was 0.560 kW. The temperature of rice at eliminated time at 5 sec as illustrated in Fig. 22 (a) and Fig. 23 (a) that the maximum temperatures of rice were approximately 33.3 Celsius degrees and 28.4 Celsius degrees. Moreover, when the eliminated time estimated at 10 sec as illustrated in Fig. 22 (b) and Fig. 23 (b) the temperatures of rice were approximately 42.1 degree Celsius and 30.1 degree Celsius and temperature distribution covered the area. All above results can be confirmed that the dielectric heating for exterminating pests, using the rectangular plate to generate the electric field and flux with symmetrical technique.

6. Conclusions

In this paper, the effect of the distribution and intensity of electric field on the mixture dielectric loads for dielectric heating was presented. The electric field distributions caused the electric power varied to provide those pests with appropriate dielectric heating in cereal by radio frequency. Moreover, the Theoretical study results regarding the application of finite difference time domain method and experimental demonstration of the dielectric heating efficiency in exterminating pests and providing appropriate temperatures for grains without losing quality can confirm the effectiveness of the dielectric heating for exterminating pests by using the rectangular plate to generate the electric field and flux with symmetrical technique. The advantage of the method is that it can be utilized as the dielectric heating applications for exterminating pests and controlling the temperature of grains in the future.

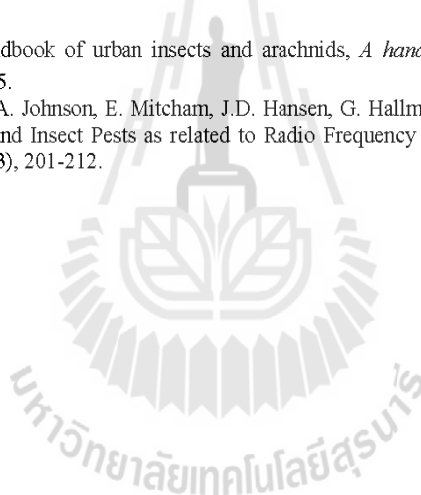
Acknowledgments

References

- [1] Y.T. Sung, S.-J. Hwang, H.-H. Lee, and D.-Y. Huang, Study on Induction Heating Coil for Uniform Mold Cavity Surface Heating, *Advances in Mechanical Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2014.
- [2] B. Mangesh, and T. Sunil, A 25kW, 25kHz Induction Heating Power Supply for MOVPE System Using L-LC Resonant Inverter, *Advances in Power Electronics*, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [3] H. Sarnago, O. Lucia, A. Mediano, and JM. Burdio, Class-D/DE Dual – Mode – Operation Resonant Converter for Improved-Efficiency Domestic Induction Heating System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **28** (2013), 1274-1285.
- [4] M. Lichan, K.W.E. Cheng, and W.C. Ka, Systematic Approach to High-Power and Energy-Efficient Industrial Induction Cooker System: Circuit Design, Control Strategy, and Prototype Evaluation, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **26** (2011), 3754-3765.
- [5] N.A. Ahmed, High-Frequency Soft-Switching AC Conversion Circuit With Dual-Mode PWM/PDM Control Strategy for High-Power IH Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **58** (2011), 1440-1448.
- [6] L.C. Meng, K.W.E. Cheng, and W.M. Wang, Thermal Impacts of Electromagnetic Proximity Effects in Induction Cooking System With Distributed Planar Multicoils, *IEEE Transactions on Magnetics*, **47** (2011), 3212-3215.
- [7] H. Kurose, D. Miyagi, N. Takahashi, N. Uchida, and K. Kawanaka, 3-D Eddy Current Analysis of Induction Heating Apparatus Considering Heat Emission, Heat Conduction, and Temperature Dependence of Magnetic

- Characteristics, *IEEE Transactions on Magnetics*, **45** (2009), 1847-1850.
- [8] J. Kyncl, J. Doubek, and L. Musálek, Modeling of Dielectric Heating within Lyophilization Process," *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2014.
- [9] K. Myungsik, and K. Kwangsoo, Development of a compact cylindrical reaction cavity for a microwave dielectric heating system, *Review of Scientific Instruments*, **83** (2012), 1.
- [10] H. Oka, S. Uchida, N. Sekino, Y. Namizaki, K. Kubota, H. Osada, F.P. Dawson, and J.D. Lavers, Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized Powder-Type Magnetic Wood, *IEEE Transactions on Magnetics*, **47** (2011), 3078-3070.
- [11] I. Das, G. Kumar, and N.G. Shah, Microwave Heating as an Alternative Quarantine Method for Disinfestation of Stored Food Grains, *International Journal of Food Science*, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [12] A. Mukhametshina, and E. Martynova, Electromagnetic Heating of Heavy Oil and Bitumen: A Review of Experimental Studies and Field Applications, *Journal of Petroleum Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [13] M. Granada, and W. Ferney, Experimental prototype for endogenous drying wood by radio frequency (RF), *Alternative Energies and Energy Quality (SIFAE)*, International Symposium on IEEE, (2012), 1-8.
- [14] A. Bayrashev, and B. Ziaie, Silicon wafer bonding with an insulator interlayer using RF dielectric heating, *Micro Electro Mechanical Systems*, The Fifteenth, International Conference on IEEE, (2002), 419-422.
- [15] E. Mitcham, Quarantine issues in 2000, *Acta Horticulture*, **553** (2001), 451-455.
- [16] S. Rajendran and N. Muralidharan, Performance of phosphine in fumigation of bagged paddy rice in indoor and outdoor stores, *Journal of Stored Products Research*, **37** (2001), 351-358.
- [17] C.H. Bell and S.M. Wilson, Phosphine tolerance and resistance in trogoderma granarium everts (Coleoptera: Dermestidae), *Journal of stored products research*, **31** (1995), 199-205.
- [18] M. Gao, J. Tang, Y. Wang, J. Powers, and S. Wang, Almond quality as influenced by radio frequency heat treatments for disinfestation, *Postharvest Biology and Technology*, **58** (2010), 225-231.
- [19] S. Wang, J. Tang, and R. P. Cavaleri, Modeling fruit internal heating rates for hot air and hot water treatments, *Postharvest Biology and Technology*, **22** (2001), 257-270.
- [20] S. O. Nelson and J. A. Payne, RF dielectric heating for pecan weevil control, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **31** (1982), 456-458.
- [21] D. Andreuccetti, M. Bini, A. Ignesti, A. Gambetta, and R. Olmi, Microwave destruction of woodworms, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, **29** (1994), 153-160.
- [22] S. O. Nelson, Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control, *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, **39** (1996), 1475-1484.
- [23] E. J. Mitcham, R. H. Veltman, X. Feng, Application of radio frequency treatments to control insects in in-shell walnuts, *Postharvest Biology and Technology*, **33** (2004), 93-100.
- [24] S. Wang, G. Tiwari, S. Jiao, J. A. Johnson, and J. Tang, Developing postharvest disinfestations treatments for legumes using radio frequency energy, *Biosystems Engineering*, **105** (2010), 341-349.
- [25] S. O. Nelson, Insect-control Studies with Microwaves and Other Radio-frequency Energy, *Bul. Entomol. Soc. Amer.*, **19** (1973), 157-163.
- [26] S. O. Nelson, and L. E. Stetson, Comparative Effectiveness of 39 and 2450-MHz Electric Fields for Control of Rice Weevils in Wheat, *J. Econ. Entomol.*, **67** (1974), 592-595.
- [27] S.Wang, J. Tang, J. A. Johnson, Process protocols based on radio frequency energy to control field and storage pests in inshell walnuts, *Postharvest Biology and Technology*, **26** (2002), 265-273.
- [28] F. Marra, L. Zhang, and J. G. Lyng, Radio frequency treatment of foods: review of recent advances, *Journal of Food Engineering*, **91** (2009), 497-508.
- [29] S. Wang, J. Tang, J. A. Johnson, and J. D. Hansen, Thermal death kinetics of fifth-in star Amyeloid transitella (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae), *Journal of Stored Products Research*, **38** (2002), 427-440.
- [30] S. Wang, J. N. Ikediala, J. Tang, and J. D. Hansen, Thermal death kinetics and heating rate effects for fifth-instar Cydiapomonella (L.) (Lepidoptera: Tortricidae), *Journal of Stored Products Research*, **38**, (2002), 441-453.
- [31] S. Wang, M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham, and J. Tang, Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. I: Heating uniformity and energy efficiency, *Postharvest Biology and Technology*, **45** (2007), 240-246.
- [32] S. Wang, M. Monzon, J. A. Johnson, E. J. Mitcham, and J. Tang, Industrial-scale radio frequency treatments for insect control in walnuts. II: Insect mortality and product quality," *Postharvest Biology and Technology*,

- 45** (2007), 247–253.
- [33] M. C. Lagunas-Solar, Z. Pan, N. X. Zeng, T. D. Truong, R. Khir, and K. S. P. Amaratunga, Application of radiofrequency power for non-chemical disinfestation of rough rice with full retention of quality attributes, *Applied Engineering in Agriculture*, **23** (2007), 647–654.
- [34] S. O. Nelson, Agricultural applications of dielectric measurements, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, **13** (2006), 688-702.
- [35] S. O. Nelson, Dielectric properties of agricultural products Measurements and Applications, *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, **26** (1991), 845-869.
- [36] L. Hasselgren, and J. Luomi, Geometrical aspects of magnetic shielding at extremely low frequencies, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **37** (1995) 409–420.
- [37] Y. Du, T.C. Cheng, and A.S. Farag, Principles of power frequency magnetic field shielding with flat sheets in a source of long conductors, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **38** (1996), 450–459.
- [38] C. Thongsopa, and T. Thosdeekoraphat, Analysis and Design of Magnetic Shielding System for Breast Cancer Treatment with Hyperthermia Inductive Heating, *International Journal of Antennas and Propagation*, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [39] S. O. Nelson, Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control, *Transactions of the ASAE*, **39** (1996), 1475–1484.
- [40] V. Komarov, Dielectric and Thermal Properties of Materials at Microwave Frequencies, *Handbook*, Artech House, 2012.
- [41] W.H. Robinson, Handbook of urban insects and arachnids, *A handbook of urban entomology*, Cambridge University Press, 2005.
- [42] S. Wang,, J. Tang, J.A. Johnson, E. Mitcham, J.D. Hansen, G. Hallman, S.R. Drake, and Y. Wang, Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystems Engineering*, **85** (2003), 201-212.





AENSI Journals

Australian Journal of Basic and Applied Sciences

ISSN:1991-8178

Journal home page: www.ajbasweb.com



Optimization of Electric Field Distribution on Capacitor Copper Plate by Increasing Input Power Ports for Dielectric Heating Applications

Samran Santalunai, Thanaset Thosdeekoraphat, Chanchai Thongsopa

School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand

ARTICLE INFO

Article history:

Received 2 February 2014

Received in revised form

8 April 2014

Accepted 28 April 2014

Available online 25 May 2014

Keywords:

Dielectric Heating,

Input Power Port,

Capacitor Copper Plate

ABSTRACT

The performance improved of electric field distribution and intensity for dielectric heating has been presented in the paper and the results are discussed. It is a technique challenge in dielectric heating is to control the electric field distribution by increasing input power ports on the capacitor copper plates. The simulation of analysis was divided the input power port into 4 cases, which are one port, two ports, four ports and six ports, respectively. By each case, can be used the input power port at different positions on the plate for provide to the position and number are the most appropriate. The distribution and intensity of electric field on the dielectric load will be analyzed by using the CST EM STUDIO program. We show that the electric field intensity can be distributed over all the entire copper plate by increasing input power ports and the positioning to suitable. In the simulation results, we used the electrical power and resonance frequency are 600 W and 39 MHz, respectively. Results have shown that the distribution and intensity of electric field on the dielectric load will be occurred at the near point of input power ports are the most and decreased when the distance away from the power input port. However, in this paper the input power port of four ports case is an equilibrium position, the electric field intensity is appropriated distribution. Which can be the distribution of electric field is 74% of area comprehensive at intensity of electric field is 26.1 V/m. These results demonstrate that it is possible to achieve higher electric field distribution and intensity for dielectric heating where increases input power ports on the copper plates are used.

© 2014 AENSI Publisher All rights reserved.

To Cite This Article: Samran Santalunai, Thanaset Thosdeekoraphat, Chanchai Thongsopa, Optimization of Electric Field Distribution on Capacitor Copper Plate by Increasing Input Power Ports for Dielectric Heating Applications. *Aust. J. Basic & Appl. Sci.*, 8(7): 58-65, 2014

INTRODUCTION

Nowadays, the phenomenal of heating technology by using electromagnetic field technology is an important in engineering and sciences research. The development of heating technology is classified in various types as induction heating and dielectric heating. The induction heating is heated by magnetic wave as generated by an inductive coil (Sarnago et al, 2013; Lichan et al., 2011; Ahmed et al, 2011; Meng et al, 2011; Kurose et al, 2009). The magnetic field is inducted to the electric current the flows through the model. The most currents are flowed through in skin depth of the model and these currents are generated the heating at the surface of the model. The heating is dependent on amount of induction current and the equivalent impedance, which is flow through the current path. Furthermore, the heat is transferred to the other regions of the model by the heat conduction and the heat convection. Alternatively, the dielectric heating is interested in the heating technology, that a form of thermal energy is directed into the dielectric material with appropriate frequency range. Thus, this technique does not affect for the other materials. The dielectric heating structure uses the frequency spectrum principle, which is applied in the form of an electric field to transfer power into the dielectric material with polar molecule. The resonance of the molecules is occurred in the dielectric material and dielectric heating is quickly and evenly occurred. The dielectric heating is currently being applied in many applications (Oka et al, 2011; Myungsik et al, 2012), which are dehydration industry, fruit pre sarration industry. In addition, the dielectric heating can also be used to organisms or pests in the agricultural sector. Due to the structure of an organism is a liquid or polar molecule, it can induce the radio wave to heating (Granada et al., 2012; Bayrashev et al, 2002). The organisms are embedded and hidden within the product or seeds such as rice insect pests and worms, which affect the export or import consumption significantly. The plate heating technique uses a plate to generate the electromagnetic wave for dielectric medium. A resulting is the material which a dielectric that is heating up. The nature of the electric field is distributed between the plates. In previous papers have been used to from a heating plate, which has the physical description of circular plate and square plate. Because of the characteristic of plate

Corresponding Author: Samran Santalunai, School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand.
E-mail: Santalunai.sja@gmail.com

model and the distribution of electromagnetic wave, is distributed symmetrically and evenly, hence, the feeding of plate is used to only one point. However, the seeds are flowed through the circular and square plate, which are finitude structure that are not appropriate for use. Therefore, this research presents the study and analysis of heating by using the rectangular plate for elimination of insects that are mingled and embedded with seeds. This rectangular plate can be increase the space for heating, which is suitable for agricultural industry. The electric field of distribution and intensity analysis are occurred with the dielectric load, which is a group of insects in the plates. Furthermore, technique to increase the number of the Input Power Port is used for optimization the suitable feeding point. Consider a rectangular plate are made from a copper material with size of 5 x 20 cm, thickness of 0.5 mm, and the properties of rice weevils are used to dielectric material. The analysis is classified into four cases, which are one, two, four and six points, respectively. The feed point of rectangular plate are optimized by using CST EM studio program at 600 watt electrical power, with 39 MHz resonance frequency, which is the frequency response of rice weevil, as a loss factor to most appropriate (Nelson et al, 2006; Nelson et al, 1991). However, it shows that the four ports case is an equilibrium positions, the electric field intensity is appropriated distribution. It is can be to the dielectric heating applications.

Dielectric Heating:

The material property known as the loss factor ϵ'' is the ability of the dielectric material to convert the applied electric field into heat. The higher the loss factor is, the easier dielectric material is to be affected by dielectric heating. The loss factor of material greater than 0.02, is generally considered to dielectric heating. (Komarov et al, 2012). However, sometimes the temperature can increase the loss factor of some materials. The permittivity denoted by the symbol ϵ is the ability of a dielectric material to be polarized. Dividing the permittivity by the permittivity of free space $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ resulted in the relative permittivity in dielectric constant ϵ' can be calculate by Eq.1.

$$\epsilon' = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

The permittivity of a material can be expressed as a complex quantity, the real part of which is associated with the capability of the material for storing energy, and the imaginary part is associated with the dissipation of electric energy in the material by conversion of electric energy to heat. The complex permittivity is shown here where j represents the complex operator $\sqrt{-1}$

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (2)$$

In polarized materials, the friction between molecules is generated in reaction to the electric field applied and yields an increase in temperature of the material. However, the delay between the penetration of the electric field and the production of heat is called by the loss angle δ . The electrical conductivity associated with the dielectric loss in the material $\sigma = \omega \epsilon_0 \epsilon''$ in S/m, where ω is the angular frequency in $2\pi f$. The loss angle can be expressed as a component of the loss factor as

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad (3)$$

The loss tangent and the dielectric constant vary with the frequency applied and the temperature of the material. The power absorbed by the material is the value of heat generated through the material and is represented as

$$P = E^2 \sigma = 2\pi f E^2 \epsilon_0 \epsilon'' \quad (4)$$

Where E represents the rms electric field strength on the material in V/m. The power density, P in W/m^3 , σ is conductivity in $1 \Omega\text{m}$, f is applied frequency in Hz, ϵ_0 is permittivity of free space in F/m and ϵ'' is loss factor. The rate of temperature increase, $\Delta T / \Delta t$ in $^\circ\text{C/s}$, in the dielectric material caused by the conversion of energy from the electric field to heat in the material by Eq. 5. Where, c is specified heat of the material ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}$) and ρ its density of the material in kg/m^3 .

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{\rho c} \quad (5)$$

The penetration depth is defined as the depth at which the power has decayed to 0.368 (1/e) of its maximum value (Wang et al., 2003). It may vary depending on the loss factor and the frequency used. Usually, the higher the loss factor is, the lower the penetration depth will be. As wavelength increases, the penetration depth

increases as well. The relationship between wavelength and penetration depth is expressed as Eq. 6 where, d_p is penetration depth in cm, and c is speed of light (3×10^8).

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[\sqrt{1 + (\epsilon''/\epsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (6)$$

Capacitance of Copper Plate:

For the dielectric heating, it is high efficiency heating technical. It use the principle of alter noting electric field between anode and cathode of capacitor plate. The material heating is placed between anode and cathode of electric field, which the molecular of dielectric material is continually reversed pole at the resonance frequency for the reverse direction of pole. Because of the fiction of molecular movement, the dielectric material is rapidly heat. The structure of the capacitor of parallel plate is show in Fig. 1.

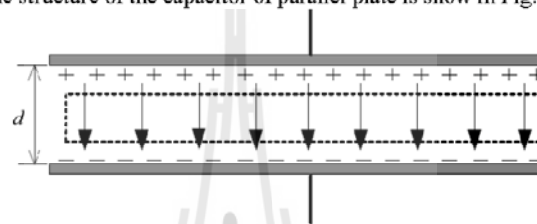


Fig. 1: The structure of the capacitance of copper plate.

The capacitance of plates can be calculated by Eq. 7, where A is plate area, d is distance between plates and ϵ is permittivity of material. The electric field between two large parallel plates is given by Eq.8, where σ is charge density and V is voltage difference between the two plates (Komarov et al, 2012).

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (7)$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d} \quad (8)$$

The Concept and Construction of Input Port Power Feeding System:

In the applications of the dielectric heating for used to most effective and appropriate. We are use technique to increase the number of the input port power for optimization to the feed point suitable. Consider rectangular plate are made from a copper material with size of 5×20 cm, thickness of 0.5 mm, it is the electric field applicator for transfer electric field energy in to the dielectric material and it has distance between plates is 5 mm. The dielectric material is used the properties of rice weevils to simulation and it has the permittivity is 7.2, which it was placed in the middle between the plates and used thickness of 0.5 mm. The center of the plates will be setting to the position of the axis is $X = 0$, $Y = 0$ and $Z = 0$, which in the Z -axis as $Z = 0$ to start at the top of the bottom plate.

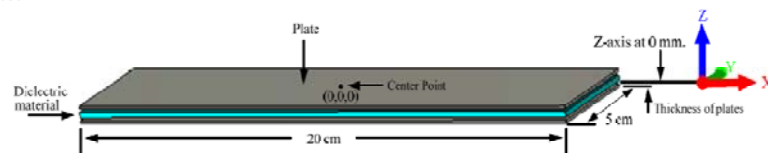


Fig.2: The structure of copper plates for dielectric heating.

The consideration to the dielectric heating for all case can be show in the Fig. 2. The simulation was divided into 4 cases, case I, analysis to input port power for one point can be show in the Fig. 3 (a), case II, analysis to input port power for two points show in the Fig. 3 (b), case III, analysis to input port power for four points show in the Fig. 3 (c) and case IV, analysis to input port power for six points show in the Fig. 3 (d). By each case, can be used the input port power at different positions on the plate for provide to the position and number of input port power are the most appropriated.

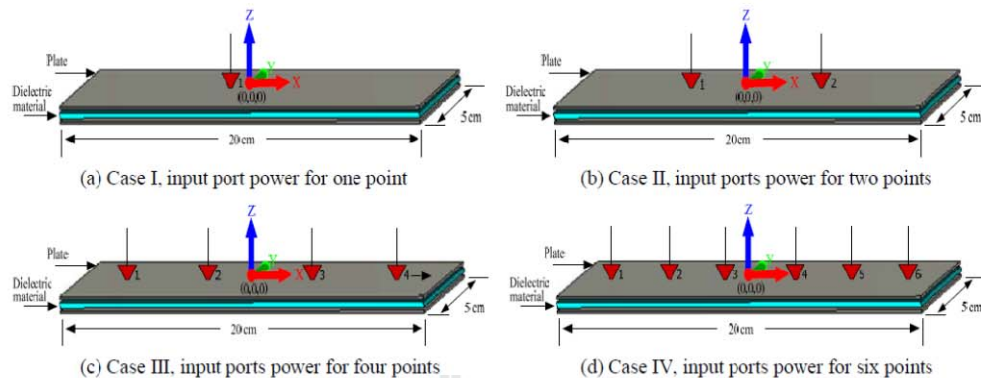


Fig.3: The structure of input ports power on copper plates for electric field analysis.

Simulation results of input ports power for electric field analysis:

This paper simulation by CST MW studio for the analysis of electric field distribution and intensity on the dielectric load in the capacitor copper plates. By each case, the electrical power and resonant frequency are 600 W and 39 MHz, respectively. The parameter setting for the simulation can be used according to “the concept and construction of input ports power feeding system”. In the simulation results, show the distribution and intensity electric field on the dielectric load in the capacitor copper plates of the cross section in Z-axis at 2.5 mm, for comparisons in the each case.

Analysis of case I:

To determine the electric field distribution and intensity that are occurred at the dielectric load, the copper plate is fed with only one port, and the position of feeding is varied on the surface of the plate. Fig. 4 illustrates the electric field distribution on copper plate at various four positions.

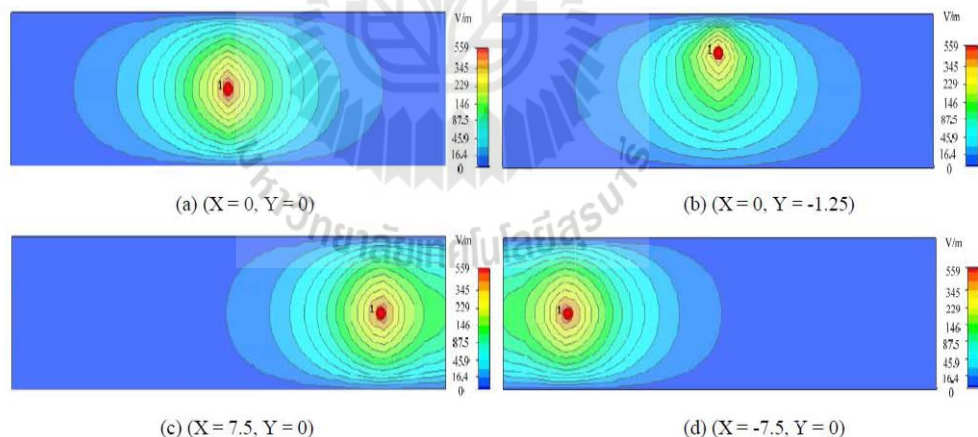


Fig.4: Simulation results of input port power for one port at any positions are the cross section in Z-axis at 2.5 mm.

When the plate is fed at $(X = 0, Y = 0)$ which is the center of plate as shown in Fig. 4 (a). The maximum level of electric field distribution is occurred at the center of plate as 559 V/m. At the same time, the level of electric field is very low at the edge and corner. In addition, the plate is fed at $(X = 0, Y = -1.25)$, which is demonstrated in Fig. 4 (b). The electric field of distribution and density are mostly occurred at top edge, but, the electric field level at the bottom, left, and right edge is low. In the Fig. 4 (c) and Fig. 4 (d) show feeding point at $(X = 7.5, Y = 0)$ and $(X = -7.5, Y = 0)$, respectively. In these cases indicate that the maximum level of electric field distribution is occurred at the right edge (+X) and left edge (-X) for right feeder and left feeder, respectively. For four position is examine simulation, we are also simulate at other positions to find the best position. We found that the optimal position of the feeding is $(X = 0, Y = 0)$, the electric field distribution is propagated on the plate with symmetrical level. Nevertheless, it cannot propagate all of the full area. Apart from this, dabble feeder is presented in the next section for coverage the more area than only one feeder.

Analysis of case II:

In this case, the double input ports power are fed on the plate with input power of 300 watt for the similar input power in case I. Then, the position of feeder is varied for considering the electric field of distribution and density that has effect on the dielectric load. The simulate results show the double feeds in four types different positions, it seem that the electric field level is similar to first case. Furthermore, the electric field distribution on plate is more covered all of surface more than only one feed point. When port 1 and 2 are located at $(X = -5, Y = 0)$ and $(X = 5, Y = 0)$, respectively, the electric field is distributed around their feeds. Nevertheless, the electric field intensity level is reduced to about half value of 1 port and the maximum level is 280 V/m as show in Fig. 5 (a). Then, port 1 and port 2 are located at $(X = -7.5, Y = 0)$ and $(X = 7.5, Y = 0)$, are closed with the both edges, it seem that the maximum electric field intensity level is occurred at the left and right edge. Besides this, the value of electric field has very little value compared to the middle position as show in Fig. 5 (b). Consideration of Fig. 5 (c) concludes that if port 1 and port 2 are located at $(X = -2.5, Y = 0)$ and $(X = 2.5, Y = 0)$, respectively, these position are closed to the middle of plate. Therefore, the maximum level of electric field intensity is occurred at the center of plate. The last positions in double port case are port 1 and port 2 located at $(X = -5, Y = -1.25)$ and $(X = 5, Y = -1.25)$, respectively. In the positions, electric field is symmetric distribution on both sides but it cannot distribute the electric field cover all of the plate. Finally, for the four types is exanimate simulation, we are also simulated at other positions to find the best position. We found that the optimal position of the feeding is $(X = -5, Y = 0)$ and $(X = 5, Y = 0)$, the electric field distribution is propagated on the plate witch symmetrical level. Nevertheless, it cannot propagate all of the full area as well. Apart from this, four feeders are presented in the next section for coverage the more area thorn only double feeder.

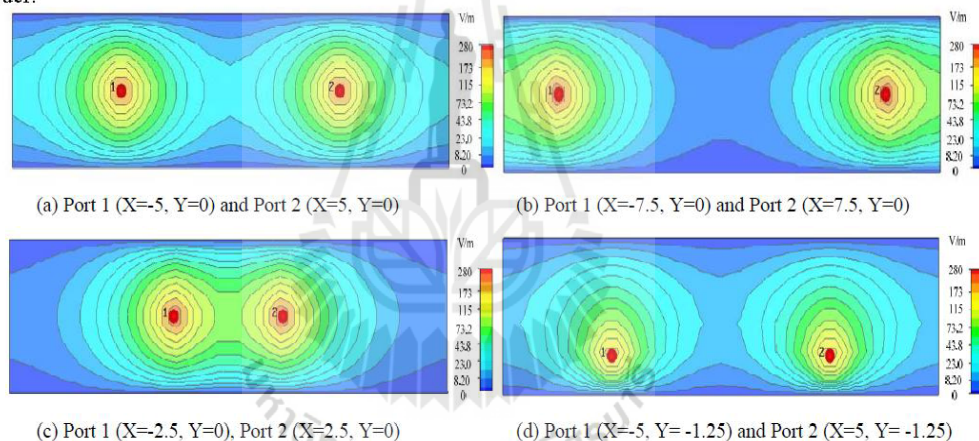


Fig.5: Simulation results of input port power for two ports at any positions are the cross section in Z-axis at 2.5 mm.

Analysis of case III:

To improve the electric field distribution and intensity on the copper plate, the input ports power is used with four ports, the power of each port is 150 watt. Then, the position of feeder is varied to consider the distribution and density of electric field that has effect on the dielectric load. The simulate results show the four feeds point in four types that are different feed positions and this case the electric field level is similar to case I and case II. When the feed point is increase to two ports, the electric field distribution on plate is more covered all of surface. The first case, port 1, 2, 3 and 4 are located on plate at $(X=-7.5, Y=0)$, $(X=-2.5, Y=0)$, $(X=2.5, Y=0)$ and $(X=7.5, Y=0)$ that the gaps between ports is equal length as show in Fig. 6 (a) show the maximum level of electric field is 151 V/m at center of feeder. When port 1, 2, 3 and 4 are located at $(X=-8, Y=0)$, $(X=-4, Y=0)$, $(X=4, Y=0)$ and $(X=8, Y=0)$ as show in Fig. 6 (b), the feed position in Y-axis near at the both ends of plate. So, the electric field at the center of plate is rarely level, which is less than the level at the feed points. When port 1, 2, 3 and 4 are located at $(X=-7.5, Y=-1.25)$, $(X=-2.5, Y=1.25)$, $(X=2.5, Y=-1.25)$ and $(X=7.5, Y=1.25)$ as show in Fig. 6 (c) and located at $(X=-7.5, Y=1.25)$, $(X=-2.5, Y=-1.25)$, $(X=2.5, Y=1.25)$ and $(X=7.5, Y=-1.25)$ as show in Fig. 6 (d) indicated that the feed points are located at +Y and -Y. Therefore, the distribution area will switch direction, unable to spread throughout the plate. Finally, for the four types is exanimate simulation, we are also simulated at other positions to find the best position. We found that the optimal position of the feeding is port 1, 2, 3 and 4 are located on plate at $(X=-7.5, Y=0)$, $(X=-2.5, Y=0)$, $(X=2.5, Y=0)$ and $(X=7.5, Y=0)$, it can distribute the symmetrical electric field on plate.

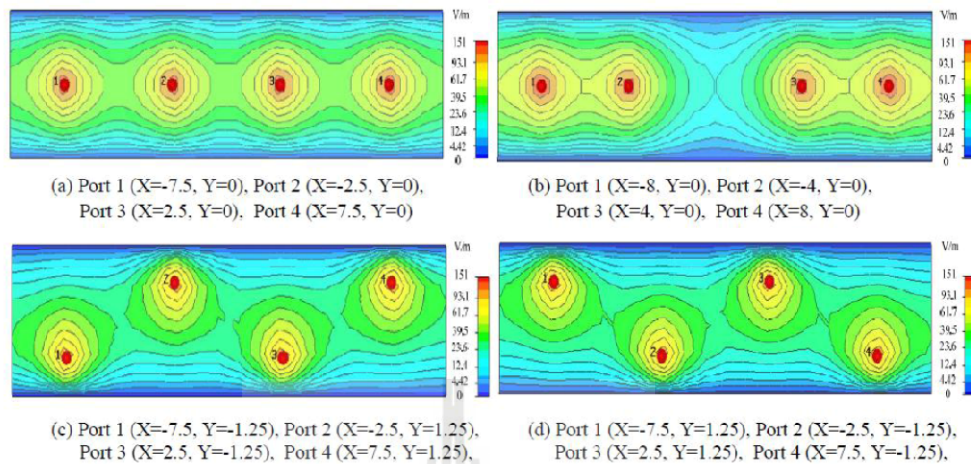


Fig.6: Simulation results of input port power for four ports at any positions are the cross section in Z-axis at 2.5 mm.

Analysis of case IV:

The final case, to improve the electric field distribution and intensity on copper plate, the input ports power is used with six ports, the power of each port is 100 watt. Then, the position of feeder is varied for considering the distribution and density of electric field that has effect on the dielectric load as well. The simulate results show the six feeds in four types different positions, it seem that the electric field level is similar to case I, case II and case III. The first case, port 1, 2, 3,4,5 and 6 are located on plate at (X=-8.35, Y=0), (X=-5.01, Y=0), (X=-1.67, Y=0), (X=1.67, Y=0), (X=5.01, Y=0) and (X=8.35, Y=0) as show in Fig. 7 (a) the maximum level of electric field is 112 V/m at center of feeder. When port 1, 2, 3,4,5 and 6 are located at (X=-8.35, Y=-1.25), (X=-5.01, Y=-1.25), (X=-1.67, Y=-1.25), (X=1.67, Y=-1.25), (X=5.01, Y=-1.25) and (X=8.35, Y=-1.25) as show in Fig. 7 (b), the feed position in Y-axis near at the both sides of plate. So, the electric field at the both sides of plate is rarely level, which is less than the level at the feed points. When port 1, 2, 3,4,5 and 6 are located at (X=-8.35, Y=1.25), (X=-5.01, Y=1.25), (X=-1.67, Y=1.25), (X=1.67, Y=1.25), (X=5.01, Y=1.25) and (X=8.35, Y=1.25) as show in Fig. 7 (c) and located at (X=-8.35, Y=-1.25), (X=-5.01, Y=1.25), (X=-1.67, Y=-1.25), (X=1.67, Y=1.25), (X=5.01, Y=-1.25) and (X=8.35, Y=1.25) as show in Fig. 7 (d) indicated that the feed points are located at +Y and -Y. Therefore, the distribution area will switch direction, unable to spread throughout the plate. Finally, for the four types is exanimat simulation, we are also simulated at other positions to find the best position. We found that the optimal position of the feeding is port 1, 2, 3,4,5 and 6 are located on plate at (X=-8.35, Y=0), (X=-5.01, Y=0), (X=-1.67, Y=0), (X=1.67, Y=0), (X=5.01, Y=0) and (X=8.35, Y=0), it can distribute the symmetrical electric field on plate.

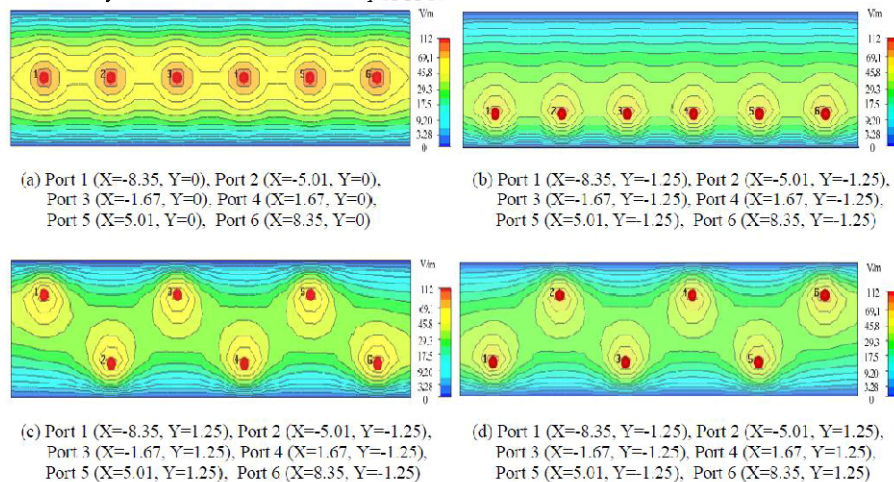


Fig.7: Simulation results of input port power for six ports at any positions are the cross section in Z-axis at 2.5 mm.

In the simulation results of each case, an analysis of the electric field of distribution and intensity on the dielectric load is to cause dielectric heating technology. By using technique of increasing input ports power on the capacitive copper plates for consideration to the dielectric heating. An including analysis the positions and number of ports signal feeding to the suitable for use with the dielectric load this provides the most effective. The variables positions of feed point to most appropriate for the each case are concluded in Table 1. The symmetrical electric field distribution is occurred when port 1 is located at $(X=0, Y=0)$ in case I. Moreover, the positions of Port 1 $(X=-5, Y=0)$ and Port 2 $(X=5, Y=0)$ generate symmetrical electric field distribution in case II. In addition, when positions are Port 1 $(X=-7.5, Y=0)$, Port 2 $(X=-2.5, Y=0)$, Port 3 $(X=2.5, Y=0)$ and Port 4 $(X=7.5, Y=0)$ are fed in case III, the symmetrical electric field distribution can be obtained. In case IV, we analyze the positions of six ports at Port 1 $(X=-8.35, Y=0)$, Port 2 $(X=-5.01, Y=0)$, Port 3 $(X=-1.67, Y=0)$, Port 4 $(X=1.67, Y=0)$, Port 5 $(X=5.01, Y=0)$ and Port 6 $(X=8.35, Y=0)$, which are generated the symmetrical electric field distribution. The input power is fixed of 600 watt in each case and simulated results show the value of maximum electric field intensity as equal level of 100 V/m. From simulated results, the out plane on copper plate is the cross section in Z-axis at 2.5 mm. Fig. 8 show the symmetrical electric field distribution and intensity in case I, II, III and IV. When we consider electric field intensity level at 26.1 V/m, It concludes that the electric field distribution is approximately 32% of the total area in case I, but the maximum electric field intensity is 559 V/m at the center of copper plate. It has effect on the experimental result which is electric field intensity of 21.41 times from the maximum electric field intensity. In case II, the electric field distribution is approximately 50% of the total area and the maximum electric field intensity is 280 V/m at the center on copper plate. An effect of the electric field intensity of 13.07 times from the maximum electric field intensity. The electric field distribution in case III is approximately 74% of the total area and the maximum electric field intensity is 151 V/m it has electric field intensity of 7.05 times from the maximum electric field intensity. In the final case, the electric field distribution is approximately 44% of the total area and the maximum electric field intensity is 112 V/m it has electric field intensity of 5.23 times from the maximum electric field intensity. It seems that the electric field distribution is low when it is compare with the electric field of total area. Table 2, show the electric field efficiency of distribution and intensity in case I, II, III and IV when compare the maximum level of electric field intensity as 26.1 V/m. It illustrates that the optimization in case III can be obtain the electric distribution with approximately as 74 % of the total area. Therefore, we can be developed and applied the dielectric heating properly and to make the most effective for used.

Table 1: Position of feed point to most appropriate for the each case.

Case	Signal Feeding	P1 (X,Y)	P2 (X,Y)	P3 (X,Y)	P4 (X,Y)	P5 (X,Y)	P6 (X,Y)
I	1	0,0	-	-	-	-	-
II	2	-5,0	5,0	-	-	-	-
III	4	-7.5,0	-2.5,0	2.5,0	7.5,0	-	-
IV	6	-8.35,0	-5.01,0	-1.67,3.5	1.67,0	5.01,0	8.35,0

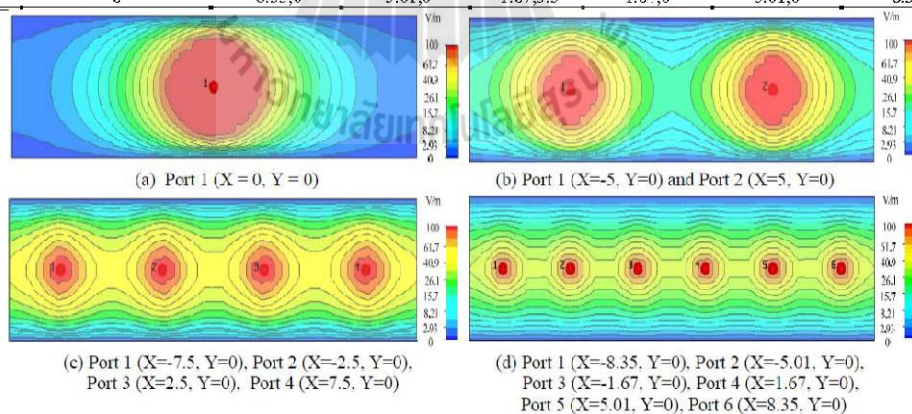


Fig.8: Simulation results for four cases to the value of maximum electric field intensity as equal level of 100 V/m are the cross section in Z-axis at 2.5 mm.

Table 2: The electric field efficiency of distribution and intensity in case I, II, III and IV when compare the maximum level of electric field intensity as 26.1 V/m

Case	Number of feeding	Maximum of electric field intensity (V/m)	Electric field distribution of area at 26.1 V/m (%)	% of electric field intensity difference
I	1	559	32	21.41
II	2	280	50	13.07
III	4	151	74	7.05
IV	6	112	44	5.23

Conclusions:

This paper presents the electric field distribution and intensity for dielectric heating. It is a technique challenge in dielectric heating is to control the electric field distribution by increasing input power ports on the capacitor copper plates. An including changed the positions of input power ports into the suitable for use with the dielectric load this provides the most effective. It is analysis and consider from copper plate rectangular material at the size of 5 x 20 cm, and the properties of rice weevils are used to dielectric material in the simulation. The simulation of analysis was divided the input port power into 4 cases, which are one port, two ports, four ports and six ports, respectively. By each case, can be used the input power port at different positions on the plate for provide to the position and number are the most appropriate. The distribution and intensity of electric field on the dielectric load will be analyzed by using the CST EM STUDIO program. In the simulation results, we used the electrical power and resonance frequency are 600 W and 39 MHz, respectively. Results, the variables positions of feed point are concluded in the symmetrical electric field distribution. When the positions are Port 1 (X= -7.5 Y=0), Port 2 (X= -2.5,Y=0), Port 3 (X=2.5,Y=0) and Port 4 (X=7.5,Y=0) are fed in case III, which are generated the symmetrical electric field an equilibrium position, the electric field intensity is appropriated distribution. Which can be the distribution of electric field is 74% of area comprehensive at intensity of electric field is 26.1 V/m. These results demonstrate that it is possible to achieve higher electric field distribution and intensity for dielectric heating where increases input power ports on the copper plates are used.

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

- Ahmed, N.A., 2011. High-Frequency Soft-Switching AC Conversion Circuit With Dual-Mode PWM/PDM Control Strategy for High-Power IH Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58: 1440-1448.
- Bayrashev, A., B. Ziaie, 2002. Silicon wafer bonding with an insulator interlayer using RF dielectric heating, *Micro Electro Mechanical Systems, The Fifteenth, International Conference on IEEE*, pp: 419-422.
- Granada, M. and W. Ferney, 2012. Experimental prototype for endogenous drying wood by radio frequency (RF). *Alternative Energies and Energy Quality (SIFAE), International Symposium on IEEE*, pp: 1-8.
- Komarov, V., 2012. *Dielectric and Thermal Properties of Materials at Microwave Frequencies*, Handbook, Artech House.
- Kurose, H., D. Miyagi, N. Takahashi, N. Uchida, K. Kawanaka, 2009. 3-D Eddy Current Analysis of Induction Heating Apparatus Considering Heat Emission, Heat Conduction, and Temperature Dependence of Magnetic Characteristics, *IEEE Transactions on Magnetics*, 45: 1847-1850.
- Lichan, M., K.W.E. Cheng, W.C. Ka, 2011. Systematic Approach to High-Power and Energy- Efficient Industrial Induction Cooker System: Circuit Design, Control Strategy, and Prototype Evaluation, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26: 3754-3765.
- Meng, L.C., K.W.E. Cheng, W.M. Wang, 2011. Thermal Impacts of Electromagnetic Proximity Effects in Induction Cooking System With Distributed Planar Multicoils, *IEEE Transactions on Magnetics*, 47: 3212-3215.
- Myungsik, K. and K. Kwangsoo, 2012. Development of a compact cylindrical reaction cavity for a microwave dielectric heating system. *Review of Scientific Instruments*, 83: 1.
- Nelson, O., 2006. Stuart, Agricultural applications of dielectric measurements, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 13: 688-702.
- Nelson, S.O., 1991. Dielectric properties of agricultural products Measurements and Applications, *IEEE Trans. Elect. Insul.*, 26: 845-869.
- Nelson, S.O., 1996. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the ASAE*, 39: 1475-1484.
- Oka, H., S. Uchidate, N. Sekino, Y. Namizaki, K. Kubota, H. Osada, F.P. Dawson and J.D. Lavers, 2011. Electromagnetic Wave Absorption Characteristics of Half Carbonized Powder-Type Magnetic Wood, *IEEE Transactions on Magnetics*, 47: 3078-3070.
- Sarnago, H., O. Lucia, A. Mediano, J.M. Burdio, 2013. Class-D/DE Dual-Mode-Operation Resonant Converter for Improved-Efficiency Domestic Induction Heating System, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28: 1274-1285.
- Wang, S., J. Tang, J.A. Johnson, E. Mitcham, J.D. Hansen, G. Hallman, S.R. Drake and Y. Wang, 2003. Dielectric Properties of Fruits and Insect Pests as related to Radio Frequency and Microwave Treatments, *Biosystems Engineering*, 85: 201-212.

ประวัติผู้เขียน

นายสำราญ สันทาลุนัย เกิดเมื่อวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2528 ที่อำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนบ้านหนองหว้า สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสำโรงทาบวิทยาคม อำเภอสำโรงทาบ จังหวัดสุรินทร์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) และ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2552 จากนั้นได้เข้าร่วมทำงานกับบริษัท เบนซ์มาร์ค อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) เป็นเวลา 1 ปี และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

