

รหัสโครงการ SUT7-716-62-12-08



รายงานการวิจัย

ออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด

สำหรับอุตสาหกรรมทางเกษตรและส่งออกผลไม้สด

ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สดสำหรับ

อุตสาหกรรมทางเกษตรและส่งออกผลไม้สด

ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

อาจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุนัย

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

บทคัดย่อ

การประดิษฐ์คิดค้นนี้ได้นำเสนอวิธีการกำจัดหมอนในมะม่วงสำหรับกลุ่มเกษตรกรและภาคอุตสาหกรรมการส่งออกมะม่วงด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นการพัฒนาและประยุกต์การออกแบบระบบโดยใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุทดแทนการอบไอน้ำสำหรับการกำจัดหมอนในมะม่วง ซึ่งการกำจัดหมอนมะม่วงด้วยหลักการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค เนื่องจากระบบดังกล่าวที่ใช้เทคนิคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นไม่มีการใช้สารเคมีใด ๆ ทั้งสิ้น โดยเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดหมอนในมะม่วง ทำการออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกต้นแบบสำหรับกำจัดหมอนโดยใช้หมอนและมะม่วงในการทดสอบ โดยหลังจากการทดสอบต้องไม่ทำให้มะม่วงเกิดความเสียหาย เพื่อการนำเทคโนโลยีใหม่มาทดแทนแบบเดิม ซึ่งการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริก พบว่าสามารถกำจัดหมอนในมะม่วงมีอัตราการตาย 100% ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของมะม่วงแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ดังนั้นสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมากต่อไป

Abstract

In this invention, we presented the design of radio frequency to eliminate mango worms and fresh fruit for farmers and export industry. It is the development and application designed of a heating system by using a dielectric heating technology with radio frequency replaces the use of vapor heat treatment to kill the eliminate mango worms. The advantage of the eliminate mango worms by using a principle of dielectric heating system, it is suitable for the stowage and export industry. Dielectric heating machine project eliminate mango worms for stowage and export industry is designed to create the prototype of dielectric heating to eliminate mango worms. This technology of the dielectric heating don't damage quality of mango and can be replaced the vapor heat treatment that used to eliminate mango worms. The dielectric heating system tested, the mango worms has a 100% mortality rate at the temperature of mango was 45 degrees celsius, when the mango checks of does not change characteristics of mango quality. Therefore, it can be used to benefit the industry greatly.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

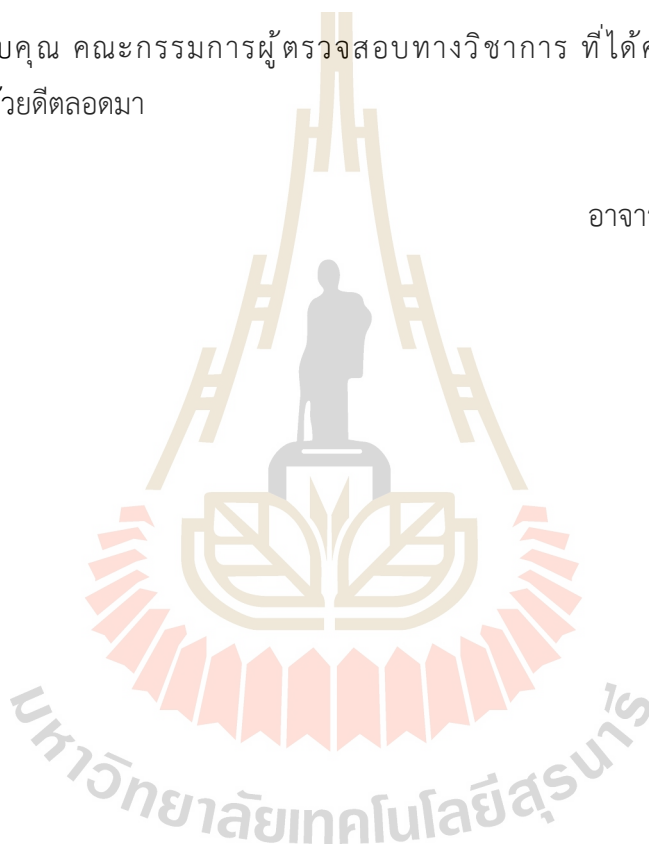
ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่สำหรับการทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา

อาจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุนัย

หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	9
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	10
2 ปรัชญาบรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1.1 การให้ความร้อนไดโอดีลิกตริก.....	11
2.1.2 การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อน กับไดโอดีลิกตริก.....	15
2.1.3 แหล่งจ่ายกำลังงานสำหรับให้ความร้อนไดโอดีลิกตริก.....	17
2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดโอดีลิกตริก.....	17
2.2.1 คุณสมบัติของไดโอดีลิกตริก.....	17
2.2.2 พื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดโอดีลิกตริก.....	20
2.2.3 หลักการพื้นฐานของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต.....	24
2.3 สรุป.....	25
3 การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดโอดีลิกตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่ แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด.....	26
3.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดโอดีลิกตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวัน ผลไม้สด.....	26
3.1.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดโอดีลิกตริก.....	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นที่นอนแมลงวันในมะม่วง.....	28
3.1.3 การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิด ความร้อนในมะม่วง.....	30
3.2 การวิเคราะห์และออกแบบวงจรภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการ ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด.....	31
3.2.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	33
3.2.2 การออกแบบเครื่องการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการ ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด.....	58
34 สรุป.....	70
4 อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล.....	71
4.1 อุปกรณ์.....	71
4.2 วิธีการ.....	73
4.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	74
5 การทดสอบและผลการทดสอบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.....	75
5.1 กล่าวนำ.....	75
5.2 การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการ ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด.....	75
5.3 ผลการวัดความร้อนที่จุดต่างๆ และอัตราการตายของหนอนแมลงวัน.....	84
5.4 ผลการเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของมะม่วงที่ผ่านเครื่องฆ่าหนอนแมลงวัน.....	109
5.5 ผลการวัดตรวจสอบการตายของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้.....	113
5.6 สรุป.....	135
6 สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	136
6.1 สรุป.....	136
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	136
เอกสารอ้างอิง.....	137
ภาคผนวก.....	142
คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวัน ในมะม่วงและผลไม้สด	143

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงทั้งถาด ณ เวลาใดๆ.....29
3.2	ค่าความชื้นของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้หอนและไขแมลงวันตาย ณ เวลาใด ๆ.....30
5.1	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....84
5.2	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....86
5.3	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....87
5.4	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....88
5.5	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....90
5.6	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....91
5.7	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....92
5.8	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....94
5.9	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....95
5.10	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....97
5.11	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....98
5.12	ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....99
5.13	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....101
5.14	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....102
5.15	ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....103
5.16	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C.....105
5.17	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C.....106
5.18	ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C.....107
5.19	ลักษณะมะม่วงที่อุณหภูมิ 45 °C, 50 °C และ 55 °C ของระยะแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร หลังผ่านเครื่อง.....109
5.20	ลักษณะทับทิมที่อุณหภูมิ 45 °C, 50 °C และ 55 °C ของระยะแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร หลังผ่านเครื่อง.....111
5.21	ผลการเก็บผลการตายของหอนแมลงวันในมะม่วงที่ยังไม่ผ่านเครื่อง.....116
5.22	ผลการเก็บผลการตายของหอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.23 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	118
5.24 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	119
5.25 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	120
5.26 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	121
5.27 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	122
5.28 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	123
5.29 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	124
5.30 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	125
5.31 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิมที่ยังไม่ผ่านเครื่อง.....	126
5.32 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	127
5.33 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	128
5.34 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	129
5.35 ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.36	ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	131
5.37	ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	132
5.38	ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส.....	133
5.39	ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส.....	134
5.40	ผลการเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส.....	135

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	มะม่วงส่งออก.....2
1.2	สวนมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก.....4
1.3	แมลงวันผลไม้หรือแมลงวันทองตัวเต็มวัย.....5
1.4	วงจรชีวิตแมลงวันผลไม้.....6
1.5	มะม่วงที่ถูกแมลงวันผลไม้ทำลาย.....7
1.6	โรงอบไอน้ำมะม่วงเพื่อการส่งออก.....8
2.1	การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพล เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า.....13
2.2	เทคนิคการกำจัดแมลงในมะม่วง.....14
2.3	การกำจัดหนอนและแมลงด้วยคลื่นไมโครเวฟ.....15
2.4	การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า.....16
2.5	การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นวงกลม.....16
2.6	การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....17
2.7	หลอดแมกนีตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก.....17
2.8	อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กตริก.....21
2.9	รูปแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต.....24
3.1	โครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้.....27
3.2	จำนวนจุดป้อนกำลังงาน.....33
3.3	รูปแบบการวางมะม่วงสำหรับการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้า.....34
3.4	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร).....35
3.5	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร).....37
3.6	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร).....39
3.7	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร).....40

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.8	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของ คลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง เซนติเมตร).....	42
3.9	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่น สนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร).....	44
3.10	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่น สนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร).....	46
3.11	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่น สนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร).....	49
3.12	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่น สนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร).....	50
3.13	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของ คลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร).....	52
3.14	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของ คลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร).....	54
3.15	ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของ คลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร).....	56
3.16	ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการให้ความร้อนแบบ ไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วง.....	58
3.17	ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอน ในมะม่วงและผลไม้สด.....	59
3.18	โครงภายนอกที่สร้างขึ้นตามทีออกแบบ.....	60
3.19	พานลำเลียงทีออกแบบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works.....	61
3.20	สายพานลำเลียงทีสร้างขึ้นตามทีได้ออกแบบไว้.....	62
3.21	รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก สำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด.....	63

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.22 ระบบจ่ายกำลังงานสูงที่ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว.....	64
3.23 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อน ไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด.....	65
3.24 การติดตั้งระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูง.....	66
3.25 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูงที่ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว.....	67
3.26 รูปแบบการวางภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตสำหรับ ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด.....	68
3.27 การติดตั้งภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต.....	69
4.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	72
4.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	72
4.3 เครื่องวิเคราะห์โครมสาย.....	72
4.4 เครื่องวัดกำลัง.....	73
4.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน.....	73
5.1 การวางมะม่วงสำหรับการทดสอบ.....	76
5.2 การวางเพลตในแนวนอน.....	76
5.3 ภาพความร้อนที่เกิดหลังจากการทดสอบเบื้องต้น.....	77
5.4 มะม่วงที่และทับทิมที่มีหนอนแมลงวัน.....	78
5.5 มะม่วงที่จัดเตรียมสำหรับการทดสอบ.....	79
5.6 ถาดสำหรับใส่มะม่วงในการทดลอง.....	80
5.7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ.....	81
5.8 ระยะห่าง 1 เซนติเมตร.....	82
5.9 ระยะห่าง 2 เซนติเมตร.....	83
5.10 ระยะห่าง 3 เซนติเมตร.....	83
5.11 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 45 °C.....	85
5.12 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 50 °C.....	87
5.13 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 55 °C.....	88
5.14 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 45 °C.....	89
5.15 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 50 °C.....	91

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.16	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 55 °C.....	92
5.17	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 45 °C.....	93
5.18	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 50 °C.....	95
5.19	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 55 °C.....	98
5.20	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 45 °C.....	98
5.21	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 50 °C.....	99
5.22	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 55 °C.....	100
5.23	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 45 °C.....	102
5.24	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 50 °C.....	103
5.25	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 55 °C.....	104
5.26	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 45 °C.....	106
5.27	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 50 °C.....	107
5.28	ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 55 °C.....	108
5.29	ลักษณะรอยข้ามะม่วงหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกระยะห่าง แผ่นเพลต 1 เซนติเมตร.....	110
5.30	ลักษณะรอยข้ามะม่วงหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกระยะห่าง แผ่นเพลต 2 เซนติเมตร.....	110
5.21	ลักษณะรอยซ้ำทับทิมหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกระยะห่าง แผ่นเพลต 1 เซนติเมตร.....	112
5.32	ลักษณะรอยซ้ำทับทิมหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกระยะห่าง แผ่นเพลต 2 เซนติเมตร.....	113

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ผลไม้ต่าง ๆ ที่มีการเพาะปลูกในประเทศไทย เช่น มะม่วง น้อยหน่า ฝรั่ง กระท้อน ชมพู ฯลฯ ถือได้ว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญมาก ซึ่งสามารถส่งออกขายยังต่างประเทศและนำเงินตราเข้าประเทศได้เป็นจำนวนมาก โดยรวมแล้วมีจำนวนมากถึงปีละประมาณ 10,000 ล้านบาท แต่ด้วยปัญหาของหนอนและไข่แมลงวันทอง ซึ่งเป็นตัวการที่สร้างปัญหาให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้เพาะปลูกผลไม้ต่าง ๆ ทำให้โดยส่วนใหญ่จะสามารถส่งออกได้เพียง 50% เพียงเท่านั้น ซึ่งหากสามารถแก้ปัญหานี้ได้จะสามารถนำเงินตราเข้าประเทศได้อีกเป็นเท่าตัวและสร้างคุณภาพชีวิตของเกษตรกรที่ดีขึ้นอีกด้วย ปัญหาดังกล่าว โดยเฉพาะมะม่วง ถือได้ว่าเป็นสินค้าเกษตรหลักด้านผลไม้สดที่สำคัญประเภทหนึ่ง ซึ่งสร้างรายได้ต่อประเทศเป็นอย่างมาก และมีตลาดส่งออกที่สำคัญมากมาย ทั้งประเทศในกลุ่มทวีปเอเชีย อเมริกา ออสเตรเลีย และยุโรป ดังนั้นในการวิจัยสร้างนวัตกรรมนี้ จะมุ่งเน้นออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงเพื่อการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยใช้เป็นผลไม้ในการกำหนดผลของการออกแบบสร้างเครื่องและทดสอบประสิทธิภาพ เป็นตัวแทนของการสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในผลไม้ต่างๆ เพื่อการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งผลไม้ชนิดต่างๆ จะมีพื้นฐานของคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงเพื่อการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่เป็นไปตามเป้าหมายแล้ว จะสามารถประยุกต์ใช้กับผลไม้ชนิดอื่นได้อีกมากมาย ทุกชนิด และเนื่องจากมะม่วงเป็นพืชที่ประสบปัญหาเกี่ยวกับหนอนและไข่แมลงวันทองมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้ใช้มะม่วงเป็นพืชผลสำหรับกำหนดผลของการออกแบบ อีกทั้งมะม่วงยังเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญอย่างมาก โดยมีแหล่งผลิตมะม่วงที่สำคัญ เพื่อการส่งออกของประเทศรายใหญ่ๆ อยู่ในพื้นที่ปลูกในจังหวัด ฉะเชิงเทรา นครราชสีมา สุพรรณบุรี พิจิตร และพิษณุโลก เป็นต้น มะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้เป็นพันธุ์ที่มีปริมาณการส่งออกในรูปผลสดมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามผลผลิตของเกษตรกรที่ผ่านมามีคุณภาพที่ดีเหมาะสำหรับการส่งออกเพียง 50 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น การผลิตมะม่วงให้ได้คุณภาพสำหรับการส่งออกจะต้องมีลักษณะที่สวยงามและปราศจากหนอนและไข่แมลงวันทอง ดังแสดงรูปที่ 1 ซึ่งแสดงลักษณะของมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก



รูปที่ 1.1 มะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก

ซึ่งการที่จะได้ผลิตผลทางการเกษตรที่ดีและสมบูรณ์นั้น เกษตรกรต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับขั้นตอนการผลิตมะม่วงหรือไม้ผลอื่นๆ เป็นอย่างดี มีการบำรุงรักษาต้นด้วยการให้น้ำและปุ๋ยที่เหมาะสม มีการใช้ระบบการผลิตตามมาตรฐานการจัดการฟาร์มที่ดีที่มีการรับรองสากล มีการป้องกันกำจัดโรคและแมลงที่มีประสิทธิภาพ มีการควบคุมการใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามข้อกำหนดของประเทศผู้นำเข้าผลผลิตทางการเกษตร ทั้งนี้เพื่อลดสารป้องกันกำจัดศัตรูพืชที่ตกค้างในระบบการควบคุมโรคและแมลงศัตรูในมะม่วงน้ำดอกไม้หรือผลไม้อื่นๆ เพื่อการส่งออกและพัฒนา ระบบการผลิตที่มีคุณภาพ ยกกระดับกระบวนการผลิต และเพิ่มศักยภาพในการส่งออกมะม่วงให้เพิ่มมากขึ้น ส่วนกรมส่งเสริมการเกษตร ได้แสดงผลของการส่งออกมะม่วงและชู มะม่วง เป็นสินค้าส่งออกอนาคตไกล ซึ่งการส่งออกมะม่วงของไทยปี 2557 มีมูลค่าพุ่งสูงถึง 3,149 ล้านบาท ปริมาณมากกว่า 7 หมื่นตัน เพิ่มจากช่วง 10 ปีก่อนที่เคยมีมูลค่าเพียง 100 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 1 มูลค่าข้อมูลการส่งออกมะม่วง จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

ตารางที่ 1 มูลค่าการส่งออกมะม่วง จากสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
สถิติการส่งออก (Export) -- มะม่วง (รวม) : ปริมาณและมูลค่าการส่งออกรายเดือน

ปริมาณ : กก.
มูลค่า : บาท

เดือน Month	2557 2014		2558 2015		2559 2016	
	ปริมาณ Quantity	มูลค่า Value	ปริมาณ Quantity	มูลค่า Value	ปริมาณ Quantity	มูลค่า Value
มกราคม January	4,297,752	183,235,275	2,527,274	137,309,331	3,752,508	228,398,423
กุมภาพันธ์ February	6,346,302	214,072,173	3,237,648	192,999,244	4,403,519	229,026,619
มีนาคม March	6,970,773	254,432,973	11,054,355	335,646,126	7,618,465	320,693,102
เมษายน April	20,086,199	503,175,246	12,986,053	427,780,964	11,423,548	436,202,605
พฤษภาคม May	16,808,210	609,013,513	11,621,038	518,453,606	11,455,818	467,553,531
มิถุนายน June	6,478,362	350,088,035	6,410,157	359,218,968	0	0
กรกฎาคม July	3,012,129	204,668,294	3,192,019	205,425,356	0	0
สิงหาคม August	3,005,505	189,291,282	2,548,373	172,046,109	0	0
กันยายน September	2,935,204	176,543,150	2,307,809	186,253,071	0	0
ตุลาคม October	3,215,060	188,513,909	3,122,209	213,542,520	0	0
พฤศจิกายน November	3,184,698	176,043,007	3,189,850	201,665,993	0	0
ธันวาคม December	3,282,696	187,401,915	3,226,295	199,577,334	0	0
รวม/Total	79,622,890	3,236,478,772.00	65,423,080	3,149,918,622.00	38,653,858	1,681,874,280.00

โดยมีตลาดหลักคือ ญี่ปุ่น เกาหลีใต้ และจีน กรมส่งเสริมการเกษตรจึงมีทิศทางสนับสนุนการปลูกมะม่วงเชิงธุรกิจ เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกมะม่วงรวมกว่า 2 ล้านไร่ แต่เป็นลักษณะการปลูกเชิงธุรกิจไม่ถึง 50% มีสายพันธุ์เด่น ได้แก่ น้ำดอกไม้สีทอง มหาชนก และมันบางขุนศรี ราคาซื้อขายมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้สีทอง วันที่ 6 พ.ค. 58 อยู่ที่ 55 บาท/กก. ถือว่าดีกว่าปีก่อนๆ ที่จะราคาประมาณ 45 บาท/กก. ปัญหาในภาพรวมของการส่งออกไม้ผล 3 ประการ ได้แก่

1) การจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและโลจิสติกส์ ซึ่งความสามารถในการจัดการหลังเก็บเกี่ยวของเกษตรกรยังไม่มากพอ ทำให้มีผลผลิตเสียหายประมาณ 20-30%

2) การออกผลผลิตกระจุกตัวของผลไม้ เนื่องจากประเทศไทยมีการปลูกผลไม้ระบบเปิด จึงไม่สามารถควบคุมสภาพอากาศได้ ในบางปีอาจมีการออกกระจุกตัวของผลไม้ ออกผลพร้อมกันจำนวนมากในพื้นที่เดียวกัน ราคาจึงตกต่ำ แม้ว่าจะมีการวางแผนผลิตและการตลาดแล้วก็ตาม

3) การแปรรูป เพราะผลผลิตที่ตกเกรด เช่น คุณภาพต่ำ ผลเล็ก จะยังคงมีอยู่ แม้ว่าจะมีเทคโนโลยีสูงขึ้น จะต้องเพิ่มมูลค่าให้กับผลไม้จำพวกนี้ เช่น ทำน้ำผลไม้ ทั้งการแปรรูปในระดับชาวบ้านและระดับภาคอุตสาหกรรม ดังแสดงในรูปที่ 1.2 สวนมะม่วงน้ำดอกไม้



รูปที่ 1.2 สวนมะม่วงน้ำดอกไม้เพื่อการส่งออก

- มะม่วงและผลไม้ต่าง ๆ และศัตรูที่สำคัญคือแมลงวันผลไม้หรือแมลงวันทอง

แมลงวันผลไม้หรือแมลงวันทอง (Oriental fruitfly) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า “ดาคัส ดอซาลิส” (*Dacusdosalis*) จัดว่าเป็นศัตรูที่มีความสำคัญอย่างยิ่งของการผลิตผลไม้เมืองไทยและเป็นอุปสรรคที่สำคัญยิ่งในการส่งออกผลไม้ของไทยออกสู่ตลาดต่างประเทศ เนื่องจากประเทศผู้สั่งซื้อผลไม้จากเมืองไทย ได้ถือเอาเรื่องแมลงวันทองหรือแมลงวันผลไม้ขึ้นมาเป็นข้ออ้างอุปสรรคที่สำคัญยิ่งในการไม่ยอมรับผลไม้ของไทยเข้าไปจำหน่ายในประเทศของเขา ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องมีการแก้ปัญหาและให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ดังนั้นทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องจึงควรสนใจช่วยกันแก้ไขในเรื่องนี้ให้ดีเป็นพิเศษ ซึ่งการเข้าทำลายของแมลงวันผลไม้ศัตรูตัวร้ายนี้เกิดจากแมลงวันผลไม้ตัวเมียมา

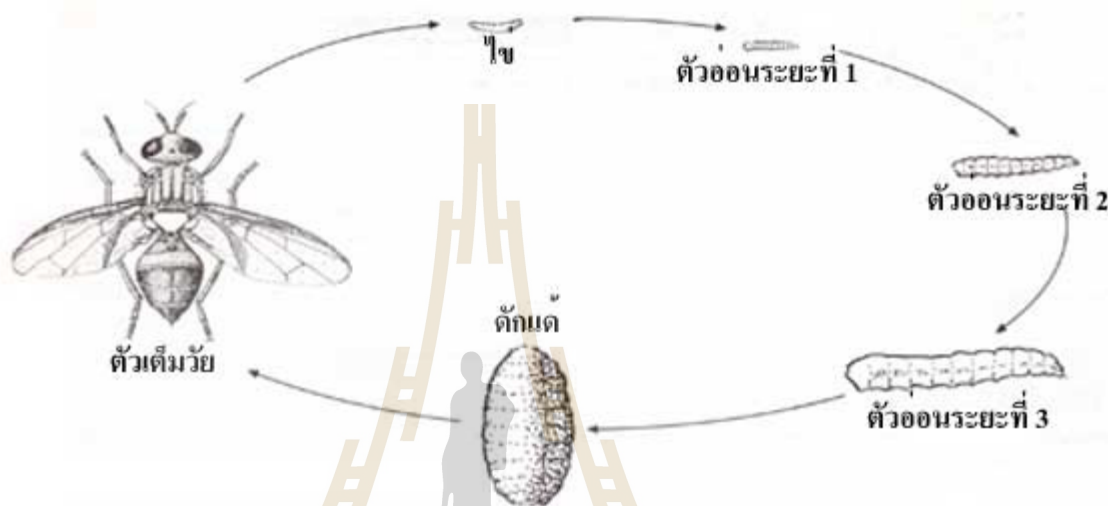
วางไข่ที่ผิวหรือในเนื้อผลไม้ โดยใช้วัยวางไข่ที่เป็นปลายแหลม อยู่บริเวณก้นของมันแทงทะลุเปลือกเข้าไปในเนื้อผลไม้ แล้วปล่อยไข่ลงไปฝังไว้ในเนื้อผลไม้ด้วย แมลงวันผลไม้ตัวเมีย จะวางไข่ได้ในขณะที่ผลยังอ่อนอยู่ และในระยะที่ผลไม้จะสุกแก่แล้วด้วย และเมื่อไข่ฟักตัวเป็นหนอนจะทำให้อยู่ระหว่างเกือบจะพอดีหรือพอดีกับระยะที่ผลไม้สุกเนื้อนิ่มพอดี ตัวหนอนซึ่งฟักออกมาแล้วก็จะเริ่มกัดกินอยู่ภายในผล โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณรอบ ๆ ของขั้วผล ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ผลร่วงหล่นเสียหาย ฉะนั้น เราจึงควรหาทางป้องกันและกำจัดแมลงวันผลไม้ไว้ตั้งแต่เนิ่น ๆ เพื่อเวลาที่ผลไม้ที่ปลูกไว้ใกล้จะสุก จะได้ไม่มีแมลงวันผลไม้มารบกวนดังแสดงรูปที่ 1.3 แมลงวันผลไม้หรือแมลงวันทองตัวเต็มวัย



รูปที่ 1.3 แมลงวันผลไม้หรือแมลงวันทองตัวเต็มวัย

แนวทางป้องกันกำจัดแมลงวันผลไม้ ลักษณะของแมลงวันผลไม้ตัวเต็มวัยหรือตัวแก่ จะมีลักษณะคล้ายกับแมลงวันบ้าน แต่มีขนาดเล็กกว่าแมลงวันบ้านเล็กน้อย ลำตัวของมันจะมีสีน้ำตาลแดง ช่วงอกมีลายสีเหลืองสดเป็นแห่ง ๆ ขามีสีเหลืองทอง ปีกใส จากลักษณะเหล่านี้เอง ชาวสวนจึงนิยมเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่า “แมลงวันทอง” แมลงวันผลไม้ตัวเมีย หลังจากที่ได้ทำการผสมพันธุ์แล้ว ก็จะเริ่มวางไข่โดยใช้วัยสำหรับวางไข่ ซึ่งอยู่ส่วนปลายของลำตัวแทงเข้าไปในเนื้อผลไม้ แมลงวันทองตัวเมียตัวหนึ่ง ๆ จะวางไข่ได้ถึงประมาณ 1,200 ฟอง ไข่นั้นจะใช้เวลาประมาณ 30-36 ชั่วโมง ก็จะฟักออกมาเป็นตัวหนอน ตัวหนอนนี้มีลักษณะสีขาวนวล ตัวเป็นปล้อง ๆ ไม่มีขา หัวมีสีดำแหลมท้ายตัด ยาวประมาณ 1 เซนติเมตร สามารถติดตัวไปได้ไกลๆ หลังจากในตัวหนอนฟักออกจากไข่แล้วใช้เวลาเจริญเติบโตกินอยู่ภายในผลไม้นานถึง 5-6 วัน โดยเฉพาะบริเวณขั้วผลจะทำให้ผลไม้วางง่าย หลังจากนั้นตัวหนอนก็จะเข้าสู่ระยะที่เป็นดักแด้ ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 8-12 วันเมื่อพ้นระยะดักแด้แล้ว จะกลายเป็นตัวเต็มวัย นั่นคือ เป็นตัวแมลงวันทองหรือแมลงผลไม้ปีกใส ลำตัวสีน้ำตาลหรือสีแดง พาดแถบสีทองสวยงาม บินไปมาได้คล่องแคล่วหลังจากที่ออกมาจากดักแด้ได้ 5 วัน แมลงวัน

ผลไม้ก็จะเริ่มผสมพันธุ์กันและหลังจากทำการผสมพันธุ์กันได้ 4-7 วัน ตัวเมียก็จะเริ่มวางไข่ ในปีหนึ่ง ๆ นี้แมลงวันผลไม้สามารถจะมีเกิดได้ 11-12 รุ่นช่วงฤดูกลาง ที่จะมีแมลงชนิดนี้มากที่สุด ก็คือในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงมิถุนายนของทุกปีอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 25 - 28 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70 - 80 % ดังแสดงในรูปที่ 1.4 วงจรชีวิตแมลงวันผลไม้



รูปที่ 1.4 วงจรชีวิตแมลงวันผลไม้

การป้องกันและกำจัดแมลงวันผลไม้อาจจะทำได้ด้วยกันหลายวิธีด้วยกัน

วิธีป้องกันวิธีแรก ให้เก็บผลไม้ที่ถูกแมลงวันผลไม้เข้ากัดทำลาย ซึ่งมีหล่นอยู่ตามโคนต้น หรือติดค้างอยู่บนต้นก็ควรจะรีบเก็บกวาด รวบรวมนำไปฝังดินโดยด่วน อย่าปล่อยให้อยู่ในสวน จะกลายเป็นแหล่งเพาะพันธุ์แมลงวันผลไม้ต่อไปได้

วิธีป้องกันวิธีที่สอง ให้ใช้วิธีการห่อหุ้มผลไม้ตั้งแต่ผลยังไม่แก่ ห่อด้วยกระดาษสีน้ำตาลที่หนา และเหนียวพอสมควรอย่างเช่น กระดาษถุงปูนที่สะอาดก็ใช้ได้หรือบางทีก็อาจใช้ห่อด้วยพลาสติกใสก็ได้ ทางส่วนล่างของก้นถุงที่หุ้มห่อผลไม้ ควรเจาะเป็นรูเล็กๆ ไว้ให้ระบายอากาศ และให้ไอน้ำที่อาจมีเกิดระเหยออกไปจากห่อได้สะดวก ผลไม้จะได้ไม่เปียกชื้นไม่เกิดเป็นเชื้อราได้ง่าย

วิธีป้องกันวิธีที่สาม เป็นการปราบปรามใช้เหยื่อพิษล่อ กำจัดตัวแก่เต็มวัยแมลงวันผลไม้โดยตรงโดยการใส่ผลไม้ที่ถูกแมลงวันผลไม้เจาะทำลายเน่าเสีย มากองสุ่มไว้เป็นจุดๆ แล้วใช้สารฆ่าแมลง เช่น พวกลายไบคอน จำนวน 20 กรัม ผสมน้ำ 1 ลิตร ฉีดพ่นให้ผลไม้ที่กองล่อไว้ พอแมลงวันผลไม้มาถูกสารนี้เข้ามันจะตายได้ แต่วิธีนี้ควรทำติดต่อกันไปหลายๆ ครั้งตลอดช่วงระยะที่มีแมลงวันผลไม้ระบาดอยู่

วิธีป้องกันวิธีที่สี่ ในพื้นที่ที่มีการระบาดของแมลงวันผลไม้เป็นประจำให้ใช้ยาฆ่าแมลงพวกมาลาไรออน หรือพวกไดเมทโธ-เอท หรือยาอื่นๆที่เหมาะสมก็ได้ เอาผสมฉีดพ่นให้ทุก 4-5 วันต่อครั้งในช่วงที่แมลงวันผลไม้ชุกชุมจะให้ผลได้ดีมาก

วิธีป้องกันวิธีที่ทำให้ใช้กรงหรือกับดักอย่างกรงเล็กๆที่ใช้สารเมทธิลยูจินอลผสมยาฆ่าแมลงเป็นสารล่อให้แมลงวันผลไม้ตัวผู้บินเข้ามาติดกรงถูกยา ก็จะตายไปได้โดยง่าย ซึ่งชาวสวนปัจจุบันก็มีใช้วิธีนี้กันอยู่มาก การใช้กรงดักทำลายแต่เฉพาะแมลงตัวผู้เท่านั้น แมลงวันผลไม้ตัวเมียไม่ได้รับการผสมพันธุ์จะลดจำนวนลงได้ในที่สุด

วิธีป้องกันวิธีที่หก คือการเอาตัวด้งตัวของแมลงวันผลไม้ ไปฉายรังสีแกมมาทำให้มันเป็นหมันไม่ผสมกันได้อีกต่อไป ซึ่งก็ไม่ง่ายนัก การป้องกันและปราบแมลงวันผลไม้จะมีผลต่อคุณภาพของผลไม้เพื่อการส่งออก นี่คือนโยบายในการกำจัดในช่วงของการเป็นตัวเต็มวัยดังแสดงรูปที่ 1.5 มะม่วงที่ถูกแมลงวันผลไม้ทำลาย ส่วนของการส่งออกมะม่วงคือช่วงที่เป็นตัวหนอนและไข่ที่อยู่ในมะม่วง ซึ่งมีวิธีการดังนี้



(ก)

(ข)

รูปที่ 1.5 มะม่วงที่ถูกแมลงวันผลไม้ทำลาย (ก) มะม่วงที่ถูกแมลงวันผลไม้วางไข่

(ข) หนอนแมลงวันที่กำลังเข้าทำลายมะม่วง

การกำจัดหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้ต่างๆ เพื่อการส่งออก

วิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ การอบไอน้ำผลไม้เพื่อให้ไข่ฝ่อและการอบรังสีเพื่อให้คลื่นไฟฟ้าแม่เหล็กทำให้ไข่เสื่อมสภาพ แต่วิธีอบรังสีก็เป็นวิธีต้องห้ามสำหรับการนำเข้าสินค้าในหลายๆ ประเทศฉะนั้นการอบไอน้ำให้กับมะม่วงเป็นวิธีที่ดีจะช่วยทำให้ไข่แมลงวันผลไม้ที่เป็นปัญหาต่อการ

ส่งออกฝ่อและตายลงอีกทั้งยังทำให้มะม่วงสุกเท่ากันตลอดทั้งผลโดยภายในห้องอบไอน้ำจะถูกตั้งให้มีอุณหภูมิในตัวเครื่องไม่ต่ำกว่า 47 องศาเซลเซียสทั่วถึงกันตั้งแต่เปลือกมะม่วงจนถึงเมล็ดมะม่วงเพราะเป็นอุณหภูมิที่ผ่านการวิจัยแล้วว่าทำให้ไข่แมลงวันผลไม้ฝ่อได้โดยมะม่วงยังคงมีรสชาติและปริมาณสารอาหารคงเดิม โดยใช้เวลาในการอบ 3 ชั่วโมง จากนั้นจึงเข้าสู่การชั่งน้ำหนัก และการบรรจุภัณฑ์เพื่อส่งขายต่อไป ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ปลอดภัยได้มาตรฐานและนิยมใช้กับการจัดการผลไม้ส่งออก แสดงดังรูปที่ 1.6 เครื่องอบไอน้ำมะม่วงเพื่อการส่งออก



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 1.6 เครื่องอบไอน้ำมะม่วงเพื่อการส่งออก (ก) การบรรจุมะม่วงสำหรับอบไอน้ำ (ข) เครื่องอบไอน้ำแบบตู้คอนเทนเนอร์ (ค) เครื่องอบไอน้ำแบบแทงค์

จากปัญหาที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการส่งออกมะม่วงและผลไม้ต่าง ๆ ของไทย รวมถึงวิธีการแก้ปัญห การฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงเพื่อการส่งออก โดยการอบไอน้ำและยังคงคุณภาพที่ดีของผลไม้ ซึ่งพบว่า การอบด้วยไอน้ำมีการใช้พลังงานความร้อนและต้นทุนที่สูงและเป็นโรงเรือนขนาดใหญ่ รวมถึงจำนวนโรงอบไอน้ำที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อปริมาณมะม่วงเพื่อการส่งออก จะทำให้เสียโอกาสในการส่งออกของมะม่วง ซึ่งคณะผู้วิจัยยังพบว่ามีวิธีการที่เหมาะสมที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่ง

พลังงานความร้อนจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุ เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุ นั้น จะไปทำให้วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วนั้นสั่นและสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็วรวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้ในการให้ความร้อนกับสิ่งมีชีวิตหรือศัตรูพืชต่างๆในภาคการเกษตรได้เช่นแมลงศัตรูพืชอื่นๆ มอดหรือหนอนต่าง ๆ ที่ฝังตัวและหลบซ่อนอยู่ภายในผลผลิตหรือเมล็ดพืช เพื่อฆ่าหรือขับไล่ได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตของหนอนหรือไข่ของแมลงวันทองมีของเหลวหรือมีโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้เช่นเดียวกัน ส่วนการใช้คลื่นไมโครเวฟ 2,450 MHz ในการกำจัดหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงนั้น ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการให้ความร้อนไปที่มะม่วงโดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะทำให้หนอนและไข่แมลงวันผลไม้ตาย มะม่วงจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงและร้อนเฉพาะจุดเนื่องจากความยาวคลื่นที่สั้นมาก ๆ จะมีผลต่อการกระจายความร้อน และการทำให้เกิดอุณหภูมิที่สูงนี้จะส่งผลกระทบต่อมะม่วงทำให้เกิดความเสียหายและต่อคุณภาพได้ รวมถึงต้องใช้กำลังงานคลื่นไมโครเวฟที่สูงทำให้มีผลต่อต้นทุนของการส่งออกมะม่วงโดยตรง

ดังนั้นจากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวทำให้คณะผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สดสำหรับอุตสาหกรรมทางเกษตรและส่งออกผลไม้สดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เป็นการยกระดับคุณภาพของผลไม้เพื่อการส่งออก โดยจะทำการวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการให้ความร้อนในมะม่วง ซึ่งจะได้ทำการทดสอบหาความถี่ที่เหมาะสม รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบของคลื่นความถี่และกำลังงานที่มีผลต่อหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้ชนิดอื่นๆ เพื่อการส่งออกจำนวน 1 ชุด โดยติดตั้งทดสอบจริงและใช้เป็นเครื่องต้นแบบให้กับการกำจัดหนอนและไข่แมลงวันผลไม้กับผลไม้ชนิดอื่นๆ อีกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ทำการออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้ชนิดอื่นๆ เพื่อการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุต้นแบบ สำหรับฆ่าหนอนและไข่ของแมลงวันผลไม้ในผลไม้ เพื่อการพัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถของการส่งออกผลไม้ไทยจำนวน 1 ชุด โดยที่ไม่ทำให้ผลไม้เกิดความเสียหาย เพื่อการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีและการอบด้วยไอน้ำในการฆ่าหนอนและไข่ของแมลงวันผลไม้ในปัจจุบัน พร้อมทั้งติดตั้งทดสอบการทำงานของเครื่อง เพื่อประเมินติดตามผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องฆ่าหนอนและไข่ของแมลงวันผลไม้ ถึงอัตราการตายของหนอนและไข่ของแมลงวันผลไม้และตรวจสอบอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในผลไม้ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงานและไม่ทำให้เกิดความเสียหายของผลไม้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องฆ่าหนอนและไซแมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้เพื่อการส่งออกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ที่สามารถนำไปฆ่าหนอนและไซของแมลงวันผลไม้เพื่อการส่งออก จำนวน 1 ชุด ขนาดกำลังการผลิตไม่ต่ำกว่า 1 ตันต่อวัน แบบสายพานลำเลียง โดยไม่ทำให้ผลไม้เกิดความเสียหายไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลไม้ พร้อมทั้งมีการติดตามผลการทดสอบเครื่องฆ่าหนอนและไซของแมลงวันผลไม้กับมะม่วงและผลไม้ต่างๆ ถึงอัตราการตายและการเกิดของหนอนและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในผลไม้เพื่อหาความสัมพันธ์เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องฆ่าหนอนและไซของแมลงวันผลไม้ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงาน และยังได้เทคโนโลยีใหม่ ในการฆ่าหนอนและไซของแมลงวันผลไม้ที่ประหยัดใช้งานได้ง่ายสะดวกเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและทดแทนการใช้สารเคมีและการอบไอน้ำรวมถึงเป็นเครื่องต้นแบบให้กับการส่งออกผลไม้อื่นๆ ต่อไป



บทที่ 2

ปรีทศวรรษกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเฉพาะวัสดุที่มีการตอบสนองต่อความถี่ที่ใช้งานเท่านั้น จึงทำให้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงและประหยัดพลังงาน ซึ่งได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างวงจร รวมถึงรูปแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกในรูปแบบวิธีต่าง ๆ เพื่อให้สามารถใช้งานได้เหมาะสมกับการใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานได้ดีที่สุด ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ จึงได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ปรีทศวรรษกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก รูปแบบแหล่งจ่ายกำลังงานและลักษณะการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกซึ่งได้รวบรวมข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลมีดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ปรีทศวรรษกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

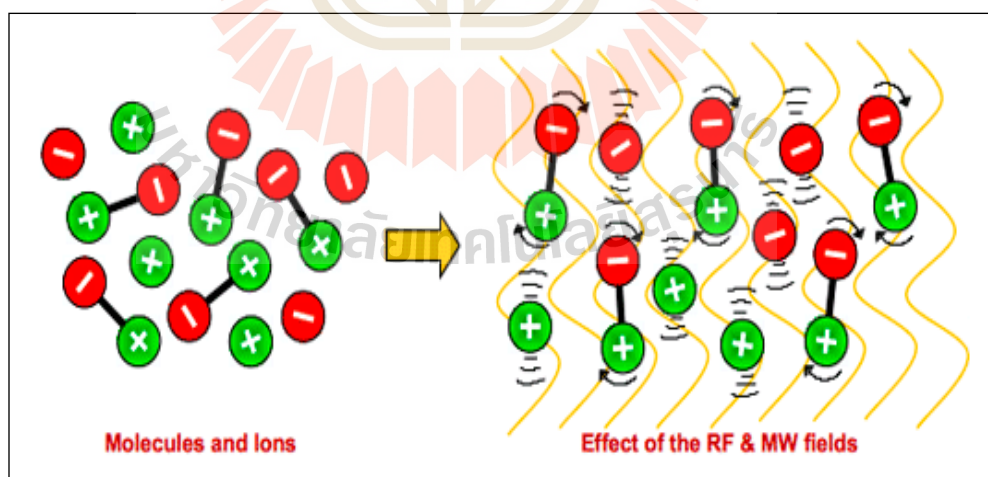
ปรากฏการณ์การให้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีด้านการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นับได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญในกาวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรมซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ (Induction Heating) (Sarnago et al, 2013) เป็นการให้พลังงานความร้อนโดยอาศัยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน ซึ่งกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชั้นงานในระดับความลึกผิว (Skin Depth) และกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน

ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลทางเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปบริเวณอื่น โดยการนำความร้อน การพาความร้อนและสำหรับอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน นั่นคือ การให้ความร้อน ไดอิเล็กตริก เป็นรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงไปยังวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีความเหมาะสมต่อช่วงความถี่ใช้งานและทำให้ไม่กระทบต่อวัสดุอื่น ๆ โดยโครงสร้างของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสามารถใช้หลักการการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าโดยพิจารณาจากการใช้สมการ $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E}$ นั่นคือ ค่า ϵ ของวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการให้ความร้อนที่ดีที่สุด สำหรับการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าซึ่งรูปแบบของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกประกอบด้วย 3 รูปแบบ ดังนี้ (1) การให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นอินฟราเรด (Infrared) (Payne, 1988) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีโดยอาศัยคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่ย่านอินฟราเรด เพื่อให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกซึ่งจะสามารถให้ความร้อนได้กับวัสดุที่การตอบสนองในช่วงคลื่นความถี่อินฟราเรดด้วย (2) การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ (Microwave heating) (Myungsik et al, 2012) ซึ่งเป็นการให้พลังงานความร้อนโดยการแผ่กระจายคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน โดยวัสดุนั้น ๆ จะต้องมีส่วนประกอบโมเลกุลของน้ำ หรือโมเลกุลที่มีขั้ว ซึ่งจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไปและเกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ และ (3) การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Heating) (Bayrashev et al, 2002; Granada et al, 2012) ซึ่งกำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากสำหรับเทคโนโลยีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก เนื่องจากเป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับวัสดุโดยทั่วไป เช่นในกลุ่มของแมลง และสามารถออกแบบวงจรได้ง่าย สามารถออกแบบให้ปรับความถี่เพื่อให้ความถี่ตอบสนองและเหมาะสมกับช่วงความถี่ของวัสดุไดอิเล็กตริกแต่ละชนิดได้ง่าย โดยใช้หลักการให้พลังงานความร้อนโดยการแผ่กระจายคลื่นย่านความถี่วิทยุ ผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนเช่นเดียวกันกับย่านความถี่ไมโครเวฟ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจและได้ศึกษาค้นคว้ารูปแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกในย่านความถี่วิทยุรวมถึงย่านความถี่ไมโครเวฟ

งานวิจัยของรูปแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟที่ผ่านมามีการนำไปใช้ในการถนอมผลไม้ อุตสาหกรรมการอบแห้งและการถนอมอาหาร โดยการใช้หลักการของการกระจายคลื่นความถี่วิทยุและคลื่นไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟนั้น สามารถทำปฏิกิริยากับวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุล จึงทำให้เกิดการสั่นพ้องของโมเลกุลและสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุและไมโครเวฟเป็น

เทคนิควิธีการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ซึ่งโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้เพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากจะเป็นการสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่น ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางเข้าคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุไดอิเล็กตริกเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง

วัสดุไดอิเล็กตริกสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย นั้น ๆ จากสถานะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้า ภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพล เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า

ในรูปที่ 2.1 เป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อน

โดยการใช้ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ในการให้ความร้อนกับตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียโดยสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปทางการให้ความร้อนเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมแมลง การกำจัดแมลงที่อยู่ในธัญพืช นั่นคือการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟ

ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา ค้นคว้า การให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงและกระบวนการกำจัดแมลงขึ้น โดยจากงานวิจัยของ M.-N. Ducamp Collin et al. (2016) ได้ทำการวิจัยการจัดเรียงเทคนิคการกำจัดแมลงในมะม่วงด้วยวิธีการรูปแบบต่าง ๆ เช่นการแช่น้ำอุ่น การให้ลมร้อน เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งพบว่าวิธีการส่วนใหญ่มีวิธีการกำจัดโดยใช้อุณหภูมิที่อยู่ในช่วง 46 องศาเซลเซียส ถึง 51 องศาเซลเซียส โดยประมาณ ซึ่งผลของอุณหภูมิจะส่งผลกระทบต่อผิวของมะม่วงด้วย ถ้าหาอุณหภูมิสูงมากๆ จะใช้เวลาในการกำจัดแมลงได้เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้ผิวของมะม่วงนั้นสูญเสียได้ด้วย ในขณะที่เดียวกันหากใช้อุณหภูมิที่ต่ำ จะต้องใช้เวลานานขึ้นด้วย

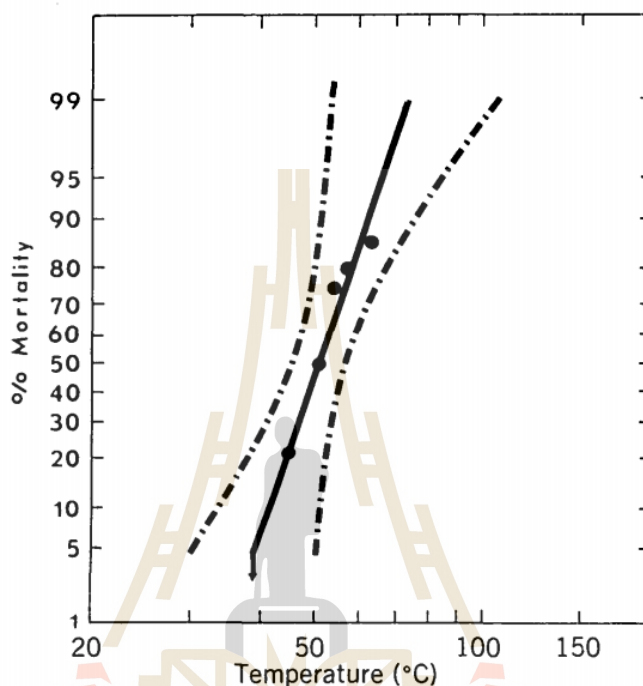
Cultivar	Heat treatment	Ripening response
Carabao	VHT 46 °C for 10 min	Increased respiration rate, yellowing of skin
Keitt	HWT 46.1–46.7 °C for (20 to 60) min	Yellowing of skin, uniformity of color
Keitt, Palmer, Tommy Atkins	FHAT 46 °C for 3.25 h or FHAT 48 °C for 2.5 h or HWT 44 °C core for 25 min	Yellowing of skin, uniformity of color, fruit softening
Keitt, Tommy Atkins	HWT 46 °C for (60 to 120) min or HWT 49 °C for 60 min FHAT 46 °C for (3 to 4) h or FHAT 48 °C for 5 h Conditioning 38 °C for 48 h	Yellowing of skin Increased respiration rate
Kensington	VHT and HWT 47 °C for (7.5 to 30) min or VHT 46.5 °C for 10 min or VHT 47 °C for 15 min	Yellowing of skin, uniformity of color, fruit softening
Tommy Atkins	FHAT 51.5 °C for 125 min	Fruit softening

VHT: Vapor Heat Treatment, FHAT: Forced Hot-Air Treatment, HWT: Hot-Water Treatment.

รูปที่ 2.2 เทคนิคการกำจัดแมลงในมะม่วง

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการใช้ไมโครเวฟสำหรับการกำจัดหนอนและแมลงในมะม่วง (*Cryptorhynchus mangiferae*) ซึ่งพบว่าผลไม้ได้รับความเสียหายจากการใช้อุณหภูมิที่ 63 องศาเซลเซียส และพบอัตราการตายของหนอนและแมลงอยู่ที่ประมาณ 87 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการให้ความร้อนแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 60 วินาที จากนั้นได้มีวิธีการแก้ไขด้วยการให้ความร้อนด้วยการรักษาแบบไม่ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ถึง 15 วินาทีแทน ซึ่งพบว่าความเสียหายลดลงของมะม่วงลดลง ดังนั้นอุณหภูมิมีผลต่อความเสียหายของผลไม้ ซึ่งจากงานวิจัยข้างต้นไม่ควรเกิน 51 องศา และถ้าใช้เวลายิ่ง

น้อยจะทำให้การสูญเสียของมะม่วงลดลงด้วย ซึ่งด้วยหลักการของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก การให้ความร้อนที่เหมาะสมกับแมลงและหนอนมะม่วงที่เหมาะสมจะช่วยเรื่องการดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันของคุณสมบัติไดอิเล็กตริกของมะม่วงและหนอนมะม่วงสำหรับการศึกษาการให้ความร้อนต่อไป

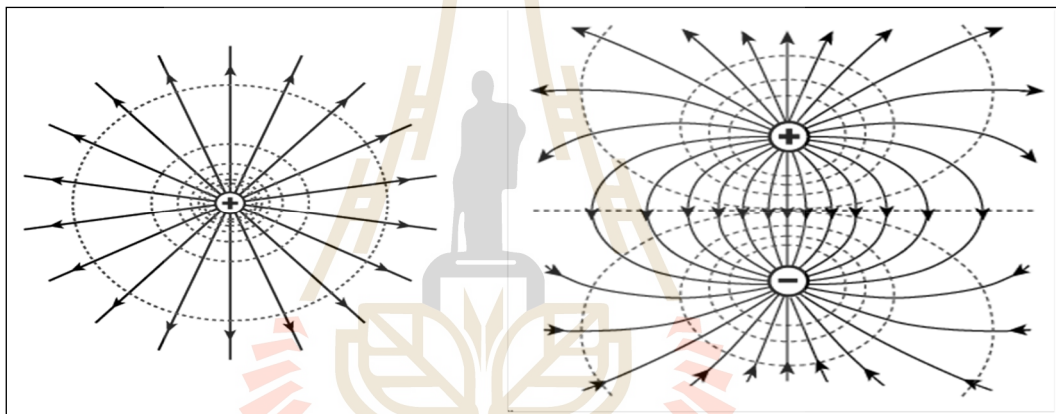


รูปที่ 2.3 การกำจัดหนอนและแมลงด้วยคลื่นไมโครเวฟ

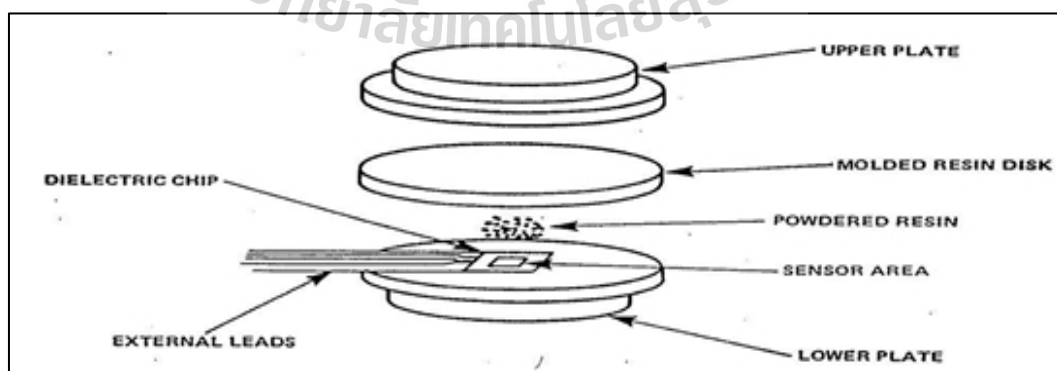
2.1.2. การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก

ในงานวิจัยสำหรับรูปแบบการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ผ่านมา ใช้รูปแบบการให้ความร้อนโดยใช้แผ่นเพลต เป็นสื่อกลางในการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าให้กับตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย ส่งผลให้ตัวกลางซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกนั้น ๆ เกิดเป็นความร้อนขึ้น ลักษณะการกระจายสนามไฟฟ้าบนแผ่นเพลตนั้นจะมีความเข้มข้นสนามไฟฟ้ามากที่สุดบริเวณจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดและจะค่อย ๆ มีความเข้มข้นสนามไฟฟ้าลดลงไป ดังแสดงใน รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้มีการใช้รูปแบบตัวให้ความร้อน ที่มีลักษณะเป็นแบบวงกลม (Jeffrey 2012) หรือแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีการป้อนกำลังงานเพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ แต่สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ในกลุ่มของแมลงที่เป็นศัตรูพืช ซึ่งจะมีแมลงที่ปะปน

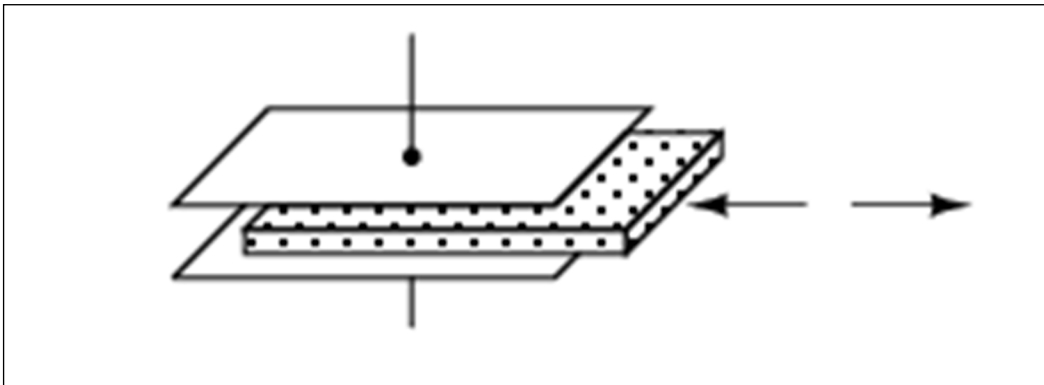
มากับสัญญาณด้วย เช่น มอดข้าวที่อยู่ในข้าว ซึ่งในการให้ความร้อนจำเป็นต้องมีการให้ความร้อนที่ต่อเนื่อง จึงต้องคำนึงถึงขนาดและความยาวของตัวสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยจากการสืบค้นข้อมูลพบว่าลักษณะของตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่เป็นลักษณะของรูปสี่เหลี่ยมจะมีลักษณะที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการให้ความร้อน หรือการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดเมื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่การให้ความร้อนมากที่สุดจึงได้มีการศึกษาและถึงจำนวนการป้อนสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มข้นสนามไฟฟ้าที่ตรงกลางมากที่สุด และจะเริ่มลดลงเมื่อออกห่างจากจุดป้อนกำลังงานและมีลักษณะเป็นวงกลมออกไป ดังนั้นลักษณะการป้อนสัญญาณ 1 จุด จึงเหมาะสำหรับตัวปล่อยคลื่นที่มีลักษณะที่เป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่านั้น ซึ่งออกแบบตัวปล่อยคลื่นที่เป็นลักษณะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจึงต้องมีการพิจารณาจุดป้อนกำลังงานมากกว่า 1 จุด เพื่อกระจายสนามไฟฟ้าให้เต็มพื้นที่การใช้งาน



รูปที่ 2.4 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นวงกลม



รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.1.3 แหล่งจ่ายกำลังงานสำหรับให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์

สำหรับในส่วนของวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้แหล่งกำลังงานคลื่นวิทยุจากหลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron tube) แสดงดังรูปที่ 2.7 โดยจากการศึกษาข้อมูลของการใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ พบว่ามีประสิทธิภาพการให้กำลังงานที่สูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์สำหรับออกแบบให้อยู่ในช่วงการทำงานที่กว้างได้



รูปที่ 2.7 หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดโอดเล็กทรอนิกส์

2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์

2.2.1 คุณสมบัติของไดโอดเล็กทรอนิกส์

การนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้งานสำหรับการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์ที่ใช้หลักการของการส่งผ่านคลื่นไปยังเนื้อวัสดุนั้นมีย่างแพร่หลาย (Kurose et al, 2009) โดยที่ผ่านมา

นั้นความถี่ที่ใช้งานนั้นจะมีย่านความถี่ที่ไม่สูงมากนัก คือประมาณ 1 -15 MHz ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและครัวเรือนได้เช่น การประกอบอาหาร การอบแห้งอาหาร การถนอมอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ไม่ว่าจะเป็ย่านความถี่ต่ำหรือย่านความถี่สูงสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ทางการเกษตรได้อย่างกว้างขวาง เช่น การกำจัดศัตรูพืชที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยมีการประยุกต์ใช้หลักการส่งผ่านคลื่นความถี่เข้าไปในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย และส่งผลให้ตัวกลางนั้น ๆ เกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ ซึ่งจะมีตัวแปรหลัก ในการพิจารณาประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้งานรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเข้าสู่ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก การดูดกลืนหรือการสูญเสียของคลื่นความถี่และกำลังงานที่ต้องใช้ เป็นต้น โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของ คลื่นวิทยุ เนื่องจากเป็นสิ่งที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นให้เหมาะสมกับค่าไดอิเล็กตริกที่ตัวกลางต่าง ๆ ซึ่งคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกนั้นจะสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นค่าสภาพยอมเชิงซ้อน (Complex permittivity, ϵ^*) หรือที่เรียกว่า “ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกยังผล (dielectric constant)” ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.1)

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

เมื่อ ϵ'' คือ ปัจจัยในการสูญเสียยังผล (Dielectric loss factor) โดยสำหรับการพิจารณาค่าการสูญเสียนั้น จะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน และสามารถนิยามค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Loss tangent) ได้ดังสมการที่ (2.2)

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

โดยความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟที่สำคัญที่มีการใช้ในัจจุบันสำหรับการแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมอบแห้งนั้นจะใช้ย่านความถี่วิทยุในช่วง 1-50 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ 915 MHz และ 2450 MHz ซึ่งจะใช้หลักการหมุนของไดโพลเป็นกลไกการสูญเสียที่สำคัญดังสมการความสัมพันธ์ที่ (2.3)

$$\varepsilon'' = \varepsilon_d'' + \varepsilon_\sigma'' = \varepsilon_d'' + \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} \quad (2.3)$$

ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นสินค้าเกษตรส่วนใหญ่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานไมโครเวฟและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4) (Nelson 1996)

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \varepsilon'' \quad (2.4)$$

โดยที่ C_p คือ ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ($J/kg.K$)

ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3)

E คือ ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)

t คือ ระยะเวลา (s)

ΔT คือ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในวัสดุ ($^{\circ}C$)

f คือ ความถี่ (Hz)

สำหรับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟนั้นพลังงานจะลดลง $1/e$ ($e = 2.718$) ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางได้มากกว่าคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นวิทยุมีความถี่ต่ำและมีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นความถี่จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้น ๆ ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับเนื้อวัสดุที่ต้องการนำมาใช้งาน โดยสามารถพิจารณาได้จากการทะลุทะลวงคลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\varepsilon' \left[\sqrt{1 + (\varepsilon''/\varepsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (2.5)$$

โดยที่ d_p คือ ความลึกของการทะลุทะลวง

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

ฉะนั้นในการออกแบบสร้างเครื่องทำความร้อนเพื่อการฆ่าหนอนและไขผลไม้จะ ใช้สมการของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาดังสมการที่ (2.4) และความลึกของการเกิดความร้อน ที่เข้าไปในตัวหนอนและไขแมลงวันผลไม้ดังสมการที่ (2.5) เพื่อการพิจารณาเลือกความถี่วิทยุและ กำลังงานที่เหมาะสมในการออกแบบสร้างเครื่องฆ่าหนอนและไขแมลงวันผลไม้ ตัวกลางที่มีการ สูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่ง กลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทาง ไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในตัวกลางนั้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่ง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายใน ตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถ เกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า

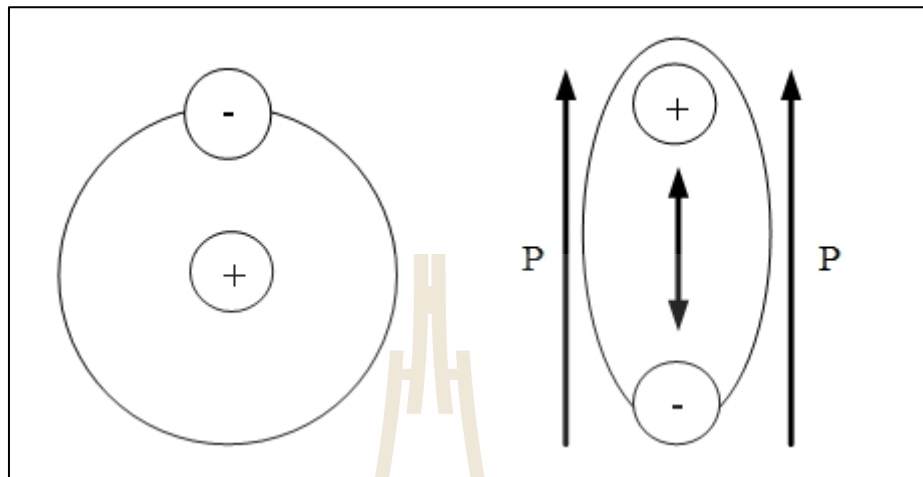
2.2.2 พื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก

1) โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) สามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการป้อนคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก การทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถ ของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อน สนามไฟฟ้าสลับ สนามไฟฟ้าสลับจะทำให้เกิดการโพลาไรซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามไฟฟ้าสลับ จะทำให้เกิดโพลาไรซ์ดังแสดงตามรูปที่ 2.8 และจะทำให้ไดโพลเกิดการหมุนไปตามคาบเวลาของ สนามไฟฟ้าที่ป้อนให้ การหมุนของไดโพลที่ทำให้เกิดความร้อนเกิดจากความเสียดทานหรือเกิดการสั่น พ้องภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) หรือโครงสร้างโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกสูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของ การทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำ เป็นองค์ประกอบ

ในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจาก ประจุบวกและประจุลบ ที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไป ภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล กลไกของการเกิดการแยกห่าง กันของประจุขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับตัวกลาง ไดอิเล็กตริก โดยสามารถแบ่งชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริกได้ 4 แบบใหญ่ ซึ่งใน แต่ละแบบ จะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน แต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบ ความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบกวนเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็ก ตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุบวกและประจุลบ โดยที่พลังงานสนามไฟฟ้า

สลับนี้ ความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ จะอธิบายการเกิดโพลาไรซ์ชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กตริก

การเกิดโพลาไรซ์แบบสเปซชาร์ต (Space charge polarization) การเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF โดยการเกิดโพลาไรซ์จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระโดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดโดยส่วนกีดขวาง เมื่อมีการบ่อนพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก อิเล็กตรอนจะไปสะสมบริเวณที่ส่วนกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน มีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาไรซ์

การเกิดโพลาไรซ์แบบการจัดเรียงไดโพล (Polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้ เกิดขึ้นที่ความถี่สูงมากเช่น ช่วงความถี่ไมโครเวฟ ซึ่งจะเกิดขึ้นในระดับโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก

การเกิดโพลาไรซ์แบบไอออนิก (Ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ย่านความถี่อินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล

การเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic polarization) การเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ที่ใกล้กับความถี่ของอัลตราไวโอเล็ต โดยนิวเคลียสของอะตอมซึ่งเป็นประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่บ่อนเข้ามา

2) ไดโพลโมเมนต์ที่ถูกดูดซึม

ในวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นแบบไม่มีขั้วภายในโมเลกุลก็จะมีไดโพลไฟฟ้าถาวร แต่จะสามารถเหนี่ยวนำโมเมนต์ได้โดยการทำให้โมเลกุลมีรูปร่างที่เปลี่ยนไปโดยการป้อนพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าไปยังไดอิเล็กตริก ความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์ (Polarizations, α') จะสามารถวัดได้จากการเหนี่ยวนำไดโพลโมเมนต์ของสนามไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$\mathbf{p} = \alpha' \mathbf{E}_{loc} \quad (2.6)$$

เมื่อ \mathbf{E}_{loc} คือ สนามไฟฟ้าภายใน

α' คือ ความสามารถในการเกิดโพลาไรซ์

จากสมการที่ (2.6) ถ้าสมมติให้มีโมเลกุลเป็น N โมเลกุลในหนึ่งหน่วยปริมาตร สามารถแสดงไดโพลโมเมนต์รวมได้ดังสมการที่ (2.7)

$$\mathbf{p} = N\alpha' \mathbf{E}_{loc} \quad (2.7)$$

หรือในรูปฟังก์ชันของการป้อนสนามไฟฟ้าสามารถได้ดังสมการ $\mathbf{P} = \chi \mathbf{E}$ เมื่อ χ คือ ความไว (Susceptibility) ของตัวกลางไดอิเล็กตริก

โดยค่าความไวของไดอิเล็กตริกในตัวกลางที่เป็นอากาศว่าง (free space) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.8)

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} \quad (2.8)$$

แต่ถ้าพิจารณาในวัสดุไดอิเล็กตริกจะแสดงได้ดังสมการที่ 2.9

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (2.9)$$

จากนั้นแทนค่าสมการที่ (2.8) ลงในสมการที่ (2.9) แล้วจัดรูปใหม่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.10

$$\mathbf{D} = (\epsilon_0 + \chi) \mathbf{E} \quad (2.10)$$

หรือ

$$\mathbf{D} = \epsilon' \mathbf{E} \quad (2.11)$$

ถ้า

$$\chi = \epsilon' - \epsilon_0 \quad (2.12)$$

สามารถหาค่าความไวสัมพัทธ์ (Relative susceptibility, χ_r) ได้ดัง สมการที่ (2.13)

$$\chi_r = \frac{\chi}{\epsilon_0} \quad (2.13)$$

เมื่อแทนค่าสมการสมการที่ (2.12) ลงในสมการ สมการที่ (2.13) แล้วจัดรูปใหม่สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\chi_r = \epsilon'_r - 1$$

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ'_r) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กตริกกับค่าความสามารถในการเกิดโพลาริเซชัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติของโมเลกุลเนื่องจากค่าของสนามไฟฟ้าภายในจะแตกต่างจากสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา แสดงได้ ดังสมการที่ (2.14) แต่ยกเว้นสำหรับกรณีของก๊าซความดันต่ำ (Low pressure gases)

$$\frac{N\alpha}{\epsilon_0} = \epsilon'_r - 1 \quad (2.14)$$

และนอกจากนี้สำหรับในตัวกลางอื่น ๆ จะสามารถแสดงค่าสนามไฟฟ้าภายในได้ดังสมการที่ (2.15)

$$E_{loc} = E + \frac{P}{3\epsilon_0} = E \left(1 + \frac{\chi}{3\epsilon_0} \right) = \frac{\epsilon' + 2\epsilon_0}{3\epsilon_0} E = \frac{\epsilon'_r + 2}{3} E \quad (2.15)$$

จากนั้นเมื่อแทนค่าสมการ (2.11) ลงในสมการ (2.2) จะเขียนสมการการเกิดโพลาริเซชันได้ดังนี้

$$P = N\alpha' \frac{\epsilon_r' + 2}{3} E \quad (2.16)$$

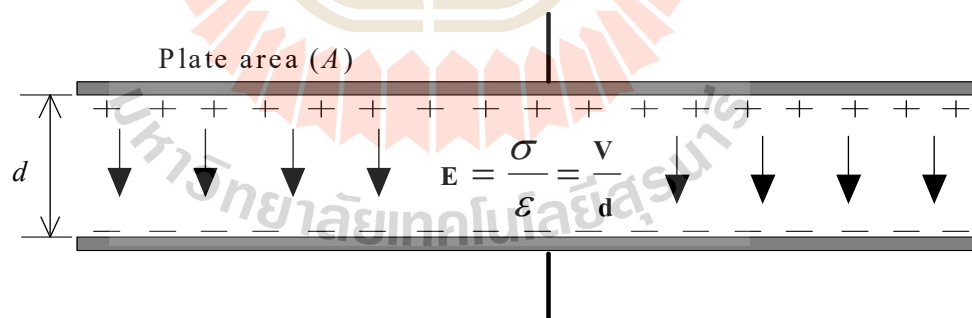
โดยจากสมการที่ (2.13) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ_r' กับ α' ได้ดังสมการที่ (2.17) ซึ่งเรียกความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.17) นี้ว่า สมการของ Clausius-Mosotti

$$\frac{N\alpha'}{3\epsilon_0} = \frac{\epsilon_r' - 1}{\epsilon_r' + 2} \quad (2.17)$$

2.2.3 หลักการพื้นฐานของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต

1) หลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า

การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 รูปแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต

จาก รูปที่ 2.10 เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต โดยสามารถออกแบบได้จากสมการที่ (2.18) ดังนี้

$$C = \frac{k\epsilon_0 A}{d} \quad (2.18)$$

โดยที่ k คือ ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุไดอิเล็กตริกที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลต

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลต (m^2)

ϵ_0 คือ 8.854×10^{-12} F/m

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต (m)

ลักษณะของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีการกระจายตัวจากแรงดันที่ขั้วบวกไปยังขั้วลบของแผ่นเพลต โดยความเข้มสนามไฟฟ้า E ที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลตสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.19)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{V}{d} \quad (2.19)$$

โดยที่ ϵ คือ ค่าความซึมซาบได้ของแผ่นเพลต

V คือ แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต

d คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต

σ คือ ค่าความนำของวัสดุไดอิเล็กตริก

โดยตัวแปรหลักที่ใช้ในการพิจารณาความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้น ประกอบด้วย แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต (V) และ ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต (d) ดังนั้นการวิเคราะห์แรงดันที่ตกคร่อมระหว่างแผ่นเพลต จึงเป็นส่วนสำคัญสำหรับการพิจารณา เพื่อทราบถึงความเข้มของสนามไฟฟ้า และนำไปสู่การวิเคราะห์การให้ความร้อนต่อวัสดุไดอิเล็กตริกต่อไป

2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่ได้กล่าวมาในบทนี้ ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสม รูปแบบของการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม การศึกษาช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก แหล่งจ่ายกำลังงานที่เหมาะสม ซึ่งได้ยกตัวอย่างให้ความร้อนกับหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ พบว่า ความถี่ใช้งานที่เหมาะสมอยู่ในย่านความถี่วิทยุ และใช้ลักษณะของตัวสร้างสนามไฟฟ้าเป็นแบบสี่เหลี่ยมเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกในกลุ่มของหนอนและไข่แมลงวันในผลไม้สด ที่อยู่ในศัตวรรษเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และใช้การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงาน ด้วยอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ โดยการวิเคราะห์ถึงการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและการใช้กำลังงานที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอต่อไป

บทที่ 3

การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่า หนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด

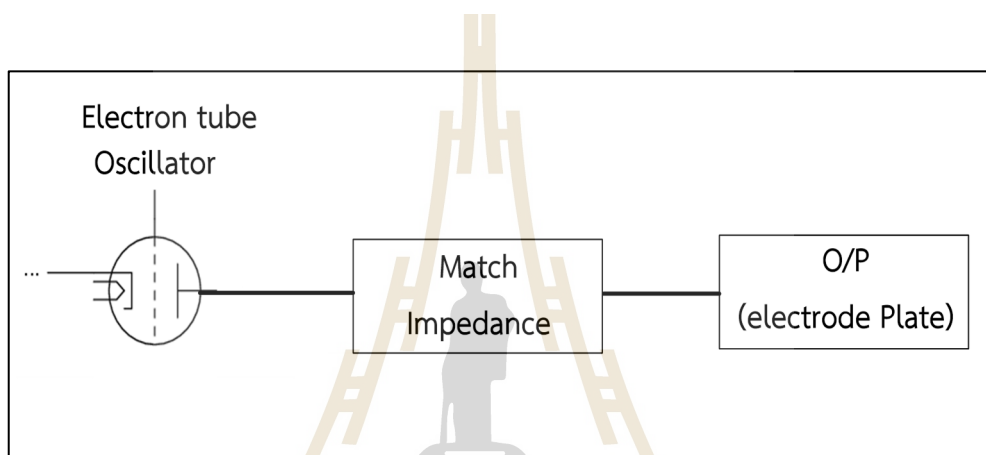
การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก ในโครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อการออกแบบเครื่องสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วง โดยระบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือชุดแหล่งจ่ายกำลังงาน ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่และขยายกำลังงาน สูง และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นภาคส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับ ฆ่าหนอนและไข่แมลงวัน โดยแต่ละภาคส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบท ที่ 2 เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดของการ ออกแบบอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวัน ผลไม้ในมะม่วง

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าบนตัวสร้างสนามไฟฟ้า แบบแผ่นเพลต สำหรับให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก โดยได้วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาด ของตัวสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม และทดสอบกับไดอิเล็กตริกของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ที่อยู่ ในมะม่วง ซึ่งใช้หนอนในมะม่วงเป็นไดอิเล็กตัวอย่างในการวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก เพื่อ พิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยระบบของการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ประกอบด้วย วงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน (Power source) และภาควงจรให้ความร้อนไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) ในส่วนของวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน ใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์กำลังงานสูง สำหรับกำเนิดสัญญาณและขยายสัญญาณและภาควงจรให้ความร้อนในช่วงจรแมตซ์ซิง RLC เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก่อนที่จะส่งกำลังงานไปยังภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกต่อไป โดย บล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งส่วนสำคัญที่เป็นส่วนให้พลังงานความร้อนคือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายคลื่น สนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีผลต่อการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกและให้มีความเหมาะสมกับการใช้ งานจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ โดยในบทนี้ได้พิจารณาถึงการวิเคราะห์และการออกแบบลักษณะ

การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก เพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการโดยใช้การคำนวณจากสมการในบทที่ 2

อัตราการเกิดพลังงานในไดอิเล็กตริก เพื่อนำมาสู่การหาอัตราของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ และพลังงานที่เหมาะสมต่อการเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลต และนำมาสู่การจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อวิเคราะห์ถึงการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าที่กระจายตัวให้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งได้พิจารณาถึง ขนาดกำลังงานที่ใช้ และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดต่อขนาดพื้นที่การให้ความร้อน



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมส่วนประกอบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับ
ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้

3.1.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กตริก โดยสามารถพิจารณาจากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของวัสดุไดอิเล็กตริกได้ วัสดุไดอิเล็กตริกจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเล็กตริกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

$$P = \rho c \frac{\Delta T}{\Delta t} \quad (3.1)$$

เมื่อทราบถึงพลังงานที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดอิเล็กตริก จึงสามารถนำมาสู่การคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

$$E_{loc} = \sqrt{\frac{P}{5.563 \times 10^{-11} f \epsilon}} \quad (3.2)$$

3.1.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นที่นอนแมลงวันในมะม่วง

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งมะม่วงเป็นไดอิเล็กตริกในการให้ความร้อนเพื่อไว้ใช้เปรียบเทียบกับการวัดทดสอบผล หากพิจารณาจากสมการที่ (3.1) และสมการ (3.2) (Nelson., 1996) จะเห็นว่าจะต้องทราบค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในโพลไดอิเล็กตริกที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับเวลา ซึ่งเมื่อทราบถึงค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในโพลไดอิเล็กตริกแล้วก็จะสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้วัสดุไดอิเล็กตริกเกิดความร้อน ในงานวิจัยนี้ใช้มะม่วงซึ่งมีค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกประมาณ 185 และนอนมะม่วงมีค่าการสูญเสียทางไดอิเล็กตริกประมาณ 248 ที่ความถี่ 40 MHz เป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยสามารถคำนวณและแสดงผลได้ดังนี้

โดยให้อุณหภูมิเริ่มต้นของมะม่วงและนอนแมลงวันอยู่ที่ 28 °C อุณหภูมิที่ต้องการคือ 50 °C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่ทำให้นอนตาย และคำนวณ ณ เวลาใด ๆ เมื่อคำนึงถึงวัสดุไดอิเล็กตริกที่ใช้คือมะม่วงที่บรรจุในภาชนะสำหรับทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับนอนซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามาก ดังนั้นในการคำนวณจึงจะคำนวณค่าต่าง ๆ เป็นของมะม่วงทั้งหมด อุณหภูมิที่ต้องการให้เกิดขึ้นที่มะม่วงก็คือ 50 °C หากมะม่วงมีอุณหภูมิดังกล่าวนอนแมลงวันก็จะได้รับการแผ่ความร้อนจากมะม่วงและทำให้นอนแมลงวันตายได้ ค่าของพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงโดยคิดที่ปริมาตรมะม่วงในถาดเพื่อการทดลอง มีความกว้าง 32 cm ยาว 40 cm และสูง 10 cm คิดเป็นปริมาตรได้ 0.0128 m³ ทำการคำนวณ ณ เวลาต่าง ๆ จะได้ค่าตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงทั้งภาค ณ เวลาใดๆ

เวลา(s)	พลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วง (kW)
60	16.95
120	8.48
180	5.65
240	4.24
300	3.39
360	2.83
420	2.42
480	2.12
540	1.89
600	1.70
660	1.54
720	1.41
780	1.30
840	1.21
900	1.13
960	1.06
1,020	0.98
1,080	0.94
1,140	0.89
1,200	0.85

จากตารางที่ (3.1) แสดงค่าพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงทั้งภาคที่ทำให้หนอนและไข่แมลงวัน ณ เวลาใด ๆ ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าอัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วง ในเวลาตั้งแต่ 60 วินาที ถึง 1200 วินาที จากการคำนวณโดยสมการที่ 3.1 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้หนอนและไข่แมลงวันตายเร็วต้องให้พลังงานที่เกิดขึ้นที่มะม่วงมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้หนอนและไข่แมลงวันตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้พลังงานน้อยลงด้วย

3.1.3 การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดความร้อนในมะม่วง

เมื่อได้ค่าความพลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงของแต่ละช่วงเวลา จึงสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในมะม่วงที่ทำให้หนอนตายจะต้องใช้ทั้งหมด โดยใช้สมการที่ (3.2) ในการพิจารณา ซึ่งจะเห็นว่าในสมการที่ (3.2) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกสองตัวคือ ช่วงความถี่ที่ใช้งานและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) โดยจากปริศวรรณกรรม ในงานวิจัยของ (M.E. Sosa-Morales 2009) ได้นำเสนอช่วงความถี่ที่เหมาะสมและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกของมะม่วงไว้ โดยทำการวัดค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกที่ความถี่ 14 , 27 , 40 และ 915 MHz ซึ่งมีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกโดยเฉลี่ยประมาณ 189.5 ซึ่งจากสมการที่ (3.1) สามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส พลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วงและแมลงวันเท่ากับ 1.70 กิโลวัตต์ ที่เวลา 10 นาที เมื่อคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาตรของมะม่วง จึงได้เท่ากับ 63.47 V/m และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 นาที ถึง 20 นาทีสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้หนอนและไข่แมลงวันตาย ณ เวลาใด ๆ

เวลา(s)	พลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วง (kW)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
60	16.95	200.41
120	8.48	141.76
180	5.65	115.71
240	4.24	100.24
300	3.39	89.63
360	2.83	81.89
420	2.42	75.73
480	2.12	70.88
540	1.89	66.92
600	1.70	63.47
660	1.54	60.41
720	1.41	57.80
780	1.30	55.50
840	1.21	53.55

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้หนอนและไข่แมลงวันตาย ณ เวลาใด ๆ (ต่อ)

เวลา(s)	พลังงานที่เกิดขึ้นในมะม่วง (kW)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
900	1.13	51.75
960	1.06	50.12
1,020	0.98	48.19
1,080	0.94	47.20
1,140	0.89	45.92
1,200	0.85	44.88

จากตารางที่ 3.2 แสดงการคำนวณหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้หนอนและไข่แมลงวันในมะม่วงตาย ในเวลาตั้งแต่ 1 นาที ถึง 20 นาที ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้หนอนและไข่แมลงวันตายเร็วต้องให้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวหนอนแมลงวันมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้หนอนแมลงวันตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยลงด้วย

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบวงจรภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด

สำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก จะสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่นหรืออิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเข้าคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุร้อนอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางนั้น ๆ จากสถานะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้นซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจาก การกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น โดยตำแหน่งอื่นที่ทำให้เกิดการโพลาไรซ์จากประจุที่บริเวณผิวของตัวกลางที่แตกต่างกับประจุไฟฟ้าในอากาศ หรือการโพลาไรซ์ของแมกซ์เวลล์เนอร์ (Maxwell-

wagner polarisation) โครงสร้างของการโพลาริซชันของแมกเนตโดยเป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาริซชันที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ชั่ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่สูง

การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กทริกดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กทริก ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ความร้อนมากที่สุด เพื่อทราบถึงประสิทธิผลการแผ่กระจายและนำมาออกแบบระบบการให้ความร้อนด้วยความถี่วิทยุให้มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่ง พบว่าผลของการแผ่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อค่าสภาพนำทางไฟฟ้าของวัสดุแต่ละชนิด และวัสดุที่ใช้ในการพิจารณาคูณลักษณะของการแผ่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้น ได้เลือกใช้วัสดุที่มี ค่าตัวแปรของสภาพนำทางไฟฟ้าและตัวแปรของค่าความซึมซาบได้ โดยวัสดุที่เลือกใช้ได้แก่ ทองแดง (Cu) อลูมิเนียม (Al) วัสดุเหล็กโครงสร้าง (Fe) และเหล็กกล้าไร้สนิม (SST) จากผล การศึกษาพบว่าวัสดุที่เป็นทองแดง ซึ่งมีค่าสภาพนำทางไฟฟ้าเท่ากับ $59.6 \times 10^6 \text{ S/m}$ เมื่อเทียบกับ ค่าสภาพนำทางไฟฟ้าของวัสดุอื่นที่มีค่าที่น้อยกว่า ทำให้วัสดุที่เป็นทองแดงสามารถแผ่กระจาย ของสนามไฟฟ้าได้ดีที่สุด แต่ทองแดงมีราคาที่สูง ดังนั้นจึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียม ที่มีค่าความซึมซาบเท่ากับทองแดง และค่าสภาพนำทางไฟฟ้าที่ยอมรับได้ในการออกแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต และจะใช้ทดแทนทองแดงที่มีราคาสูง โดยที่ค่าสภาพนำทางไฟฟ้าและ ค่าความซึมซาบได้ของวัสดุแต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 3.3 คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของวัสดุต่าง ๆ

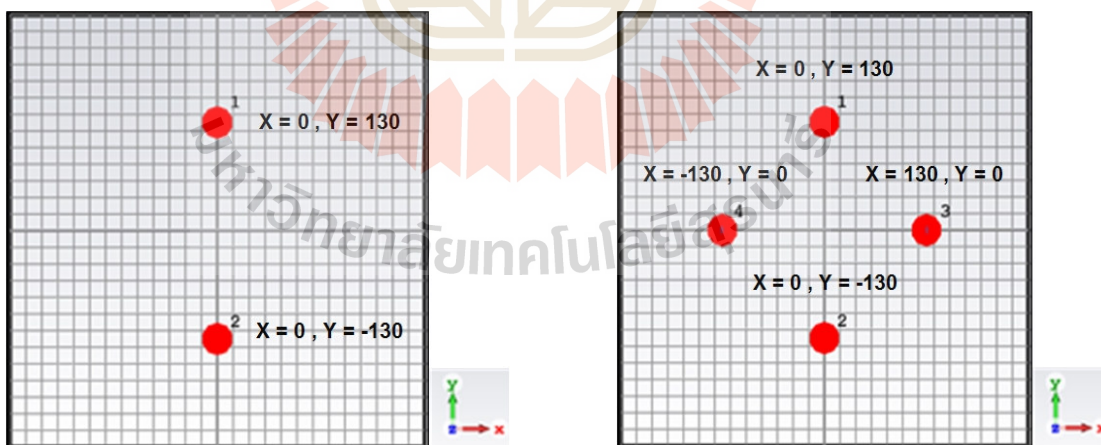
ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่เลือกมาทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิผลการแผ่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า

ชนิดวัสดุ	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

โดยสามารถพิจารณาการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตในหัวข้อต่อไป

3.2.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างที่มีโหลดไดอิเล็กตริก เนื่องจากงานวิจัยได้ใช้โหลดไดอิเล็กตริกที่มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมจตุรัสโดยแผ่นเพลตเลือกใช้วัสดุที่ทำจากอลูมิเนียม ซึ่งการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตจะต้องออกแบบให้มีขนาดเหมาะสม โดยทำการออกแบบจากขนาดจริงของมะม่วง ซึ่งมีขนาดความหนา 7 cm ยาว 14 cm น้ำหนักมะม่วง 380 จำลองการให้ความร้อนครั้งละ 15 ผล คิดเป็นน้ำหนักรวมประมาณ 5.7 kg เมื่อทำการคำนวณการพื้นที่เพลตแผ่นเพลตสำหรับให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก(มะม่วง) พบว่าผู้วิจัยต้องใช้แผ่นเพลตที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 52 cm ความยาวเท่ากับ 52 cm และความหนาเท่ากับ 5 mm เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลอง สำหรับงานวิจัยนี้ การจำลองเพื่อดูลักษณะการกระจายของคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจะรู้ถึงการกระจายตัวของคลื่นให้ครอบคลุมวัสดุไดอิเล็กตริกได้ทั้งหมดในการจำลองการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าได้ใช้โปรแกรม CST EM STUDIO โดยในการจำลองได้กำหนดความถี่ที่ใช้ในการจำลอง 39 MHz ความยาวคลื่นเท่ากับ 7.7 m จำนวนกริดเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณ 500,000 กริด ใช้เวลาในการคำนวณ 20 นาที กำหนดพอร์ตสัญญาณเป็นแบบ Discrete Port โดยจะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 แบบหลักโดยแบ่งตามจำนวนจุดป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลต แสดงดังรูปที่ 3.2



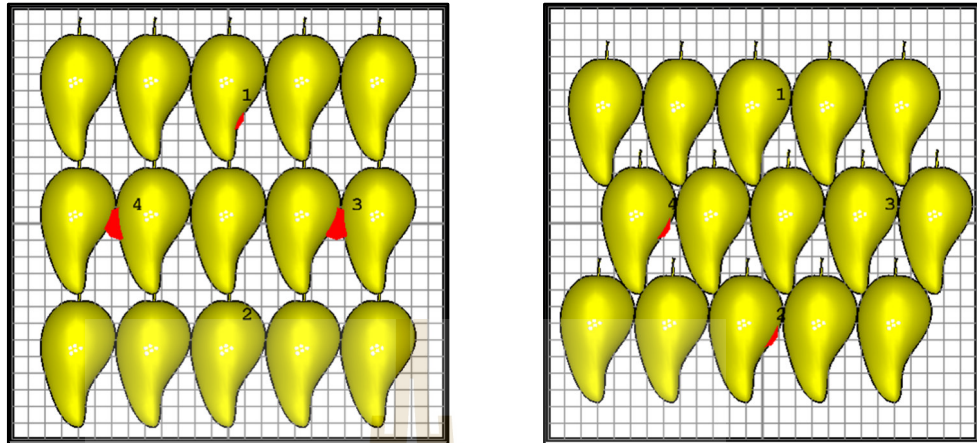
(ก) จุดป้อนกำลังงาน 2 จุด

(ข) จุดป้อนกำลังงาน 4 จุด

รูปที่ 3.2 จำนวนจุดป้อนกำลังงาน

และทำการจำลองการวางมะม่วงเต็มเพลต 2 แบบด้วยกัน คือ วางมะม่วงเต็มเพลตชิดเรียงตามแนวตรงและวางมะม่วงเต็มเพลตแบบสลับฟันปลา แสดงดังรูปที่ 3.3 ซึ่งกำหนดระยะ

เพลดห่างจากผิวมะม่วง 3 ระยะด้วยกัน คือ 1 , 2 , 3 เซนติเมตร เพื่อหาระยะที่ดีที่สุดในการออกแบบเครื่อง

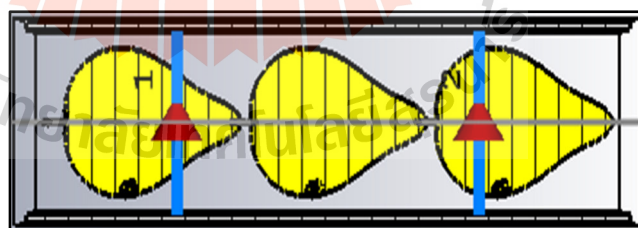


(ก) มะม่วงเต็มเพลดวางชิดกันเรียงกันตามแนวตั้ง (ข) มะม่วงเต็มเพลดวางสลับฟันปลา
รูปที่ 3.3 รูปแบบการวางมะม่วงสำหรับการจำลองการกระจายสนามไฟฟ้า

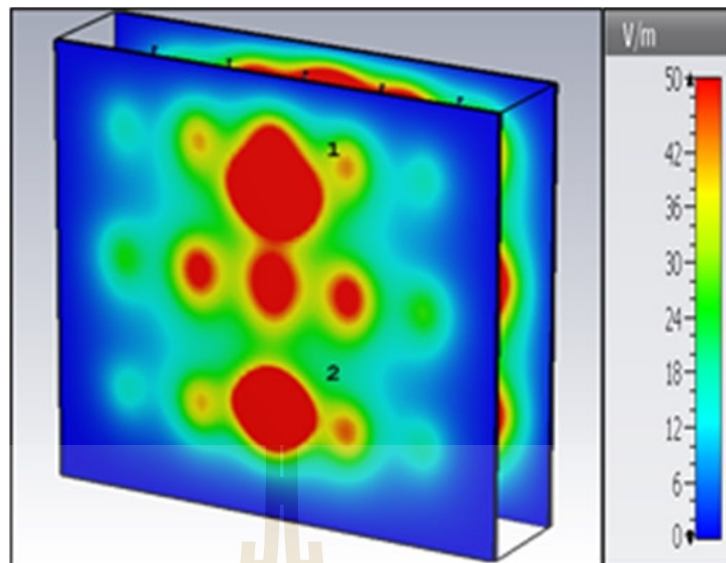
การป้อนจุดกำลังงาน 2 จุด

การจำลองมะม่วงเต็มเพลดวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง 2 จุดกำลังงาน

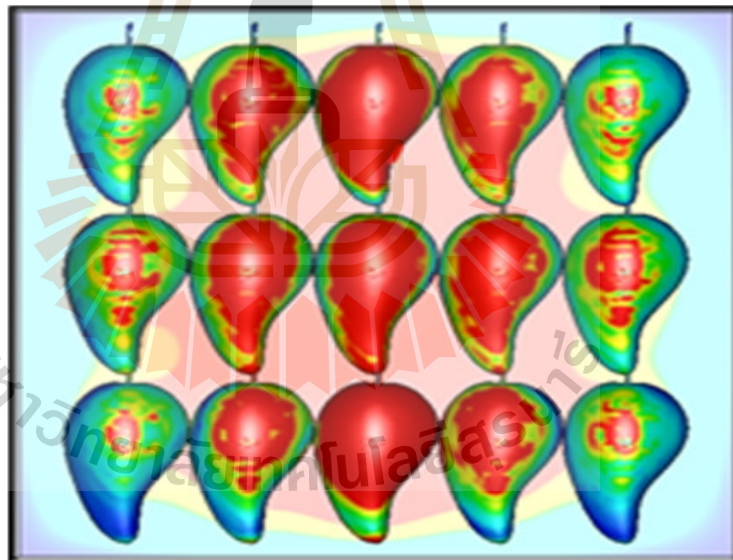
- 1) มะม่วงเต็มเพลดวางชิดกันเรียงกันตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลดกับผลมะม่วงเท่ากับ 1 เซนติเมตร



(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเพลดวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า
ของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



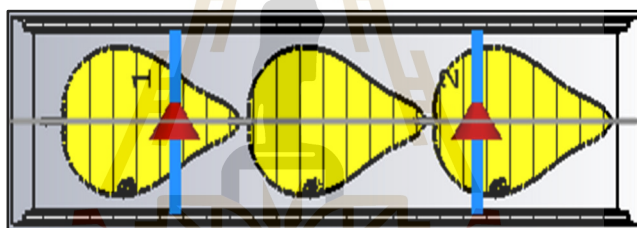
(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่หลอดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.4 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร)

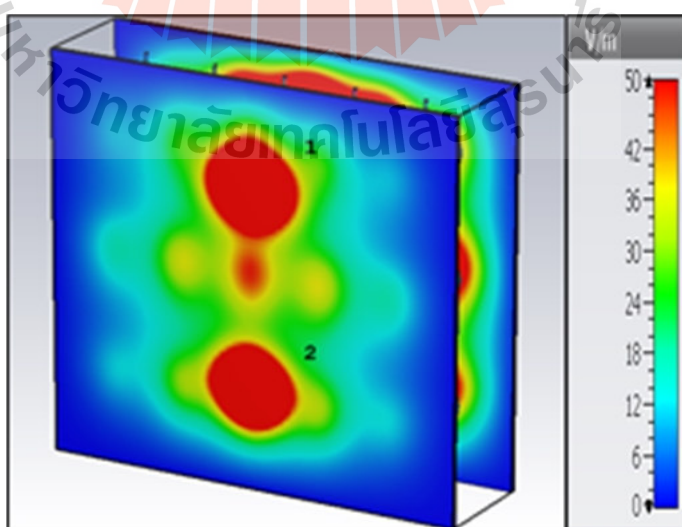
จากรูปที่ 3.4 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้งไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดย

ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.4 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหนดไดอิเล็กตริกมากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.4 (ค) จึงสามารถฆ่าหอนและไข่แมลงวันผลไม่ได้

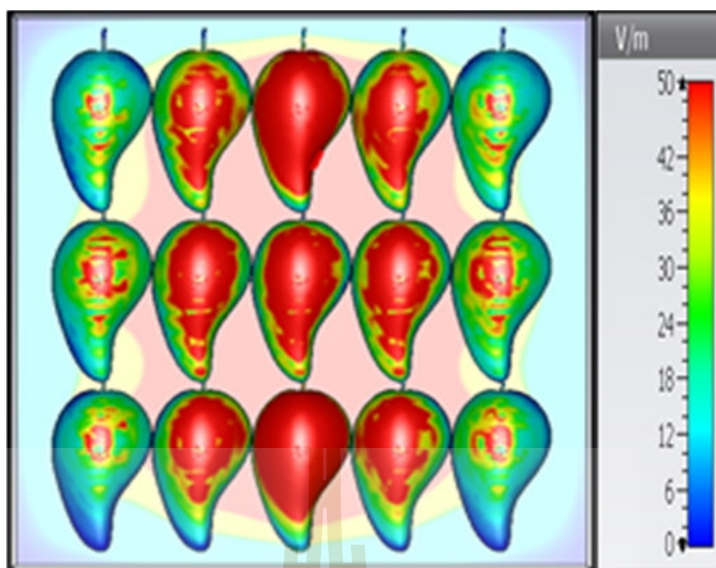
2) มะม่วงเต็มเพลตวางชิดเรียงกันตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตกับผลมะม่วงเท่ากับ 2 เซนติเมตร



(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดเรียงกันตามแนวตั้ง



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง

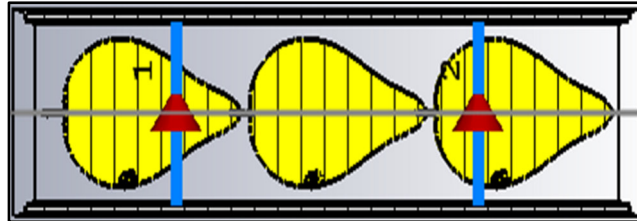


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์

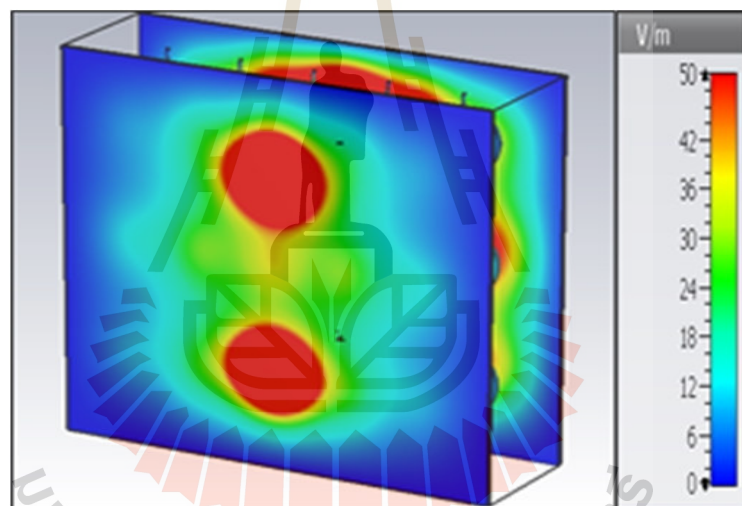
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร)

จากรูปที่ 3.5 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง ไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร ในขณะที่ยังคงระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.5 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหลดไดโอดอิเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.5 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม่ได้

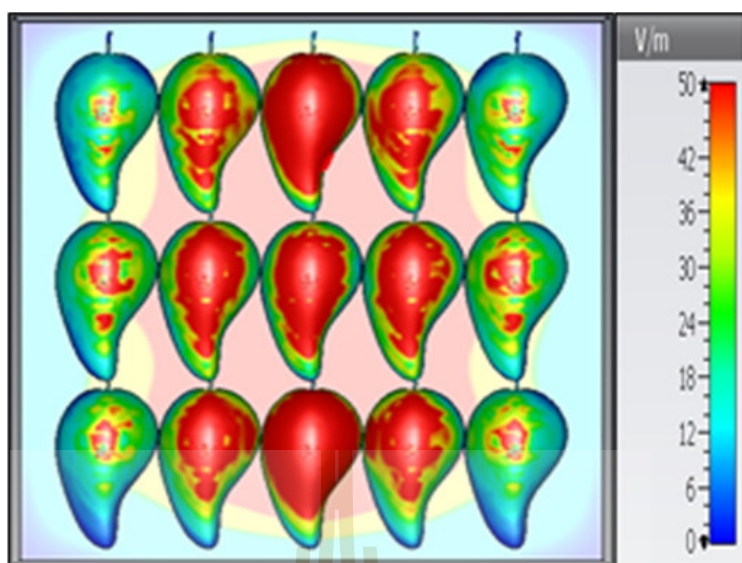
- 3) มะม่วงเต็มเพลดวางชิดเรียงกันตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตกับผลมะม่วงเท่ากับ 2 เซนติเมตร



- (ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเพลดวางชิดเรียงกันเรียงตามแนวตั้ง



- (ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลดวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



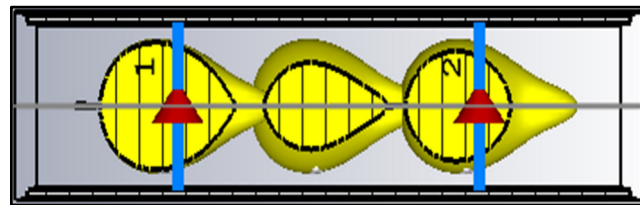
(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.6 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร)

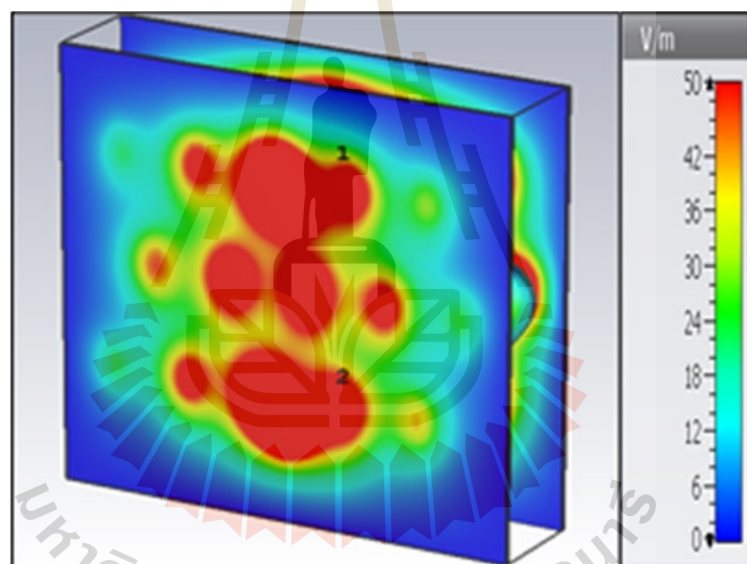
จากรูปที่ 3.6 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้งไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.6 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.6 (ค) จึงสามารถฆ่าหอนและไขแมลงวันผลไม้ได้

การจำลองมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา 2 จุดกำลังงาน

- 1) มะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับฟันปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 1 เซนติเมตร

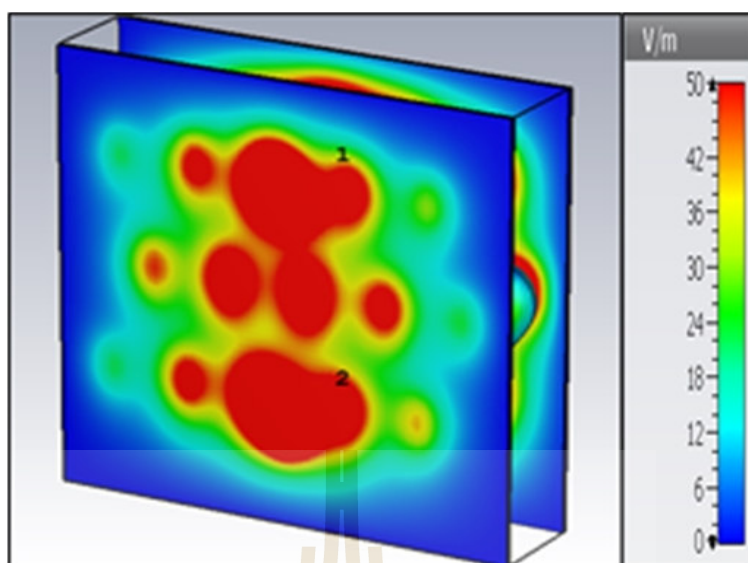


- (ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา



- (ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า
ของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา

รูปที่ 3.7 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร)

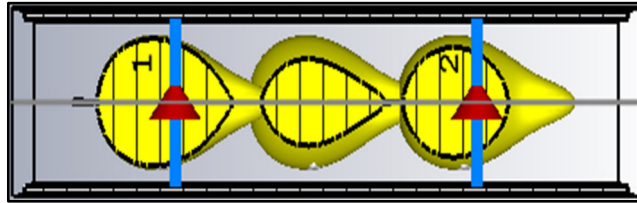


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โพลไดอิเล็กตริก

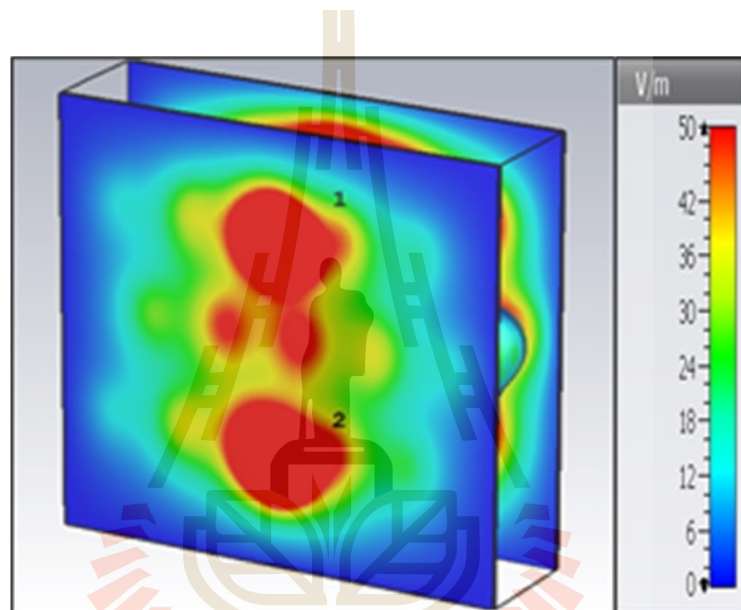
รูปที่ 3.7 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.7 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.7 (ข) จากรูปจะสังเกตได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โพลไดอิเล็กตริกมากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.7 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้

2) มะม่วงเต็มเฟลตแบบวางสลับฟันปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเฟลตเท่ากับ 2 เซนติเมตร

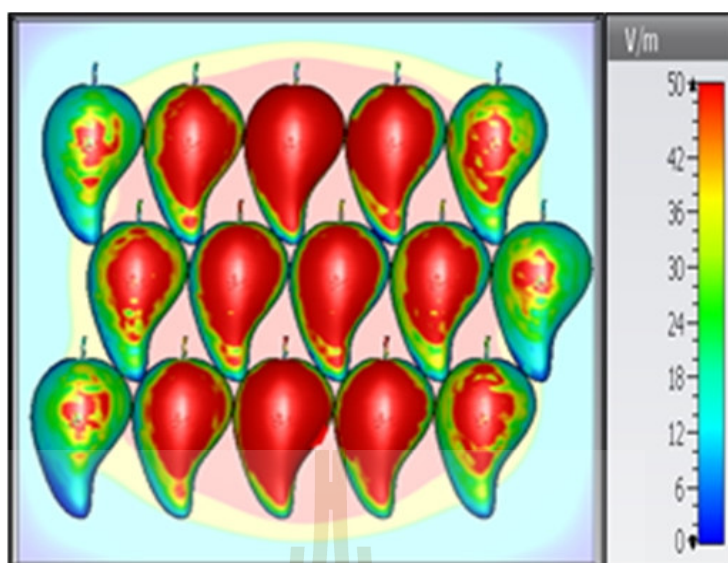


(ก) ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเฟลตวางสลับฟันปลา



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า
ของมะม่วงเต็มเฟลตวางสลับฟันปลา

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเฟลตวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร)

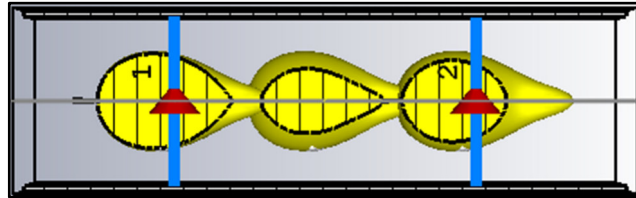


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหนดไดอิเล็กตริก

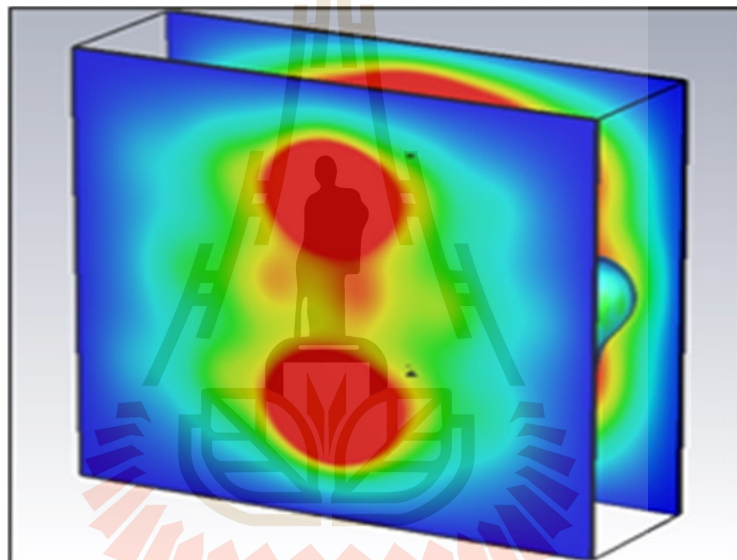
รูปที่ 3.8 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.8 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.8 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหนดไดอิเล็กตริกมากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.8 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไขแมลงวันผลไม่ได้

3) มะม่วงเต็มเฟลตแบบวางสลับฟันปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเฟลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

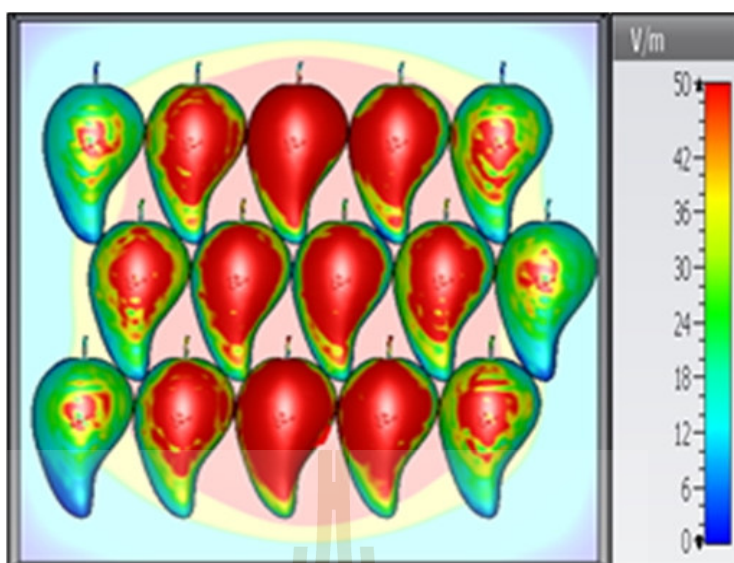


(ก) ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด ของมะม่วงเต็มเฟลตวางสลับฟันปลา



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า
ของมะม่วงเต็มเฟลตวางสลับฟันปลา

รูปที่ 3.9 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเฟลตแบบวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร)



(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

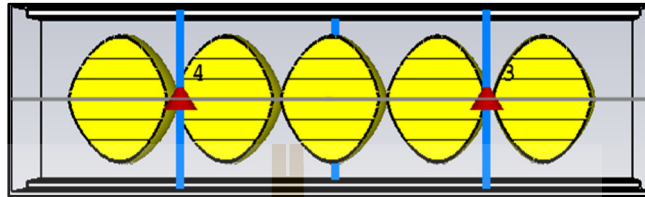
รูปที่ 3.9 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเฟลตแบบวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.9 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเฟลตแบบวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเฟลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเฟลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเฟลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเฟลตแบบ 2 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของ แกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.9 (ข) จากรูปจะสังเกตได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเฟลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเฟลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.9 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้

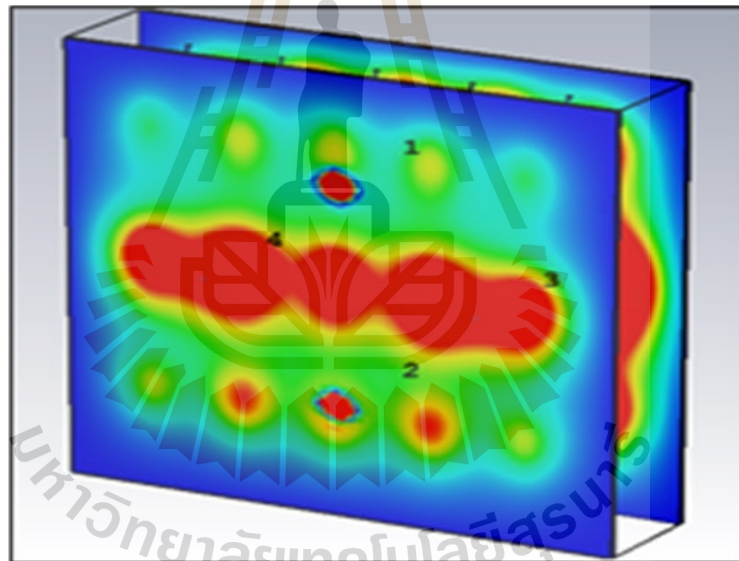
การป้อนจุดกำลังงาน 4 จุด

การจำลองมะม่วงเต็มเฟลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง 4 จุดกำลังงาน

- 1) มะม่วงเต็มเฟลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเฟลตเท่ากับ 1 เซนติเมตร

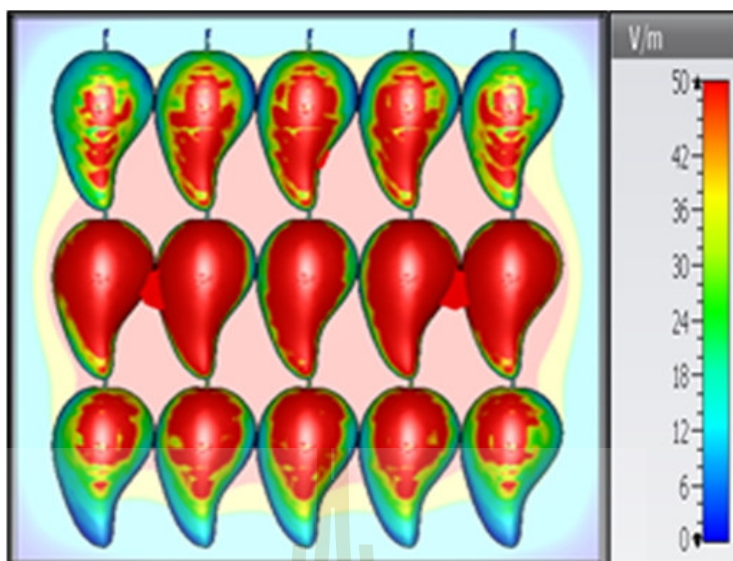


- (ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มเฟลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



- (ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเฟลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง

รูปที่ 3.10 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเฟลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร)

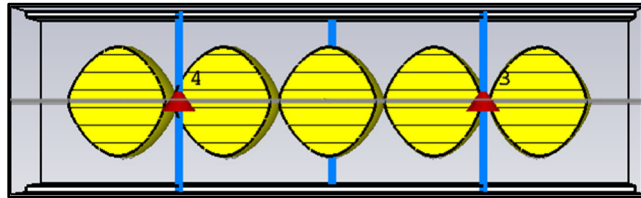


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โพลไดอิเล็กตริก

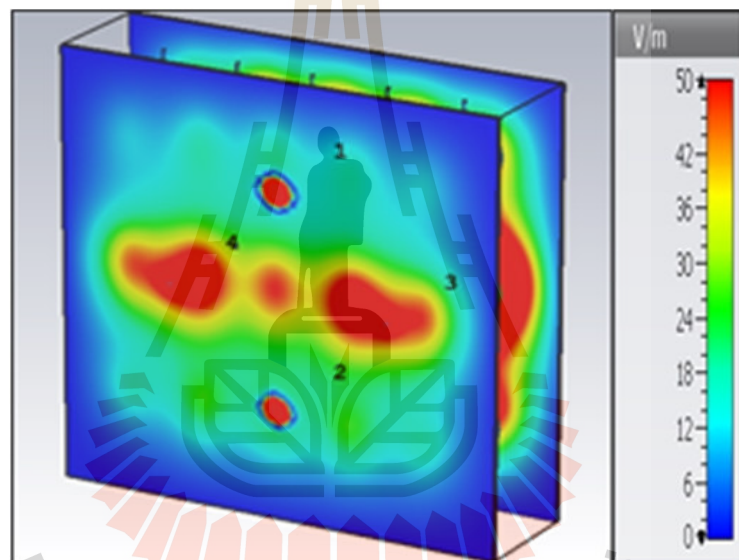
รูปที่ 3.10 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.10 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้งไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดบ่อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.10 (ข) จากรูปจะสังเกต ได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โพลไดอิเล็กตริกมากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.10 (ค) จึงสามารถฆ่าหอนและไขแมลงวันผลไม้ได้

- 2) มะม่วงเต็มผลแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 2 เซนติเมตร

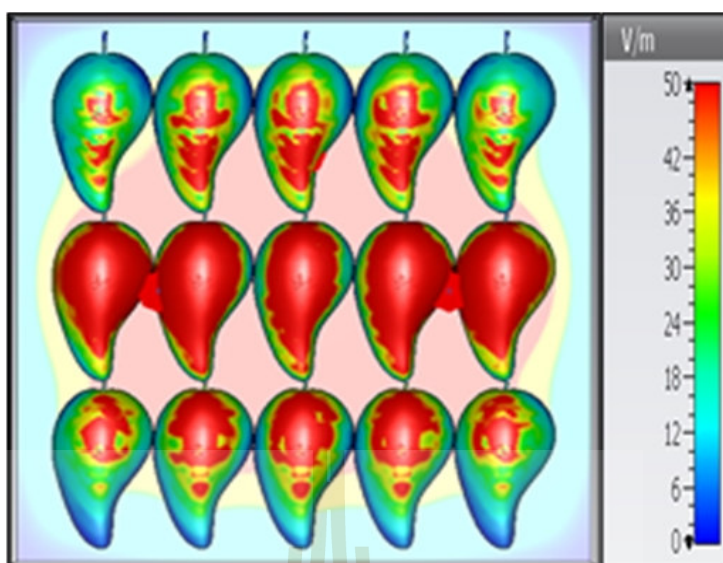


- (ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มผลวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



- (ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง

รูปที่ 3.11 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร)

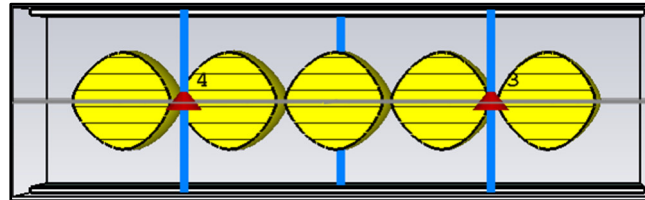


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

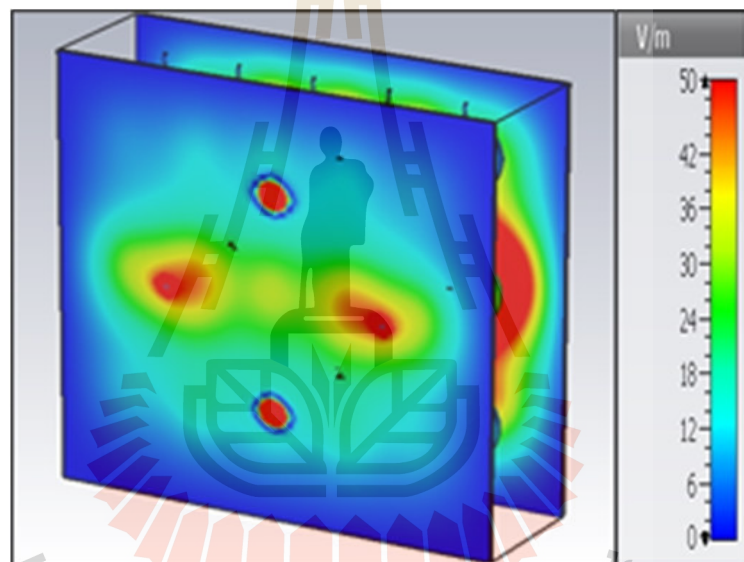
รูปที่ 3.11 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.11 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้งไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.11 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.11 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไขแมลงวันผลไม้ได้

- 3) มะม่วงเต็มผลแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

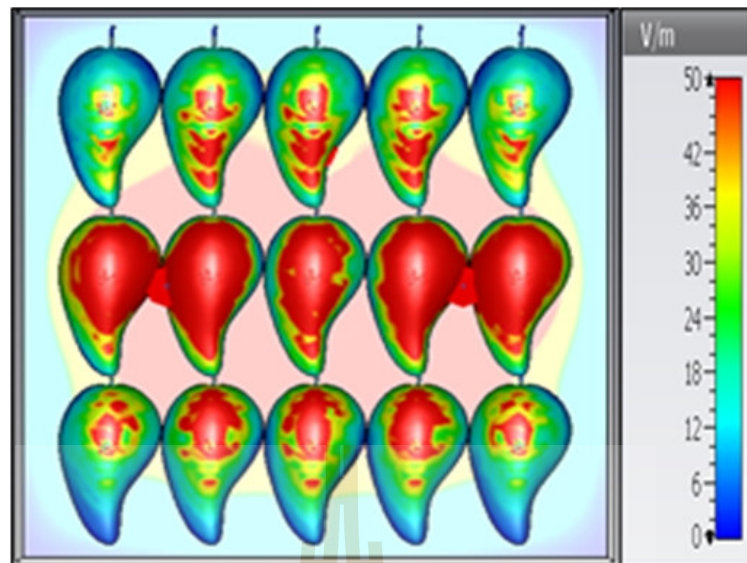


- (ก) ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มผลวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง



- (ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง

รูปที่ 3.12 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร)



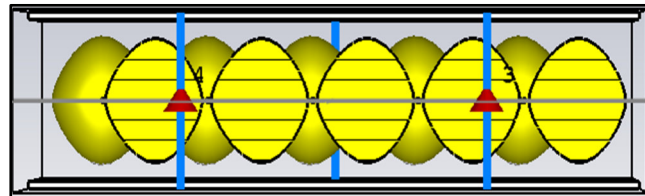
(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.12 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางชิดกันเรียงตามแนวตั้ง (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร) (ต่อ)

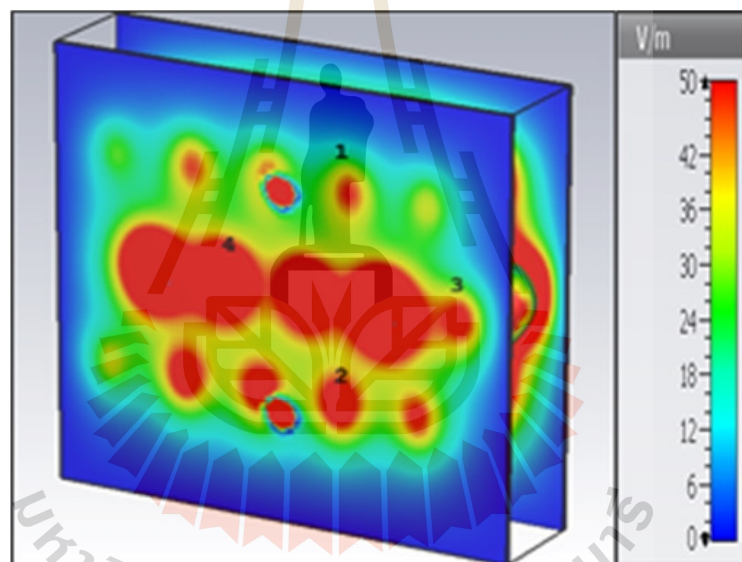
จากรูปที่ 3.12 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางชิดกันเรียงตามแนวตั้งไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.12 (ข) จากรูปจะสังเกตได้ว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.12 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้

การจำลองมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา 4 จุดกำลังงาน

1) มะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 1 เซนติเมตร

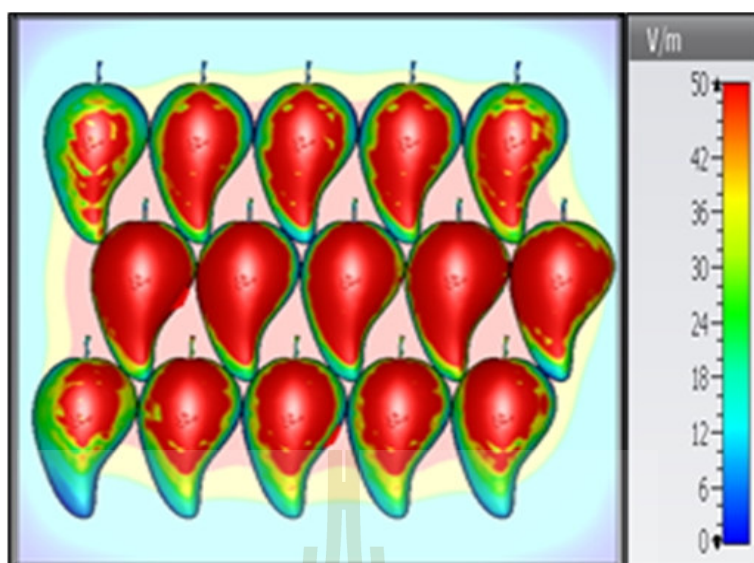


(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับฟันปลา



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า
ของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับฟันปลา

รูปที่ 3.13 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจาย
ของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร)

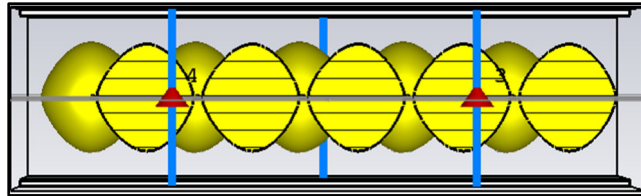


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

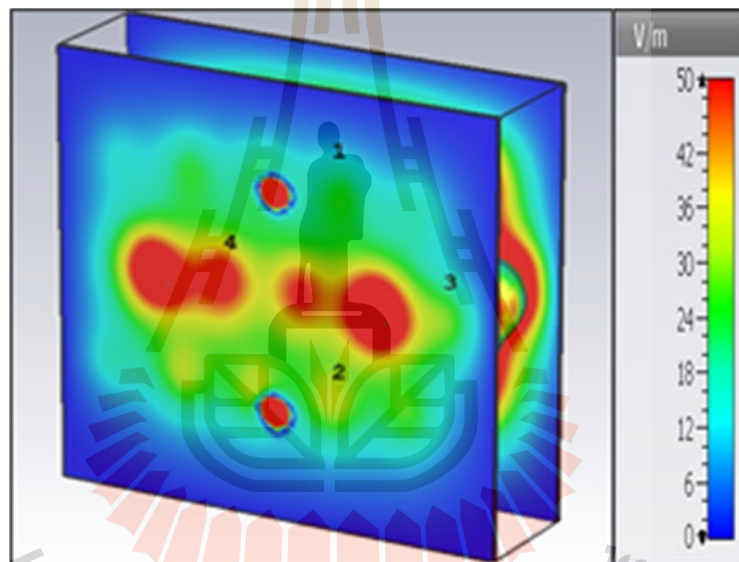
รูปที่ 3.13 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 1 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.13 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 1 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.13 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหนดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.13 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไขแมลงวันผลไม้ได้

2) มะม่วงเต็มผลตวางสลับฟันปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 2 เซนติเมตร

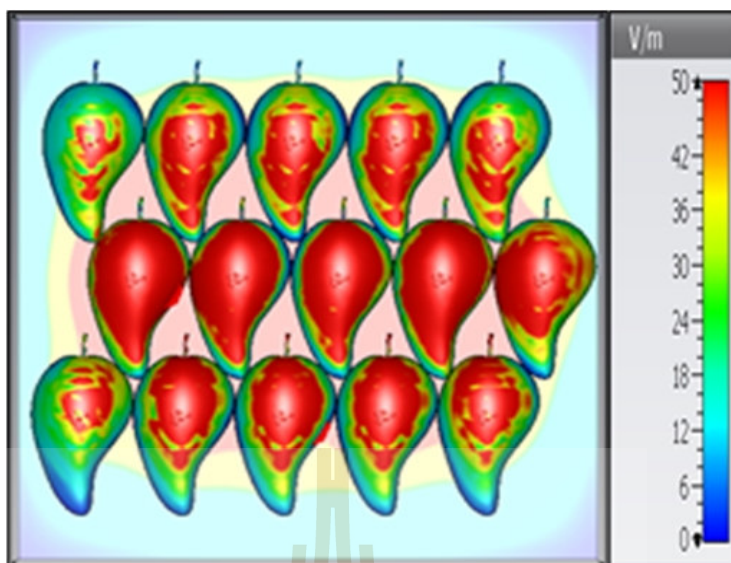


(ก) ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มผลตแบบวางสลับฟันปลา



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลตวางสลับฟันปลา

รูปที่ 3.14 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลตแบบวางสลับฟันปลา (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร)

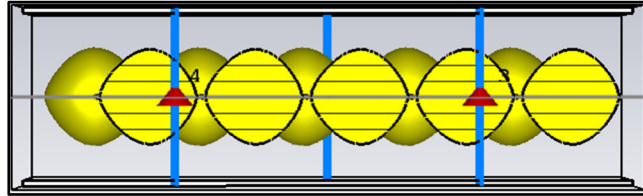


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โพลไดอิเล็กตริก

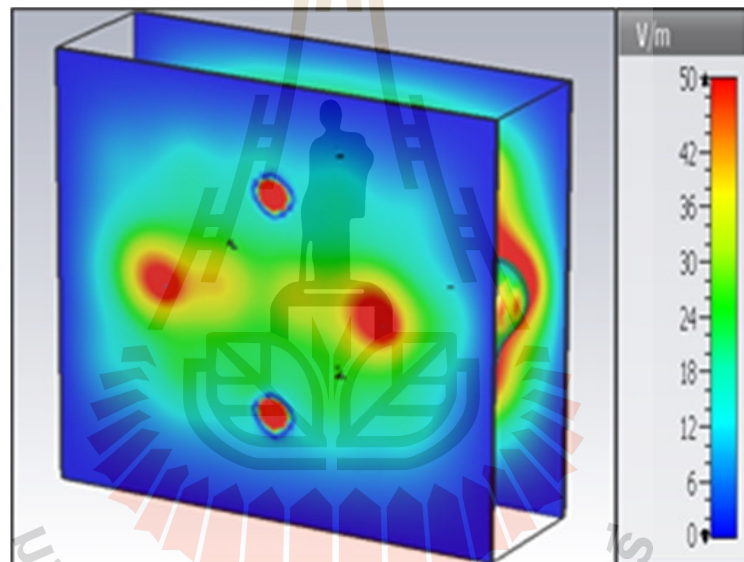
รูปที่ 3.14 ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 2 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.14 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของ แกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 50 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.14 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โพลไดอิเล็กตริกมากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.14 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้

3) มะม่วงเต็มผลตวางสลั้บฟ้ินปลา ที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

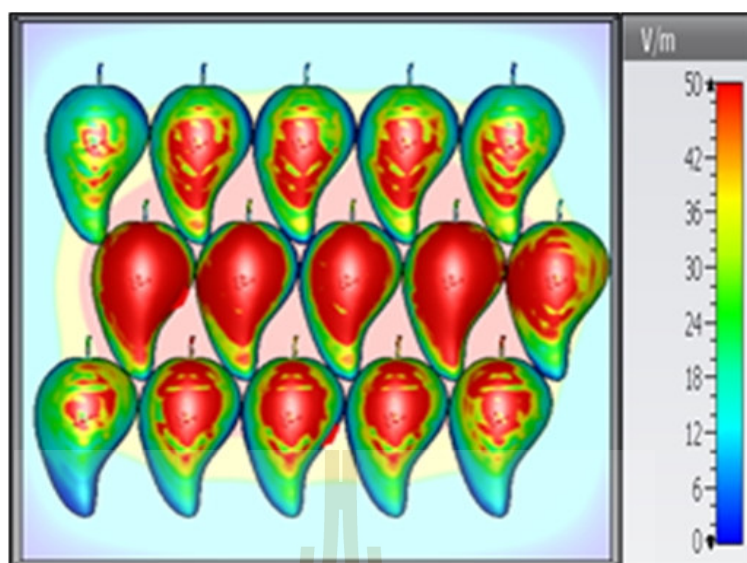


(ก) ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด ของมะม่วงเต็มผลตแบบวางสลั้บฟ้ินปลา



(ข) ผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลตวางสลั้บฟ้ินปลา

รูปที่ 3.15 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มผลตวางสลั้บฟ้ินปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร)

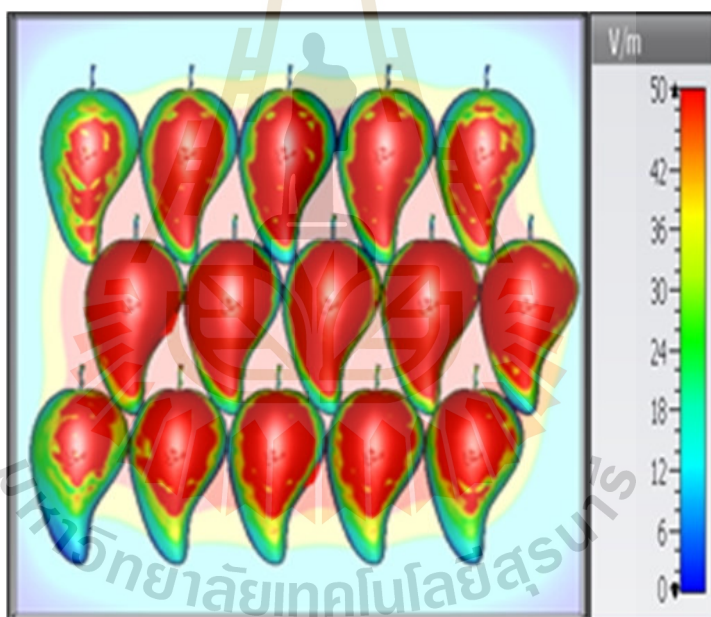


(ค) ผลการจำลองความเข้มสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์

รูปที่ 3.15 ตำแหน่งจุดบ่อนกำลังงานแบบ 4 จุด และผลการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้าของมะม่วงเต็มเพลตวางสลับพื้นปลา (ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตร) (ต่อ)

จากรูปที่ 3.15 (ก) ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบโดยการจัดวางมะม่วงเต็มเพลตแบบวางสลับพื้นปลาไว้ตรงกลางระหว่างแผ่นเพลตทั้งสอง ซึ่งสามารถวางมะม่วงได้ทั้งหมด 15 ลูก โดยระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านบนกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร ในขณะที่ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตด้านล่างกับมะม่วงจะห่างกันเป็นระยะ 3 เซนติเมตร เช่นเดียวกัน จากนั้นจะทำการกำหนดจุดบ่อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 4 จุด โดยตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 1 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = 0$ และแกน $Y = 130$ ตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 2 วางอยู่ในตำแหน่งของ แกน $X = 0$ และแกน $Y = -130$ ตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 3 วางอยู่ในตำแหน่งของ แกน $X = 130$ และแกน $Y = 0$ และตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานในจุดที่ 4 วางอยู่ในตำแหน่งของแกน $X = -130$ และแกน $Y = 0$ ลำดับต่อไปจะทำการจำลองการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ 5000 V/m ซึ่งผลการจำลองที่ได้จะเป็นดังรูปที่ 3.15 (ข) จากรูปจะสังเกตเห็นว่าการแพร่กระจายของคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่ไปเกือบทั่วทั้งพื้นที่ของ แผ่นเพลต แต่ยังคงเหลือบริเวณขอบของแผ่นเพลตที่มีค่าความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยกว่าบริเวณอื่น ๆ เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้าส่วนใหญ่ มีการแพร่กระจายความเข้มสนามไฟฟ้าลงสู่โหลดไดโอดีเล็กทรอนิกส์มากกว่ามะม่วงดังรูปที่ 3.15 (ค) จึงสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้

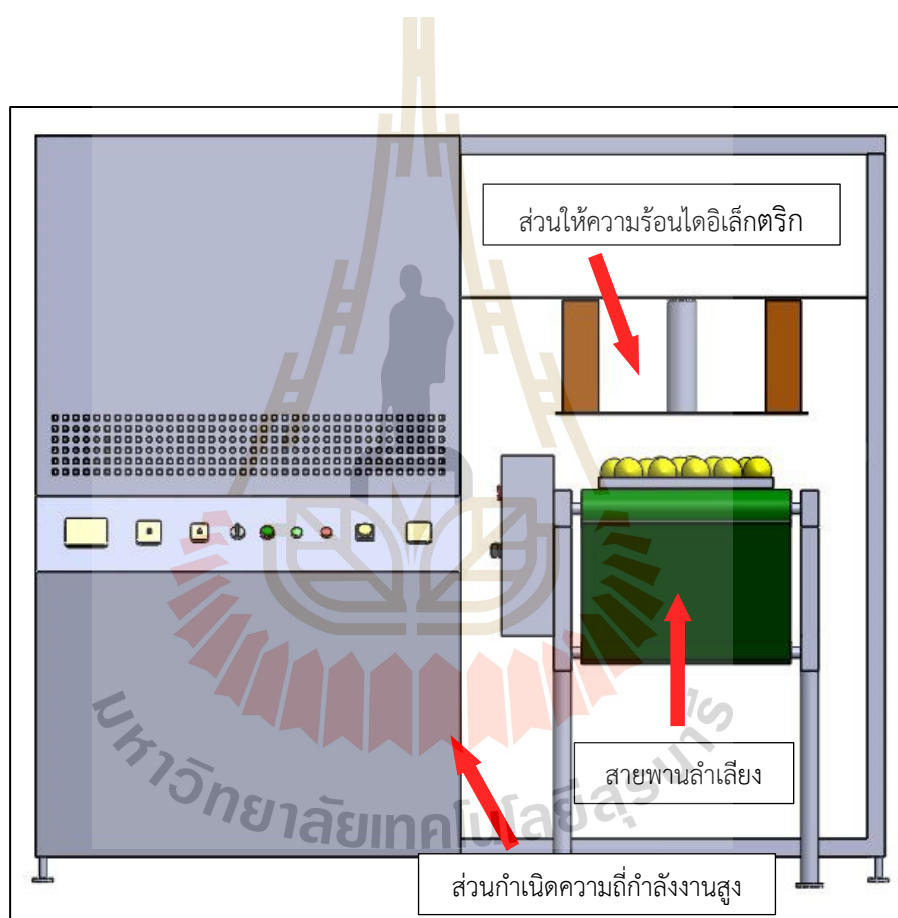
จากผลการจำลองการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยใช้โปรแกรม CST studio suite ทำการจำลองการวางมะม่วงเต็มเพลต 2 แบบด้วยกัน คือ 1) วางมะม่วงเต็มเพลตชิดเรียงตามแนวตรง 2) วางมะม่วงเต็มเพลตแบบสลับฟันปลา กำหนดจุดป้อนกำลังงาน 2 จุด และ 4 จุด และกำหนดระยะเพลตห่างจากผิวมะม่วง 3 ระยะด้วยกัน คือ 1 , 2 , 3 พบว่าผลการจำลองที่ใช้จุดป้อนกำลังงานแบบ 4 จุด มีความเข้มข้นไฟฟ้าและคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่กระจายลงสู่หลอดไดอิเล็กตริกและมะม่วงได้ดีกว่าผลการจำลองที่ใช้จุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด และพบว่าการจำลองการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกแบบวางมะม่วงเต็มเพลตสลับฟันปลาระยะห่างระหว่างมะม่วงกับแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร มีความเข้มข้นไฟฟ้าสูงที่สุดและคลื่นสนามไฟฟ้ามีการแพร่กระจายลงสู่หลอดไดอิเล็กตริกดีที่สุด เพราะมีการกระจายของสนามไฟฟ้าอย่างทั่วถึงและสมดุล แสดงดังรูปที่ 3.16 ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกออกแบบแผ่นเพลตตามการจำลองที่ดีที่สุดและสร้างเครื่องตามลำดับต่อไป



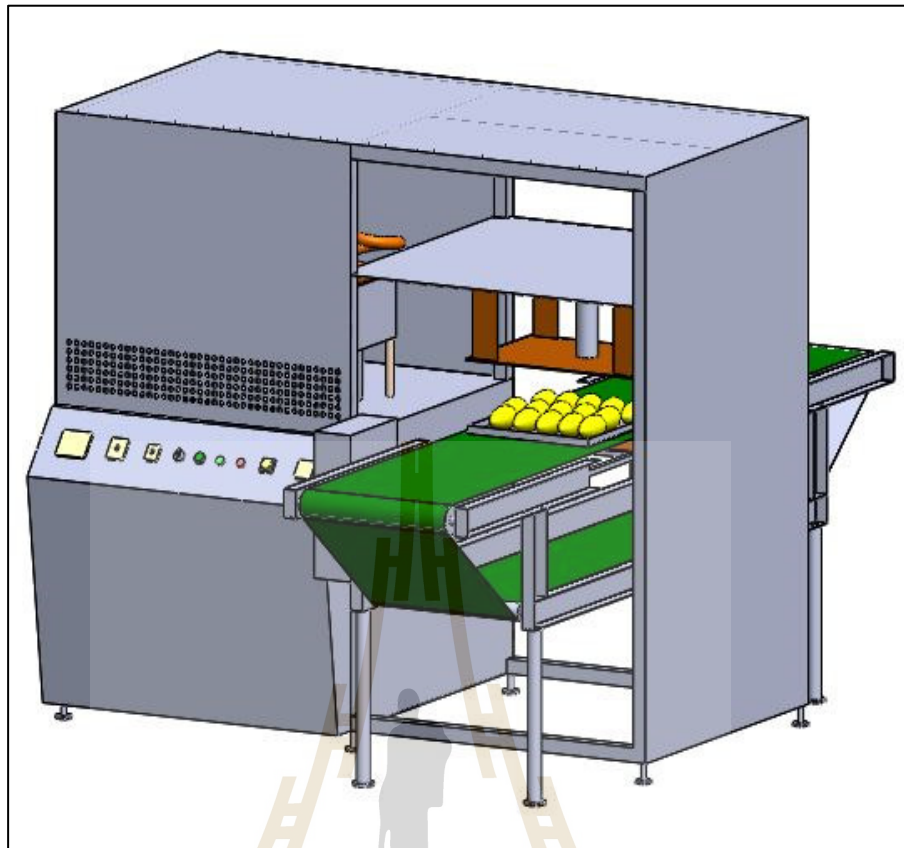
รูปที่ 3.16 ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่ดีที่สุดในการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วง

3.2.2 การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด

จากการออกแบบเพื่อหาขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้มีการออกแบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะใส่อุปกรณ์การออกแบบทั้งหมด ในระบบนี้จึงเป็นโครงสร้างที่มีขนาด กxยxส เท่ากับ 1216x2440x2000 mm ดังรูปที่ 3.17 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการลำเลียงมะม่วงเพื่อทำการทดสอบ ส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานและส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก



(ก)



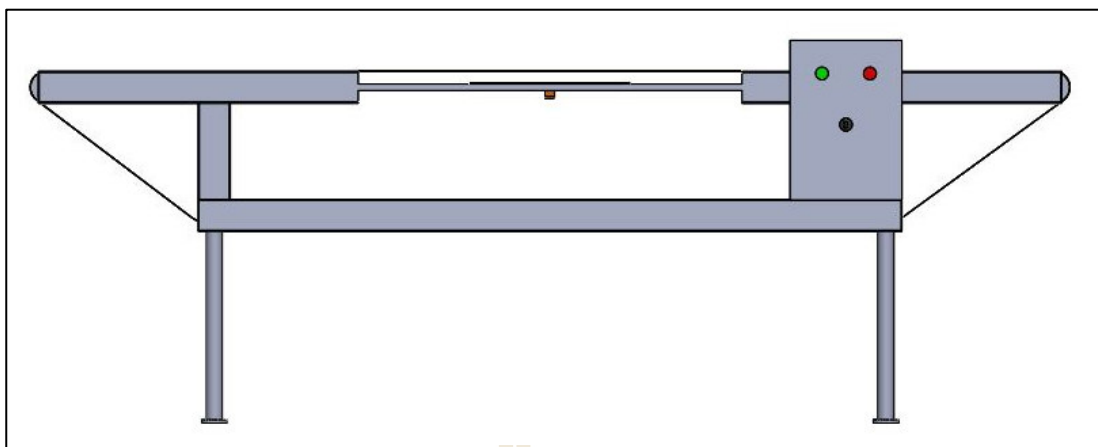
(ข)

รูปที่ 3.17 ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับ
ฆ่าหนอนในมะม่วงและผลไม้สด (ก) มุมมองสองมิติ ด้านหน้า (ข) มุมมอง 3 มิติ

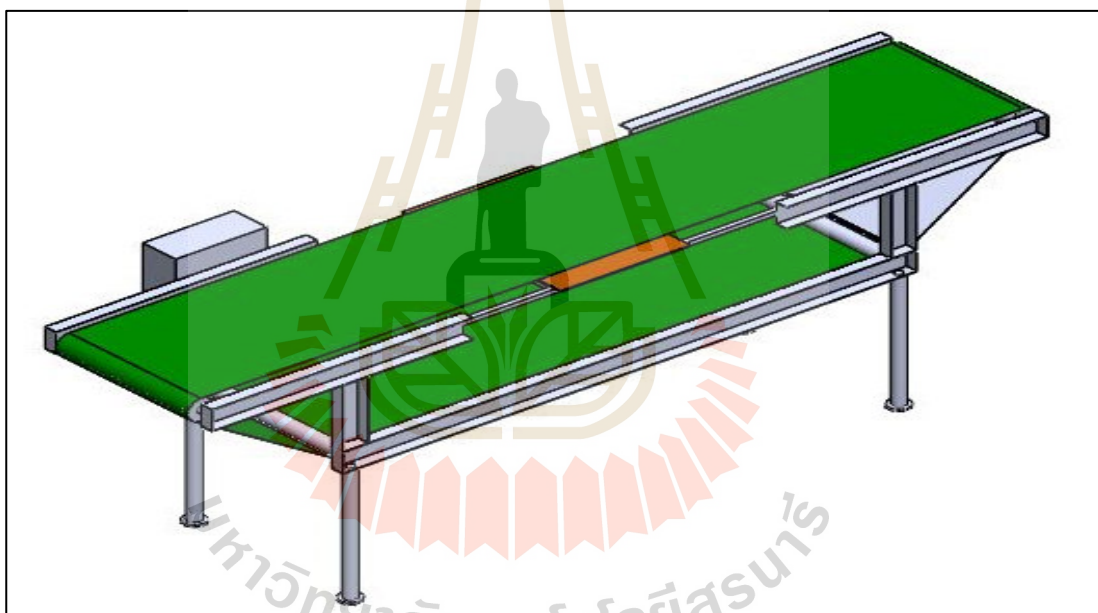


รูปที่ 3.18 โครงภายนอกที่สร้างขึ้นตามทีออกแบบ

สำหรับการลำเลียงมะม่วงเข้าเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนสำหรับการฆ่าหนอน
แมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด เพื่อง่ายต่อการนำตะกร้าที่ใส่มะม่วงเข้าเครื่องจึงได้ออกแบบสายพาน
สำหรับลำเลียงมะม่วงเข้าเครื่อง ดังรูปที่ 3.19 และรูปที่ 3.20



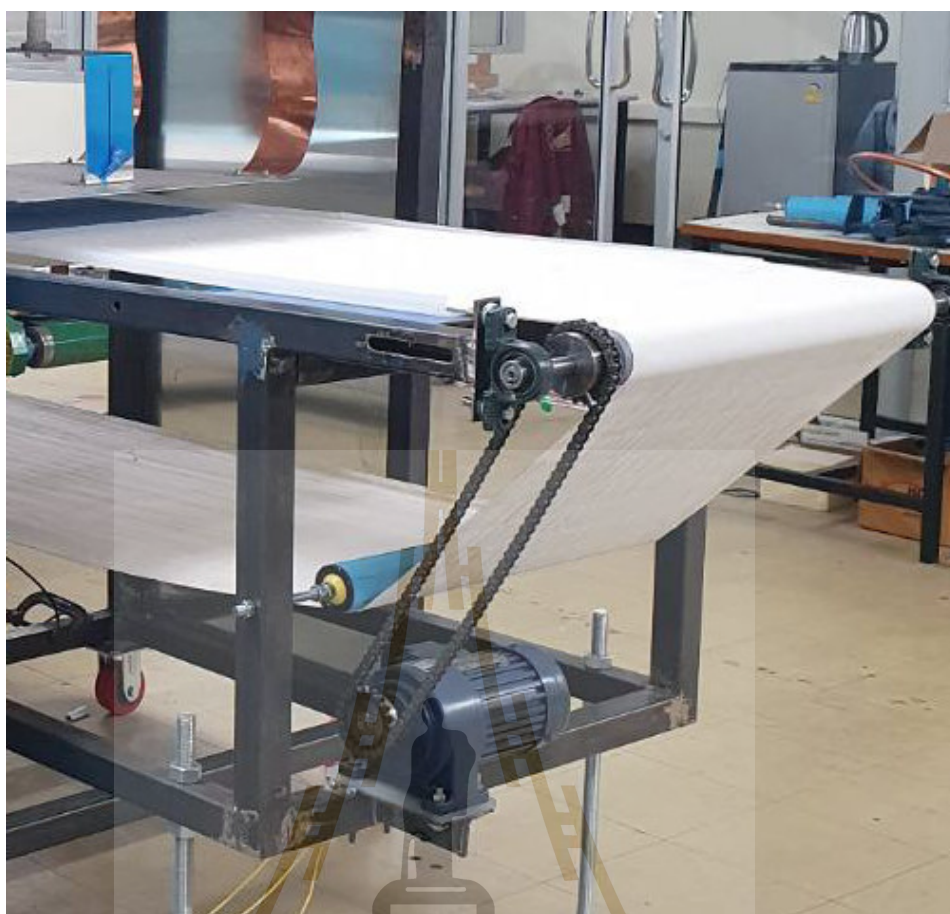
(ก)



(ข)

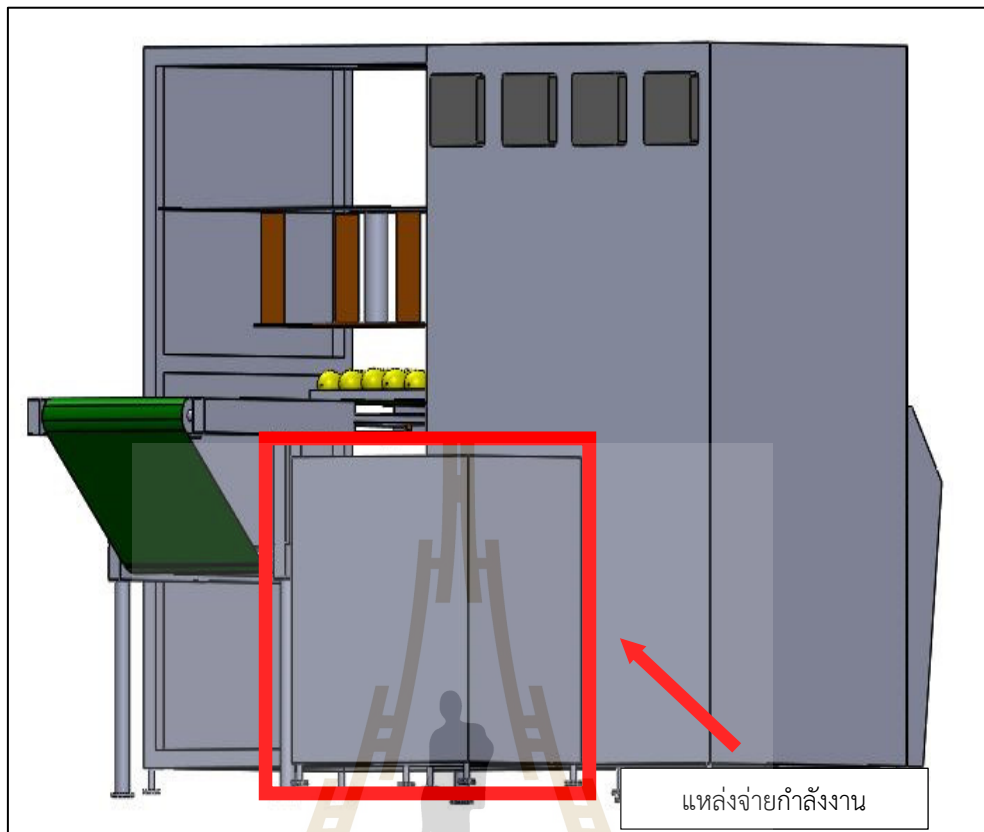
รูปที่ 3.19 สายพานลำเลียงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works

(ก) มุมมอง 2 มิติ (ข) มุมมอง 3 มิติ

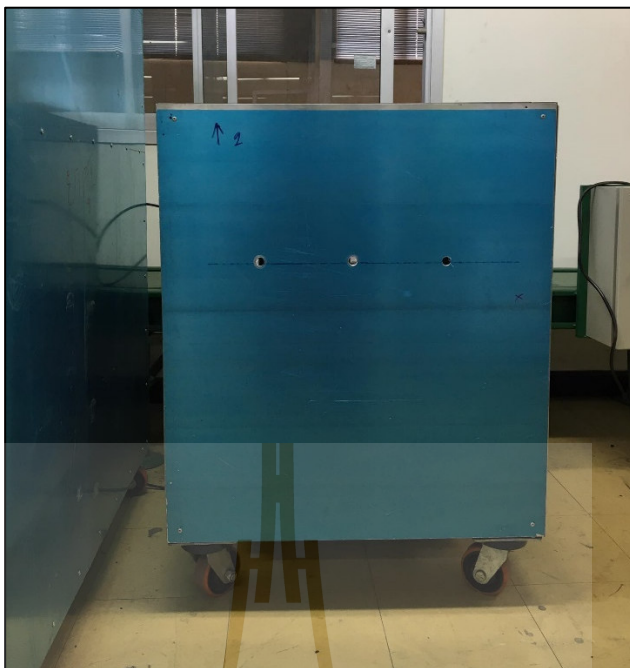


รูปที่ 3.20 สายพานลำเลียงที่สร้างขึ้นตามที่ได้ออกแบบไว้

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และ ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณโดยใช้หลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) และเนื่องจากผลการจำลองและการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังงานที่เอาต์พุตเพลตประมาณ 9 KW ในช่วงความถี่ 10 – 80 MHz ซึ่งการจัดวางระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.21 และระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงที่ติดตั้งแล้วแสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.21 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก
สำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด



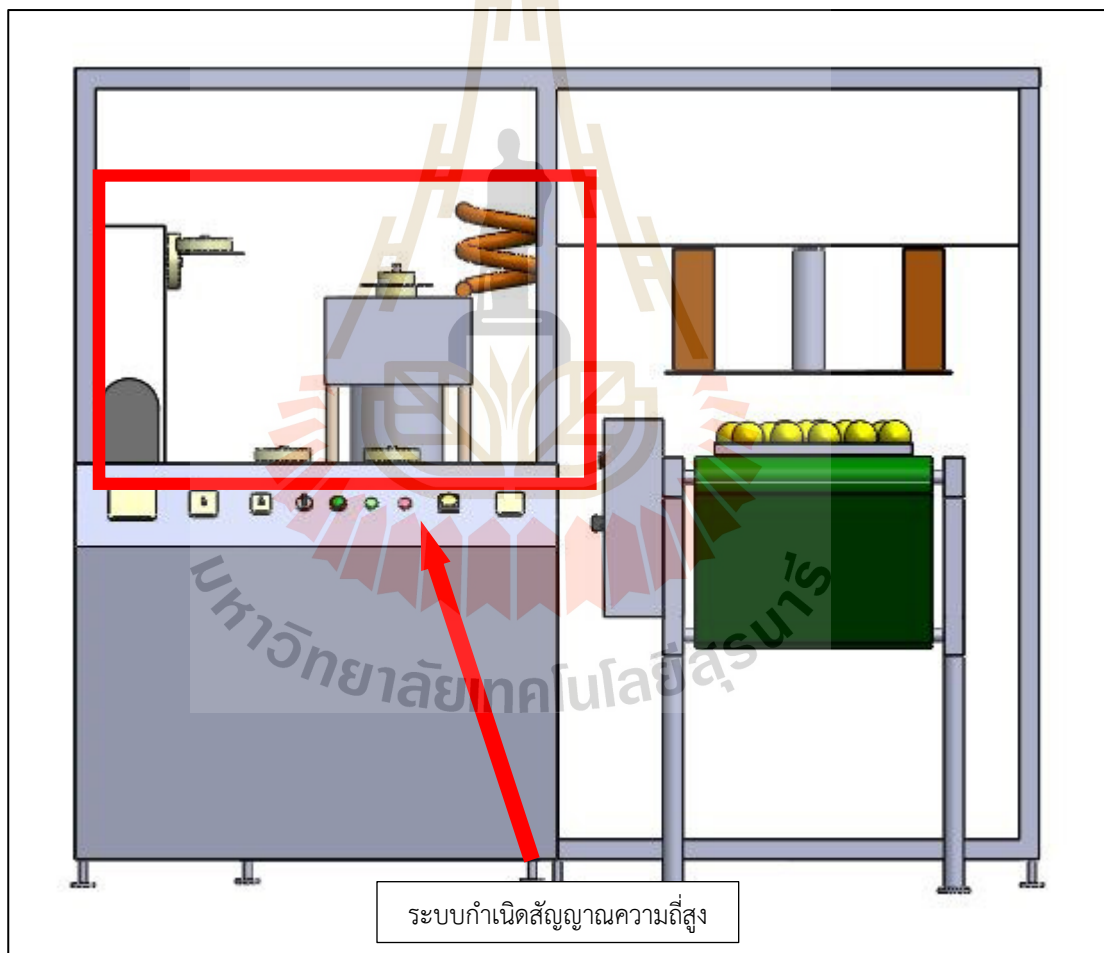
(ก) ตู้สำหรับใส่หม้อแปลง



(ข) หม้อแปลงกำลังสูง

รูปที่ 3.22 ระบบจ่ายกำลังงานสูงที่ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

สำหรับการออกแบบชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) ด้วยหลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) ซึ่งลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของหลอดอิเล็กตรอนจะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กตรอนแต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อฆ่าหนอนแมลงวันต่อไป ซึ่งการจัดวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.23 การติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.24 และระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้วสามารถแสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.23 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์ สำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด

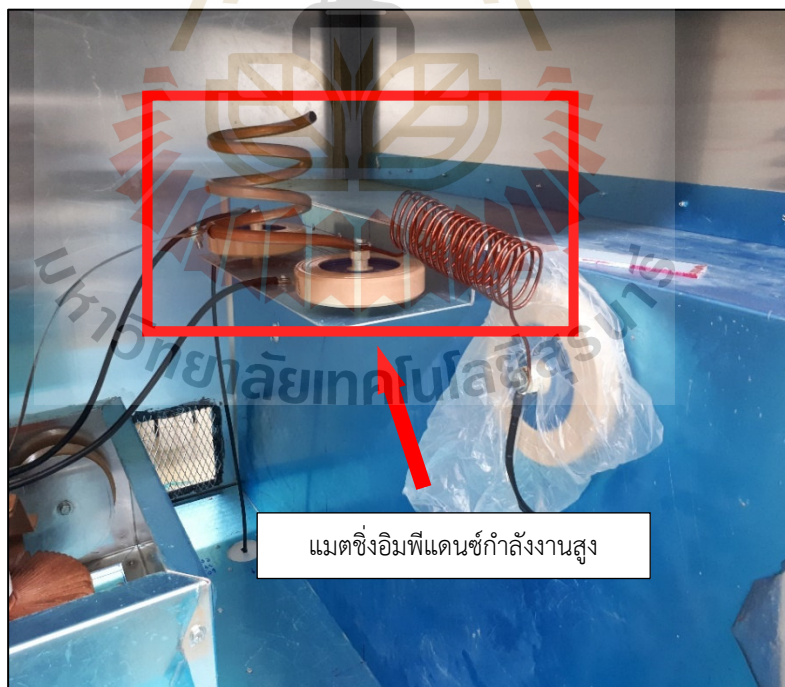


รูปที่ 3.24 การติดตั้งระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



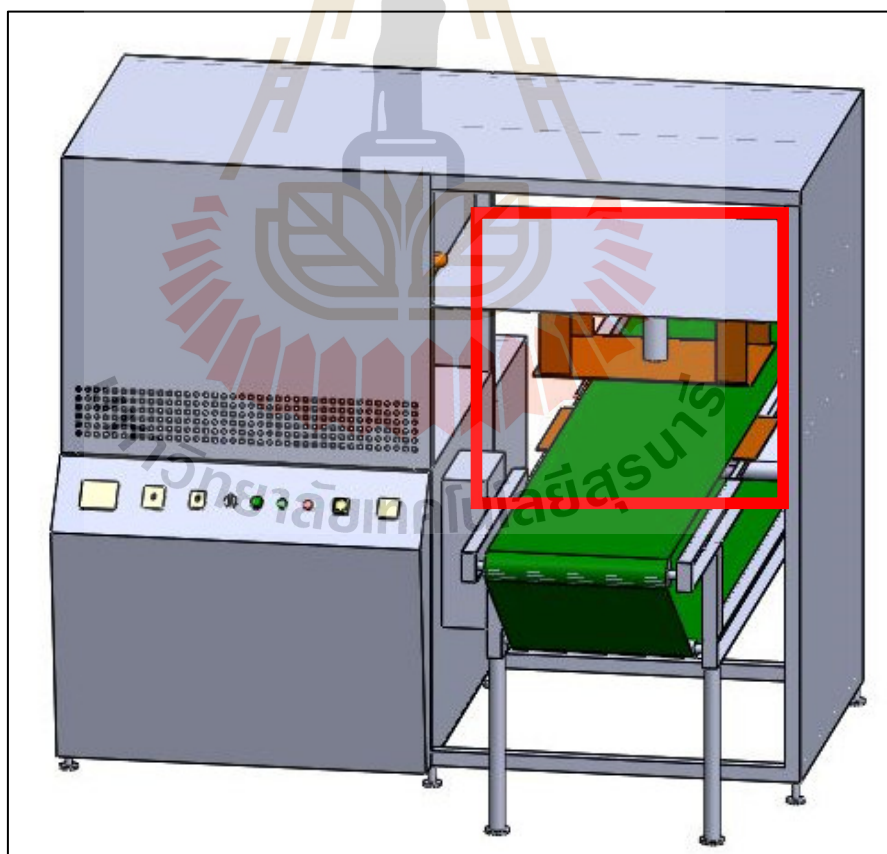
(ก) หลอดกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูง



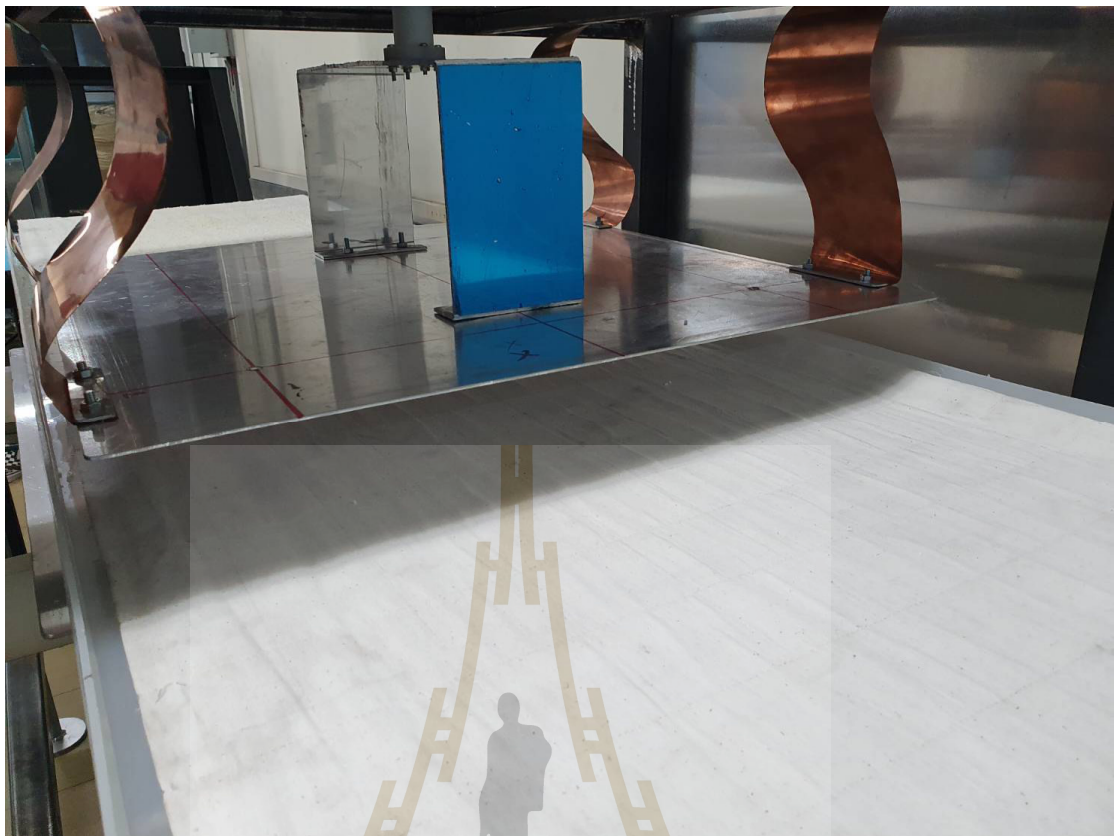
(ข) แมตซ์อิงอิมพีแดนซ์กำลังงานสูง

รูปที่ 3.25 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูงที่ทำการติดตั้งเรียบร้อยแล้ว

สำหรับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการพิจารณาตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งสามารถกระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม จึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์ไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.26 และการออกแบบและติดตั้งระบบโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด แสดงดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 รูปแบบการวางภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตสำหรับ
ฆ่าหนอนและไข่แมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.27 การติดตั้งภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต (ก) แผ่นเพลตอิเล็กทรอนิกส์ด้านหน้า (ข) แผ่นเพลตอิเล็กทรอนิกส์ด้านข้าง

3.3 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของมะม่วง หนอนและไข่แมลงวันผลไม้โดยใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุได้อิเล็กทริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทริกสำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องสำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สดในอุตสาหกรรมเกษตรสำหรับทดสอบการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกในบทต่อไป



บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการวัดผลจากการออกแบบเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และปรับปรุงให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ดังนั้นเครื่องมือในการวัดผลและวิธีการวัดทดสอบ จำเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และการประมวลผลที่สูง ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงวิธีการวัดดังต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์

1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ใช้สำหรับการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบเพื่อคาดการณ์ผลจากการออกแบบ เพื่อนำมาสู่การสร้างและทดสอบการใช้งานจริง แสดงดังรูปที่ 4.1

2) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer)

อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ใช้สำหรับการวัดและวิเคราะห์รูปสัญญาณที่ได้จากการออกแบบ เพื่อนำผลมาแก้ไขและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.2

3) เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer)

อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ใช้สำหรับการวัดผลการออกแบบวงจรแมตซ์ซิงอิมพีแดนซ์ เพื่อให้สามารถส่งกำลังงานไปยังโหลดไดอิเล็กตริกได้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.3

4) เครื่องวัดกำลัง (power meter)

อุปกรณ์เครื่องวัดกำลัง ใช้สำหรับวัดกำลังงานเอาต์พุตที่ได้จากการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์กำลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกและเก็บผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.4

5) กล้องถ่ายภาพความร้อน

อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของข้าว ในขณะที่ทำการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์ผลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 4.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



รูปที่ 4.4 เครื่องวัดกำลัง



รูปที่ 4.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน

4.2 วิธีการ

1) วิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกเพื่อนำไปฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ด้วยการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกนั้น เป็นการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบการให้ความร้อนแกได้อิเล็กทริกที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ อีกทั้งยังสามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ ได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ทำให้ผลไม้เสียหายอีกทั้งเป็นการปลอดภัยความชื้นอีกด้วย ยังไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค

เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีในการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ นอกจากนี้เทคนิควิธีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้ในหลากหลายด้าน ซึ่งการศึกษาและออกแบบระบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุนั้นเพื่อทดแทนวิธีการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในปัจจุบัน แต่การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ผ่านมาไม่ได้รับการพัฒนาเนื่องจากอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มีราคาสูง พลังงานสิ้นเปลืองมากและการออกแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนแต่ในปัจจุบันอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากทำให้มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะนำมาทดแทนการใช้สารเคมีได้อย่างคุ้มค่า

ศึกษาออกแบบและสร้างวงจรการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้

การออกแบบและสร้างวงจรการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ประกอบด้วยชุดอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่
 - 2) ภาควงจรขยายสัญญาณกำลังสูง
 - 3) ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์
 - 4) ภาควงจรจ่ายกำลังสนามไฟฟ้า Electrode plate
 - 5) ภาควงจรต่อลงกราวด์โครงสร้างของตัวเครื่อง
 - 6) แผ่นป้องกันคลื่นสัญญาณไปรบกวนภายนอก
 - 7) ระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง
- 2) ทำการทดสอบกับหนอนและไข่แมลงวันผลไม้โดยจะทำการทดสอบความเข้มสนามไฟฟ้าที่ต่างกันเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบระดับกำลังงานและเวลาในการหนอนและไข่แมลงวันผลไม้
- 3) สร้างเครื่องต้นแบบ
- ออกแบบ สร้างเครื่องต้นแบบและประกอบเข้าด้วยกัน

4.3 สถานที่ทำการวิจัย

- 1) ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000
- 2) ห้องวิจัยและปฏิบัติการระบบสื่อสารไร้สาย สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม อาคารเครื่องมือ 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 3000

บทที่ 5

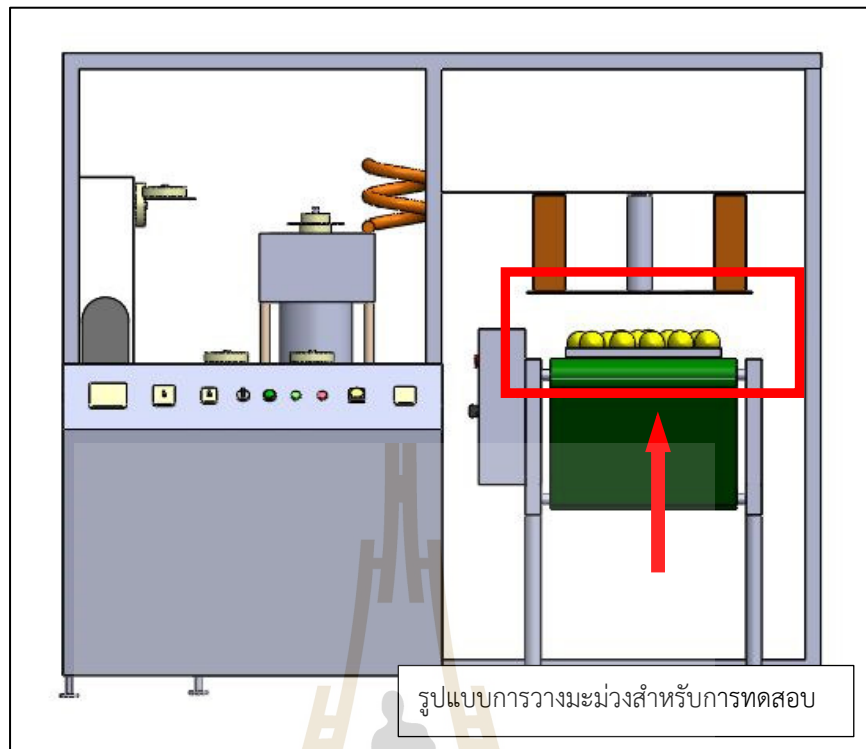
การทดสอบและผลการทดสอบการให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก

5.1 กล่าวนำ

จากการกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับให้ความร้อนกับโพลไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้ โดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนั้น เมื่อพิจารณาจากการออกแบบและจำลองผลพบว่าผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งต่อไปจะได้นำผลการออกแบบดังกล่าวไปสร้างและวัดทดสอบจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบและการจำลองแบบที่ได้ในบทก่อนหน้านี้ ดังนั้นในบทที่ 5 จะได้ทำการวัดทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันผลการให้ความร้อนแกโพลไดอิเล็กตริกดังกล่าว ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้ความถี่ย่านวิทยุที่ความถี่ 39 MHz สำหรับให้ความร้อนไดอิเล็กตริก และในการวัดทดสอบคุณลักษณะของการกระจายความร้อนนั้นจะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent Keysight รุ่น U5855A และสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบในรูปของความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อนกับผลการจำลองค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

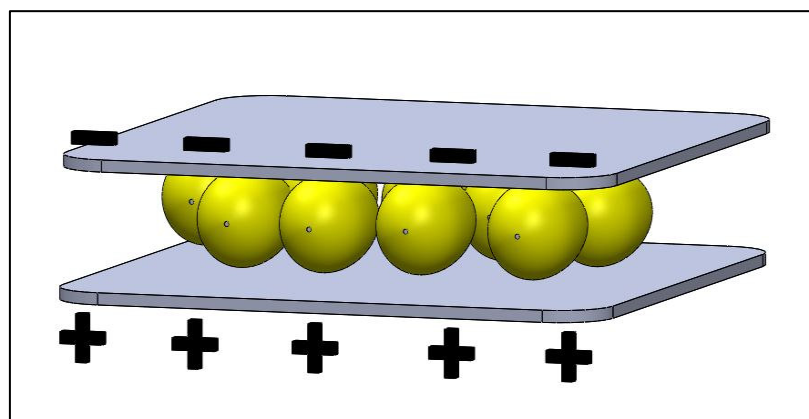
5.2 การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด

สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด สำหรับผลไม้สดนั้นในงานวิจัยนี้ได้ใช้ทับทิมในการทดลอง ในการทดลองนั้นจะใส่มะม่วงหรือทับทิมในตะกร้าที่ทำจาก Polypropylene ซึ่งไม่ดูดซับคลื่นพลังงานตรงกลางระหว่างเพลตทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 5.1



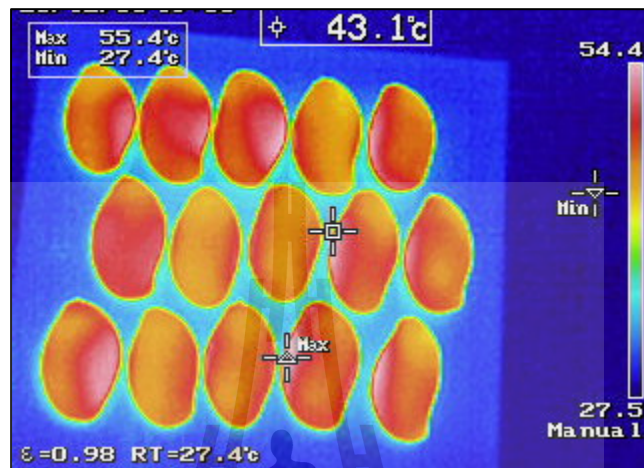
รูปที่ 5.1 การวางมะม่วงสำหรับการทดสอบ

สำหรับการทดสอบในเบื้องต้นพบว่าลักษณะการวางเพลตสำหรับการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนในมะม่วงและผลไม้สดนั้น มีการกระจายของสนามไฟฟ้าที่ไม่ทั่วถึงทั้งล้งที่บรรจุมะม่วงซึ่งจะกระจายตัวเฉพาะด้านที่ติดกับแผ่นเพลต ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้มีการออกแบบรูปแบบการวางเพลตแบบใหม่เพื่อให้การกระจายของสนามไฟฟ้าทั่วถึงมะม่วงเท่าๆ กัน จึงได้วางรูปแบบใหม่คือวางในลักษณะแนวนอน แสดงดังรูปที่ 5.2

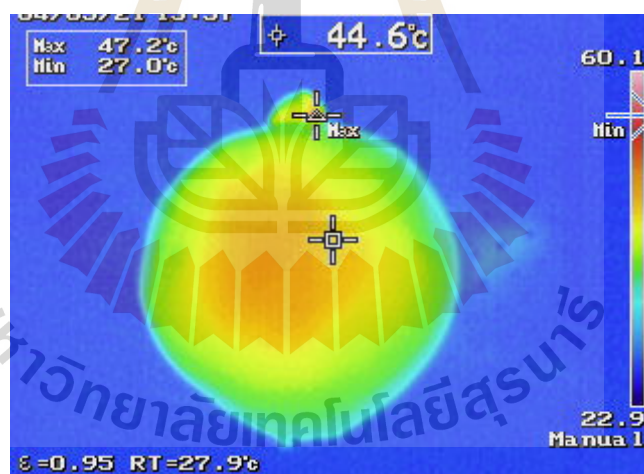


รูปที่ 5.2 การวางเพลตในแนวนอน

เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการวางเพลตในแนวนอนและทำการทดสอบในเบื้องต้นเพื่อดูการกระจายของสนามไฟฟ้าพบว่า การกระจายของสนามไฟฟ้ามีการกระจายทั่วถึงมะม่วงทั้งเพลตซึ่งแสดงได้จากกล้องถ่ายภาพความร้อนที่ความร้อนมีการกระจายอย่างเท่าๆ กัน เนื่องจากกการกระจายของสนามไฟฟ้ามีการกระจายที่เท่าๆ กัน ทั้งแผ่นเพลต แสดงดังรูปที่ 5.3



(ก) ความร้อนของมะม่วงที่เกิดจากการทดสอบเบื้องต้น

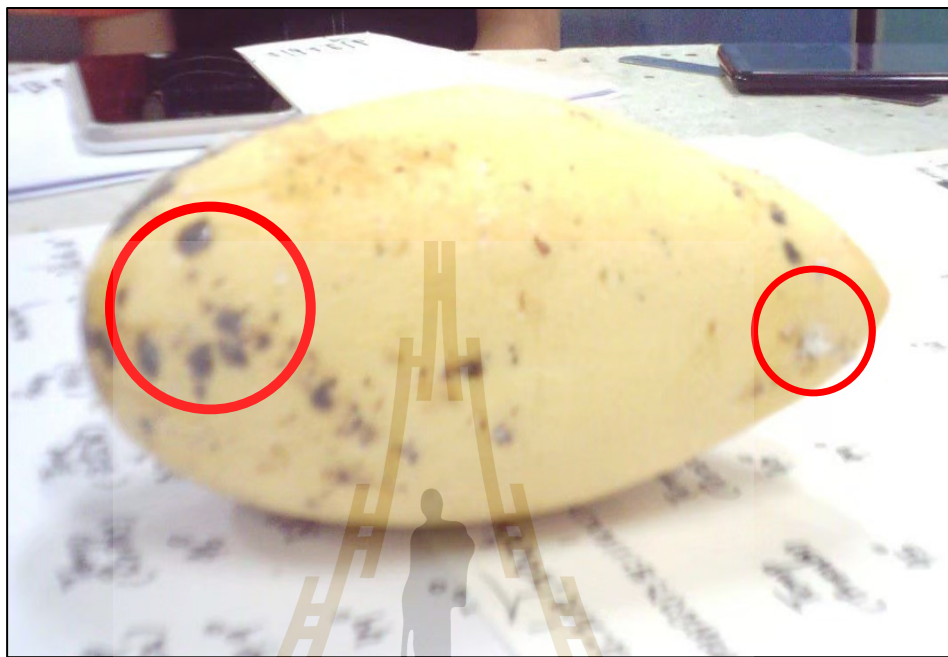


(ข) ความร้อนของทับทิมที่เกิดจากการทดสอบเบื้องต้น

รูปที่ 5.3 ภาพความร้อนที่เกิดหลังจากการทดสอบเบื้องต้น

เมื่อทดสอบในเบื้องต้นพบว่ารูปแบบการวางเพลตในแนวนอนสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงมีการกระจายของสนามไฟฟ้าทั่วทั้งแผ่นเพลต จึงทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการและทำการวิเคราะห์ผลต่อไป

สำหรับการทดสอบอัตราการตายของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและทับทิม ได้ดำเนินการหามะม่วงและทับทิมที่มีหนอนวางไข่ที่ผิวของมะม่วงมาทำการทดสอบ ซึ่งคัดเลือกมะม่วงและทับทิมที่มีขนาดและน้ำหนักเท่ากันๆ มาทำการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 5.4



(ก) มะม่วงที่มีหนอนวางไข่



(ข) ทับทิมที่มีหนอนวางไข่

รูปที่ 5.4 มะม่วงและทับทิมที่มีหนอนแมลงวัน



(ก) มะม่วง



(ข) ทับทิม

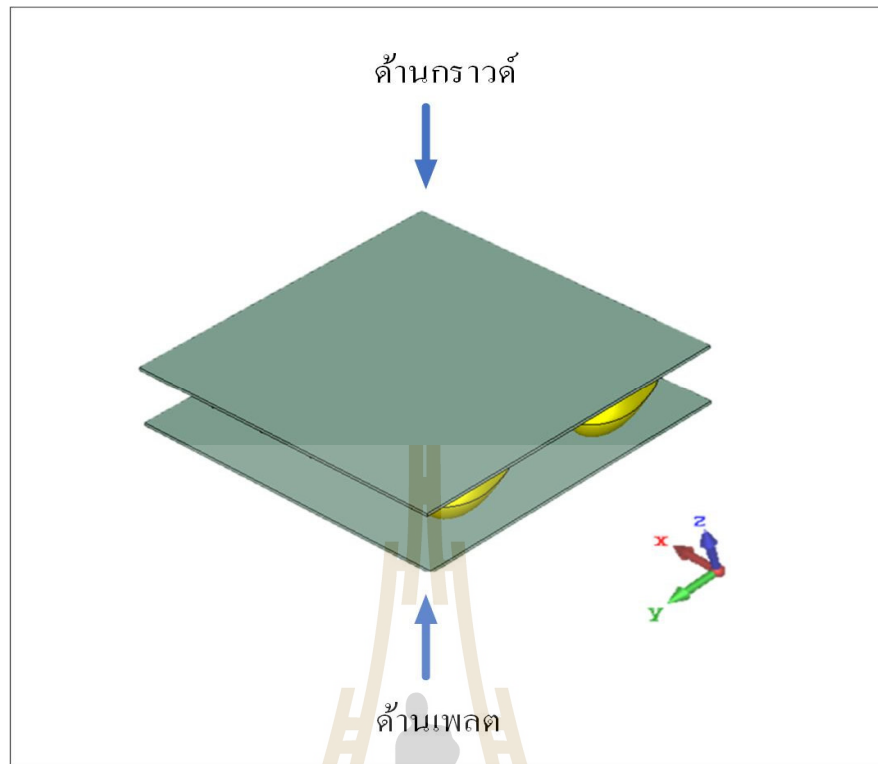
รูปที่ 5.5 มะม่วงและทับทิมที่จัดเตรียมสำหรับการทดสอบ

การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่าหนอนแมลงวันต้องมีภาตสำหรับวางมะม่วงเพื่อให้ได้ระยะตามที่ได้มีการจำลองการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าในบทที่ 2 ซึ่งใช้แผ่น Polypropylene เป็นภาตสำหรับวางมะม่วงในการทดลอง มีขนาด กขย เท่ากับ 52x52 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.6

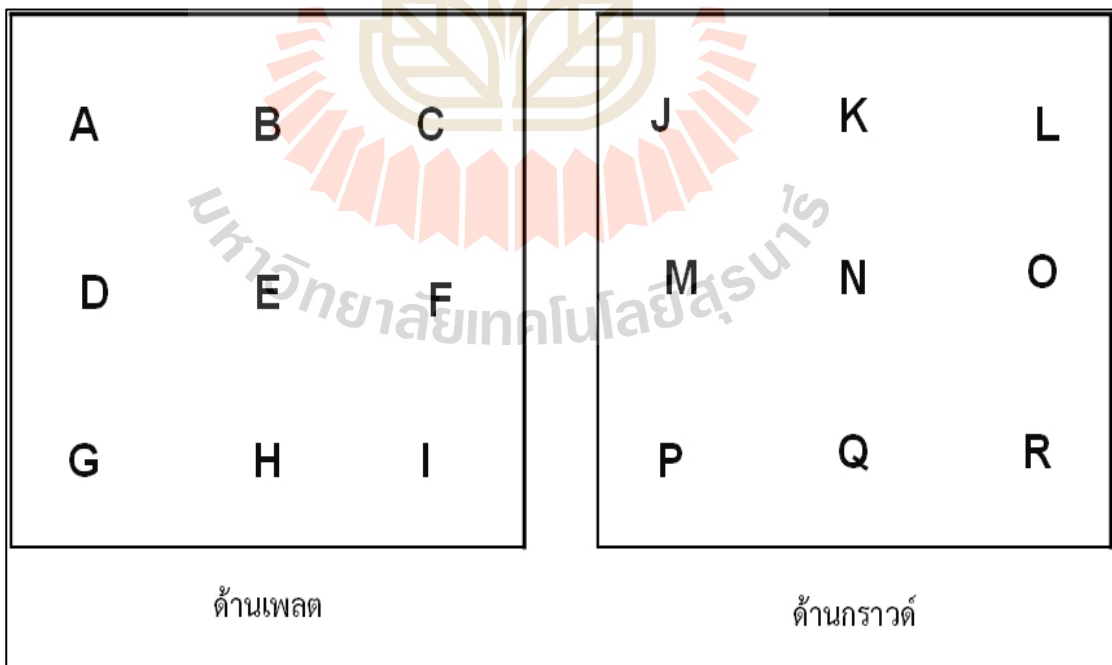


รูปที่ 5.6 ภาตสำหรับใส่มะม่วงและทับทิมในการทดลอง

สำหรับการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิของมะม่วงหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A ในการวัดอุณหภูมิและดูภาพรวมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ซึ่งตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิแสดงดังรูปที่ 5.7



(ก) การวัดอุณหภูมิ 3 มิติ



(ข) ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ 2 มิติ

รูปที่ 5.7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิมะม่วง

โดยมีตำแหน่งพิกัดในการวัดอุณหภูมิ 3 มิติ เมื่อกำหนดจุดเริ่มต้น ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$) อยู่ที่ตรงกลางของมะม่วงที่ทำการทดสอบ ซึ่งมะม่วงแต่ละผลที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดความหนา 7 cm ยาว 14 cm น้ำหนักมะม่วง 380 มีตำแหน่งพิกัดเป็นดังนี้ (พิกัดหน่วย cm) ด้านเพลด ตำแหน่ง A ($X = -20$, $Y = 20$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง B ($X = 0$, $Y = 20$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง C ($X = 20$, $Y = 20$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง D ($X = -20$, $Y = 0$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง E ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง F ($X = 20$, $Y = 0$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง G ($X = -20$, $Y = -20$, $Z = -3.5$) ถัดมาตำแหน่ง H ($X = 0$, $Y = -20$, $Z = -3.5$) และตำแหน่ง I ($X = 20$, $Y = -20$, $Z = -3.5$)

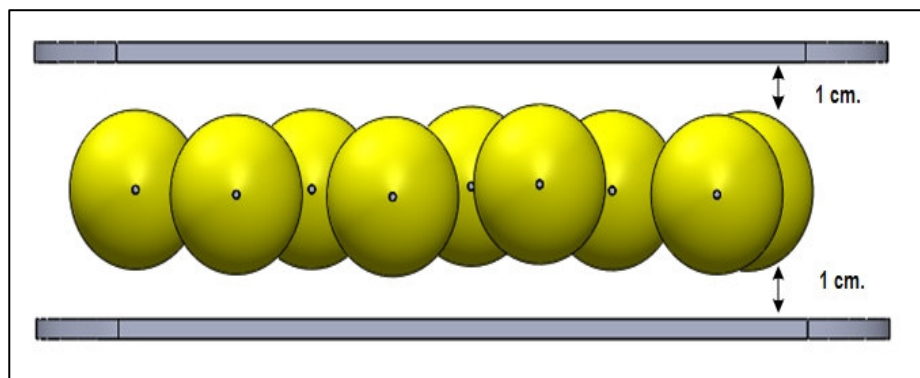
ด้านเพลด ตำแหน่ง J ($X = -20$, $Y = 20$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง K ($X = 0$, $Y = 20$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง L ($X = 20$, $Y = 20$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง M ($X = -20$, $Y = 0$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง N ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง O ($X = 20$, $Y = 0$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง P ($X = -20$, $Y = -20$, $Z = 3.5$) ถัดมาตำแหน่ง Q ($X = 0$, $Y = -20$, $Z = 3.5$) และตำแหน่ง R ($X = 20$, $Y = -20$, $Z = 3.5$)

สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วง จากที่คณะผู้วิจัยได้ศึกษาปริทรรศน์วรรณกรรมพบว่าปัจจุบันได้มีฆ่าหนอนในมะม่วงและผลไม้สด(ทับทิม) โดยใช้วิธีอบไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิในการให้ความร้อนอยู่ที่ 47°C ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงอ้างอิงช่วงอุณหภูมิช่วงดังกล่าวในการออกแบบการทดสอบ และจากการทดสอบในเบื้องต้น ซึ่งมีการทดสอบเป็นดังนี้

การทดสอบฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วง

1.ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างมะม่วงกับแผ่นเพลดมีระยะห่าง 1 เซนติเมตร

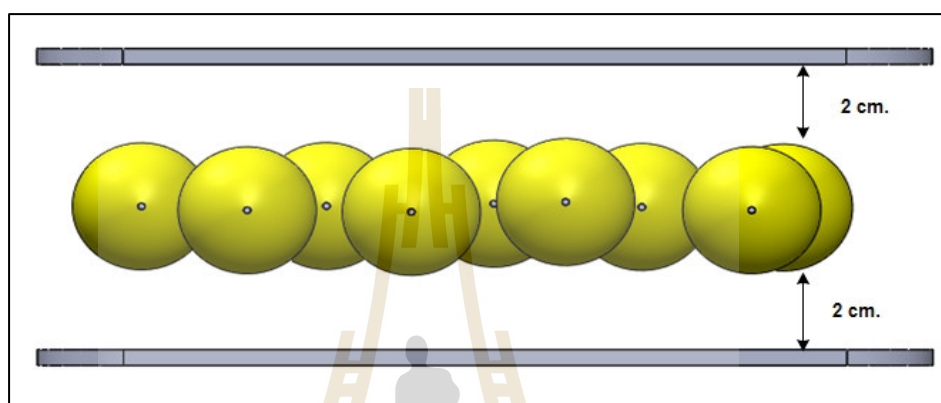
- 1.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45°C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 1.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50°C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 1.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55°C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน



รูปที่ 5.8 ระยะห่าง 1 เซนติเมตร

2. ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างมะม่วงกับแผ่นเพลตมีระยะห่าง 2 เซนติเมตร

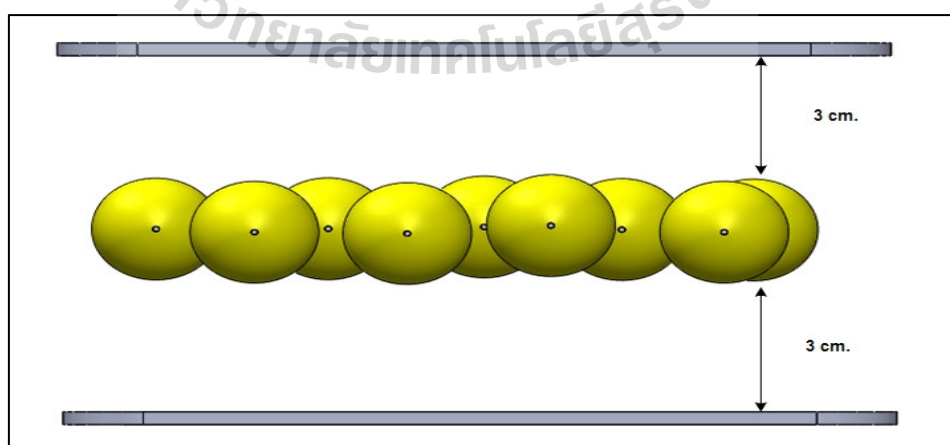
- 2.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 2.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 2.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน



รูปที่ 5.9 ระยะห่าง 2 เซนติเมตร

3. ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างมะม่วงกับแผ่นเพลตมีระยะห่าง 3 เซนติเมตร

- 3.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 3.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 3.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน



รูปที่ 5.10 ระยะห่าง 3 เซนติเมตร

การทดสอบฆ่าหนอนแมลงวันในทับทิม

เป็นการทดสอบโดยกำหนดระยะห่างระหว่างเพลตเช่นเดียวกันกับการทดสอบฆ่าหนอนในมะม่วง

4. ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างทับทิมกับแผ่นเพลตมีระยะห่าง 1 เซนติเมตร

- 4.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 4.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 4.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน

5. ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างทับทิมกับแผ่นเพลตมีระยะห่าง 2 เซนติเมตร

- 5.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 5.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 5.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน

6. ทดสอบโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างทับทิมกับแผ่นเพลตมีระยะห่าง 3 เซนติเมตร

- 6.1 ทดสอบอุณหภูมิ 45 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 6.2 ทดสอบอุณหภูมิ 50 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน
- 6.3 ทดสอบอุณหภูมิ 55 °C วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อนทุกด้าน

5.3 ผลการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ และอัตราการตายของหนอนแมลงวัน

ผลการวัดอุณหภูมิของมะม่วง

ในการทดสอบจะทำการวัดอุณหภูมิเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นกับมะม่วง ในการทดสอบใช้มะม่วงเป็นตัวทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนี้ในแต่ละระยะและอุณหภูมิที่กำหนดจะใช้มะม่วงครั้งละ 15 ผล ในการทดสอบ เมื่อมะม่วงมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทั้ง 2 ด้าน จากนั้นมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

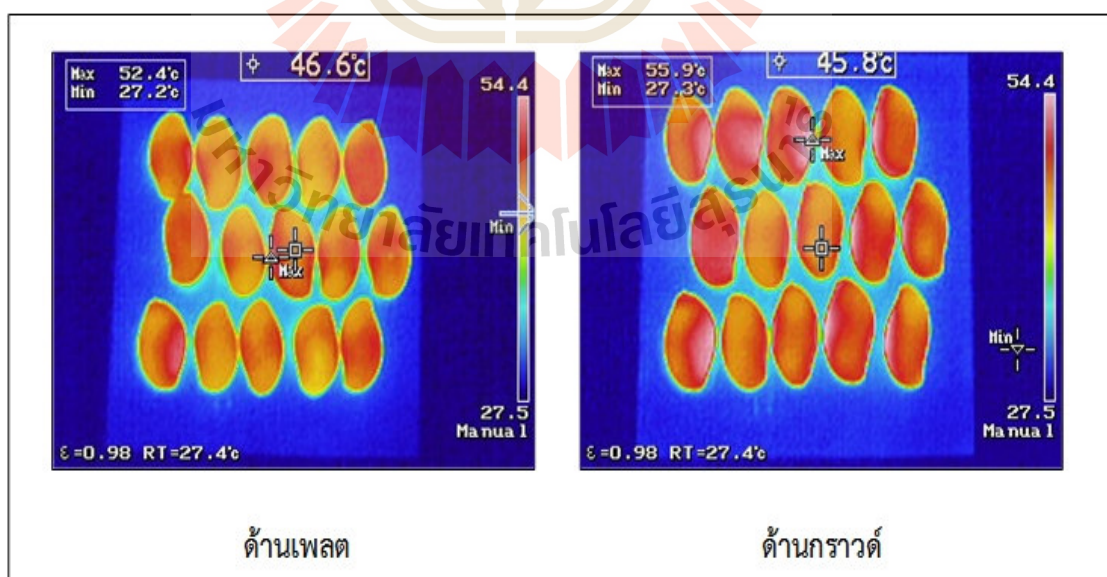
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	46.1	46.2	46.3	46.4	46.6	46.4	46.2	46.1	46.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	45.1	45.3	45.7	45.8	45.8	45.8	45.6	45.4	45.2

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 1 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 46.1 °C

ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 46.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 46.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 46.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 46.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 46.0 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 45.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 45.3 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 45.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 45.4 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 45.2 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 1 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.11 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.2

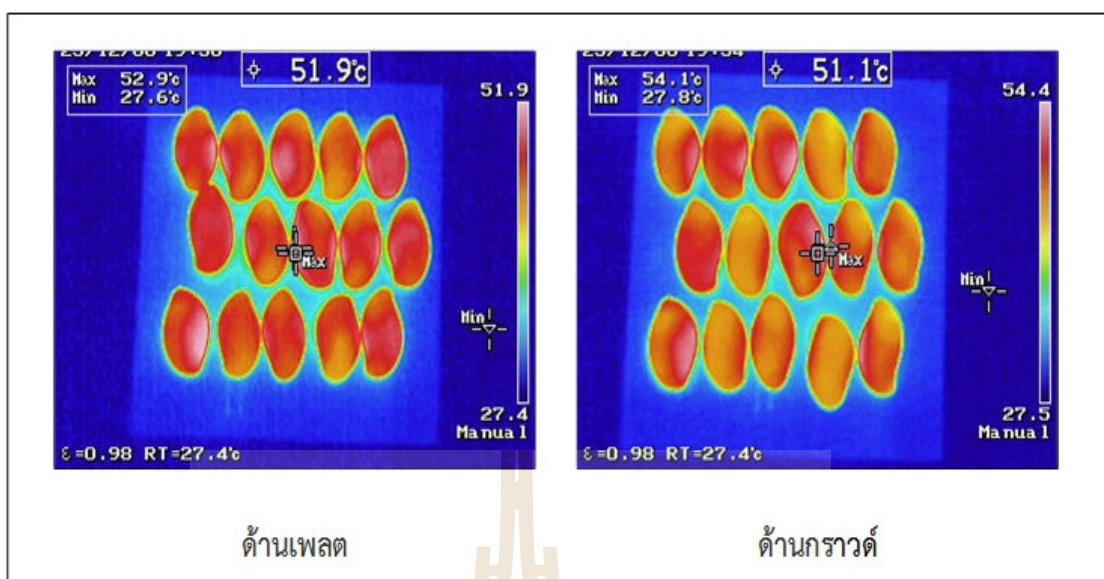
ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	51.1	51.4	51.6	51.8	51.9	51.8	51.5	51.3	51.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	50.6	50.8	50.9	51.0	51.1	51.1	50.8	50.7	50.5

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 2 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 51.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 51.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 51.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 51.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 51.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 51.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 51.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 51.0 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 50.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 50.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 50.7 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 50.5 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 2 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

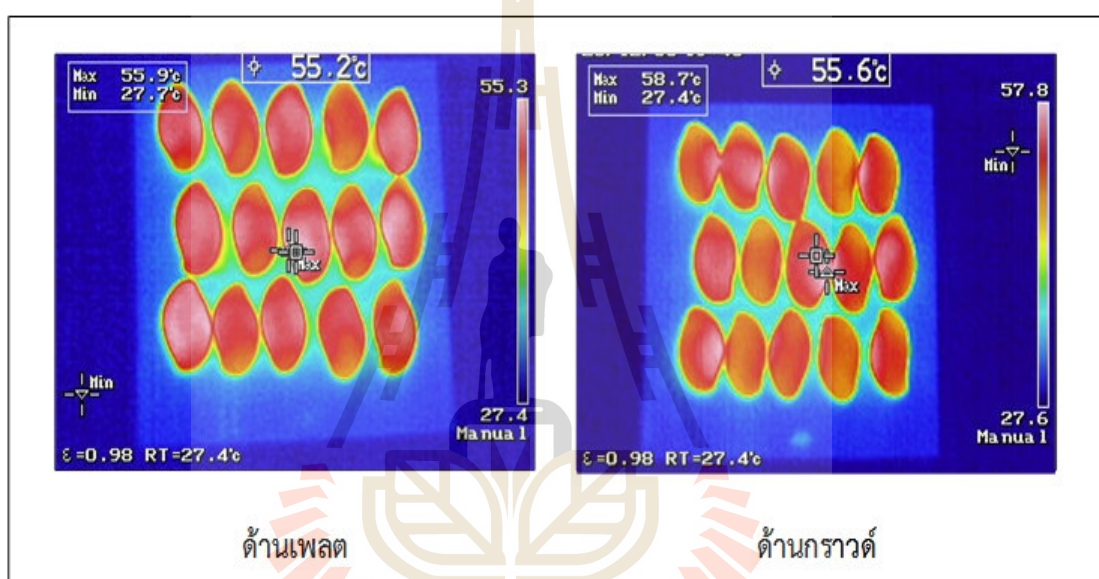
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	54.3	54.5	54.7	54.9	55.2	55.1	55.0	54.8	54.6
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	55.0	55.2	55.4	55.6	55.6	55.5	55.3	55.1	54.9

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 54.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 54.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 55.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 54.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 54.6 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 55.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 55.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรง

กลางของเพลต N = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 55.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 55.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 54.9 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.13 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 55 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.4

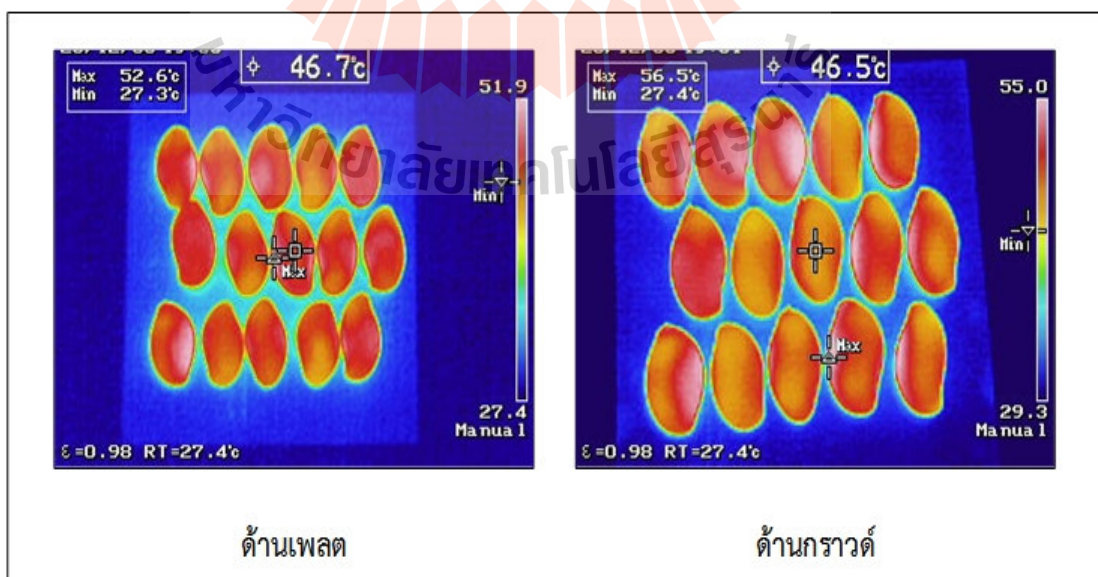
ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	45.9	46.1	46.3	46.5	46.7	46.6	46.4	46.2	46.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	45.8	46.1	46.3	46.5	46.5	46.3	46.1	45.9	45.8

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3.30 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 45.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 46.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 46.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 46.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 46.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 46.0 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 45.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 46.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 46.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 46.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 46.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 45.9 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 45.8 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.14 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.14 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.5

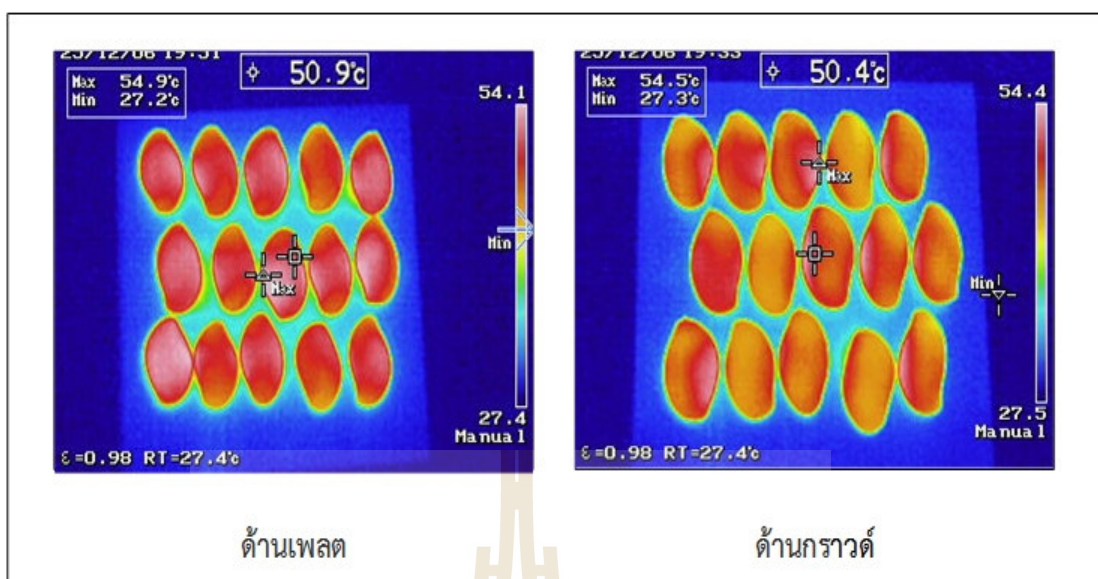
ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	50.0	50.3	50.5	50.7	50.9	50.8	50.7	50.5	50.3
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	50.1	50.2	50.3	50.4	50.4	50.3	50.1	50.0	49.9

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 5 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 50.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 50.3 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 50.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 50.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 50.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 50.3 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 50.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 50.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 50.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 50.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 50.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 50.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 50.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 50.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 49.9 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 5 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.15 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.15 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

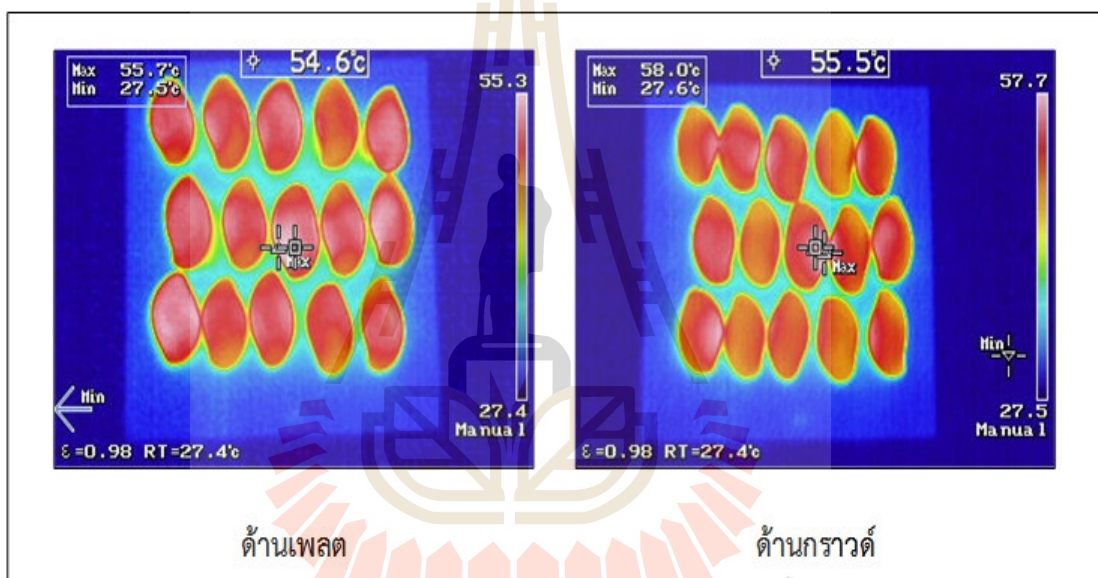
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	53.9	54.1	54.3	54.5	54.6	54.6	54.4	54.2	54.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	54.7	54.9	55.1	55.3	55.5	55.4	55.2	55.0	54.9

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6.30 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 53.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 54.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 54.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 54.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 54.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 54.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 54.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 54.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 54.0 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 54.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวา

ของเพลต L = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 55.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 55.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 55.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 54.9 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.16 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 55 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.7

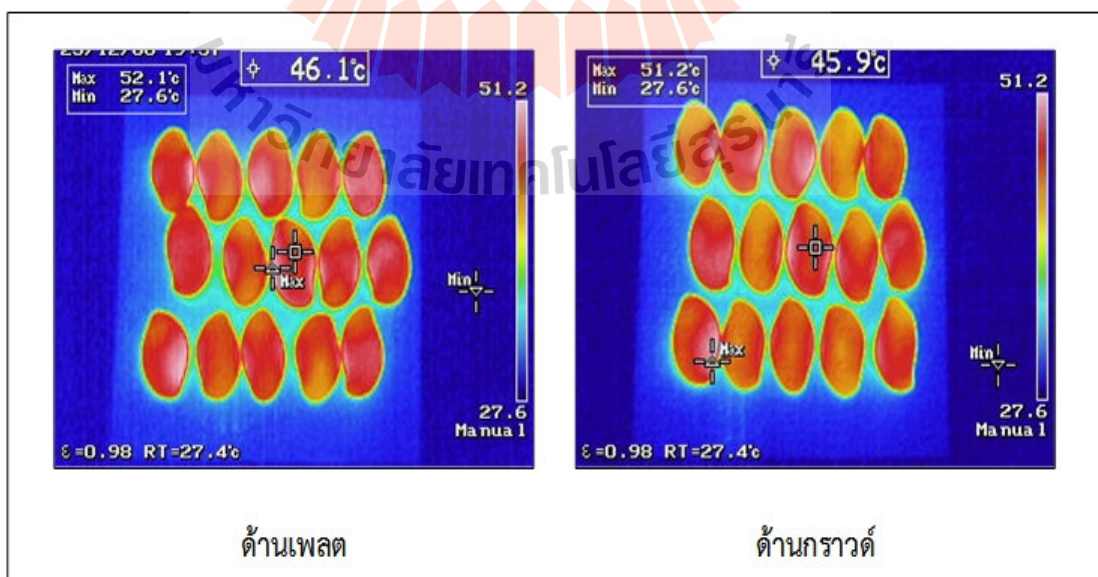
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	45.3	45.5	45.7	45.9	46.1	46.1	45.9	45.7	45.5
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	45.2	45.4	45.6	45.8	45.9	45.9	45.7	45.5	45.3

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 45.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 45.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 45.7 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 45.5 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 45.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 45.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 45.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 45.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 45.3 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.17 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.8

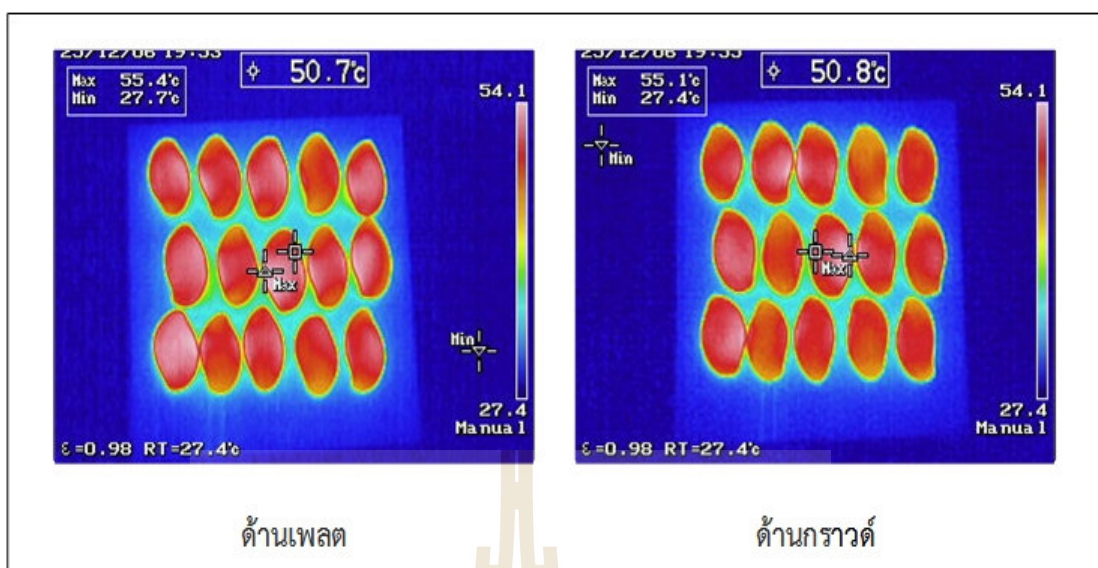
ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	50.4	50.5	50.6	50.7	50.7	50.7	50.5	50.3	50.1
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	50.2	50.4	50.5	50.6	50.8	50.6	50.4	50.2	50.0

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 7.30 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 50.4 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 50.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 50.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 50.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 50.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 50.1 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 50.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 50.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 50.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 50.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 50.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 50.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 50.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 50.0 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 7.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.19 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.18 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

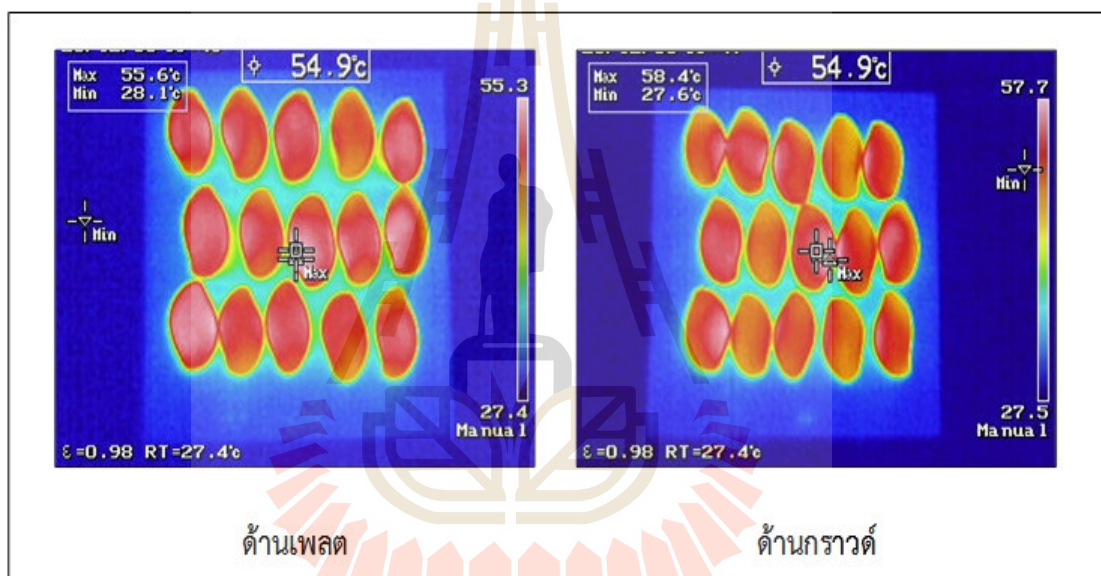
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	54.1	54.3	54.6	54.9	54.9	54.9	54.7	54.5	54.3
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	54.2	54.4	54.6	54.8	54.9	54.7	54.3	54.1	54.0

เมื่อทำการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 54.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 54.3 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 54.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 54.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 54.3 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของมะม่วง อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 54.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 54.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวา

ของเพลต L = 54.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 54.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 54.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 54.0 °C

จากการทดสอบนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.19 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.19 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 55 °C

ผลการวัดอุณหภูมิของทับทิม

การวัดอุณหภูมิจะทำเช่นเดียวกับมะม่วงจะทำการวัดอุณหภูมิเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นกับทับทิม ในการทดสอบใช้ทับทิมเป็นตัวทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนี้ในแต่ละระยะและอุณหภูมิที่กำหนดจะใช้ทับทิมครั้งละ 15 ผล ในการทดสอบ เมื่อทับทิมมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทั้ง 2 ด้าน จากนั้นนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตารางที่ 5.10

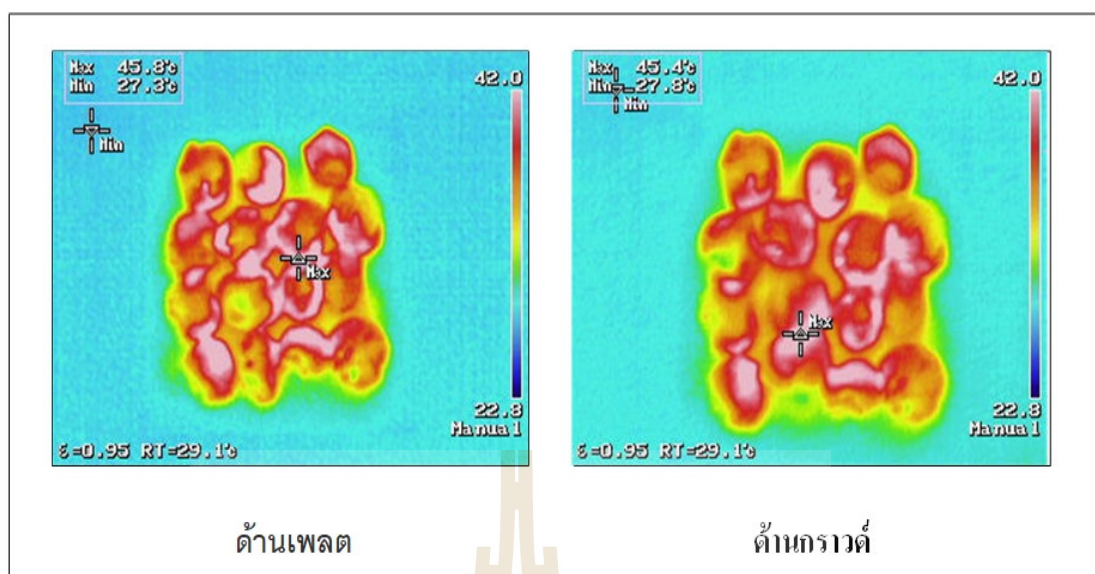
ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	45.1	45.2	45.5	45.7	45.8	45.6	45.5	45.3	45.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	44.6	44.8	44.7	45.2	45.4	45.1	44.9	44.7	44.5

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 1 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 51.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 45.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 45.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 45.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 45.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 45.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 45.0 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 44.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 44.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 44.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 45.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 45.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 45.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 44.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 44.7 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 44.5 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 1 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.20 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.20 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C

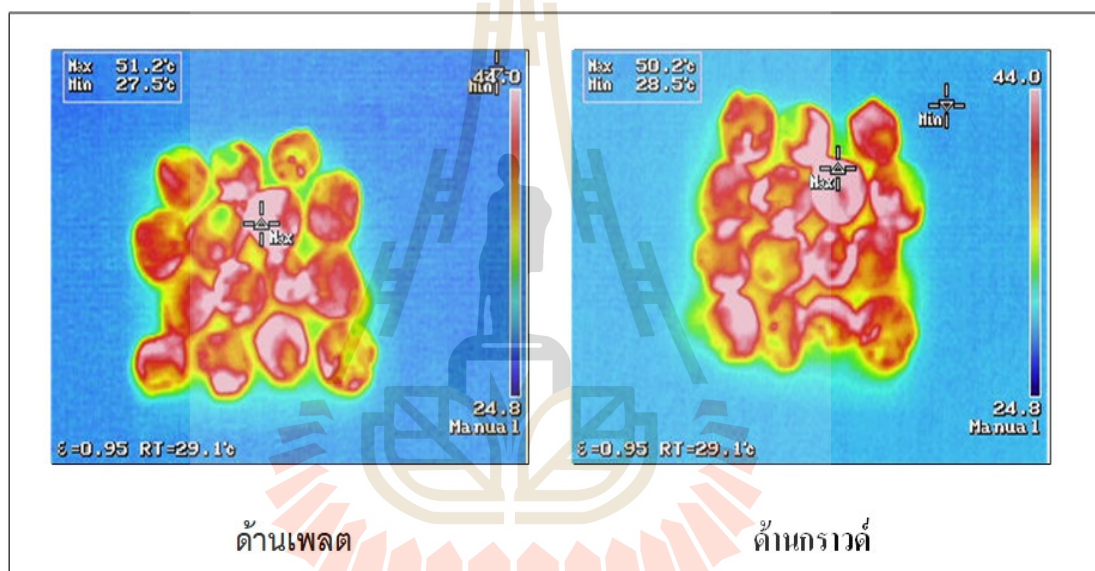
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลด	50.3	50.6	50.7	50.9	51.1	51.3	51.2	51.3	50.9
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	49.7	49.9	50.0	50.2	50.2	50.1	49.8	49.7	49.9

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 2 นาที ผลการทดสอบด้านเพลดหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 50.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลด ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลด B = 50.6 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลด C = 50.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลด D = 50.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลด E = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลด F = 51.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลด G = 51.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลด H = 51.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลด I = 50.9 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 49.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลด ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลด K = 49.9 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวา

ของเพลต L = 50.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 50.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 50.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 50.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 49.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 49.7 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 49.9 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 2 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่า ๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.21 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.21 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.12

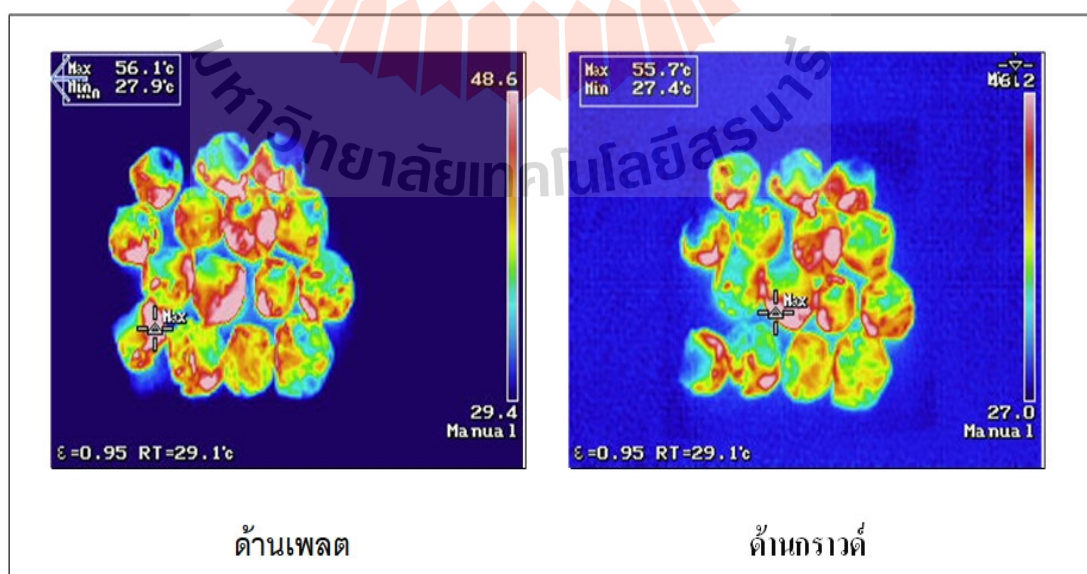
ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	55.7	55.7	55.8	55.9	56.1	56.0	55.9	55.6	55.5
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	55.3	55.5	55.6	55.6	55.7	55.2	55.1	54.8	54.5

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 55.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 55.7 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 55.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 55.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 56.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 56.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 55.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 55.6 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 55.5 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 55.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 55.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 54.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 54.5 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.22 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.22 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 1 เซนติเมตร 55 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.13

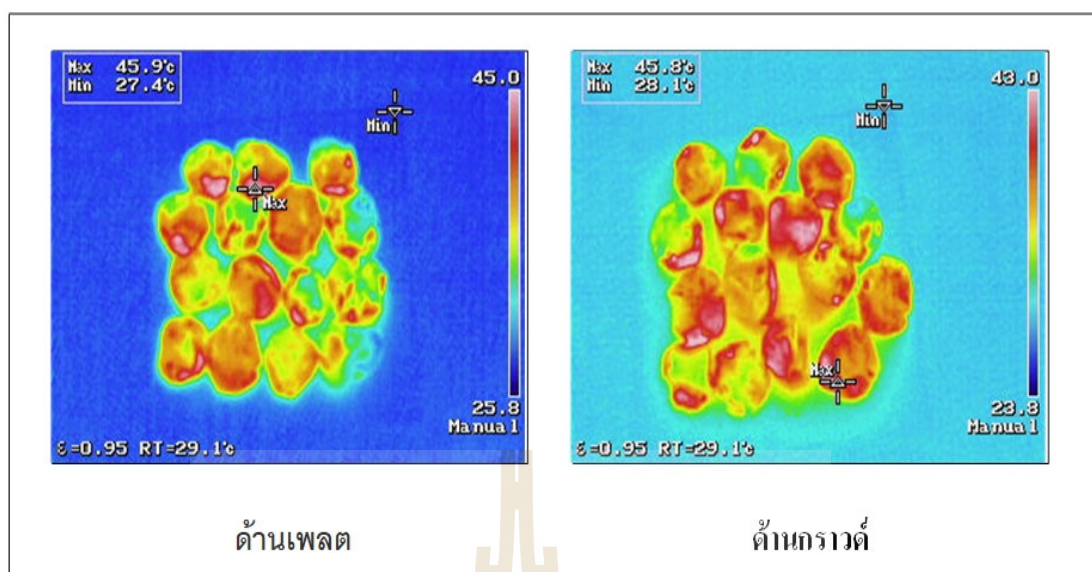
ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	45.6	45.7	45.7	45.9	45.9	45.9	45.8	45.8	45.9
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	45.2	45.5	45.5	45.6	45.8	45.8	45.6	45.3	45.3

เมื่อทำการทดสอบนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3.30 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลหับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 45.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 45.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 45.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 45.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 45.9 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของหับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 45.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 45.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 45.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 445.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 45.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 45.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 45.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 45.3 °C

จากการทดสอบนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 3.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.23 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.23 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 °C

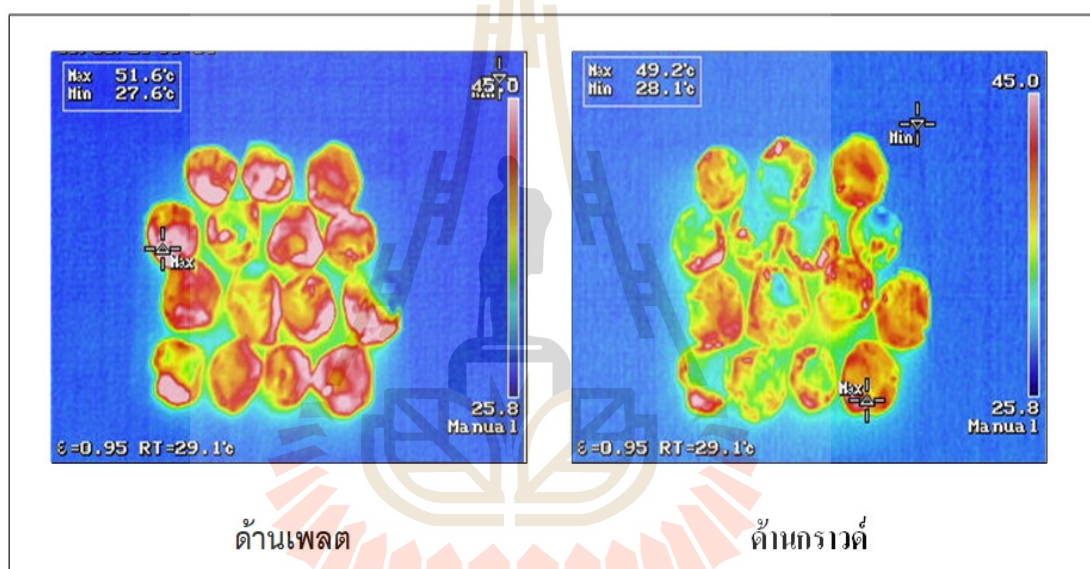
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	51.6	51.4	51.6	51.6	51.6	51.4	51.4	51.2	51.2
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	49.0	49.0	49.0	49.2	49.2	49.2	49.1	48.9	48.9

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 5 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 51.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 51.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 51.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 51.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 51.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 51.2 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 49.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 49.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวา

ของเพลต L = 49.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 49.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 48.9 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 48.9 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 5 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.24 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.24 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.15

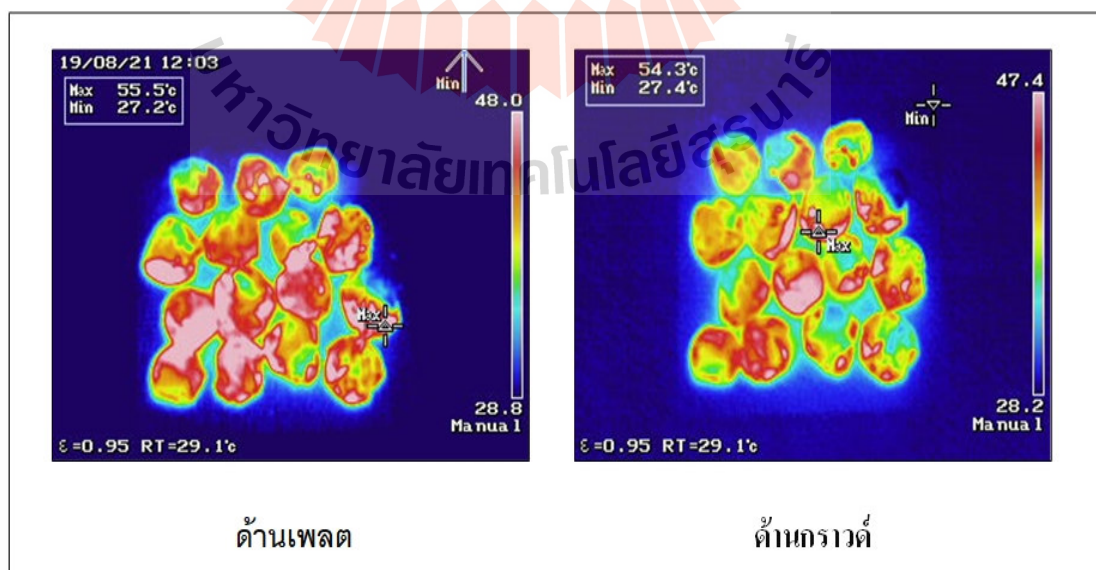
ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	54.9	54.9	55.2	55.5	55.5	55.4	55.3	55.3	55.1
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	54.0	54.1	54.2	54.2	54.3	54.2	54.3	54.1	54.1

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6.30 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 54.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 54.9 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 55.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 55.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 55.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 55.1 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 54.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 54.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 54.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 54.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 54.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 54.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 54.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 54.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 54.1 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.25 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.25 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 2 เซนติเมตร 55 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 45 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.16

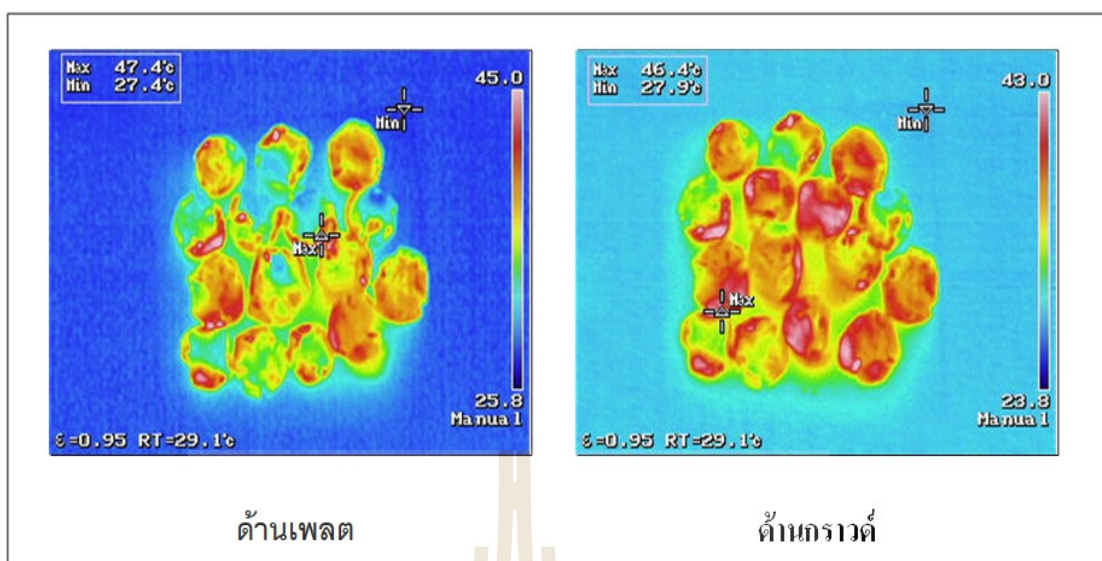
ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	47.3	47.2	47.4	47.3	47.4	47.3	47.2	47.4	47.3
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	46.2	46.1	46.2	46.3	46.4	46.4	46.4	46.3	46.2

เมื่อทำการทดสอบนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6 นาที ผลการทดสอบด้านเพลตหรือด้านล่างของผลหับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 47.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต B = 47.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต C = 47.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต D = 47.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต E = 47.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต F = 47.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต G = 47.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต H = 47.4 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต I = 47.3 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของหับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 46.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลต K = 46.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลต L = 46.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 46.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 46.4 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 46.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 46.2 °C

จากการทดสอบนำหับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 6 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.26 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร 45 °C



รูปที่ 5.26 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 45 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 50 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

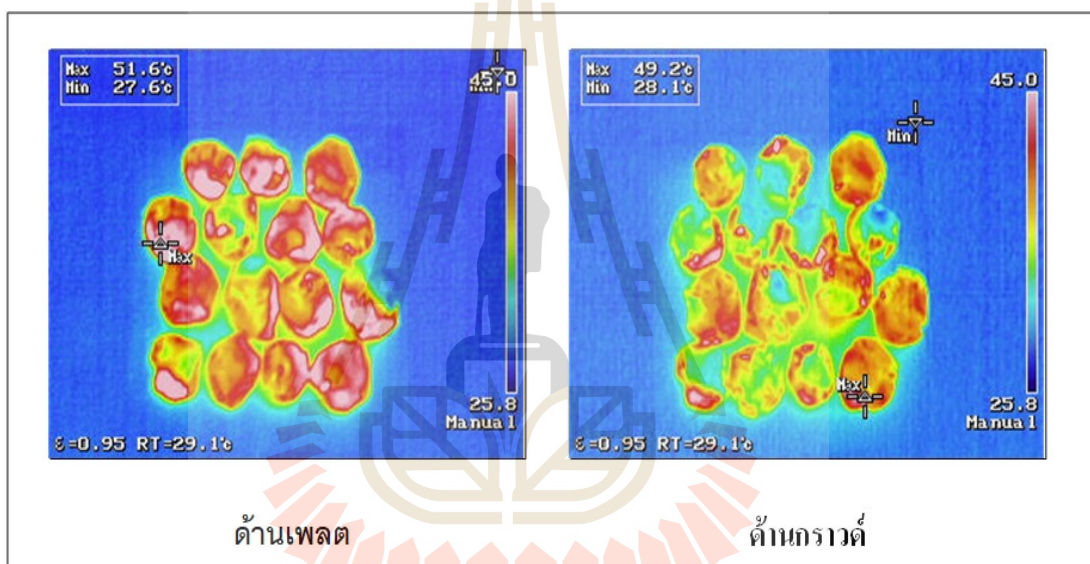
ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เฟลต	51.5	51.7	51.6	51.5	51.6	51.7	51.6	51.5	51.5
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	49.1	49.2	49.3	49.2	49.2	49.2	49.3	49.3	49.2

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 7.30 นาที ผลการทดสอบด้านเฟลตหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 51.5 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเฟลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเฟลต B = 51.7 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเฟลต C = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเฟลต D = 51.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเฟลต E = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเฟลต F = 51.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเฟลต G = 51.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเฟลต H = 51.6 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเฟลต I = 51.5 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 49.1 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเฟลต ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเฟลต K = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวา

ของเพลต L = 49.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลต M = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลต N = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลต O = 49.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลต P = 49.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลต Q = 49.3 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลต R = 49.2 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 7.30 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลตและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.27 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร 50 °C



รูปที่ 5.27 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 50 °C

การทดสอบถัดไปทำการทดสอบโดยการนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 55 °C โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.18

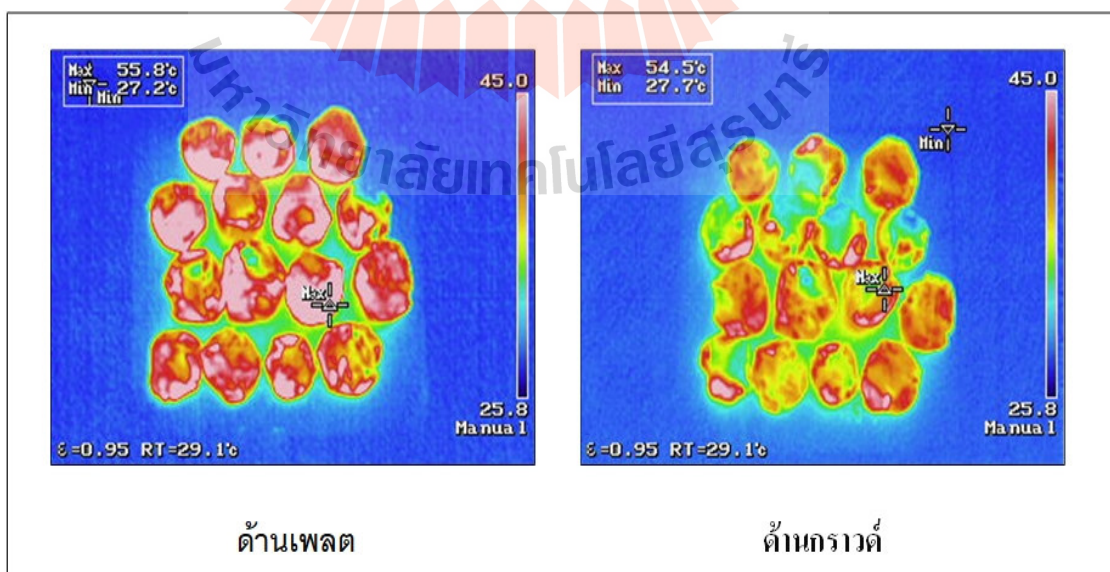
ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 °C

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I
ใกล้เพลต	55.7	55.8	55.7	55.7	55.8	55.8	55.7	55.8	55.7
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
กราวด์	55.4	55.5	55.5	55.3	54.5	54.5	54.5	54.6	54.6

เมื่อทำการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ผลการทดสอบด้านเพลดหรือด้านล่างของผลทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง A = 55.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลด ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลด B = 55.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลด C = 55.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลด D = 55.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลด E = 55.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลด F = 55.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลด G = 55.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลด H = 55.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลด I = 55.7 °C

อุณหภูมิด้านกราวด์หรือด้านบนของทับทิม อุณหภูมิที่ตำแหน่ง J = 55.4 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนด้านซ้ายของเพลด ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของเพลด K = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของเพลด L = 55.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของเพลด M = 55.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของเพลด N = 54.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านขวาของเพลด O = 54.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของเพลด P = 54.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของเพลด Q = 54.6 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวาของเพลด R = 54.6 °C

จากการทดสอบนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที พบว่าอุณหภูมิที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิจะร้อนมากที่สุดตำแหน่งตรงกลางด้านเพลดและด้านกราวด์ และตำแหน่งอื่นๆ ก็มีอุณหภูมิความร้อนกระจายเท่าๆ กัน ใกล้เคียงกับตำแหน่งตรงกลาง แสดงดังรูปที่ 5.28 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนการทดสอบที่ระยะห่างเพลด 3 เซนติเมตร 55 °C



รูปที่ 5.28 ภาพถ่ายความร้อนการทดสอบระยะห่าง 3 เซนติเมตร 55 °C

5.4 ผลการเปรียบเทียบลักษณะภายนอกของมะม่วงและผลไม้สด (ทับทิม) ที่ผ่านเครื่องฆ่าหอนแมลงวัน

เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงลักษณะของมะม่วงที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุสำหรับฆ่าหอนในมะม่วง ผู้วิจัยได้ทำการสังเกตและวิเคราะห์ลักษณะผิวมะม่วงหลังจากการให้ความร้อนตามที่ได้ทำการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.19 ลักษณะมะม่วงที่อุณหภูมิ 45 °C, 50 °C และ 55 °C ของระยะแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร หลังผ่านเครื่อง

ระยะห่างแผ่นเพลต	อุณหภูมิ 45 °C	อุณหภูมิ 50 °C	อุณหภูมิ 55 °C
1 cm.	ผลปกติ	ผลมีรอยขีด	ผลมีรอยขีดมาก
2 cm.	ผลปกติ	ผลมีรอยขีด	ผลมีรอยขีด
3 cm.	ผลปกติ	ผลปกติ	ผลปกติ

จากการเปรียบเทียบลักษณะของมะม่วงหลังจากการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุสำหรับฆ่าหอนและไข่แมลงวันผลไม้ ระยะ 1 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่มะม่วงที่อุณหภูมิ 45 °C , 50 °C และ 55 °C ปรากฏว่าผลมะม่วงเกิดรอยขีดตรงส่วนที่นูนที่สุดของมะม่วงมาก เพราะฉะนั้นระยะ 1 เซนติเมตร ผลมะม่วงได้รับพลังงานมากเกินไป ทำให้มะม่วงมีความเสียหายสำหรับอุณหภูมิที่มากกว่า 45 °C หลังผ่านเครื่องแล้ว แสดงดังรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 ลักษณะรอยข้ำมะม่วงหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

ระยะห่างแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร

ระยะ 2 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่มะม่วงที่อุณหภูมิสูง 45 °C , 50 °C และ 55 °C ปรากฏว่าผลมะม่วงเกิดรอยข้ำตรงส่วนที่นูนที่สุดของมะม่วงมาก เพราะฉะนั้นระยะ 2 เซนติเมตร ผลมะม่วงได้รับพลังงานมากเกินไป ทำให้มะม่วงมีความเสียหายสำหรับอุณหภูมิที่มากกว่า 45 °C หลังผ่านเครื่องแล้วเช่นเดียวกับระยะ 1 เซนติเมตร แต่รอยข้ำจะเล็กกว่าระยะ 1 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ลักษณะรอยข้ำมะม่วงหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

ระยะห่างแผ่นเพลต 2 เซนติเมตร

ระยะ 3 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่มะม่วงที่อุณหภูมิสูง 45 °C , 50 °C และ 55 °C แล้วไม่ทำให้ลักษณะของผิวมะม่วงเกิดรอยชำเช่น ระยะ 1 เซนติเมตร และระยะ 2 เซนติเมตร ซึ่งมะม่วงมีลักษณะสมบูรณ์เช่นเดิมเหมือนก่อนการนำเข้าทดสอบ ซึ่งสรุปได้ว่าการทดสอบทั้ง 3 อุณหภูมิ และ 3 ระยะห่างแผ่นเพลตนั้น ระยะห่างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการฆ่าหนอนแมลงวันโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อมะม่วงคือ ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร และผลวิเคราะห์ลักษณะผิวทับทิมหลังจากการให้ความร้อนตามที่ได้ทำการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ลักษณะทับทิมที่อุณหภูมิ 45 °C, 50 °C และ 60 °C ของระยะแผ่นเพลต

1 เซนติเมตร 2 เซนติเมตร และ 3 เซนติเมตร หลังผ่านเครื่อง

ระยะห่างแผ่นเพลต	อุณหภูมิ 45 °C	อุณหภูมิ 50 °C	อุณหภูมิ 55 °C
1 cm.	ผลปกติ	ผลมีรอยชำ	ผลมีรอยชำมาก
2 cm.	ผลปกติ	ผลมีรอยชำ	ผลมีรอยชำ
3 cm.	ผลปกติ	ผลปกติ	ผลปกติ

จากการเปรียบเทียบลักษณะของทับทิมหลังจากการทดสอบให้ความร้อนได้อิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ ระยะ 1 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่ทับทิมที่อุณหภูมิ 45 °C , 50 °C และ 55 °C ปรากฏว่าผลทับทิมเกิดรอยชำตรงส่วนที่นูนที่สุดของทับทิมมาก เพราะฉะนั้นระยะ 1 เซนติเมตร ผลทับทิมได้รับพลังงานมากเกินไป ทำให้ทับทิมมีความเสียหายสำหรับอุณหภูมิที่มากกว่า 45 °C หลังผ่านเครื่องแล้ว แสดงดังรูปที่ 5.31

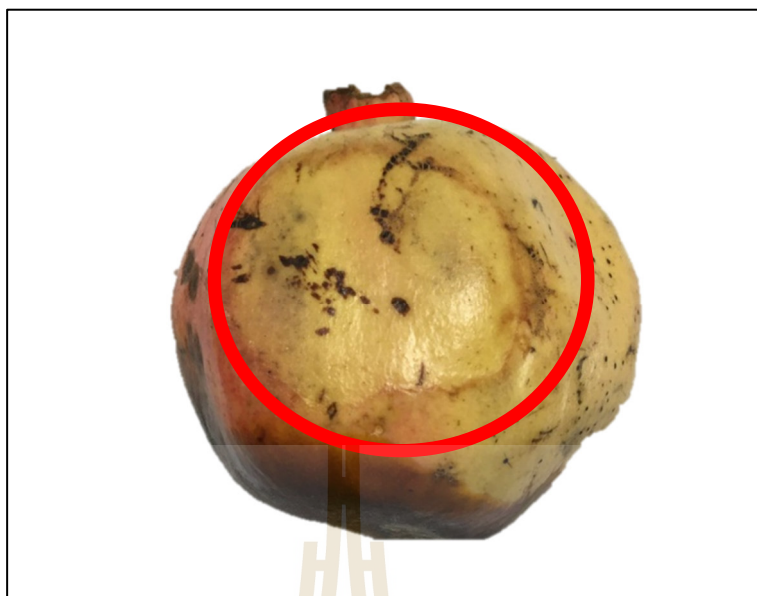


รูปที่ 5.31 ลักษณะรอยชำทับทิมหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

ระยะห่างแผ่นเพลต 1 เซนติเมตร

ระยะ 2 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่ทับทิมที่อุณหภูมิสูง 45 °C , 50 °C และ 55 °C
ปรากฏว่าผลทับทิมเกิดรอยชำตรงส่วนที่นูนที่สุดของทับทิมมาก เพราะฉะนั้นระยะ 2 เซนติเมตร ผล
ทับทิมได้รับพลังงานมากเกินไป ทำให้ทับทิมมีความเสียหายสำหรับอุณหภูมิที่มากกว่า 45 °C หลัง
ผ่านเครื่องแล้วเช่นเดียวกับระยะ 1 เซนติเมตร แต่รอยชำจะเล็กกว่าระยะ 1 เซนติเมตร แสดงดัง
รูปที่ 5.32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.32 ลักษณะรอยชำทับทิมหลังจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก
ระยะห่างแผ่นเพลต 2 เซนติเมตร

ระยะ 3 เซนติเมตร เมื่อให้ความร้อนแก่ทับทิมที่อุณหภูมิสูง 45 °C , 50 °C และ 55 °C แล้วไม่ทำให้ลักษณะของผิวทับทิมเกิดรอยชำเช่น ระยะ 1 เซนติเมตร และระยะ 2 เซนติเมตร ซึ่งทับทิมมีลักษณะสมบูรณ์เช่นเดิมเหมือนก่อนการนำเข้าทดสอบ ซึ่งสรุปได้ว่าการทดสอบทั้ง 3 อุณหภูมิ และ 3 ระยะห่างแผ่นเพลตนั้น ระยะห่างที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการฆ่าหนอนแมลงวันโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อทับทิมคือ ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร

5.5 ผลการวัดตรวจสอบการตายของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้

เพื่อให้ทราบถึงอัตราการตายของหนอนและไข่แมลงวันที่ผ่านมาการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ด้วยคลื่นความถี่วิทยุสำหรับฆ่าหนอนและไข่แมลงวันในผลไม้ คณะผู้วิจัยจึงได้วัดผลและเก็บตัวอย่างเพื่อเปรียบเทียบการตายของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วง ในที่นี้คณะผู้วิจัยได้เก็บมะม่วงที่คาดว่าจะมีหนอนแมลงวันที่ไม่ผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกเพื่อเปรียบเทียบกับมะม่วงที่ผ่านการทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกเพื่อดูผลการตายของหนอนและไข่แมลงวันผลไม้

การเก็บผลเพื่อดูการตายของหนอนแมลงวัน

การเก็บผลเพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ซึ่งจะเก็บมะม่วงไว้ตามจำนวนวันที่กำหนดเมื่อครบกำหนดแล้วจะทำการผ่ามะม่วงเพื่อดูการตายของหนอนแมลงวัน โดยทำการเก็บมะม่วงเพื่อดูการตายของหนอนแมลงและลักษณะของมะม่วงวันดังนี้

1.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง 15 ผล ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริก

2.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 1 เซนติเมตร

2.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

2.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

2.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

3.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 2 เซนติเมตร

3.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

3.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

3.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

4.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 3 เซนติเมตร

4.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

4.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

4.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส ดูการตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

5.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม 15 ผล ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริก

6.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 1 เซนติเมตร

- 6.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 6.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 6.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

7.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 2 เซนติเมตร

- 7.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 7.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 7.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

8.การเก็บผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม 15 ผล ที่ผ่านการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกที่ระยะ 3 เซนติเมตร

- 8.1 ที่อุณหภูมิประมาณ 45 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 8.2 ที่อุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน
- 8.3 ที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส การตายของหนอนแมลงวัน เก็บไว้ 7 วัน

ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง

ตารางที่ 5.21 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วงที่ยังไม่ผ่านเครื่อง

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
2	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
3	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
5	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
6	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
7	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
8	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
10	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
11	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
12	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
14	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
15	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วงหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
3	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
7	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
12	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วงหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.23

ตารางที่ 5.23 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
2	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
5	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
6	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
10	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วง หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.24

ตารางที่ 5.24 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
4	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
14	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วง หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
7	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
11	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วงหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.26

ตารางที่ 5.26 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
5	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
7	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
11	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วง หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.27

ตารางที่ 5.27 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
2	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
12	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วง หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.28

ตารางที่ 5.28 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
3	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
10	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
15	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วง หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.29

ตารางที่ 5.29 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำมะม่วงไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลมะม่วงไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของมะม่วงหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.30

ตารางที่ 5.30 ผลการตายของหนอนแมลงวันในมะม่วง ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บมะม่วงไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวมะม่วง
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวมะม่วงปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ
15	หนอนแมลงวันตาย	ผิวมะม่วงปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในมะม่วงที่นำมาทำการทดสอบ

ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม

ตารางที่ 5.31 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิมที่ยังไม่ผ่านเครื่อง

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
2	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
3	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
5	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
6	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
7	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
8	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
10	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
11	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
12	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
14	มีการเกิดหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิมหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.32

ตารางที่ 5.32 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
12	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิม หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.33

ตารางที่ 5.33 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
5	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
6	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
10	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 1 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิม หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.34

ตารางที่ 5.34 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 1

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
2	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
5	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
9	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
14	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยขีดที่ผิวมาก

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิม หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.35

ตารางที่ 5.35 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
7	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิมหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.36

ตารางที่ 5.36 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
2	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
11	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
12	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 2 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิมหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.37

ตารางที่ 5.37 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 2

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
2	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
3	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
4	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
5	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
6	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
7	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
8	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
9	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
10	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
11	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
12	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
13	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว
14	ไม่พบหนอนแมลงวัน	เกิดรอยชำที่ผิว
15	หนอนแมลงวันตาย	เกิดรอยชำที่ผิว

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิม หลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.38

ตารางที่ 5.38 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
6	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
15	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิมหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.39

ตารางที่ 5.39 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
3	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
5	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
13	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
15	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

เมื่อนำทับทิมไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่าหนอนแมลงวันด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยกำหนดให้ระยะห่างเพลต 3 เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แล้วทำการเก็บผลทับทิมไว้เพื่อดูการตายของหนอนแมลงวันและลักษณะของทับทิมหลังจากผ่านไป 7 วัน แสดงดังตารางที่ 5.40

ตารางที่ 5.40 ผลการตายของหนอนแมลงวันในทับทิม ระยะห่างเพลต 3

เซนติเมตร อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

ลูกที่	เก็บทับทิมไว้ 7 วัน	ลักษณะของผิวทับทิม
1	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
2	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
3	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
4	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
5	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
6	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
7	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
8	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
9	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
10	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
11	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
12	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
13	ไม่พบหนอนแมลงวัน	ผิวทับทิมปกติ
14	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ
15	หนอนแมลงวันตาย	ผิวทับทิมปกติ

หมายเหตุ *ไม่พบหนอนแมลงวัน คือ ไม่พบการวางไข่ของแมลงวันในทับทิมที่นำมาทำการทดสอบ

5.6 สรุป

จากการผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับการฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด โดยการใช้คลื่นความถี่วิทยุโครงการนี้ สามารถฆ่าหนอนและไข่แมลงวันผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเมื่อให้ความเข้มข้นไฟฟ้าและกำลังงานที่เหมาะสมกับมะม่วงทำให้หนอนและไข่แมลงวันผลไม้ตาย 100% และลักษณะทางกายภาพมะม่วงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

บทที่ 6

สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวิจัยถึงการวิเคราะห์การให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษา ทฤษฎีการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ด้วยสนามไฟฟ้าและพิจารณาถึง กลไกการให้ความร้อนของไดโอดีเล็กทรอนิกส์ หลักการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์พาราเมเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ และหลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและได้นำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาทำการวิเคราะห์และ ออกแบบด้วยการคำนวณหาระดับพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวนอนแมลงวันและช่วงความถี่ที่ใช้ให้มีความเหมาะสม การคำนวณหาระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้ความร้อนแก่ไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมได้ การวิเคราะห์ถึงลักษณะของวงจรที่สามารถทำให้เกิดคลื่นสนามไฟฟ้า การคำนวณถึง กำลังงานที่ต้องใช้ภายในวงจรเพื่อให้ได้กำลังงานที่เหมาะสมซึ่งนำมาสู่การจำลองผลของการกระจาย ความเข้มของสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST เพื่อวิเคราะห์ถึงจำนวนของจุดบ่อนกำลังงานและ ตำแหน่งของจุดบ่อนกำลังงานที่เหมาะสม และได้วิเคราะห์ถึงระดับการใช้กำลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ในการ ใช้งาน รวมถึงการพิจารณาระยะเวลาในการให้ความร้อนสำหรับขั้วมอดที่เหมาะสม และองค์ประกอบ ด้านโครงสร้าง ต้นแบบสำหรับกำจัดหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สดโดยให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ในโครงการนี้ทำงานในย่านความถี่ 39 MHz ซึ่งการทดสอบให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ พบว่าการ ให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่าหนอนแมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สดนั้นจะต้องคำนึงถึง กำลังความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการใช้ฆ่าหนอนแมลงวันผลไม้ในมะม่วงและผลไม้สด เพื่อให้ หนอนแมลงวันตาย 100% และไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของมะม่วงหรือผลไม้สด

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ระบบจ่ายกำลังงาน ระบบจ่ายกำลังงานของอาคาร และระบบกราวด์ (Ground) อาจส่งผล ให้การทดสอบระดับกำลังงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของการออกแบบระบบ การออกแบบเครื่องที่มี ขนาดกำลังงานสูง จำเป็นต้องมีระบบการจ่ายกำลังงานและระบบกราวด์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อ ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

- 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-in star *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

คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก
สำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

**คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก
สำหรับฆ่าหนอนแมลงวันในมะม่วงและผลไม้สด**

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- ใช้กับไฟฟ้า 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 9 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 100 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแพร่กระจายของระบบ

- สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วจากตัวเครื่อง
- สามารถป้องกันคลื่นสนามไฟฟ้าด้วยแผ่นปิดกันอลูมิเนียมรอบตัวเครื่อง
- เป็นแท่งกราวด์ทองแดงขนาดความยาว 1.8 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 3 แท่ง สำหรับตอกลงดิน
- สายไฟทองแดงเบอร์ 4 สำหรับต่อจากตัวเครื่องมายังแท่งกราวด์
- มีตัวยึดสายไฟทองแดงที่ตัวเครื่องกับแท่งกราวด์ทองแดง