

รหัสโครงการ SUT7-716-61-12-05



รายงานการวิจัย

ออกแบบสร้างเครื่องฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบข้าว
ด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยใช้ตัวปล่อยคลื่นขนาดใหญ่
สำหรับอุตสาหกรรมการเก็บรักษาข้าว

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

ออกแบบสร้างเครื่องฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบข้าว
ด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยใช้ตัวปล่อยคลื่นขนาดใหญ่
สำหรับอุตสาหกรรมการเก็บรักษาข้าว

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2561

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

บทคัดย่อ

การประดิษฐ์คิดค้นนี้ได้นำเสนอวิธีการฆ่ามอดข้าวในกระสอบด้วยหลักการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นการพัฒนาและประยุกต์การออกแบบระบบโดยใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุทดแทนการใช้สารเคมีสำหรับการฆ่ามอดข้าว ซึ่งการฆ่ามอดด้วยหลักการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์นี้จะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภค เนื่องจากระบบดังกล่าวที่ใช้เทคนิคการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์นั้นไม่มีการใช้สารเคมีใด ๆ ทั้งสิ้น โดยเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวในกระสอบ ทำการออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ต้นแบบสำหรับฆ่ามอดข้าวและไข่มอดในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของโรงสีข้าว โดยไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหาย เพื่อการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่ามอดข้าวและไข่มอดในปัจจุบัน ซึ่งการทดสอบให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ พบว่ามอดข้าวมีอัตราการตาย 100% และอุณหภูมิสูงสุดของข้าวสารเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว ดังนั้นสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Abstract

In this invention, we presented the rice weevil killing by using a principle of dielectric heating. It is the development and application designed of a heating system by using a dielectric heating technology with radio frequency replaces the use of chemicals to kill the rice weevil which the excess heat helps to reduce the rice moisture and kill mold. The advantage of the rice weevil killing by using a principle of dielectric heating system, it is suitable for the rice industries, rice mill including the rice keeping. Furthermore, it also helps reduce the import of chemicals to kill the rice weevil and is not harmful to the environment and consumers because the system utilizes dielectric heating technique without any chemical agent. Dielectric heating machine project to kill rice weevil for developing a capability of the mill cooperative is designed to create the prototype of dielectric heating to kill rice weevil and egg of rice weevil in rice sack size 100 kg for developing a capabilities of the mill cooperative. This technology of the dielectric heating don't damage quality of milled rice and can be replaced the fumigation chemicals that used to kill rice weevil. The dielectric heating system tested, the rice weevil has a 100% mortality rate and the highest temperature of rice was 55 degrees Celsius, when the rice checks of does not change characteristics of rice quality. Therefore, it can be used to benefit the industry greatly.

กิตติกรรมประกาศ

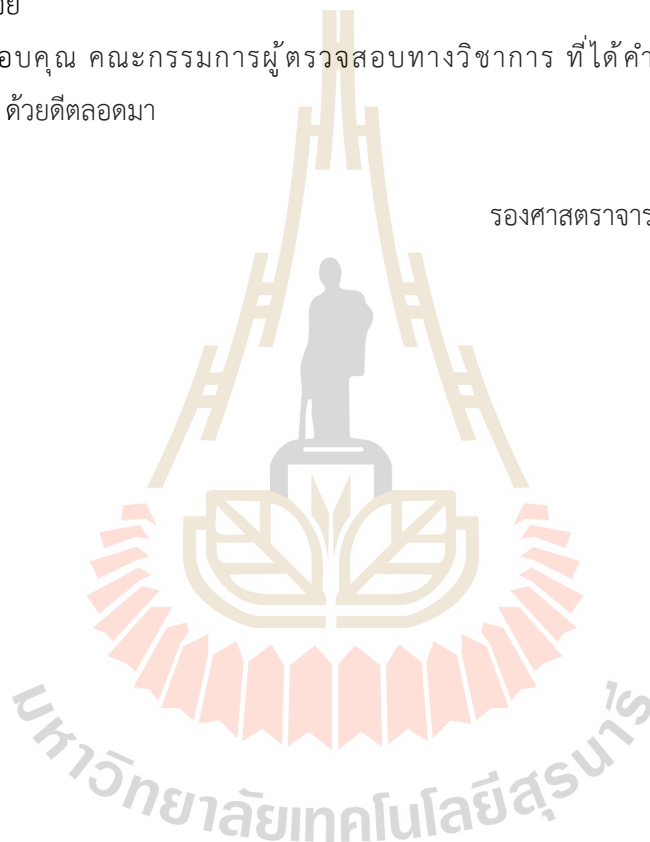
การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2561 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่สำหรับการทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ
หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 ปรีทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1.1 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	6
2.1.2 การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อน กับไดอิเล็กตริก.....	12
2.1.3 แหล่งจ่ายกำลังงานสำหรับให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	14
2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	15
2.2.1 คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก.....	15
2.2.2 พื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก.....	17
2.2.3 หลักการพื้นฐานของการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่นเพลต.....	21
2.3 สรุป.....	22
3 การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าว.....	23
3.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าว.....	23
3.1.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก.....	24
3.1.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในหม่อมอดข้าว.....	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.3 การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิด ความร้อนในมอดข้าว.....	26
3.2 การวิเคราะห์และออกแบบวงจรมอดข้าวให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์ ในกระสอบไม่เกิน 100 กิโลกรัม.....	27
3.2.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์.....	28
3.2.2 การออกแบบเครื่องการให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่า มอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ.....	33
3.4 สรุป.....	43
4 อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล	44
4.1 อุปกรณ์.....	44
4.2 วิธีการ.....	46
4.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	48
5 การทดสอบและผลการทดสอบการให้ความร้อนแกได้อิเล็กทรอนิกส์	49
5.1 กล่าวนำ.....	49
5.2 การทดสอบการให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและ ข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ.....	49
5.3 ผลการวัดความร้อนที่จุดต่างๆ และอัตราการตายของมอดข้าว.....	55
5.4 สรุป.....	86
6 สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ	87
6.1 สรุป.....	87
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	88
เอกสารอ้างอิง.....	89
ภาคผนวก.....	92
คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าว.....	92

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ	26
3.2 ค่าความความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ	27
5.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	56
5.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	60
5.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	64
5.4 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	68
5.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	72
5.6 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	76
5.7 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก.....	81
5.8 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก.....	82
5.9 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก.....	83
5.10 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	84
5.11 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	85
5.12 ผลการทดสอบอุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	86

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 การเก็บรักษาข้าวไว้ในโกดังและการกักกินของมอดข้าว.....	1
1.2 การกักกินของมอดข้าวและแมลงในข้าว.....	2
1.3 การรมควันด้วยสารเคมีเพื่อฆ่ามอดข้าว.....	2
2.1 การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพล เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า.....	8
2.2 การให้ความร้อนไดอิเล็กทริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ ไมโครเวฟกับมอดข้าวสาธิตจนมีอัตราการตายที่ 99-100%.....	9
2.3 การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าว สาธิตต่อการตายของมอดข้าว.....	10
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กทริก กับความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาธิต.....	11
2.5 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า.....	13
2.6 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นวงกลม.....	13
2.7 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	13
2.8 หลอดแมกนีตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดอิเล็กทริก.....	14
2.9 อะตอมระหว่างประจวบกับต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กทริก.....	18
2.10 รูปแบบตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต.....	21
3.1 โครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดข้าวและไข่มอด.....	24
3.2 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าในแผ่น เพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 1 พอร์ต.....	29
3.3 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าใน แผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต รูปแบบที่ 1.....	30
3.4 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าใน แผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต รูปแบบที่ 2.....	31
3.5 รูปแบบการวิเคราะห์เพื่อทดสอบประสิทธิผลการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าใน แผ่นเพลตที่มีการป้อนกำลังงานแบบ 2 พอร์ต รูปแบบที่ 3.....	32
3.6 ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่สามารถกำจัดมอดได้.....	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7	ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด..... 34
3.8	ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด..... 35
3.9	โครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด..... 36
3.10	ลักษณะสายพานลำเลียงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works..... 37
3.11	สายพานที่สร้างขึ้นตามที่ออกแบบ..... 37
3.12	รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับ ฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัม ต่อกระสอบ..... 38
3.13	รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็ก ตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ..... 39
3.14	การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง..... 40
3.15	รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอด ข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ..... 41
3.16	การติดตั้งแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตตามที่ออกแบบ..... 42
3.17	ระบบต้นแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอดที่ได้สร้างขึ้น ตามที่ออกแบบ..... 43
4.1	เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล..... 45
4.2	เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม..... 45
4.3	เครื่องวิเคราะห์โครมกราฟี..... 45
4.4	เครื่องวัดกำลัง..... 46
4.5	กล้องถ่ายภาพความร้อน..... 46
5.1	การจัดวางข้าวสารที่บรรจุถุงบนฐานพลาสติก Polypropylene..... 50
5.2	การเตรียมกระสอบข้าวเพื่อทำการทดสอบ..... 51
5.3	การวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าว..... 52
5.4	ถุงผ้าที่ใส่มอดเพื่อทำการทดสอบ..... 53
5.5	ตำแหน่งการวางถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวในกระสอบข้าว..... 53
5.6	ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือก..... 54

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือก.....	54
5.7 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	57
5.8 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	58
5.9 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	61
5.10 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	62
5.11 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	65
5.12 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	66
5.13 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	69
5.14 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	70
5.15 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	73
5.16 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	74
5.17 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	77
5.18 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบัน ข้าวไทยถือได้ว่าเป็นพืชผลทางการเกษตรและเศรษฐกิจหลักของประเทศ โดยมีพื้นที่ปลูกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับที่ห้าของโลกและเป็นผู้ส่งออกข้าวอันดับหนึ่งของโลก มีการผลิตหลังเก็บเกี่ยวทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 30 ล้านตัน/ปี เพื่อการส่งออกและขายภายในประเทศ โดยกระบวนการหลังจากเก็บเกี่ยว เกษตรกรผู้ปลูกข้าวจะนำข้าวไปขายให้กับโรงสีข้าวที่ประกอบธุรกิจกับอุตสาหกรรมข้าวของไทย เพื่อนำไปเก็บรักษาก่อนที่จะนำมาแปรรูปสำหรับส่งออกและขายภายในประเทศ ปัจจุบันมีโรงสีข้าวที่จดทะเบียนประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าวขนาดใหญ่ประมาณ 275 โรง ทั่วประเทศ ประกอบด้วยโรงสีขนาดชุมชน โรงสีขนาดกลาง และ โรงสีขนาดใหญ่ โดยที่กระบวนการของโรงสีแต่ละโรง หลังจากรับซื้อจากเกษตรกรผู้ปลูกข้าวแล้ว จะมีการเก็บสต็อกข้าวเปลือกไว้ในโกดังเก็บข้าว ซึ่งเป็นโกดังขนาดใหญ่ โดยจะบรรจุไว้ในกระสอบที่มีขนาดประมาณ 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งการเก็บรักษาเป็นเวลานาน ปัญหาที่เกิดขึ้นมา นั่นคือ มอดข้าวและแมลงต่างๆที่มากัดกินข้าวและวางไข่ไว้ในเมล็ดข้าว ทั้งข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้และข้าวสารที่เตรียมการส่งออก แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งผลดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อผู้ประกอบการโรงสีข้าวไทยเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.1 การเก็บรักษาข้าวไว้ในโกดังและการกัดกินของมอดข้าว



รูปที่ 1.2 การกัดกินของมอดข้าวและแมลงในข้าว

ในปัจจุบันผู้ประกอบการจึงใช้วิธีการรมควันด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) โดยทำการรมควันประมาณ 5-7 วัน ขึ้นอยู่กับปริมาณสารเคมีที่ใช้ ก่อนที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการบรรจุถุงและส่งออกขายยังตลาดในประเทศและต่างประเทศ วิธีการนี้ผู้ประกอบการยังคงมีใช้จนถึงปัจจุบัน แต่ยังมีผลที่ตามมาคือ ความกังวลของความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้เป็นเวลานานและยังใช้พื้นที่จัดเก็บในชั้นตอนการรมควันที่มากขึ้นด้วย แสดงดังรูปที่ 1.3 ซึ่งกับปัจจุบันการใช้สารเคมี มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานสารเคมีของมอดข้าว การตกค้างของสารเคมี ในหลายประเทศได้มองหาทางเลือกทดแทนการใช้สารเคมี เช่น การใช้การควบคุมระดับออกซิเจนด้วยก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการฉายรังสี เพื่อให้มอดข้าวขาดอากาศตายเป็นต้น แต่ยังไม่มียุทธวิธีถึงความชัดเจน และก็ยังไม่ได้แก้ปัญหาสำหรับมอดข้าวเปลือกที่เป็นต้นเหตุหลักในการเกิดมอดในข้าวจากการเก็บรักษา



รูปที่ 1.3 การรมควันด้วยสารเคมีเพื่อฆ่ามอดข้าว

คณะผู้วิจัยได้เล็งปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าวของไทย จึงได้ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเพื่อหาวิธีการเพื่อแก้ปัญหาการฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารโดยไม่ใช้สารเคมี และยังคงคุณภาพข้าว 100% ซึ่งพบว่า การให้พลังงานความร้อน เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งแหล่งพลังงานความร้อนจากการใช้คลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นความถี่วิทยุหรือไมโครเวฟนั้นจะไปทำให้วัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วนั้นสั่นและสามารถทำให้เกิดความร้อนขึ้นได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งสามารถประยุกต์ใช้การให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์กับสิ่งมีชีวิตหรือศัตรูพืชต่าง ๆ ในภาคการเกษตรได้ เช่น แมลงศัตรูพืช มอดข้าวหรือหนอนต่าง ๆ ที่ฝังตัวและหลบซ่อนอยู่ภายในผลิตผลหรือเมล็ดพืช เพื่อฆ่าหรือขับไล่ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากโครงสร้างของสิ่งมีชีวิตดังกล่าวมีของเหลวหรือมีโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งปัจจุบันการฆ่าหรือขับไล่มอดข้าวหรือหนอนต่าง ๆ ที่อยู่ในช่วงนั้นยังคงต้องใช้สารเคมีดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค หรืออาจจะใช้คลื่นไมโครเวฟ 2450 MHz ในการให้ความร้อนในการฆ่ามอดข้าว แต่วิธีนี้จะเป็นการให้ความร้อนกับมอดข้าว ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะทำให้มอดข้าวตายนั้นจำเป็นต้องให้ความร้อนกับข้าวด้วยอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงและการใช้อุณหภูมิสูงนี้จะส่งผลกระทบต่อข้าวทำให้ข้าวเกิดความเสียหายและด้อยคุณภาพได้ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้มีการวิจัยถึงโครงการเครื่องฆ่ามอดข้าวมาแล้วตั้งแต่ปี 2555 และได้มีการพัฒนาขีดความสามารถของเครื่องอย่างต่อเนื่องแต่ยังไม่ครอบคลุมลักษณะการทำงานของระบบในโรงสีข้าวทั้งหมด เนื่องจากโรงสีข้าวขนาดใหญ่จะมีการเก็บสต็อกข้าวเปลือกไว้ในกระสอบ ซึ่งพบปัญหาของการกักกินของมอดและแมลงในข้าวเป็นอย่างมากและเมื่อดำเนินการสีข้าวเรียบร้อยแล้วจะมีการเก็บไว้ในกระสอบบรรจุภัณฑ์ข้าวสารเพื่อรอการจำหน่ายและส่งออกทำให้โรงสีข้าวส่วนใหญ่มีความต้องการที่จะให้ออกแบบและสร้างเครื่องฆ่ามอดและแมลงในข้าวที่สามารถใช้กับข้าวเปลือกและข้าวสารบรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ซึ่งจะมีความเหมาะสมและใช้งานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพต่อการแข่งขันในระดับนานาชาติได้

จากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวทำให้คณะผู้วิจัยสนใจ ศึกษา ออกแบบและสร้างระบบเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารด้วยตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตขนาดใหญ่เพื่อการเก็บรักษาและส่งออกข้าวไทยอย่างยั่งยืนและสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย ซึ่งเป็นการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์ข้าวไทย อีกทั้งยังช่วยลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค โดยใช้วิธีการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารขนาดกำลังงานสูงและออกแบบตัวปล่อยคลื่นที่มีขนาดใหญ่เหมาะสมกับการใช้งานกับข้าวเปลือกและ

ข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบสำหรับเก็บรักษาและเตรียมการส่งออกให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานในอุตสาหกรรมข้าวไทยได้อย่างยั่งยืน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานกับการไล่หรือควบคุมแมลงที่จะเข้ามาทำลายผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายในวงกว้าง โดยวิธีการสร้างเพลดหรือตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าเข้าไปปรบกวณแมลงในระบบของการจัดเก็บขนาดใหญ่ ส่งผลให้เก็บผลิตผลได้นานขึ้นสามารถชะลอการส่งออกได้โดยไม่ใช้สารเคมี อีกทั้งยังใช้ได้กับศัตรูพืชอื่น ๆ ธัญพืช หรือผลไม้ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง ได้อีกหลายชนิด เนื่องจากสามารถออกแบบให้ปรับเปลี่ยนความถี่ให้มีความเหมาะสมกับไดโอดเล็กริกแต่ละชนิดได้และยังได้เทคโนโลยีใหม่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมข้าวไทยที่ประหยัด ใช้งานได้ง่าย สะดวก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งโครงการนี้จะเป็นโครงการที่สามารถออกแบบระบบการฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่มีความเหมาะสมและครอบคลุมกระบวนการจัดการมอดข้าวสำหรับผู้ประกอบการโรงสีข้าวไทยอย่างยั่งยืน

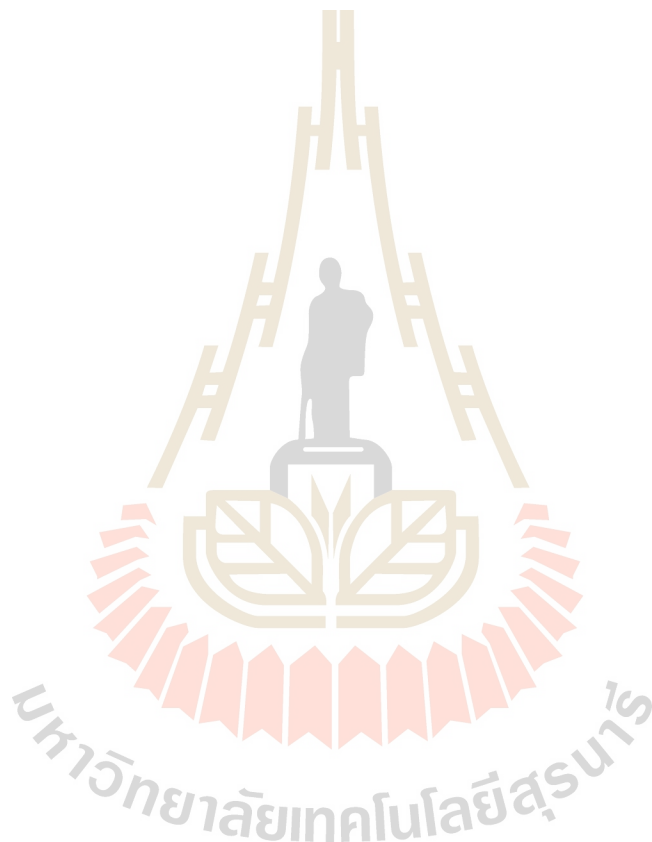
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อสร้างเครื่องให้ความร้อนไดโอดเล็กริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุโดยใช้ตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลดขนาดใหญ่สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุกระสอบสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมข้าวของไทย เพื่อการเก็บรักษาก่อนการส่งออกข้าว โดยออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานกับข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ เพื่อความสะดวกและง่ายต่อการฆ่ามอดข้าวและการนำไปเก็บรักษา ซึ่งไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหาย และเป็นการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่ามอดข้าวในปัจจุบัน พร้อมทั้งติดตั้งทดสอบการทำงานของเครื่องที่สร้างได้โนโรงสีข้าวที่มีขนาดใหญ่ สำหรับประเมินติดตามผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานของเครื่องฆ่ามอดและแมลงในข้าวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงานจากระบบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้รูปแบบและเทคนิคการให้ความร้อนไดโอดเล็กริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่สามารถนำไปฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในอุตสาหกรรมการเก็บรักษาข้าวไทยได้ ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเนื่องจากไม่ใช้สารเคมีและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าว และข้าวยังคงคุณภาพอยู่ พร้อมทั้งมีการติดตามผลการทดสอบจากการให้ความร้อนไดโอดเล็กริกกับมอดข้าวเปลือกและมอดข้าวสารรวมถึงข้าวถึงอัตราการตายของมอดข้าวและอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในข้าวเพื่อหาความสัมพันธ์เป็นเงื่อนไขการทำงานจากระบบฆ่ามอดและแมลงในข้าวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของระบบนอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการไล่หรือควบคุมแมลงที่จะเข้ามาทำลายผลิตผลทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายในวงกว้าง โดยวิธีการสร้างเพลดหรือตัวปล่อยคลื่น

สนามไฟฟ้าเข้าไปรบกวนแมลงในระบบของการจัดเก็บขนาดใหญ่ ส่งผลให้เก็บผลิตผลได้นานขึ้น สามารถชะลอการส่งออกได้โดยไม่ใช้สารเคมี อีกทั้งยังใช้ได้กับศัตรูพืชอื่น ๆ ธัญพืช หรือผลไม้ที่ใช้ สำหรับการอบแห้ง ได้อีกหลายชนิด เนื่องจากสามารถออกแบบให้ปรับเปลี่ยนความถี่ให้มีความเหมาะสมกับไดโอดีทริกแต่ละชนิดได้และยังได้เทคโนโลยีใหม่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมข้าวไทยที่ประหยัด ใช้งานได้ง่าย สะดวก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

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 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับหารให้ความร้อนไดอิเล็กตริก รูปแบบแหล่งจ่ายกำลังงานและลักษณะการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกซึ่งได้รวบรวมข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลมีดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

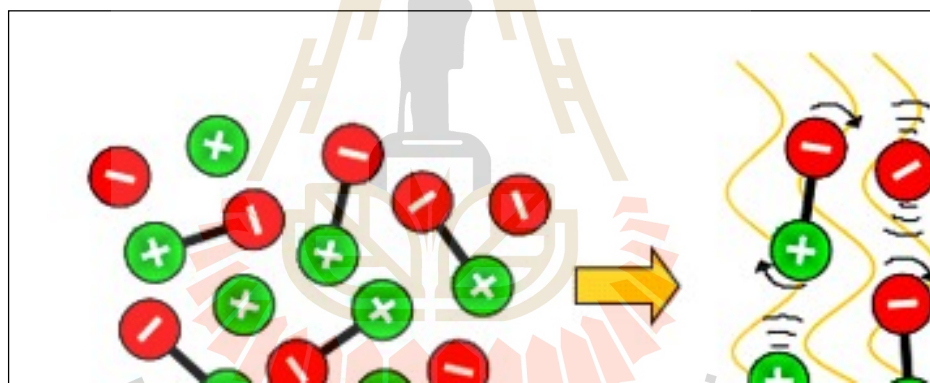
ปรากฏการณ์การให้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีด้านการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นับได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญในการวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ (Induction Heating) (Sarnago et al, 2013) เป็นการให้พลังงานความร้อนโดยอาศัยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน ซึ่งกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานในระดับความลึกผิว (Skin Depth) และกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลทางเส้นทางที่กระแส

ไหลผ่าน และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปบริเวณอื่น โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และสำหรับอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน นั่นคือ การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก เป็นรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงไปยังวัสดุที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีความเหมาะสมต่อช่วงความถี่ใช้งานและทำให้ไม่กระทบต่อวัสดุอื่น ๆ โดยโครงสร้างของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุ ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสามารถใช้หลักการการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าโดยพิจารณาจากการใช้สมการ $D = \epsilon E$ นั่นคือ ค่า ϵ ของวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการให้ความร้อนที่ดีที่สุด สำหรับการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งรูปแบบของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกประกอบด้วย 3 รูปแบบ คือ (1) การให้ความร้อนวัสดุไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นอินฟราเรด (Infrared) (Payne, 1988) ซึ่งเป็นการให้ความร้อนแบบแผ่รังสีโดยอาศัยคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่ย่านอินฟราเรด เพื่อให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกซึ่งจะสามารถให้ความร้อนได้กับวัสดุที่การตอบสนองในช่วงความถี่อินฟราเรดด้วย (2) การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ (Microwave heating) (Myungsik et al, 2012) ซึ่งเป็นการให้พลังงานความร้อนโดยการแผ่กระจายคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน โดยวัสดุนั้น ๆ จะต้องมีส่วนประกอบของโมเลกุลของน้ำ 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 โดยการให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุและไมโครเวฟเป็นเทคนิควิธีการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว ซึ่งโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้เพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากการจะเป็นการสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้น

จะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่น ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุ ไดอิเล็กทริกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางเข้ากับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุไดอิเล็กทริกเกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง

วัสดุไดอิเล็กทริกสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กทริกที่มีการสูญเสีย นั้น ๆ จากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กทริกที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้า ภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพล เนื่องจากคลื่นสนามไฟฟ้า

ในรูปที่ 2.1 เป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้า มีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อน โดยการใช้ “คลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูง” ในการให้ความร้อนกับตัวกลางวัสดุไดอิเล็กทริกที่มีการสูญเสียโดยสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้มุ่งเน้นไปทางการให้ความร้อนเพื่อเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมแมลง การกำจัดแมลงที่อยู่ในธัญพืช นั่นคือการให้ความร้อนกับกลุ่มแมลงด้วยคลื่นความถี่วิทยุหรือคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษา ค้นคว้า การให้ความร้อนกับ

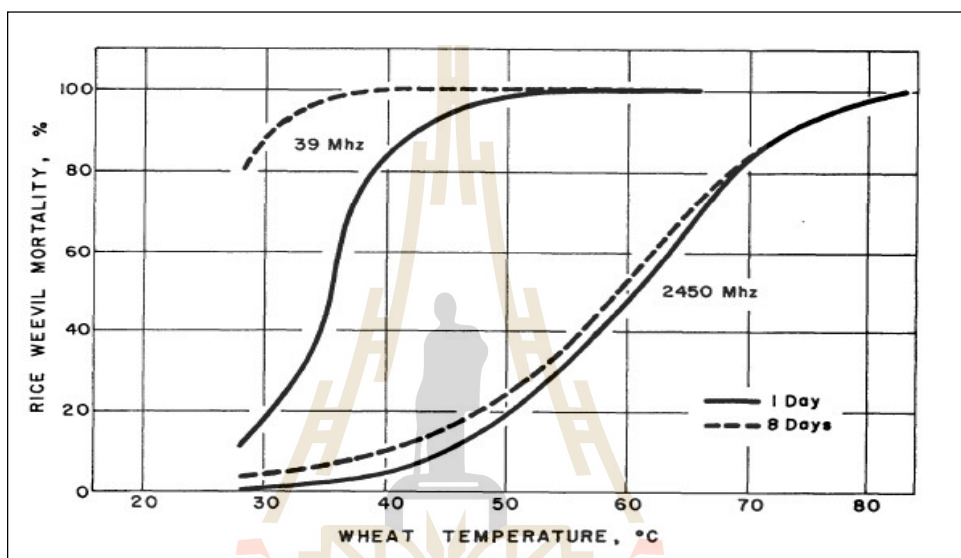
กลุ่มแมลงขึ้น ซึ่งจากงานวิจัยของ Nelson 1996 ได้ทำการวิจัยเรื่องคลื่นความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟที่ 39 MHz และ 2450 MHz ในการหาช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการฆ่ามอดข้าวดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ รูปที่ 2.3

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

รูปที่ 2.2 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่

ไมโครเวฟกับมอดข้าวสาลีจนมีอัตราการตายที่ 99-100%

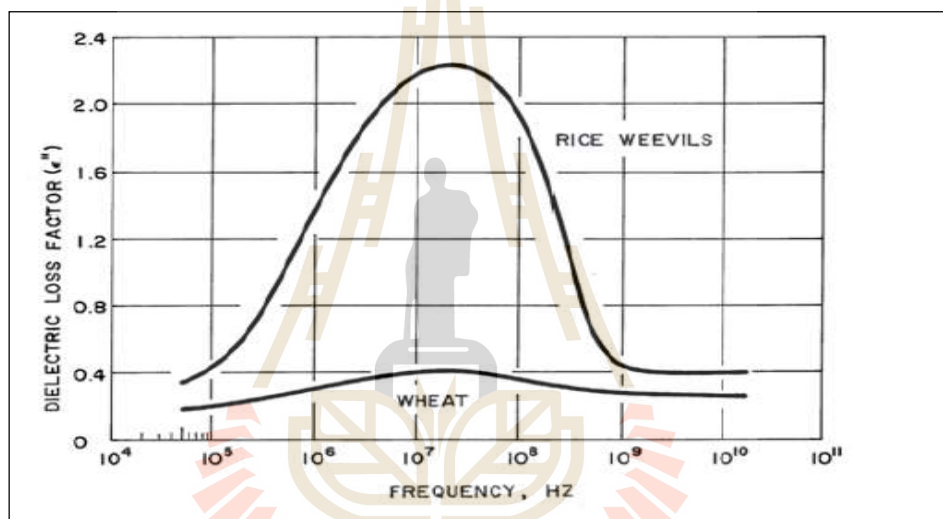
จากรูปที่ 2.2 จะเป็นการทดสอบกับมอดข้าวและมอดยุงในข้าวสาลี จะเห็นว่าที่ความถี่ 39 MHz ในตัวเต็มวัยของทั้งมอดข้าวและมอดยุงจะตายที่ 99-100% โดยที่อุณหภูมิในข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งพบว่าช่วงความถี่นี้ไม่ค่อยมีผลต่อข้าวมาก แต่เมื่อใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2.45 GHz มอดข้าวและมอดยุงก็ตายแต่อุณหภูมิข้าวสาลีสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสซึ่งทำให้ข้าวสาลีเสียหายจากความร้อนได้



รูปที่ 2.3 การใช้คลื่นความถี่ 39 MHz และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของข้าวสาลีต่อการตายของมอดข้าว

จากรูปที่ 2.3 เป็นการพิจารณาเปอร์เซ็นต์การตายของมอดข้าวต่ออุณหภูมิของข้าว ซึ่งจะเห็นได้ชัดถึงอุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตายที่ 80% ที่ความถี่ 39 MHz จะอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียสและถ้าปล่อยไว้เป็นเวลาประมาณ 8 วันก็จะตายเป็น 100% ถ้าอุณหภูมิข้าวอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียสมอดข้าวจะตาย 100% โดยไม่ต้องปล่อยทิ้งไว้ถึง 8 วัน ส่วนที่ความถี่ 2450 MHz อุณหภูมิของข้าวเมื่อมอดข้าวตาย 100% จะมากกว่า 80 องศาเซลเซียสและจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งจะทำให้ข้าวเสียหายได้ ดังนั้นจะเห็นว่าย่านความถี่วิทยุสามารถให้ความร้อนได้เหมาะสมมากกว่าย่านความถี่ไมโครเวฟ ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนาระบบการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้กับมอดข้าว โดยใช้ย่านความถี่วิทยุ และยังสามารถนำไปประยุกต์กับศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยของ Nelson 1991 ได้นำเสนอว่าการตอบสนองทางความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาลีที่มีผลต่อค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 โดยได้นำเสนอช่วงของการตอบสนองของมอดข้าวจะอยู่ในตั้งแต่ช่วงความถี่ประมาณ 50 kHz ถึงประมาณ 12 GHz แต่จะพบว่าช่วงความถี่ที่มีค่า ปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก ที่ดีที่สุดของมอดข้าวอยู่ที่ความถี่ประมาณ 39 MHz โดยมีค่าเท่ากับ 2.24 ส่วนข้าวสาลีจะมีค่าน้อยมาก และพบว่าช่วงความถี่ที่มีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกสูงอยู่ในความถี่ประมาณ 5 MHz ถึงประมาณ 100 MHz จึงเป็นช่วงความถี่ที่ความเหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์และออกแบบได้ดีที่สุด

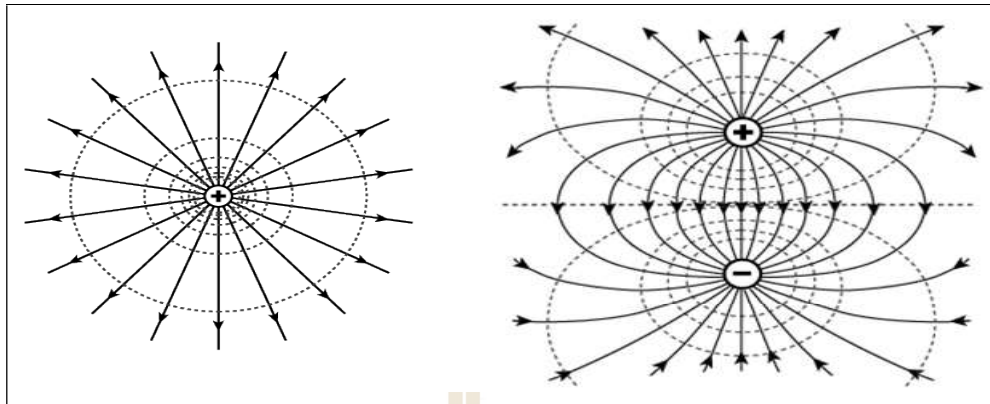


รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก กับความถี่ของมอดข้าวและข้าวสาลี

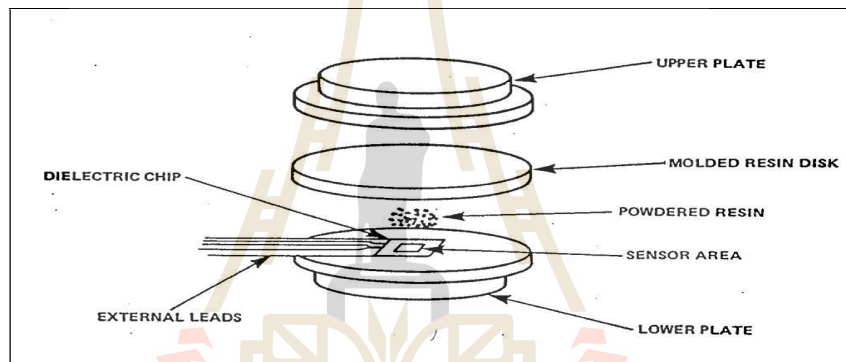
โดยการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงจำเป็นต้องมีตัวแปรหลักในการพิจารณา ซึ่งประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้งาน ปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าเข้าสู่ตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียและกำลังงานที่ใช้ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า (Applicator) ให้เหมาะสมกับรูปแบบการใช้งาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สามารถให้กำลังงานสนามไฟฟ้าไปยังตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย เพื่อให้เกิดความร้อนขึ้นได้ ดังนั้นขนาดและรูปแบบของตัวสร้างสนามไฟฟ้าจึงเป็นส่วนสำคัญที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้รูปแบบการใช้งานและการใช้กำลังงานที่เหมาะสมที่สุด

2.1.2. การกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก

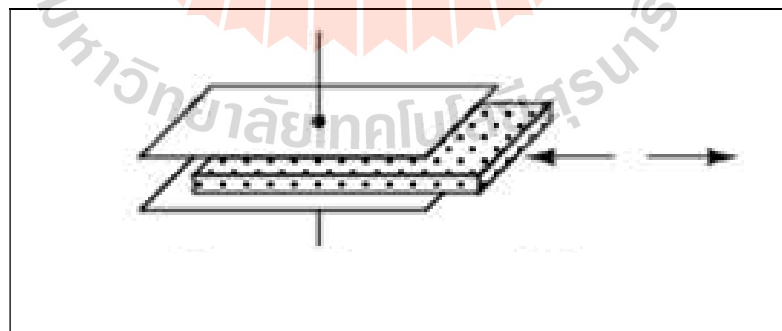
ในงานวิจัยสำหรับรูปแบบการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ผ่านมา ใช้รูปแบบการให้ความร้อนโดยใช้แผ่นเพลต เป็นสื่อกลางในการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าให้กับตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย ส่งผลให้ตัวกลางซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริกนั้น ๆ เกิดเป็นความร้อนขึ้น ลักษณะการกระจายสนามไฟฟ้าบนแผ่นเพลตนั้นจะมีความเข้มข้นสนามไฟฟ้ามากที่สุดบริเวณจุดป้อนกำลังงานมากที่สุดและจะค่อย ๆ มีความเข้มข้นสนามไฟฟ้าลดลงไป ดังแสดงใน รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาจึงได้มีการใช้รูปแบบตัวให้ความร้อน ที่มีลักษณะเป็นแบบวงกลม (Jeffrey 2012) หรือแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีการป้อนกำลังงานเพียงจุดเดียวเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ แต่สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ในกลุ่มของแมลงที่เป็นศัตรูพืช ซึ่งจะมีแมลงที่ปะปนมากับธัญพืชนี้ด้วย เช่น มอดข้าวที่อยู่ในข้าว ซึ่งในการให้ความร้อนจำเป็นต้องมีการไหลลงมาเพื่อการให้ความร้อนที่ต่อเนื่อง จึงต้องคำนึงถึงขนาดและความยาวของตัวสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยจากการสืบค้นข้อมูลพบว่าลักษณะของตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่เป็นลักษณะของรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้าจะมีลักษณะที่มีความเหมาะสมกับกระบวนการไหลของข้าว หรือการประยุกต์ใช้งานมากที่สุด เมื่อนำไปใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่การให้ความร้อนมากที่สุดจึงได้มีการศึกษาและถึงจำนวนการป้อนสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มข้นสนามไฟฟ้าที่ตรงกลางมากที่สุด และจะเริ่มลดลงเมื่อออกห่างจากจุดป้อนกำลังงานและมีลักษณะเป็นวงกลมออกไป ดังนั้นลักษณะการป้อนสัญญาณ 1 จุด จึงเหมาะสำหรับตัวปล่อยคลื่นที่มีลักษณะที่เป็นวงกลมหรือสี่เหลี่ยมจัตุรัสเท่านั้น ซึ่งออกแบบตัวปล่อยคลื่นที่เป็นลักษณะแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจึงต้องมีการพิจารณาจุดป้อนกำลังงานมากกว่า 1 จุด เพื่อกระจายสนามไฟฟ้าให้เต็มพื้นที่การใช้งาน



รูปที่ 2.5 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นวงกลม



รูปที่ 2.7 การประยุกต์ใช้งานกับแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.1.3 แหล่งจ่ายกำลังงานสำหรับให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

สำหรับในส่วนของวงจรแหล่งจ่ายกำลังงานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้แหล่งกำลังงานคลื่นวิทยุจากหลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) แสดงดังรูปที่ 2.8 โดยจากการศึกษาข้อมูลของการใช้หลอดอิเล็กตรอน พบว่ามีประสิทธิภาพการให้กำลังงานที่สูง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้หลอดอิเล็กตรอนสำหรับออกแบบให้อยู่ในช่วงการทำงานที่กว้างได้



รูปที่ 2.8 หลอดอิเล็กตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก

2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

2.2.1 คุณสมบัติของไดอิเล็กตริก

การนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้งานสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ใช้หลักการของการส่งผ่านคลื่นไปยังเนื้อวัสดุนั้นมีย่านแพร่หลาย (Kurose et al, 2009) โดยที่ผ่านมานั้นความถี่ที่ใช้งานนั้นจะมีย่านความถี่ที่ไม่สูงมากนัก คือประมาณ 1 -15 MHz ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและครัวเรือนได้เช่น การประกอบอาหาร การอบแห้งอาหาร การถนอมอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ไม่ว่าจะเป็ย่านความถี่ต่ำหรือย่านความถี่สูงสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ทางเทคโนโลยีได้อย่างกว้างขวาง เช่น การกำจัดศัตรูพืชที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยมีการประยุกต์ใช้หลักการส่งผ่านคลื่นความถี่เข้าไปในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย และส่งผลให้ตัวกลางนั้น ๆ เกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ ซึ่งจะมีตัวแปรหลัก ในการพิจารณาประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้งาน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเข้าสู่ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก การดูดกลืนหรือการสูญเสียของคลื่น

ความถี่และกำลังงานที่ต้องใช้ เป็นต้น โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของ คลื่นวิทยุ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นให้เหมาะสมกับค่าไดอิเล็กตริกที่ตัวกลางต่าง ๆ ซึ่งคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกนั้นจะสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นที่มีความถี่ต่าง 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) โดยสำหรับการพิจารณาค่าการสูญเสีย นั้น จะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าของความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน และสามารถนิยามค่าการสูญเสียแทนเจนต์ (Loss tangent) ได้ดังสมการที่ 2.2

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

โดยความถี่วิทยุและความถี่ไมโครเวฟที่สำคัญที่มีการใช้ในปัจจุบันสำหรับการแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมอบแห้งนั้นจะใช้นานความถี่วิทยุในช่วง 1–50 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ 915 MHz และ 2450 MHz ซึ่งจะใช้หลักการหมุนของไดโพลเป็นกลไกการสูญเสียที่สำคัญ ดังสมการความสัมพันธ์ที่ 2.3

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

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)

สำหรับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟนั้น พลังงานจะลดลง $1/e$ ($e = 2.718$) ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในพื้นผิวของตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในพื้นผิวของตัวกลางได้มากกว่าคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ 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 ($3 \times 10^8 m/s$)

ฉะนั้นในการออกแบบสร้างเครื่องการให้ความร้อนเพื่อการฆ่ามอดข้าวจะใช้สมการของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาดังสมการที่ 2.4 และความลึกของการเกิดความร้อนที่เข้าไปในตัวมอดข้าวดังสมการที่ 2.5 เพื่อการพิจารณาเลือกความถี่วิทยุและกำลังงานที่เหมาะสมในการออกแบบสร้างเครื่องฆ่ามอดข้าว ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในตัวกลางนั้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการ

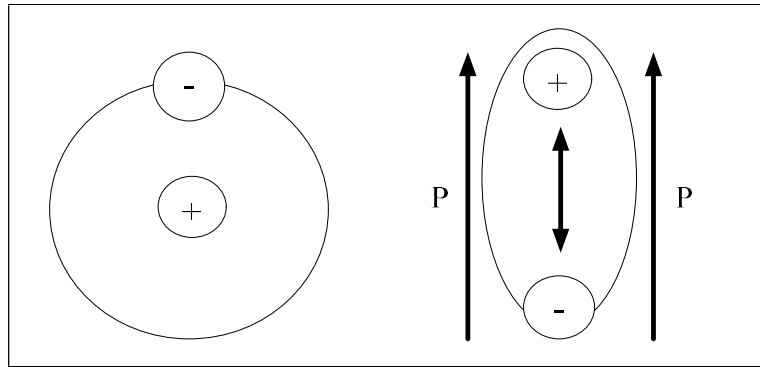
โพลาริซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า

2.2.2 พื้นฐานและกลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก

1) โครงสร้างพื้นฐานของการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric) สามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก การทำให้เกิดความร้อนเป็นผลมาจากความสามารถของสนามไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาริซ์ของประจุภายในตัวกลางวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสถิต สนามไฟฟ้าสถิตจะทำให้เกิดการโพลาริซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามไฟฟ้าสลับ จะทำให้เกิดโพลาริซ์ดังแสดงตามรูปที่ 2.9 และจะทำให้ไดโพลเกิดการหมุนไปตามคาบเวลาของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้ การหมุนของไดโพลที่ทำให้เกิดความร้อนเกิดจากความเสียดทานหรือเกิดการสั่นพ้องภายในของโมเลกุล โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (Dipole moment) หรือโครงสร้างโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกสูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ

ในสภาวะทั่วไปสารที่เป็นไดอิเล็กตริก สามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบ ที่แยกห่างออกจากกันเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริกซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล กลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามไฟฟ้าที่ป้อนให้กับตัวกลางไดอิเล็กตริก โดยสามารถแบ่งชนิดของการเกิดโพลาริซ์ของไดอิเล็กตริกได้ 4 แบบใหญ่ ซึ่งในแต่ละแบบ จะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกัน แต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบ ความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกรบกวนเนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวก โดยที่พลังงานสนามไฟฟ้าสลับนี้ ความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาริซ์ จะอธิบายการเกิดโพลาริซ์ชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 อะตอมระหว่างประจุบวกต่อประจุลบของตัวกลางไดอิเล็กตริก

การเกิดโพลาไรซ์แบบสเปซชาร์จ (Space charge polarization) การเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF โดยการเกิดโพลาไรซ์จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระโดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดโดยส่วนกีดขวาง เมื่อมีการป้อนพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก อิเล็กตรอนจะไปสะสมบริเวณที่ส่วนกีดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน มีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาไรซ์

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

การเกิดโพลาไรซ์แบบไอออนิก (Ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ย่านความถี่อินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายในโมเลกุล

การเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic polarization) การเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูง ๆ ที่ใกล้เคียงกับความถี่ของอัลตราไวโอเล็ต โดยนิวเคลียสของอะตอมซึ่งเป็นประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา

2) ไดโพลโมเมนต์ที่ถูกดูดซึม

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

$$p = \alpha' E_{loc} \quad (2.6)$$

เมื่อ E_{loc} คือ สนามไฟฟ้าภายใน

α' คือ ความสามารถการเกิดโพลาไรซ์

จากสมการที่ 2.6 ถ้าสมมติให้มีโมเลกุลเป็น N โมเลกุลในหนึ่งหน่วยปริมาตร สามารถแสดงไดโพลโมเมนต์รวมได้ดังสมการที่ 2.7

$$p = N\alpha' E_{loc} \quad (2.7)$$

หรือในรูปฟังก์ชันของการบ่อนสนามไฟฟ้าสามารถได้ดังสมการ $p = \chi E$ เมื่อ χ คือ ความไว (Susceptibility) ของตัวกลางไดอิเล็กตริก

โดยค่าความไวของไดอิเล็กตริกในตัวกลางที่เป็นอากาศว่าง (free space) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้าและสนามไฟฟ้าซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.8

$$D = \epsilon_0 E \quad (2.8)$$

แต่ถ้าพิจารณาในวัสดุไดอิเล็กตริกจะแสดงได้ดังสมการที่ 2.9

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

จากนั้นแทนค่าสมการที่ 2.8 ลงในสมการที่ 2.9 แล้วจัดรูปใหม่สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.10

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

หรือ

$$D = \epsilon' E \quad (2.11)$$

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 แล้วจัดรูปใหม่ สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\chi_r = \epsilon_r' - 1$$

สำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพยอมสัมพัทธ์ (Relative permittivity: ϵ_r') ซึ่งเป็นคุณสมบัติของตัวกลางไดอิเล็กทริกกับค่าความสามารถในการเกิดโพลาริเซชัน 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

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

จากนั้นเมื่อแทนค่าสมการ (2.11) ลงในสมการ (2.2) จะเขียนสมการการเกิดโพลาริเซชันได้ดังนี้

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

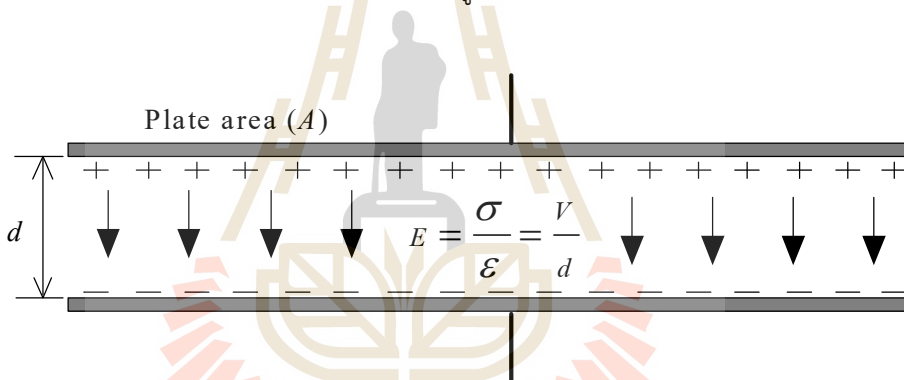
โดยจากสมการที่ (3.13) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า ϵ_r' กับ α' ได้ดังสมการที่ 2.17 ซึ่งเรียกความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.17 นี้ว่า สมการของ Clausius-Mosotti

$$\frac{N\alpha'}{3\varepsilon_0} = \frac{\varepsilon_r' - 1}{\varepsilon_r' + 2} \quad (2.17)$$

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

$$C = \frac{k\varepsilon_0 A}{d} \quad (2.18)$$

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 ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งประกอบไปด้วยลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสม รูปแบบของการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม การศึกษาช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก แหล่งจ่ายกำลังงานที่เหมาะสม ซึ่งได้ยกตัวอย่างให้ความร้อนกับมอดข้าว พบว่า ความถี่ใช้งานที่เหมาะสมอยู่ในย่านความถี่วิทยุ และใช้ลักษณะของตัวสร้างสนามไฟฟ้าเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกในกลุ่มของแมลงที่อยู่ในศัตรูพืช เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และใช้การออกแบบแหล่งจ่ายกำลังงาน ด้วยอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ โดยการวิเคราะห์ถึงการออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตและการใช้กำลังงานที่เหมาะสมกับงานวิจัยนี้จะได้นำเสนอบทต่อไป

บทที่ 3

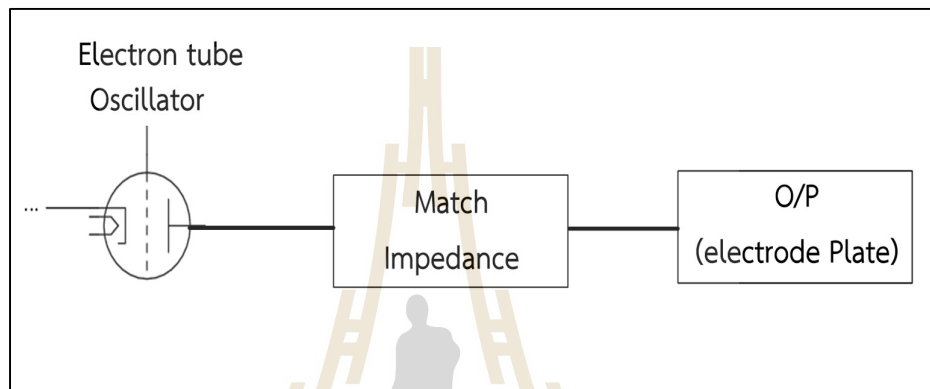
การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าว

การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก ในโครงการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อการออกแบบเครื่องสำหรับกำจัดมอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ ดังนั้นในบทนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ โดยระบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือชุดแหล่งจ่ายกำลังงาน ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่ และขยายกำลังงานสูง และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นภาคส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าว โดยแต่ละภาคส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดของการออกแบบอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าว

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าบนตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต สำหรับให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก โดยได้วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาดของตัวสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม และทดสอบกับไดอิเล็กตริกของมอดที่อยู่ในข้าวสารซึ่งมอดข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่างในการวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก เพื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยระบบของการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ประกอบด้วยวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน (Power source) และภาควงจรให้ความร้อนไดอิเล็กตริก(Dielectric Heating) ในส่วนของวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน ใช้หลอดไดอิเล็กตรอนกำลังงานสูงสำหรับกำเนิดสัญญาณและขยายสัญญาณและภาควงจรให้ความร้อนใช้วงจรแมตซ์ซิง RLCเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก่อนที่จะส่งกำลังงานไปยังภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกต่อไป โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1 โครงสร้างการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกซึ่งส่วนสำคัญที่เป็นส่วนให้พลังงานความร้อนคือสนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีผลต่อการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกและให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ โดยในบทนี้ได้พิจารณาถึงการวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการส่งผ่านความร้อนแกวัสดุไดอิเล็กตริกเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยใช้การคำนวณจากสมการในบทที่ 2

อัตราการเกิดพลังงานในไดโอดีเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำมาสู่การหาอัตราของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ และพลังงานที่เหมาะสมต่อการเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลต และนำมาสู่การจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อวิเคราะห์ถึงการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าที่กระจายตัวให้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งได้พิจารณาถึง ขนาดกำลังงานที่ใช้ และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดต่อขนาดพื้นที่การให้ความร้อน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวและไข่มอด

3.1.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถพิจารณาจากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของวัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์ได้ วัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์จะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไม่โครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในวัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

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

เมื่อทราบถึงพลังงานที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์ จึงสามารถนำมาสู่การคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุไดโอดีเล็กทรอนิกส์โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

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

3.1.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในมอดข้าว

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งใช้มอดข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่าง ในการให้ความร้อน โดยจากการศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่า มอดข้าวจะตายได้เมื่อเกิดอุณหภูมิความร้อนภายในตัวอยู่ที่ประมาณ 48 องศาเซลเซียส (Sitophilus et al, 2012) โดยมีค่าความร้อนจำเพาะ (c) มีค่าเท่ากับ $3.450 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3 (Wang et al 2003) ดังนั้น จากสมการที่ (3.1) จึงสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าว (P) ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิเท่ากับ $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ใช้การคำนวณที่เวลา 5 วินาที โดยที่ค่า ความร้อนจำเพาะของมอดข้าว (c) มีค่าเท่ากับ $3.450 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3 โดยค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วยปริมาตรที่เป็นตารางเมตร แต่จากการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมมอดข้าวมีขนาดตัวโดยมาตรฐาน กว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร และ สูง 1 มิลลิเมตร ดังนั้นมอดข้าวจึงมีปริมาตรเท่ากับ 3 mm^3 เมื่อคำนวณหาพลังงานที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวมอดที่เวลา 5 วินาที จึงเท่ากับ 47.61 วัตต์ และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ

เวลา (วินาที)	กำลังงาน (วัตต์)
1	238.05
2	119.02
3	79.35
4	59.51
5	47.61
6	39.67
7	34.00
8	29.75
9	26.45
10	23.80

จากตารางที่ 3.1 แสดงค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าอัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที จากการคำนวณโดยสมการที่ 3.1 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวตายเร็วต้องให้พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้พลังงานน้อยลงด้วย

3.1.3 การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดความร้อนในมอดข้าว

เมื่อได้ค่าความพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวของแต่ละช่วงเวลา จึงสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าวที่จะต้องให้ทั้งหมด โดยใช้สมการที่ (3.2) ในการพิจารณา ซึ่งจะเห็นว่าในสมการที่ (3.2) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกสองตัวคือ ช่วงความถี่ที่ใช้งานและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) โดยจากปริทัศน์วรรณกรรมในบทที่ 2 ในงานวิจัยของ Nelson 1991 ได้นำเสนอช่วงความถี่ที่เหมาะสมและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกของมอดข้าวไว้ โดยพบว่าช่วงความถี่ประมาณ 10 ถึง 80 MHz เป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการใช้เพื่อให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวและมีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกโดยเฉลี่ยประมาณ 2.24 ซึ่งจากสมการที่ 3.1 สามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 48 องศาเซลเซียส พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวเท่ากับ 46.61 วัตต์ ที่เวลา 5 วินาที เมื่อคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวมอดที่ จึงได้เท่ากับ 92.14 V/m และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาทีสามารถแสดง ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ

เวลา (วินาที)	กำลังงานที่สะสม (W)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
1	238.05	206.03
2	119.02	145.68
3	79.35	118.95
4	59.51	103.01
5	47.61	92.14
6	39.67	84.10
7	34.00	77.86
8	29.75	72.83
9	26.45	68.67
10	23.80	65.14

จากตารางที่ 3.2 แสดงการคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที ซึ่งได้จากการคำนวณจากสมการที่ 3.2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ถ้าต้องการให้มอดข้าวตายเร็วต้องให้ความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วย ในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้ความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยลงด้วย

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบวงจรภาคการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์

ข้าวในกระสอบไม่เกิน 100 กิโลกรัม

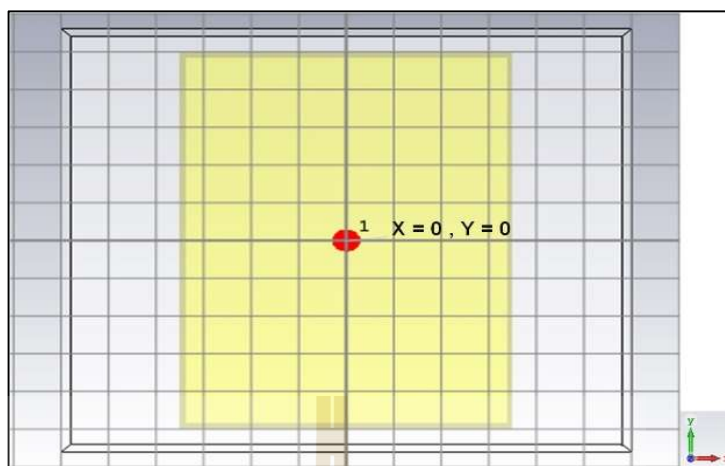
สำหรับการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์นั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก จะสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียง อยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่นหรืออิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต ซึ่งจะให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุล ในวัสดุไดโอดเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางเข้าคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทาน ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุร้อนอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ตัวกลางที่มีการ สูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นสนามไฟฟ้า ความถี่สูง ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็น

กลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางนั้น ๆ จากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้นซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น โดยตำแหน่งอื่นที่ทำให้เกิดการโพลาไรซ์จากประจุที่บริเวณผิวของตัวกลางที่แตกต่างกับประจุไฟฟ้าในอากาศ หรือการโพลาไรซ์ของแมกซ์เวลล์เนอร์ (Maxwell-wagner polarisation) โครงสร้างของการโพลาไรซ์ของแมกซ์เวลล์โดยเป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ชั่ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่สูง

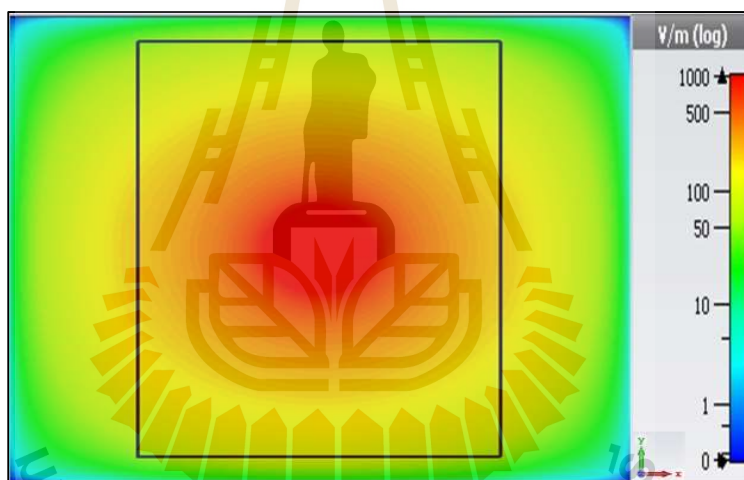
การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กทริกดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กทริก ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ความร้อนมากที่สุด โดยสามารถพิจารณาการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตในหัวข้อต่อไป

3.2.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กทริก

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างที่มีโหลดไดอิเล็กทริก เนื่องจากงานวิจัยได้ใช้โหลดไดอิเล็กทริกที่มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า การออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเพลตที่มีขนาดความยาวเท่ากับ 60 cm ความสูงเท่ากับ 56 cm และความหนาเท่ากับ 5 mm เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ การจำลองเพื่อดูลักษณะการกระจายของคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจะได้รู้ถึงการกระจายตัวของคลื่นให้ครอบคลุมวัสดุไดอิเล็กทริกได้ทั้งหมดในการจำลองการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าได้ใช้โปรแกรม CST EM STUDIO ในการจำลอง โดยจะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 แบบหลักโดยแบ่งตามจำนวนจุดป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลต แบบแรกเป็นการจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลต 1 จุดและจะแบ่งเป็นการจำลองย่อยอีก 3 แบบตามตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานให้กับเพลตการจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 1 จุดแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.2



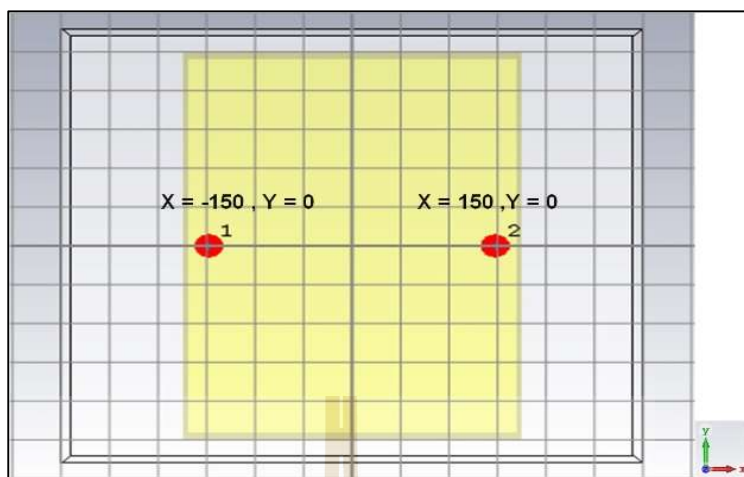
(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 1 จุด



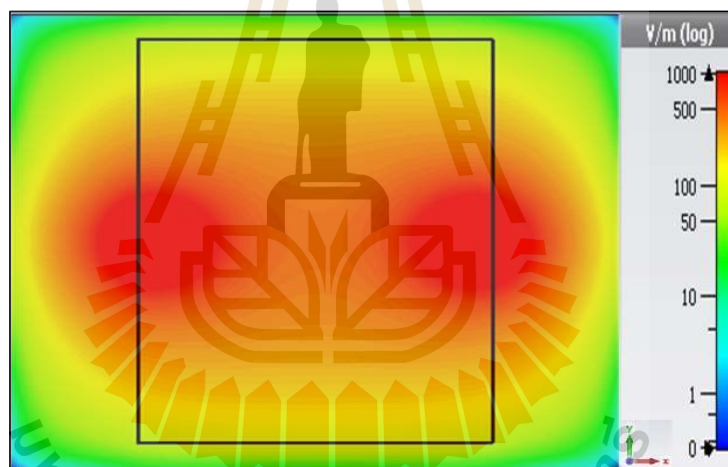
(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.2 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง

จากรูปที่ 3.2 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลทจำนวน 1 จุด ในตำแหน่ง $x = 0, Y = 0$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.2 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานที่ตรงกลางโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 1000 V/m ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กทริก การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลทแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.3



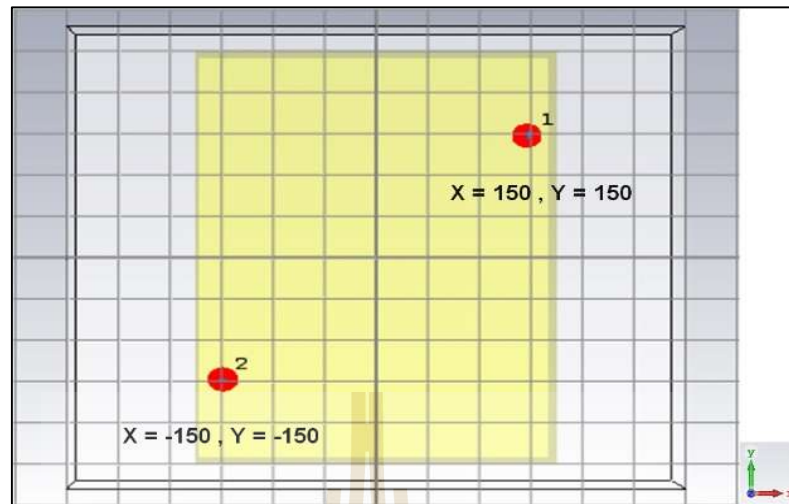
(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด



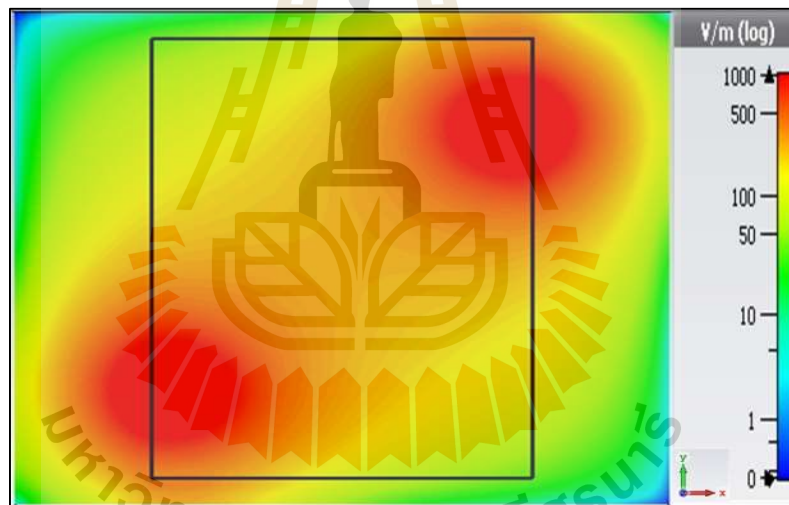
(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.3 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด

จากรูปที่ 3.3 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลทจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 1 ในตำแหน่งที่ 1 $X = -150, Y = 0$ ตำแหน่งที่ 2 $X = 150, Y = 0$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.2 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 1000 V/m ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กตริก การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลทแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.4



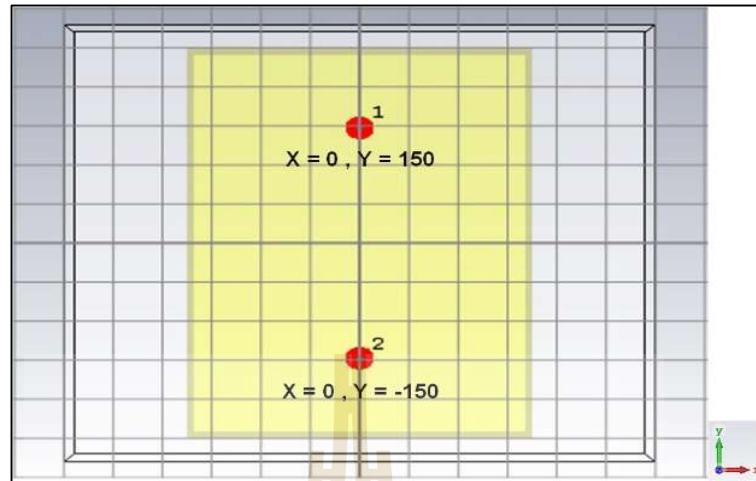
(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด ทะแยง



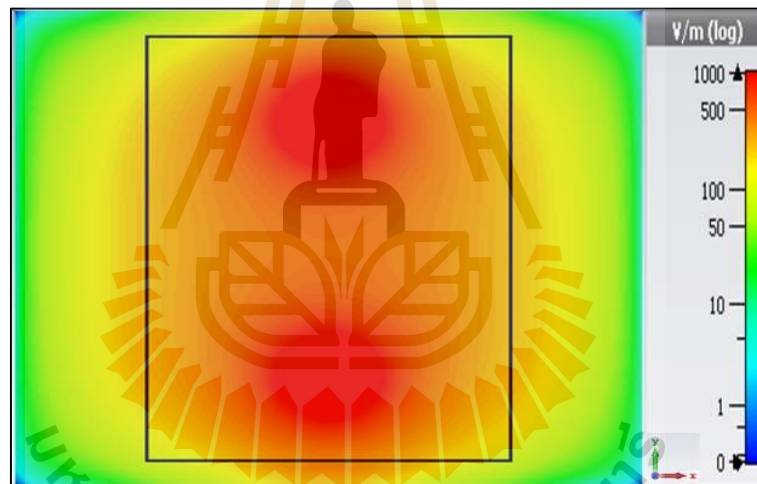
(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.4 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด ทะแยง

จากรูปที่ 3.4 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลทจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 2 ในตำแหน่งที่ 1 $X = 150$, $Y = 150$ ตำแหน่งที่ 2 $X = -150$ $Y = -150$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.2 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 1000 V/m ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กตริก การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลทแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.5



(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด

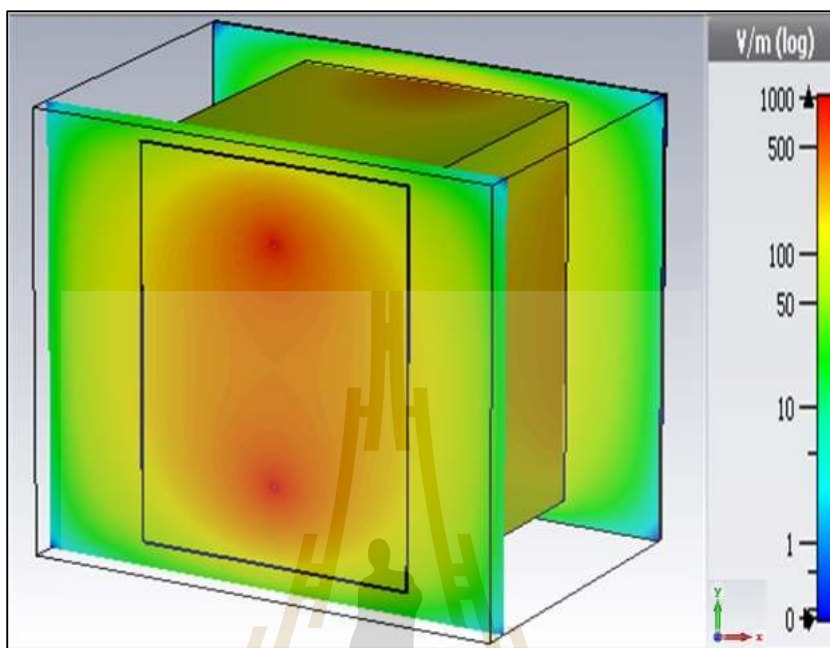


(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.5 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง แบบ 2 จุด

จากรูปที่ 3.5 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลทจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 3 ในตำแหน่งที่ 1 $x = 0, Y = 150$ ตำแหน่งที่ 2 $X = 0, Y = -150$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.4 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เกือบทั่วทั้งแผ่นแต่ก็ยังเหลือบริเวณแฉกและตรงกลางของแผ่นเพลทที่ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 1000 V/m การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าครอบคลุมทั่วทั้งวัตถุไดอิเล็กทริก ดังนั้น

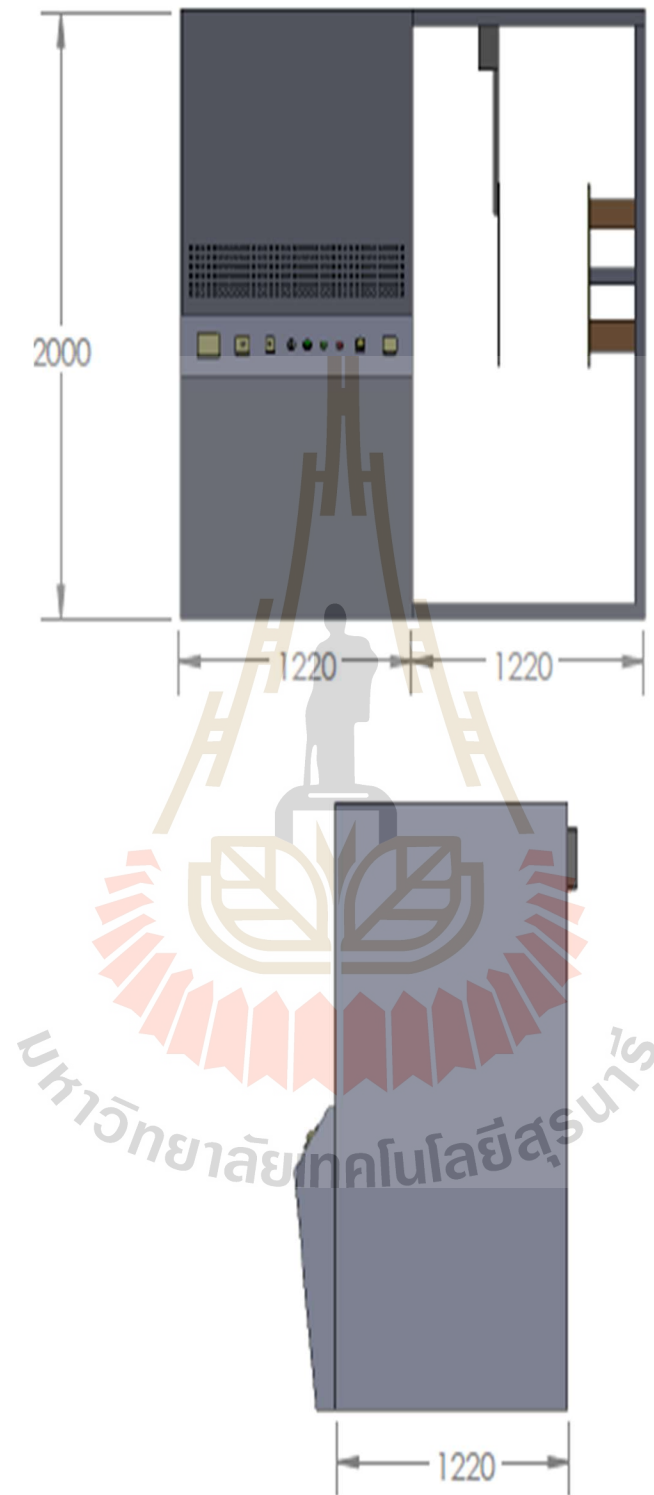
ผู้วิจัยจึงเลือกใช้การป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลทแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 3 เนื่องจากมีการกระจายตัวที่ครอบคลุมทั้งวัสดุไดอิเล็กตริกและการกระจายตัวรอบด้านได้อย่างสมดุล ดังรูปที่ 3.6



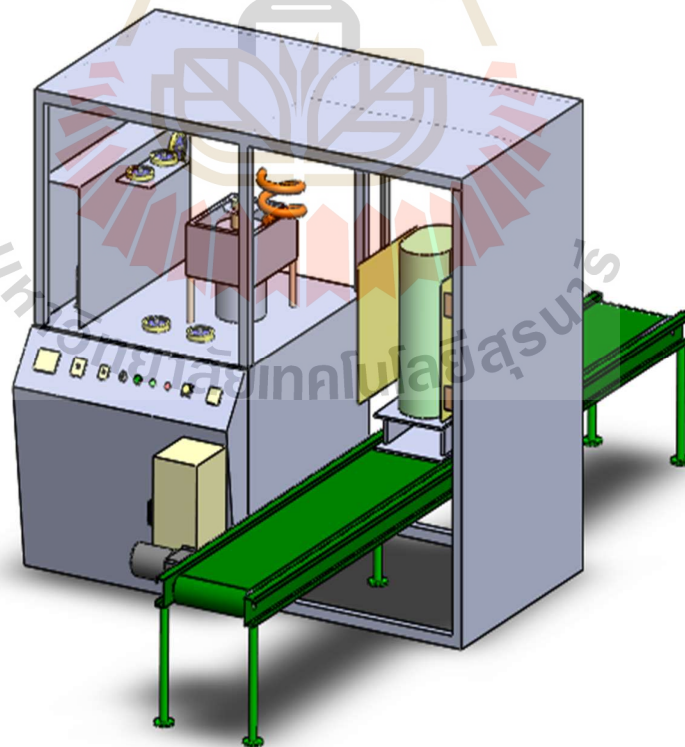
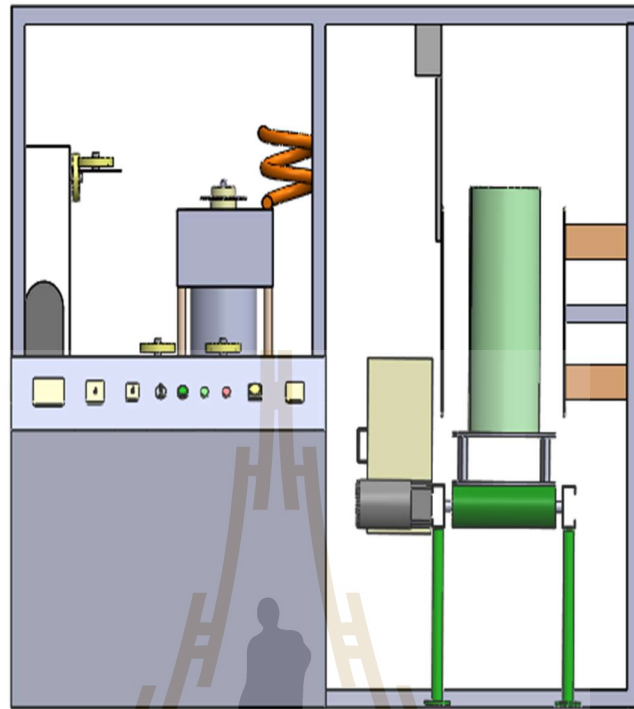
รูปที่ 3.6 ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่สามารถกำจัดมอดได้

3.2.2 การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือก และข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

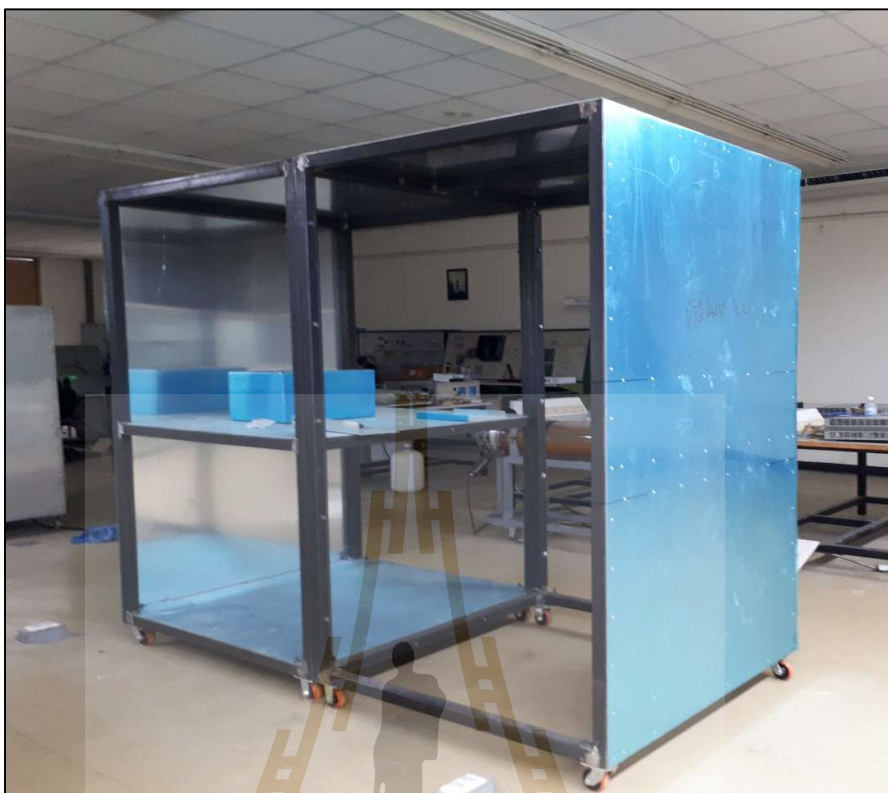
จากการออกแบบเพื่อหาขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้มีการออกแบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะใส่อุปกรณ์การออกแบบทั้งหมด ในระบบนี้จึงเป็นโครงสร้างที่มีขนาด กxยxส เท่ากับ 1220x2440x2000 mm ดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการลำเลียงข้าวเข้ากระสอบ ส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานและส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก



รูปที่ 3.7 ขนาดของโครงสร้างต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด

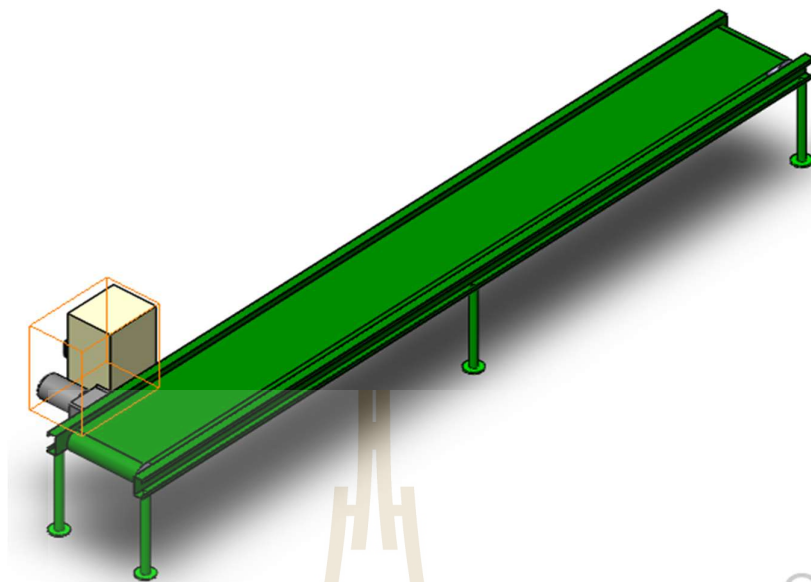


รูปที่ 3.8 ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับการฆ่ามอด



รูปที่ 3.9 โครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด
ที่สร้างขึ้นตามขนาดที่ออกแบบไว้

สำหรับการลำเลียงกระสอบข้าวเข้าเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนสำหรับการฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ เพื่อง่ายต่อการนำกระสอบต่อเข้าเครื่องจึงได้ออกแบบสายพานสำหรับลำเลียงกระสอบข้าวเข้าเครื่อง ดังรูปที่ 3.10 และรูปที่ 3.11

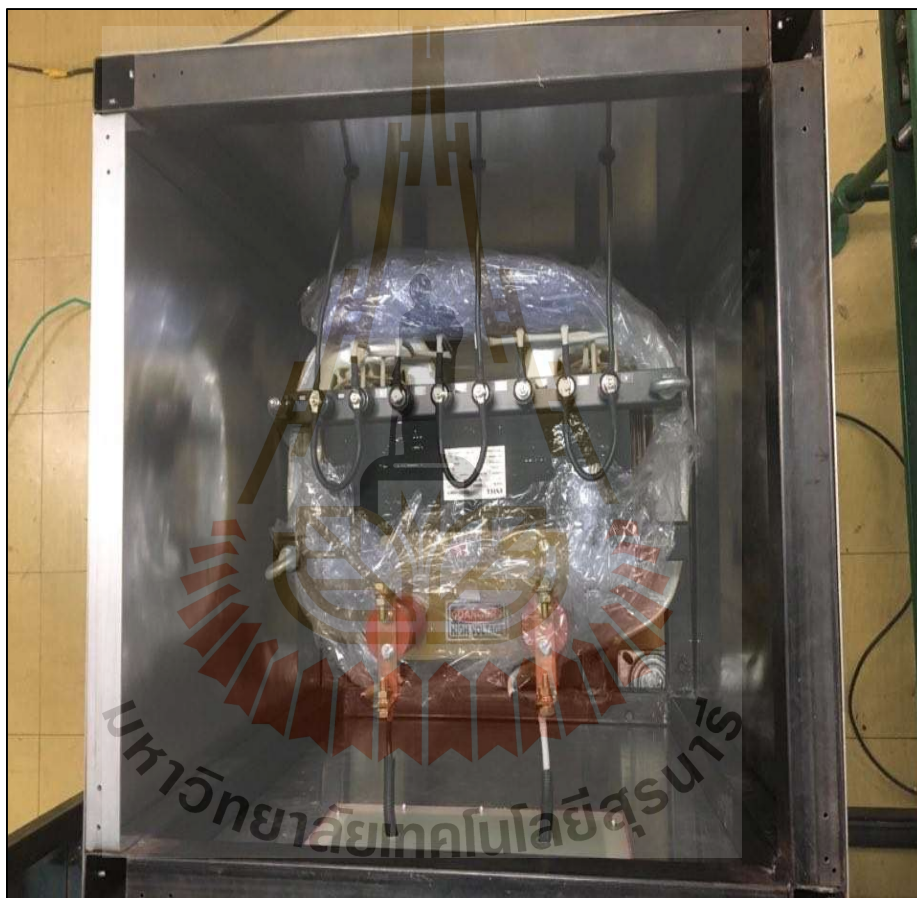


รูปที่ 3.10 ลักษณะสายพานลำเลียงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works



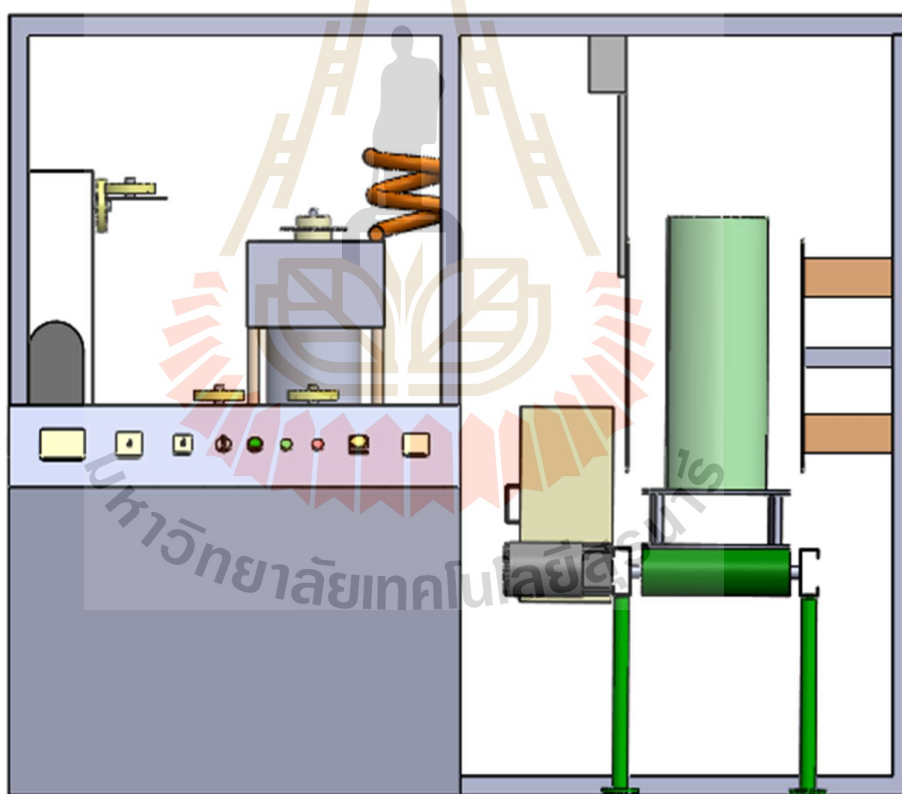
รูปที่ 3.11 สายพานที่สร้างขึ้นตามแบบที่ออกแบบ

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และ ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณโดยใช้หลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) และเนื่องจากผลการจำลองและการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังงานที่เอาต์พุตเพลตประมาณ 9 KW ใช้ช่วงความถี่ 10 – 80 MHz และมีระบบแหล่งกำลังงานสูง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอด ข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

สำหรับการออกแบบชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) ด้วยหลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron tube) ซึ่งลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของหลอดอิเล็กทรอนิกส์จะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อฆ่ามอดข้าวและไข่มอดต่อไป ซึ่งการจัดวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.13 และระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้วสามารถแสดงดังรูปที่ 3.14

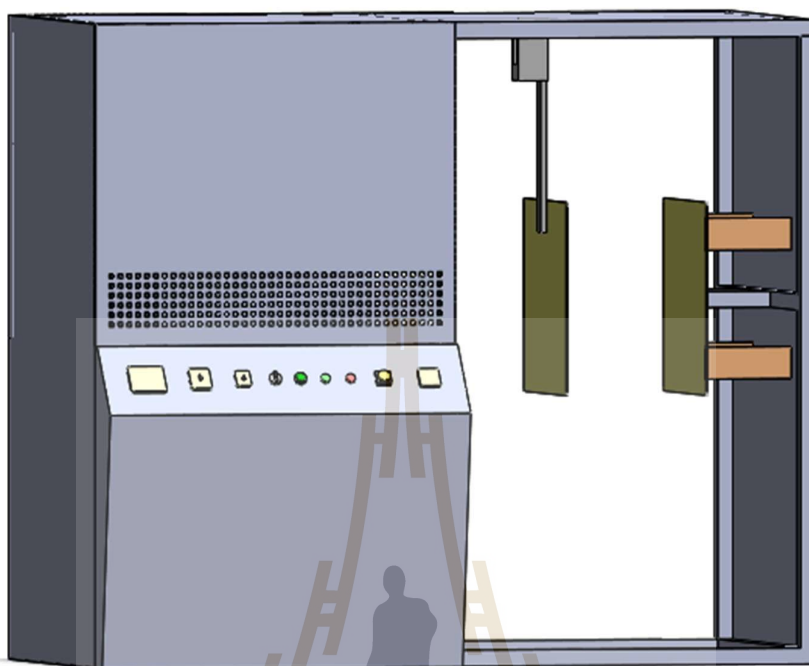


รูปที่ 3.13 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

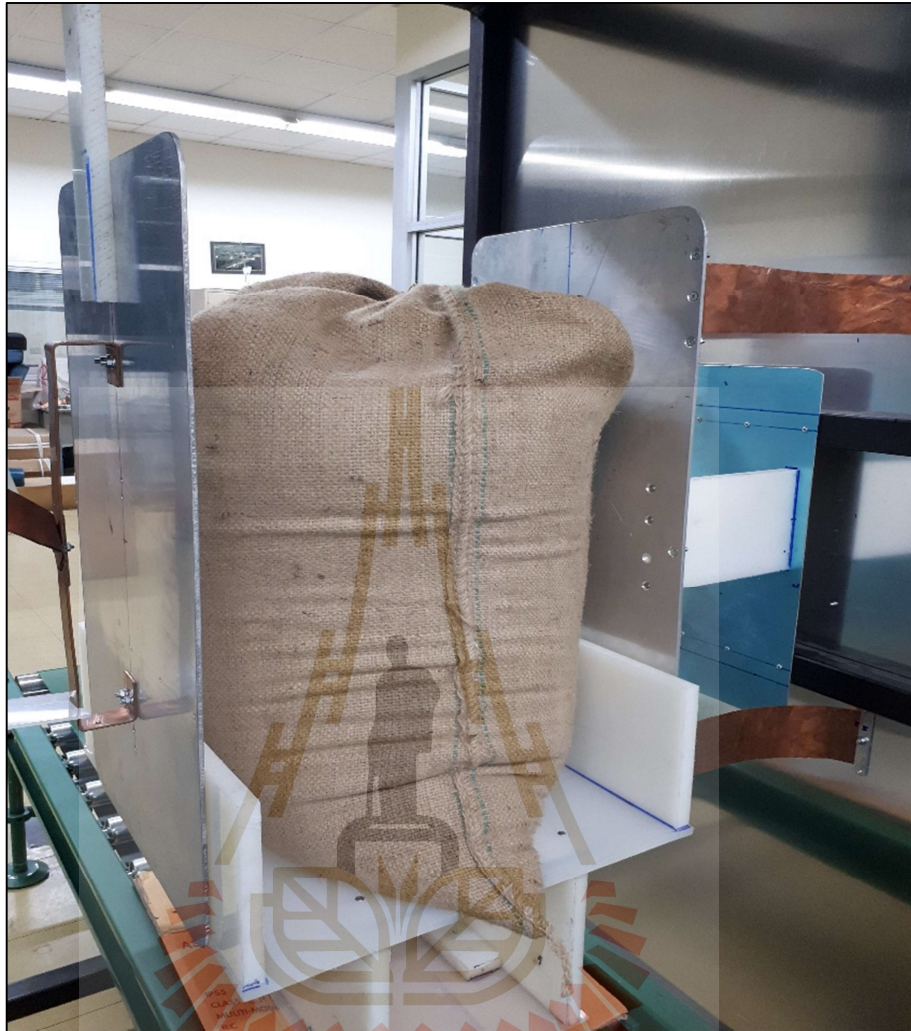


รูปที่ 3.14 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง

สำหรับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการพิจารณาตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งสามารถกระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม จึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางการไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์ประจุบวกไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตแสดงดังรูปที่ 3.15 และการติดตั้งจริงแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กโทรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอด
ข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ
ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ



รูปที่ 3.16 การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดเพลทตามทีออกแบบ



รูปที่ 3.17 ระบบต้นแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด
ที่ได้สร้างขึ้นตามทีออกแบบ

3.4 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของมอดข้าวและข้าว และใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กตริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบสำหรับทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกในบทต่อไป

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดข้าวให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการวัดผลจากการออกแบบเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และปรับปรุงให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ดังนั้นเครื่องมือในการวัดผลและวิธีการวัดทดสอบจำเป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และการประมวลผลที่สูง ซึ่งสามารถใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ รวมถึงวิธีการวัดดังต่อไปนี้

4.1 อุปกรณ์

1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)

คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ใช้สำหรับการจำลองแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจำลองแบบเพื่อการคาดการณ์ผลจากการออกแบบ เพื่อนำมาสู่การสร้างและทดสอบการใช้งานจริง แสดงดังรูปที่ 4.1

2) เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analyzer)

อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม ใช้สำหรับการวัดและวิเคราะห์รูปสัญญาณที่ได้จากการออกแบบ เพื่อนำผลมาแก้ไขและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานให้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.2

3) เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย (network analyzer)

อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย ใช้สำหรับการวัดผลการออกแบบวงจรแมตซ์ซิงอิมพีแดนซ์ เพื่อให้สามารถส่งกำลังงานไปยังโหลดไดอิเล็กทริกได้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.3

4) เครื่องวัดกำลัง (power meter)

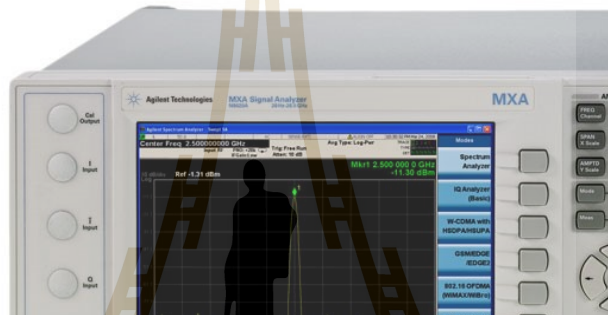
อุปกรณ์เครื่องวัดกำลัง ใช้สำหรับวัดกำลังงานเอาต์พุตที่ได้จากการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์กำลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กทริกและเก็บผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.4

5) กล้องถ่ายภาพความร้อน

อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของข้าว ในขณะที่ทำการทดสอบเพื่อการวิเคราะห์ผลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล



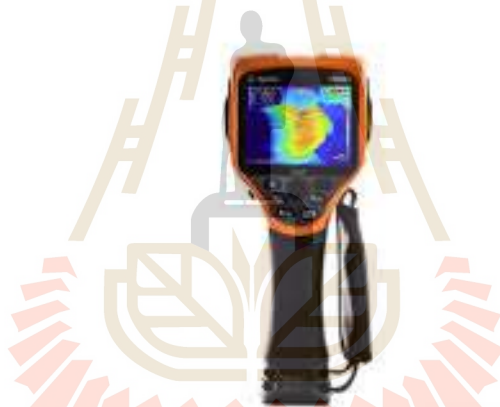
รูปที่ 4.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม



รูปที่ 4.3 เครื่องวิเคราะห์โครงข่าย



รูปที่ 4.4 เครื่องวัดกำลัง



รูปที่ 4.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน

4.2 วิธีการ

1) วิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกเพื่อนำไปข้ามอดของข้าวไทย การข้ามอดข้าวด้วยการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้น เป็นการพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของมอดข้าวและข้าวไทย อีกทั้งยังสามารถข้ามอดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ทำให้ข้าวเสียหายอีกทั้งเป็นการปลอดภัยความชื้นอีกด้วย ยังไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและผู้บริโภคเนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมีในการข้ามอดข้าว นอกจากนี้เทคนิควิธีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกนั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้ในหลากหลายด้าน ซึ่งการศึกษาและออกแบบระบบการให้ความ

ร้อนได้อิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ นั้น ผู้วิจัยจะได้อ้างอิงจากผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการทดลองและได้เทคโนโลยีใหม่ในการฆ่ามอดข้าวที่ประหยัด ใช้งานได้ง่ายสะดวก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม วิธีการฆ่ามอดข้าวที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะใช้สารเคมีในการรมเพื่อฆ่าสารเคมีที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) ถึงแม้ว่าเมทิลโบรไมด์จะมีประสิทธิภาพในการฆ่ามอดข้าว แต่มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานยาของมอดข้าว การตกค้างของสารเคมี และความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้ อีกทั้งยังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันหลายประเทศได้มองหาทางเลือกทดแทนการใช้สารเคมี เช่น การใช้ การควบคุมระดับออกซิเจนด้วยก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือการฉายรังสี เพื่อให้มอดข้าวขาดอากาศตายเป็นต้น แต่ยังไม่มียุทธวิธีถึงความชัดเจนเหมือนกับการใช้คลื่นความถี่วิทยุ แต่การใช้คลื่นความถี่วิทยุที่ผ่านมาไม่ได้รับการพัฒนาเนื่องจากอุปสรรคทางอิเล็กทรอนิกส์มีราคาสูง พลังงานสิ้นเปลืองมากและการออกแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนแต่ในปัจจุบันอุปสรรคทางอิเล็กทรอนิกส์ได้มีการพัฒนาไปอย่างมากทำให้มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่จะนำมาทดแทนการใช้สารเคมีได้อย่างคุ้มค่า

ศึกษาออกแบบและสร้างวงจรการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอดข้าว

การออกแบบและสร้างวงจรการให้ความร้อนได้อิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอดข้าวประกอบด้วยชุดอุปกรณ์และวงจรต่าง ๆ ดังนี้

- 1) ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่
 - 2) ภาควงจรขยายสัญญาณกำลังสูง
 - 3) ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์
 - 4) ภาควงจรจ่ายกำลังสนามไฟฟ้า Electrode plate
 - 5) ภาควงจรต่อลงกราวด์โครงสร้างของตัวเครื่อง
 - 6) แผ่นป้องกันคลื่นสัญญาณไปรบกวนภายนอก
 - 7) ระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง
- 2) ทำการทดสอบกับมอดข้าวโดยจะทำการทดสอบในตัวอ่อนและตัวเต็มวัยเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบระดับกำลังงานและเวลาในการฆ่ามอดข้าว
 - 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 30000



บทที่ 5

การทดสอบและผลการทดสอบการให้ความร้อนแกไดอิเล็กตริก

5.1 กล่าวนำ

จากการกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับให้ความร้อนกับโพลีไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าว โดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขนั้น เมื่อพิจารณาจากการออกแบบและจำลองผลพบว่าผลที่ได้นั้นสอดคล้องกับทฤษฎี ซึ่งต่อไปจะได้นำผลการออกแบบดังกล่าวไปสร้างและวัดทดสอบจริงเพื่อเปรียบเทียบผลการออกแบบและการจำลองแบบที่ได้ในบทก่อนหน้านี้ ดังนั้นในบทที่ 5 จะได้ทำการวัดทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันผลการให้ความร้อนแกโพลีไดอิเล็กตริกดังกล่าว ซึ่งในการทดสอบนี้ใช้ความถี่วิทยุที่มีความถี่ 27 MHz สำหรับให้ความร้อนไดอิเล็กตริก และในการวัดทดสอบคุณลักษณะของการกระจายความร้อนนั้นจะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A และสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบในรูปของความถี่จากกล้องถ่ายภาพความร้อนกับผลการจำลองค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

5.2 การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

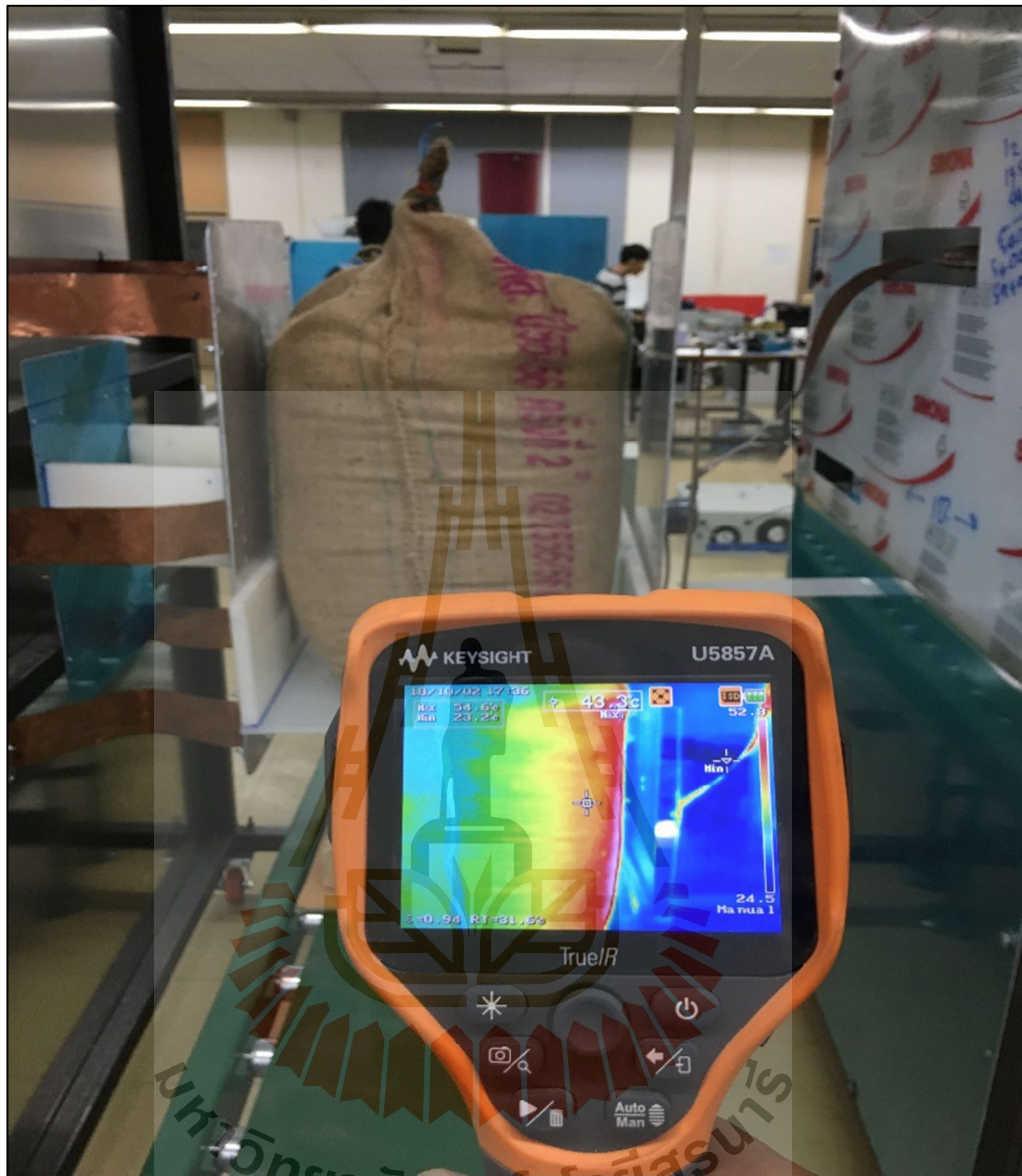
สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ ในการทดลองนั้นถุงข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุจะถูกวางอยู่ตรงกลางระหว่างเพลตทั้งสองและวางบนฐานที่ทำจากวัสดุพลาสติก Polypropylene ซึ่งไม่ดูดซับคลื่นพลังงานดังแสดงรูปที่ 5.1 และดำเนินการทดสอบเบื้องต้นในระดับห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 5.2 , 5.3 , 5.4 และทำการวิเคราะห์ผลต่อไป



รูปที่ 5.1 การจัดวางข้าวสารหรือข้าวเปลือกที่บรรจุในกระสอบวางบนฐานพลาสติก Polypropylene



รูปที่ 5.2 การเตรียมกระสอบข้าวเพื่อทำการทดสอบ



รูปที่ 5.3 การวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าว



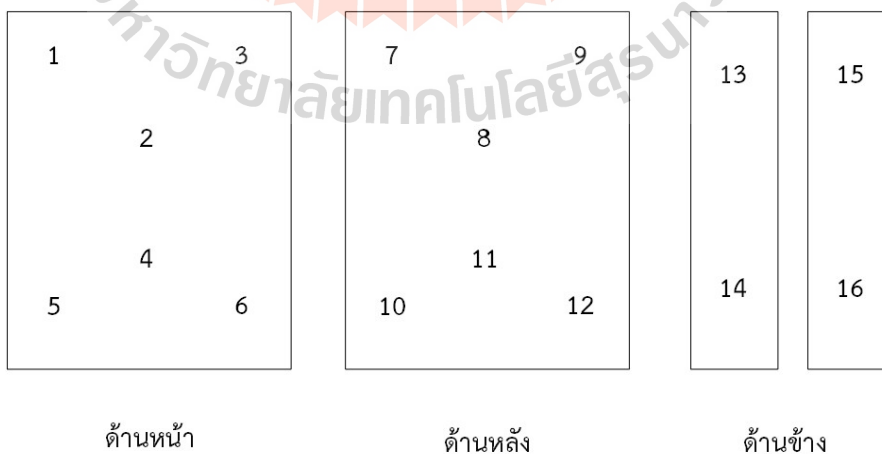
(ก) ข้าวสาร



(ข) ข้าวเปลือก

รูปที่ 5.4 ถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวเพื่อทำการทดสอบ

สำหรับการทดสอบอัตราการตายของมอดข้าว ได้ดำเนินการจัดมอดข้าวใส่ในถุงผ้าเป็นชุด ถุงผ้าลักษณะตามรูปที่ 5.4 โดยกำหนดตำแหน่งการวางถุงผ้าใส่เมล็ดข้าว วัดระยะเข้าไป 10 เซนติเมตร ตามรูปที่ 5.5 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องในการกำจัดมอดข้าว และสำหรับถุงข้าวที่ใช้สำหรับบรรจุข้าวสารและข้าวเปลือกนั้นเป็นถุงกระสอบป่าน ซึ่งหลังจากบรรจุข้าวสารหรือข้าวเปลือก แล้วนั้นจะมีขนาด กxยxส เท่ากับ 50x37x70 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.6 ซึ่งจะมีการบรรจุข้าวสารและข้าวเปลือกให้มีขนาดเท่ากันทุกการทดลอง



รูป 5.5 ตำแหน่งการวางถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวในกระสอบข้าว

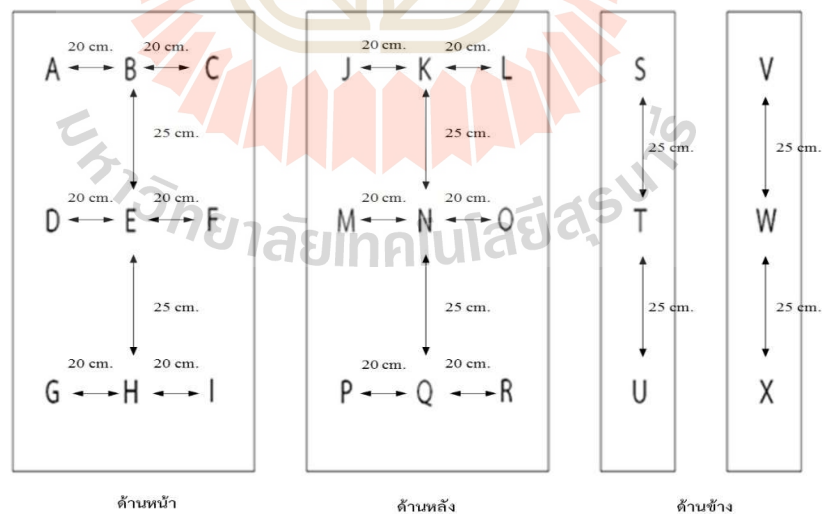


(ก) ด้านหน้า

(ข) ด้านข้าง

รูป 5.6 ขนาดกระสอบข้าวหลังจากที่ได้ทำการบรรจุข้าวสารหรือข้าวเปลือก

สำหรับการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิภายนอกของกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือกโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A ในการวัดอุณหภูมิและดูภาพรวมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่กระสอบข้าว ซึ่งกำหนดตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิตามรูปที่ 5.7



ด้านหน้า

ด้านหลัง

ด้านข้าง

รูปที่ 5.7 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือก

5.3 ผลการวัดความร้อนที่จุดต่างๆ และอัตราการตายของมอดข้าว

ในการทดสอบจะทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่ออุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวทดสอบ เมื่อกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 28.8 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	46.7	47.1	46.7	46.0	47.1	46.7	46.7	47.1	46.7	35.2	35.2	35.2
กลับ ด้าน	47.5	48	47.5	47.5	48	47.5	47.5	48	47.5	36.6	36.6	36.6
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	46.6	47.0	46.6	46.6	47.0	46.6	46.6	47.0	46.6	35.2	35.2	35.2
กลับ ด้าน	47.6	48.0	47.6	47.6	48.0	47.6	47.6	48.0	47.6	38.0	38.0	38.0

เมื่อทำการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ทดสอบแบบปกติและแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 46.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 47.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 46.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 46.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 47.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 46.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 46.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 47.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 46.7 °C

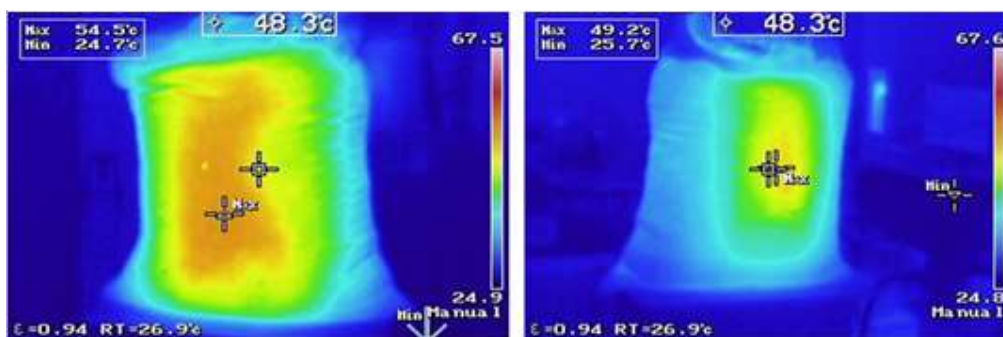
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 46.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 47.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 47.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 47.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 46.6 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายกระสอบที่ตำแหน่ง S = 35.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 35.2 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 35.2 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V =

35.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง $W = 35.2$ °C และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง $X = 35.2$ °C

เมื่อทำการทดสอบ 10 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 1 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลทให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุอีก 1 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลทอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง $A = 47.5$ °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ $B = 48$ °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ $C = 47.5$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ $D = 47.5$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ $E = 48.0$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ $F = 47.5$ °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ $G = 47.5$ °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ $H = 48.0$ °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา $I = 47.5$ °C

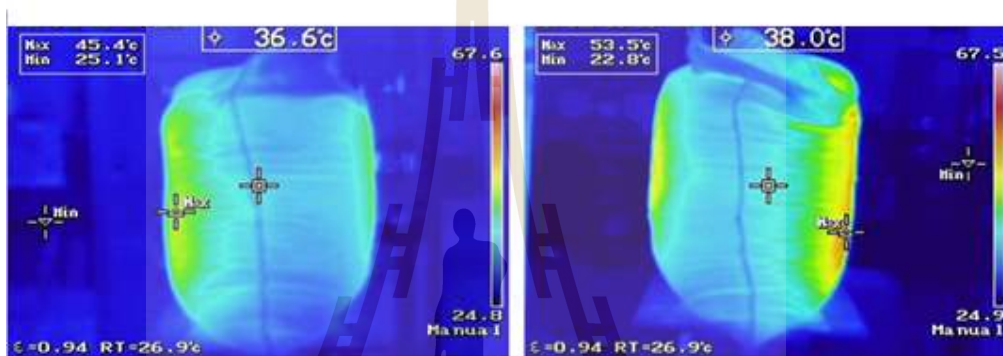
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง $J = 47.6$ °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ $K = 48.0$ °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ $L = 47.6$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ $M = 47.6$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ $N = 48.0$ °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ $O = 47.6$ °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ $P = 47.6$ °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ $Q = 48.0$ °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา $R = 47.6$ °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง $S = 36.6$ °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง $T = 36.6$ °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด $U = 36.6$ °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง $V = 38.0$ °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง $W = 38.0$ °C และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง $X = 38.0$ °C

จากการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลทและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.8 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

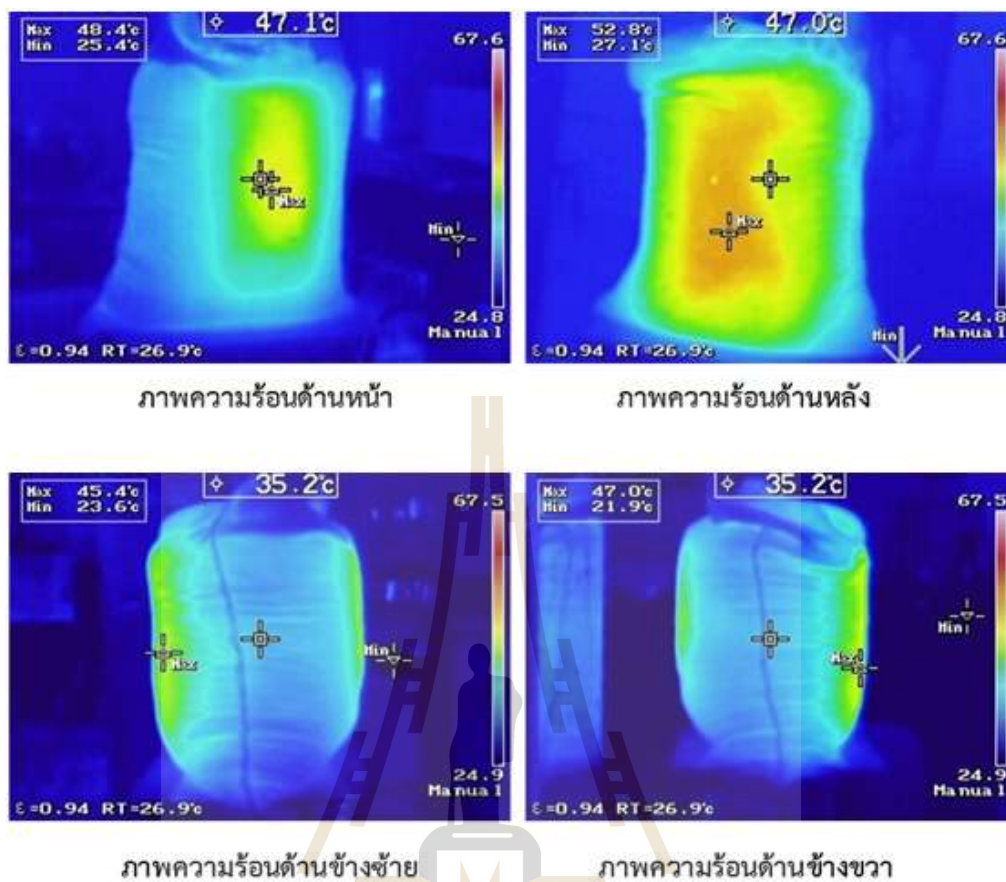
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.8 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.9 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

การทดสอบถัดไปทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวทดสอบ โดยกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.0 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	55.6	56.1	55.6	55.6	56.1	55.6	55.6	56.1	55.6	37.9	37.9	37.9
กลับ ด้าน	56.2	56.8	56.2	56.2	56.8	56.2	56.2	56.8	56.2	38.0	38.0	38.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	54.7	55.1	54.7	54.7	55.1	54.7	54.7	55.1	54.7	37.9	37.9	37.9
กลับ ด้าน	54.8	55.2	54.8	54.8	55.2	54.8	54.8	55.2	54.8	38.0	38.0	38.0

เมื่อทำการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 15 นาที ทดสอบแบบปกติและแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 55.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 56.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 56.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 55.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 56.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 55.6 °C อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์

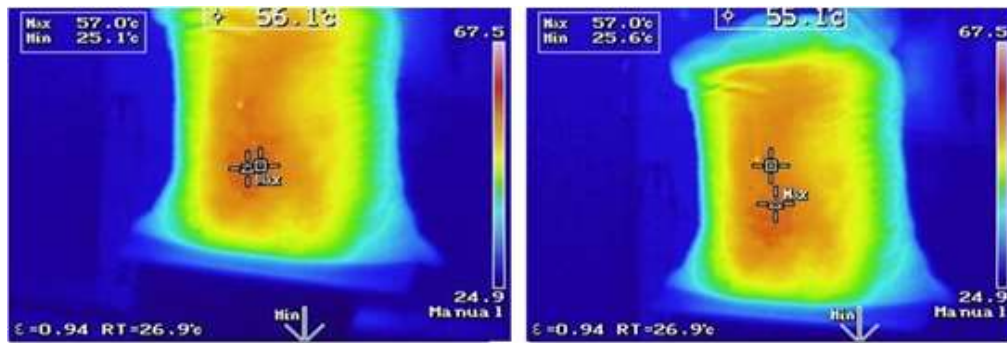
อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 55.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 54.7 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 37.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 37.9 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 37.9 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 37.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 37.9 °C และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง X = 37.9 °C

เมื่อทำการทดสอบ 15 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 10 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่

วิทยุอีก 10 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 56.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 56.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 56.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 56.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 56.2 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 56.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 56.2 °C อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์

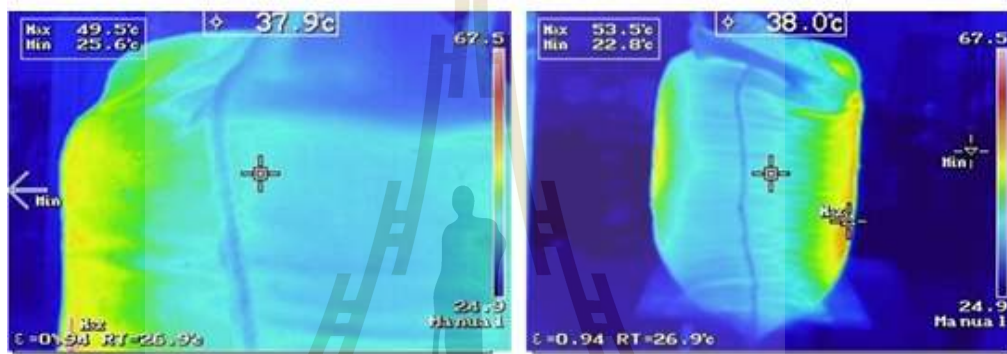
อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางกระสอบ N = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 55.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 54.8 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 38.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 38.0 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 38.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 38.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 38.0 °C และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง X = 38.0 °C

จากการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 15 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.10 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.11 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

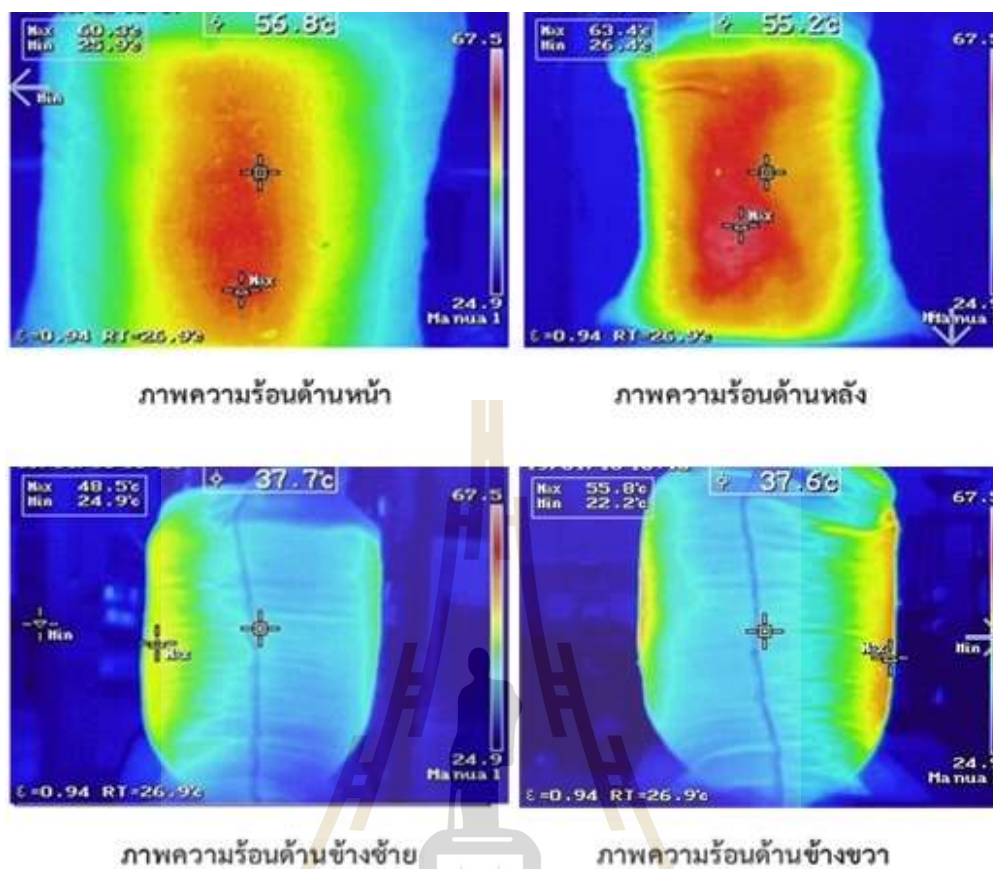
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.10 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.11 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

การทดสอบถัดไปทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวเปลือกเป็นตัวทดสอบ โดยกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 29.2 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	58.7	59.0	58.7	58.7	59.0	58.7	58.7	59.0	58.7	40.0	40.0	40.0
กลับ ด้าน	62.8	63.5	62.8	62.8	63.5	62.8	62.8	63.5	62.8	40.0	40.0	40.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	57.8	58.1	57.8	57.8	58.1	57.8	57.8	58.1	57.8	38.0	38.0	38.0
กลับ ด้าน	62.0	62.7	62.0	62.0	62.7	62.0	62.0	62.7	62.0	38.0	38.0	38.0

เมื่อทำการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 20 นาที ทดสอบแบบปกติและแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 58.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 59.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 58.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 58.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 59.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 58.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 58.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ H = 59.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 58.7 °C

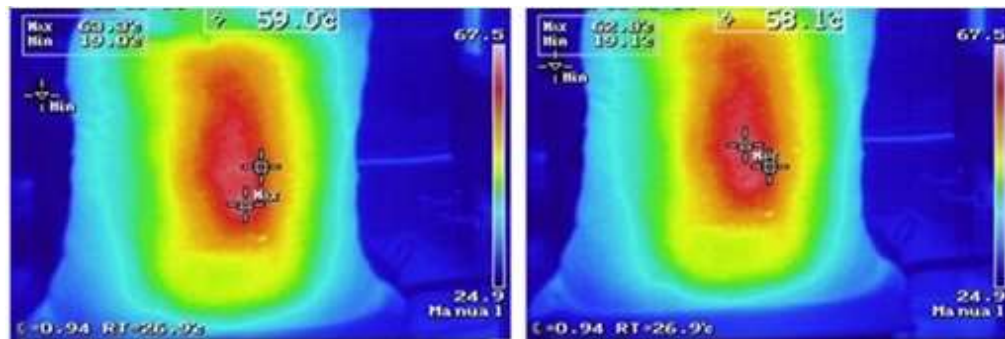
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 57.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 57.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 57.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 57.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 57.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 58.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 57.8 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายกระสอบที่ตำแหน่ง S = 40.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 40.0 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 40.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 38.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 38.0 °C และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง X = 38.0 °C

เมื่อทำการทดสอบ 20 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 3 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่

วิทยุอีก 3 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 62.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 63.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 63.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 63.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 62.8 °C

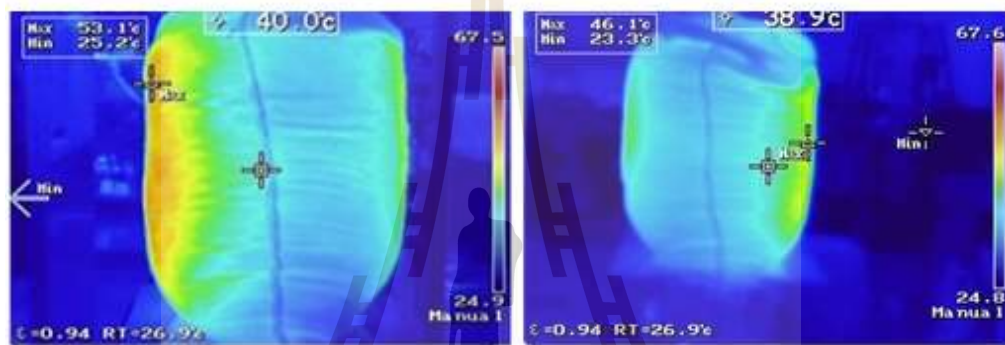
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 62.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 62.7 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 62.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 62.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 62.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 62.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 62.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 62.7 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 62.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายกระสอบที่ตำแหน่ง S = 40.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 40.0 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 40.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 38.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 38.0 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง X = 38.0 °C

จากการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 20 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.12 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.13 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

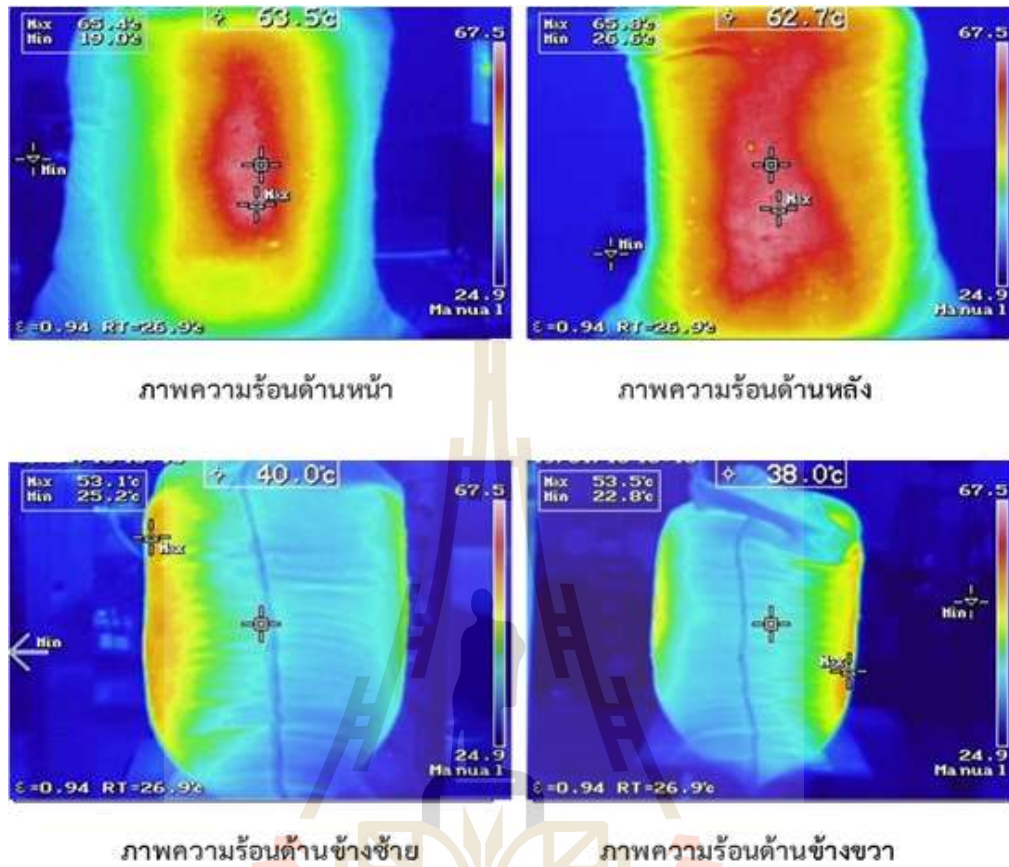
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.12 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิต่อ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.13 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

การทดสอบถัดไปทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวสารเป็นตัวทดสอบ โดยกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 28.0 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 10 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	43.5	44.5	43.5	43.5	44.5	43.5	43.5	44.5	43.5	33.4	33.4	33.4
กลับ ด้าน	44.3	44.8	44.3	45.0	45.1	45.0	44.3	44.8	44.3	34.8	34.8	34.8
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	42.8	43.4	42.8	42.8	43.4	43.1	42.8	43.4	42.8	33.0	33.0	33.0
กลับ ด้าน	44.0	44.5	44.0	44.0	44.5	44.3	44.0	44.5	44.0	33.8	33.8	33.8

เมื่อทำการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ทดสอบแบบปกติ และแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 43.5 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 43.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 43.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 43.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 43.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 44.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 43.5 °C

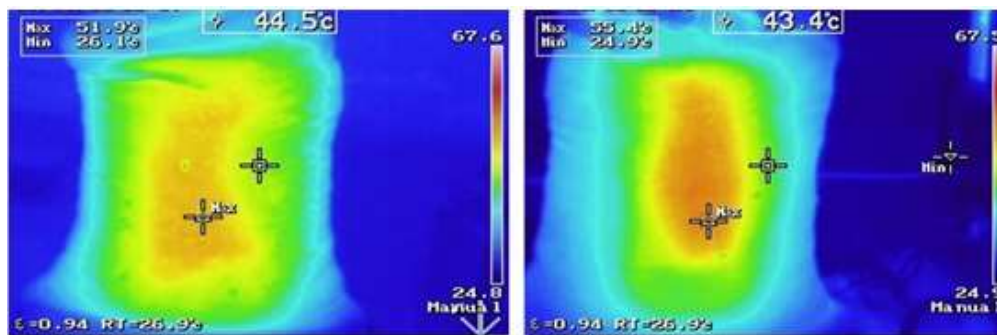
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 42.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 43.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 42.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 42.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 43.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 43.1 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 42.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 43.4 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 42.8 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 33.4 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 33.4 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 33.4 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 33.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 33.0 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง W = 33.0 °C

เมื่อทำการทดสอบ 10 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 1 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่

วิทยุอีก 1 นาฬิกาเสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 44.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 44.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 45.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 45.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 45.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 44.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 44.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 44.3 °C

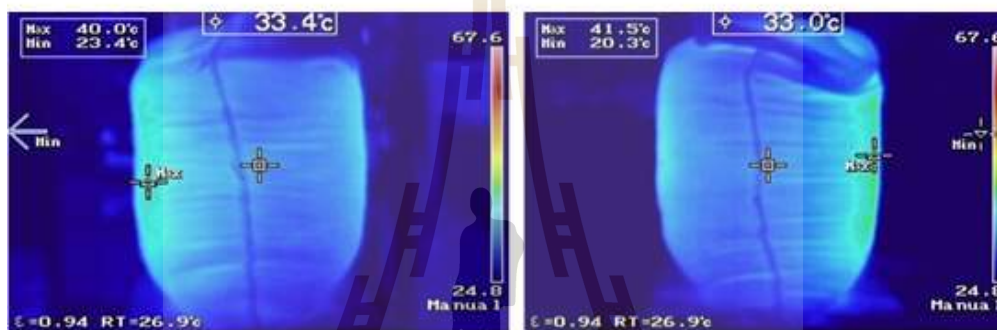
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 44.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 44.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 44.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 44.3 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 44.0 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 44.5 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 44.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 33.4 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 33.4 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 33.4 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 33.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 33.0 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง W = 33.0 °C

จากการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 10 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดป้อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.14 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.15 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

ภาพความร้อนด้านหลัง

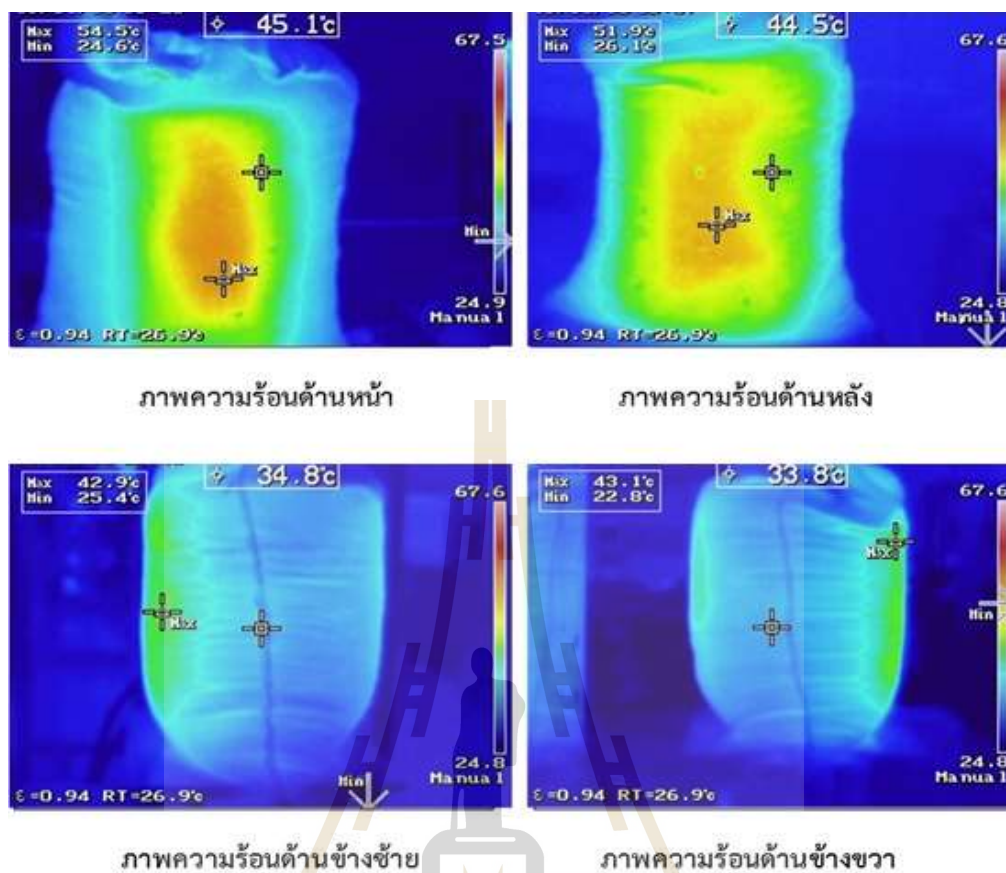


ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.14 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 5.15 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร

การทดสอบถัดไปทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวสารเป็นตัวทดสอบ โดยกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 28.3 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	50.8	51.1	50.8	50.8	51.1	50.8	50.8	51.1	50.8	35.2	35.2	35.2
กลับ ด้าน	54.8	55.2	54.8	54.8	55.2	54.8	54.8	55.2	54.8	36.6	36.6	36.6
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	49.9	49.9	49.9	49.7	50.1	49.9	49.7	50.1	49.9	35.3	35.3	35.3
กลับ ด้าน	54.8	55.1	54.8	54.8	55.1	54.8	54.7	54.8	54.8	36.4	36.4	36.4

เมื่อทำการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 15 นาที ทดสอบแบบปกติ และแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 50.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 51.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 50.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 51.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 50.8 °C

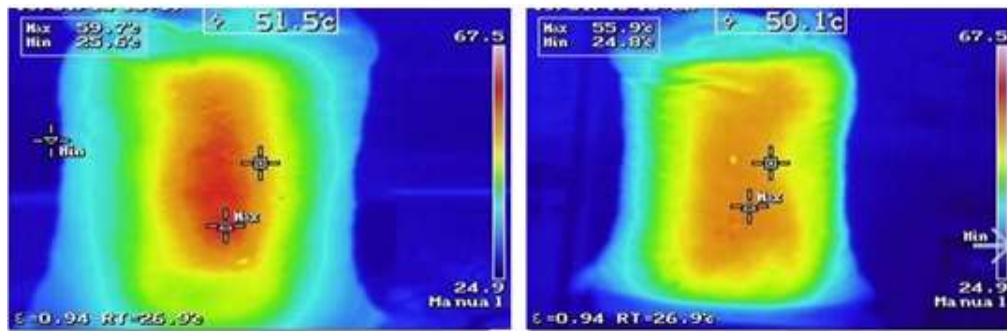
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 49.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 49.9 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 49.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 49.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 50.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 49.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 49.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 50.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 49.9 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 35.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 35.2 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 35.2 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 35.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 35.3 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง W = 35.3 °C

เมื่อทำการทดสอบ 15 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 10 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่

วิทยุอีก 10 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 54.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 55.2 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 54.8 °C

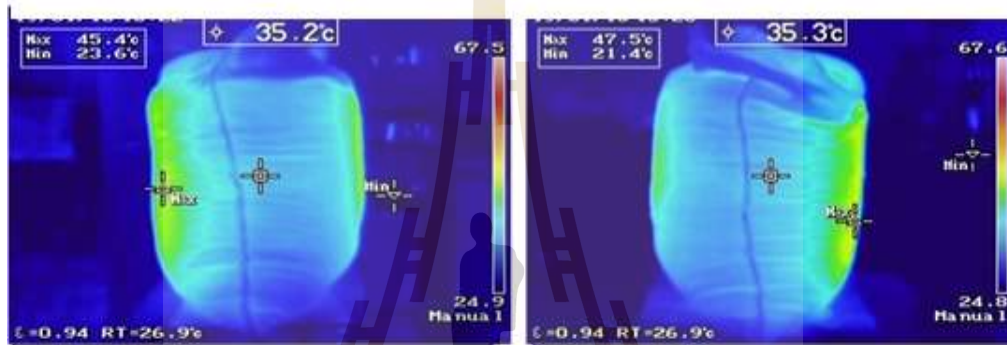
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 54.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 54.8 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 35.2 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 35.2 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 35.2 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 36.4 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 36.4 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง W = 36.4 °C

จากการทดสอบนำข่าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 15 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข่าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข่าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข่าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.16 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.17 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

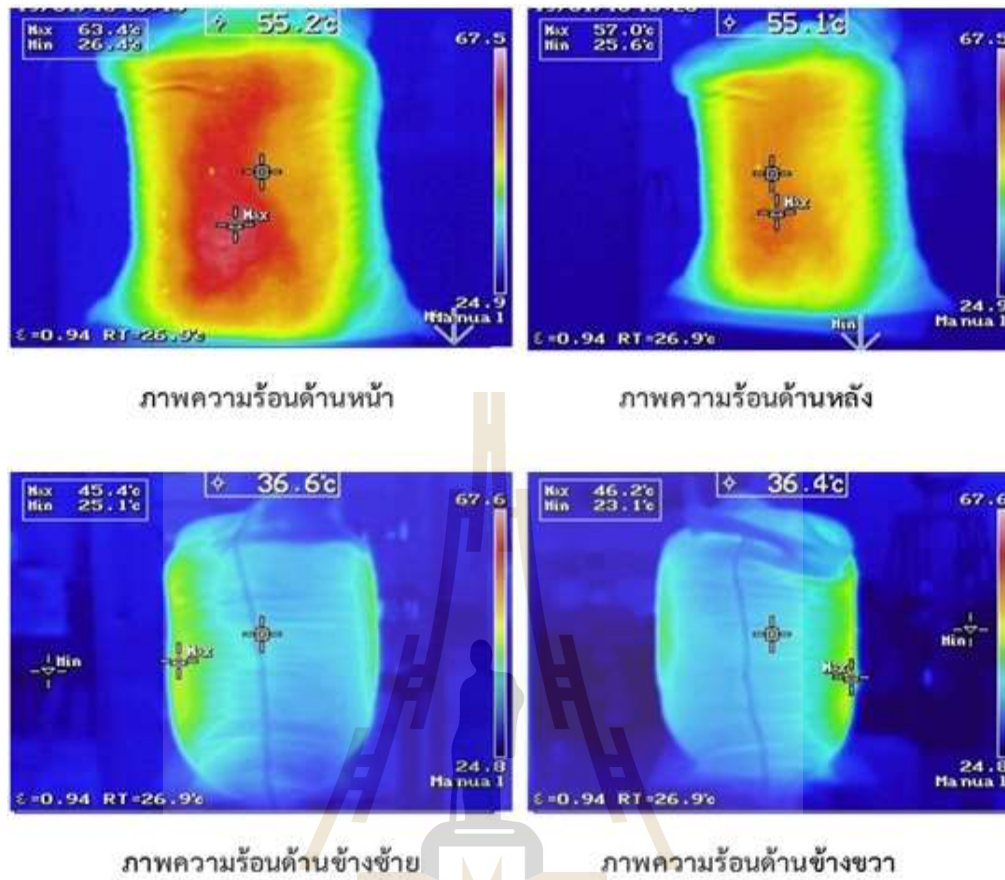
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.16 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร



รูปที่ 5.17 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร

การทดสอบถัดไปทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว ในการทดสอบใช้ข้าวสารเป็นตัวทดสอบ โดยกระสอบข้าวมีอุณหภูมิเริ่มต้น 28.8 °C ทั้ง 4 ด้าน จากนั้นนำกระสอบข้าวเปลือกไปผ่านคลื่นความถี่วิทยุ เป็นเวลา 20 นาที แล้วทำการวัดอุณหภูมิตามตำแหน่งที่กำหนดได้ผลตามตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร

ด้าน	A	B	C	D	E	F	G	H	I	S	T	U
ใกล้ เพลต	57.5	57.9	57.6	57.5	57.9	57.6	57.5	57.9	57.6	37.7	37.7	37.7
กลับ ด้าน	58.9	59.0	58.9	58.9	59.0	58.9	58.9	59.0	58.9	40.0	40.0	40.0
	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	V	W	X
กราวด์	56.5	56.8	56.5	56.5	56.8	56.5	56.5	56.8	56.5	37.6	37.6	37.6
กลับ ด้าน	57.9	58.1	57.9	57.9	58.1	57.9	57.9	58.1	57.9	38.0	38.0	38.0

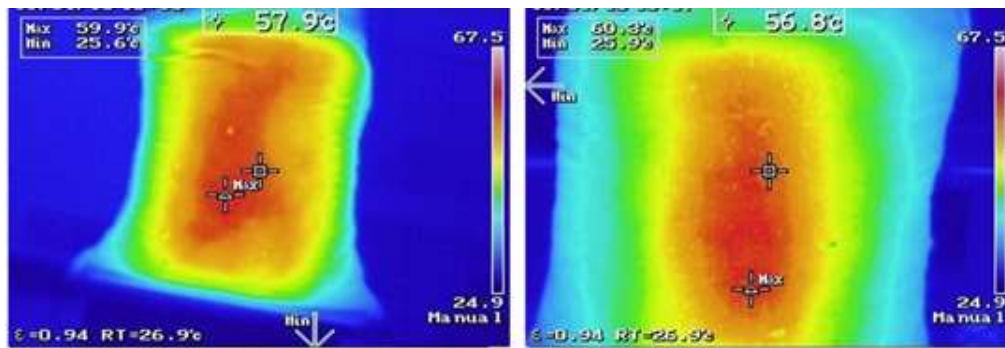
เมื่อทำการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 20 นาที ทดสอบแบบปกติ และแบบกลับด้าน ผลการทดสอบแบบปกติ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 57.5 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 57.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 57.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 57.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 57.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 57.9 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 57.6 °C

อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 56.5 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 56.8 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 56.5 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายกระสอบที่ตำแหน่ง S = 37.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 37.7 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 37.7 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 37.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 37.6 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง W = 37.6 °C

เมื่อทำการทดสอบ 20 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 3 นาที แล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลทให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุอีก 3 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลทอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 58.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 59.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 58.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 58.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 59.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 58.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ G = 58.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 59.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 58.9 °C

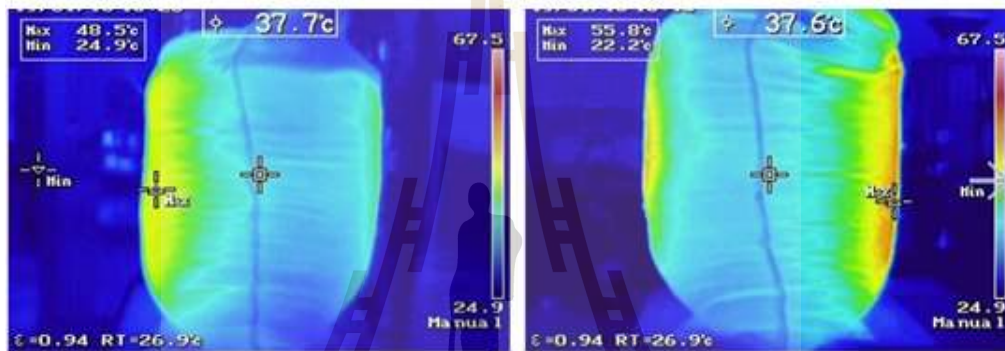
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 57.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางกระสอบ Q = 58.1 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 57.9 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง S = 40.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง T = 40.0 °C ตำแหน่งถัดไปล่างสุด U = 40.0 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งขวาของกระสอบที่ตำแหน่ง V = 38.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านบนของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลาง W = 38.0 °C และตำแหน่งล่างสุดท้ายด้านล่าง X = 38.0 °C

จากการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 20 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลทและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดป้อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.18 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.19 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

ภาพความร้อนด้านหลัง

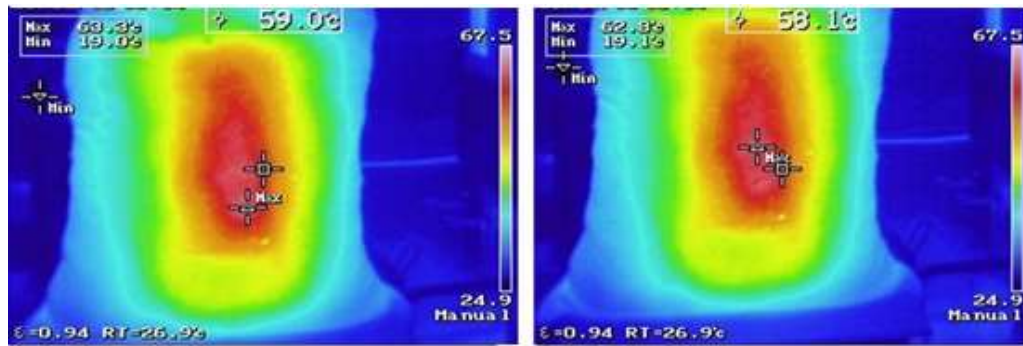


ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

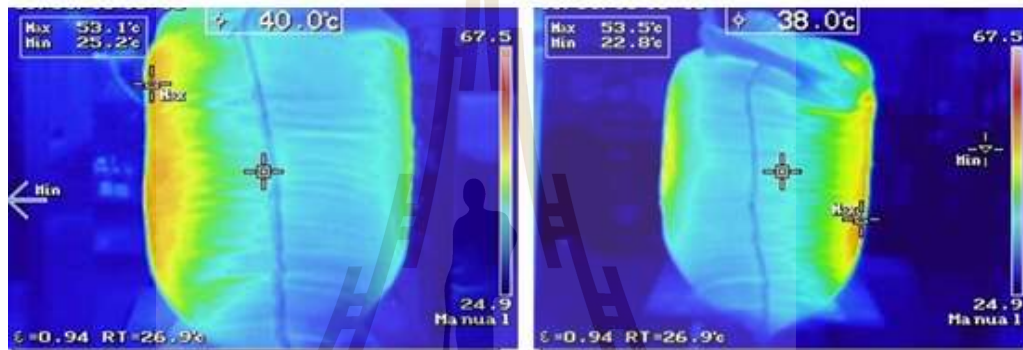
รูปที่ 5.18 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาพความร้อนด้านหน้า

ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.19 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร

การทดสอบผลอัตราการตายของมอด

การทดสอบผลกับข้าวเปลือก

1. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
2. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
3. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน

การทดสอบผลกับข้าวสาร

4. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
5. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
6. ที่อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน
เก็บข้าวใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน

เมื่อนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสและนำถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันทีและมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 90 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 2, 4, 8, 11 ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางกลางของกระสอบข้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เปอร์เซ็นต์การตาย 85 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10 ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบบน ขอบข้าง ขอบล่างทั้งด้านหน้าและด้านหลังของกระสอบข้าว เปอร์เซ็นต์การตาย 75 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบและเมื่อทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าที่ 7 วัน มอดมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มขึ้นและตายจนครบ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ดังแสดงตามตารางที่ 7

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส
ข้าวเปลือก

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้ (วัน)			เก็บข้าวไว้ (วัน)			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	85	-	85	95	100	100	100	100	100
2	90	-	90	100	100	100	100	100	100
3	85	-	85	95	100	100	100	100	100
4	90	-	90	100	100	100	100	100	100
5	85	-	85	95	100	100	100	100	100
6	85	-	85	95	100	100	100	100	100
7	85	-	85	95	100	100	100	100	100
8	90	-	90	100	100	100	100	100	100
9	85	-	85	95	100	100	100	100	100
10	85	-	85	95	100	100	100	100	100
11	90	-	90	100	100	100	100	100	100
12	85	-	85	95	100	100	100	100	100
13	75	-	75	85	100	100	100	100	100
14	75	-	75	85	100	100	100	100	100
15	75	-	75	85	100	100	100	100	100
16	75	-	75	85	100	100	100	100	100

เมื่อนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสและนำถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันทีและมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 2, 4, 8, 11 ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางกลางของกระสอบข้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เปอร์เซ็นต์การตาย 90 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10 ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบบน ขอบข้าง ขอบล่างทั้งด้านหน้าและด้านหลังของกระสอบข้าว เปอร์เซ็นต์การตาย 80 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบ และทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน มอดก็ตายครบ 100 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส
ข้าวเปลือก

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้			เก็บข้าวไว้			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	90	-	90	100	100	100	100	100	100
2	100	-	100	100	100	100	100	100	100
3	90	-	90	100	100	100	100	100	100
4	100	-	100	100	100	100	100	100	100
5	90	-	90	100	100	100	100	100	100
6	90	-	90	100	100	100	100	100	100
7	90	-	90	100	100	100	100	100	100
8	100	-	100	100	100	100	100	100	100
9	90	-	90	100	100	100	100	100	100
10	90	-	100	100	100	100	100	100	100
11	100	-	90	100	100	100	100	100	100
12	90	-	90	100	100	100	100	100	100
13	80	-	80	100	100	100	100	100	100
14	80	-	80	100	100	100	100	100	100
15	80	-	80	100	100	100	100	100	100
16	80	-	80	100	100	100	100	100	100

เมื่อนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสและนำถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันทีและมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, และ 12 เปอร์เซ็นต์การตาย 90 เปอร์เซ็นต์ ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบ และทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน มอดก็ตายครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้			เก็บข้าวไว้			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	100		100	100	100	100	100	100	100
2	100	-	100	100	100	100	100	100	100
3	100	-	100	100	100	100	100	100	100
4	100	-	100	100	100	100	100	100	100
5	100	-	100	100	100	100	100	100	100
6	100	-	100	100	100	100	100	100	100
7	100	-	100	100	100	100	100	100	100
8	100	-	100	100	100	100	100	100	100
9	100	-	100	100	100	100	100	100	100
10	100	-	100	100	100	100	100	100	100
11	100	-	100	100	100	100	100	100	100
12	100	-	100	100	100	100	100	100	100
13	90	-	90	100	100	100	100	100	100
14	90	-	90	100	100	100	100	100	100
15	90	-	90	100	100	100	100	100	100
16	90	-	90	100	100	100	100	100	100

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และนำถุงผ้าที่ใส่มัดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามัดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที และมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 90 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 2, 4, 8, 11 ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางกลางของกระสอบข้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เปอร์เซ็นต์การตาย 70 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10 ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบบน ขอบข้าง ขอบล่างทั้งด้านหน้าและด้านหลังของกระสอบข้าว เปอร์เซ็นต์การตาย 50 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบและเมื่อทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าที่ 7 วัน มอดมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มขึ้นและตายจนครบ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ดังแสดงตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศา

เซลเซียส ข้าวสาร

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้			เก็บข้าวไว้			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	70	-	70	80	100	100	100	100	100
2	90	-	90	95	100	100	100	100	100
3	70	-	70	80	100	100	100	100	100
4	90	-	90	95	100	100	100	100	100
5	70	-	70	80	100	100	100	100	100
6	70	-	70	80	100	100	100	100	100
7	70	-	70	80	100	100	100	100	100
8	70	-	70	80	100	100	100	100	100
9	90	-	90	95	100	100	100	100	100
10	70	-	70	80	100	100	100	100	100
11	90	-	90	95	100	100	100	100	100
12	70	-	70	80	100	100	100	100	100
13	50	-	50	60	100	100	100	100	100
14	50	-	50	60	100	100	100	100	100
15	50	-	50	60	100	100	100	100	100
16	50	-	50	60	100	100	100	100	100

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และนำถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที และมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 2, 4, 8, 11 ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางกลางของกระสอบข้าวทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เปอร์เซ็นต์การตาย 90 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10 ซึ่งเป็นตำแหน่งขอบบน ขอบข้าง ขอบล่างทั้งด้านหน้าและด้านหลังของกระสอบข้าว เปอร์เซ็นต์การตาย 80 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบ และทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน มอดก็ตายครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส ข้าวสาร

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้			เก็บข้าวไว้			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	90	-	90	100	100	100	100	100	100
2	100	-	100	100	100	100	100	100	100
3	90	-	90	100	100	100	100	100	100
4	100	-	100	100	100	100	100	100	100
5	90	-	90	100	100	100	100	100	100
6	90	-	90	100	100	100	100	100	100
7	90	-	90	100	100	100	100	100	100
8	100	-	100	100	100	100	100	100	100
9	90	-	90	100	100	100	100	100	100
10	100	-	100	100	100	100	100	100	100
11	90	-	90	100	100	100	100	100	100
12	90	-	90	100	100	100	100	100	100
13	80	-	80	100	100	100	100	100	100
14	80	-	80	100	100	100	100	100	100
15	80	-	80	100	100	100	100	100	100
16	80	-	80	100	100	100	100	100	100

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนได้อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และนำถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่าเมล็ดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที และมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, และ 12 เปอร์เซ็นต์การตาย 90 เปอร์เซ็นต์ ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบและทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์การตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน มอดก็ตายครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงตามตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส
ข้าวสาร

จุดที่	อัตราการตาย		เก็บมอดไว้			เก็บข้าวไว้			
	ตัวเต็มวัย	ระยะไข่	1	7	14	15	30	45	60
1	100	-	100	100	100	100	100	100	100
2	100	-	100	100	100	100	100	100	100
3	100	-	100	100	100	100	100	100	100
4	100	-	100	100	100	100	100	100	100
5	100	-	100	100	100	100	100	100	100
6	100	-	100	100	100	100	100	100	100
7	100	-	100	100	100	100	100	100	100
8	100	-	100	100	100	100	100	100	100
9	100	-	100	100	100	100	100	100	100
10	100	-	100	100	100	100	100	100	100
11	100	-	100	100	100	100	100	100	100
12	100	-	100	100	100	100	100	100	100
13	90	-	90	100	100	100	100	100	100
14	90	-	90	100	100	100	100	100	100
15	90	-	90	100	100	100	100	100	100
16	90	-	90	100	100	100	100	100	100

5.4 สรุป

จากการผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบสำหรับการฆ่ามอดในข้าวและข้าวเปลือกที่บรรจุภัณฑ์ไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ โดยการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุโครงการนี้ สามารถฆ่ามอดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเมื่อให้ความร้อนกับข้าวสารและข้าวเปลือก ทำให้มอดข้าวตายได้ 100% และลักษณะทางกายภาพของของข้าวสารและข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม



บทที่ 6

สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวิจัยถึงการวิเคราะห์การให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ โดยได้ศึกษาทฤษฎีการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ด้วยสนามไฟฟ้าและพิจารณาถึง กลไกการให้ความร้อนของไดโอดีเล็กทรอนิกส์ หลักการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์พาราเมเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ และหลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและได้นำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาทำการวิเคราะห์และออกแบบด้วยการคำนวณหาระดับพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวและช่วงความถี่ที่ใช้ให้มีความเหมาะสม การคำนวณหาระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้ความถี่ของไดโอดีเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมได้ การวิเคราะห์ถึงลักษณะของวงจรที่สามารถทำให้เกิดคลื่นสนามไฟฟ้า การคำนวณถึงกำลังงานที่ต้องใช้ภายในวงจรเพื่อให้ได้กำลังงานที่เหมาะสมซึ่งนำมาสู่การจำลองผลของการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST เพื่อวิเคราะห์ถึงจำนวนของจุดป้อนกำลังงานและตำแหน่งของจุดป้อนกำลังงานที่เหมาะสม และได้วิเคราะห์ถึงระดับการใช้กำลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ในการใช้งาน รวมถึงการพิจารณาระยะเวลาในการให้ความร้อนสำหรับฆ่ามอดข้าวที่เหมาะสม และองค์ประกอบด้านโครงสร้าง ระบบควบคุมการไหล ระบบลำเลียง ต้นแบบสำหรับฆ่ามอดข้าวสารโดยให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ในโครงการนี้ทำงานในย่านความถี่ 10-80MHz ซึ่งการทดสอบให้ความร้อนไดโอดีเล็กทรอนิกส์ พบว่ามอดข้าวมีอัตราการตาย 100% และอุณหภูมิสูงสุดของข้าวสารเท่ากับ 64 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ระบบจ่ายกำลังงาน ระบบจ่ายกำลังงานของอาคาร และระบบกราวด์ (Ground) อาจส่งผลให้การทดสอบระดับกำลังงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพของการออกแบบระบบ การออกแบบเครื่องที่มีขนาดกำลังงานสูง จำเป็นต้องมีระบบการจ่ายกำลังงานและระบบกราวด์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด

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.

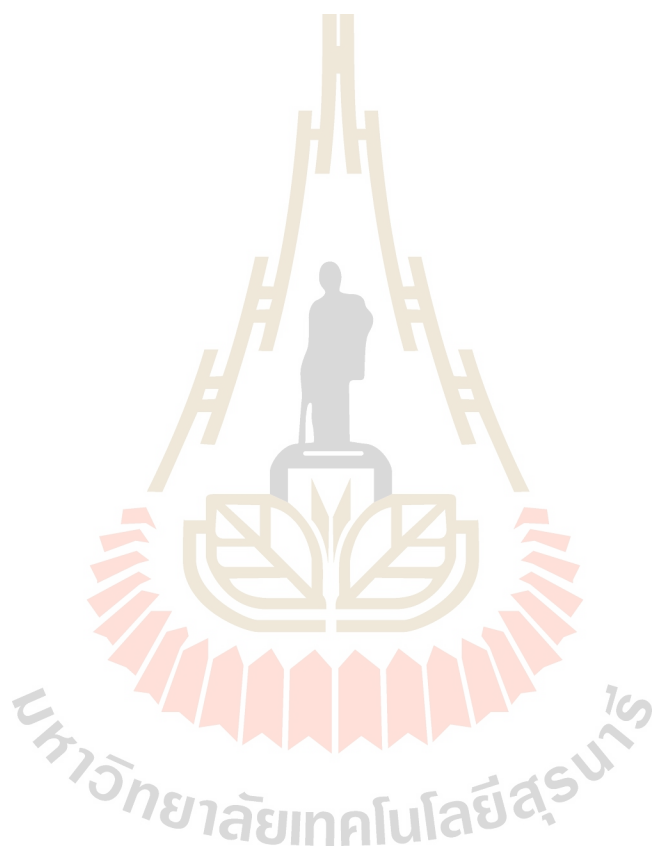
- Kurose, H., Miyagi, D., Takahashi, N., Uchida, N and Kawanaka, K. (2009). 3-D Eddy Current Analysis of Induction Heating Apparatus Considering Heat Emission, Heat Conduction, and Temperature Dependence of Magnetic Characteristics, IEEE Transactions on Magnetics, 45: 1847 - 1850.
- Komarov, V. (2012). 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
สำหรับฆ่ามอดข้าว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าว

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- สามารถใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต หรือ 380 โวลต์ 3 เฟส
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 20 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 100 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบ

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

ข้อมูลทางเทคนิค ต่อ ผลกระทบต่อมนุษย์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า :

จากมาตรฐานข้อกำหนดของพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ 300 kHz ถึง 300 GHz ต่อร่างกายมนุษย์ (Ref) Safety Code 6 - Limits of Human Exposure to Radiofrequency Electromagnetic Energy in the Frequency Range from 3 kHz to 300 GHz (2015) ดังรูปที่ 1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงข้อกำหนดที่ว่า พลังงานที่มีค่า 0.08 W/kg ถึงจะมีผลต่อมนุษย์ เมื่อเทียบเป็นมวลร่างกายมนุษย์ จะมีผลดังตารางที่ 1

LIMITS OF HUMAN EXPOSURE TO RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC ENERGY IN THE FREQUENCY RANGE FROM 3 KHZ TO 300 GHZ

Consumer and Clinical Radiation Protection Bureau
Environmental and Radiation Health Sciences Directorate
Healthy Environments and Consumer Safety Branch
Health Canada

SAFETY CODE 6 (2015)

2.1.2 Specific Absorption Rate Limits (100 kHz–6 GHz)

The SAR is a measure of the rate at which electromagnetic energy is absorbed in the body. Basic restrictions for SAR are intended to prevent the occurrence of thermal effects from RF energy exposure on the body. At frequencies between 100 kHz and 6 GHz, the SAR limits (Table 2) take precedence over field strength and power density reference levels (Section 2.2) and shall not be exceeded.

The SAR should be determined for situations where exposures occur at a distance of 0.2 m or less from the source. In all cases, the values in Table 2 shall not be exceeded. For conditions where SAR determination is impractical, external unperturbed field strength or power density measurements shall be carried out and the limits outlined in Section 2.2 shall be respected.

TABLE 2: Specific Absorption Rate Basic Restrictions (100 kHz–6 GHz)

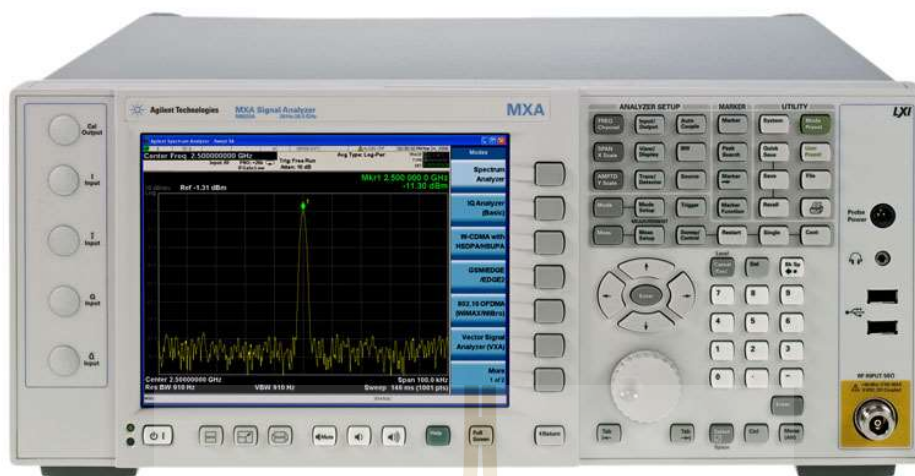
CONDITION	SAR Basic Restriction (W/kg)**	
	Uncontrolled Environment	Controlled Environment
The SAR averaged over the whole body mass.	0.08	0.4
The peak spatially-averaged SAR for the head, neck and trunk, averaged over any 1 g of tissue*	1.6	8
The peak spatially-averaged SAR in the limbs, averaged over any 10 g of tissue*	4	20

รูปที่ 1 มาตรฐานของกำลังงานที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์

ตารางที่ 1 มวลร่างกายต่อพลังงาน

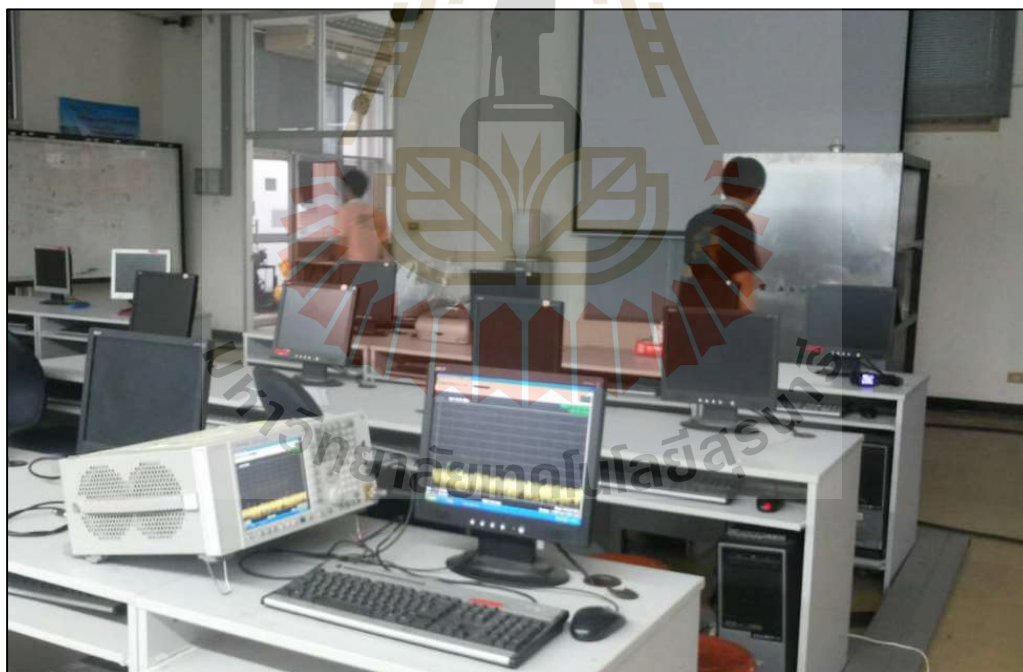
มวลร่างกาย (kg)	พลังงานที่สามารถรับได้ (W)
20	1.600
25	2.000
30	2.400
35	2.800
40	3.200
45	3.600
50	4.000
55	4.400
60	4.800
65	5.200
70	5.600
75	6.000
80	6.400
85	6.800
90	7.200
95	7.600
100	8.000

ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับการทดสอบวันผลการแพร่กระจายคลื่นจากตัวเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์ ด้วยเครื่องมือวัดและวิเคราะห์สัญญาณขั้นสูง (N9020A MXA Signal Analyzer) ดังแสดงตาม รูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องมือวิเคราะห์สัญญาณรบกวน N9020A MXA Signal Analyzer

ผลการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กตริก



ลักษณะการทดสอบการแพร่กระจายคลื่น

ตารางที่ 2 ผลการแพร่กระจายคลื่น (ด้านหน้า)

ระยะห่าง (เมตร)	พลังงานที่สามารถรับได้ (dBm)	พลังงานที่สามารถรับได้ (W)
0.1	30.01	1.004098
1	10.01	0.010041
2	3.99	0.00251
3	0.47	0.001116
4	-2.02	0.000628
5	-3.90	0.000407
6	-5.54	0.000279
7	-6.88	0.000205
8	-8.044	0.000157
9	-9.06	0.000124
10	-9.98	0.0001
20	-16.00	2.51E-05
30	-19.52	1.12E-05

ตารางที่ 3 ผลการแพร่กระจายคลื่น (ด้านหลัง)

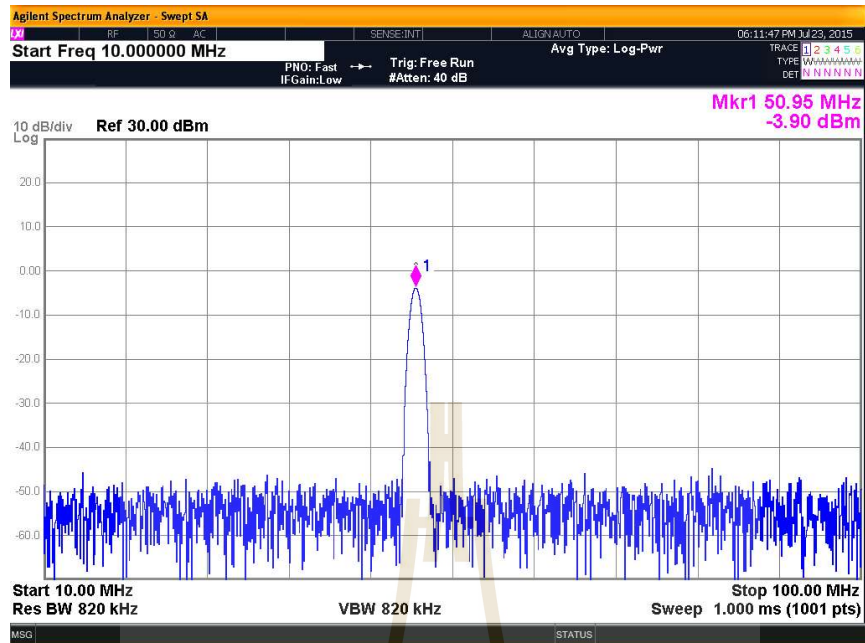
ระยะห่าง (เมตร)	พลังงานที่สามารถรับได้ (dBm)	พลังงานที่สามารถรับได้ (W)
0.1	29.49	0.889996
1	9.49	0.0089
2	3.47	0.002225
3	-0.04	0.000989
4	-2.54	0.000556
5	-4.49	0.000356
6	-6.06	0.000247
7	-7.40	0.000182
8	-8.56	0.000139
9	-9.59	0.00011
10	-10.50	8.9E-05
20	-16.52	2.22E-05
30	-20.04	9.89E-06

ตารางที่ 4 ผลการแพร่กระจายคลื่น (ด้านข้าง ซ้าย)

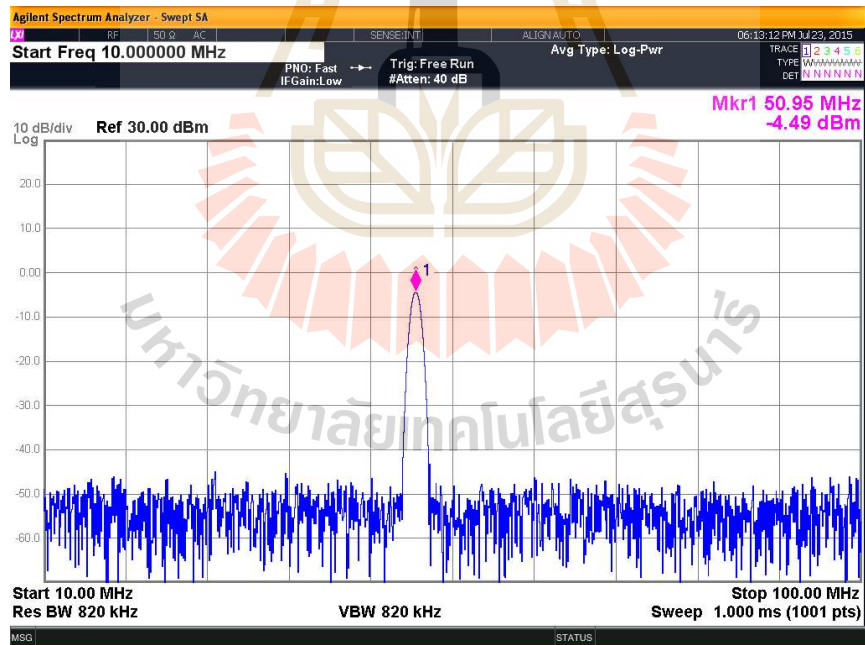
ระยะห่าง (เมตร)	พลังงานที่สามารถรับได้ (dBm)	พลังงานที่สามารถรับได้ (W)
0.1	26.30	0.426741
1	6.30	0.004267
2	0.28	0.001067
3	-3.24	0.000474
4	-5.73	0.000267
5	-7.71	0.000171
6	-9.26	0.000119
7	-10.60	8.71E-05
8	-11.76	6.67E-05
9	-12.78	5.27E-05
10	-13.69	4.27E-05
20	-19.71	1.07E-05
30	-23.24	4.74E-06

ตารางที่ 5 ผลการแพร่กระจายคลื่น (ด้านข้าง ขวา)

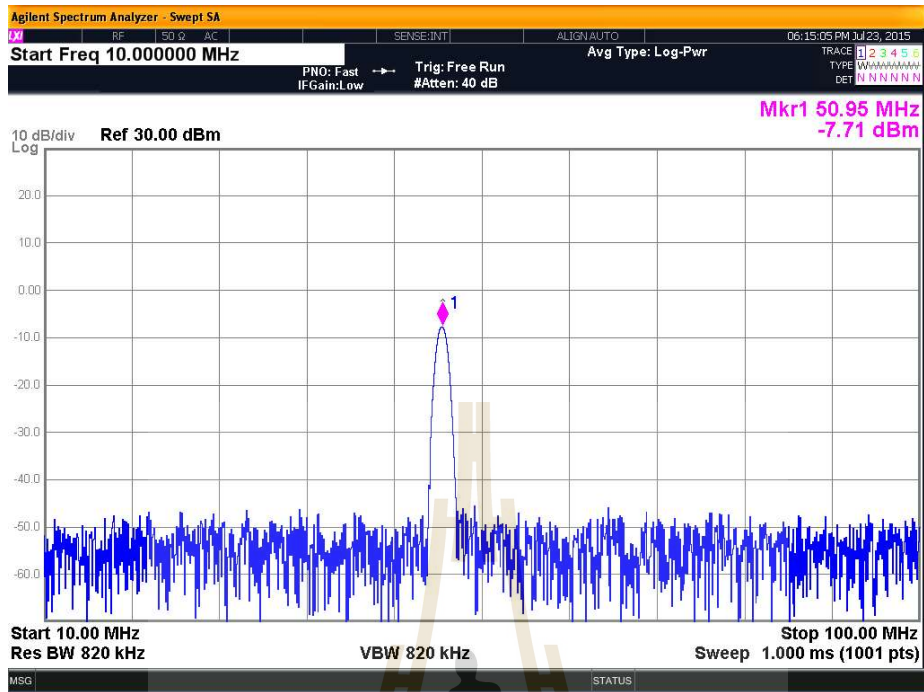
ระยะห่าง (เมตร)	พลังงานที่สามารถรับได้ (dBm)	พลังงานที่สามารถรับได้ (W)
0.1	26.30	0.451844
1	6.30	0.004518
2	0.28	0.00113
3	-3.24	0.000502
4	-5.73	0.000282
5	-7.46	0.000181
6	-9.26	0.000126
7	-10.60	9.22E-05
8	-11.76	7.06E-05
9	-12.78	5.58E-05
10	-13.69	4.52E-05
20	-19.71	1.13E-05
30	-23.24	5.02E-06



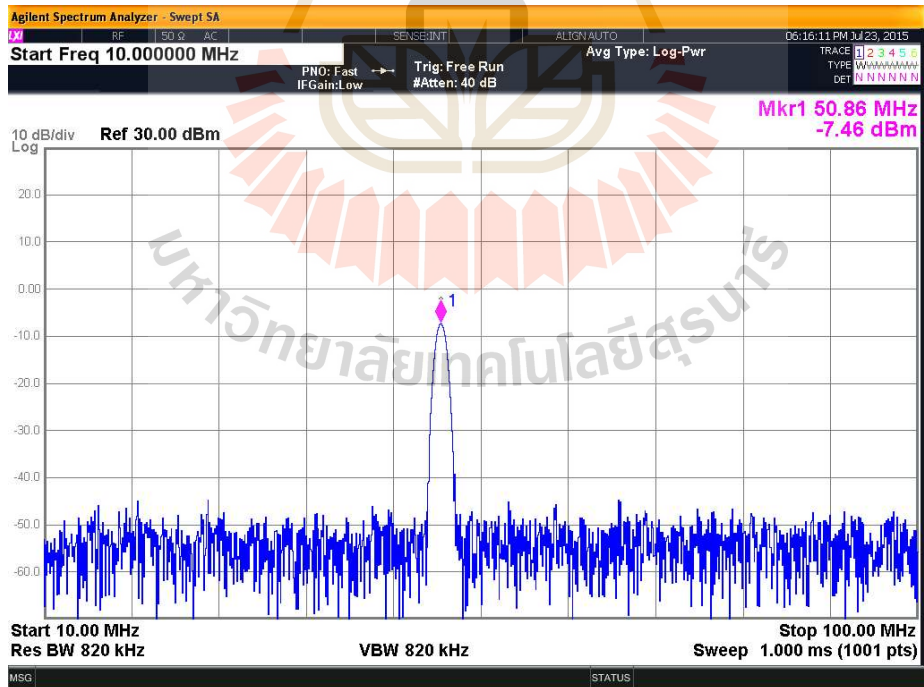
รูปที่ 3 ผลการทดสอบที่ระยะ 5 เมตร ด้านหน้า จากตัวเครื่อง



รูปที่ 4 ผลการทดสอบที่ระยะ 5 เมตร ด้านหลัง จากตัวเครื่อง



รูปที่ 5 ผลการทดสอบที่ระยะ 5 เมตร ด้านข้าง ซ้าย จากตัวเครื่อง



รูปที่ 6 ผลการทดสอบที่ระยะ 5 เมตร ด้านข้าง ขวา จากตัวเครื่อง

สรุปผลการทดสอบ/พลังงานที่มีผลต่อมนุษย์

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบมวลร่างกายต่อพลังงานที่แพร่กระจาย

มวลร่างกาย (kg)	พลังงานแพร่กระจายคลื่น (W) ที่ระยะต่างๆ				พลังงานที่มีผลต่อ มนุษย์ (W)
	0.1 เมตร	1 เมตร	5 เมตร	10 เมตร	
20	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	1.600
25	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	2.000
30	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	2.400
35	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	2.800
40	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	3.200
45	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	3.600
50	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	4.000
55	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	4.400
60	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	4.800
65	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	5.200
70	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	5.600
75	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	6.000
80	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	6.400
85	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	6.800
90	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	7.200
95	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	7.600
100	1.004098	0.010041	0.000407	0.0001	8.000

จากผลการวัดทดสอบการแพร่กระจายคลื่นรบกวนของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับผ่านอดข้าว พบว่า เมื่อมีการวัดที่ระยะห่างจากตัวเครื่องที่ 0.1 เมตร ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้ที่สุด พบว่า จะมีระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 1.00 วัตต์ และเมื่อระยะห่างออกไป ที่ระยะประมาณ 5 เมตร พบว่า การแพร่กระจายลดลงเหลือประมาณ 0.000407 วัตต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับมวลของมนุษย์แล้ว พบว่าไม่มีผลกระทบต่อมนุษย์