



รายงานการวิจัย

การออกแบบสร้างเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือก
หลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร
โดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลก
ของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืน

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รายงานการวิจัย

การออกแบบสร้างเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือก
หลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร
โดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลก
ของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืน

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

บทคัดย่อ

การประดิษฐ์คิดค้นนี้ได้นำเสนอวิธีการกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจร ประกอบด้วย การออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ การออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้ว การออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าว การออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก ซึ่งเป็นการพัฒนาและประยุกต์ การออกแบบระบบโดยใช้เทคโนโลยีการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกทดแทนการใช้สารเคมี โดย เครื่องต้นแบบทั้ง 4 ระบบ ทำการออกแบบสร้างเครื่องโดยไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหายทุกขั้นตอน และเป็นการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่ามอดข้าวและไข่มอดในปัจจุบัน ซึ่งผลการทดสอบใน แต่ละระบบ พบว่า ระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ เมื่อทำการปล่อยคลื่นและพลังงานที่เหมาะสม จะทำให้สามารถควบคุมจำนวนแมลงที่ข้าวมายัง โรงเก็บหรือโกดังได้ สำหรับระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการ งอก สามารถกำจัดมอดข้าวให้มีอัตราการตาย 100% ได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการ งอกที่เพิ่มขึ้นที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 50 -60 องศาเซลเซียส ได้อีกด้วย ระบบกำจัดมอด และแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าว พบว่ามอดข้าวมีอัตราการตาย 100% ที่อุณหภูมิสูงสุด ของข้าวสารประมาณ 55 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณภาพข้าว และระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้ว มอดข้าวมีอัตราการ ตาย 100% และอุณหภูมิสูงสุดของข้าวสารประมาณ 55 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน และเมื่อ ตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว ดังนั้นทำให้ได้ระบบที่ทำให้เกิด ประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้งานและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

Abstract

In this invention, we presented the design of radio frequency for eliminate whole grains weevil for stowage and export industry to substitute of chemical. 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 eliminate whole grains weevil. The advantage of the eliminate whole grains weevil by using a principle of dielectric heating system, it is suitable for the stowage and export industry. Furthermore, it also helps reduce the import of chemicals to eliminate whole grains 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 eliminate whole grains weevil for stowage and export industry to substitute of chemical is designed to create the prototype of dielectric heating to eliminate whole grains weevil. This technology of the dielectric heating don't damage quality of whole grains and can be replaced the fumigation chemicals that used to eliminate whole grains weevil. The dielectric heating system tested, the grains weevil has a 100% mortality rate and the highest temperature of whole grains was 55 degrees Celsius, when the whole grains checks of does not change characteristics of whole grains quality. Therefore, it can be used to benefit the industry greatly.

กิตติกรรมประกาศ

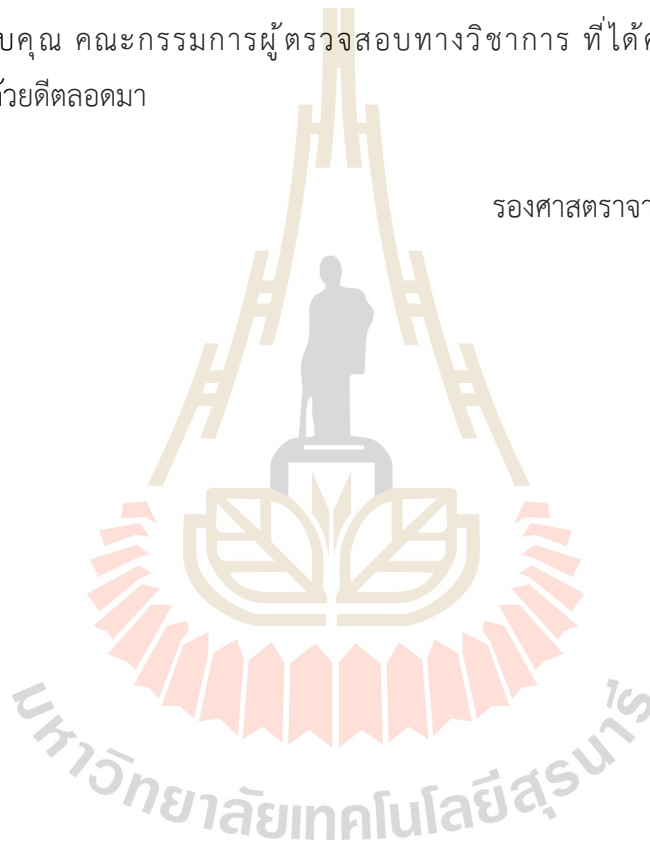
การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2562 ทางคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อเครื่องมือและสถานที่สำหรับการทดสอบงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณะกรรมการผู้ตรวจสอบทางวิชาการ ที่ได้คำแนะนำข้อเสนอแนะต่อคณะผู้วิจัย ด้วยดีตลอดมา

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภ
หัวหน้าโครงการวิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	8
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2 ทัศนวิศวกรรมกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 ทัศนวิศวกรรมกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับหมอดและแมลงในช่วง.....	11
2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับอุณหภูมิ.....	14
2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องเกี่ยวกับการกระตุ้นการงอก.....	17
2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดอิเล็กทริก.....	22
2.2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง.....	23
2.2.2 ลักษณะการออกแบบสร้างระบบกำจัดหมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับหมอดและแมลง.....	25
2.2.3 ตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต.....	26
2.2.4 ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับการไล่แมลงศัตรูพืช.....	27
2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดหมอดและแมลงโดยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก.....	29
2.3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนความร้อน.....	30

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวงจรเหนี่ยวนำ ให้เกิดเป็นความร้อนกับการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัด มอดและแมลงในข้าว.....	33
2.3.3	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของอุณหภูมิการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าว ก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว.....	36
2.4	สรุป.....	37
3	การออกแบบเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว และข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร.....	38
3.1	เครื่องไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง.....	38
3.1.1	การจำลองออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง.....	39
3.1.2	ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานและอัตราขยาย ของสายอากาศ.....	43
3.1.3	การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ.....	45
3.1.4	ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....	46
3.2	เครื่องกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ.....	51
3.2.1	การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอก เมล็ดพันธุ์ข้าว.....	51
3.2.2	การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริก.....	52
3.2.3	การวิเคราะห์และออกแบบวงจรภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	53
3.2.4	การวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกขนาด 1 ตัน/ชั่วโมง.....	53
3.2.5	การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในข้าว.....	54
3.2.6	การออกแบบเครื่องการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้น การงอกข้าวพันธุ์ขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมง.....	62
3.3	เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสาร ในกระสอบ.....	71
3.3.1	การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในมอดข้าว.....	73
3.3.2	การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	74
3.3.3	การออกแบบเครื่องการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก.....	78

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง.....	88
3.4.1	การวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง	88
3.4.2	การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในมอดข้าว.....	89
3.4.3	การพิจารณาพลังงานและความถี่ที่เหมาะสมต่ออัตราการเกิดความร้อนในมอดข้าว.....	91
3.4.4	การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดข้าว ขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	97
3.5	สรุป.....	106
4	อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล.....	107
4.1	อุปกรณ์.....	107
4.2	วิธีการ.....	109
4.3	สถานที่ทำการวิจัย.....	111
5	ผลการทดสอบระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและ ข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร.....	112
5.1	การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องไล่แมลง ในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง.....	112
5.2	การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องกระตุ้น การงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ.....	122
5.3	การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบ เครื่องให้ความร้อน ไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบ.....	138
5.4	การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องให้ความร้อน ไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง.....	173
5.5	สรุป.....	181
6	สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	182
6.1	สรุป.....	182
6.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	183

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง.....	184
ภาคผนวก.....	189
คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือก ในโกดังขนาดใหญ่.....	190
คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้ว ที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง.....	191
คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าว ขนาด 100 กิโลกรัม.....	192
คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ้น การงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน.....	193
ประวัติผู้วิจัย.....	194

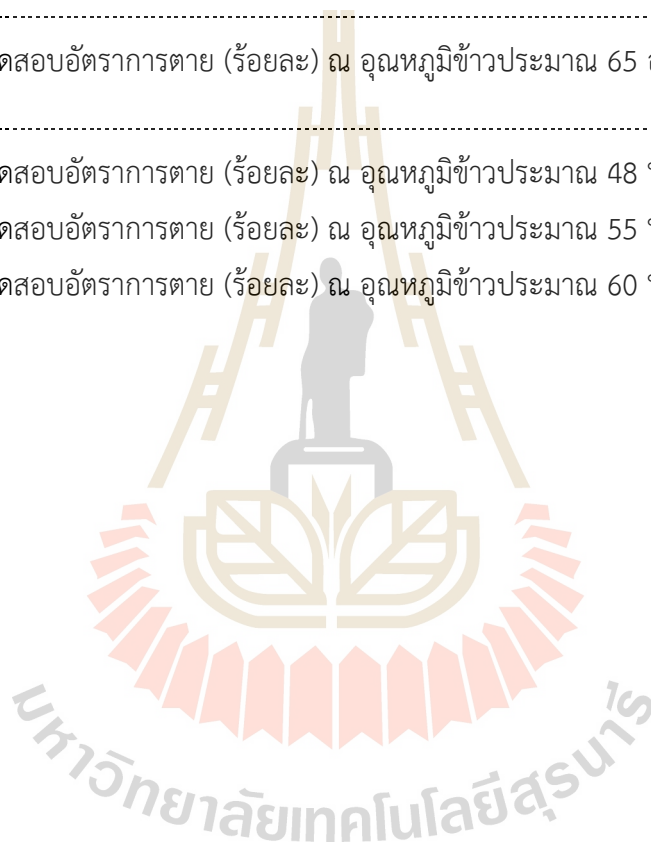


สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ประสิทธิภาพการตอบสนองของคลื่นความถี่แต่ละย่านต่อวัสดุไดอิเล็กตริกและแมลงชนิดต่าง ๆ..... 11
2.2	การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟกับมอดข้าวสาลีจนมีอัตราการตายที่ 99-100%..... 12
3.1	ค่าความความชื้นของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นการงอก ณ เวลาใด ๆ..... 55
3.2	ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น... 56
3.3	ค่าความหนาแน่นของกำลังงานและความชื้นสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ..... 73
3.4	ค่าความหนาแน่นของกำลังงานและความชื้นสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ..... 90
3.5	ค่าความความชื้นของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายสำหรับขนาด 10 ต้น/ชั่วโมง/เครื่อง..... 91
3.6	ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น..... 92
5.1	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก..... 142
5.2	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก..... 146
5.3	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก..... 150
5.4	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร..... 154
5.5	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร..... 158
5.6	ผลการทดสอบอุณหภูมิ (°C) ที่เวลา 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร..... 162
5.7	ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก..... 167
5.8	ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก..... 168
5.9	ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือก..... 169

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.10 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	170
5.11 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	171
5.12 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 65 องศาเซลเซียส ข้าวสาร.....	172
5.13 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 48 °C.....	179
5.14 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 °C.....	180
5.15 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 60 °C.....	181



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การเก็บรักษาข้าวไว้ในโกดังและการกักกินของมอดข้าว.....	2
1.2	การเก็บข้าวเปลือกและข้าวสารไว้ในโกดังและกระสอบข้าว.....	3
1.3	การรมควันด้วยสารเคมีเพื่อฆ่ามอดข้าว.....	5
1.4	การติดตั้งเสาอากาศของเครื่องไล่มอดและแมลงภายในโกดังเก็บข้าวเปลือก.....	6
2.1	การใช้ความถี่ 39 และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิข้าวสาลี ต่อการตายของมอดข้าว.....	13
2.2	การเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเหล็กตันทรงกระบอก.....	14
2.3	ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนบนตัวชิ้นงาน.....	15
2.4	ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนบนตัวเหล็กกลวงทรงกระบอก.....	16
2.5	ผลการทดสอบเบื้องต้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	20
2.6	การปลูกและตรวจสอบอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก.....	21
2.7	โครงสร้างระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวและไข่มอด.....	25
2.8	หลอดไดอิเล็กตรอนที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก.....	26
2.9	การเรียงตัวของโมเลกุลมีซิว เกิดการเสียดสีกันของข้าวบวกลบ.....	26
2.10	การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพลเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	27
2.11	ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัด แมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง.....	28
2.12	ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืช ด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง.....	29
2.13	วงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนหลายชุดทำงานร่วมกัน.....	30
2.14	วงจรสมมูลของการเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนสองวงจรที่อยู่ติดกัน.....	32
2.15	(ก) ระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว (ข) ระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแส.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1	ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดแมลง ศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง 38
3.2	ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดแมลงศัตรู พืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง 39
3.3	แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศปากแตรในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) 40
3.4	แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศปากแตรในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) 40
3.5	สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับในแต่ละย่านความถี่ที่ได้จำลองผล ความถี่ 2.45 GHz มีการ สะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB..... 41
3.6	อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบที่ได้จากการจำลองผล จะเห็นได้ว่าที่ ความถี่ 2.45 GHz มีอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ที่ประมาณ $56.64 - j7.36$ โอห์ม..... 42
3.7	อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศที่ออกแบบที่ได้จากการจำลองผล..... 42
3.8	การเตรียมเครื่องมือสำหรับวัดแบบรูปการแผ่กระจายพลังงานและอัตราขยายของ สายอากาศต้นแบบ..... 43
3.9	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบ สนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz..... 44
3.10	แบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็ก ที่ความถี่ 2.45 GHz..... 44
3.11	แบบวงจรรขยายสัญญาณ..... 45
3.12	วงจรรขยายสัญญาณความถี่ 2.45 GHz..... 46
3.13	ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืช ด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง..... 47
3.14	ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืช ด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง..... 48
3.15	การติดตั้งเสาอากาศของเครื่องไล่แมลงและแมลงภายในโกดังเก็บข้าวเปลือก..... 49
3.16	ระยะห่างระหว่างตัวปล่อยคลื่นและแมลง..... 49
3.17	ผลการ Simulation ของตัวแมลง..... 50

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.18	บล็อกไดอะแกรมเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์.....	52
3.19	ขนาดตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ที่มีขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมง.....	54
3.20	ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต.....	56
3.21	การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 2000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	57
3.22	การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 4000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความ เข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	58
3.23	การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 6000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	59
3.24	การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 8000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	60
3.25	การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 10000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	61
3.26	ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับกระตุ้น การงอกข้าวพันธุ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง.....	63
3.27	ต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นตามทีออกแบบ.....	64
3.28	รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก สำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง.....	65
3.29	ระบบแหล่งจ่ายกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้ว.....	66
3.30	รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก สำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง.....	67
3.31	การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง.....	68
3.32	รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กโทรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก สำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง.....	69
3.33	การติดตั้งอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลต.....	70
3.34	เครื่องกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวที่เสร็จสมบูรณ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง.....	71

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.35 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง	74
3.36 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด	75
3.37 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด ทแยง	76
3.38 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง แบบ 2 จุด	77
3.39 ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่สามารถกำจัดมอดได้ทั่วทั้งกระสอบข้าว.....	78
3.40 ขนาดของโครงสร้างต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด.....	79
3.41 ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด.....	80
3.42 โครงด้านนอกเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด ที่สร้างขึ้นตามขนาดที่ออกแบบไว้.....	82
3.44 ลักษณะสายพานลำเลียงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works.....	82
3.45 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ.....	83
3.46 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ.....	84
3.47 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง.....	85
3.48 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กโทรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ.....	86
3.49 การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดเพลตตามที่ออกแบบ.....	86
3.50 ระบบต้นแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด ที่ได้สร้างขึ้นตามที่ออกแบบ.....	87
3.51 ขนาดตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ที่มีขนาด 10 ต้น/ชั่วโมง.....	89
3.52 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 2000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร.....	93

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.53 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 4000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร.....	94
3.54 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 6000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร.....	95
3.55 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 8000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร.....	96
3.56 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 10000 วัตต์ ตำแหน่ง ในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร.....	97
3.57 ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอด ขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	99
3.58 เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	100
5.59 เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน ต่อชั่วโมงที่ได้สร้างขึ้นตามทีออกแบบ.....	100
3.60 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน.....	101
3.61 ระบบแหล่งจ่ายกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้ว.....	102
3.62 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อน ไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	103
3.63 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง.....	103
3.64 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กโทรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	104
3.65 การติดตั้งอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลต.....	105
3.66 เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง.....	105
4.1 คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล.....	108
4.2 เครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม.....	108
4.3 เครื่องวิเคราะห์โครมเข้า.....	108

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 เครื่องวัดกำลัง.....	109
4.5 กล้องถ่ายภาพความร้อน.....	109
5.1 การวัดการตอบสนองของคลื่นความถี่ 2.45 GHz	112
5.2 การตอบสนองความถี่ 2.45 GHz	113
5.3 ห้องที่ใช้ในการทดลองเก็บข้าวเปลือกแบ่งออกเป็น 2 ห้อง หมายเลข 1 ควบคุม ด้วยความถี่สูง หมายเลข 2 ไม่มีการควบคุม	114
5.4 แสดงการวางตำแหน่งสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนไดอิเล็กตริก.....	115
5.5 แรงดันที่ใช้ 18 v กระแส 7 A กำลังงานที่ปล่อยไปยังสายอากาศปากแตรอยู่ที่ 126 W...116	116
5.6 ขนาดของกองข้าวเปลือก 50x50 cm.....	116
5.7 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 1.....	117
5.8 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 2.....	118
5.9 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 3.....	119
5.10 บริเวณตำแหน่งที่สุ่มนับจำนวนแมลง.....	120
5.11 จำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 1 และห้องหมายเลข 2 ทั้ง 3 สัปดาห์.....	124
5.12 การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอก.....	125
5.13 อุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการทดสอบ ที่ 28.6 °C.....	126
5.14 อุณหภูมิจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ที่ 48.7 °C.....	127
5.15 อุณหภูมิจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ที่ 50.2 °C	127
5.16 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 1 วัน.....	128
5.17 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกมาแล้ว 8 วัน.....	129
5.18 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูก 8 วัน.....	130
5.19 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 1 เดือน.....	131
5.20 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกมาแล้ว 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 1 เดือน.....	132
5.21 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูก 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 1 เดือน.....	133

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.28 การจัดวางข้าวสารหรือข้าวเปลือกที่บรรจุในกระสอบวางบนฐานพลาสติก Polypropylene.....	139
5.29 ถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวเพื่อทำการทดสอบ.....	140
5.30 ตำแหน่งการวางถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวในกระสอบข้าว.....	140
5.31 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือก.....	141
5.32 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	144
5.33 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	145
5.34 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	148
5.35 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	149
5.36 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	152
5.37 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก.....	153
5.38 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	156
5.39 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	157
5.40 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	160
5.41 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	161
5.42 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	164
5.43 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร.....	165
5.44 การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดในข้าวสาร.....	174
5.45 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ 48 °C.....	176
5.46 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ 55 °C.....	177
5.47 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ 60 °C.....	178

บทที่ 1

บทนำ

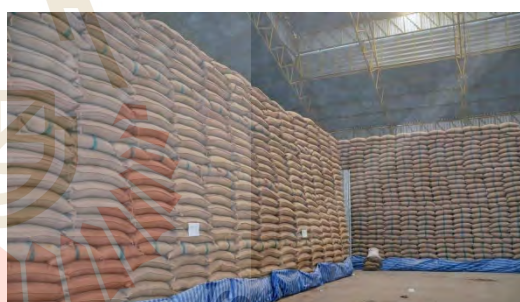
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ข้าวไทย ถือได้ว่าเป็นพืชผลทางการเกษตรและเศรษฐกิจหลักของประเทศ มีการผลิตหลักเก็บเกี่ยวทั้งหมดโดยเฉลี่ยประมาณ 30 ล้านตัน/ปี จึงกล่าวได้ว่าข้าวเป็นรายได้ที่สำคัญของประเทศและเกษตรกรของไทยอีกด้วย ดังนั้นจำนวนผลผลิตและคุณภาพของข้าวจึงส่งผลต่อรายได้ของประเทศและเกษตรกร โดยกระบวนการหลังจากการเก็บเกี่ยว เกษตรกรผู้ปลูกข้าวจะนำข้าวไปขายให้กับโรงสีข้าวที่ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรมข้าวของไทย ซึ่งปัจจุบันมีโรงสีข้าวที่จดทะเบียนประกอบธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าวขนาดใหญ่ประมาณ 275 โรง ทั่วประเทศ โดยที่กระบวนการของโรงสีแต่ละแห่ง หลังจากรับซื้อข้าวจากเกษตรกรจะมีกระบวนการนำข้าวเปลือกไปเก็บรักษา ซึ่งอาจเก็บไว้เป็นกองข้าวขนาดใหญ่ หรือเก็บไว้ในโกดังขนาดใหญ่ในลักษณะการบรรจุไว้ในกระสอบข้าวเพื่อเก็บรักษาสำหรับรอข้าวกระบวนการสีข้าว ซึ่งจำเป็นจะต้องเก็บไว้เป็นเวลานานเพื่อให้ข้าวเป็นข้าวเก่าก่อนข้าวกระบวนการและกระบวนการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวสำหรับการจำหน่ายให้เกษตรกรเพื่อการเพาะปลูกในฤดูกาลถัดไป ซึ่งกระบวนการเก็บรักษาที่นานจะทำให้เกิดปัญหาของมอดและแมลงข้าวมาทำลายกัดกินเมล็ดข้าวเปลือกที่ถูกเก็บรักษา ทำให้ข้าวเปลือกและเมล็ดพันธุ์ที่เก็บไว้เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมากเป็นหลายตันและสูญเสียรายได้หลายพันล้านบาทต่อปี ผลดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบต่อผู้ประกอบการโรงสีข้าวไทยเป็นอย่างมากและยังไม่มีวิธีการแก้ปัญหาที่ชัดเจนทำให้มอดและแมลงยังคงกัดกินข้าว รวมทั้งยังสามารถไข่ไว้ในเมล็ดข้าวเปลือกและปะปนอยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกจำนวนมาก ซึ่งหลังจากกระบวนการเก็บรักษาข้าวเปลือกแล้ว จะมี 2 กระบวนการต่อมา คือ (1) กระบวนการคัดเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกเพื่อการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ ในกระบวนการนี้ จำเป็นต้องมีเมล็ดพันธุ์ที่สมบูรณ์ ซึ่งการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์เป็นเวลานานมักเกิดความเสียหายจากการกัดกินของมอดและแมลงส่งผลต่ออัตราการงอกต่ำ ผลผลิตที่ได้จึงน้อยลง สร้างความเสียหายอีกเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้จำนวนผลผลิตต่อปีลดน้อยลงและรายได้ก็จะน้อยลงไปด้วย ซึ่งหากสามารถแก้ปัญหาต่อกระบวนการนี้จะสามารถเพิ่มผลผลิตที่มีคุณภาพที่สูงขึ้นอย่างมหาศาล สำหรับกระบวนการที่ (2) คือ กระบวนการนำข้าวเปลือกไปสีข้าวและการคัดคุณภาพข้าว กระบวนการนี้จะเป็นการนำข้าวเปลือกที่ถูกเก็บรักษาไว้แบบกองหรือในกระสอบมาสีข้าวให้เป็นข้าวสารก่อนที่จะแปรรูปข้าวสารเป็น 2 รูปแบบ คือ การบรรจุถุงเพื่อการจำหน่ายให้กับผู้บริโภคและการบรรจุไว้ในกระสอบข้าวเพื่อการเก็บรักษาและรอการส่งออกหรือจำหน่าย โดยจัดเก็บไว้ในโกดังเก็บข้าวสารขนาดใหญ่

ซึ่งอาจถูกจัดเก็บไว้ในถุงขนาด 1000 กิโลกรัม หรือ กระสอบขนาด 100 กิโลกรัม เป็นต้น ในกระบวนการนี้ผู้ประกอบการใช้วิธีการของกระบวนการคัดคุณภาพข้าว เพื่อการกำจัดมอดและแมลงตัวเต็มวัย โดยสามารถใช้เครื่องยิงสี สำหรับใช้ในการคัดเมล็ดข้าวที่มีคุณภาพและการคัดมอดและแมลงในข้าวออกด้วย แต่วิธีการนี้เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถคัดเฉพาะมอดข้าวตัวเต็มวัยออกได้เท่านั้น ซึ่งก็ยังไม่สามารถคัดออกได้ 100% สิ่งที่ยังคงเหลือข้าวไป นั่นคือ ไช้มอดที่อยู่ในเมล็ดข้าวสาร ซึ่งสามารถเกิดเป็นตัวมอดในภายหลังและกัดกินทำลายข้าวสารที่ทำการเก็บรักษาก่อนการส่งออกหรือในระหว่างส่งออกยังต่างประเทศหากเกิดมอดในข้าวสารก็จะทำให้ไม่สามารถส่งออกได้ เกิดความเสียหายเป็นจำนวนมากเป็นหลายล้านตันและสูญเสียรายได้หลายพันล้านบาทต่อปี ทำให้เกิดผลกระทบต่อในวงกว้างทั้งด้านเศรษฐกิจและความเชื่อมั่นของประเทศได้ ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาเรื่องการเกิดมอดในข้าวสาร ผู้ประกอบการใช้วิธีการรมควันด้วยสารเคมีเพื่อกำจัดมอด ซึ่งเป็นวิธีการควบคุมหลังจากการสีข้าวเป็นข้าวสารเรียบร้อยแล้ว และสารเคมีที่นิยมใช้มี 2 ชนิด คือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl Bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) ก่อนที่จะนำไปข้าวสู่กระบวนการบรรจุถุงและส่งออกขายยังตลาดในประเทศและต่างประเทศวิธีการนี้ผู้ประกอบการโรงสีข้าวทุกแห่งยังคงนำข้าวสารเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้



(ก)



(ข)



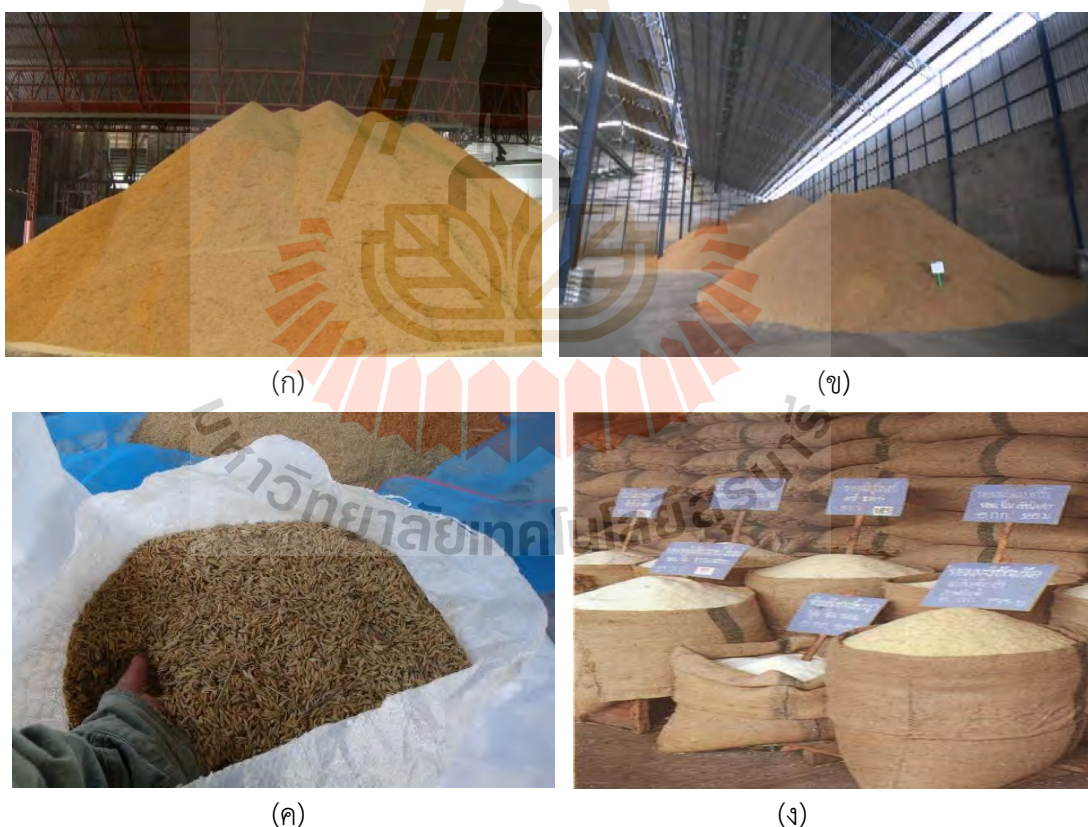
(ค)



(ง)

รูปที่ 1.1 การเก็บรักษาข้าวไว้ในโกดังและการกัดกินของมอดข้าว (ก) ข้าวในกระสอบขนาด 1 ตัน ที่เก็บไว้ในโกดัง (ข) ข้าวในกระสอบขนาด 100 กก. ที่เก็บไว้ในโกดัง (ค) ข้าวในกระสอบที่ถูกมอดข้าวกัดกินทำลาย (ง) มอดข้าว

ซึ่งในแต่ละปีผู้ประกอบการต้องมีรายจ่ายเพื่อการนำข้าวสารเคมีที่มีปริมาณการนำข้าวและเป็นมูลค่าโดยรวมทั้งประเทศมากกว่า 22,034 ล้านบาท/ปี อีกทั้งการใช้วิธีการนี้ยังพบผลกระทบที่ตามมาคือ ความกังวลของความเป็นพิษของสารเคมีต่อผู้ใช้และผู้บริโภค และการใช้สารเคมีแต่ละครั้งต้องมีพื้นที่สำหรับจัดเก็บเพื่อรมสารเคมีและใช้ระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์ในรมสารเคมี ทำให้เสียพื้นที่และเสียเวลาของกระบวนการอีก รวมถึงเมื่อมีการใช้สารเคมีที่มีความไม่แน่นอนของปริมาณในการใช้แต่ละครั้ง ซึ่งอาจทำให้เกิดการตกค้างของสารเคมีในข้าวสารก่อนการจำหน่ายและส่งออกได้ เป็นอันตรายต่อผู้ใช้และผู้บริโภค ซึ่งเป็นผลกระทบและอุปสรรคอย่างมากต่อการส่งออกข้าวไปต่างประเทศ อีกทั้งการใช้สารเคมียังเป็นตัวการทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศโลกและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประกอบกับปัจจุบันการใช้สารเคมี มีแนวโน้มยกเลิก เนื่องจากเหตุผล เช่น การต้านทานสารเคมีของมอดข้าว การตกค้างของสารเคมี และการใช้สารเคมียังไม่ได้แก้ปัญหาสำหรับมอดข้าวเปลือกที่เป็นต้นเหตุหลักในการเกิดมอดในข้าวจากการเก็บรักษาอีกด้วย



รูปที่ 1.2 การเก็บข้าวเปลือกและข้าวสารไว้ในโกดังและกระสอบข้าว (ก) ข้าวเปลือกที่เก็บไว้ในโกดัง (ข) ข้าวเปลือกที่เก็บไว้ในโกดัง (ค) ข้าวเปลือกที่เก็บไว้ในกระสอบ (ง) ข้าวสารที่เก็บไว้ในกระสอบ

ดังนั้นจากกระบวนการการผลิตข้าวหลังการเก็บเกี่ยวของอุตสาหกรรมข้าวไทยคณะผู้วิจัยได้
สังเกตเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ประกอบการธุรกิจเกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าวและเกษตรกรผู้ปลูกข้าวของ
ไทย คือ กระบวนการเก็บข้าวเปลือกและเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกในรูปแบบของข้าวเป็นกองหรือการบรรจุ
ถุงลงกระสอบและเก็บไว้ในโกดังขนาดใหญ่เป็นเวลานานทำให้เกิดการกักกินของมอดและแมลงในข้าว
ทำให้เกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก และกระบวนการหลังจากการสีข้าวของโรงสี มีการบรรจุถุงและ
ขายทันทีและการเก็บข้าวสารที่มีการบรรจุในถุงขนาด 1,000 กิโลกรัม และ กระสอบขนาด 100
กิโลกรัม ในโกดังขนาดใหญ่ แล้วใช้สารเคมีในการกำจัดมอดก่อนการส่งออก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาต่าง ๆ
มากมายดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้นนั้น คณะผู้วิจัย ได้ติดตามและแก้ปัญหาการกำจัดมอดและแมลง
ในข้าวโดยไม่ใช้สารเคมี ซึ่งยังคงคุณภาพข้าว 100% อย่างครบวงจรมาโดยตลอด โดยได้มีการ
ดำเนินการโครงการ ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดข้าวโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ มาแล้วเมื่อปี 2555
ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจาก สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (สวก). และได้ดำเนินการยื่นจด
สิทธิบัตรเลขที่ 1301004370 ซึ่งมีความคุ้มครองแล้ว ตั้งแต่วันที่ 6 สิงหาคม 2556 และเนื่องจาก
ภาคเอกชนผู้ประกอบการโรงสีข้าวหลายแห่ง แสดงเจตจำนงที่จะได้เครื่องกำจัดมอดข้าวขนาดใหญ่ที่
รองรับการทำงานได้ ไม่น้อยกว่า 10 ตัน/ชั่วโมง สำหรับโรงสีข้าวเพื่อการส่งออก จึงจำเป็นต้องทำการ
วิจัยเพื่อสร้างเครื่องขนาดใหญ่และทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดมอดในโรงสีข้าวขนาดใหญ่
และ สวก. ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย ภาคใต้โครงการ ออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็ก
ตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวสำหรับโรงสีข้าวขนาดใหญ่และขนาดชุมชน ประเภทโครงการ มุ่งเป้าเรื่องข้าว
2557 ซึ่งได้ออกแบบสร้างและติดตั้งใช้งานจริงแล้ว แต่เนื่องจากระบบดังกล่าวเมื่อทำการติดตั้ง
จะต้องตัดต่อระบบเดิมของโรงสี ซึ่งทำให้บางครั้งโรงสีต้องหยุดใช้งานเพื่อรอการติดตั้งให้แล้วเสร็จ จึง
จะสามารถทำงานต่อได้ ปัญหาดังกล่าวทำให้ระบบการกำจัดมอดข้าวยังไม่ได้ถูกใช้งานอย่างเต็มที่ใน
โรงสีข้าวของผู้ประกอบการ ซึ่งทีมผู้วิจัย ได้ดำเนินการสำรวจความพึงพอใจกับภาคเอกชน
ผู้ประกอบการโรงสีข้าวไทย พบว่าภาคเอกชนผู้ประกอบการโรงสีข้าวไทย และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย
เกี่ยวกับอุตสาหกรรมข้าว ต่างแสดงเจตจำนงที่จะได้เครื่องฆ่ามอดข้าวขนาดใหญ่ที่รองรับการทำงาน
ได้แบบพร้อมติดตั้งใช้งานจริง โดยไม่กระทบต่อระบบการผลิตของโรงสีข้าวเดิม นั่นคือสร้างระบบ
กำจัดมอดข้าวขนาดใหญ่ ที่สามารถนำข้าวข้าวไซโลที่ทำขึ้นใหม่ เพื่อป้อนข้าวเข้าสู่กระบวนการเพิ่ม
และปรับอุณหภูมิข้าวก่อนจะเข้าสู่การกำจัดมอดและแมลงขนาดไม่ต่ำกว่า 10 ตัน/ชั่วโมง และนำขึ้น
ไปเก็บไว้อีก 1 ไซโล ก่อนการบรรจุลงถุงเพื่อการเก็บรักษาหรือการส่งออกจำหน่าย อีกทั้งยังให้
คำแนะนำแสดงเจตจำนงที่จะได้ระบบการกำจัดมอดและแมลงในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแบบครบวงจร
ซึ่งประกอบไปด้วย ระบบการไล่มอดข้าวและแมลงในโกดังเก็บข้าวเปลือก โกดังเก็บข้าวสาร และโกดัง
เก็บเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก ที่มีขนาดใหญ่ เครื่องฆ่ามอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกแบบบรรจุกระสอบพร้อม
กระตุ่นการงอก เครื่องฆ่ามอดข้าวในกระสอบก่อนการส่งออกขายยังตลาดโลก ทั้งนี้เพื่อให้การควบคุม

และกำจัดแมลงในอุตสาหกรรมข้าวได้อย่างครบวงจรและสมบูรณ์แบบเพื่อไม่ต้องใช้สารเคมีอีกต่อไป ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลกของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืน รวมถึงความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของผู้บริโภคการประหยัดเวลาและสถานที่ในการควบคุมอดแมลงอีกด้วย

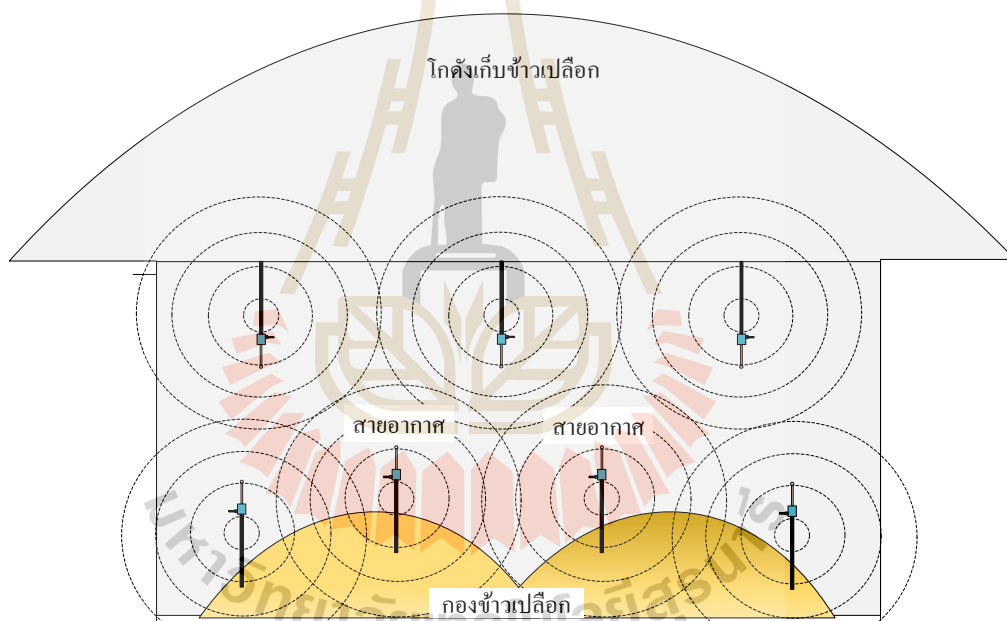


รูปที่ 1.3 การรมควันด้วยสารเคมีเพื่อฆ่ามอดข้าว

ดังนั้นคณะทีมผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดรวมกันจากการระดมความคิดในภาคเอกชน ผู้ประกอบการโรงสีข้าวของไทยและทีมผู้วิจัย จะร่วมพัฒนาต่อยอดระบบดังกล่าวเพื่อให้เทคโนโลยี การกำจัดมอดและแมลงในข้าวโดยไม่ใช้สารเคมีแบบครบวงจรสามารถเกิดขึ้นจริงและสามารถใช้งานได้จริงทั้งระบบ ซึ่งผลจากการระดมความคิดร่วมกันจึงสามารถสรุปได้ว่า คณะทีมผู้วิจัยจะพัฒนาและวิจัยภายใต้โครงการที่เรียกว่า การออกแบบสร้างเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือก หลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจรโดยไม่ใช้สารเคมี นั่นคือ

1. จากกระบวนการรับซื้อข้าวจากเกษตรกร ซึ่งจะมีกระบวนการนำข้าวเปลือกไปเก็บรักษา ซึ่งอาจเก็บไว้เป็นกองข้าวขนาดใหญ่ หรือเก็บไว้ในโกดังในลักษณะการบรรจุไว้ในกระสอบข้าว เพื่อเก็บรักษาสำหรับรอข้าวกระบวนการสีข้าวนั้น คณะทีมวิจัยจะทำการ “ออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่” ในการควบคุมมอดและแมลงโดยไม่ใช้สารเคมี โดยระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่ นั้น (1.1) จะใช้หลักการปล่อยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนในกองข้าว ที่คลื่นความถี่ที่เหมาะสมกับแมลงเท่านั้น ซึ่งทำให้มอดและแมลงเกิดความความรำคาญและไม่สามารถอยู่ในกองข้าวได้และหนีไปและระบบกำจัดมอดและแมลงในโกดังเก็บข้าวขนาดใหญ่ นั้น (1.2) จะใช้หลักการปล่อยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าโดยมีตัวปล่อยคลื่นสำหรับปล่อยกำลังงานและติดตั้งในโกดังเก็บข้าวเปลือกให้ครอบคลุมพื้นที่ในการจัดเก็บทั้งหมด เพื่อการควบคุมไม่ให้เกิดมอดและแมลงได้ วิธีการนี้จะสามารถทำให้ข้าวเปลือกที่เก็บไว้เป็นเวลานานไม่เกิดความเสียหาย และยังสามารถเก็บเมล็ดข้าวเปลือกได้เป็นเวลานานอีกด้วย

โดยสามารถประยุกต์เก็บได้ทั้งกองข้าวเปลือก ข้าวเปลือกที่เก็บในกระสอบ เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก ข้าวสารที่บรรจุในกระสอบขนาดใหญ่ที่ถูกเก็บไว้ในโกดังขนาดใหญ่ทั้งหมด การจัดวางระบบโครงสร้างของสายอากาศในการแพร่คลื่นสัญญาณภายในโกดังเก็บข้าวเปลือกขนาดใหญ่ ใช้เป็นรูปแบบของการวางสายอากาศให้กระจายไปทั่วโกดังเก็บข้าวเปลือก โดยสายอากาศทั้งหมดจะถูกแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ติดตั้งอยู่กับเพดานของโกดังและส่วนที่ติดตั้งไว้ที่กองข้าวเปลือก ดังแสดงในรูปที่ 1.4 เพื่อให้สามารถไล่มอดและแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดอนส่วนที่ติดตั้งไว้บนเพดานของโกดังจะแพร่คลื่นเพื่อไล่แมลงที่อยู่ภายในอากาศ เมื่อแมลงได้รับพลังงานจากการแพร่คลื่นทำให้ตัวของแมลงมีการสะสมความร้อน และในส่วนของสายอากาศที่ติดตั้งไว้ที่กองข้าวเปลือกจะแพร่คลื่นเข้าไปในกองข้าวเปลือกและอากาศที่อยู่ในโกดัง ทำให้มอดและแมลงที่อยู่ภายในกองข้าวเปลือกและอากาศพลังงานจากการแพร่คลื่นและทำให้เกิดความร้อนสะสมเช่นเดียวกับการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนเพดานของโกดัง



รูปที่ 1.4 การติดตั้งเสาอากาศของเครื่องไล่มอดและแมลงภายในโกดังเก็บข้าวเปลือก

2. หลังกระบวนการสีข้าวและการคัดคุณภาพข้าว มีการแปรรูปข้าวสารเป็น 2 รูปแบบ คือ การบรรจุถุงเพื่อการจำหน่ายเลย และการบรรจุไว้ในกระสอบข้าวเพื่อการเก็บรักษาและรอการจำหน่ายหรือส่งออก โดยจัดเก็บไว้ในโกดังเก็บข้าวสารขนาดใหญ่ ซึ่งอาจถูกจัดเก็บไว้ในถุงขนาด 1000 กิโลกรัม หรือ กระสอบขนาด 100 กิโลกรัม ในส่วนของกระบวนการนี้ ซึ่งมีโอกาสของการเกิดมอดและแมลงในภายหลังได้เป็นอย่างมาก คณะที่วิจัยจึงจะทำการ “ออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วด้วยคลื่นความถี่วิทยุ” ซึ่งก่อนการบรรจุถุงทั้ง 2

รูปแบบ ต้องนำข้าวสารมาข้าวระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารก่อน [2.1] โดยที่ระบบเดิมของโรงสีข้าว ข้าวสารที่ผ่านการสี ผ่านการขัดขาวข้าว ผ่านเครื่องยิงสี และข้าวบรรจุถุงรอกการจำหน่ายในระบบใหม่ที่คณะที่มิวิจัยจะทำการออกแบบระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารจะประกอบไปด้วย (1) ไซโลเก็บข้าวสารก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลง (2) ระบบปรับและควบคุมอุณหภูมิด้วยการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (3) ระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก และ (4) ไซโลเก็บข้าวสารหลังข้าวเครื่องกำจัดและแมลง ซึ่งระบบปรับและควบคุมอุณหภูมิความร้อนก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงจะใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นระบบให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อปรับอุณหภูมิความร้อนของข้าวสารก่อนนำข้าวสารข้าวระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบและช่วยการประหยัดพลังงานได้อย่างมาก สำหรับระบบการกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก เพื่อกำจัดมอดข้าวโดยใช้แผ่นเพลตแบบขนานให้ข้าวไหลผ่านแบบควิวิตี (Cavity) และสุดท้ายเก็บข้าวไซโลหลังข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงแบบไดอิเล็กทริก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการตายของมอดและแมลงในข้าว (เป็นการอบมอดและแมลงในข้าวด้วยความร้อน) ก่อนการบรรจุถุงเพื่อขายและเก็บรักษาต่อไป โดยระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วแบบแผ่นเพลตขนานให้ข้าวไหลผ่าน จะมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 ตัน/ชั่วโมง วิธีการนี้จะสามารถทำให้ข้าวสารที่ส่งออกจำหน่ายมีความปลอดภัย เนื่องจากไม่ใช้สารเคมี และสามารถเก็บไว้เป็นเวลานานไม่เกิดความเสียหาย ก่อนที่จะส่งต่อไปยังกระบวนการเก็บรักษาเพื่อรอกการจำหน่ายต่อไป ซึ่งกระบวนการเก็บรักษาข้าวที่ถูกบรรจุไว้ในถุงขนาด 1000 กิโลกรัม หรือ กระสอบขนาด 100 กิโลกรัม เพื่อรอกการจำหน่ายและส่งออกนั้น สามารถนำไปเก็บในระบบที่ [1.1] ซึ่งเป็นโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ โดยสามารถนำข้าวสารไปเก็บในโรงเก็บนั้นๆ ได้ เพื่อป้องกันการข้าวมากัดกินของมอดและแมลงได้อีก

3. หลังจาก กระบวนการเก็บรักษาเพื่อรอกการจำหน่ายและส่งออก ซึ่งกระบวนการเก็บรักษาข้าวที่ถูกบรรจุไว้ในถุงขนาด 1000 กิโลกรัม หรือ กระสอบขนาด 100 กิโลกรัม นั้น คณะที่มิวิจัยจึงจะทำการ “ออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวคือระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าว” โดยระบบกำจัดนี้จะเป็นโรงกำจัดที่ออกแบบและสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกระสอบอีกครั้งก่อนการส่งออก ซึ่งทำการออกแบบโดยใช้หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับกำจัดมอดข้าวโดยใช้แผ่นเพลตขนาดใหญ่ และมีระบบสายพานลำเลียง โดยมีระบบปรับและควบคุมอุณหภูมิความร้อนก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงซึ่งใช้หลักการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เป็นระบบให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อปรับอุณหภูมิความร้อนของข้าวสาร ก่อนนำข้าวสารที่บรรจุในกระสอบจะข้าวระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบและช่วยการประหยัดพลังงานได้อย่างมาก ซึ่งสามารถกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารบรรจุกระสอบ ขนาด 100 กิโลกรัม ก่อนการ

จำหน่ายและส่งออกข้าว วิธีการนี้จะสามารถทำให้ข้าวสารที่บรรจุกระสอบและส่งออกจำหน่ายมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไม่ใช้สารเคมี และสามารถเก็บไว้เป็นเวลานานไม่เกิดความเสียหาย

4. และอีกกระบวนการหนึ่งหลังจากกระบวนการการเก็บรักษาข้าวที่เป็นลักษณะของกองข้าวเปลือก ข้าวเปลือกบรรจุกระสอบ และเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกบรรจุกระสอบ ในโกดังขนาดใหญ่ เพื่อเก็บรักษาสำหรับรอข้าวกระบวนการสีข้าวในกระบวนการที่ 1 นั้น ในส่วนของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกบรรจุกระสอบ คณะที่วิจัยจะทำการ “ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอกโดยไม่ใช้สารเคมี” โดยใช้วิธีการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับฆ่ามอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน และออกแบบตัวปล่อยคลื่นที่มีขนาดใหญ่เหมาะสมกับการใช้งานกับข้าวปลูกที่บรรจุภัณฑ์ในถุงกระสอบขนาดประมาณ 50 กิโลกรัม มาตรฐาน สำหรับเก็บรักษาและเตรียมการจำหน่ายให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานในอุตสาหกรรมการเพาะปลูกข้าวไทยได้อย่างยั่งยืน

จากการออกแบบสร้างเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยว และข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมส่งออกแบบครบวงจรนั้น จะมีโครงสร้างของระบบต่างๆ เพื่อให้ระบบการควบคุมแมลงในข้าวได้อย่างสมบูรณ์แบบประกอบด้วย (1) ออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าว (3) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่เก็บบรรจุกระสอบ และ (4) ออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก โดยไม่ใช้สารเคมี ทั้ง 4 ระบบนี้เป็นระบบขนาดใหญ่เพื่ออุตสาหกรรมส่งออกข้าวและเก็บรักษาในอุตสาหกรรมข้าวไทยและเมื่อระบบถูกออกแบบและสร้างจนเสร็จสมบูรณ์ และเป็นการกำจัดมอดที่ครบวงจรแล้ว จะเป็นประโยชน์ต่อประเทศอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องนำข้าวสารเคมีที่มีมูลค่ากว่า 2000 ล้านบาท/ปี และไม่มี ความกังวลต่อผู้ใช้และผู้บริโภค อีกทั้งยังสามารถใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลกของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจรที่ประกอบโครงสร้างของระบบดังนี้ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน โดยทั้ง 4 ระบบนี้ จะไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหายทุกขั้นตอน และเป็นการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการ

ฆ่ามอดข้าวและไข่มอดในปัจจุบัน พร้อมทั้งติดตั้งทดสอบการทำงานของเครื่องที่สร้างได้ในโรงสีข้าว สำหรับประเมินติดตามผลและหาความสัมพันธ์ที่เป็นเงื่อนไขการทำงานจากระบบทั้ง 4 ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงานและใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจรโดยไม่ใช้สารเคมี และยังได้รูปแบบระบบและเทคนิคการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก การเหี่ยวน้ำ และการส่งผ่านคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่สามารถนำไปฆ่ามอดข้าวและไข่มอด ไล่แมลง และกระตุ้นการงอกในอุตสาหกรรมข้าวไทยได้ โดยที่ข้าวยังคงคุณภาพที่ดีเมื่อผ่านกระบวนการทำงานของระบบ ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้าวทั้งระบบ ซึ่งทำให้มีผลกระทบทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมในประเทศเป็นอย่างมาก เพราะสามารถทำให้มีความเชื่อถือถึงความปลอดภัยของข้าวไทย สามารถยกระดับข้าวไทยได้ ซึ่งเมื่อสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวโดยไม่ใช้สารเคมีแบบครบวงจรที่มีประสิทธิภาพสูงที่เป็นไปตามเป้าหมายแล้ว โดยผู้ที่ได้ประโยชน์คือ อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับข้าว โรงสีข้าว การเก็บรักษาข้าว การส่งออกข้าว การเพาะปลูกข้าวด้วยหลักการกระตุ้น ซึ่งสามารถที่จะนำไปกำจัดมอดและแมลงในข้าวโดยที่ข้าวยังคงคุณภาพที่ดีอยู่ สามารถลดต้นทุนในการนำข้าวสารเคมีในการฆ่ามอดข้าวได้ ส่วนประโยชน์ที่ภาคเกษตรและเศรษฐกิจส่วนรวมจะได้รับคือสามารถนำไปกำจัดมอดและแมลงในข้าว การกระตุ้นการงอกได้อย่างสะดวก ใช้งานง่าย ปลอดภัย และมีประสิทธิภาพ ส่วนประโยชน์ระยะยาวสามารถนำมาแทนการกำจัดมอดข้าวและแมลงในข้าวได้ทั้งระบบ สามารถควบคุมได้อย่างถาวรทดแทนการใช้งานแบบปัจจุบันที่ต้องใช้สารเคมี ที่ต้องมีการนำข้าวจากต่างประเทศ ต้องมีพื้นที่รมสารเคมีและใช้ระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์ในการรมสารเคมีรวมถึง ความไม่แน่นอนของปริมาณในการใช้และการตกค้างของสารเคมีในข้าวซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการส่งออกข้าวไปต่างประเทศด้วยและมีค่าใช้จ่ายสูง มีการนำข้าวต่อปีมากกว่า 2,000 ล้านบาท อีกทั้งสารเคมีเหล่านี้ยังเป็นอันตรายต่อผู้ใช้และผู้บริโภคและบรรยากาศของโลกอีกด้วย นอกจากนี้ยังสามารถนำระบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้งานกับศัตรูพืชอื่นๆ เช่น วัชพืชหรือผลไม้ เพื่อการลดความขึ้นการอบแห้งหรือฆ่าเชื้อรา เป็นต้น โดยการปรับเปลี่ยนความถี่ให้มีความเหมาะสมกับไดอิเล็กตริกในแต่ละชนิดของพืชหรือผลไม้และยังทำให้ได้เทคโนโลยีใหม่ในการฆ่ามอดข้าว ไข่มอดและแมลงในข้าว พร้อมการกระตุ้นการงอกที่ประหยัด ใช้งานได้ง่าย สะดวกเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

บทที่ 2

ทฤษฎีและปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแบบครบวงจรโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลกของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืนนั้นจากระบบดังที่กล่าวมาข้างต้นโดยสรุป คือ (1) ออกแบบระบบไล่และกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือก (2) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ่นการงอก (3) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าว และ (4) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่เก็บบรรจุกระสอบ ทั้ง 4 ระบบนี้ได้ใช้หลักการออกแบบและสร้างเครื่องโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ส่วนการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการกำจัดมอดและแมลงในข้าวเป็นอย่างมาก โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ จึงได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูล ที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่ง ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึง ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก รูปแบบแหล่งจ่ายกำลังงานและลักษณะการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกซึ่งได้รวบรวมข้อมูลที่ได้ มาวิเคราะห์และออกแบบลักษณะการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสมและให้มีประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด โดยผลที่ได้จากการศึกษาข้อมูลมีดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัย ตลอดจนข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อที่จะนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ จึงได้ศึกษาผลงานวิจัย ที่ผ่านมาโดยอาศัยฐานข้อมูลต่าง ๆ โดยฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนั้นเป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียง

และได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และฐานข้อมูล IEICE รวมทั้งได้ทำการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ผลการสืบค้นที่ได้ จะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับมอดและแมลงในข้าว

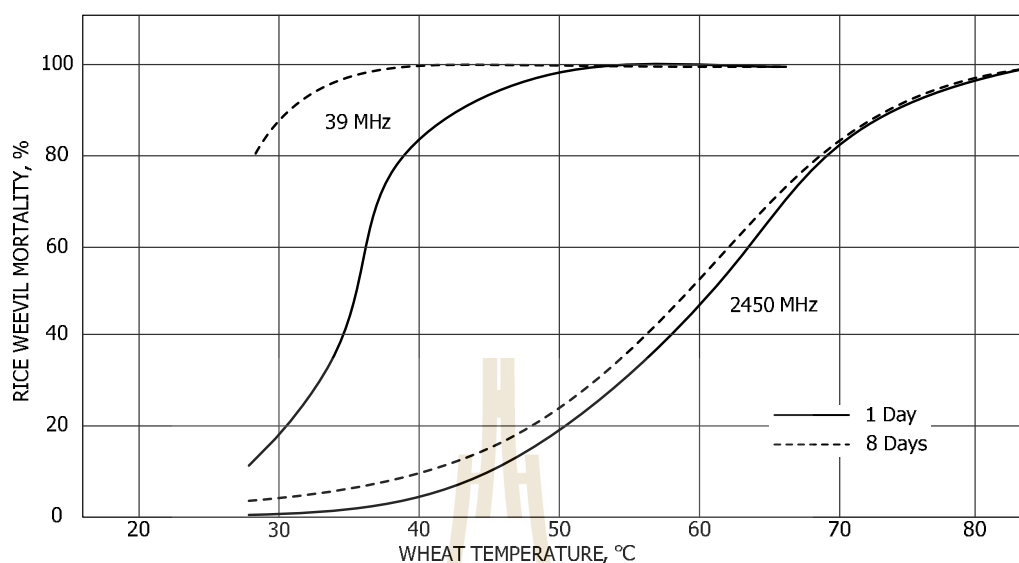
โดยในงานวิจัยระบบการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กทริกที่ผ่านมาได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการถนอมอาหาร ผลไม้ ชำมอดหรือแมลงที่อยู่ภายในพืชผลทางการเกษตร รวมถึงการบำบัดรักษาโรคมะเร็ง โดยเฉพาะการควบคุมและกำจัดแมลงศัตรูพืชในผลไม้ และการควบคุมศัตรูพืชในเมล็ดพืช และจากเอกสารอ้างอิง ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพการตอบสนองของคลื่นความถี่แต่ละย่านต่อวัสดุไดอิเล็กทริกและแมลงชนิดต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้งานคลื่นความถี่วิทยุที่ 39 MHz และ 2450 MHz ในการชำมอดข้าวดังแสดงใน Error! Reference source not found. ตาราง 2.1 ถึงตาราง 2.2 ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้เป็นแนวทางในการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ตาราง 2.1 ประสิทธิภาพการตอบสนองของคลื่นความถี่แต่ละย่านต่อวัสดุไดอิเล็กทริกและแมลงชนิดต่าง ๆ

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

ตาราง 2.2 การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกย่านความถี่วิทยุและย่านความถี่ไมโครเวฟกับ
มอดข้าวสาสีจันมีอัตราการตายที่ 99-100%

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



รูปที่ 2.1 การใช้ความถี่ 39 และ 2450 MHz เปรียบเทียบกับอุณหภูมิข้าวสาลี
ต่อการตายของมอดข้าว

จากตาราง 2.1 จะเป็นการพิจารณาในเรื่องของความถี่ที่เหมาะสมกับวัสดุไดอิเล็กตริกแต่ละชนิด โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดอิเล็กตริกกับตัวแมลงที่ความถี่ต่าง ๆ และตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.1 จะเป็นการทดสอบกับมอดข้าวและมอดยุง ในข้าวสาลี จะเห็นว่าที่ความถี่ 39 MHz ในตัวเต็มวัยของทั้งมอดข้าวและมอดยุงจะตายที่ 99-100% โดยที่อุณหภูมิในข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟ 2,450 MHz มอดข้าวและมอดยุงก็ตายแต่อุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้ข้าวสาลีเสียหายจากความร้อนได้

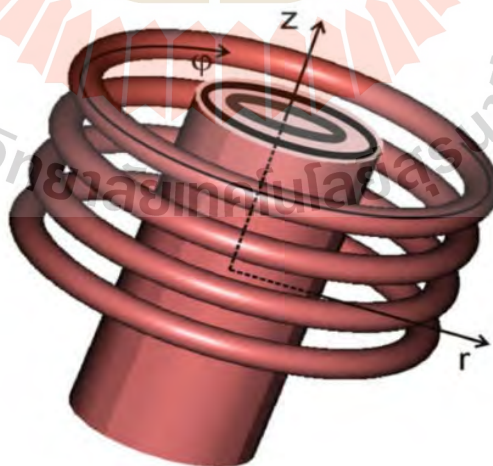
เมื่อพิจารณารูปเปรียบเทียบการใช้ความถี่กับอุณหภูมิข้าวสาลีต่อการตายของมอดข้าวในรูปที่ 2.3 แล้วพบว่าที่ความถี่ 39 MHz มอดข้าวมีอัตราการตายอยู่ที่ 80% โดยอุณหภูมิของข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 40 องศาเซลเซียส แต่ถ้าปล่อยให้มอดตาย 100% โดยไม่ต้องรอถึง 8 วัน อุณหภูมิของข้าวจะอยู่ที่ประมาณ 50 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความถี่ 2,450 MHz อุณหภูมิของข้าวจะสูงมากกว่า 80 องศาเซลเซียส จึงจะทำให้มอดตาย 100% และจากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิของข้าวมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะทำให้ข้าวเกิดความเสียหายได้ นอกจากนี้ด้วยหลักการเดียวกันได้มีการศึกษาการประยุกต์ใช้คลื่นความถี่วิทยุและไมโครเวฟในการควบคุมศัตรูพืช ได้แก่ มอดแป้งสีแดง ตัวงฟันเลื่อย และหนอนเจาะเมล็ด โดยใช้ความถี่ต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและปัจจัยการสูญเสียของแมลง ซึ่งเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดแมลงด้วยไมโครเวฟและคลื่นความถี่

วิทยุด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะทำการออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงการในการกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืช สำหรับการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมของประเทศไทย อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการเกษตรอื่น ๆ ต่อไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับอุณหภูมิ

ในการศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกข้าวด้วยแหล่ง พลังงานความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของการออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อนและส่วนของการออกแบบระบบในห้องข้าวสาร

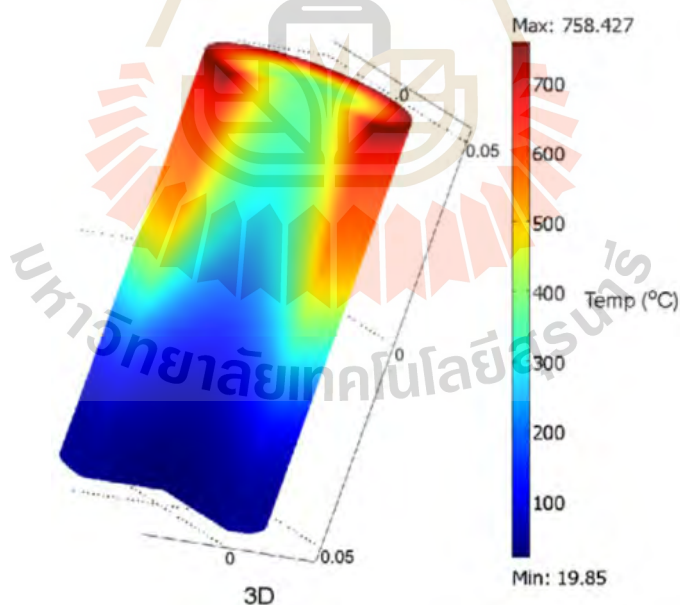
เริ่มจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเหล็กตันทรงกระบอก ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Matej Kranjc และคณะ ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของการเกิดความร้อนที่ตัวเหล็กตันทรงกระบอก ส่งผลมาจากการเหนี่ยวนำกระแสของขดลวดที่พันอยู่รอบๆ ดังรูปที่ 2.2 โดยในการทดลองได้ใช้เหล็กตันทรงกระบอกที่ไม่มีความเป็นแม่เหล็ก (non-ferromagnetic) ที่มีขนาดความยาว 250 มิลลิเมตรตามแนวแกน z และรัศมี 50 มิลลิเมตรตามแนวแกน r เป็นชิ้นงานสำหรับทดลองเหนี่ยวนำความร้อน และใช้ขดลวดพันรอบแท่งเหล็กตันจำนวน 4 รอบตามทิศทางของมุม φ จึงทำการป้อนความถี่ทดสอบที่ 101 kHz ให้กับขดลวดเป็นระยะเวลา 55 วินาที



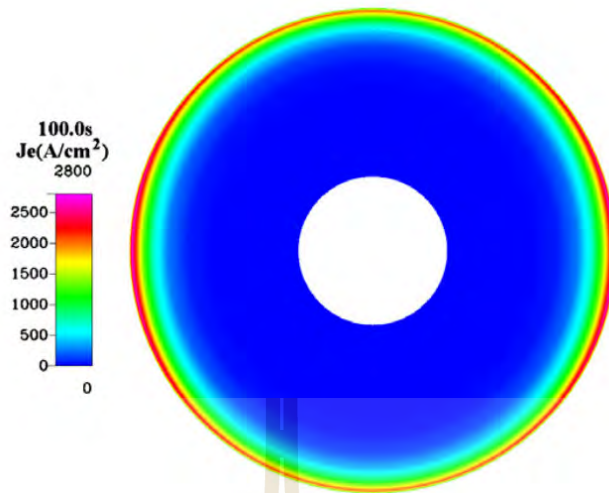
รูปที่ 2.2 การเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเหล็กตันทรงกระบอก

จากผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำในตำแหน่งต่างๆ บนตัวชิ้นงานเป็นดังรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าบริเวณใกล้ๆ ผิวจะมีอุณหภูมิที่สูงประมาณ 700 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณที่ลึกลงไปในผิวที่มีอุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส เป็นผลมาจากความสามารถในการทะลุผ่านของสนามแม่เหล็กในตัวชิ้นงาน ที่ความถี่สูงจะทำให้ความสามารถในการทะลุผ่านน้อยลง จึงทำให้เกิดกระแสไหลวนที่บริเวณผิวมากกว่าที่ลึกลงไปในผิว เป็นผลให้อุณหภูมิที่บริเวณผิวมีค่าสูงกว่าที่ลึกลงไปในผิวอย่างเห็นได้ชัดเจน และเนื่องจากการทดลองนี้ได้พันขดลวดเฉพาะในช่วงบนจึงทำให้ช่วงล่างของแท่งเหล็กมีอุณหภูมิต่ำตามไปด้วย จึงเป็นการยืนยันว่าการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสามารถควบคุมให้เกิดความร้อนในตำแหน่งต่างๆบนชิ้นงานได้

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับเหล็กกลวงทรงกระบอก ซึ่งเป็นงานวิจัยของ Jiin-Yuh Jang และคณะได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของการเกิดความร้อนที่ตัวเหล็กกลวงทรงกระบอก โดยทำการเหนี่ยวนำตัวชิ้นงานเป็นระยะเวลา 100 วินาที ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำในตำแหน่งต่างๆ บนตัวชิ้นงานเป็นดังรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าบริเวณใกล้ๆ ผิวมีความหนาแน่นกระแสสูงกว่าบริเวณที่ลึกลงไปในผิวซึ่งแทบจะไม่มีมีความหนาแน่นกระแสเหลืออยู่เลยหรือเกือบเป็นศูนย์นั่นเอง



รูปที่ 2.3 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนบนตัวชิ้นงาน



รูปที่ 2.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนบนตัวเหล็กกลางทรงกระบอก

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลสนับสนุน ในเรื่องของการเลือกชิ้นงานที่ใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อน เนื่องจากส่วนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในห้องข่าวสารมีความต้องการพื้นผิวที่ร้อนในการสัมผัสกับอากาศเพื่อทำการถ่ายโอนความร้อนมาที่ข่าวสาร และวงจรเหนี่ยวนำความร้อนยังต้องใช้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวของชิ้นงานเพื่อตอบสนองต่อความเร็วของอากาศให้เพียงพอ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เหล็กกลางทรงกระบอกที่มีผิวบางแทนที่ใช้เหล็กตัน สำหรับเป็นตัวถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน โดยให้ความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณผิวบางๆ เพื่อให้ความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำถ่ายโอนให้กับอากาศผ่านพื้นที่ผิวด้านใน ซึ่งเป็นลักษณะการถ่ายโอนความร้อนผ่านท่อให้ได้มากที่สุด วิธีนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนข่าวสู่แกนกลางเหล็กแล้วทำให้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานลดลง

เนื่องจากการออกแบบสร้างเครื่องปรับควบคุมอุณหภูมิข่าวก่อนข่าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข่าวเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกข่าวด้วยแหล่ง พลังงานความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ในระดับอุตสาหกรรมนั้นจะมีขนาดใหญ่ทำให้มีความต้องการในเรื่องของแหล่งพลังงานที่มากตามไปด้วย ทำให้การออกแบบในส่วนของวงจรเหนี่ยวนำความร้อนนั้นต้องใช้ชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่มากกว่าหนึ่งชุด จากงานวิจัยของ Ha Pham Ngoc และคณะ ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่มีมากกว่าหนึ่งชุดอยู่ใกล้ๆ กันจะมีผลกระทบเรื่องการซ้อนทับของเฟสข่าวมาเกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดไปที่โหลดเหนี่ยวนำ โดยเขาได้แสดงให้เห็นว่าเราสามารถควบคุมเฟสของความถี่เอาต์พุตที่ตัวขดลวดเหนี่ยวนำให้ตรงกันได้โดยใช้ระบบแบบป้อนกลับที่มีการตรวจสอบเฟสผ่านตัวควบคุม (FPGA) ที่ต้องเป็นตัวเดียวกันทั้งระบบ งานวิจัยนี้จึงเป็นเหตุผลสนับสนุนในการออกแบบในส่วนของวงจรเหนี่ยวนำความร้อนหลายชุดที่ทำงานใกล้ๆ กัน

ซึ่งจำเป็นต้องใช้ในการออกแบบระบบในระดับอุตสาหกรรมที่ต้องการวงจรเหนี่ยวนำความร้อนหลายชุด

ในข้างต้นได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบในส่วนเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ที่ใช้วงจรเหนี่ยวนำความร้อนเป็นแหล่งพลังงาน ต่อไปผู้วิจัยจะกล่าวถึงในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบในห้องข้าวสาร ในการออกแบบสร้างเครื่องปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวเพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกข้าวด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ซึ่งในส่วนของวงจรเป็นแบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำให้โลหะให้เกิดเป็นความร้อนและโลหะที่เป็นความร้อนนี้จะเป็นตัวอุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนไปที่ข้าวสาร โดยที่ข้าวสารจะไหลลงมาในช่องของโลหะรูปทรงกระบอกที่เกิดความร้อนเรียกว่าในห้องข้าวสารทำให้ข้าวได้รับความร้อนเท่ากันทุกเมล็ดและสม่ำเสมอโดยแสดงรูปความร้อนของโลหะรูปทรงกระบอกจากการออกแบบและทดสอบจริง

2.1.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องเกี่ยวกับการกระตุ้นการงอก

จากปัญหาของการข้าวทำลายเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกจากมอดหรือแมลงต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาหลักแล้ว สิ่งสำคัญอีกอย่างสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกนั้นคือ การคำนึงถึงอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกนั่นเอง ดังนั้นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการกระตุ้นการงอกจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะได้สืบค้นตามลำดับต่อไปนี้ โดยเริ่มจาก ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ (seed vigor) คุณภาพทางสรีรวิทยาของเมล็ดพันธุ์จำแนกได้ 2 ลักษณะคือ ความมีชีวิต (viability) และความแข็งแรง (vigor) ความมีชีวิตเป็นคุณภาพที่แสดงออกในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการงอก ได้แก่ การทดสอบความงอกมาตรฐาน (standard germination) เป็นการทดสอบเมล็ดพันธุ์ในสภาพที่มีปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการงอกอย่างครบถ้วนและเหมาะสมมากที่สุด (optimum) สำหรับความแข็งแรงเป็นคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่แสดงออกในสภาพแวดล้อมแปลงปลูกที่ไม่เหมาะสม การแสดงคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ในด้านความงอกจึงไม่สามารถบอกได้ว่าเมล็ดพันธุ์นั้นสามารถให้ต้นกล้าที่ตั้งตัวได้ดีในแปลงปลูกโดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์จึงเป็นอีกคุณลักษณะหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพื่อการเพาะปลูกในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการงอกและการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นการทดสอบความแข็งแรงจึงถูกนำมาใช้เป็นวิธีการวัดหรือคาดคะเนคุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดพันธุ์ เพื่อใช้ประเมินความสามารถของเมล็ดพันธุ์ที่งอกในแปลงปลูก และความสามารถในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ (seed storability) เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงเมื่อนำไปปลูกในสภาพที่แปรปรวนจะมีความงอกในแปลงปลูกสูง สามารถงอกได้เร็ว งอกสม่ำเสมอ ได้ต้นกล้าที่สมบูรณ์ เติบโตเร็ว ส่งผลให้ต้นอ่อนทนทานต่อสภาพแวดล้อม โรค แมลง และให้ผลผลิตสูง นอกจากนี้เมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูงจะสามารถเก็บ

รักษาได้นาน (รัชชัย ทีฆขุนทดเกียรติ, 2554; AOSA, 1983; ISTA, 1995) วิธีการทดสอบความแข็งแรง เมล็ดพันธุ์ปรากฏเพียงคำแนะนำที่เฉพาะเจาะจงสำหรับเมล็ดพันธุ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยยึดถือตามคู่มือการทดสอบความแข็งแรงของสมาคมผู้ทดสอบเมล็ดพันธุ์ (Association of Official Seed Analyst) AOSA, 1983) และสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association) (ISTA, 1995) วิธีการทดสอบความแข็งแรงเมล็ดพันธุ์ปรากฏเพียงคำแนะนำที่เฉพาะเจาะจงสำหรับเมล็ดพันธุ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น โดยยึดถือตามคู่มือการทดสอบความแข็งแรงของสมาคมผู้ทดสอบเมล็ดพันธุ์ (Association of Official Seed Analyst) AOSA, 1983) และสมาคมทดสอบเมล็ดพันธุ์นานาชาติ (International Seed Testing Association) (ISTA, 1995)

AOSA (1983) ได้แบ่งประเภทของวิธีการทดสอบความแข็งแรง 3 กลุ่มใหญ่ ดังนี้

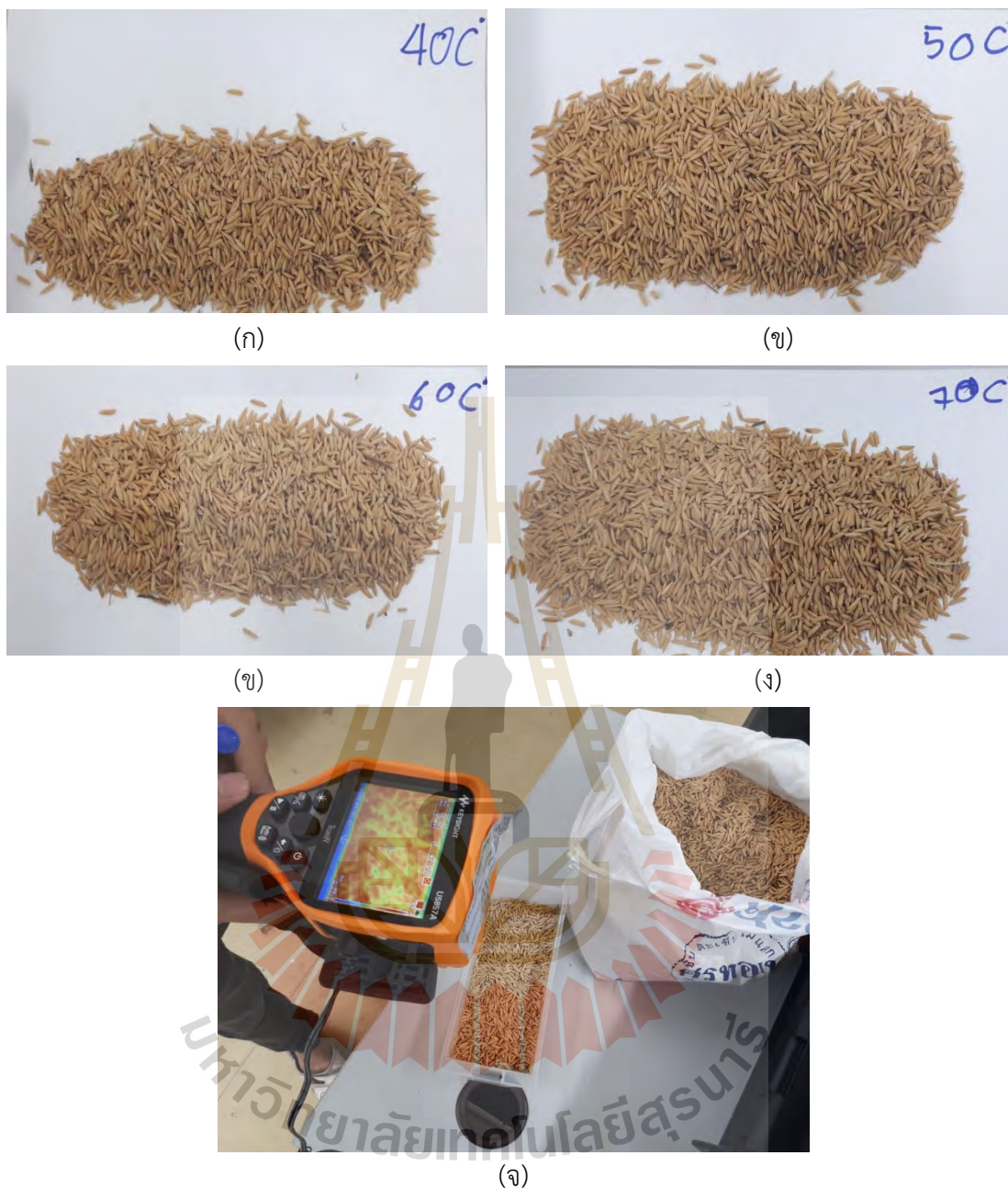
1. การทดสอบทางชีวเคมี (biochemical test) เป็นวิธีการทดสอบความแข็งแรง โดยอาศัยลักษณะทางชีวเคมีที่มีความสัมพันธ์กับความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ เมล็ดพันธุ์ที่แข็งแรงต้องมีกระบวนการทางชีวเคมีที่ทำงานได้ดี การทดสอบโดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ใช้เวลาน้อย ง่าย รวดเร็ว แต่มีข้อจำกัดคือ ต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน และเครื่องมืออุปกรณ์ที่เฉพาะ ตัวอย่างของวิธีนี้ เช่น การทดสอบความแข็งแรงด้วยวิธีเตตราโซเลียม (tetrazolium test; TZ test) การทดสอบการนำไฟฟ้า (electrical conductivity test; EC test) การวัดการหายใจของเมล็ดพันธุ์ (respiration)

2. การทดสอบในสภาพเครียด (stress test) เมล็ดพันธุ์ที่งอกได้ดีในสภาพแปลงปลูกที่ไม่เหมาะสม หรือเก็บรักษาได้นาน ถือว่าเป็นเมล็ดพันธุ์ที่มีความแข็งแรงสูง สภาพที่ไม่เหมาะสมหรือสภาพเครียดในแปลงปลูก ที่เมล็ดพันธุ์มักจะได้รับในขณะที่เมล็ดพันธุ์กำลังงอก เช่น น้ำท่วมขัง ฝนแล้ง อุณหภูมิสูง อุณหภูมิต่ำ ความแน่นของหน้าดิน สภาพเครียดในขณะที่เก็บรักษา ได้แก่ อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์สูง ฉะนั้นการทดสอบเมล็ดพันธุ์ในสภาวะเครียด จึงเป็นการทดสอบความแข็งแรงของเมล็ดพันธุ์ที่วิธีหนึ่ง ตัวอย่างของวิธีนี้ เช่น วิธีเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ (accelerated aging test; AA test) การทดสอบในสภาพอากาศเย็น (cool germination test) และการทดสอบในสภาพอากาศหนาว (cold test)

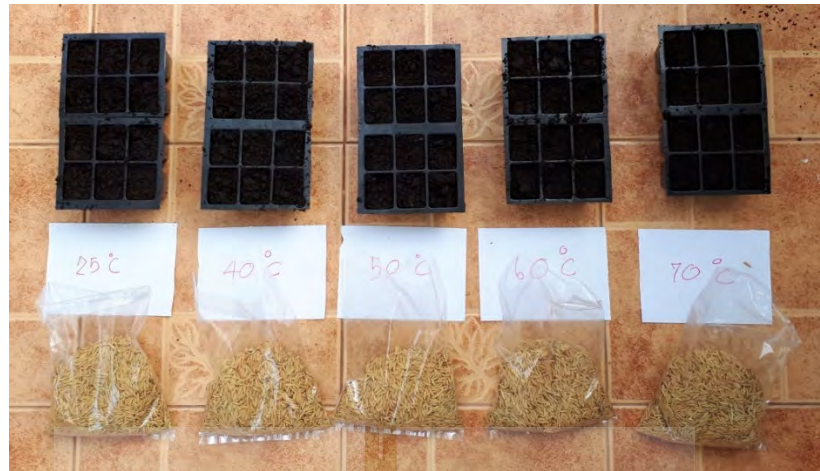
3. การทดสอบการเจริญเติบโต และการประเมินต้นอ่อน (seedling growth and evaluation test) เป็นวิธีที่ต้องมีการเพาะให้เมล็ดงอกก่อน แล้วนำต้นอ่อนมาวัดการเจริญเติบโตหรือประเมินความแข็งแรงในลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ตัวอย่างของวิธีนี้ เช่น การทดสอบอัตราการเจริญเติบโตของต้นอ่อน (seedling growth rate) การวัดความยาวยอด ราก และความยาวรวมของต้นอ่อน (shoot, root and total seedling length) การจำแนกระดับความแข็งแรงของต้นอ่อน (seedling vigor classification) ความเร็วในการงอกหรือดัชนีการงอกของเมล็ดพันธุ์ (germination index)

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัย ยังได้สืบค้นถึงปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการงอกที่สำคัญหลักๆคือ ระยะเวลาการเก็บรักษาและอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ สำหรับระยะเวลาการเก็บ

รักษาอัตราการงอกจะเป็นไปตามการเก็บ โดยผลการวิจัยชี้ว่า ระยะเวลาการเก็บประมาณ 1 เดือน จะมีอัตราการงอกอยู่ที่ประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บประมาณ 3 เดือน จะมีอัตราการงอกประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเก็บเป็นเวลานานเป็นเวลา 8 เดือน จะมีอัตราการงอกประมาณ ๒๗ เปอร์เซ็นต์ นั้นแสดงให้เห็นว่าการเก็บรักษาเป็นเวลานานอัตราการงอกจะมีประมาณลดลงนั่นเอง ซึ่งทำให้เป็นปัญหาสำคัญสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ทำข้าวนาปี โดยจะมีการเก็บเกี่ยวประมาณเดือนพฤศจิกายนของทุกๆปีและจะทำการเพาะปลูกประมาณเดือนมิถุนายน ทำให้มีระยะเวลาการเก็บอยู่ที่ประมาณ 7 เดือน นั้นส่งผลทำให้อัตราการงอกลดลงอย่างแน่นอนและทำให้เกินมอดข้าวมากัดกินในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกอีกด้วย และในปัจจุบันชนิดพันธุ์ข้าวปลูกที่เป็นนิยมปลูกสำหรับข้าวนาปีนั้นคือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์หลักๆของประเทศที่มีคุณภาพสำหรับการส่งออกและมีราคาที่สูงและรัฐบาลได้มีนโยบายที่จะพัฒนาคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิ 105 ให้มีคุณภาพเป็นที่น่าเชื่อถือของตลาดโลกอีกครั้ง ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลสำคัญสำหรับผู้วิจัยที่ได้มีความสนใจในการสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับกำจัดมอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก พร้อมกระตุ้นการงอก สำหรับอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ ผลงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่ออัตราการงอกอย่างเห็นได้ชัด แต่อุณหภูมิไม่ควรเกิน 60 องศาขึ้นไป เพราะจะทำให้เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกเกิดความเสียหายได้ จึงได้มีนักวิจัยหลายๆท่านพยายามคิดค้นงานวิจัยเพื่อการกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก ซึ่งพบว่ามีวิธีการกระตุ้น 2 วิธีการหลักๆคือ การกระตุ้นด้วยวิธีการบ่มหรืออบเพื่อให้เกิดความร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ อีกวิธีการหนึ่ง คือ การกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้า ซึ่งทั้ง 2 วิธีนี้เป็นวิธีการที่สามารถกระตุ้นให้มีเปอร์เซ็นต์อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกเป็นอย่างดี และเนื่องจากโครงการวิจัยนี้ได้มีจุดประสงค์เพื่อการสร้างเครื่องกำจัดมอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกและกระตุ้นการงอกด้วยหลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ซึ่งเป็นกระบวนการกำจัดมอดและกระตุ้นการงอกไปด้วยกันโดยหลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ซึ่งก็คือการใช้สนามไฟฟ้าด้วยคลื่นความถี่วิทยุในการกำจัดมอดและกระตุ้นการงอกได้ในระบบเดียว ซึ่งในเบื้องต้นคณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการกำจัดมอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกพร้อมทั้งกระตุ้นการงอกโดยใช้เครื่องกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุที่คณะผู้วิจัยได้มีผลการวิจัยการกำจัดมอดข้าวสารและได้ดำเนินโครงการเสร็จสิ้นแล้วนั้น ซึ่งแสดงบทสรุปของการกำจัดมอดนั้นคือที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียส มอดข้าวสารจะมีอัตราการตายเต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ จึงนำมาสู่การวิเคราะห์เบื้องต้นโดยการใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกชนิดพันธุ์ หอมมะลิ 105 ที่มีการเก็บประมาณ 7 เดือน และทำการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกและกำหนดอุณหภูมิของเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 40 องศาเซลเซียส 50 องศาเซลเซียส 60 องศาเซลเซียส และ 70 องศาเซลเซียส พร้อมกับการเปรียบเทียบอัตราการงอกกับเมล็ดพันธุ์ที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก ซึ่งมีอุณหภูมิควบคุมอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส โดยกระบวนการทดสอบและผลของการงอกแสดงดังรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 ผลการทดสอบเบื้องต้นด้วยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ
 (ก) เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกอุณหภูมิ 40 °C (ข) เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกอุณหภูมิ 50 °C (ค) เมล็ดพันธุ์
 ข้าวปลูกอุณหภูมิ 60 °C (ง) เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกอุณหภูมิ 70 °C
 (จ) การวัดอุณหภูมิที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบ



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.6 การปลูกและตรวจสอบอัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูก (ก) การเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าว และกระบะสำหรับปลูก (ข) การปลูกข้าว (ค) ต้นข้าวที่งอก

จากผลการตรวจสอบอัตราการงอกพบว่า การให้ความร้อนที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส จะทำให้มีเปอร์เซ็นต์อัตราการงอกที่ดี แต่ในกรณีที่อุณหภูมิข้าวมีอุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส จะทำให้เปอร์เซ็นต์อัตราการงอกลดลง อย่างไรก็ตามการทดสอบนี้เป็นเพียงการทดสอบเบื้องต้นเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของโครงการวิจัย ดังนั้นจากความสำคัญของปัญหาดังกล่าวและผลการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นทำให้คณะผู้วิจัยสนใจ ศึกษา ที่จะดำเนินโครงการการออกแบบและสร้างระบบเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ สำหรับกำจัดมอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก เพื่อการเก็บรักษาและเพาะปลูกข้าวไทยอย่างยั่งยืน ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย เป็นการยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์เมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกไทย อีกทั้งยังช่วยลดการใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายและเพิ่มอัตราการงอกได้ ซึ่งในอนาคตสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานและต่อยอดงานวิจัยเกี่ยวกับการกระตุนหรือกำจัดมอดในเมล็ดพันธุ์ทางการเกษตรชนิดอื่น ๆ อีกมากมายที่จะเข้ามาทำลายผลผลิตทางการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายในวงกว้าง ส่งผลให้เก็บผลิตผลได้นานขึ้นสามารถชะลอการส่งออกได้โดยไม่ใช้สารเคมี อีกทั้งยังใช้ได้กับศัตรูพืชอื่น ๆ ธัญพืช หรือผลไม้ที่ใช้สำหรับการอบแห้ง ได้อีกหลายชนิด เนื่องจากสามารถออกแบบให้ปรับเปลี่ยนความถี่ให้มีความเหมาะสมกับไดอิเล็กตริกแต่ละชนิดได้และยังได้เทคโนโลยีใหม่สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกของไทยที่ประหยัด ใช้งานได้ง่าย สะดวก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งโครงการนี้จะเป็นโครงการที่สามารถออกแบบระบบการฆ่ามอดในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอกที่มีความเหมาะสมและครอบคลุมกระบวนการจัดการมอดสำหรับของผู้ประกอบการจำหน่ายเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกอย่างยั่งยืน

2.2 ทฤษฎีการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

ในการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวหลังการเก็บเกี่ยวแบบครบวงจรโดยไม่ใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันในตลาดโลกของอุตสาหกรรมข้าวไทยอย่างยั่งยืนนั้นจากระบบดังที่กล่าวมาข้างต้นโดยสรุป คือ (1) ออกแบบระบบไล่และกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือก (2) ทำการออกแบบออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก (3) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าว และ (4) ออกแบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่เก็บบรรจุกระสอบ ทั้ง 4 ระบบนี้ได้ใช้หลักการออกแบบและสร้างเครื่องโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ส่วนการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการกำจัดมอดและแมลงในข้าวเป็นอย่างมาก โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการปรับควบคุม

อุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบจะได้กล่าวต่อไปจากนี้

2.2.1 ทฤษฎีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

ในทฤษฎีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงนี้ เป็นทฤษฎีที่สามารถใช้ได้กับการออกแบบระบบทั้งหมดของการกำจัดมอดและแมลงในข้าวแบบครบวงจร ซึ่งเป็นหลักการการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้งานสำหรับการให้ความร้อนที่ใช้หลักการของการส่งผ่านคลื่นไปยังเนื้อวัสดุนั้นมีอย่างแพร่หลายโดยที่ผ่านมาความถี่ที่ใช้งานจะมีย่านความถี่ที่ไม่สูงมากนัก คือประมาณ 1 -15 MHz ต่อมาได้มีการพัฒนาใช้คลื่นความถี่ที่สูงขึ้นซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมและครัวเรือนได้อย่างดี เช่น การประกอบอาหารการอบแห้งอาหาร การถนอมอาหาร แต่อย่างไรก็ตามการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่วิทยุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น ไม่ว่าจะเป็นย่านความถี่ต่ำหรือย่านความถี่สูงสามารถพัฒนาและประยุกต์ใช้งานด้านอื่น ๆ ทางเกษตรได้อย่างกว้างขวาง เช่น การกำจัดศัตรูพืชที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยมีการประยุกต์ใช้หลักการส่งผ่านคลื่นความถี่ข้าวไปในตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย และส่งผลให้ตัวกลางนั้น ๆ เกิดเป็นความร้อนขึ้นได้ ซึ่งจะมีตัวแปรหลักในการพิจารณาประกอบด้วย ย่านความถี่ที่ใช้งาน รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นข้าวสู่ตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก การดูดกลืนหรือการสูญเสียของคลื่นความถี่และกำลังงานที่ต้องใช้ เป็นต้น โดยคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสำหรับวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความถี่ของคลื่นวิทยุ เนื่องจากเป็นสิ่งที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ เพื่อนำไปสู่การออกแบบวงจรกำเนิดความถี่และตัวปล่อยคลื่นให้เหมาะสมกับค่าไดอิเล็กตริกที่ตัวกลางต่าง ๆ ซึ่งคุณสมบัติของไดอิเล็กตริกนั้นจะสามารถอธิบายได้จากพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นที่ความถี่ต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นค่าสภาพยอมเชิงซ้อน (Complex permittivity, ϵ^*) หรือที่เรียกว่า “ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกยังผล (dielectric constant)” ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ของสมการได้ดังต่อไปนี้

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

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

$$\tan \delta = \varepsilon'' / \varepsilon' \quad (2)$$

โดยความถี่วิทยุที่สำคัญที่มีการใช้ในปัจจุบันสำหรับการแปรรูปอาหารและอุตสาหกรรมอบแห้งนั้นจะใช้น่านความถี่วิทยุในช่วง 1-50 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ 915 MHz และ 2450 MHz) ซึ่งจะใช้หลักการหมุนของไดโพลเป็นกลไกการสูญเสียที่สำคัญดังสมการความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\varepsilon'' = \varepsilon_d'' + \varepsilon_\sigma'' = \varepsilon_d'' + \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega} \quad (3)$$

ซึ่งวัสดุไดอิเล็กตริกที่เป็นสินค้าเกษตรส่วนใหญ่จะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ผ่านความถี่วิทยุให้เป็นพลังงานความร้อนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กตริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \varepsilon'' \quad (4)$$

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)

สำหรับความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นความถี่วิทยุนั้นพลังงานจะลดลง $1/e$ ($e = 2.718$) ของพลังงานที่ป้อนเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางที่เป็นไดอิเล็กตริก ซึ่งโดยทั่วไปแล้วพลังงานของคลื่นความถี่วิทยุจะสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในพื้นที่ผิวของตัวกลางได้มากกว่าคลื่นความถี่ย่านไมโครเวฟ เนื่องจากคลื่นวิทยุมีความถี่ต่ำและมีความยาวคลื่นมากกว่าคลื่นไมโครเวฟ ดังนั้นความถี่จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญในลำดับต้น ๆ ที่ต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับเนื้อวัสดุที่ต้องการนำมาใช้งาน โดยสามารถพิจารณาได้จากการทะลุทะลวงคลื่น ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (5) ดังต่อไปนี้

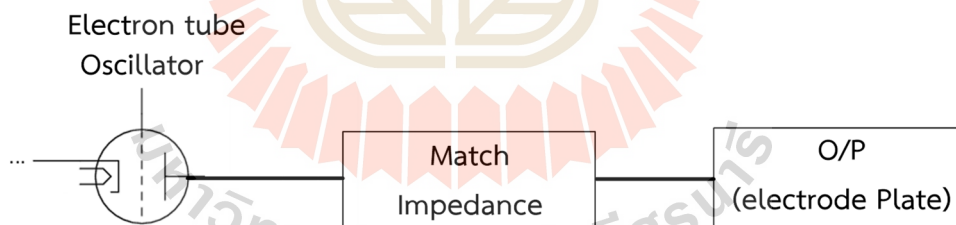
$$d_p = \frac{c}{2\pi f \sqrt{2\epsilon' \left[\sqrt{1 + (\epsilon''/\epsilon')^2} - 1 \right]}} \quad (5)$$

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

ฉะนั้นในการออกแบบสร้างเครื่องเพื่อกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ จะใช้สมการของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลาดังสมการที่ 4 และความลึกของการเกิดความร้อนที่เข้าไปในเมล็ดพันธุ์ข้าว ดังสมการที่ 5 เพื่อการพิจารณาเลือกความถี่วิทยุและกำลังงานที่เหมาะสมในการออกแบบสร้างเครื่องกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุต่อไป

2.2.2 ลักษณะการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดและแมลง

วงจรความถี่วิทยุสำหรับระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ ภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุ ภาควงจรแมทซิ่งอิมพีแดนซ์และภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์โทรดแบบแผ่นเพลต ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวและไข่มอด

โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณที่มีขนาดกำลังประมาณ 10 KW ใช้ความถี่ในช่วง 10 – 80 MHz โดยใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron tube) ในการออกแบบ ลักษณะของหลอดอิเล็กทรอนิกส์ แสดงดังรูปที่ 2.8 ซึ่งลักษณะวงจรรากเอาต์พุตของหลอดอิเล็กทรอนิกส์จะถูกออกแบบเป็นวงจรมัทซิ่งอิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์โทรดแบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของ

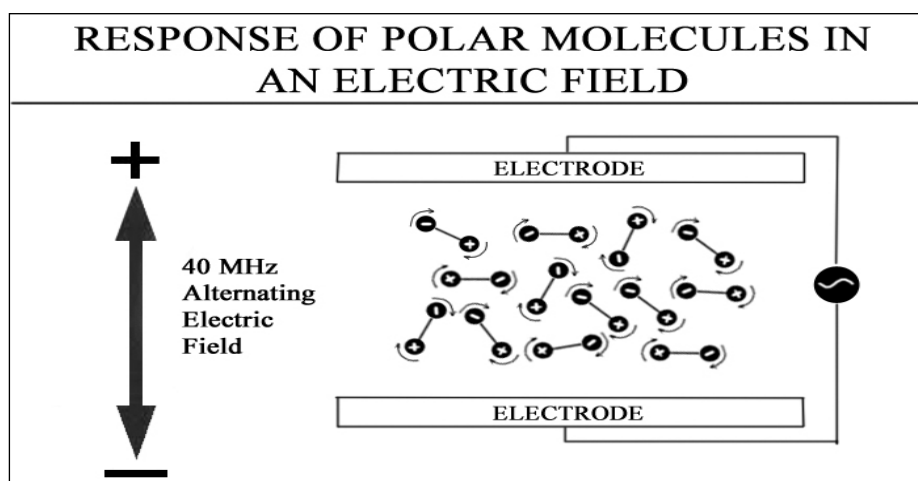
วงจร โดยสามารถออกแบบให้สามารถกำเนิดความถี่และปรับขนาดกำลังงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อฆ่ามอดข้าวและไข่มอด ต่อไป



รูปที่ 2.8 หลอดอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้เป็นแหล่งกำลังงานสำหรับให้ความร้อนกับไดโอดเล็กทรอนิกส์

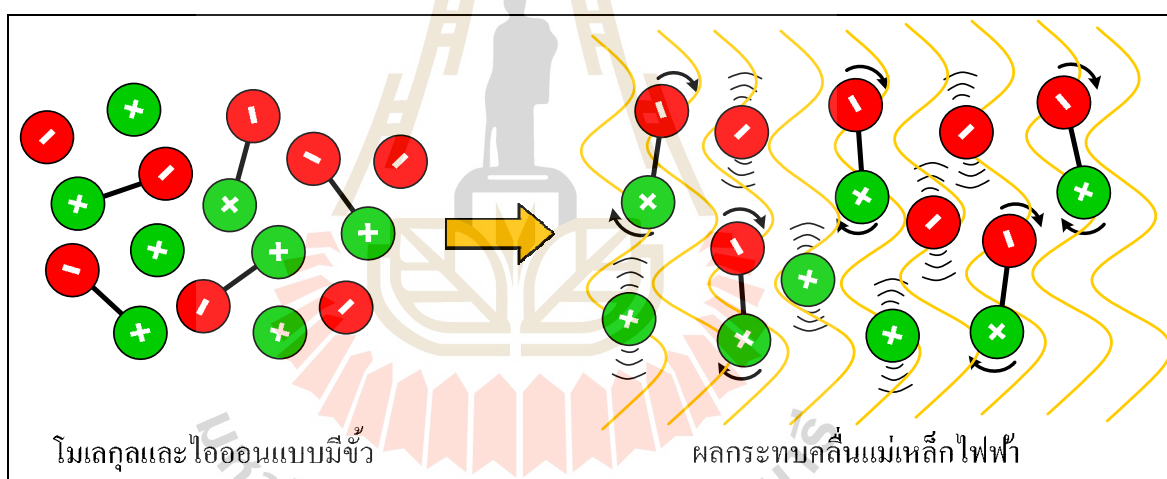
2.2.3 ตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต

สำหรับการให้ความร้อนแบบไดโอดเล็กทรอนิกส์นั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก จะสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างสองขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่นหรืออิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุไดโอดเล็กทรอนิกส์อย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางขั้วคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุร้อนอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การเรียงตัวของโมเลกุลมีขั้ว เกิดการเสียดสีกันของขั้วบวก ลบ

ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในตัวกลางนั้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยเป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุหรือไมโครเวฟ



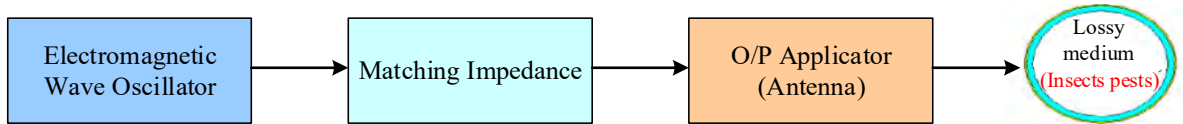
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าและไดโพลเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.4 ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับการไล่แมลงศัตรูพืช

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงนั้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และภาควงจรของตัวปล่อยคลื่นดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งสามารถแบ่งตามลำดับออกเป็นดังนี้

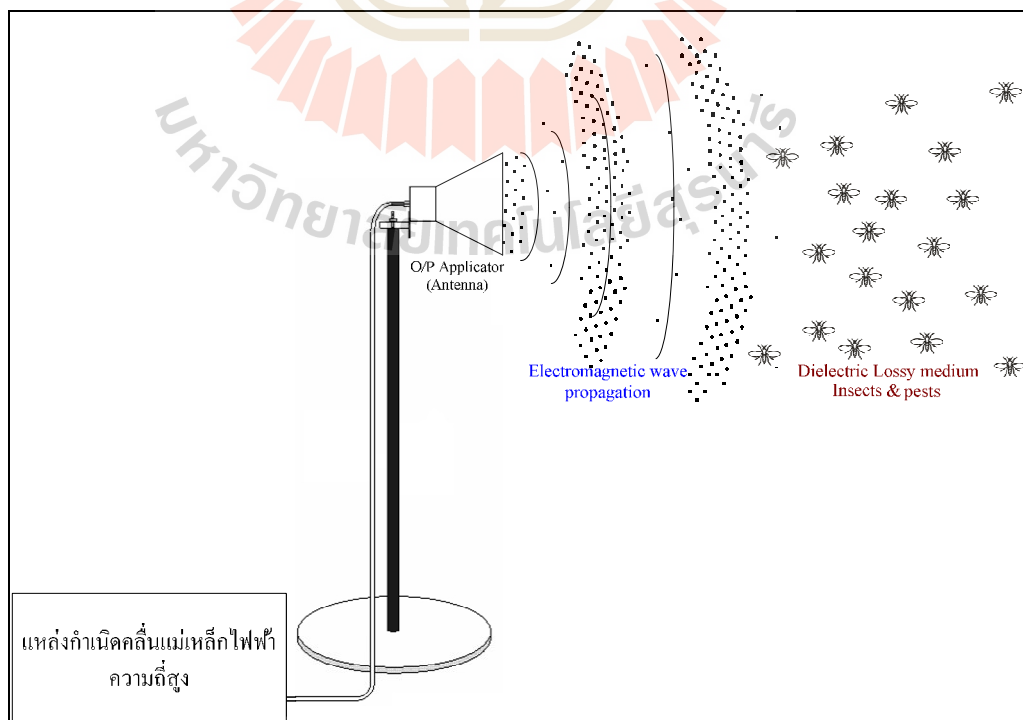
1. ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูง
2. ชุดวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ (Match impedance)

3. ชุดภาคการแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่น (applicator)

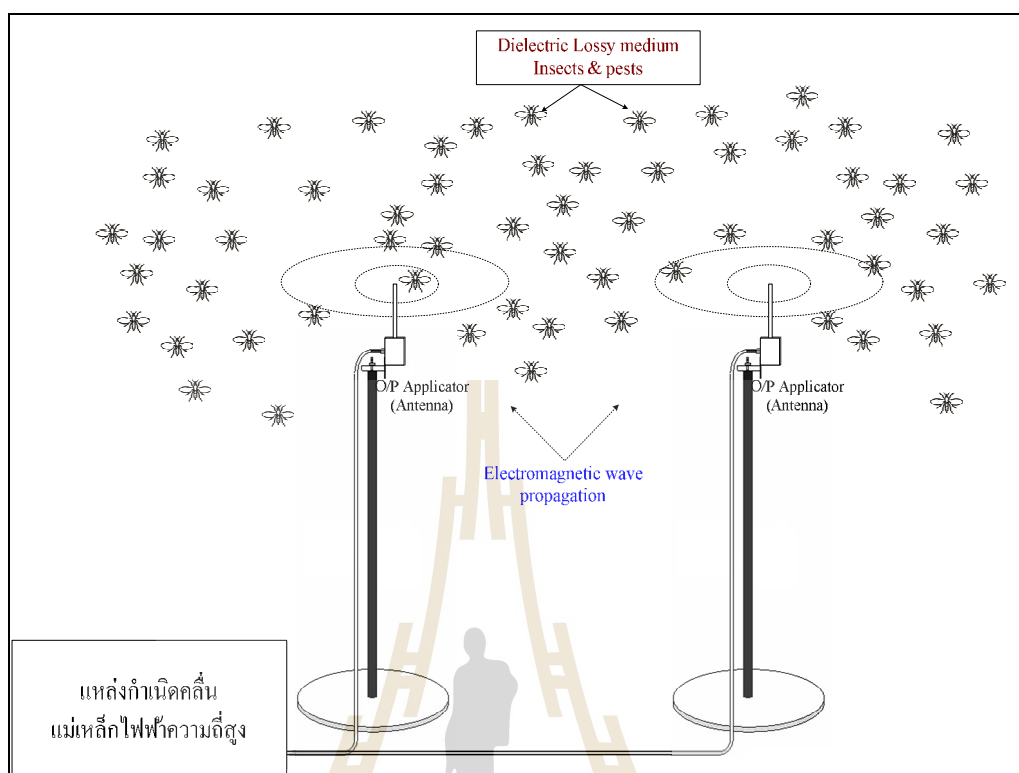


รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

โดยลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชสามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งระบบนั้นสามารถติดตั้งได้ในสองลักษณะคือ ให้ตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงไปในทิศทางเดียวหรือให้มีการแผ่พลังงานแบบรอบตัวในทุกทิศทาง โดยเมื่อแมลงศัตรูพืชบินเข้ามาในอาณานิคมที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปจะทำให้ตัวแมลงเกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นและจะรบกวนการดำรงชีวิตที่เป็นปกติของแมลงทำให้ต้องบินหนีออกไปจากบริเวณดังกล่าว หรือถ้าแมลงบินเข้ามาในบริเวณที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเข้มสูงจะทำให้ตัวแมลงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและตายในที่สุด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการติดตั้งบนพื้นที่เกษตรกรรม



(ก) การแผ่กระจายคลื่นแบบมีทิศทาง



(ข) การแพร่กระจายคลื่นแบบรอบตัว

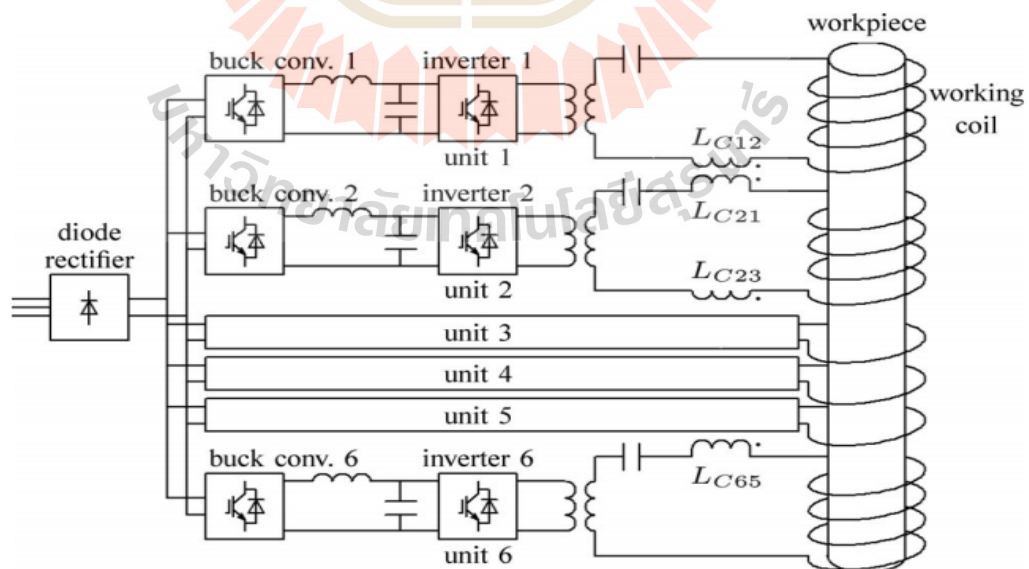
รูปที่ 2.12 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงโดยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์และออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยการให้เกิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก เพื่อปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว ช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและประหยัดพลังงานอย่างมาก สามารถแบ่งเป็นส่วนที่สำคัญได้ 3 ส่วนดังนี้คือ (1) ทฤษฎีในส่วนของวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนซึ่งเป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด (2) ทฤษฎีในส่วนของ การถ่ายโอนความร้อนระหว่างวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนกับข้าวสารโดยข้าวผ่านข้าวไปในท่อโลหะความร้อนทำให้ข้าวได้รับความร้อนสม่ำเสมอทุกเมล็ดและการสูญเสียความร้อนไปสู่ภายนอกต่ำมาก ๆ จริงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก และสุดท้าย (3) ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนอุณหภูมิของข้าวสาร

2.3.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อน

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงหลักการเกิดการเหนี่ยวนำความร้อน ที่ทำการออกแบบ มีชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่มากกว่าหนึ่งชุดอยู่ใกล้ ๆ กัน จึงมีผลกระทบด้านเฟสเกิดขึ้นในระบบ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการควบคุมเฟสทางความถี่เพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานสูงสุดไปที่ตัวถูกเหนี่ยวนำความร้อน ซึ่งตามปกติแล้วในกรณีที่วงจรหรือชุดเหนี่ยวนำความร้อนมีเพียงชุดเดียวไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมเฟส เพราะการเกิดปัญหาทางเฟสจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีชุดเหนี่ยวนำความร้อนมากกว่าหนึ่งชุดขึ้นไปวางอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันมากเท่านั้น ซึ่งในระบบออกแบบสร้างเครื่องปรับควบคุมอุณหภูมิ ขั้วก่อนขั้วเครื่องกำเนิดมอดและแมลงในขั้ว เพื่ออุตสาหกรรมการส่งออกข้าวด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ นั้นจำเป็นต้องใช้ชุดวงจรเหนี่ยวนำมากกว่าหนึ่งชุด จึงทำให้เกิดปัญหาจากที่สนามแม่เหล็กที่เกิดการเหนี่ยวนำจากวงจรข้างเคียงจะข้ามมาถึงอีกวงจรหนึ่ง เป็นผลกระทบให้ฟลักซ์รวมที่วิ่งผ่านพื้นที่หน้าตัดของวงปิดกระแสมีขนาดลดลง จึงทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้ามีขนาดลดลง และทำให้พลังงานความร้อนที่ได้มีขนาดลดลงไปด้วย ตัวอย่างของระบบที่มีวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนมากกว่าหนึ่งชุดดังรูปที่ 2.13 โดยในวงจรประกอบด้วย ชุดรักษาแรงดัน (Rectifier) ชุดควบคุมขนาดของแรงดันเอาต์พุต (Buck convertor) และวงจรแปลงแรงดัน DC ไปเป็น AC (Inverter) ที่ความถี่ที่ต้องการ ซึ่งจะถูกรักษาจากวงจรควบคุมอีกทีหนึ่ง จากนั้นจึงส่งผ่านไปยังหม้อแปลงเอาต์พุตที่มีขดลวดเหนี่ยวนำ (Working coil) ให้เกิดความร้อนที่ตัวชิ้นงาน (Workpiece)



รูปที่ 2.13 วงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนหลายชุดทำงานร่วมกัน

จากการทดลองในเรื่องผลกระทบทางเฟสของกลุ่มผู้วิจัย Ha Pham Ngoc และคณะโดยทดลองกับชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนจำนวนสองชุดด้วยกัน พบว่าสามารถหาความสัมพันธ์ของค่าพลังงานความร้อนได้ดังสมการที่ 6 และ 7

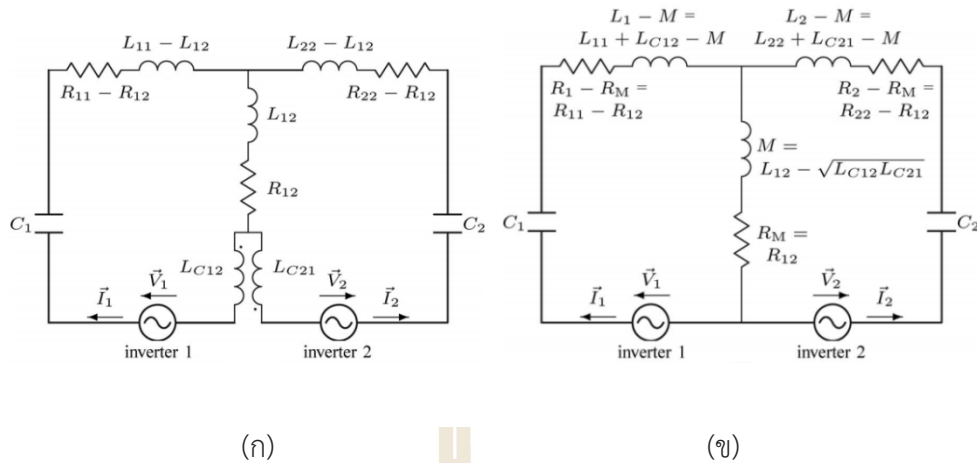
$$Q_1 = R_1 I_1^2 + R_M I_1 I_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (6)$$

$$Q_2 = R_2 I_2^2 + R_M I_1 I_2 \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (7)$$

โดยที่สมการที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ทดลองในระบบนี้จากรูป L_{11} และ L_{22} คือค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนของชุดที่ 1 และชุดที่ 2 L_{12} คือค่าความเหนี่ยวนำสมมูลร่วมระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนสองตัวที่อยู่ใกล้กัน R_{11} และ R_{22} คือค่าความต้านทานสมมูลของการเกิดความร้อนจากกระแส I_1 และ I_2 ในตัวนำที่ถูกเหนี่ยวนำของชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ตามลำดับ R_{12} คือค่าความต้านทานสมมูลของการเกิดความร้อนจากกระแส I_1 และ I_2 ระหว่างการแทรกสอดกันของสองชุด L_{c12} และ L_{c21} คือหม้อแปลงช่วยลดฟลักซ์แม่เหล็กรั่วไหลระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำทั้งสองชุดซึ่งแต่ละตัวจะต่อเข้ากับวงจรในลักษณะอนุกรมกับชุดของมันเองดังรูปที่ 2.13 จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.14 (ก) ได้ถูกลดรูปไปเป็นวงจรสมมูลดังรูปที่ 2.14 (ข) โดยที่ค่าความเหนี่ยวนำสมมูลร่วมถูกลดรูปเป็น $M = L_{12} - \sqrt{L_{c12} L_{c21}}$ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนของชุดที่ 1 และชุดที่ 2 กลายเป็น $L_1 = L_{11} + L_{c12}$ และ $L_2 = L_{22} + L_{c21}$ ซึ่งวงจรสมมูลที่ได้ จะขึ้นอยู่กับระบบหรือวงจรภาคเอาต์พุตที่เราออกแบบ จากสมการที่ 1 และ 2 เมื่อความต่างเฟสเป็นศูนย์นั้นหมายความว่า ϕ_1 และ ϕ_2 มีขนาดเท่ากันจะส่งผลให้เอาต์พุตอยู่ในจุดที่มีการถ่ายโอนพลังงานความร้อนสูงสุดดังสมการที่ 8 และ 9 จึงสรุปได้ว่าการออกแบบชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่มากกว่าหนึ่งชุดที่ต้องทำงานอยู่ใกล้กันต้องออกแบบวงจรควบคุมให้ทำการสร้างสัญญาณความถี่ที่เฟสออกมาตรงกัน

$$Q_1 = R_1 I_1^2 + R_M I_1 I_2 \quad (8)$$

$$Q_2 = R_2 I_2^2 + R_M I_1 I_2 \quad (9)$$



รูปที่ 2.14 วงจรสมมูลของการเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนสองวงจรที่อยู่ติดกัน

(ก) วงจรสมมูล (ข) วงจรสมมูลที่ถูกลดรูป

จากสมการที่ 8 และ 9 เราสามารถหาค่า R ซึ่งคือความต้านทานรวมในวงปิดกระแสไหลวนทั้งชิ้นงาน มีหน่วยเป็นโอห์ม ได้จากสมการที่ 10

$$R = \frac{\rho l}{A} \tag{10}$$

โดยที่ ρ คือค่าสภาพต้านทาน (Resistivity) ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ในการเหนี่ยวนำแต่ละวัตถุจะมีค่าไม่เท่ากัน และ l คือความยาวทั้งหมดในทิศทางที่มีกระแสไหลวนวิ่งผ่าน ส่วน A คือพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางกระแสเคลื่อนที่ของกระแส โดยที่สามารถหาค่า R_1 , R_2 และ R_M ได้จากสมการที่ 11, 12 และ 13

$$R_M = R \eta_i \tag{11}$$

$$R_1 = R - R_M \tag{12}$$

$$R_2 = R_1 \tag{13}$$

โดยที่ η_i คืออัตราส่วนในการแทรกสอดของฟลักซ์แม่เหล็กจากขดลวดข้างเคียง เนื่องจากระบบมีเฟสที่ตรงกันและขนาดของพลังงานที่ป้อนเท่ากันทำให้ได้ค่าความต้านทานในการเกิดความร้อนของขดลวดที่หนึ่งเท่ากับขดลวดที่สอง

เนื่องจากวงจรเหนี่ยวนำความร้อนดังกล่าวมีลักษณะของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนเป็นแบบกระแสสลับ (AC) ความถี่ที่ใช้งานจึงทำให้มีผลกระทบเชิงผิว (Skin effect) ที่ส่งผลให้การทะลุผ่านวัตถุของสนามแม่เหล็กมีความลึกต่างกันที่ความถี่ต่างกัน ในกรณีที่ใช้งานที่ใช้เหนี่ยวนำความร้อนมีลักษณะเป็นเหล็กหนาจึงทำให้เกิดการกระจายตัวของกระแสไหลวนที่ไม่เท่ากันที่ระดับความลึกต่างกันโดยที่ตรงตำแหน่งใกล้ๆ พื้นผิววัตถุจะมีกระแสไหลวนสูงสุดและลดลงเรื่อยๆ เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น โดยเราสามารถหาค่า Skin depth หรือระยะความลึกสูงสุดที่ 63 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานวิ่งผ่านได้จากสมการที่ (14)

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi \mu \sigma f}} \quad (14)$$

δ คือค่า Skin depth, μ คือค่าสภาพให้ซึมผ่านได้ทางแม่เหล็ก (Absolute magnetic permeability), f คือค่าความถี่ของสนามแม่เหล็ก และ σ คือค่าสภาพนำไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป สามารถหาได้จากสมการที่ 15

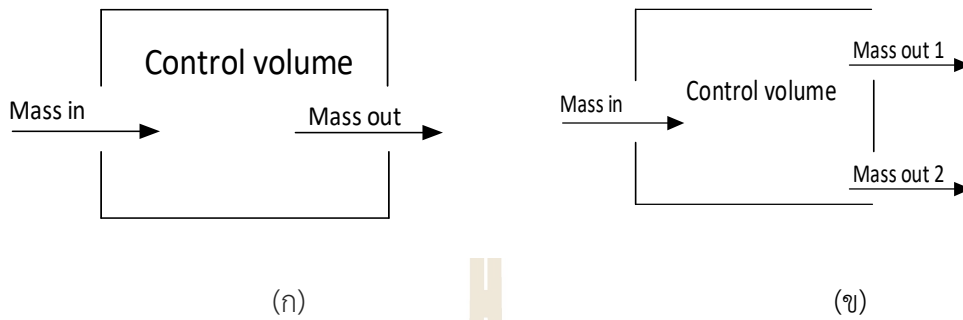
$$\sigma = \frac{1}{(4.9659 \times 10^{-7} + T \cdot 8.4121 \times 10^{-10} - T^2 \cdot 3.7246 \times 10^{-13} + T^4 \cdot 6.1960 \times 10^{-17})} \quad (15)$$

T คืออุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าถ้าหากเราทำการควบคุมความถี่ของการทำงาน จะเป็นการควบคุมระดับความลึกของชิ้นงานที่ต้องการให้เกิดความร้อนได้

2.3.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวงจรเหนี่ยวนำให้เกิดเป็นความร้อนกับการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว

สำหรับการวิเคราะห์และการออกแบบสร้างเครื่องปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว เพื่ออุตสาหกรรมส่งออกข้าวด้วยแหล่งพลังงานความร้อนจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเหนี่ยวนำ นั้นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการคำนวณในเรื่องของการถ่ายโอนพลังงานระหว่างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนกับอากาศและข้าวสาร ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว สามารถแบ่งได้เป็นสองแบบคือระบบที่มีการไหลแบบ

กระแสเดียวและระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแสดังรูปที่ 2.15 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยมีนิยามว่า ในระหว่างกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ปริมาตร มวล และพลังงานภายในระบบจะมีค่าคงที่



รูปที่ 2.15 (ก) ระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว (ข) ระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแส

เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างข่าวสารกับวงจรเหนี่ยวนำความร้อน จะเป็นลักษณะของระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว ซึ่งเราสามารถทำการคำนวณพลังงานในระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียวได้ดังนี้ เริ่มจากการวิเคราะห์พลังงานรวมของระบบ อัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิเข้าจะเท่ากับอัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิออกตั้งสมการที่ (16)

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \quad (16)$$

จากสมการที่ (16) อัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิ \dot{E} จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความร้อน งานและมวลจะได้

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in} \theta = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out} \theta \quad (17)$$

จากสมการที่ (12) $\theta = h + \frac{V^2}{2} + gz$ โดยที่ h คือค่าเอนทัลปีของสาร V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบ z คือค่าความสูงของระบบที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ระบบมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และ g คือค่าความโน้มถ่วงของโลก จะได้

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_{in} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out} \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right)_{out} \quad (18)$$

จากสมการที่ (18) สามารถลดรูปได้ดังสมการที่ (19)

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} \left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \right] \quad (19)$$

เนื่องจากสองเทอมหลังในสมการที่ (19) เป็นเทอมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในกรณีที่ระบบไม่มีการเคลื่อนที่สองเทอมหลังจะเป็นศูนย์จะได้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} [h_2 - h_1] \quad (20)$$

โดยที่ \dot{Q} คือค่าความร้อนมีหน่วยเป็นวัตต์, \dot{W} คืองานซึ่งขึ้นอยู่กับว่าในระบบมีอะไรเป็นตัวให้งาน, h_1 คือค่าเอนทัลปีจำเพาะของสารในทางเข้าของระบบ, h_2 คือค่าเอนทัลปีจำเพาะของสารในทางออกของระบบซึ่งสามารถดูได้จากตารางในหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ และ \dot{m} คืออัตราการไหลของมวลต่อวินาทีที่มีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการที่ (21)

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} \quad (21)$$

โดยที่ \dot{V}_1 คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารด้านเข้ามีหน่วยเป็น m^3/s และ v_1 คือปริมาตรจำเพาะของสารด้านเข้าสามารถหาได้จากสมการที่ (22)

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} \quad (22)$$

โดยที่ R คือค่าคงที่ของแก๊ส, T_1 คืออุณหภูมิเป็นองศาเคลวิน และ P_1 คือความดันมีหน่วยเป็นปาสคาล

2.3.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของอุณหภูมิกการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีหรือโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณการทำงานของระบบ โดยเริ่มจากการหาค่าระยะเวลาเฉลี่ยในการคงอยู่ของข้าวสารในห้องปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงในข้าว (Mean residence time) สามารถหาได้จากสมการที่ (23)

$$T_{aw} = \frac{h_u}{F} \quad (23)$$

โดยที่ T_{aw} คือค่าระยะเวลาเฉลี่ยในการคงอยู่ของข้าวในห้องข้าวสาร มีหน่วยเป็นวินาที (s), F คืออัตราการป้อนข้าว (kg/s), h_u คือค่าปริมาณของข้าวในห้องข้าวสาร (Hold up) สามารถหาได้จากสมการที่ (24)

$$h_u = \rho_p Ah \quad (24)$$

โดยที่ A คือพื้นที่หน้าตัดสำหรับวางข้าวในห้องข้าวสาร (m^2), h คือค่าความหนาของข้าวในห้องข้าวสาร (m), ρ_p คือความหนาแน่นเชิงปริมาตรของข้าวสาร (kg/m^3) สามารถหาได้จากสมการที่ (25)

$$\rho_p = 744.24 - 18.59M - 1065.49I \quad (25)$$

โดยที่ M คือค่าความชื้นข้าวในห้องข้าวสาร (kg/m^3 d.b.) และ I คือค่าเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของสารอื่นในข้าวโดยปกติจะอยู่ที่ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์

ในหัวข้อนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเกิดการเหนี่ยวนำความร้อนตั้งแต่เรื่องของการออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่มีมากกว่าหนึ่งชุดให้ทำงานอยู่ใกล้กันที่มีผลกระทบในเรื่องของความต่างเฟส ทฤษฎีของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนกับข้าวในห้องข้าวสาร และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิข้าวสารในระบบ ในบทต่อไปจะกล่าวถึงในเรื่องของการออกแบบระบบและการวิเคราะห์

2.3 สรุป

ตามเนื้อหาที่ได้กล่าวมาในบทนี้ ได้นำเสนอปริทัศน์วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจรที่ประกอบด้วยโครงสร้างของระบบ คือ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน ซึ่งทั้ง 4 ระบบนี้ ได้ใช้หลักการออกแบบและสร้างเครื่องโดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ส่วนการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้เกิดความร้อนแบบเหนียวนำสนามแม่เหล็ก ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการกำจัดมอดและแมลงในข้าวเป็นอย่างมาก โดยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดข้าวและไข่มอดโดยให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการปรับควบคุมอุณหภูมิข้าวก่อนข้าวเครื่องกำจัดมอดและแมลงด้วยการให้เกิดความร้อนแบบเหนียวนำสนามแม่เหล็กทั้งนี้เพื่อการออกแบบสร้างเครื่องการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสม รูปแบบของการใช้คลื่นสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม การศึกษาช่วงความถี่ที่เหมาะสมกับการให้ความร้อนกับไดอิเล็กตริก แหล่งจ่ายกำลังงานที่เหมาะสม กับงานวิจัยนี้โดยจะได้นำเสนอบทต่อไป



บทที่ 3

การออกแบบเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร

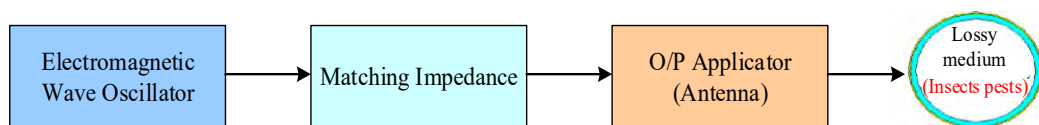
การวิเคราะห์และออกแบบเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร ที่ประกอบโครงสร้างของระบบดังนี้ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ่นการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมงโดยทั้ง 4 ระบบนี้ ใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 สำหรับการคำนวณและออกแบบ โดยจะได้อธิบายในแต่ละหัวข้อต่อไปนี้

3.1 เครื่องไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง

ในส่วนนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบสำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยการใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่สูงนั้นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และภาควงจรของตัวปล่อยคลื่นดังแสดงใน

รูปที่ 3.1 ซึ่งสามารถแบ่งตามลำดับออกเป็นดังนี้

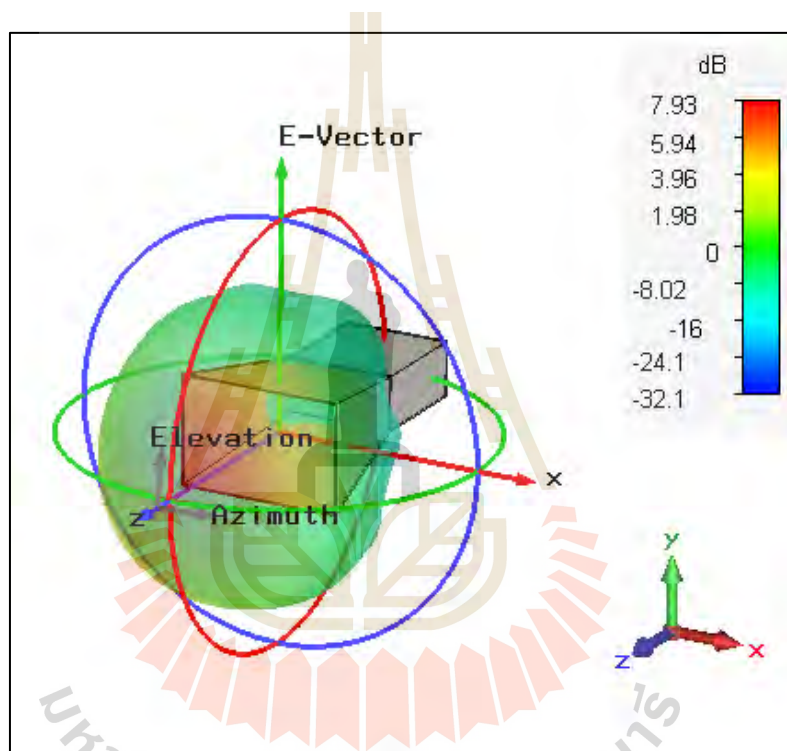
1. ชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูง
2. ชุดวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ (Match impedance)
3. ชุดภาควงจรแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่น (applicator)



รูปที่ 3.1 ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

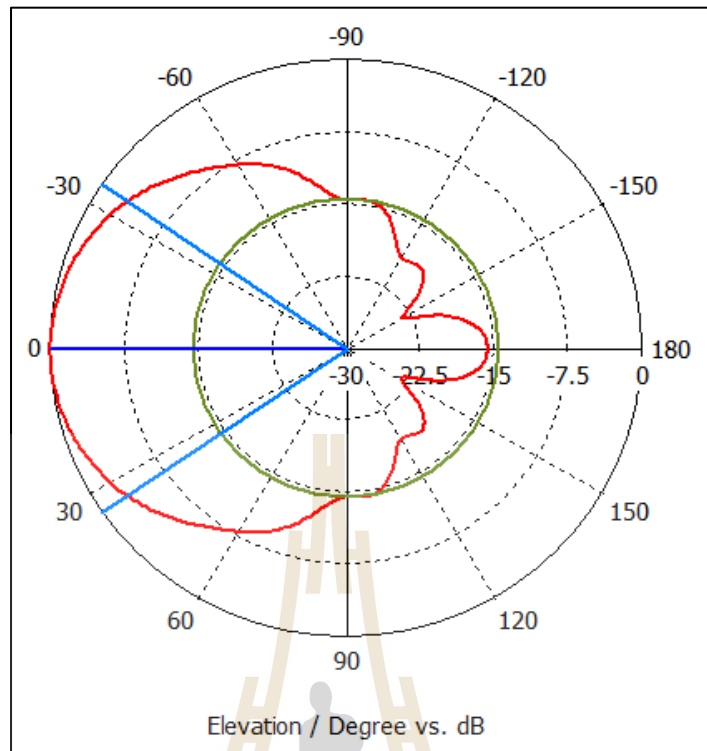
3.1.1 การจำลองออกแบบตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงกำลังงานสูง

ลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยท่อนำคลื่นที่ตอนปลายเปิดกว้างออกมากกว่าปกติ ซึ่งเรียกส่วนปลายเปิดนั้นว่า “ปากแตร” ปากแตรจะบานทั้งสองทิศทางมีรูปร่างเหมือนพีระมิดถูกตัดยอดออกดังรูปที่ 3.2 การออกแบบจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหาค่าการตอบสนองความถี่ของสายอากาศ ในการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ใช้งานที่คลื่นความถี่ 2.45 GHz ในส่วนแรกจะทำการออกแบบและจำลองผลท่อนำคลื่น

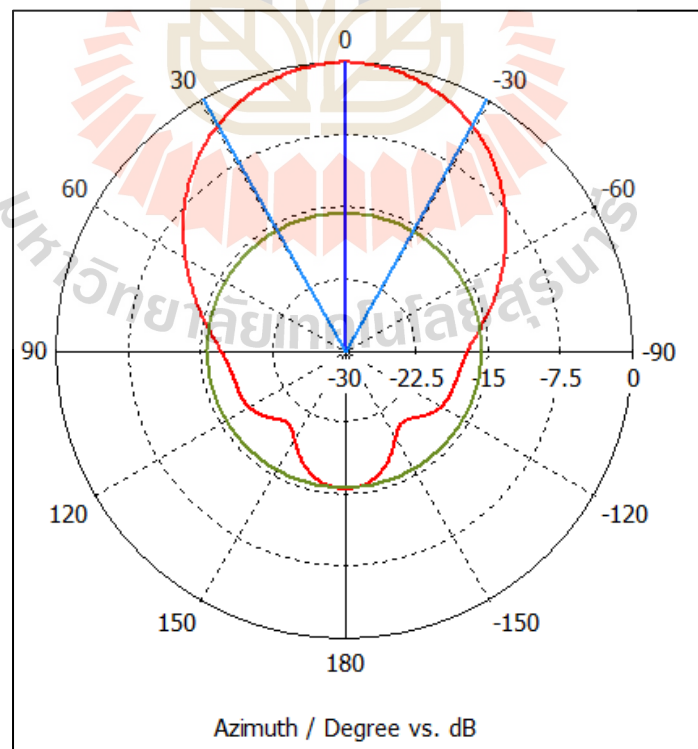


รูปที่ 3.2 ลักษณะโครงสร้างของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกำจัดแมลงศัตรูพืชโดยใช้การแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

โดยรูปที่ 3.2 เป็นรูปท่อนำคลื่นที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อใช้ส่งผ่านคลื่นความถี่ที่ 2.45 GHz โดยคลื่นความถี่จะมีทิศทางการแพร่กระจายไปในแนวแกน z ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการจำลองผลการแพร่กระจายคลื่นในสนามไกลเพื่อดูทิศทางการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายเทียบกับไอโซโทปิก ซึ่งมีหน่วยเป็น dBi จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยาย 7.93 dBi ที่ความถี่ 2.45 GHz สายอากาศมีรูปแบบการแผ่กำลังงานจากการจำลองผลในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.3 และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) แสดงได้ดังรูปที่ 3.4

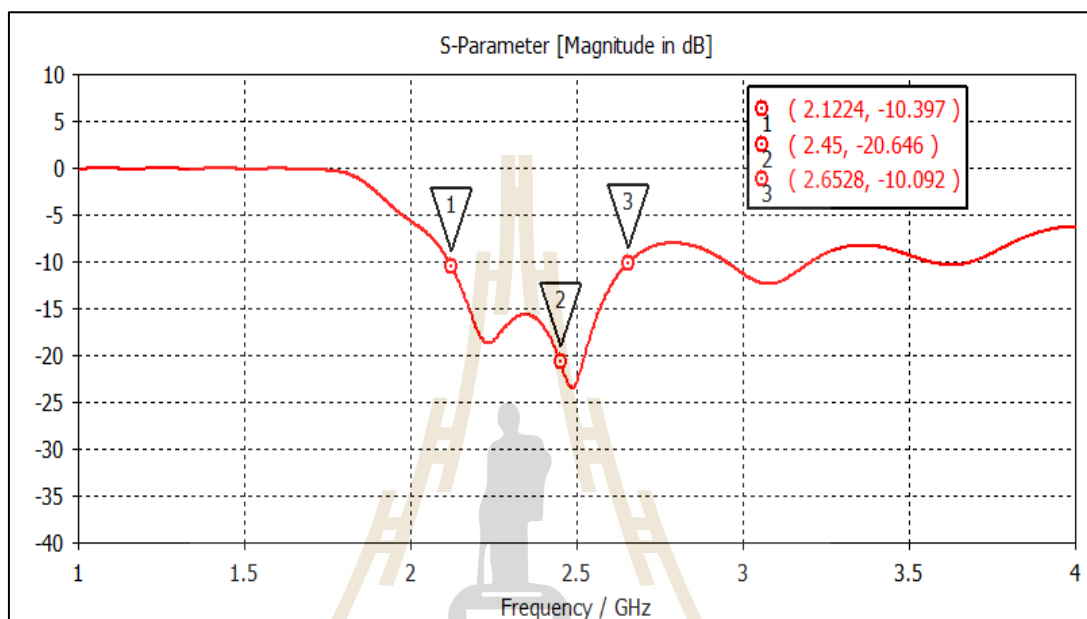


รูปที่ 3.3 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศปากแตรในระนาบสนามไฟฟ้า (E-plane)

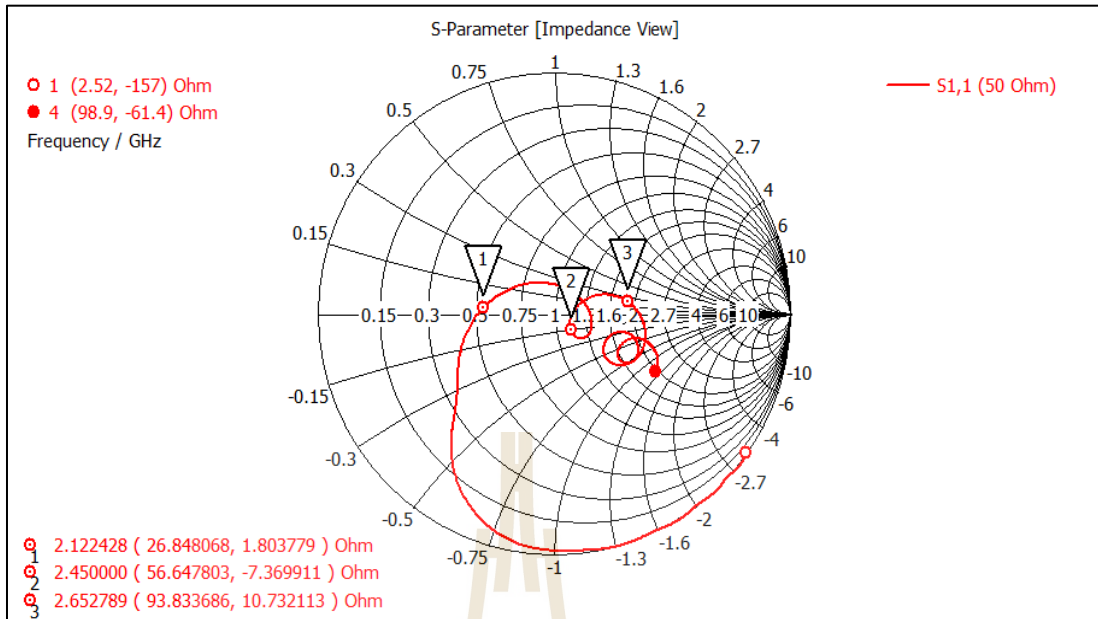


รูปที่ 3.4 แบบรูปการแผ่พลังงานสายอากาศปากแตรในระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane)

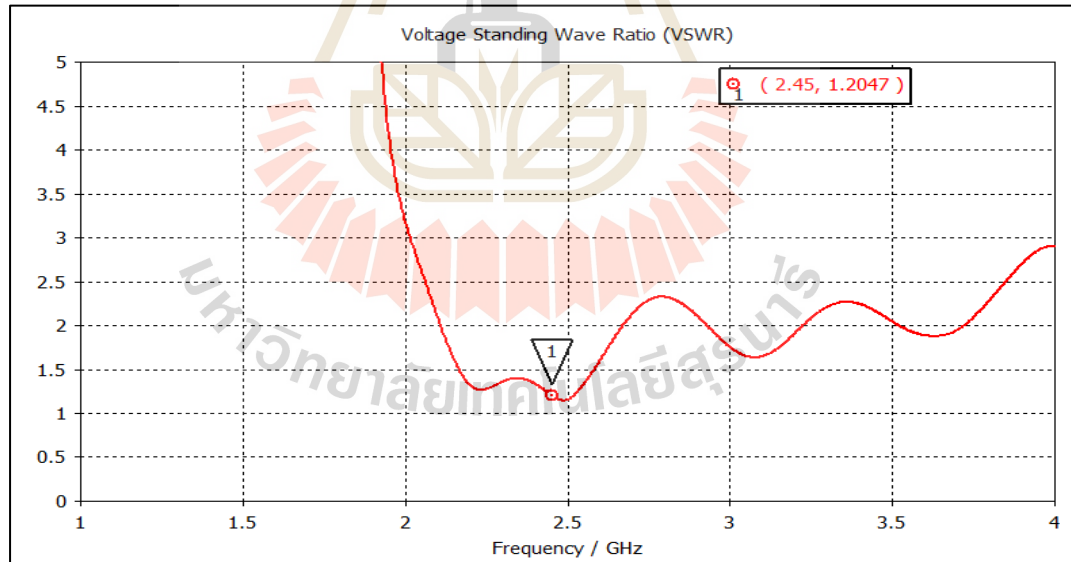
สำหรับส่วนของการจำลองผลทำนายคลื่นความถี่นั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงทิศทางองการแพร่กระจายคลื่นแล้วยังต้องคำนึงถึงค่า s-parameter ที่ใช้ในย่านความถี่ที่เราต้องการ ซึ่งดูได้จากรูปที่ 3.5 เป็นสัมประสิทธิ์สะท้อนกลับ (reflection coefficient) ในแต่ละย่านความถี่ที่ได้จำลองผล จะเห็นว่าที่ ความถี่ 2.45 GHz มีการสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB



รูปที่ 3.5 สัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับในแต่ละย่านความถี่ที่ได้จำลองผล ความถี่ 2.45 GHz มีการสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -20.646 dB



รูปที่ 3.6 อิมพีแดนซ์ของสายอากาศที่ออกแบบที่ได้จากการจำลองผล จะเห็นได้ว่าที่ ความถี่ 2.45 GHz มีอิมพีแดนซ์ของสายอากาศอยู่ที่ประมาณ 56.64 - j7.36 โอห์ม



รูปที่ 3.7 อัตราส่วนคลื่นนิ่ง (VSWR) ของสายอากาศที่ออกแบบที่ได้จากการจำลองผล

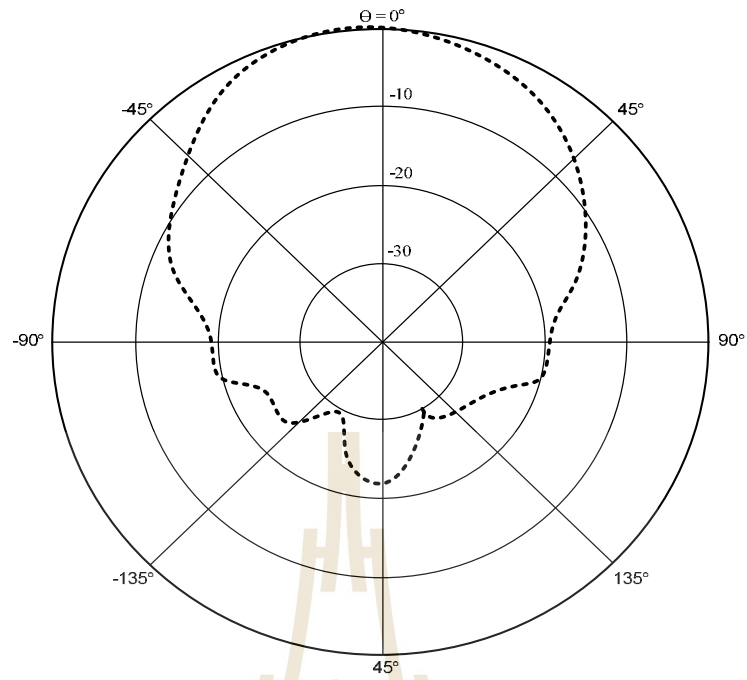
จะเห็นได้ว่าที่ ความถี่ 2.45 GHz สายอากาศมี VSWR (voltage Standing Wave Ratio) ของสัญญาณอยู่ที่ประมาณ 1.2:1

3.1.2 ผลการทดลองวัดแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศ

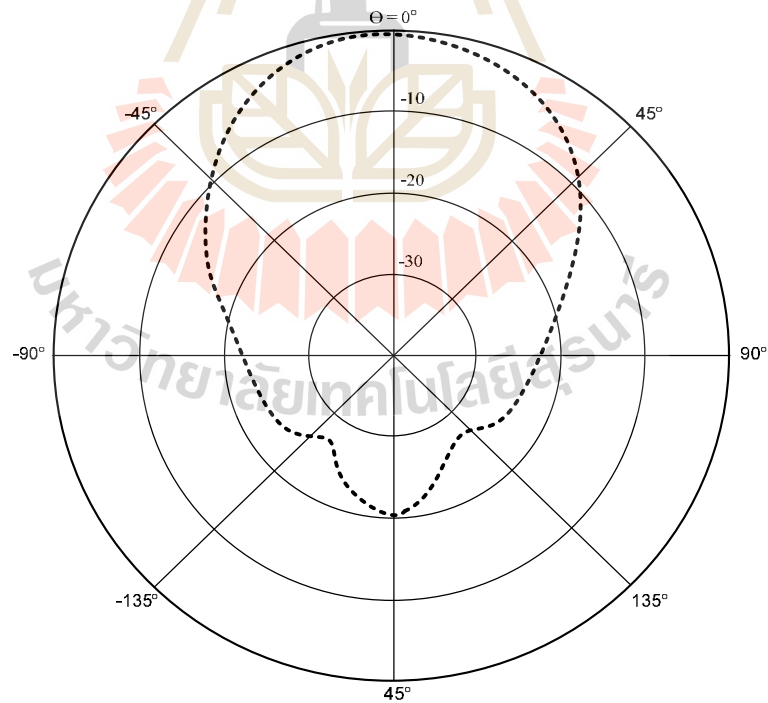
ผลการทดลองวัดค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศปากแตรสำหรับโล่แมลง โดยทำการวัดด้วยเครื่อง (Field Fox Radiation Pattern Measurement) สำหรับแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศนั้น คือ รูปที่ใช้เพื่อเป็นตัวบ่งบอกลักษณะการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่เป็นฟังก์ชันของทิศทาง โดยการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศนั้นจะทำการวัดที่บริเวณสนามระยะไกล (far field region) ทั้งในระนาบของสนามไฟฟ้า (E-plane) และระนาบสนามแม่เหล็ก (H-plane) โดยสามารถคำนวณจากความสัมพันธ์ $R \geq 2D^2/\lambda$ โดยที่ R คือระยะห่างระหว่างสายอากาศตัวส่งและสายอากาศตัวรับที่ทำการทดสอบที่ความถี่ต่ำสุด และ D คือ ขนาดความกว้างด้านหน้าของสายอากาศและ λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้คำนวณ โดยใช้ทดสอบอ้างอิงที่ความถี่ 2.45 ซึ่งในการทดสอบจะพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็ก โดยจะทำการหมุนสายอากาศต้นแบบเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวส่งคลื่นจาก 0 องศา จนถึง 360 องศา ไปยังสายอากาศตัวรับแบบไดโพลที่มีความถี่เดียวกันกับความถี่สายอากาศด้านส่งที่ความถี่ 2.45 GHz โดยสายอากาศรับและส่งนั้นต้องมีโพลาไรซ์ที่เหมือนกัน และระดับความสูงของสายอากาศรับและสายอากาศส่งต้องเท่ากันด้วย โดยทำการวัดระยะที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศปากแตรกับเสาอากาศห่างกัน 2 เมตร 2 dB ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งเป็นการเตรียมเครื่องมือสำหรับการวัดแบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศต้นแบบ



รูปที่ 3.8 การเตรียมเครื่องมือสำหรับวัดแบบรูปการแผ่พลังงานและอัตราขยายของสายอากาศต้นแบบ



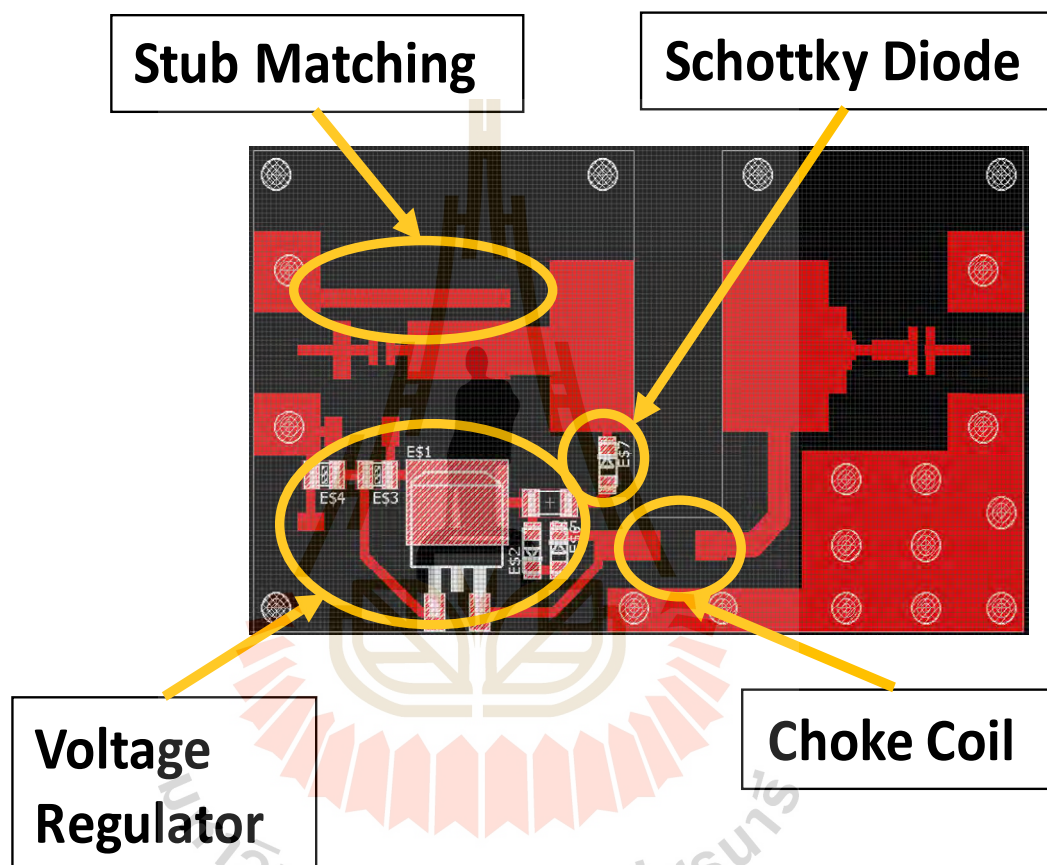
รูปที่ 3.9 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามไฟฟ้าที่ความถี่ 2.45 GHz



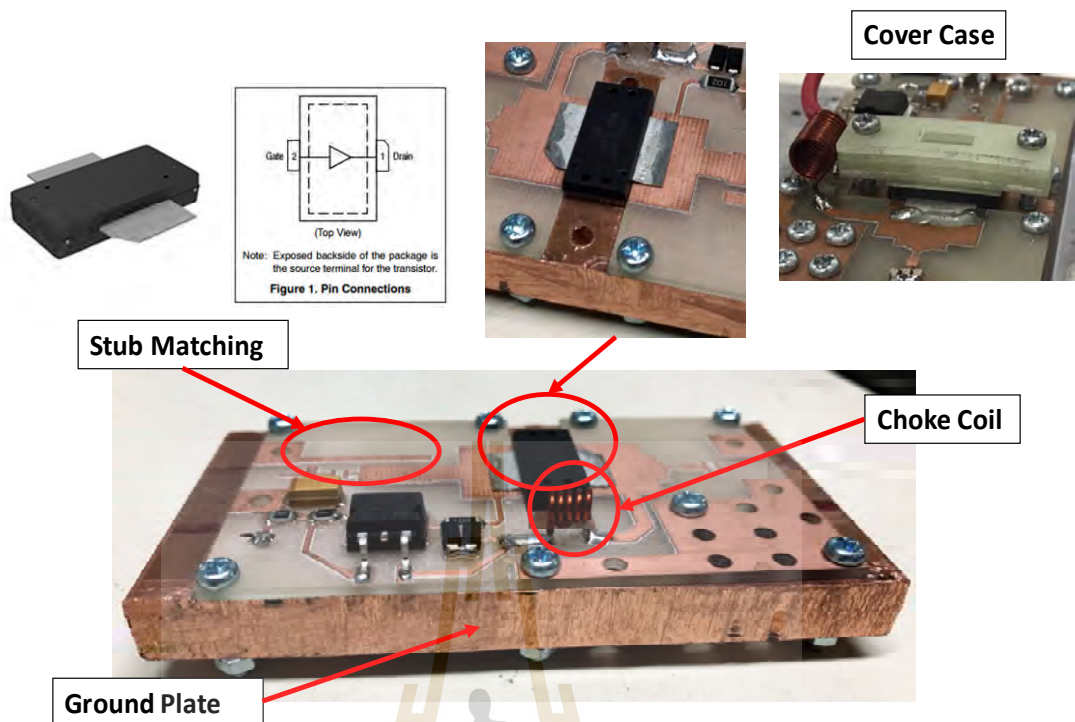
รูปที่ 3.10 แบบรูปการแผ่พลังงานของสายอากาศในระนาบสนามแม่เหล็กที่ความถี่ 2.45 GHz

3.1.3 การออกแบบวงจรขยายสัญญาณ

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



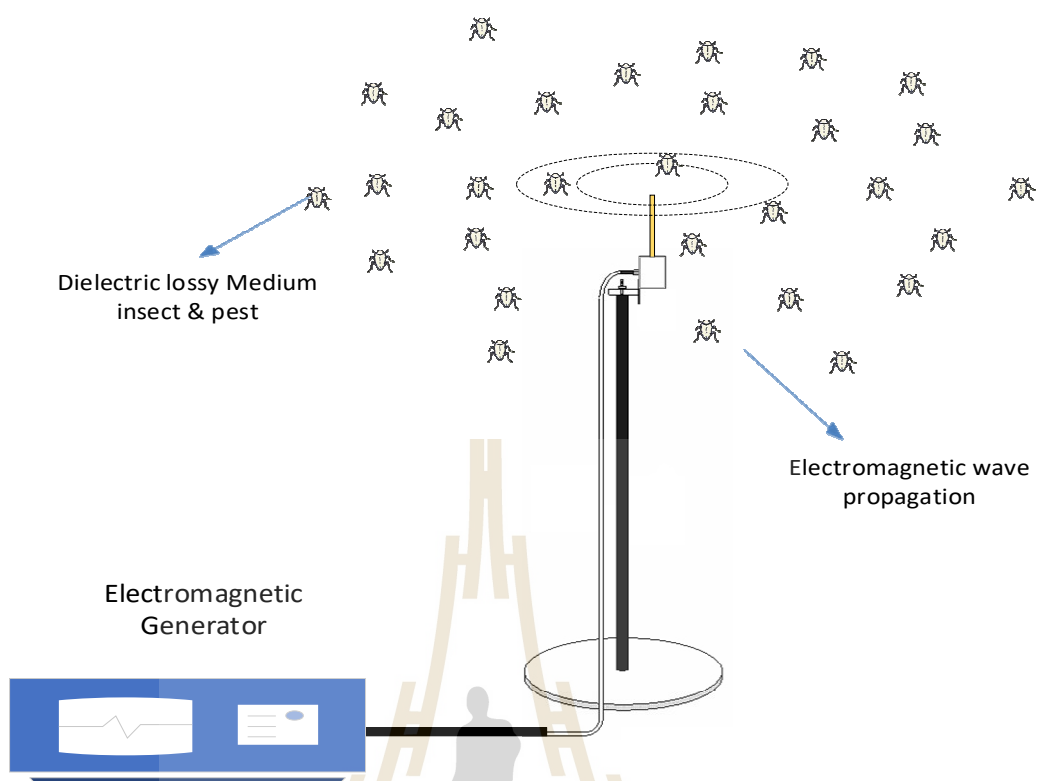
รูปที่ 3.11 แบบวงจรขยายสัญญาณ



รูปที่ 3.12 วงจรขยายสัญญาณความถี่ 2.45 GHz

3.1.4 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

โดยลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้หลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13 ซึ่งระบบนั้นสามารถติดตั้งลักษณะคือ ให้มีการแผ่พลังงานแบบรอบตัวในทุกทิศทาง โดยเมื่อแมลงศัตรูพืชบินเข้ามาในอาณาบริเวณที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปจะทำให้ตัวแมลงเกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นและจะรบกวนการดำรงชีวิตที่เป็นปกติของแมลงทำให้ต้องบินหนีออกไปจากบริเวณดังกล่าว หรือถ้าแมลงบินเข้ามาในบริเวณที่สนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีความเข้มสูงจะทำให้ตัวแมลงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงบินออกจากบริเวณนั้นและในส่วนของแมลงไม่สามารถบินได้ เช่น ตัวอ่อน และไข่ จะตายในที่สุด ซึ่งจากรูปจะเห็นว่าระบบดังกล่าวสามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการติดตั้งบนพื้นที่เกษตรกรรม



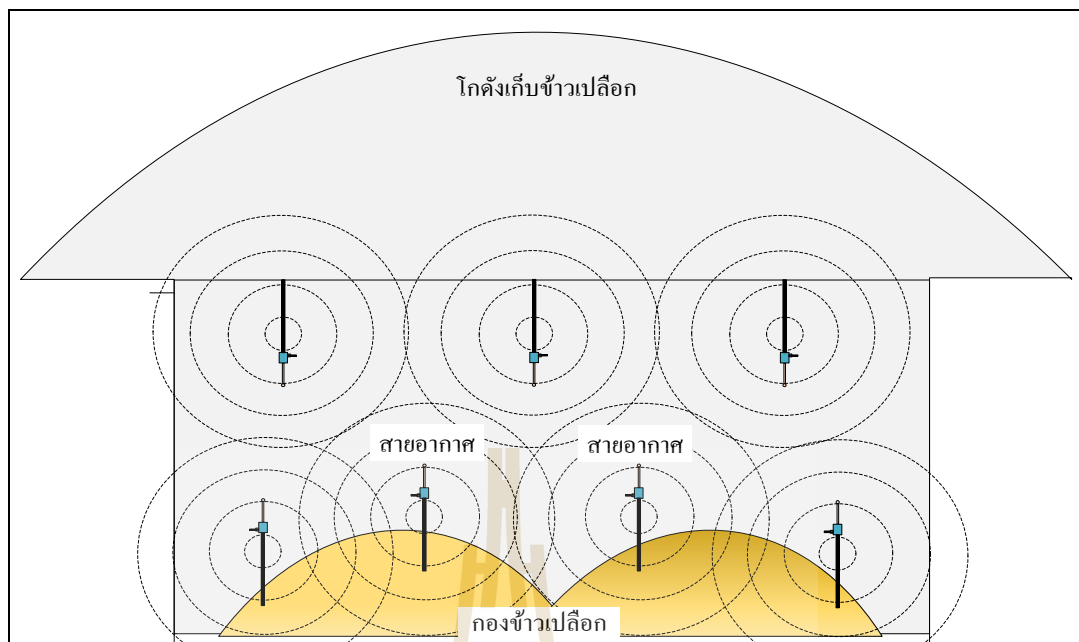
รูปที่ 3.13 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่สูง (Oscillator) ของระบบนั้นจะกำเนิดสัญญาณที่มีขนาดกำลังประมาณ 120 – 200 W ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าย่านความถี่วิทยุ ลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของแหล่งกำเนิดจะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์ซิมพีแดนซ์ ดังรูป 3.14 ซึ่งเป็นการแมตซ์ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่สูงกับภาคการแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่น (applicator) เพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร โดยสามารถออกแบบให้สามารถกำเนิดความถี่และปรับขนาดของกำลังงานได้ตามต้องการ ทั้งนี้กำลังงานเอาต์พุตที่ได้จากวงจรถูกกำเนิดความถี่สูงจะส่งผ่านไปยังภาควงจรการแผ่กระจายกำลังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เป็นส่วนของตัวปล่อยคลื่นในภาคสุดท้ายของระบบ เพื่อให้พลังงานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปยังตัวกลางที่มีการสูญเสียที่เป็นวัสดุไดอิเล็กตริกหรือตัวแมลงศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ต่อไป



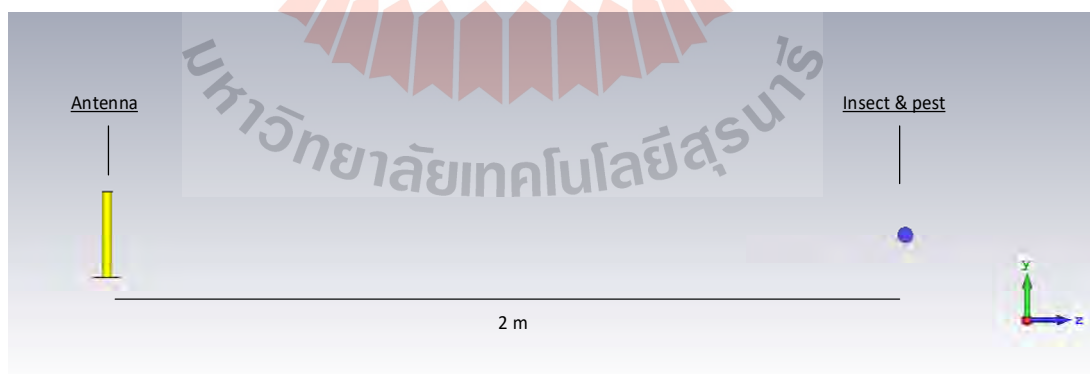
รูปที่ 3.14 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องกำจัดและขับไล่แมลงศัตรูพืชด้วยหลักการแผ่พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง

การจัดวางระบบโครงสร้างของสายอากาศในการแพร่คลื่นสัญญาณภายในโกดังเก็บข้าวเปลือกขนาดใหญ่ ใช้เป็นรูปแบบของการวางสายอากาศให้กระจายไปทั่วโกดังเก็บข้าวเปลือก โดยสายอากาศทั้งหมดจะถูกแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ติดตั้งอยู่กับเพดานของโกดังและส่วนที่ใช้เสียบไว้ที่กองข้าวเปลือก ดังแสดงในรูปที่ 3.15 เพื่อให้สามารถไล่มอดและแมลงได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โคนส่วนที่ติดตั้งไว้บนเพดานของโกดังจะแพร่คลื่นเพื่อไล่แมลงที่อยู่ภายในอากาศ เมื่อแมลงได้รับพลังงานจากการแพร่คลื่นทำให้ตัวของแมลงมีการสะสมความร้อน และในส่วนของสายอากาศที่เสียบไว้ที่กองข้าวเปลือกจะแพร่คลื่นเข้าไปในกองข้าวเปลือกและอากาศที่อยู่ในโกดัง ทำให้มอดและแมลงที่อยู่ในกองข้าวเปลือกและอากาศพลังงานจากการแพร่คลื่นและทำให้เกิดความร้อนสะสมเช่นเดียวกับการแพร่คลื่นของสายอากาศที่ติดตั้งอยู่บนเพดานของโกดัง



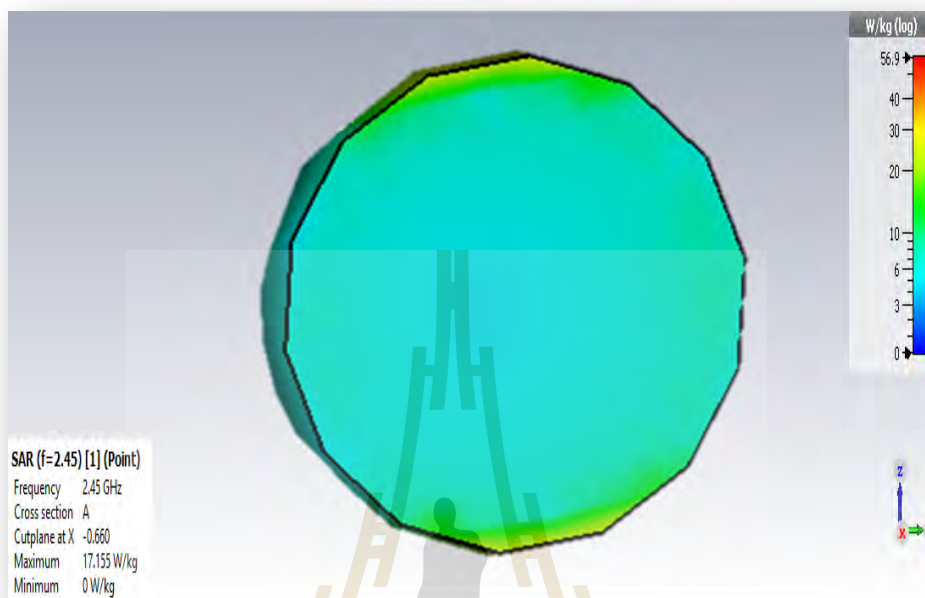
รูปที่ 3.15 การติดตั้งสายอากาศของเครื่องไล่แมลงภายในโกดังเก็บข้าวเปลือก

ในการออกแบบระบบเครื่องขับไล่แมลงในโรงเก็บข้าวนี้จะมีการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม CST EM Software โดยตำแหน่งที่ใช้ในการออกแบบจากตัวปล่อยคลื่นไปยังตัวทดสอบหรือแมลงจะห่างกัน 2 เมตร เพื่อหาอัตราการดูดซับพลังงานของวัสดุที่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงรู้สึกรำคาญจนบินหนีออกจากบริเวณนั้น ซึ่งการจำลองแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ระยะห่างระหว่างตัวปล่อยคลื่นและแมลง

สำหรับการจำลองแมลงตัวแมลงในโปรแกรม CST Microwave Studio โดยทำการจำลองแมลงให้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดแมลงจริงมากที่สุด ซึ่งจำลองลักษณะเป็นทรงกลมโดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ผลการ Simulation อัตราการดูดซับพลังงานของตัวแมลง

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นว่าตัวแมลงสามารถดูดซับคลื่นพลังงานได้ ต่อไปก็จะนำค่าที่ได้จากผลการ Simulation คือค่าอัตราการดูดซับไปคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากสมการที่ (2.8) ทำให้ทราบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนทำให้แมลงราคาญและหนีไปโดยใช้เวลาเท่าไร

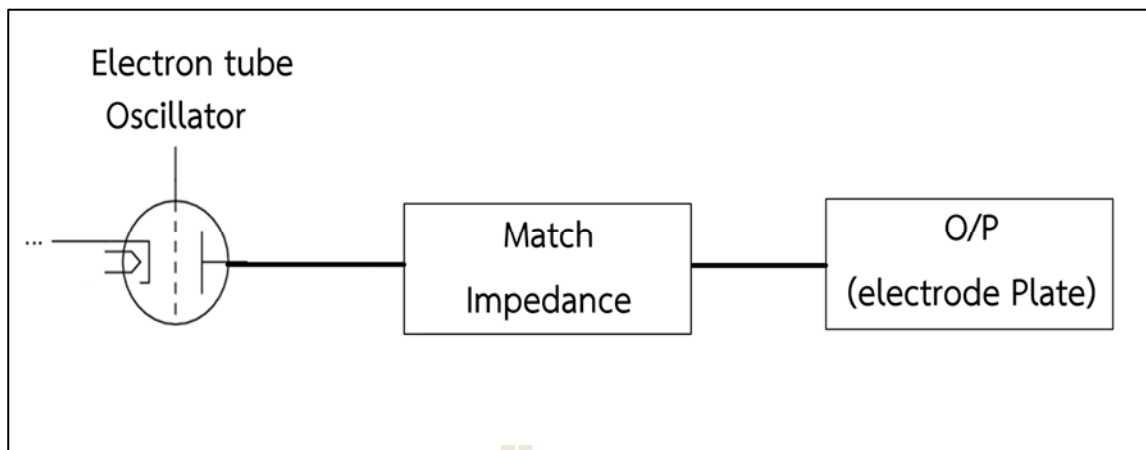
สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง จะต้องมีการวิเคราะห์และการออกแบบสายอากาศปากแตรและสายอากาศรอบตัวสำหรับประยุกต์ใช้กับการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว ซึ่งในการออกแบบสายอากาศดังกล่าวนี้ใช้โปรแกรม CST เพื่อหาค่าขนาดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของสายอากาศ จากผลการจำลองแบบทำให้สายอากาศมีแบนด์วิดท์ที่กว้างครอบคลุมย่านความถี่ปฏิบัติการสำหรับการขับไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งมีแบบรูปการแผ่กระจายกำลังงานของสายอากาศเป็นแบบมีทิศทาง และได้ทำการจำลองดูการตอบสนองทางความถี่ของแมลง เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงซึ่งได้เห็นถึงการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติทางไดอิเล็กตริก และได้ทำการจำลองเพื่อนหาค่าการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียเป็นความร้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

3.2 เครื่องกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อการออกแบบเครื่องที่มีขนาดกำลังการผลิต 1 ตัน/ชั่วโมง สำหรับกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยระบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือชุดแหล่งจ่ายกำลังงาน ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่และขยายกำลังงานสูง และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นภาคส่วนการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์ โดยแต่ละภาคส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดของการออกแบบอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าบนตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต สำหรับให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก โดยได้วิเคราะห์เพื่อนำไปสู่การออกแบบขนาดของตัวสร้างสนามไฟฟ้าที่เหมาะสม และทดสอบกับไดอิเล็กตริกของข้าวเปลือก ซึ่งใช้เมล็ดพันธุ์ข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่างในการวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก เพื่อพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยระบบของการทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ประกอบด้วยวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน (Power source) และภาควงจรให้ความร้อนไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) ในส่วนของวงจรภาคแหล่งจ่ายกำลังงาน ใช้หลอดไดอิเล็กตรอนกำลังงานสูงสำหรับกำเนิดสัญญาณและขยายสัญญาณและภาควงจรให้ความร้อนใช้วงจรแมตซ์ซิง RLC เรโซแนนซ์แบบอนุกรม ก่อนที่จะส่งกำลังงานไปยังภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกต่อไป โดยบล็อกไดอะแกรมของระบบแสดงดังรูปที่ 3.18 โครงสร้างการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกซึ่งส่วนสำคัญที่เป็นส่วนให้พลังงานความร้อนคือ สนามไฟฟ้าที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลต ดังนั้นการวิเคราะห์ลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีผลต่อการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกและให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานจึงเป็นสิ่งที่ต้องให้ความสำคัญ โดยในบทนี้ได้พิจารณาถึงการวิเคราะห์และการออกแบบลักษณะการส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยใช้การคำนวณจากสมการในบทที่ 2 อัตราการเกิดพลังงานในไดอิเล็กตริก เพื่อนำมาสู่การหาอัตราของความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ต้องใช้ และพลังงานที่เหมาะสมต่อการเกิดสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลต และนำมาสู่การจำลองผลด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio เพื่อวิเคราะห์ถึงการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าที่กระจายตัวให้ได้อย่างเหมาะสม ซึ่งได้พิจารณาถึง ขนาดกำลังงานที่ใช้ และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่สุดต่อขนาดพื้นที่การให้ความร้อน



รูปที่ 3.18 บล็อกไดอะแกรมเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์

3.2.2 การวิเคราะห์การส่งผ่านความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กทริก

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กทริก โดยสามารถพิจารณาจากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของวัสดุไดอิเล็กทริกได้ วัสดุไดอิเล็กทริกจะแปลงพลังงานไฟฟ้าที่ย่านความถี่วิทยุและไมโครเวฟให้เป็นพลังงานความร้อน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการทำอันตรกิริยากันระหว่างพลังงานและตัวกลางที่มีคุณสมบัติเป็นไดอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้วและสามารถเหนี่ยวนำคลื่นความถี่วิทยุให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยพลังงานที่เกิดขึ้นในวัสดุไดอิเล็กทริกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.1)

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

เมื่อทราบถึงพลังงานที่เกิดขึ้นภายในวัสดุไดอิเล็กทริก จึงสามารถนำมาสู่การคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้เพื่อทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กทริกโดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.2)

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

3.2.3 การวิเคราะห์และออกแบบวงจรภาคการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

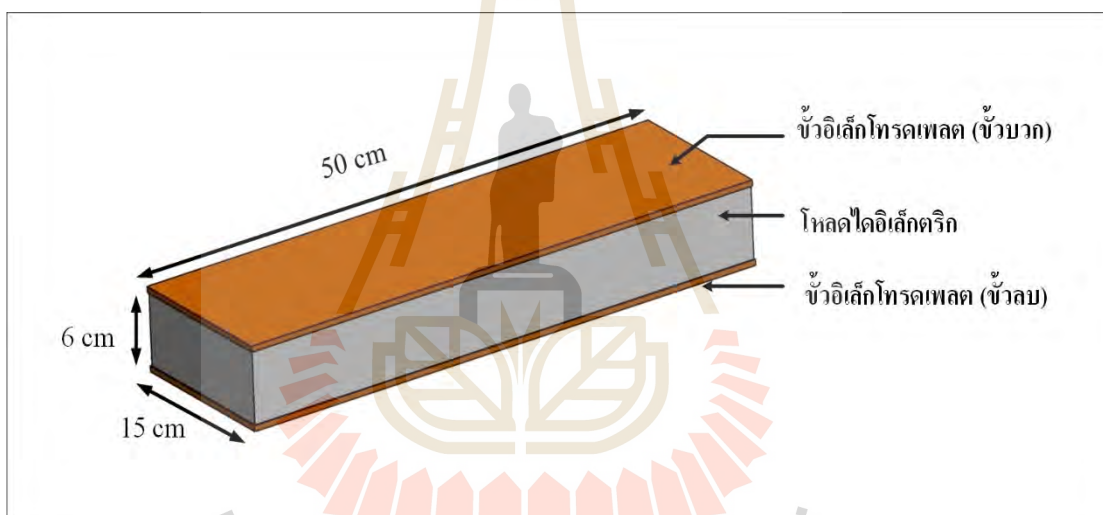
สำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนั้นเป็นวิธีการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจาก จะสร้างสนามไฟฟ้าสลับระหว่างขั้วไฟฟ้า โดยวัสดุที่ต้องการให้ความร้อนนั้นจะต้องวางหรือลำเลียงอยู่ระหว่างขั้วของตัวปล่อยคลื่นหรืออิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลต ซึ่งจะทำให้เกิดการสลับขั้วของโมเลกุลในวัสดุไดอิเล็กตริกอย่างต่อเนื่อง เพื่อเปลี่ยนทิศทางขั้วคู่กับขั้วตรงข้าม แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของโมเลกุลเป็นสาเหตุให้วัสดุร้อนอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้โดยการใช้พลังงานที่มากกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นสนามไฟฟ้า ความถี่สูง ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นวัสดุที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ภายในตัวกลางนั้น ๆ จากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นไดโพลที่มีผลต่อไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามไฟฟ้านั้นซึ่งสนามไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามไฟฟ้าจากภายนอก ทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น โดยตำแหน่งอื่นที่ทำให้เกิดการโพลาไรซ์จากประจุที่บริเวณผิวของตัวกลางที่แตกต่างกับประจุไฟฟ้าในอากาศ หรือการโพลาไรซ์ของแมกซ์เวลล์ (Maxwell-wagner polarisation) โครงสร้างของการโพลาไรซ์ของแมกเวลล์โดยเป็นการสลับกลับไปมาของการโพลาไรซ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงสลับทิศทาง (ขั้ว) ไปมาอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นกลไกพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยใช้คลื่นความถี่สูง

การพิจารณาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าสำหรับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกถือเป็นส่วนที่สำคัญมาก เนื่องจากเป็นส่วนที่กระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกดังกล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะตัวปล่อยคลื่นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตโดยผ่านวัสดุตัวกลางที่มีการสูญเสียหรือวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพต่อการให้ความร้อนมากที่สุด โดยสามารถพิจารณาการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ที่เกิดจากตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตในหัวข้อต่อไป

3.2.4 การวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกขนาด 1 ตัน/ชั่วโมง

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีผลจากตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตเป็นส่วนสำคัญสำหรับการพิจารณา เนื่องจากเป็นส่วนที่สามารถทำให้ทราบได้ว่า พื้นที่แต่ละส่วน มีส่วนไหนบ้างที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้ามากที่สุด และส่วนไหนที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยที่สุด รวมถึงการพิจารณาเพื่อปรับปรุงให้ตัวปล่อยคลื่นมีการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าได้ทั่วพื้นที่มาก

ที่สุด ซึ่งการออกแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมงนั้น ซึ่งสามารถคำนวณได้ว่าใน 1 วินาที จะต้องได้ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริก 0.277 กิโลกรัม หรือ 10 วินาทีที่ต้องได้ข้าวประมาณ 2.77 กิโลกรัม ดังนั้น ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตจะต้องมีขนาดและปริมาตรที่สามารถบรรจุข้าว ไม่ต่ำกว่า 2.77 กิโลกรัม และต้องไหลออกจากตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตภายใน 10 วินาที ซึ่งตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสมดุลและขนาดของแผ่นเพลต ซึ่งจะเป็นผลต่อการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของระบบ (ชาญชัยทองโสภานและสำราญ สันทาลุณย์, 2555) โดยจากการออกแบบเพื่อให้ได้ระบบดังกล่าวและมีความเหมาะสมที่สุด จึงได้ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 15 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 50 เซนติเมตร และระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต เท่ากับ 6 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ขนาดตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกที่มีขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมง

3.2.5 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในข้าว

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กทริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กทริก ซึ่งข้าวเป็นไดอิเล็กทริก ในการให้ความร้อนเพื่อใช้เปรียบเทียบกับการวัดผลทดสอบ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา (B.R. Bekkulov 2018) พบว่าข้าวเปลือกมีค่าความร้อนจำเพาะ (c) มีค่าเท่ากับ $2458 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 650 kg/m^3 (B.R. ดังนั้น จากสมการที่ (3.1) จึงสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในข้าวเปลือก (P) ที่เวลาต่าง ๆ และคำนวณความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสมการที่ (3.2) ต่อขนาดของข้าวแสดงได้ดังนี้

ที่ 50 °C และให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิเท่ากับ 28 °C ใช้การคำนวณที่เวลา 10 วินาที โดยที่ค่า ความร้อนจำเพาะของข้าวเปลือก (C) มีค่าเท่ากับ 2458 $\text{kJ/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 650 kg/m^3 โดยค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วยปริมาตรที่เป็นตารางเมตร แต่การออกแบบขนาดของข้าวที่อยู่ในเพลตนั้นจะมีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร และ สูง 6 เซนติเมตร ดังนั้น ข้าวจึงมีปริมาตรเท่ากับ 0.0045 m^3 สำหรับขนาด 1 ต้น/ชั่วโมง เมื่อคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาตรของข้าวแต่ละขนาดจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดัง ตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าความความเข้มของสนามไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นการงอก ณ เวลาใด ๆ

เวลา (วินาที)	กำลังงานที่สะสม (kW)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
1	158.17	16,225.52
2	79.09	11,473.18
3	52.73	9,367.99
4	39.54	8,112.92
5	31.34	7,256.41
6	26.36	6,624.17
7	22.60	6,132.79
8	19.77	5,736.70
9	17.58	5,408.61
10	15.82	5,131.06

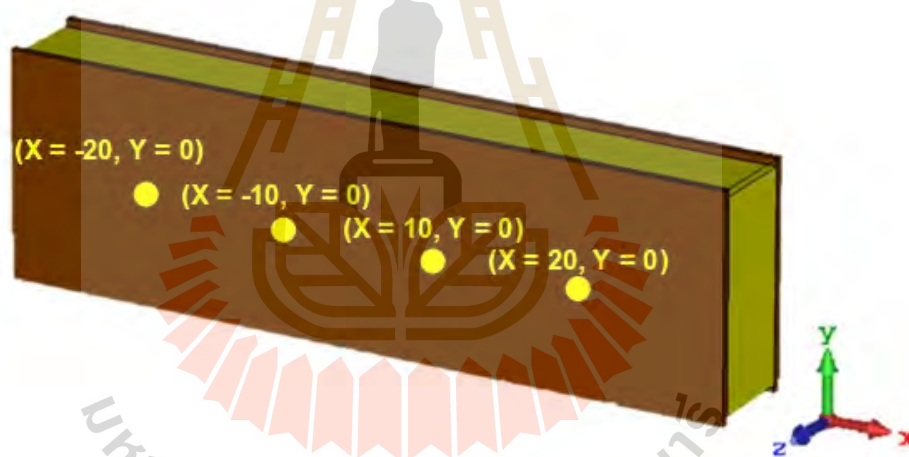
- การพิจารณาการให้ความร้อนด้วยโปรแกรม CST

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมและการแพร่กระจายเต็มพื้นที่การใช้งาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา (สำราญ สันทาลุนัย, 2557) ทำการวิจัยไว้ว่าแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีลักษณะที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานด้านการเกษตร และการป้องกันกำลังงานเป็นลักษณะแบบสมมาตรมีความเหมาะสมต่อการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้มีการเลือกใช้ขนาดของแผ่นเพลตที่มีความกว้างเท่ากับ 15 เซนติเมตร และความยาวเท่ากับ 50 เซนติเมตร เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ โดยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เพลตทั้ง 2 แผ่นมีระยะห่างกันเท่ากับ 6 เซนติเมตร และใช้ค่าคุณสมบัติเฉพาะข้าวเปลือกเป็นโหลดไดอิเล็กทริกสำหรับการจำลอง ทั้งนี้เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าต่อกำลังงานที่ใช้ จึงเลือกใช้วิธีการป้องกันกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ซึ่งเป็นการป้องกันกำลังงานแบบสมมาตร และใช้กำลังอินพุต

ที่ 2,000 วัตต์ จนถึง 10,000 วัตต์ โดยพิจารณาจากการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO สำหรับวิเคราะห์ผลทั้งหมด ซึ่งในการจำลองได้กำหนดความถี่ที่ใช้ในการจำลอง 39 MHz ความยาวคลื่นเท่ากับ 7.7 เมตร จำนวนกริดเซลล์ที่ใช้ในการคำนวณ 500,000 กริด ใช้เวลาในการคำนวณ 20 นาที กำหนดพอร์ตสัญญาณเป็นแบบ Discrete Port ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปอ้างอิงตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.20

ตารางที่ 3.2 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น

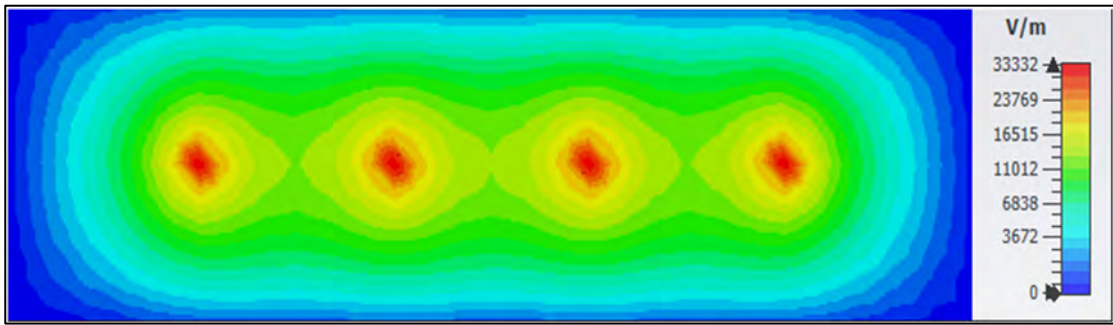
ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงาน			
	พอร์ต 1	พอร์ต 2	พอร์ต 3	พอร์ต 4
1	(X=-20, Y=0)	(X=-10, Y=0)	(X=10, Y=0)	(X=20, Y=0)



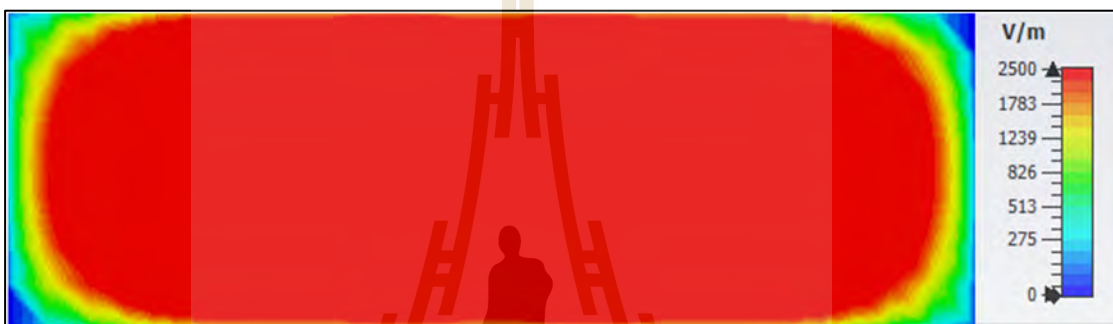
รูปที่ 3.20 ตำแหน่งการป้อนกำลังงานแบบ 4 พอร์ต

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 2,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 2,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.21 โดยในรูปที่ 3.21 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 33,332 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 2,500 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 2,500 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.21 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 2,000 วัตต์

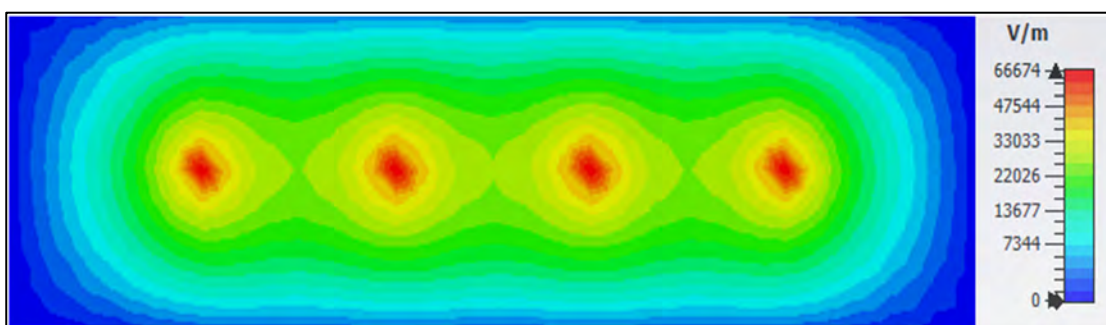


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

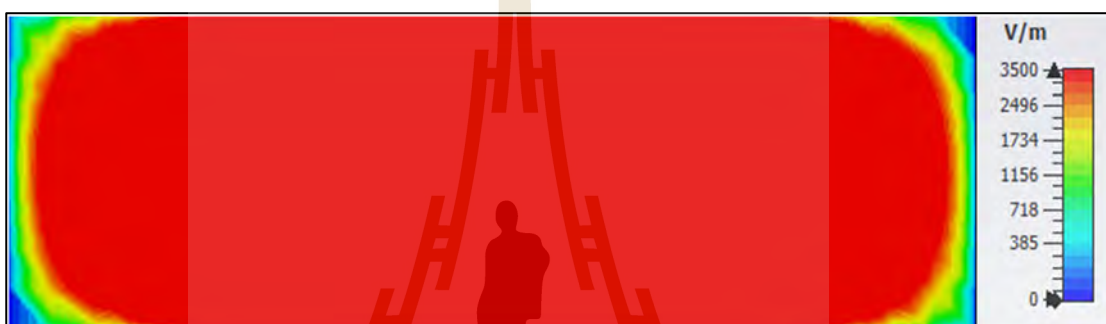
รูปที่ 3.21 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 2,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 4,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 4,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.22 โดยในรูปที่ 3.22 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 66,674 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 3,500 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 3,500 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.22 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 4,000 วัตต์

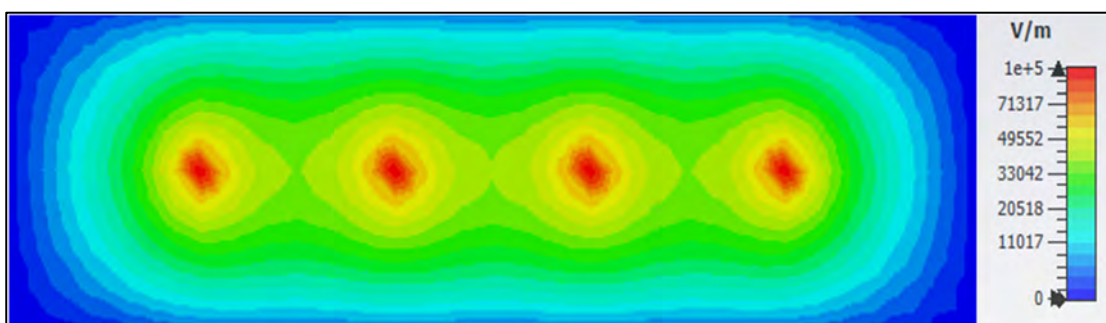


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

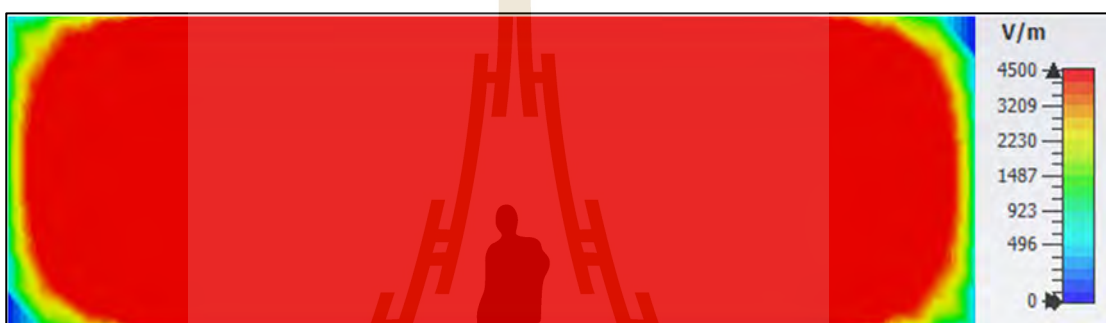
รูปที่ 3.22 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 4,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

• การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 6,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 6,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.23 โดยในรูปที่ 3.23 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 100,000 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ และ 4,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,500 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,500 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.23 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 6,000 วัตต์

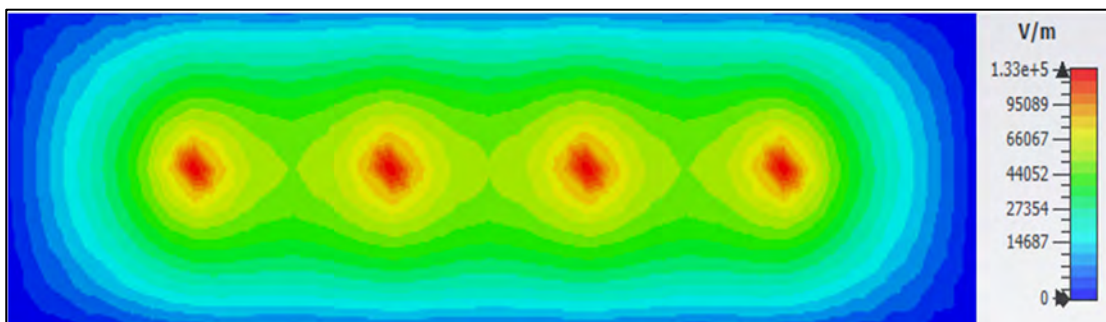


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

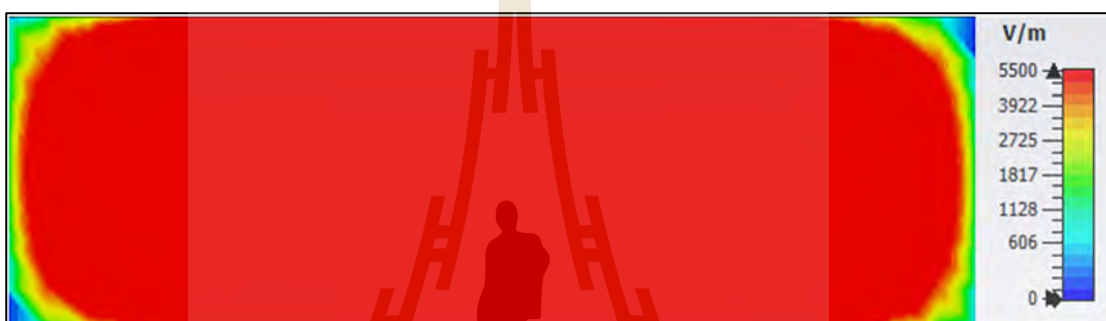
รูปที่ 3.23 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 6,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 8,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 8,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.24 โดยในรูปที่ 3.24 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 133,000 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ 4,000 วัตต์ และ 6,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 5,500 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 5,500 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.24 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 8,000 วัตต์

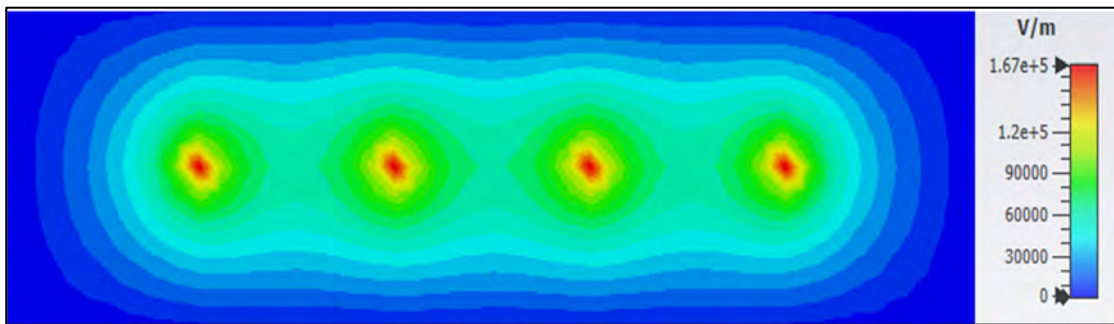


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

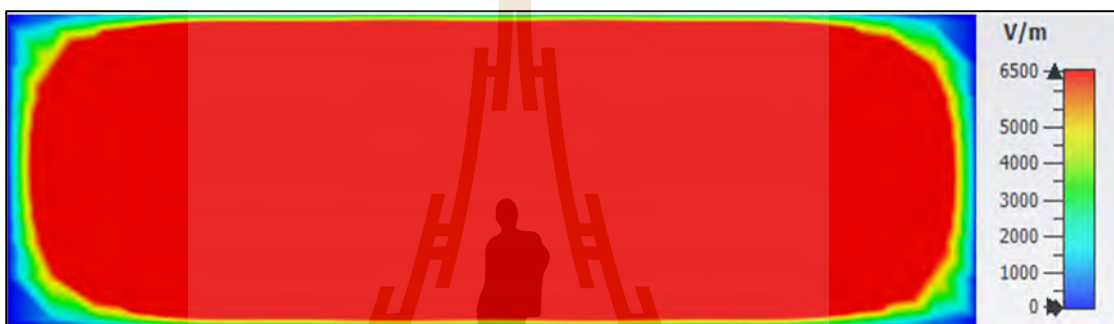
รูปที่ 3.24 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 8,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

• การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 10,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 10,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.25 โดยในรูปที่ 3.25 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 167,000 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ 4,000 วัตต์ 6,000 วัตต์ และ 8,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 6,500 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 6,500 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.25 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 10,000 วัตต์



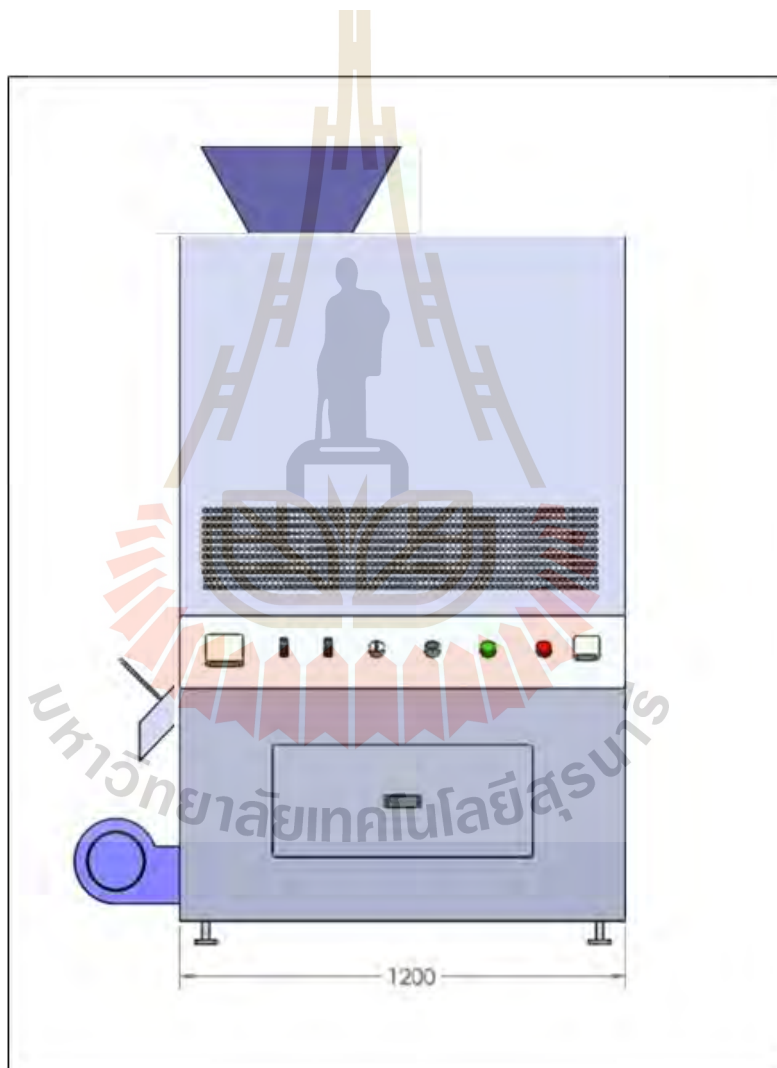
(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

รูปที่ 3.25 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 10,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 3 เซนติเมตร

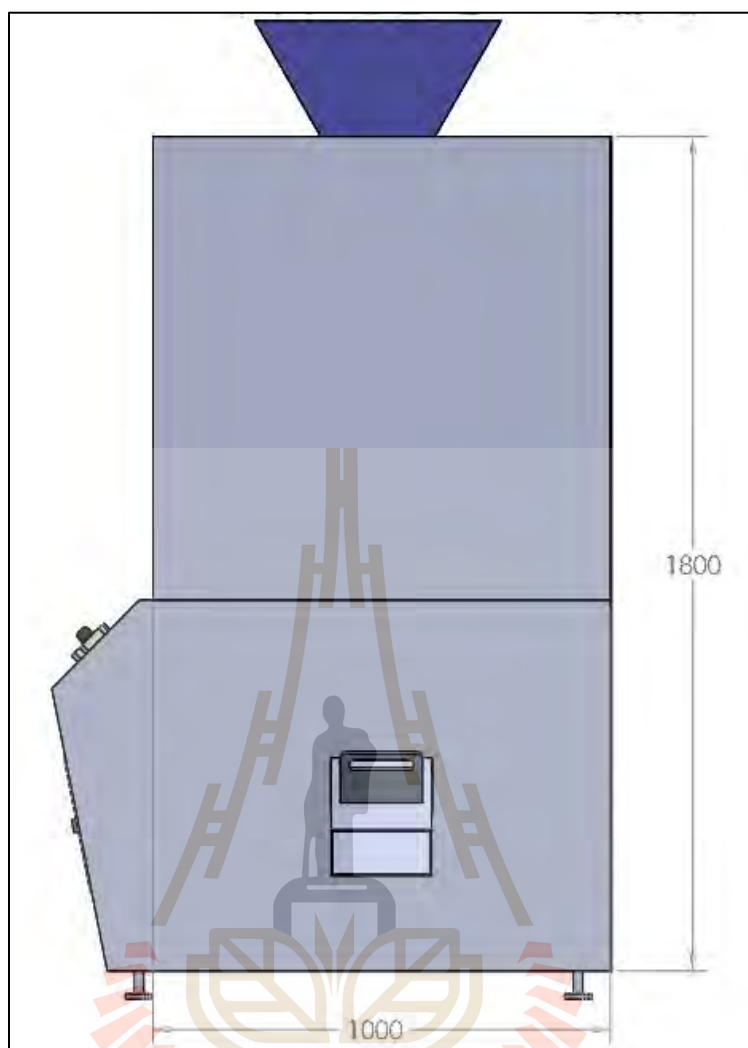
จากผลการจำลองโดยใช้กำลังงานตั้งแต่ 2,000 วัตต์ ถึง 10,000 วัตต์ แล้ววิเคราะห์ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลตสามารถสรุปได้ดังนี้ เมื่อใช้กำลังงาน 2,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2,500 V/m กำลังงาน 4,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3,500 V/m กำลังงาน 6,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4,500 V/m กำลังงาน 8,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5,500 V/m กำลังงาน 10,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 6,500 V/m เมื่อทราบผลการวิเคราะห์สามารถนำไปเพื่อออกแบบตัวเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับกระตุ้นการออกเมล็ดข้าวพันธุ์ขนาด 1 ต้นต่อชั่วโมงต่อไป

3.2.6 การออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์ ขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมง

จากขนาดของแผ่นอิเล็กโทรดเพลตที่ออกแบบเพื่อให้สามารถกระตุ้นการงอกข้าวให้
มีขนาดไม่เกิน 1 ตัน/ชั่วโมงนั้น การออกแบบโครงสร้างของระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ
เพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะใส่
อุปกรณ์การออกแบบทั้งหมด ในระบบนี้จึงใช้โครงสร้างที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 1,200 มิลลิเมตร
ความยาวเท่ากับ 1,000 มิลลิเมตร และ ความสูงเท่ากับ 1,800 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.26 ซึ่งจะ
แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานและส่วนการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก



(ก) ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้านหน้า



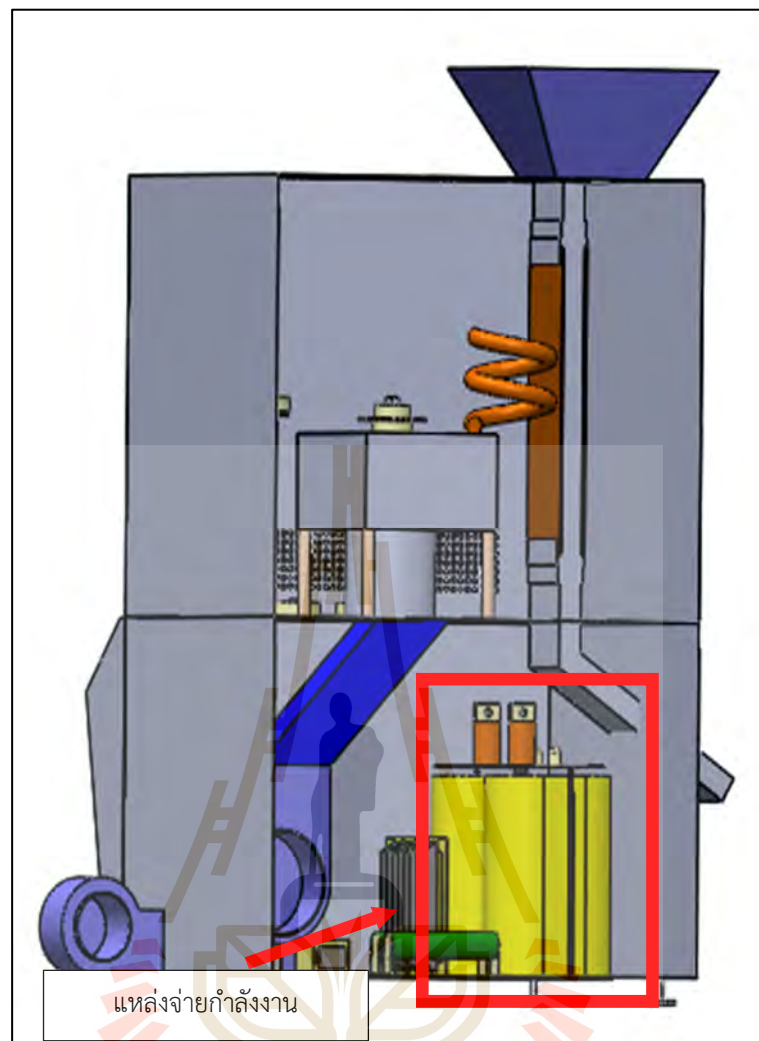
(ข) ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้านข้าง

รูปที่ 3.26 ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกข้าว
พันธุ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง

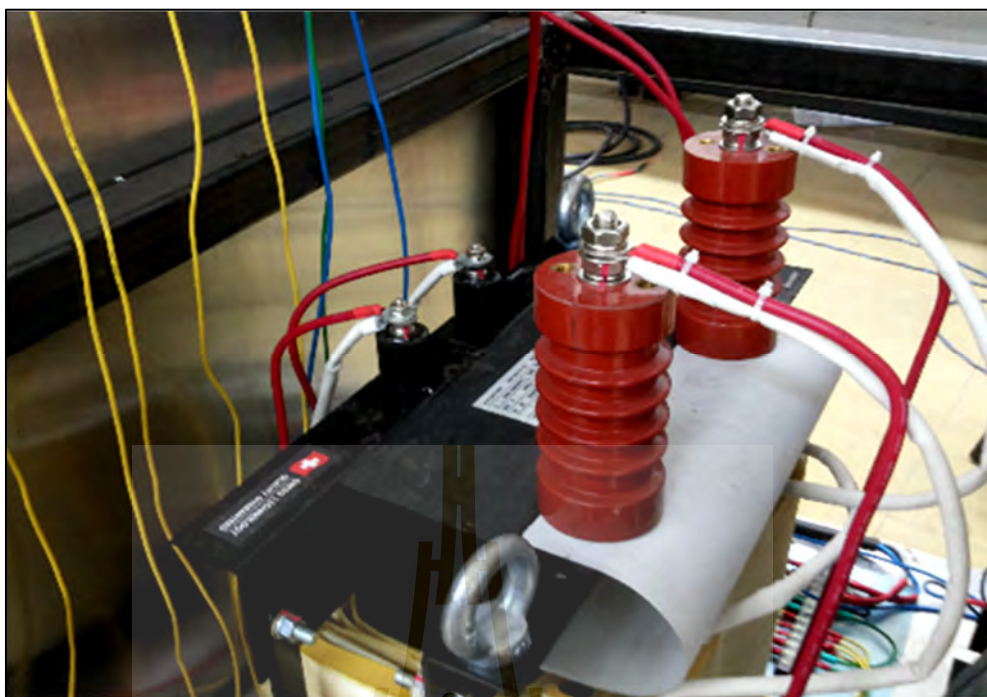


รูปที่ 3.27 ต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกที่สร้างขึ้นตามทีออกแบบ

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ ภาควงจรแมตซ์ชิงอิมพีแดนซ์และ ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณโดยใช้หลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) และเนื่องจากผลการจำลองและการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังงานที่เอาต์พุตเพลตประมาณ 10 KW แต่ประสิทธิภาพการทำงานของหลอดอิเล็กตรอนจะอยู่ที่ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงใช้แหล่งจ่ายที่มีกำลังงานประมาณ 16 KW และอยู่ในช่วงความถี่ 10 – 80 MHz ซึ่งการจัดวางระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.28 และระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงที่ติดตั้งแล้วแสดงดังรูปที่ 3.29

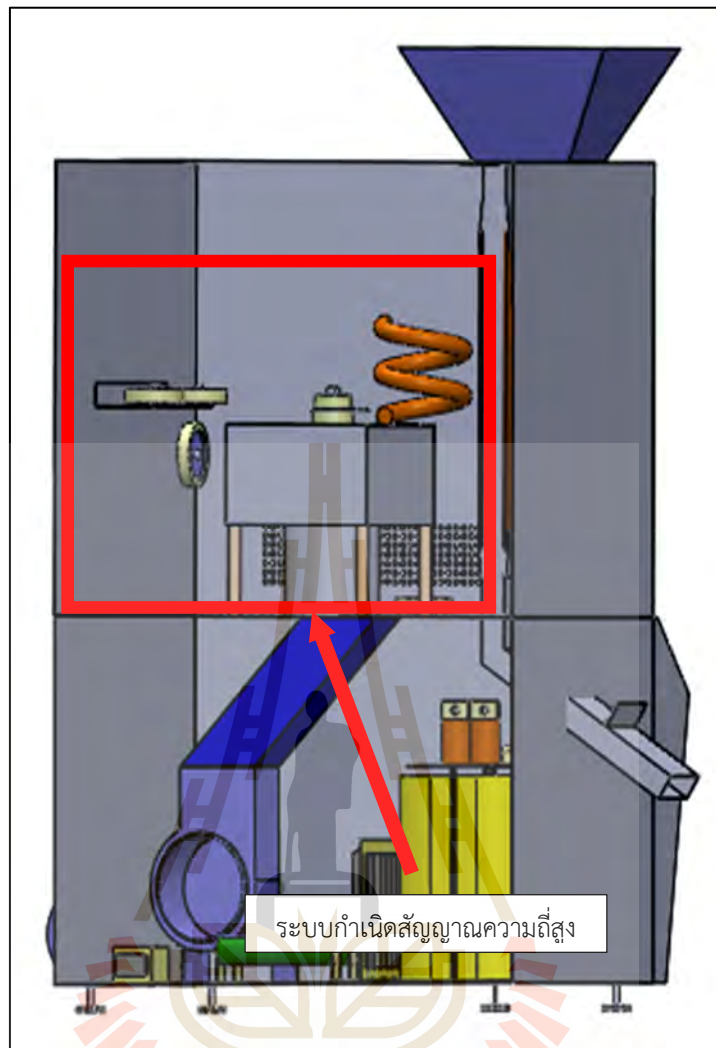


รูปที่ 3.28 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริก
สำหรับกระตุ้นการงอกข้าวพันธุ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง

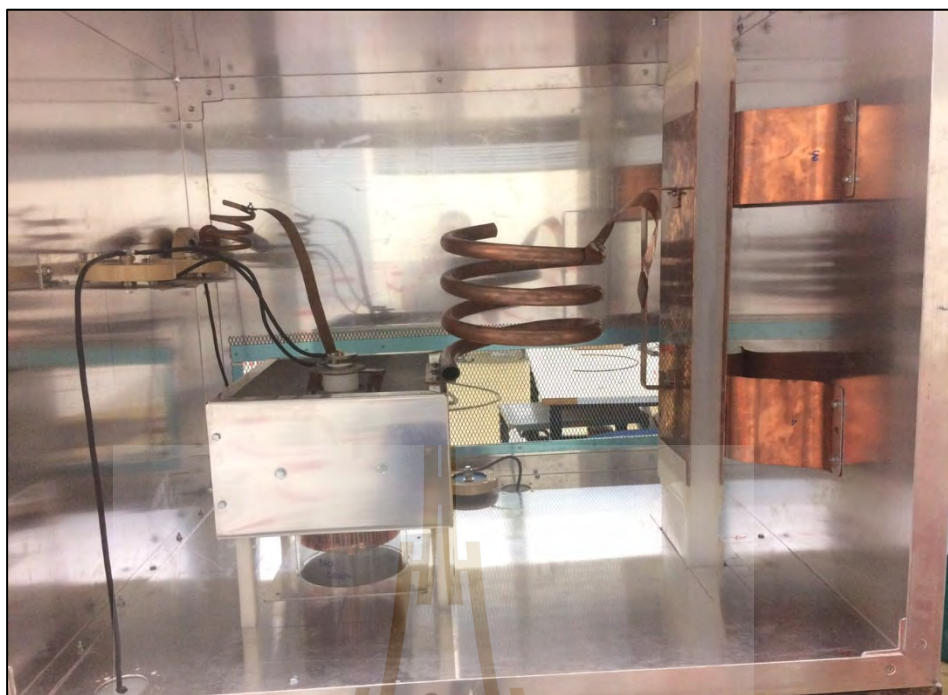


รูปที่ 3.29 ระบบแหล่งจ่ายกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้ว

สำหรับการออกแบบชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) ด้วยหลอดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของหลอดอิเล็กทรอนิกส์จะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อกระตุ้นการออกพันธู์ขาว ซึ่งการจัดวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.30 และระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้วสามารถแสดงดังรูปที่ 3.31

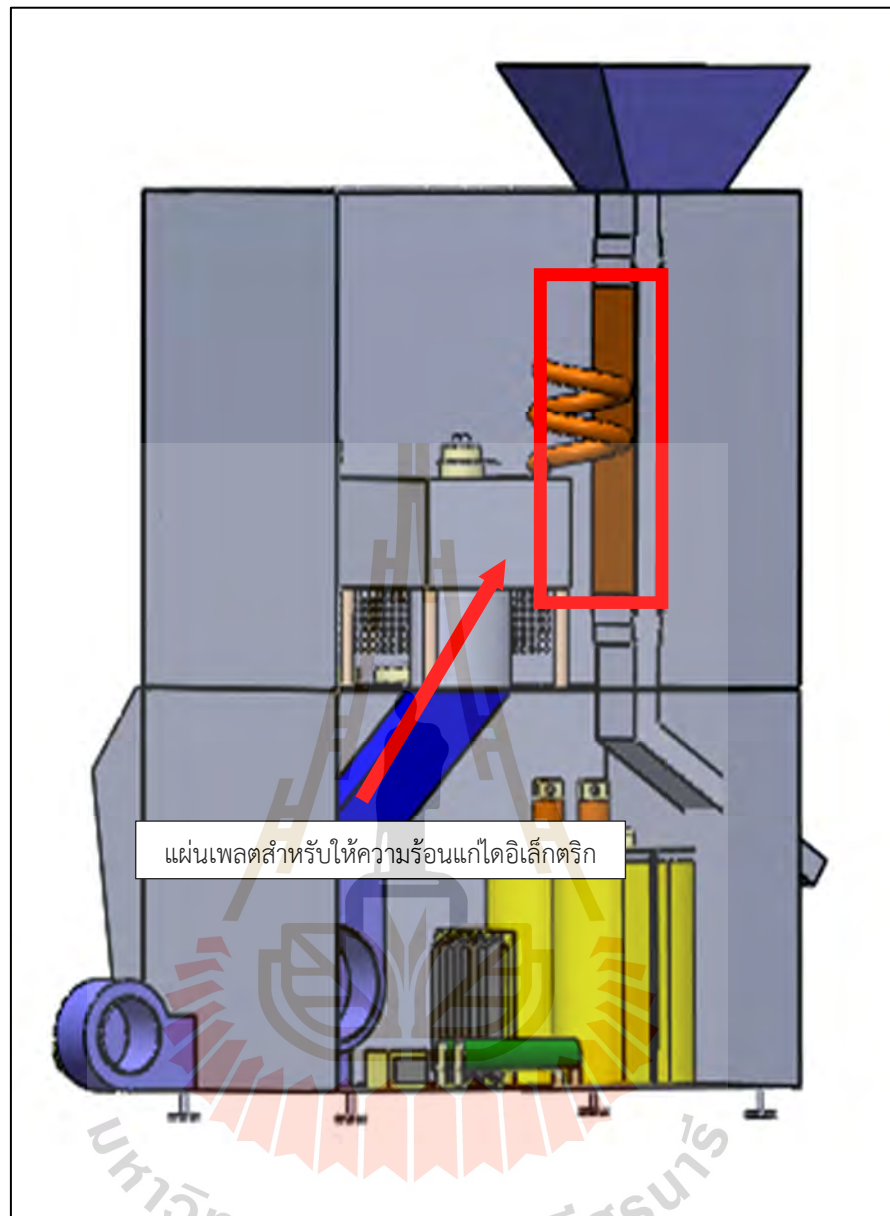


รูปที่ 3.30 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.31 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง

สำหรับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการพิจารณาตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งสามารถกระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม จึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางการไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์ประจุบวกไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตแสดงดังรูปที่ 3.32 และการติดตั้งจริงแสดงดังรูปที่ 3.33 และระบบที่ออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวที่มีขนาดไม่เกิน 1 ต้น/ชั่วโมง ที่พร้อมใช้งานและทดสอบติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.32 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็คโตรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดโอดีลทริก สำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.33 การติดตั้งอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเฟลต



รูปที่ 3.34 เครื่องกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าวที่เสร็จสมบูรณ์ขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนไดอิเล็กทริกด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของข้าวเปลือก และใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กทริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับกระตุ้นการงอกพันธุ์ข้าว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องที่มีขนาดไม่เกิน 1 ตันต่อชั่วโมง สำหรับทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกในบตต่อไป

3.3 เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสาร ในกระสอบ

ในส่วนการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนแกไดอิเล็กทริก เพื่อการออกแบบเครื่องสำหรับกำจัดมอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ ดังนั้นในบตนี้ จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับ

หม่อมอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ โดยระบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือชุดแหล่งจ่ายกำลังงาน ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่และขยายกำลังงานสูง และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นภาคส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าว โดยแต่ละภาคส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดของการออกแบบอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในหม่อมอดข้าว

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งใช้หม่อมอดข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่าง ในการให้ความร้อน โดยจากการศึกษาประสิทธิภาพการหม่อมอดข้าวพบว่า หม่อมอดข้าวจะตายได้เมื่อเกิดอุณหภูมิความร้อนภายในตัวอยู่ที่ประมาณ 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) จึงสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในตัวหม่อมอดข้าว (P) ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิเท่ากับ 25°C ใช้การคำนวณที่เวลา 5 วินาที โดยที่ค่า ความร้อนจำเพาะของหม่อมอดข้าว (c) มีค่าเท่ากับ $3.450 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 1000 kg/m^3 โดยค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วยปริมาตรที่เป็นตารางเมตร แต่จากการสำรวจประสิทธิภาพการหม่อมอดข้าวมีขนาดตัวโดยมาตรฐาน กว้าง 1 มิลลิเมตร ยาว 3 มิลลิเมตร และ สูง 1 มิลลิเมตร ดังนั้นหม่อมอดข้าวจึงมีปริมาตรเท่ากับ 3 mm^3 เมื่อคำนวณหาพลังงานที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวหม่อมอดที่เวลา 5 วินาที จึงเท่ากับ 51.75 วัตต์ และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที

เมื่อได้ค่าความหนาแน่นพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวหม่อมอดข้าวของแต่ละช่วงเวลา จึงสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวหม่อมอดข้าวที่จะต้องให้ทั้งหมด โดยใช้สมการที่ (3.2) ในการพิจารณา ซึ่งจะเห็นว่าในสมการที่ (3.2) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกสองตัวคือ ช่วงความถี่ที่ใช้งานและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (**Dielectric loss factor**) โดยจากประสิทธิภาพการหม่อมอดข้าวในงานวิจัยของ **Nelson 1991** ได้นำเสนอช่วงความถี่ที่เหมาะสมและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกของหม่อมอดข้าวไว้ โดยพบว่าช่วงความถี่ประมาณ 10 ถึง 80 MHz เป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการใช้เพื่อการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวซึ่งมีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกโดยเฉลี่ยประมาณ 2.24 และใช้ความถี่ในการคำนวณ **39 MHz** ซึ่งจากสมการที่ (3.2) สามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าภายในที่ต้องใช้ที่เวลาต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวเท่ากับ 51.75 วัตต์ ที่เวลา 5 วินาที เมื่อคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมกับปริมาตรของตัวมอดที่ จึงได้เท่ากับ 103.19 V/m และจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาทีสามารถ แสดงได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้ มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ

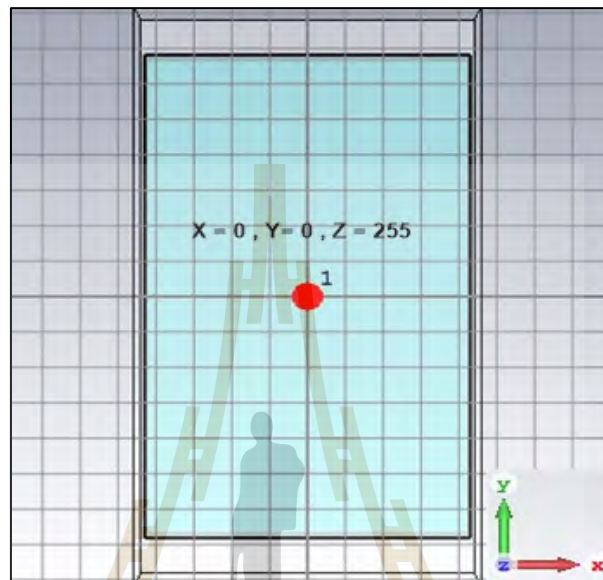
เวลา (วินาที)	กำลังงาน (วัตต์)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)
1	258.75	230.74
2	129.38	163.16
3	86.25	133.18
4	64.69	115.37
5	51.75	103.19
6	43.13	94.20
7	36.96	87.21
8	32.34	81.57
9	28.27	76.27
10	25.88	72.97

จากตารางที่ 3.3 แสดงค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ ซึ่งเป็นการคำนวณหาค่าอัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที จากการคำนวณโดยสมการที่ 3.3 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวตายเร็วต้องให้พลังงานที่ เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้ พลังงานน้อยลงด้วย

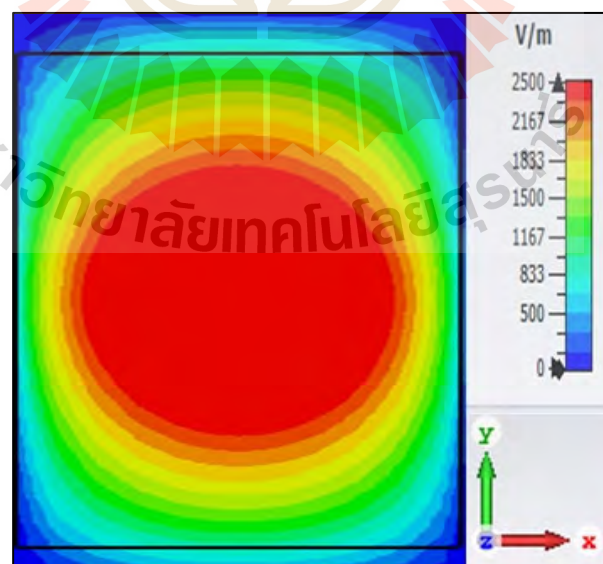
3.3.2 การวิเคราะห์การให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความ เข้มของสนามไฟฟ้าระหว่างที่มีโหลดไดอิเล็กตริก การออกแบบตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตให้ เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งาน ผู้วิจัยเลือกใช้แผ่นเพลตที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 45 cm ความยาวเท่ากับ 80 cm และความหนา เท่ากับ 5 mm เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ การจำลองเพื่อดูลักษณะ การกระจายของคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจะได้รู้ถึงการกระจายตัวของคลื่นให้ครอบคลุม วัสดุไดอิเล็กตริกได้ทั้งหมดในการจำลองการกระจายตัวของคลื่นสนามไฟฟ้าได้ใช้โปรแกรม CST EM

STUDIO ในการจำลอง โดยจะแบ่งการจำลองออกเป็น 2 แบบหลักโดยแบ่งตามจำนวนจุดป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลต แบบแรกเป็นการจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลต 1 จุดและจะแบ่งเป็นการจำลองย่อยอีก 3 แบบตามตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานให้กับเพลตการจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 1 จุด แสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.35

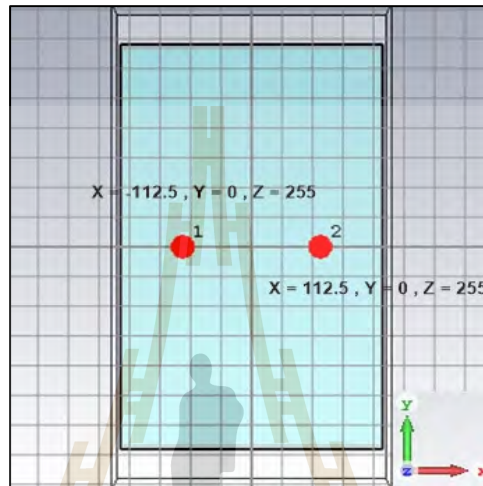


(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 1 จุด

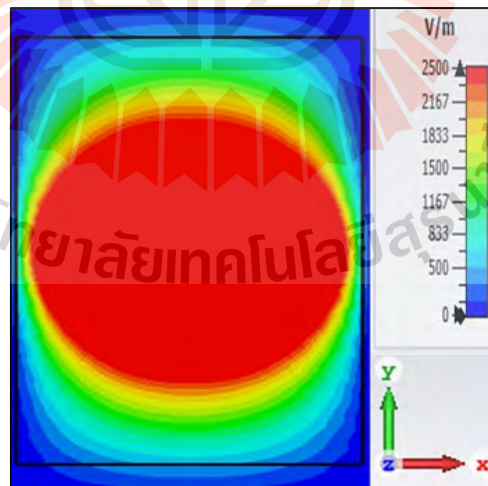


(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า
รูปที่ 3.35 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง

จากรูปที่ 3.35 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตจำนวน 1 จุด ในตำแหน่ง $x = 0$, $Z = 255$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าได้ตามรูปที่ 3.35 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานที่ตรงกลางโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ $2,500 \text{ V/m}$ ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กตริก การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.36



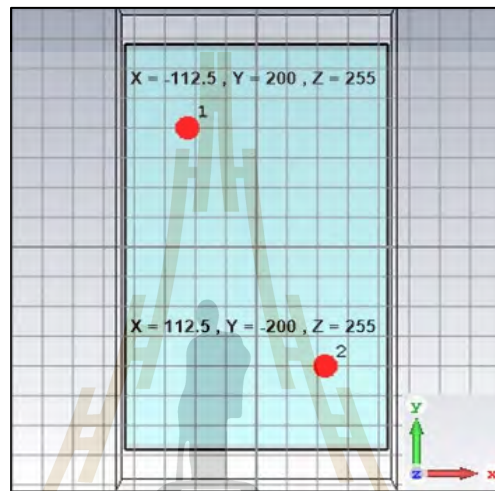
(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด



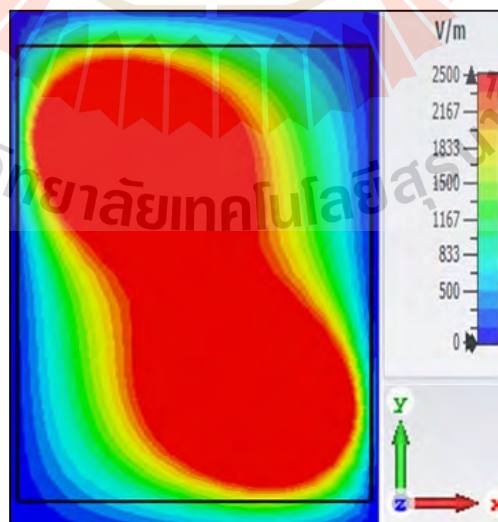
(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.36 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด

จากรูปที่ 3.36 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 1 ในตำแหน่งที่ 1 $X = -112.5$, $Y = 0$, $Z = 255$ ตำแหน่งที่ 2 $X = 112.5$, $Y = 0$, $Z = 255$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.36 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ 2,500 V/m ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กตริก การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.37



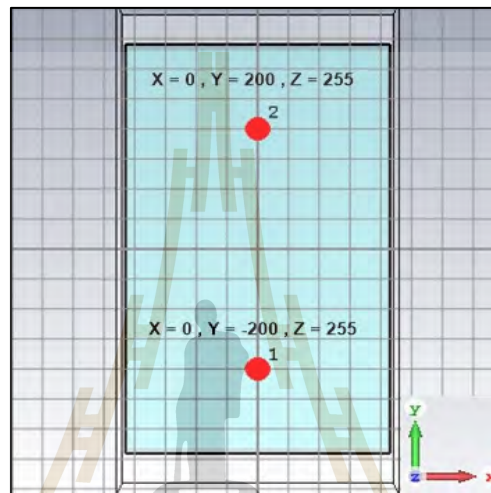
(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด (ทแยง)



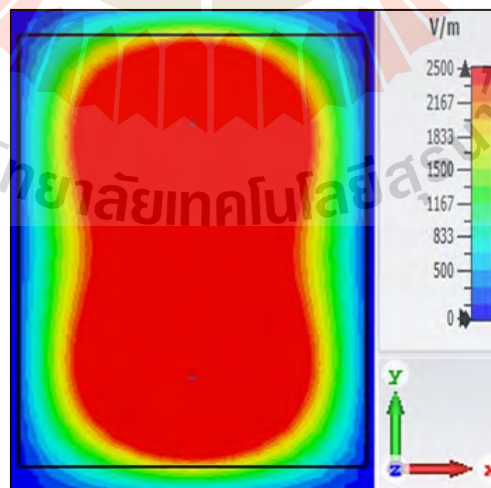
(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.37 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลองแบบ 2 จุด ทแยง

จากรูปที่ 3.37 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 2 ในตำแหน่งที่ 1 $X = -112.5$, $Y = 200$, $Z = 255$ ตำแหน่งที่ 2 $X = 112.5$, $Y = -200$, $Z = 255$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.37 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เพียงบริเวณตรงจุดป้อนกำลังงานโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ $2,500 \text{ V/m}$ ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กทริกเช่นเดียวกับการจำลองแบบที่ผ่านมา การจำลองป้อนกำลังงานให้แผ่นเพลตแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.38



(ก) ตำแหน่งจุดป้อนกำลังงานแบบ 2 จุด

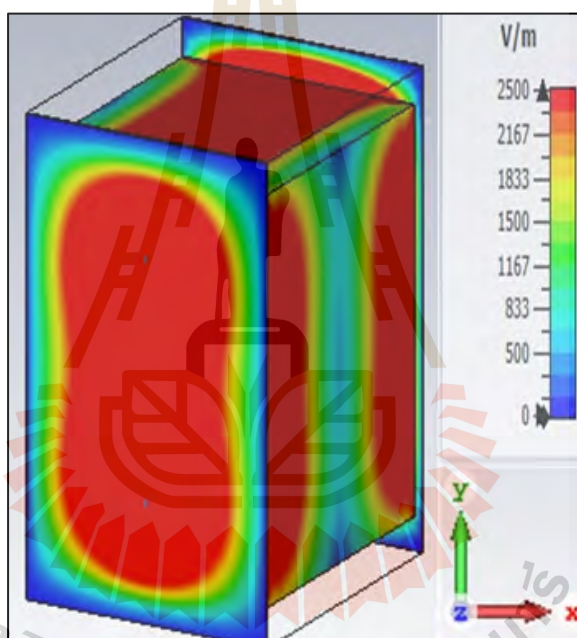


(ข) ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้า

รูปที่ 3.38 จำนวนจุดป้อนกำลังงานและผลการจำลอง แบบ 2 จุด

จากรูปที่ 3.38 (ก) เป็นการป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตจำนวน 2 จุดรูปแบบที่ 3 ในตำแหน่งที่ 1 $X = 0, Y = 200, Z = 255$ ตำแหน่งที่ 2 $X = 0, Y = -200, Z = 255$ เมื่อทำการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะได้ตามรูปที่ 3.38 (ข) การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าจะอยู่เกือบทั่วทั้งแผ่นแต่ก็ยังเหลือบริเวณแฉกและตรงกลางของแผ่นเพลตที่ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าน้อยโดยพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่ $2,500 \text{ V/m}$ การกระจายตัวของสนามไฟฟ้าครอบคลุมทั่วทั้งวัสดุไดอิเล็กตริก

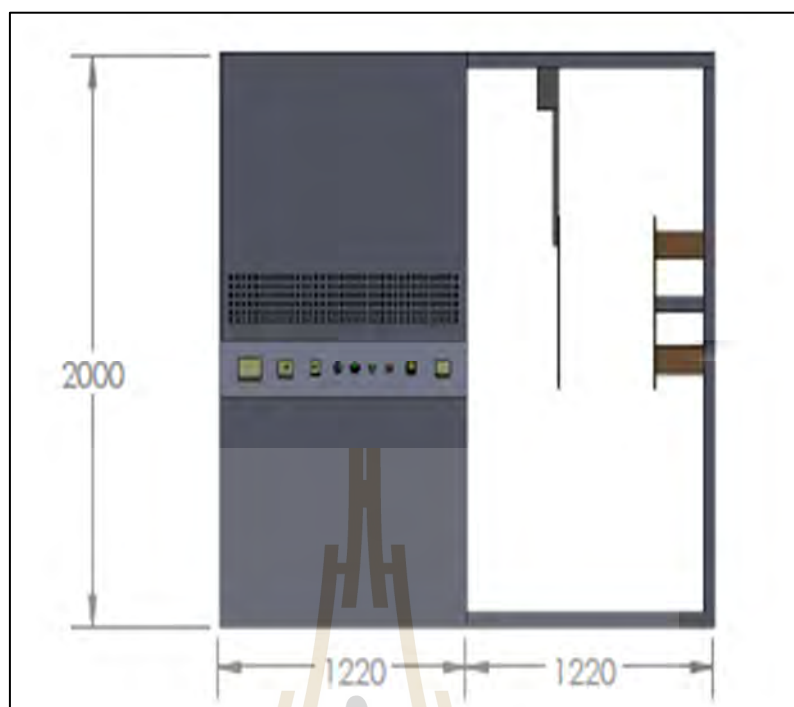
ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้การป้อนกำลังงานให้กับแผ่นเพลตแบบ 2 จุดรูปแบบที่ 3 เนื่องจากมีการกระจายตัวที่ครอบคลุมทั้งวัสดุไดอิเล็กตริกและการกระจายตัวรอบด้านได้อย่างสมดุล ดังรูปที่ 3.39



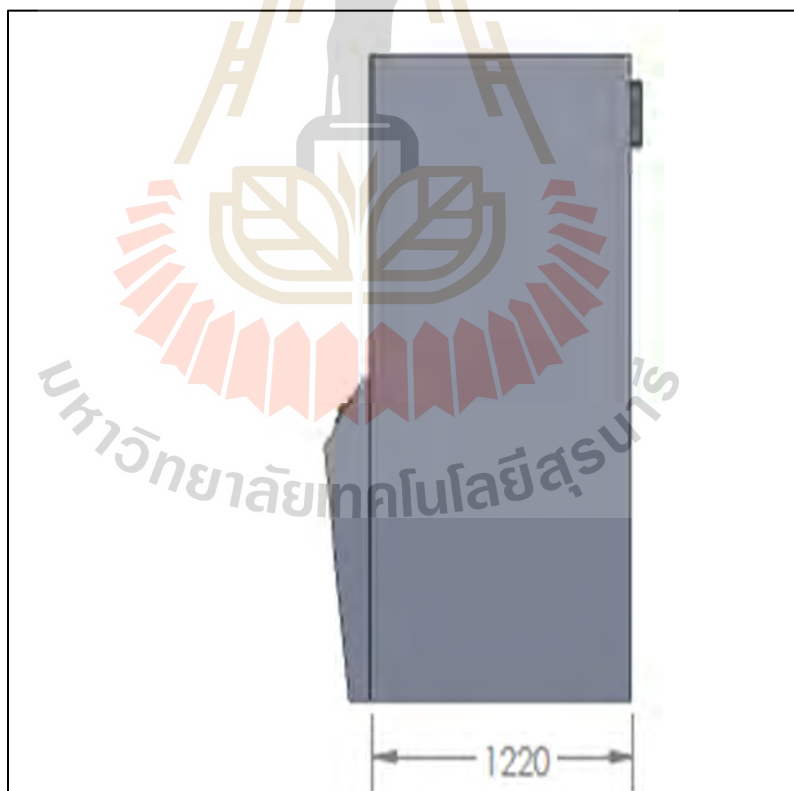
รูปที่ 3.39 ผลการจำลองการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าที่ทั่วถึงในปริมาตรระหว่างแผ่นเพลต

3.3.3 การออกแบบเครื่องการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก

จากการออกแบบเพื่อหาขนาดสำหรับการออกแบบเครื่องนั้น เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้มีการออกแบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะใส่อุปกรณ์การออกแบบทั้งหมด ในระบบนี้จึงเป็นโครงสร้างที่มีขนาด $l \times w \times h$ เท่ากับ $1220 \times 2440 \times 2000 \text{ mm}$ ดังรูปที่ 3.40 และรูปที่ 3.41 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนการลำเลียง กระสอบข้าวข้าวเครื่อง ส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานและส่วนการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก



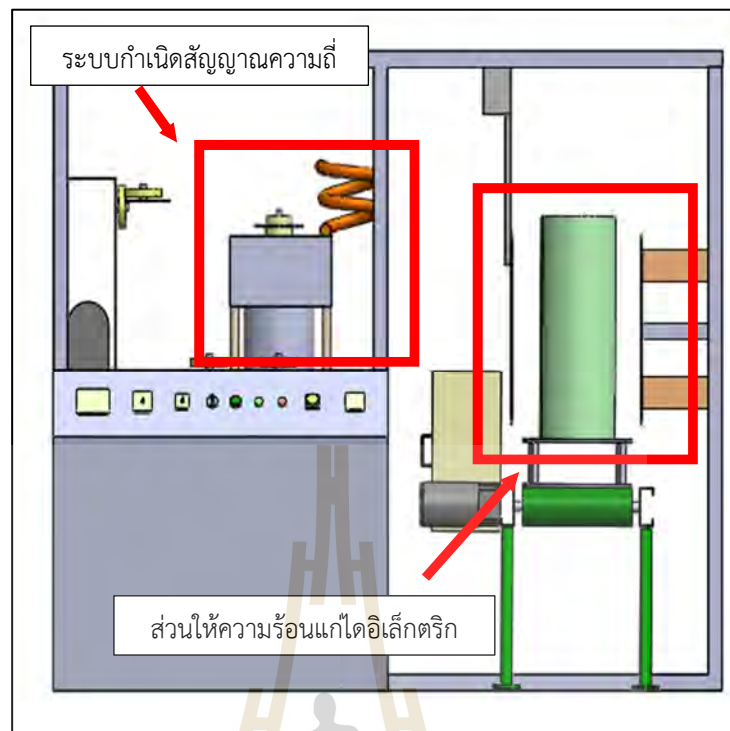
(ก)



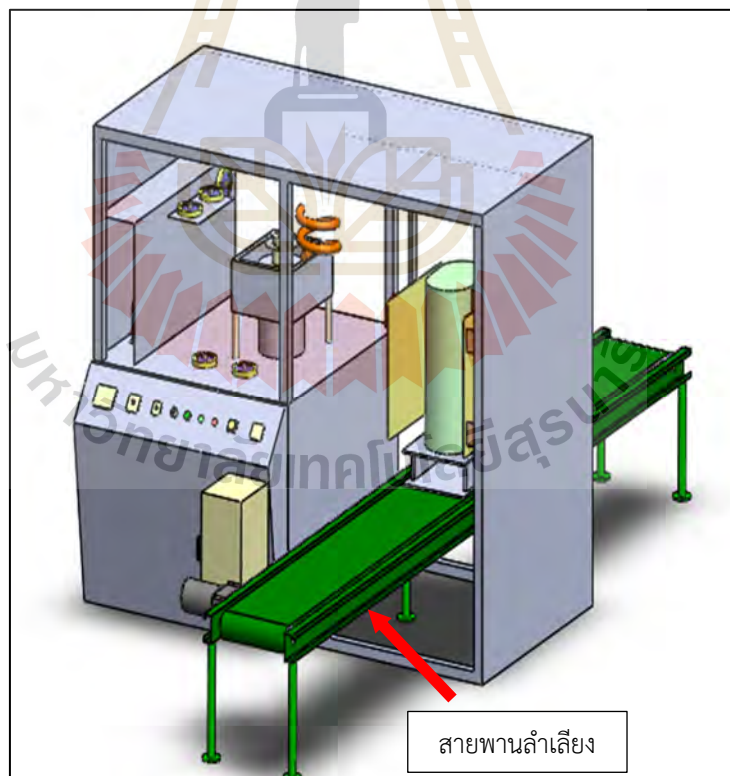
(ข)

รูปที่ 3.40 ขนาดของโครงสร้างต้นแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับการฆ่ามอด

(ก) ด้านหน้า (ข) ด้านข้าง



(ก)



(ข)

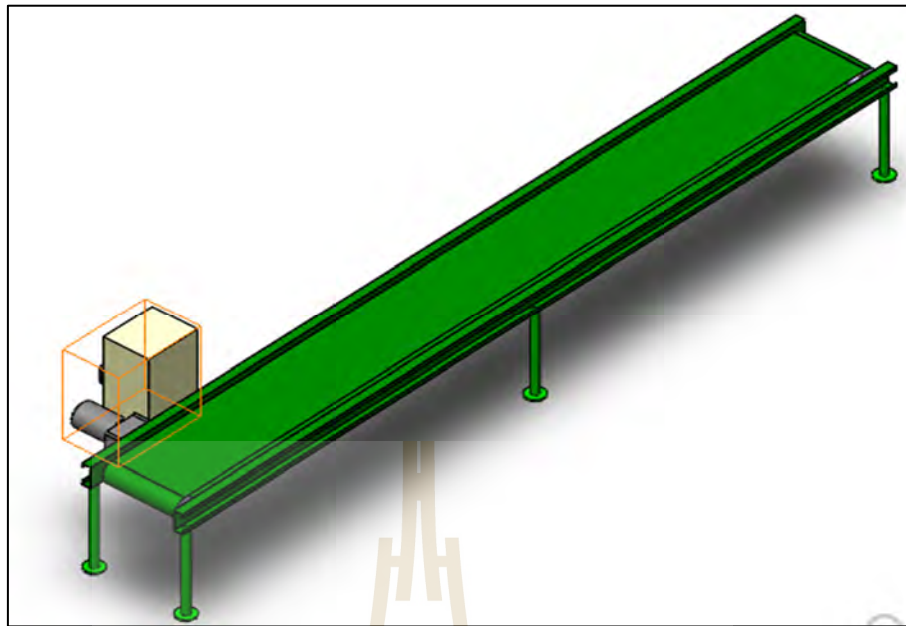
รูปที่ 3.41 ระบบเครื่องต้นแบบเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการฆ่ามอด

(ก) มุมมอง 2 มิติด้านหน้า (ข) มุมมอง 3 มิติ



รูปที่ 3.42 โครงด้านนอกเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด
ที่สร้างขึ้นตามขนาดที่ออกแบบไว้

สำหรับการลำเลียงกระสอบข้าวข้าวเครื่องต้นแบบการให้ความร้อนสำหรับการฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ เพื่อง่ายต่อการนำกระสอบต่อข้าวเครื่องจึงได้ออกแบบสายพานสำหรับลำเลียงกระสอบข้าวข้าวเครื่อง ดังรูปที่ 3.43 และรูปที่ 3.44



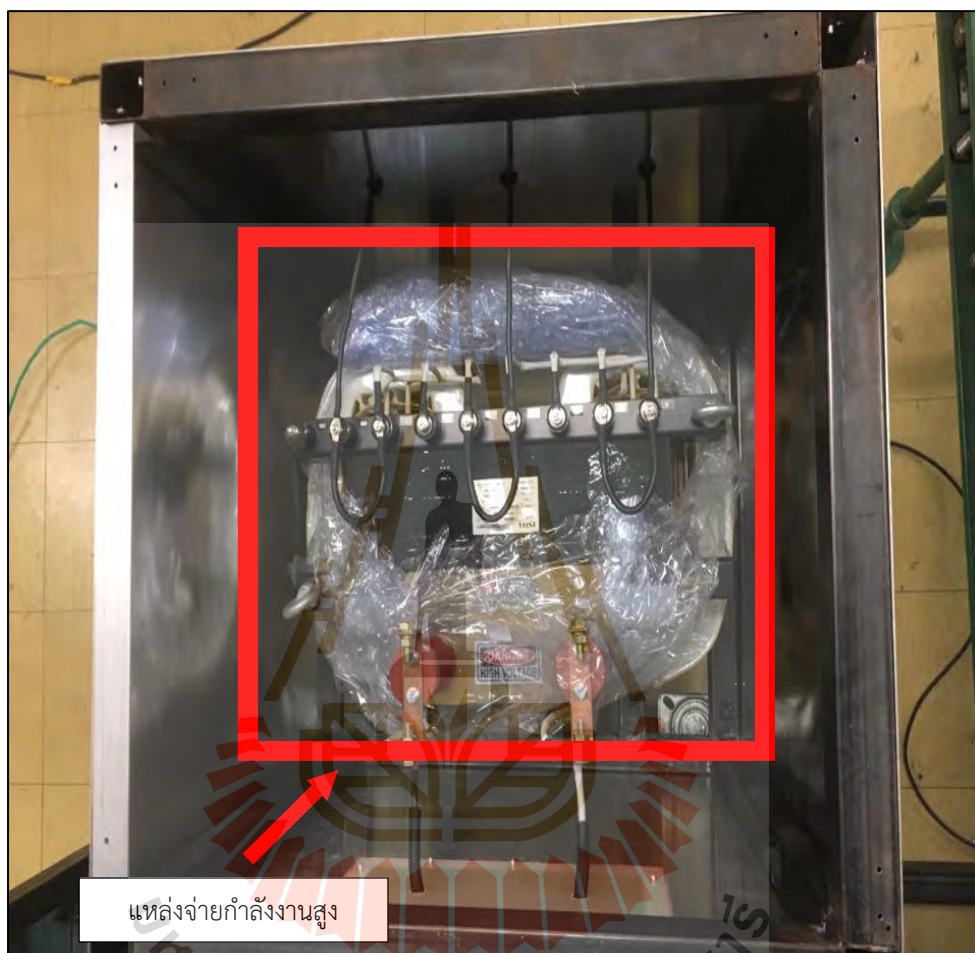
รูปที่ 3.43 สายพานลำเลียงที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Works



รูปที่ 3.44 สายพานลำเลียงที่สร้างขึ้นตามแบบที่ออกแบบ

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และ ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยภาควงจรกำเนิด

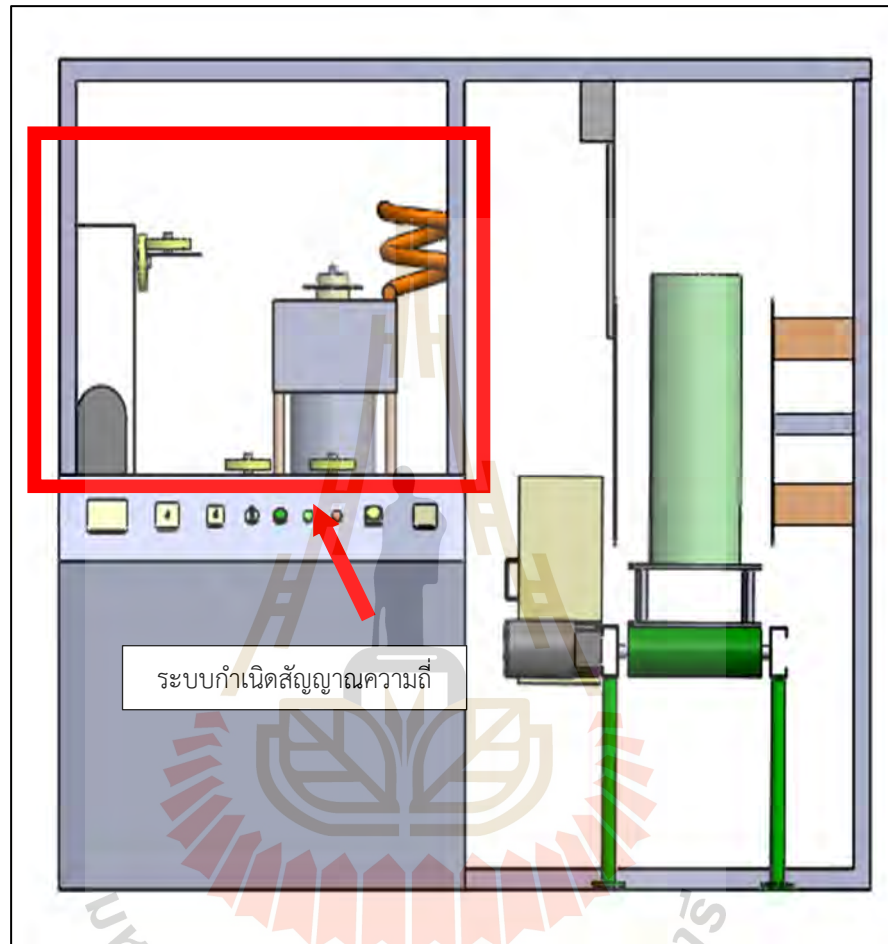
สัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณโดยใช้หลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron tube) และเนื่องจากผลการจำลองและการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังงานที่เอาต์พุตเฟลตประมาณ 12 kW ใช้ช่วงความถี่ 10 – 80 MHz และมีระบบแหล่งกำลังงานสูง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.45



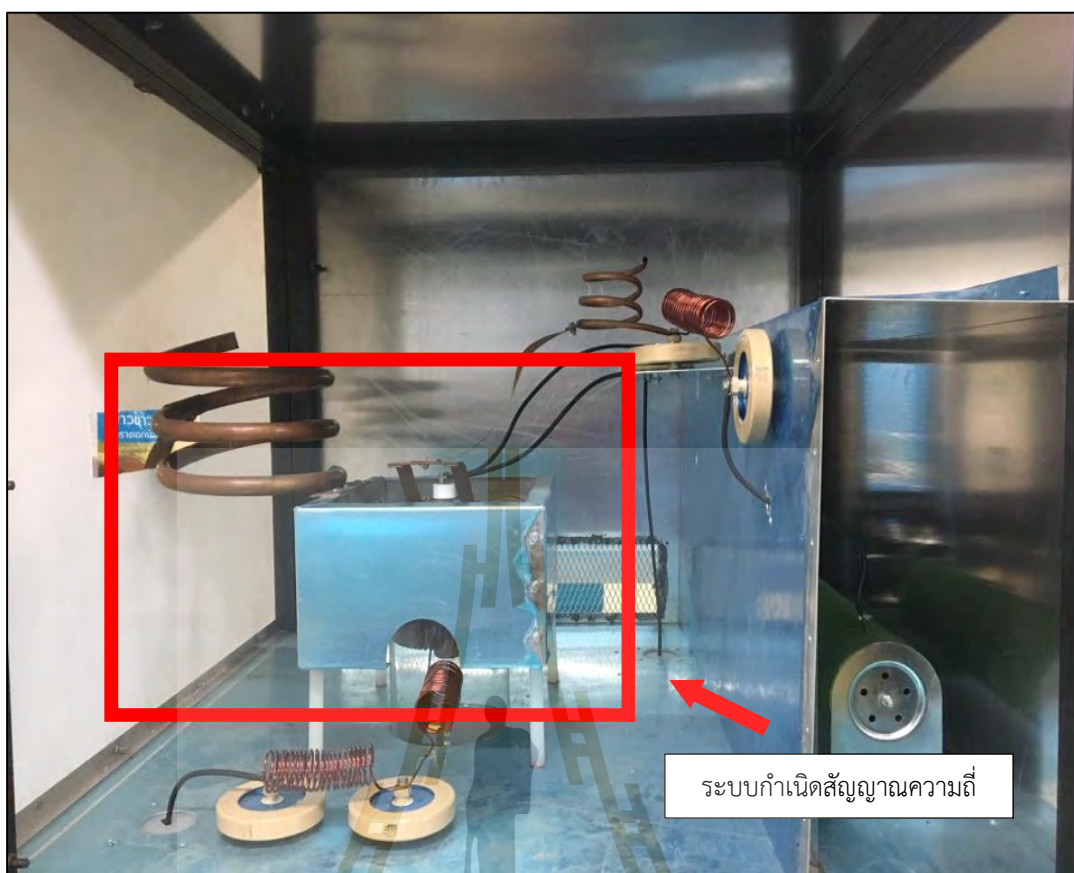
รูปที่ 3.45 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

สำหรับการออกแบบชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) ด้วยหลอดอิเล็กทรอนิกส์ (Electron tube) ซึ่งลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของหลอดอิเล็กทรอนิกส์จะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์ซิ่งอิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กทรอนิกส์แต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่น

เพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อฆ่ามอดข้าวและไข่มอดต่อไป ซึ่งการจัดวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.46 และระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้วสามารถแสดงดังรูปที่ 3.47

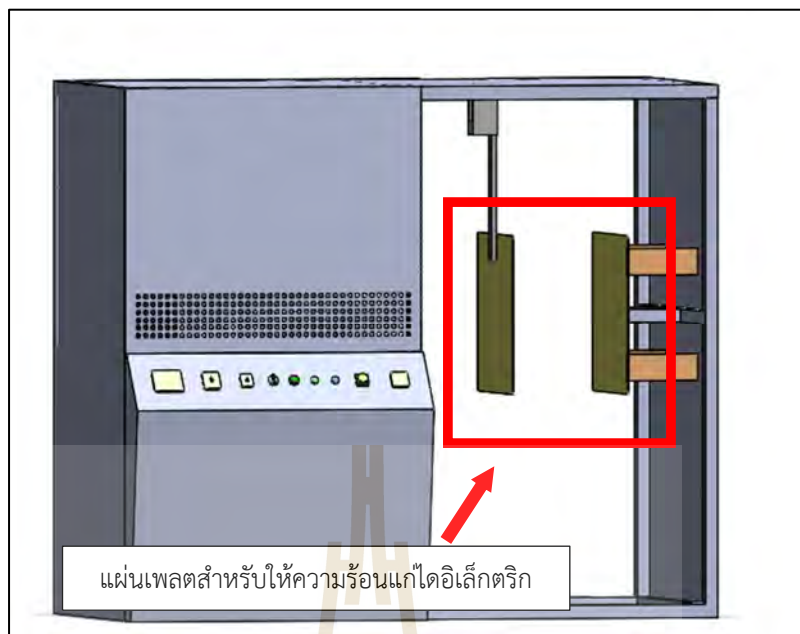


รูปที่ 3.46 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ

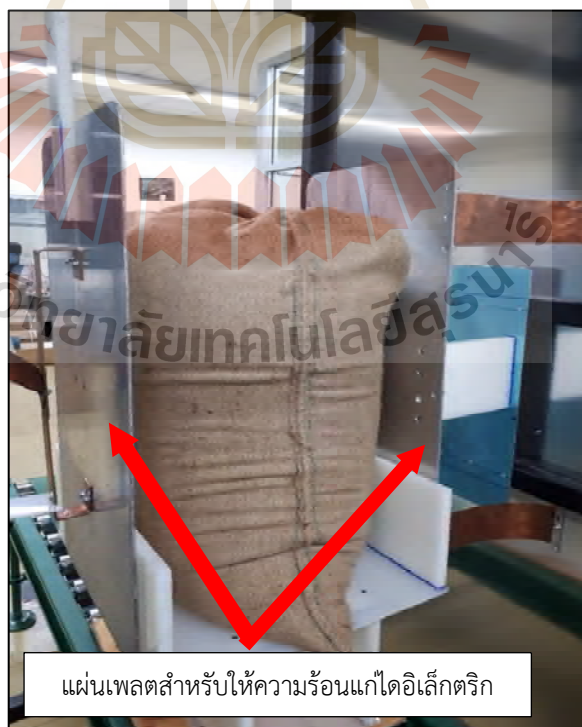


รูปที่ 3.47 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง

สำหรับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการพิจารณาตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งสามารถกระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม จึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางการไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์ประจุบวกไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตแสดงดังรูปที่ 3.48 และการติดตั้งจริงแสดงดังรูปที่ 3.49



รูปที่ 3.48 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กโทรดเพลตของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอด
ข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ
ขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ



รูปที่ 3.49 การติดตั้งแผ่นอิเล็กโทรดเพลตตามที่ออกแบบ



รูปที่ 3.50 ระบบต้นแบบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับการฆ่ามอด
ที่ได้สร้างขึ้นตามทีออกแบบ

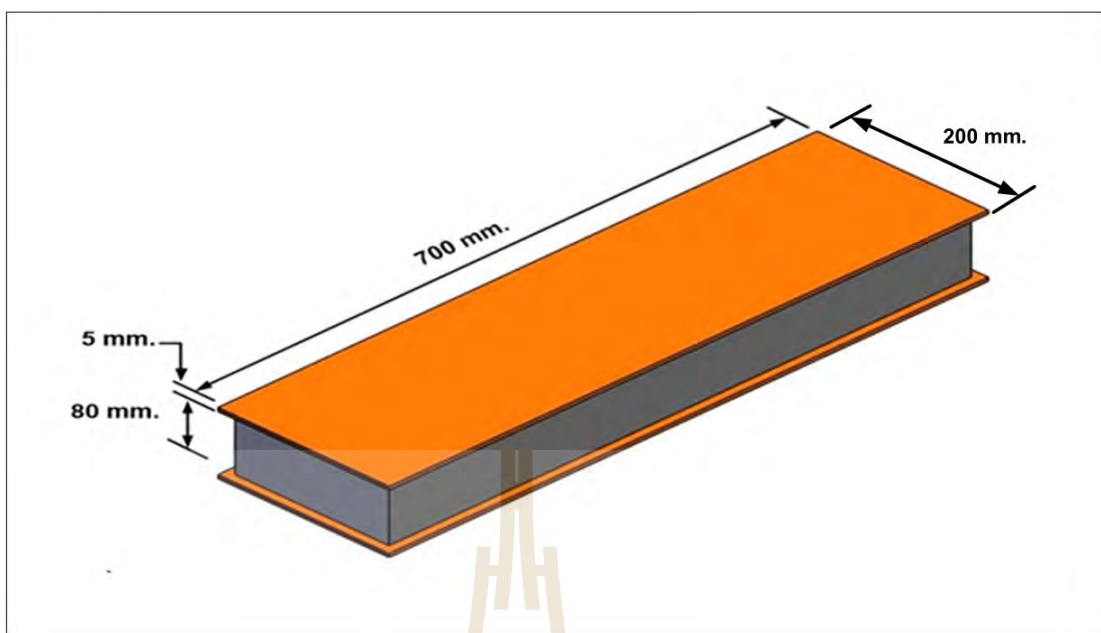
ในส่วนนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของมอดข้าวและข้าว และใช้โปรแกรม Cst Microwave Studio ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กตริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องสำหรับฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุในกระสอบขนาดไม่เกิน 100 กิโลกรัม สำหรับทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกในบทต่อไป

3.4 เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวและไซมอดด้วยคลื่นความถี่วิทยุ เพื่อการออกแบบเครื่องที่มีขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งจะเป็นการขนานเครื่องโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานสูงเดียวกันส่วนควบคุมเดียวกัน สำหรับหม่อมอดข้าวและไซมอด โดยระบบ ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ คือชุดแหล่งจ่ายกำลังงาน ชุดกำเนิดสัญญาณความถี่และขยายกำลังงานสูง และตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งเป็นภาคส่วนการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวและไซมอด โดยแต่ละภาคส่วนใช้ทฤษฎีและการคำนวณจากสมการที่แสดงในบทที่ 2 เพื่อการวิเคราะห์และออกแบบให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยรายละเอียดของการออกแบบอธิบายได้ดังต่อไปนี้

3.4.1 การวิเคราะห์การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

การพิจารณาความเข้มสนามไฟฟ้าที่มีผลจากตัวปล่อยคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตเป็นส่วนสำคัญสำหรับการพิจารณา เนื่องจากเป็นส่วนที่สามารถทำให้ทราบได้ว่า พื้นที่แต่ละส่วน มีส่วนไหนบ้างที่มีความเข้มของสนามไฟฟ้ามากที่สุด และส่วนไหนที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าน้อยที่สุด รวมถึงการพิจารณาเพื่อปรับปรุงให้ตัวปล่อยคลื่นมีการแผ่กระจายสนามไฟฟ้าได้ทั่วพื้นที่มากที่สุด ซึ่งการออกแบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกขนาดไม่เกิน 10 ตัน/ชั่วโมงนั้นจะเป็นการขนานเครื่องโดยใช้แหล่งจ่ายกำลังงานเดียวกันซึ่งข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกจะได้กำลังการผลิตเครื่องละ 5 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งสามารถคำนวณได้ว่าแต่ละเครื่องใน 1 วินาที จะต้องได้ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก 1.389 กิโลกรัม หรือ 10 วินาทีต้องได้ข้าวประมาณ 13.89 กิโลกรัม ดังนั้น ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตจะต้องมีขนาดและปริมาตรที่สามารถบรรจุข้าว ไม่ต่ำกว่า 13.89 กิโลกรัม และต้องไหลออกจากตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตภายใน 10 วินาที ซึ่งตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่ออกแบบจะต้องคำนึงถึงความสมดุลและขนาดของแผ่นเพลต ซึ่งเป็นผลต่อการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าของระบบ (ชาญชัย ทองโสภณและสำราญ สันทาลุนัย, 2555) โดยจากการออกแบบเพื่อให้ได้ระบบดังกล่าวและมีความเหมาะสมที่สุด จึงได้ตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 700 มิลลิเมตร และระยะห่างระหว่างแผ่นเพลต เท่ากับ 80 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.51



รูปที่ 3.51 ขนาดตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตสำหรับให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก
ที่มีขนาด 10 ตัน/ชั่วโมง

3.4.2 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในมอดข้าว

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งใช้มอดข้าวเป็นไดอิเล็กตริกตัวอย่าง ในการให้ความร้อน โดยจากการศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่า มอดข้าวจะตายได้เมื่อเกิดอุณหภูมิความร้อนภายในตัวอยู่ที่ประมาณ 48 องศาเซลเซียส (Sitophilus et al, 2012) โดยมีค่าความจุความร้อนจำเพาะ (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 ความจุความร้อนจำเพาะของมอดข้าว (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

เมื่อได้ค่าความพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวของแต่ละช่วงเวลา จึงสามารถคำนวณหาความเข้มสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวมอดข้าวที่จะต้องใช้อย่างหมด โดยใช้สมการที่

(3.2) ในการพิจารณา ซึ่งจะเห็นว่าในสมการที่ (3.2) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญอีกสองตัวคือ ช่วงความถี่ที่ใช้งานและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริก (Dielectric loss factor) โดยจากปริทัศน์วรรณกรรมในบทที่ 2 ในงานวิจัยของ Nelson 1991 ได้นำเสนอช่วงความถี่ที่เหมาะสมและค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกของมอดข้าวไว้ โดยพบว่าช่วงความถี่ประมาณ 10 ถึง 80 MHz เป็นช่วงความถี่ที่เหมาะสมในการใช้เพื่อให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวและมีค่าปัจจัยในการสูญเสียยังผลไดอิเล็กตริกโดยเฉลี่ยประมาณ 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 วินาทีสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าความหนาแน่นของกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ

เวลา (วินาที)	กำลังงาน(วัตต์)	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 3.4 แสดงค่าความหนาแน่นของกำลังงานที่สามารถทำให้มอดข้าวตาย ณ เวลาใด ๆ ซึ่งเป็นการคำนวณหาอัตราพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าว ในเวลาตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที จากการคำนวณโดยสมการที่ 3.1 ซึ่งพบว่าถ้าต้องการให้มอดข้าวตายเร็วต้องให้พลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวมากขึ้นด้วยในทางตรงกันข้ามเมื่อต้องการให้มอดข้าวตายในเวลาช้าลงทำให้ใช้พลังงานน้อยลงด้วย

3.4.3 การวิเคราะห์พลังงานที่เกิดขึ้นในข้าว

เพื่อให้ทราบถึงขนาดของพลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่วัสดุไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการทำงานงานมากที่สุด จึงได้มีการคำนวณหาอัตราการให้ความร้อนกับวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งข้าวเป็นไดอิเล็กตริก ในการให้ความร้อนเพื่อไว้ใช้เปรียบเทียบกับ การวัดผลทดสอบ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมา (ชาญชัย ทองโสภณและสำราญ สันทาลุณย์, 2555) พบว่า ข้าวจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้มอดข้าวที่ปะปนมาหรือไข่ที่อยู่ในข้าว ตายได้ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยข้าวมีค่าความร้อนจำเพาะ (C) มีค่าเท่ากับ $2510 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 900 kg/m^3 (Wang et al 2003) ดังนั้น จากสมการที่ (3.1) จึงสามารถคำนวณหาพลังงานที่เกิดขึ้นภายในข้าว (P) ที่เวลาต่าง ๆ ต่อขนาดของข้าวแสดงได้ดังนี้

ที่ อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงเท่ากับเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส และให้อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิเท่ากับ $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ใช้การคำนวณที่เวลา 5 วินาที โดยที่ค่า ความร้อนจำเพาะของมอดข้าว (C) มีค่าเท่ากับ $2510 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ และ ความหนาแน่นของวัสดุ (ρ) มีค่าเท่ากับ 900 kg/m^3 โดยค่าที่ได้เป็นพลังงานที่ใช้ในหน่วยปริมาตรที่เป็นตารางเมตร แต่การออกแบบขนาดของข้าวที่อยู่ในเพลตนั้นจะมีขนาดความกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 700 มิลลิเมตร และ สูง 80 มิลลิเมตร ดังนั้น ข้าวจึงมีปริมาตรเท่ากับ 0.0112 m^3 สำหรับขนาด 5 ตัน/ชั่วโมง/เครื่อง เมื่อคำนวณหาพลังงานที่เหมาะสมกับปริมาตรของข้าวแต่ละขนาดจากการคำนวณที่เวลาใด ๆ ตั้งแต่ 1 วินาที ถึง 10 วินาที สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าความความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายสำหรับขนาด 10 ตัน/ชั่วโมง/เครื่อง

เวลา (วินาที)	ความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m) 5 ตัน
1	17185.11
2	12151.71
3	9921.826
4	8592.553
5	7685.413
6	7015.79
7	6495.36
8	6075.853
9	5728.369
10	5434.408

- การพิจารณาการให้ความร้อนด้วยโปรแกรม CST

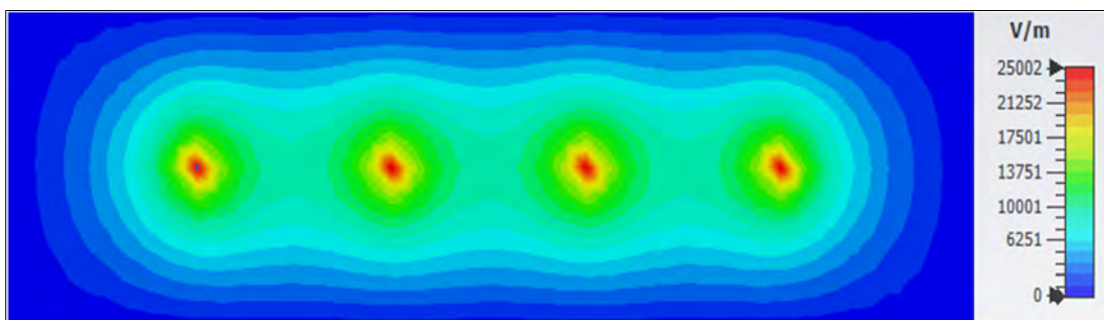
เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตและความเข้มของสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมและการแพร่กระจายเต็มพื้นที่การใช้งาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมา (สำราญ สันทาลุณย์, 2557) ทำการวิจัยไว้ว่าแผ่นเพลตที่มีลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีลักษณะที่เหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้งานด้านการเกษตร และการป้องกันกำลังงานเป็นลักษณะแบบสมมาตรมีความเหมาะสมต่อการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าได้เหมาะสมที่สุด ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้มีการเลือกใช้ขนาดของแผ่นเพลตที่มีความกว้างเท่ากับ 20 เซนติเมตร และความยาวเท่ากับ 70 เซนติเมตร เป็นขนาดของแผ่นเพลตที่ใช้ในการจำลองสำหรับงานวิจัยนี้ โดยแผ่นอิเล็กทรอนิกส์เพลตทั้ง 2 แผ่นมีระยะห่างกันเท่ากับ 8 เซนติเมตร และใช้ค่าคุณสมบัติเฉพาะข้าวเปลือกเป็นโหลดไดอิเล็กทริกสำหรับการจำลอง ทั้งนี้เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าต่อกำลังงานที่ใช้ จึงเลือกใช้วิธีการป้องกันกำลังงานแบบ 4 พอร์ต ซึ่งเป็นการป้องกันกำลังงานแบบสมมาตร และใช้กำลังอินพุตที่ 2,000 วัตต์ จนถึง 10,000 วัตต์ โดยพิจารณาจากการจำลองผลโดยใช้โปรแกรม CST EM STUDIO สำหรับวิเคราะห์ผลทั้งหมด และตำแหน่งการป้องกันกำลังงานแสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตำแหน่งการป้องกันกำลังงานแบบ 4 พอร์ต เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแพร่กระจายคลื่น

ตำแหน่งที่	ตำแหน่งจุดป้องกันกำลังงาน			
	พอร์ต 1	พอร์ต 2	พอร์ต 3	พอร์ต 4
1	(X=-210, Y=0)	(X=-70, Y=0)	(X=70, Y=0)	(X=210, Y=0)

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 2,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 2,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.52 โดยในรูปที่ 3.52 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 25,002 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้องกันกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 2,000 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 2,000 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.52 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 2,000 วัตต์

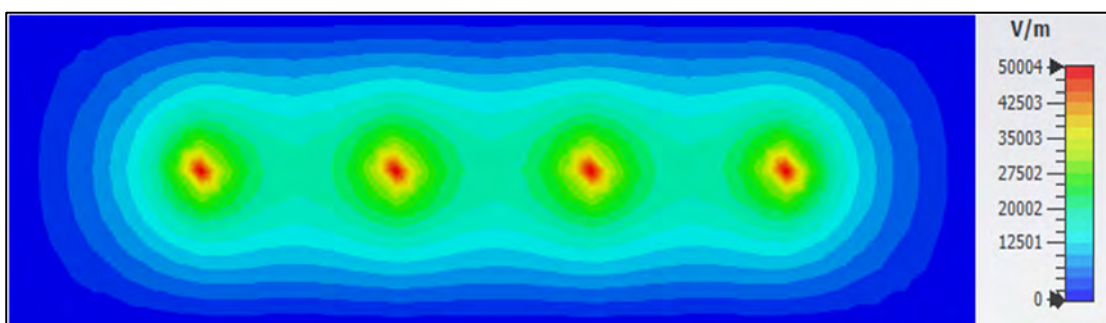


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

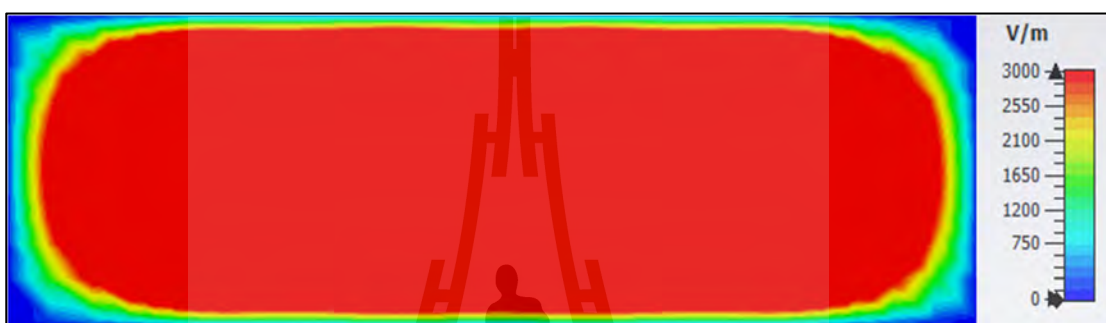
รูปที่ 3.52 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 2,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 4,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 4,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.53 โดยในรูปที่ 3.53 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 50,004 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 3,000 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 3,000 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.53 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 4,000 วัตต์

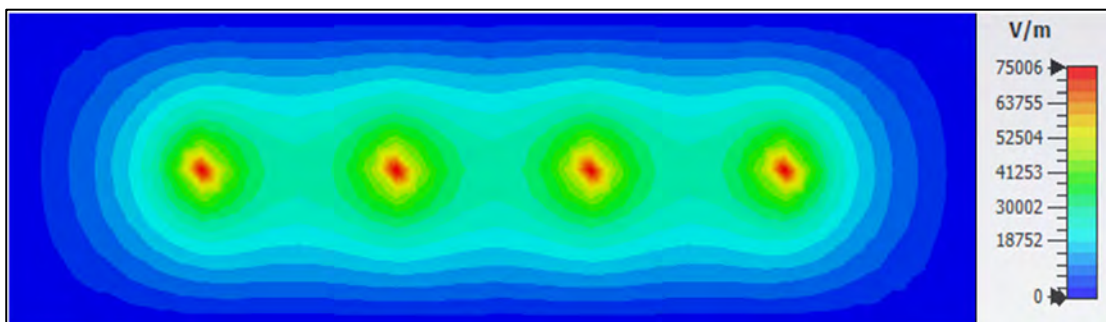


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

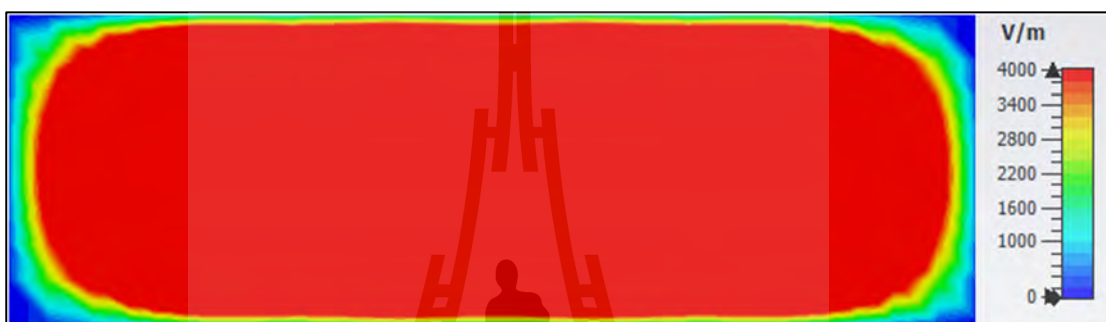
รูปที่ 3.53 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 4,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 6,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 6,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.54 โดยในรูปที่ 3.54 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70,006 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ และ 4,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,000 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,000 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.54 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 6,000 วัตต์

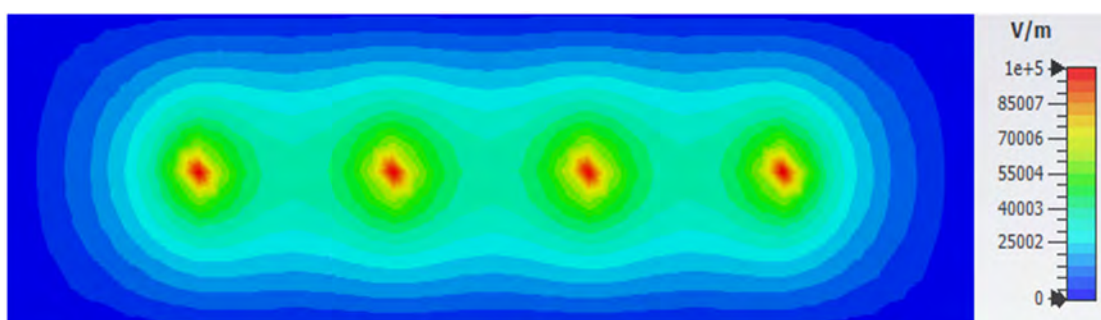


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

รูปที่ 3.54 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 6,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 8,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 8,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.55 โดยในรูปที่ 3.55 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 100,000 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ 4,000 วัตต์ และ 6,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,000 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 4,000 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.55 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 8,000 วัตต์

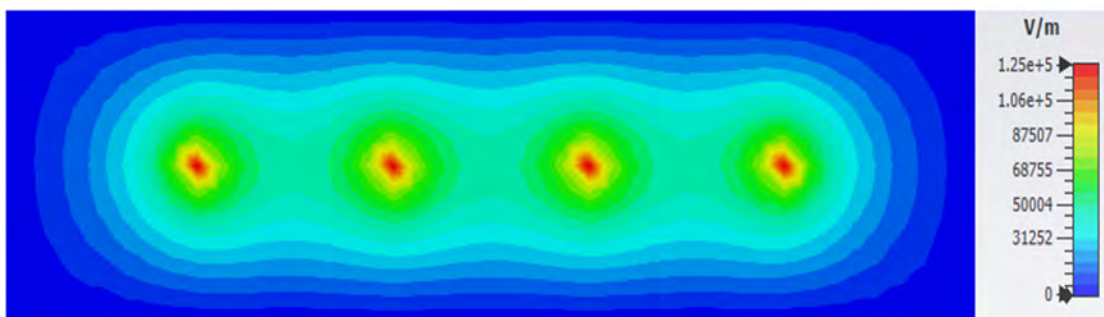


(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

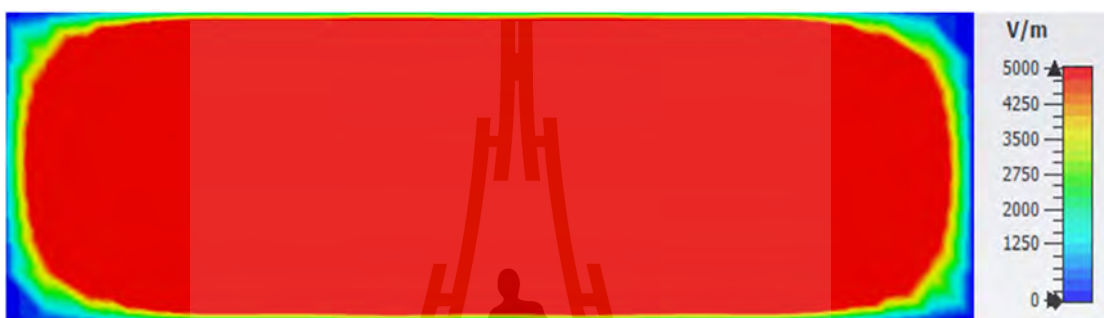
รูปที่ 3.55 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 8,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร

- การพิจารณาโดยการใช้กำลังงาน 10,000 วัตต์

จากผลการจำลองในการให้กำลังงานกับแผ่นเพลตเท่ากับ 10,000 วัตต์ ในรูปที่ 3.56 โดยในรูปที่ 3.56 (ก) แสดงระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อกำหนดจุดสูงสุดมีค่าเท่ากับ 125,000 V/m เพื่อตรวจสอบลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้า พบว่าการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้านั้นเกิดขึ้นที่บริเวณตรงกลางของจุดป้อนกำลังงานแต่ละจุดมากที่สุด เช่นเดียวกับการป้อนกำลังงานที่ 2,000 วัตต์ 4,000 วัตต์ 6,000 วัตต์ และ 8,000 วัตต์ แต่ถ้าต้องการให้พื้นที่ของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นเต็มแผ่นเพลต จะพบว่าระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 5,000 V/m จะมีพื้นที่การกระจายเต็มพื้นที่ของแผ่นเพลต ซึ่งเมื่อพิจารณาที่ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่เท่ากับ 5,000 V/m สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.56 (ข)



(ก) ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อป้อนกำลังงานเท่ากับ 10,000 วัตต์



(ข) พื้นที่ความเข้มสนามไฟฟ้าเต็มเพลต

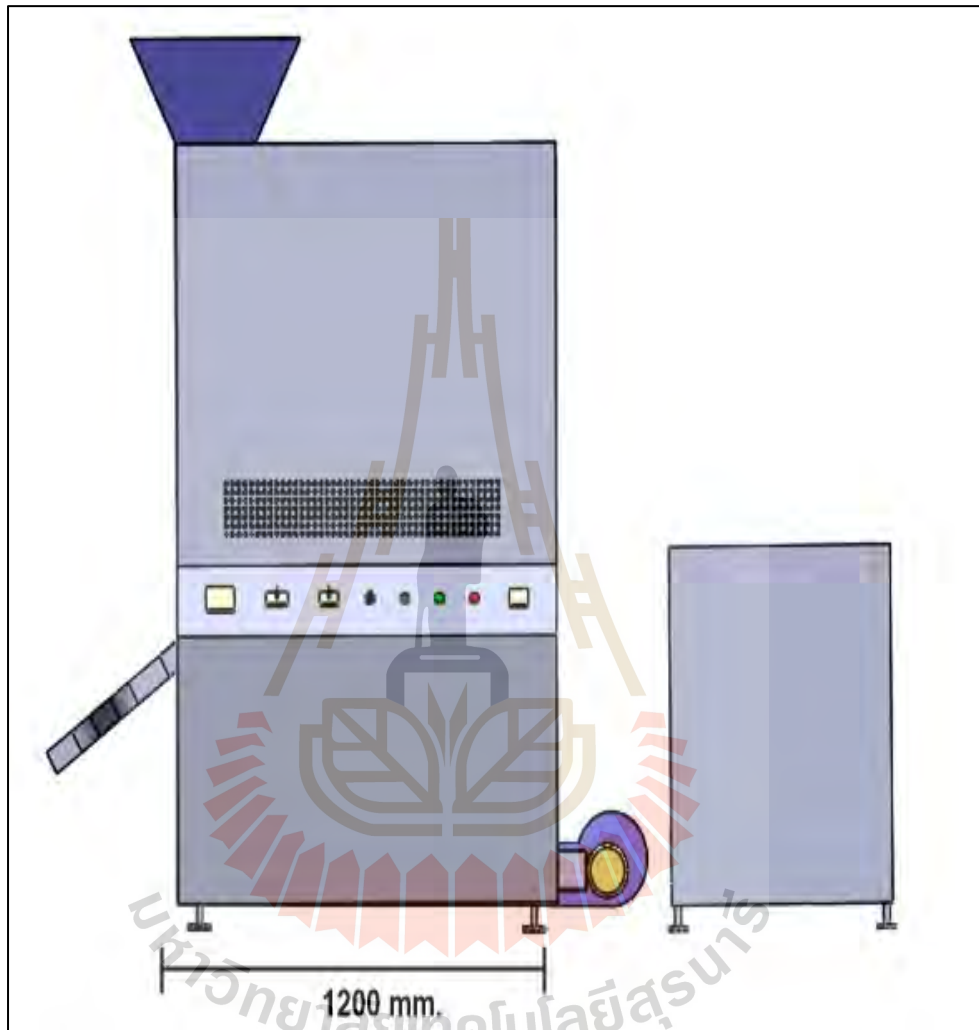
รูปที่ 3.56 การกระจายความเข้มสนามไฟฟ้าเมื่อใช้กำลังงานเท่ากับ 10,000 วัตต์ ตำแหน่งในการวัดความเข้มสนามไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างแผ่นเพลตเท่ากับ 4 เซนติเมตร

จากผลการจำลองโดยใช้กำลังงานตั้งแต่ 2,000 วัตต์ ถึง 10,000 วัตต์ แล้ววิเคราะห์ระดับความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้มอดข้าวตายได้ทั่วทั้งพื้นที่ของแผ่นเพลตสามารถสรุปได้ดังนี้ เมื่อใช้กำลังงาน 2,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 2,000 V/m กำลังงาน 4,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 3,000 V/m กำลังงาน 6,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4,000 V/m กำลังงาน 8,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 4,000 V/m กำลังงาน 10,000 วัตต์ ความเข้มสนามไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5,000 V/m เมื่อทราบผลการวิเคราะห์สามารถนำไปเพื่อออกแบบตัวเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมงต่อไป

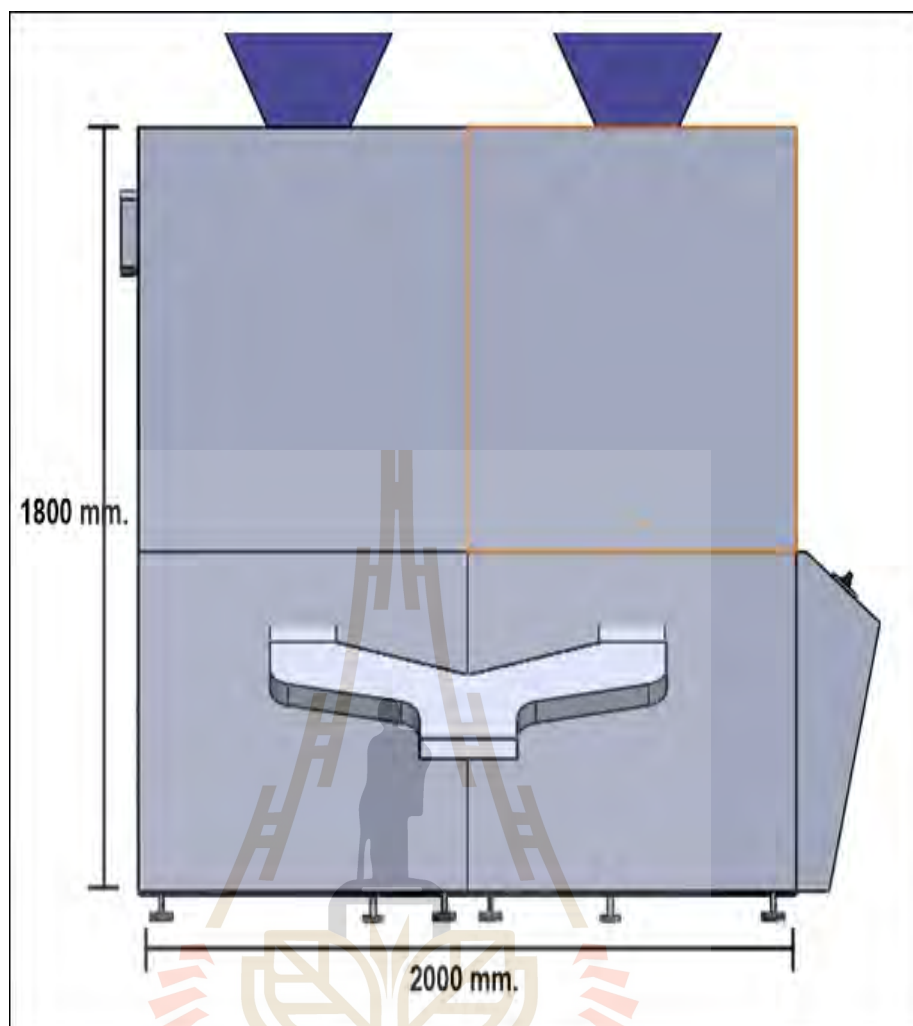
3.4.4 การออกแบบเครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กทรอนิกส์สำหรับฆ่ามอดข้าวขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง

จากขนาดของแผ่นอิเล็กโทรดเพลตที่ออกแบบเพื่อให้สามารถฆ่ามอดข้าวขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมงนั้น การออกแบบโครงสร้างของระบบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องให้ความสำคัญ เพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพการทำงานสูงสุด ซึ่งโครงสร้างจะต้องมีขนาดที่ใหญ่พอที่จะใส่

อุปกรณ์การออกแบบทั้งหมด ในระบบนี้จึงใช้โครงสร้างที่มีขนาดความกว้างเท่ากับ 1,200 มิลลิเมตร ความยาวเท่ากับ 2,000 มิลลิเมตร และ ความสูงเท่ากับ 1,800 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.57 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแหล่งจ่ายกำลังงานและส่วนการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

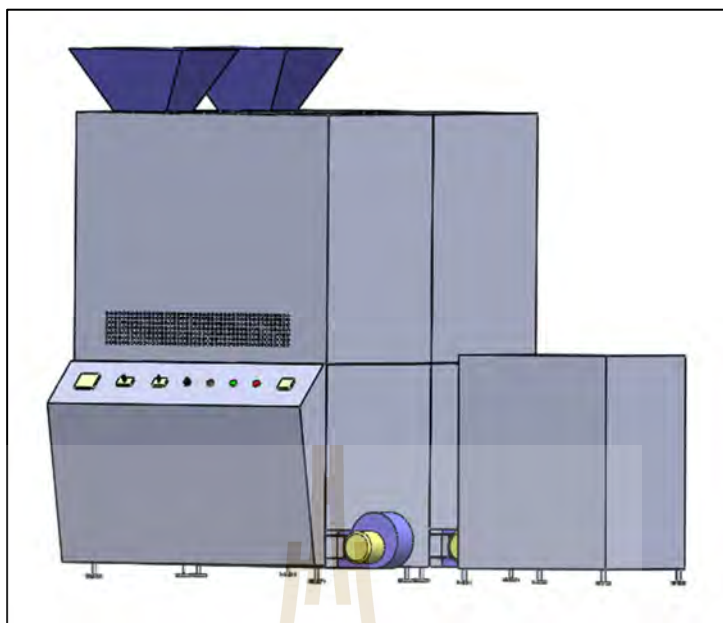


(ก) ขนาดโครงสร้างเครื่องด้านหน้า



(ข) ขนาดโครงสร้างเครื่องด้านข้าง

รูปที่ 3.57 ขนาดของโครงสร้างเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอด
ขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง

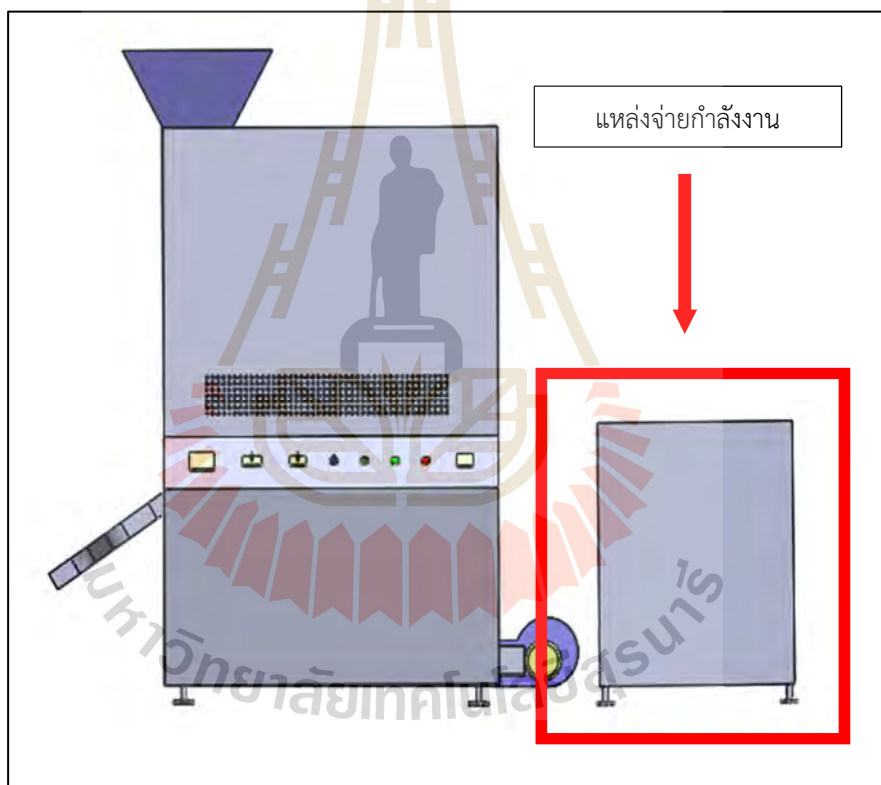


รูปที่ 3.58 เครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาด
กำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 5.59 เครื่องให้ความร้อนได้อิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวขนาดกำลัง
การผลิต 10 ตันต่อชั่วโมงที่ได้สร้างขึ้นตามทีออกแบบ

สำหรับชุดวงจรกำเนิดคลื่นความถี่วิทยุสำหรับเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ คือ ภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ ภาควงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์และ ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์แบบแผ่นเพลตดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยภาควงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) จะกำเนิดสัญญาณโดยใช้หลอดอิเล็กตรอน (Electron tube) และเนื่องจากผลการจำลองและการคำนวณพบว่าต้องใช้กำลังงานที่เอาต์พุตเพลตชุดละประมาณ 10 kW แต่ประสิทธิภาพการทำงานของหลอดอิเล็กตรอนจะอยู่ที่ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงใช้แหล่งจ่ายที่มีกำลังงานประมาณ 45 kW และอยู่ในช่วงความถี่ 10 – 80 MHz ซึ่งการจัดวางระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.60 และระบบแหล่งจ่ายกำลังงานกำลังสูงที่ติดตั้งแล้วแสดงดังรูปที่ 3.61

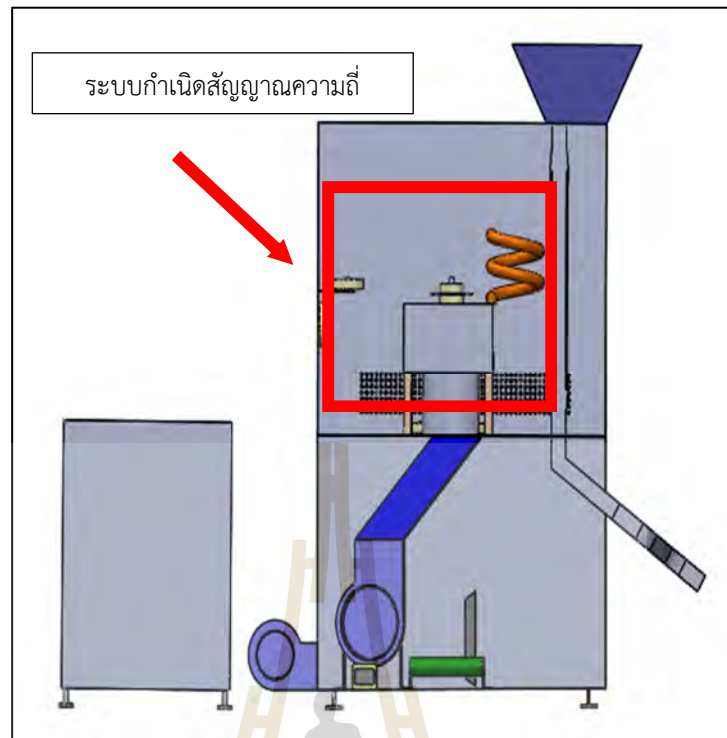


รูปที่ 3.60 รูปแบบการวางแหล่งจ่ายกำลังงานเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริก สำหรับหม้อขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.61 ระบบแหล่งจ่ายกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้ว

สำหรับการออกแบบชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (Oscillator) ด้วยหลอดอิเล็กตรอน ซึ่งลักษณะวงจรภาคเอาต์พุตของหลอดอิเล็กตรอนจะถูกออกแบบเป็นวงจรแมตซ์อิมพีแดนซ์ ซึ่งเป็นการแมตซ์ ระหว่างภาควงจรกำเนิดความถี่วิทยุกับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตเพื่อป้องกันการเสียหายของวงจร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับช่วงความถี่การทำงานของหลอดอิเล็กตรอนแต่ละชนิดที่สามารถกำเนิดความถี่และกำลังงานสูงสุดได้ สำหรับกำลังงานเอาต์พุตจากวงจรกำเนิดความถี่วิทยุ จะส่งไปที่ภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กโทรดแบบแผ่นเพลตที่ภาคสุดท้ายของวงจรเพื่อฆ่ามอดข้าว ซึ่งการจัดวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงสามารถแสดงดังรูปที่ 3.62 และระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงที่ติดตั้งแล้วสามารถแสดงดังรูปที่ 3.63

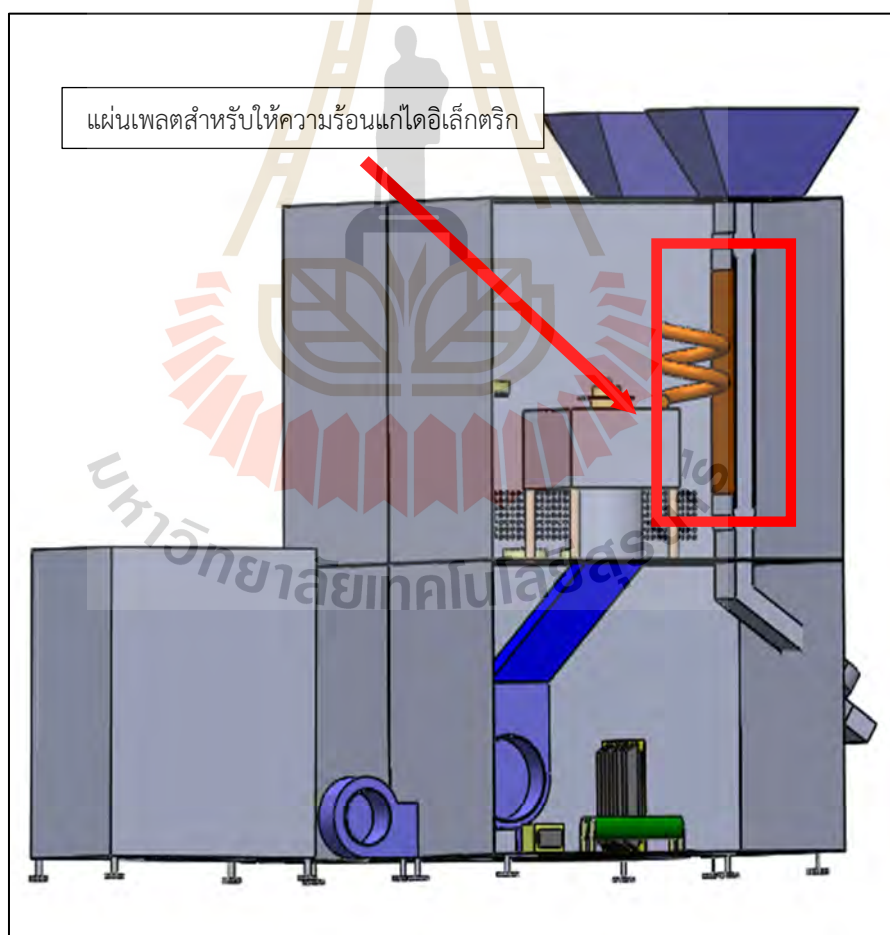


รูปที่ 3.62 รูปแบบการวางระบบกำเนิดสัญญาณกำลังงานสูงของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.63 การติดตั้งชุดวงจรกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุกำลังสูง

สำหรับภาควงจรเหนี่ยวนำความร้อนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการพิจารณาตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต ซึ่งสามารถกระจายพลังงานสนามไฟฟ้าเข้าสู่วัสดุไดอิเล็กตริกให้มีความเหมาะสม จึงต้องมีการพิจารณาถึงขนาดและปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้า จากงานวิจัยที่ผ่านมาตัวสร้างสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลต เป็นลักษณะรูปแบบการให้ความร้อนนั้นมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีการกระจายสนามไฟฟ้าระหว่างแผ่นเพลตมากที่สุด โดยผ่านวัสดุตัวกลาง ซึ่งเป็นวัสดุไดอิเล็กตริก โดยลักษณะของตัวปล่อยคลื่นแบบแผ่นเพลตจะมีคุณสมบัติเป็นเหมือนตัวเก็บประจุ และมีทิศทางการไหลของคลื่นสนามไฟฟ้าจากขั้วอิเล็กทรอนิกส์ประจุบวกไปยังประจุลบ ซึ่งรูปแบบของการจัดวางตัวสร้างคลื่นสนามไฟฟ้าแบบแผ่นเพลตแสดงดังรูปที่ 3.64 และการติดตั้งจริงแสดงดังรูปที่ 3.65 และระบบที่ออกแบบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม้อทอดที่มีขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง ที่พร้อมใช้งานและทดสอบติดตั้งแสดงดังรูปที่ 3.66



รูปที่ 3.64 รูปแบบการวางแผ่นอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม้อทอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.65 การติดตั้งอิเล็คโทรดแบบแผ่นเพลต



รูปที่ 3.66 เครื่องให้ความร้อนอิเล็กทริกสำหรับหม่อมอดขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง

สำหรับการวิเคราะห์ผลการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของข้าวเปลือก และใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กตริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์และออกแบบเครื่องที่มีขนาดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง สำหรับทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกในบทต่อไป

3.5 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ออกแบบและสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจรที่ประกอบโครงสร้างของระบบดังนี้ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน ด้วยวิธีการคำนวณจากค่าคุณสมบัติของมอดและข้าว และใช้โปรแกรม CST ในการวิเคราะห์ถึงระดับกำลังงานและความเข้มสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้เกิดความร้อนที่วัสดุไดอิเล็กตริกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องทั้งระบบ ซึ่งจะได้้นำระบบต่าง ๆ สำหรับการทดสอบผลต่อไป

บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการวัดและทดสอบผล

การออกแบบเครื่องและระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร ที่ประกอบโครงสร้างของระบบดังนี้ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ้นการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมงโดยทั้ง 4 ระบบนี้ ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องมีการวัดผลจากการออกแบบเพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และปรับปรุงให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด ดังนั้นเครื่องมือในการวัดผลและวิธีการวัดทดสอบจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และการประมวลผลที่สูง 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 เพื่อให้สามารถส่งกำลังงานไปยังโหลดได้อิเล็กตริกได้ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.3

4) เครื่องวัดกำลัง (power meter)

อุปกรณ์เครื่องวัดกำลัง ใช้สำหรับวัดกำลังงานเอาต์พุตที่ได้จากการออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ เพื่อวิเคราะห์กำลังงานที่ใช้ในการให้ความร้อนแก่ได้อิเล็กตริกและเก็บผลการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.4

5) กล้องถ่ายภาพความร้อน

อุปกรณ์สำหรับถ่ายภาพความร้อนเพื่อตรวจสอบอุณหภูมิของข้าว ในขณะที่ทำการทดสอบ เพื่อการวิเคราะห์ผลที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 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

เครื่องไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง

จากการกล่าวถึงการทดสอบสายอากาศสำหรับการไล่แมลงในโกดังเก็บข้าว เมื่อพิจารณาจากการออกแบบแบบจำลองผลพบว่า ผลที่ได้นั้นมีความสอดคล้องกับทฤษฎี ดังนั้นจะต้องมีการสร้างและวัดทดสอบผล เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้และการออกแบบระบบการทดลองไล่แมลงด้วยความถี่สูง ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ Electromagnetic wave generator, antenna, และ rice ซึ่งเนื้อหาที่สำคัญในบทนี้จะกล่าวถึงการนำทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมาเพื่อใช้ในการออกแบบสร้างชิ้นงาน รวมถึงการทดลองวัดค่าคุณลักษณะที่สำคัญของสายอากาศ ซึ่งโครงสร้างของสายอากาศที่นำเสนอนี้เป็นสายอากาศแบบปากแตร สำหรับประยุกต์ใช้งานการไล่แมลง

ในโกดังเก็บข้าว โดยทำการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient : S11) โดยใช้เครื่องวิเคราะห์โครงข่ายเวกเตอร์ vector network analyzer (E5071C, Keysight Technology) เพื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ได้จากการจำลองแบบด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio จากนั้นจะทำการตรวจวัดประสิทธิภาพทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกที่เกิดขึ้นโดยถ่ายภาพจากกล้องถ่ายภาพความร้อน IR camera (U5857A True IR, Keysight Technology)

เครื่องกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

1. วิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกเพื่อกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของเมล็ดข้าว อีกทั้งยังสามารถกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ทำให้เมล็ดเสียหาย
2. ทำการทดสอบกับเมล็ดพันธุ์ข้าวโดยจะทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระดับกำลังงานและเวลาในการกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว
3. สร้างเครื่องต้นแบบและประกอบข้าวด้วยกัน

เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกฆ่ามอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบ

1. วิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวโดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของเมล็ดข้าวและมอดข้าว อีกทั้งยังสามารถฆ่ามอดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ทำให้ข้าวเสียหาย
2. ทำการทดสอบกับมอดข้าวโดยจะทำการทดสอบในตัวอ่อนและตัวเต็มวัยเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบระดับกำลังงานและเวลาในการฆ่ามอดข้าว
3. สร้างเครื่องต้นแบบและประกอบข้าวด้วยกัน

เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

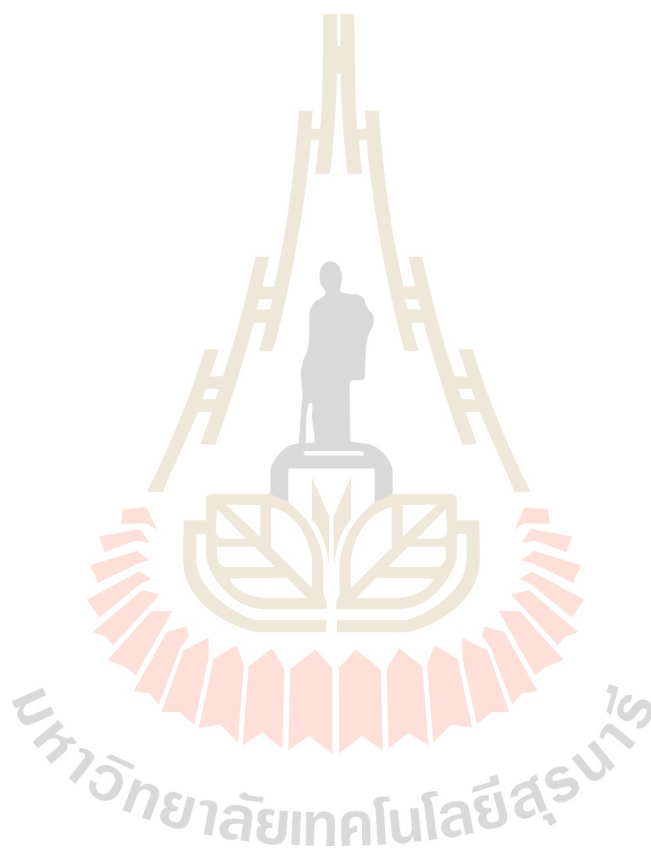
1. วิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดข้าวให้มีกำลังการผลิตที่ 10 ตันต่อชั่วโมงโดยทำการออกแบบวงจรให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่และกำลังงานได้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ระบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมกับคุณลักษณะของเมล็ดข้าวและมอดข้าว อีกทั้งยังสามารถฆ่ามอดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ทำให้ข้าวเสียหาย
2. ทำการทดสอบกับมอดข้าวโดยจะทำการทดสอบในตัวอ่อนและตัวเต็มวัยเพื่อทดสอบและเปรียบเทียบระดับกำลังงานและเวลาในการฆ่ามอดข้าว

3. สร้างเครื่องต้นแบบและประกอบเข้าด้วยกัน

4.3 สถานที่ทำการวิจัย

1) ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

2) ห้องวิจัยและปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์กำลัง อาคารเครื่องมือ 14 (F14) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เลขที่ 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ.เมือง จ. นครราชสีมา 30000



บทที่ 5

ผลการทดสอบระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและ ข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร

จากการกล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวและข้าวสารสำหรับอุตสาหกรรมการส่งออกแบบครบวงจร ดังนั้นในบทที่ 5 จะได้ทำการวัดทดสอบ เพื่อเป็นการยืนยันผลการออกแบบและสร้างเครื่อง โดยในการวัดทดสอบคุณลักษณะของการกระจายความร้อนนั้นจะใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A และสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลจากการวัดทดสอบในรูปของความร้อนจากกล้องถ่ายภาพความร้อนกับผลการจำลองค่าการสูญเสียทางไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม CST EM STUDIO และเก็บผลการทดสอบต่างๆ เพื่อสรุปผลการวิจัยต่อไป

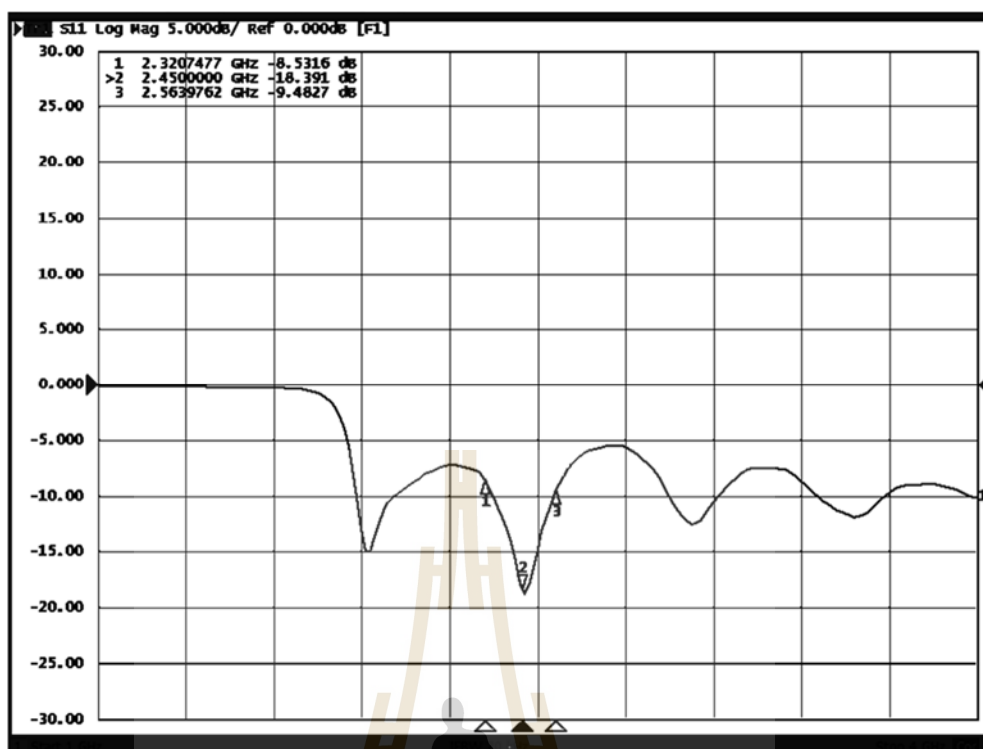
5.1 การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวด้วยคลื่นความถี่สูง

การทดสอบการตอบสนองของคลื่นความถี่ของสายอากาศที่มีผลต่อคุณสมบัติไดอิเล็กทริกของข้าวเปลือก

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



รูปที่ 5.1 การวัดการตอบสนองของคลื่นความถี่ 2.45 GHz



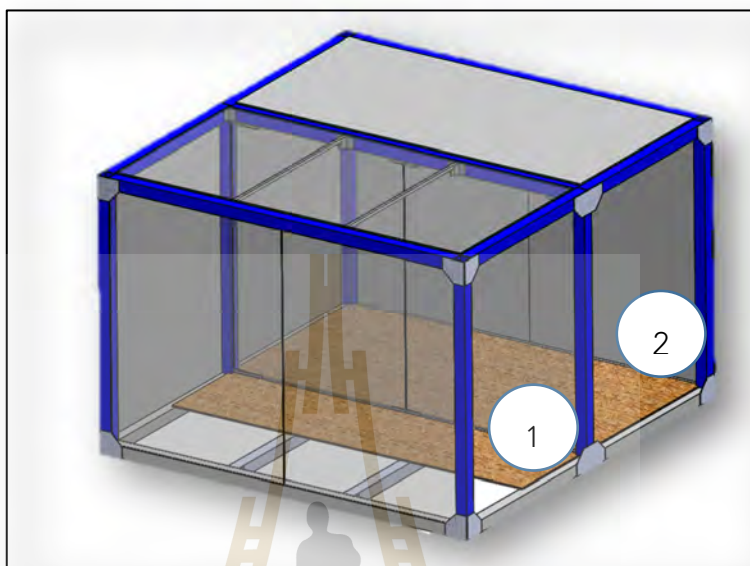
รูปที่ 5.2 การตอบสนองความถี่ 2.45 GHz

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient : S11) ณ ช่วงความถี่ 2.45 GHz ที่ระยะ 100 cm พบว่า มีการตอบสนองที่ดีที่สุด การตอบสนองความถี่ดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลอง ซึ่งในลำดับถัดไปจะได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการไล่แมลงด้วยหลักการความถี่สูงแบบไดอิเล็กตริก โดยการทดสอบประสิทธิภาพจะทำการทดลองโดยการเก็บผลของอัตราประชากรแมลงโดยจะเลือกสุ่มมา 5 ตำแหน่งในบริเวณกองข้าวเปลือกของทุก ๆ สัปดาห์ เป็นเวลา 3 สัปดาห์ ในหัวข้อต่อไป

การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องไล่แมลงด้วยความถี่สูง

โดยการดำเนินการทดลองผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสำหรับทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องไล่แมลงด้วยความถี่สูง ได้ทำการแบ่งห้องทดลองสำหรับการเก็บข้าวเปลือกออกเป็น 2 ห้อง ซึ่งเป็นการจำลองโกดังขนาดเล็กที่เก็บข้าวได้ห้องละ 500 กิโลกรัม โดยที่แต่ละห้องมีขนาด $2 \times 3 \text{ m}^2$ โดยวัสดุที่ใช้ในการทำโกดังจำลองนั้น ประกอบด้วย เหล็กโครงสร้าง (Fe) เป็นโครงสร้าง อลูมิเนียม (Al) และไม้อัด (Plywood) โดยโครงสร้างของโกดังจำลองใช้เหล็กโครงสร้างเป็นโครงสร้าง อลูมิเนียมใช้เป็นผนังโกดังจำลองและใช้ไม้อัดเป็นพื้นโกดังเพื่อไม่ให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ซึ่งออกแบบสร้างเพื่อที่จะทำการเก็บผลอัตราของประชากรแมลงในกองข้าวเปลือกเปรียบเทียบระหว่างห้องที่ใช้คลื่นความถี่สูงควบคุมกับห้องที่ไม่มีการควบคุมเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยช่วงที่สัปดาห์ที่ 1 ทั้ง 2 ห้อง

ไม่มีการควบคุมเพื่อที่จะสังเกตว่ามีแมลงในกองข้าวอยู่หรือเปล่า ต่อมาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 3 ห้องหมายเลข 1 มีการควบคุมด้วยคลื่นความถี่สูง ส่วนห้องหมายเลขที่ 2 ไม่มีการควบคุม การออกแบบและสร้างโกดังจำลองแสดงดังรูปที่ 5.3



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.3 ห้องที่ใช้ในการทดลองเก็บข้าวเปลือกแบ่งออกเป็น 2 ห้อง หมายเลข 1 ควบคุมด้วยคลื่นความถี่สูง หมายเลข 2 ไม่มีการควบคุม (ก) ห้องทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ออกแบบโดยโปรแกรม Solid work (ข) ห้องเก็บข้าวเปลือกที่สร้างขึ้นตามที่ได้ออกแบบ (ค) ห้องทดลอง 1 และห้องทดลอง 2

การทดสอบเครื่อง

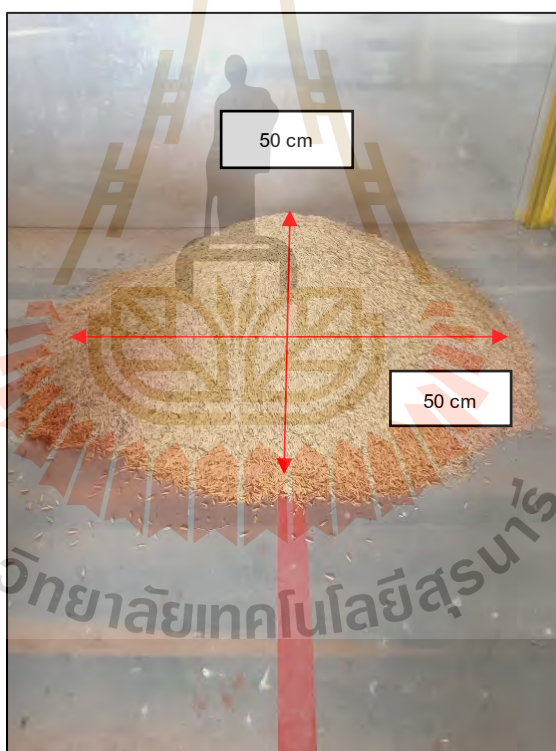
สำหรับการทดลองไล่แมลงในโกดังเก็บข้าวเปลือกด้วยการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริก โดยในการทดลองนั้นจะทำการติดตั้งสายอากาศสำหรับไล่แมลงซึ่งสายอากาศที่ติดตั้งนั้นจะมีการกำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศปากแตรกับกองข้าวเปลือกและปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบของเวลาที่ส่งผลต่อคลื่นความถี่สูงในการเหนี่ยวนำความร้อนแบบไดอิเล็กตริกให้กับกองข้าว โดยในการทดลองได้มีการกำหนดระยะห่างระหว่างกองข้าวเปลือกกับสายอากาศปากแตรสำหรับปล่อยคลื่นความถี่สูง โดยกำหนดให้มีระยะห่างระหว่างสายอากาศปากแตรกับกองข้าวเป็น 100 cm แสดงดังรูปที่ 5.4 โดยใช้กำลังงานในการทดลองไล่แมลงในกองข้าว 126 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 5.5 และขนาดของกองข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองทั้ง 2 ห้อง มีขนาดความกว้างของฐาน 50 เซนติเมตรและมีความสูง 50 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.4 แสดงการวางตำแหน่งสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนไดอิเล็กตริก



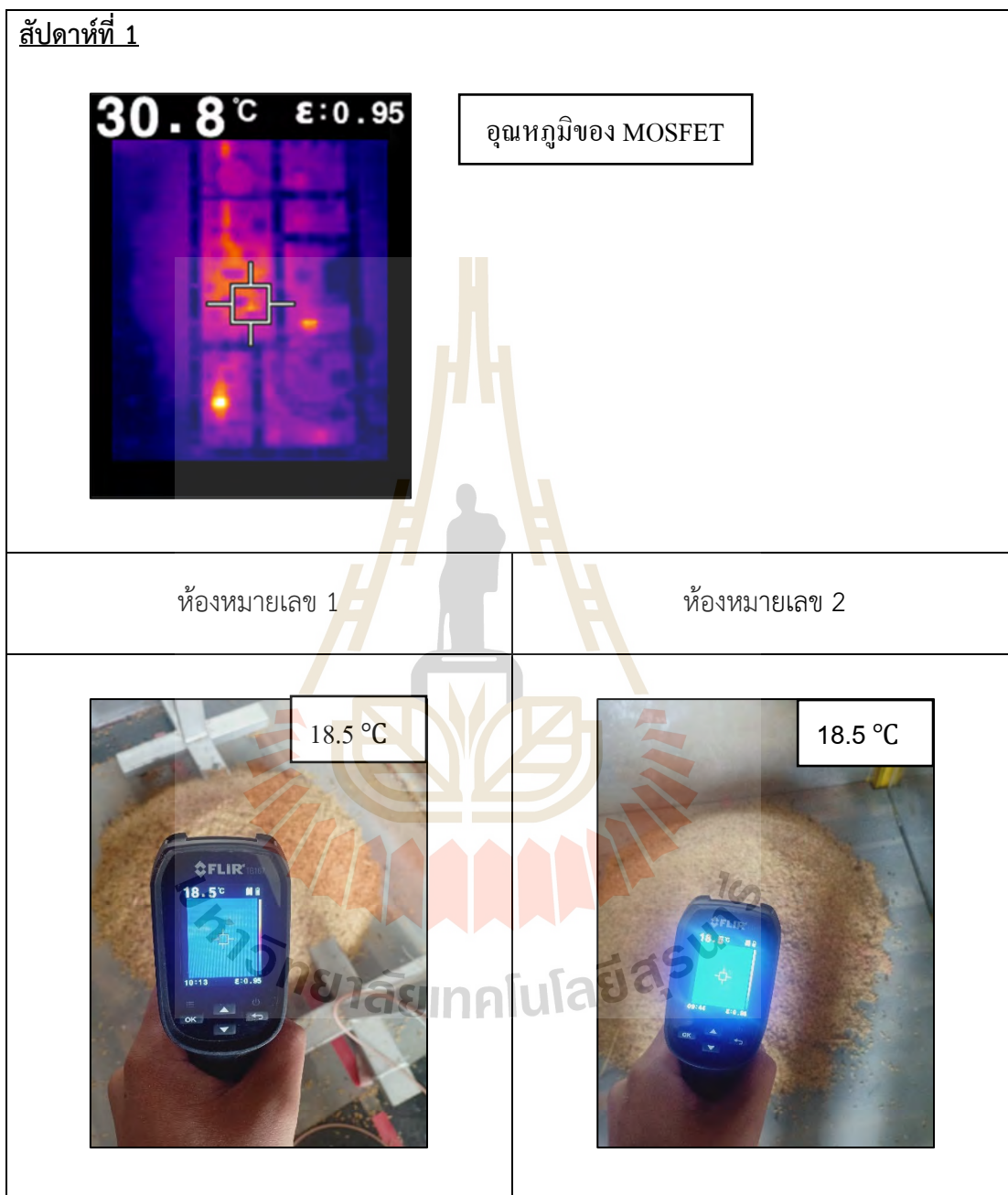
รูปที่ 5.5 แรงดันที่ใช้ 18 v กระแส 7 A กำลังงานที่ปล่อยไปยังสายอากาศปากแตรอยู่ที่ 126 W



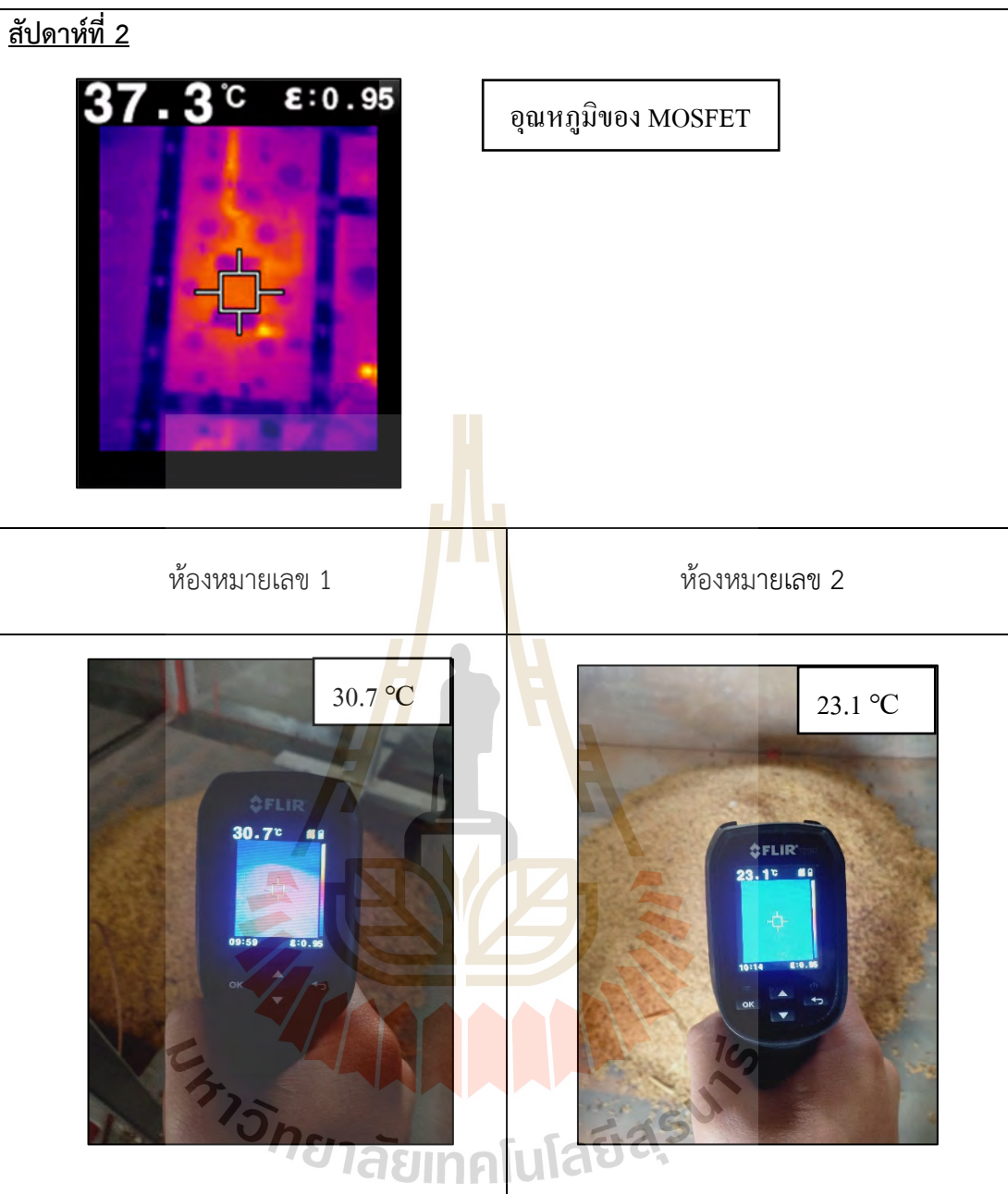
รูปที่ 5.6 ขนาดของกองข้าวเปลือก 50x50 cm

การปล่อยคลื่นด้วยความถี่สูงเพื่อทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก โดยการเก็บข้าวไว้ในโกดังเก็บจำลองที่มีกองข้าวเปลือก ทั้ง 2 ห้อง ห้องหมายเลข 1 เก็บข้าวเปลือกโดยมีการควบคุมด้วยความถี่สูงส่วนห้องหมายเลข 2 ไม่มีการควบคุม แล้วทำการวัดอุณหภูมิและเก็บผลจำนวนประชากร

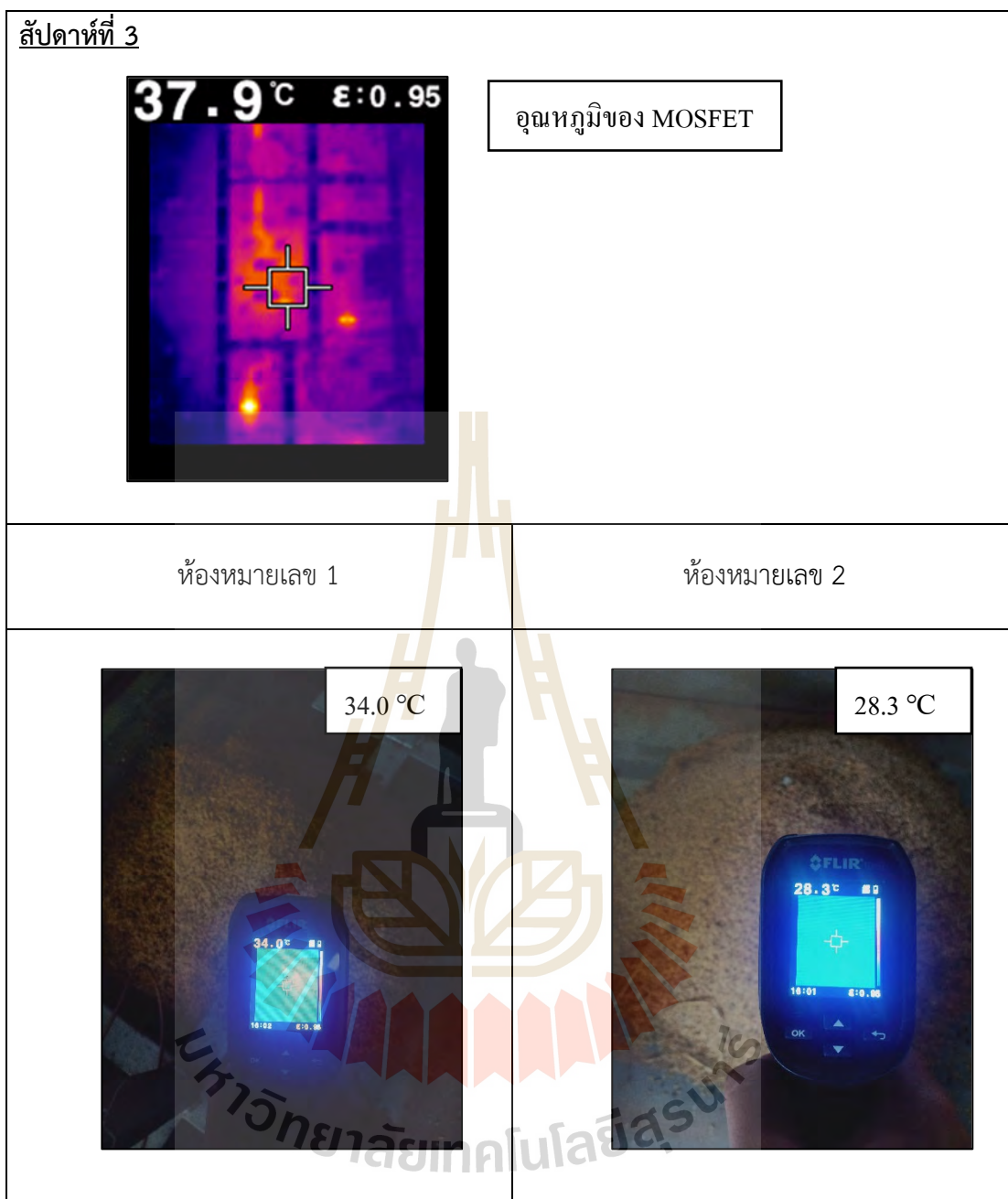
ของแมลงเพื่อเปรียบเทียบกันของทั้ง 2 ห้อง ไปเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ ทำการเก็บผล 3 ครั้ง และทำการวัดอุณหภูมิด้วยกล้องวัดอุณหภูมิ FLIR TG167 แสดงดังรูป ที่ 5.7 , 5.8 , 5.9



รูปที่ 5.7 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 1



รูปที่ 5.8 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 2



รูปที่ 5.9 อุณหภูมิที่ห้องหมายเลข 1 และหมายเลข 2 สัปดาห์ที่ 3

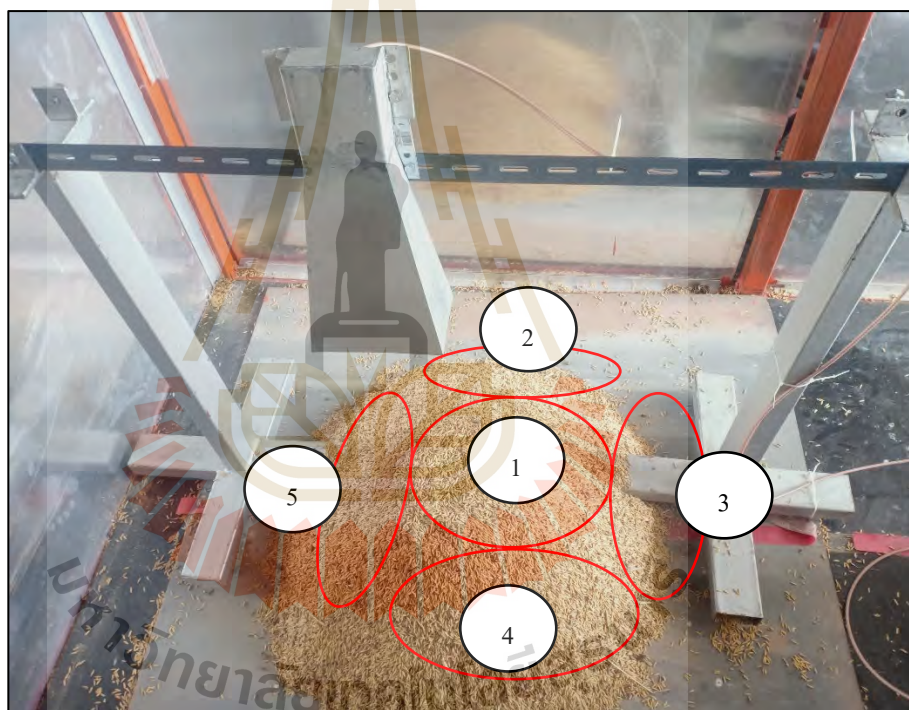
จากการทดสอบปล่อยคลื่นความถี่สูงเพื่อทดสอบการให้ความร้อนไดโอดเล็กทรอนิกส์สำหรับการไล่แมลงในกองข้าว ซึ่งห้องหมายเลข 1 เก็บข้าวเปลือกโดยมีการควบคุมด้วยความถี่สูงส่วนห้องหมายเลข 2 ไม่มีการควบคุม มีอุณหภูมิเริ่มต้นก่อนทำการทดสอบ 24.0 °C แล้วทำการวัดอุณหภูมิ การทดสอบพบว่าหลังจากการปล่อยคลื่นความถี่สูงเป็นเวลา 1 สัปดาห์ อุณหภูมิของมอสเฟตเท่ากับ 30.8 °C อุณหภูมิห้องที่ 1 เท่ากับ 18.5 °C และอุณหภูมิห้องที่ 2 เท่ากับ 18.5 °C

เมื่อทดสอบเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ อุณหภูมิของมอสเฟตเท่ากับ 37.7 °C อุณหภูมิห้องที่ 1 เท่ากับ 30.7 °C และอุณหภูมิห้องที่ 2 เท่ากับ 23.1 °C

เมื่อทดสอบเวลาผ่านไป 2 สัปดาห์ อุณหภูมิของมอสเฟตเท่ากับ 37.9 °C อุณหภูมิห้องที่ 1 เท่ากับ 34.4 °C และอุณหภูมิห้องที่ 2 เท่ากับ 28.3 °C

ผลการทดสอบการไล่แมลง

เพื่อแสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องไล่แมลงด้วยความถี่สูง ผู้วิจัยได้ทำการปล่อยคลื่นความถี่สูงที่กำลังงาน 126 w แบบต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 3 สัปดาห์ โดยเริ่มเก็บผลจำนวนแมลง ทั้ง 2 โดยแบ่งบริเวณออกเป็น 5 ตำแหน่งดังรูปที่ 5.10

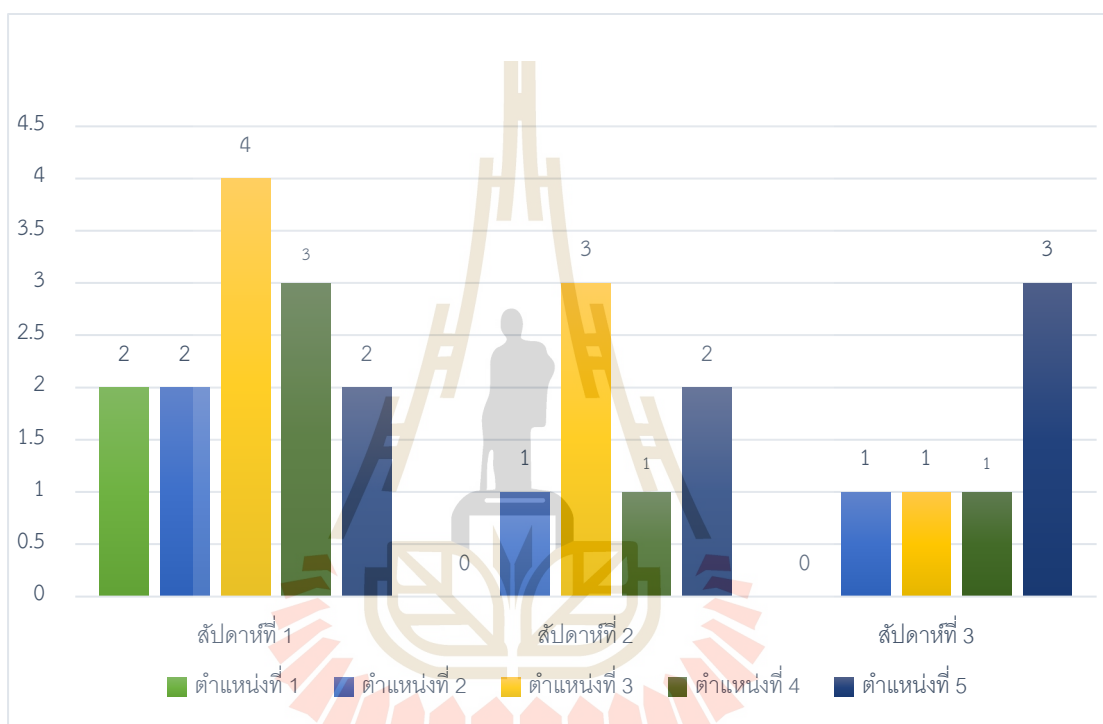


รูปที่ 5.10 บริเวณตำแหน่งที่สุ่มนับจำนวนแมลง

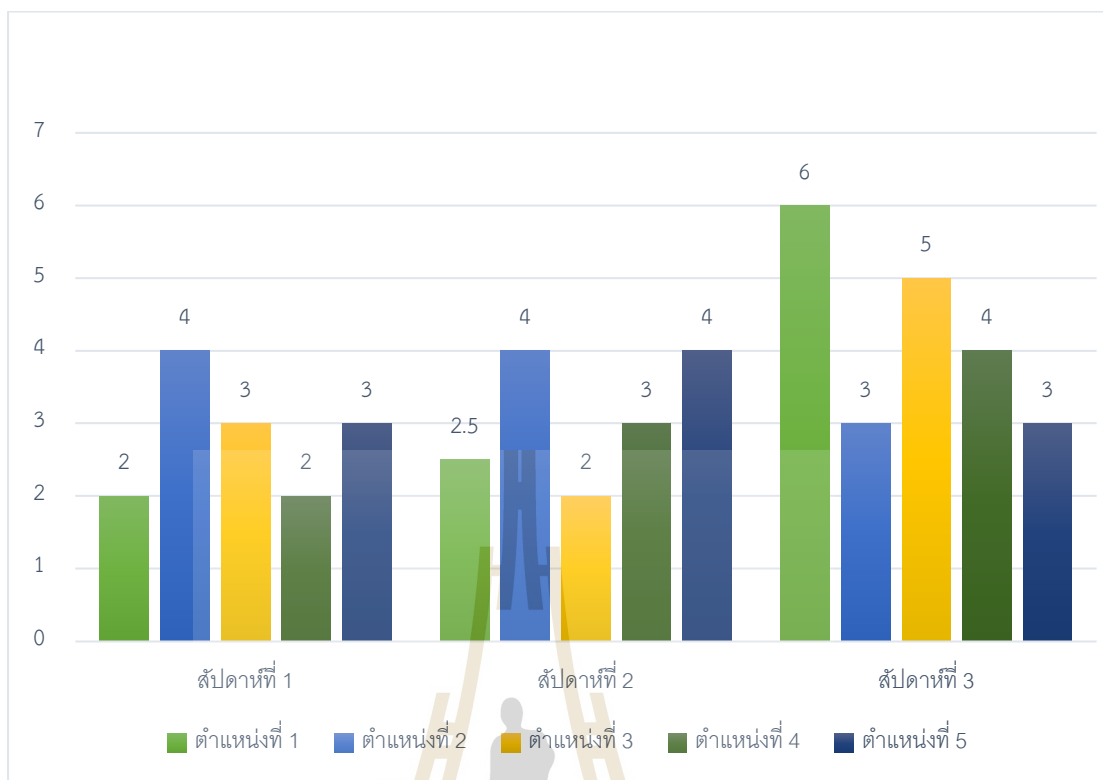
เมื่อทำการทดสอบได้ผลว่าในสัปดาห์ที่ 1 ห้องหมายเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 2,2,4,3,4 ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 2,4,3,2,3 ดังแสดงในรูปที่ 5.11

สัปดาห์ที่ 2 ห้องหมายเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 0,1,3,1,2 ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 4,2,3,3,4 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.11

สัปดาห์ที่ 3 ห้องหมายเลข 1 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 0,1,1,2,1 ตามลำดับ และห้องหมายเลข 2 ที่ตำแหน่งที่ 1,2,3,4 และ 5 จำนวนแมลงที่สามารถนับได้ คือ 5,3,5,4,6 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.11



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.11 จำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 1 และห้องหมายเลข 2
ทั้ง 3 สัปดาห์ (ก) จำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 1
(ข) จำนวนแมลงในแต่ละตำแหน่งของห้องหมายเลข 2

จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบไล่แมลงด้วยคลื่นความถี่สูงกำลังงานของภาคส่งขนาด 126 วัตต์ โดยระยะห่างจากสายอากาศไปจนถึงกองข้าวเป็นระยะ 100 เซนติเมตร โดยอุณหภูมิก็จะขึ้นอยู่กับระยะห่างของสายอากาศ และระยะเวลาในการทดสอบ จึงทำให้สังเกตเห็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงส่งผลกระทบต่อแมลงทำให้ควบคุมหรือไล่แมลงในกองข้าวเปลือกได้

5.2 การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าวด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว

การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวนั้นจะทำการกำหนดอุณหภูมิการทดสอบเป็น 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C โดยการทดสอบจะทดสอบเมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกชนิดเดียวกัน 2 แบบ คือ 1.เมล็ดพันธุ์ข้าวแบบไม่คัด (เมล็ดพันธุ์

ข้าวเปลือกที่มีสิ่งเจือปน เมล็ดลีบ และอื่น ๆ) 2. เมล็ดพันธุ์ข้าวแบบคัด (เมล็ดพันธุ์ข้าวเปลือกที่ไม่มีสิ่งเจือปน) แล้วใช้กล้องภาพถ่ายความร้อนในการดูอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

สำหรับการปลูกเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการกระตุ้นการงอกด้วยคลื่นความถี่วิทยุจะทำการปลูกในกระบะ โดยในการเตรียมเมล็ดพันธุ์ข้าวเพื่อทำการปลูกรุ่นนั้นจะทำการแช่น้ำ 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำลงปลูกในกระบะที่เตรียมดินไว้ โดยดินที่ใช้ปลูกมีค่า PH 6.0-7.5 รดน้ำให้มีความชื้น 60 % การให้แสงใช้แสงจากหลอดไฟธรรมดาเปิดไฟให้ตลอดเวลา สภาพแวดล้อม ทำการเพาะอยู่ในอุณหภูมิห้องปกติ

เมล็ดพันธุ์ข้าวแบบไม่คัด

2.1 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 วัน

2.2 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 เดือน

2.3 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 3 เดือน

2.4 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 6 เดือน

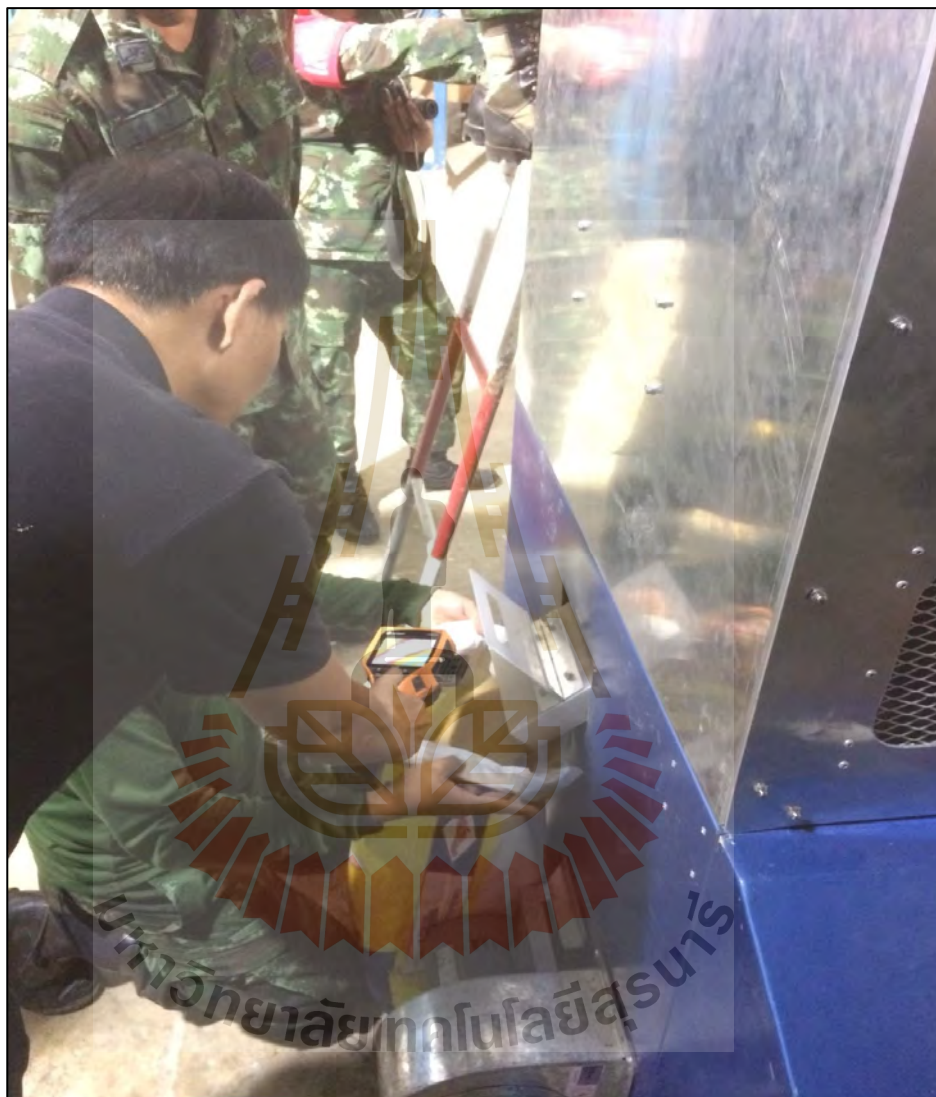
เมล็ดพันธุ์ข้าวแบบคัด

2.5 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 วัน

2.6 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 เดือน

2.7 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกไปแล้ว 3 เดือน

2.8 ที่อุณหภูมิหลังการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก 48 °C , 50 °C , 55 °C , 60 °C , และ 70 °C ทำการปลูกข้าวเพื่อดูอัตราการงอกหลังจากผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับ กระตุ้นการงอกไปแล้ว 6 เดือน



(ก)

รูปที่ 5.12 การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอก



(ข)

รูปที่ 5.12 การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระสุนการงอก (ต่อ)



รูปที่ 5.13 อุณหภูมิเริ่มต้นก่อนการทดสอบ ที่ 28.6 °C



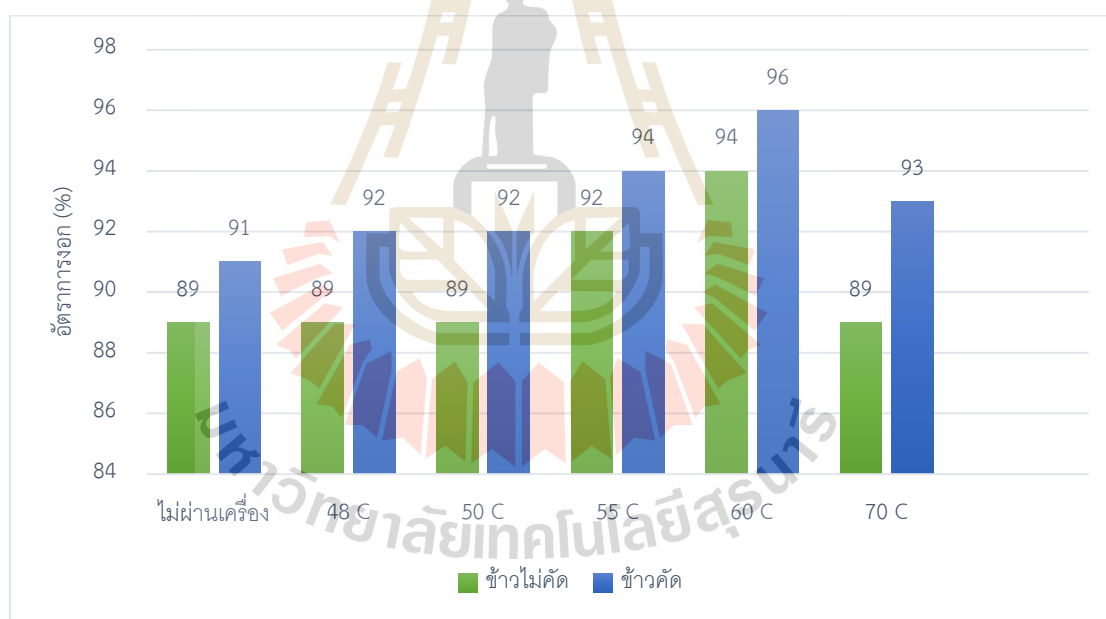
รูปที่ 5.14 อุณหภูมิจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ที่ 48.7 °C



รูปที่ 5.15 อุณหภูมิจากการให้ความร้อนไดอิเล็กตริก ที่ 50.2 °C

5.2.1 ผลการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กทริกสำหรับกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว

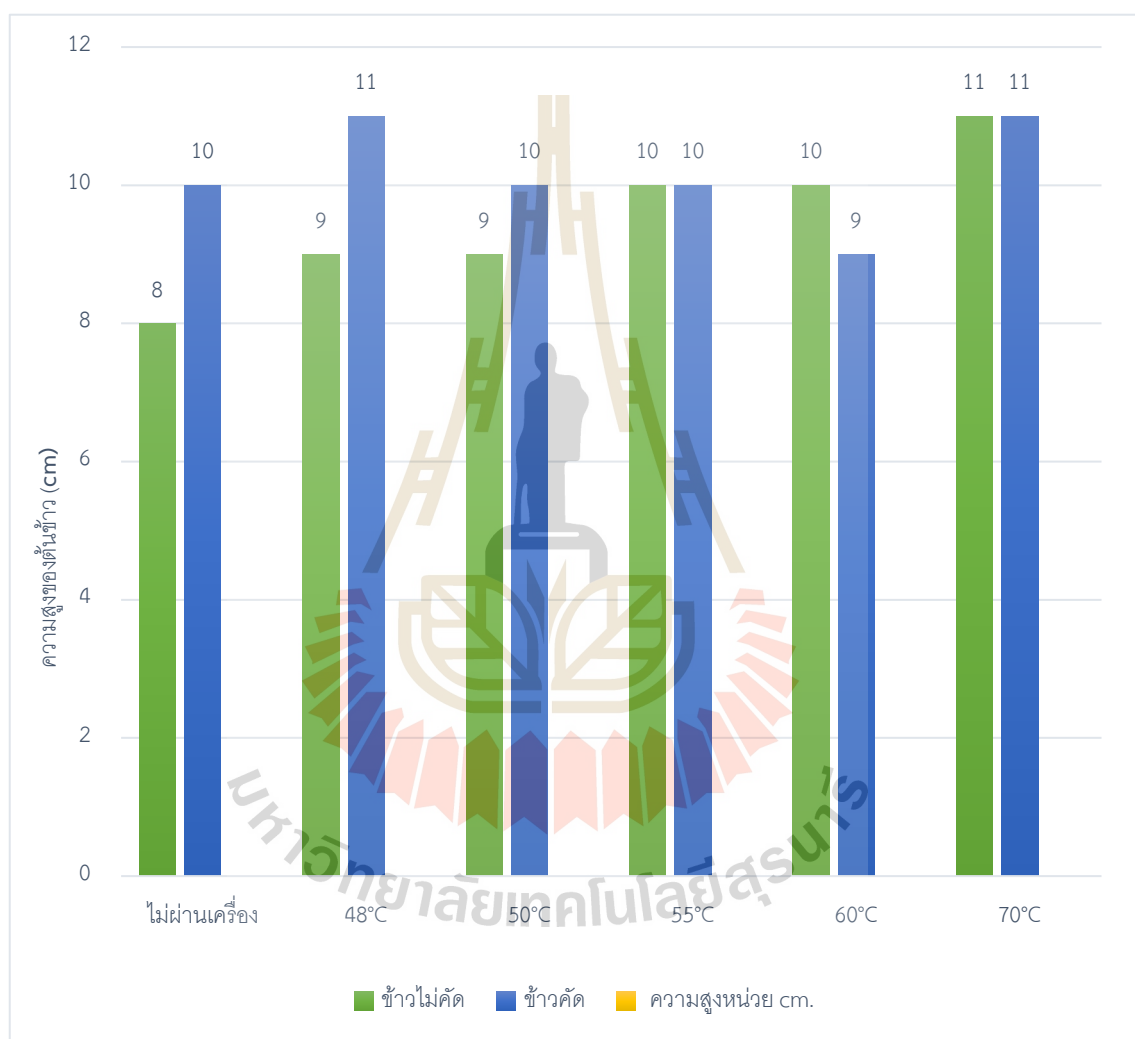
การทดสอบผลการงอกจะทำการทดสอบโดยการปลูกในกระบะปลูกซึ่งทำการปลูกกระบะละ 100 เมล็ดที่อุณหภูมิละ 3 ซ้ำ ดูอัตราการงอกและความสูงระยะเวลา 8 วัน แล้วทำการเก็บผลค่าเฉลี่ย ได้อัตราการงอกเป็นดังนี้ ผลการทดสอบอัตราการงอกหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 วันได้ผลการทดสอบเป็นร้อยละ พบว่า ไม่ผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 89% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 91% ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 89% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 92% ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 89% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 92% ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 92% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 94% ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 94% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 96% ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 89% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 93% แสดงดังรูปที่ 5.16



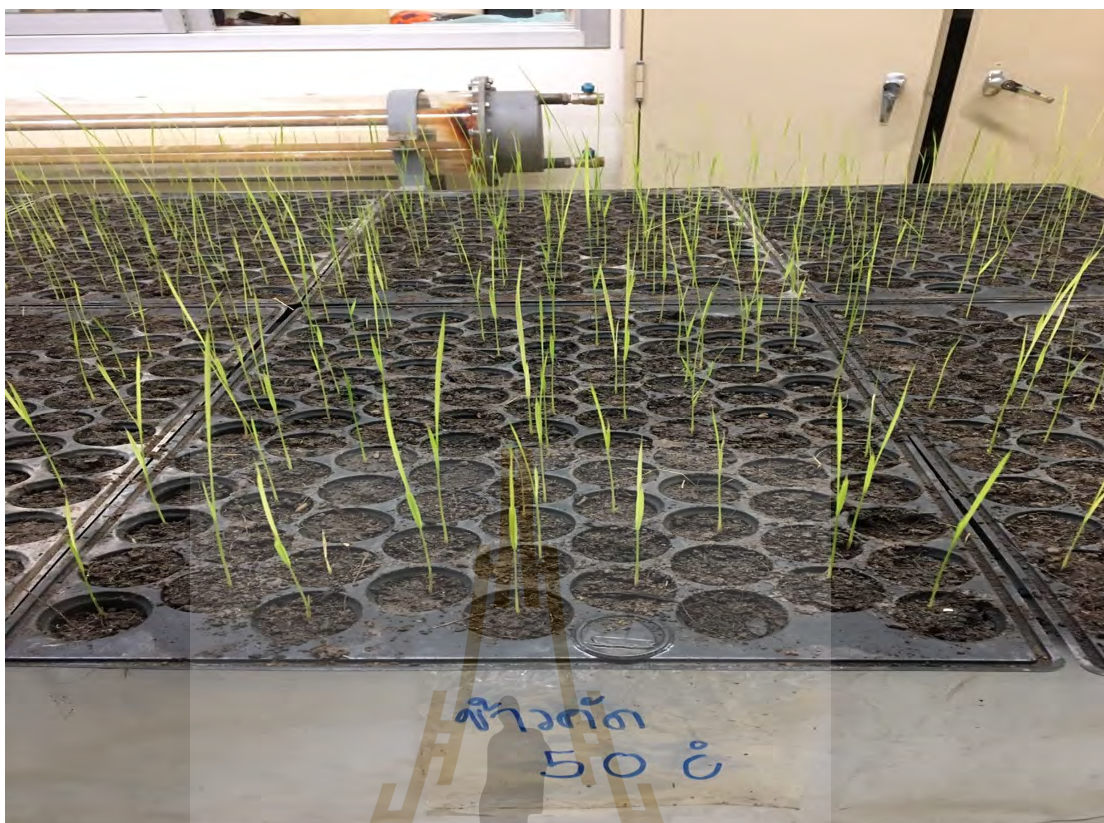
รูปที่ 5.16 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 1 วัน

ผลการทดสอบความสูงหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 วัน ทำการปลูกเป็นระยะเวลา 8 วัน ได้ผลการทดสอบความสูงเป็นเซนติเมตรพบว่า ไม่ผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 8 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ด

จะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.17

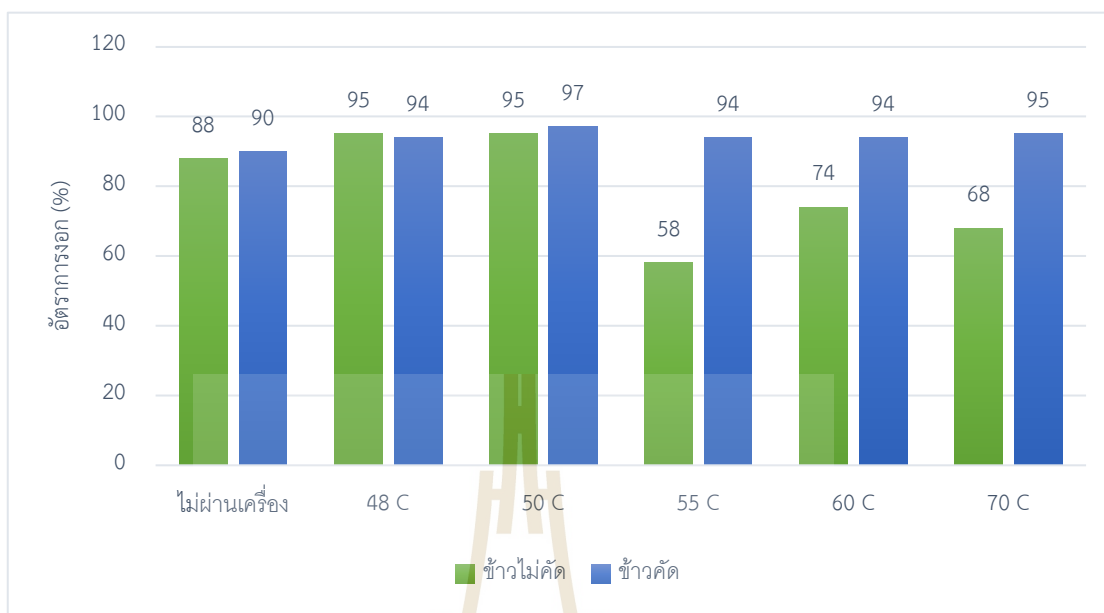


รูปที่ 5.17 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกลงมาแล้ว 8 วัน



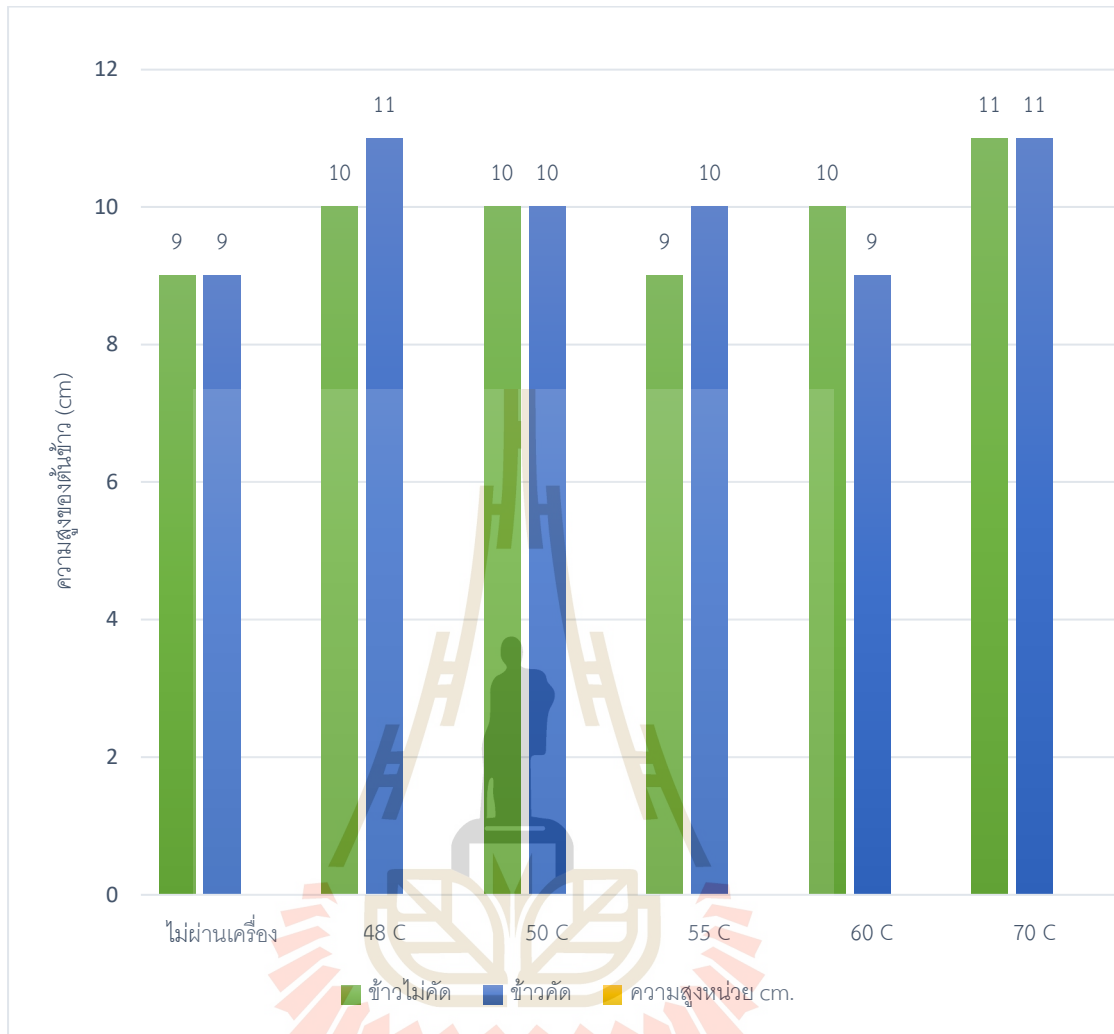
รูปที่ 5.18 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูก 8 วัน

ผลการทดสอบอัตราการงอกหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 เดือน ได้ผลการทดสอบเป็นร้อยละ พบว่า ไม่ผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 88% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 90% ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 95% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 94% ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 95% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 97% ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 58% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 94% ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 74% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 94% ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 95% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 94% แสดงดังรูปที่ 5.19

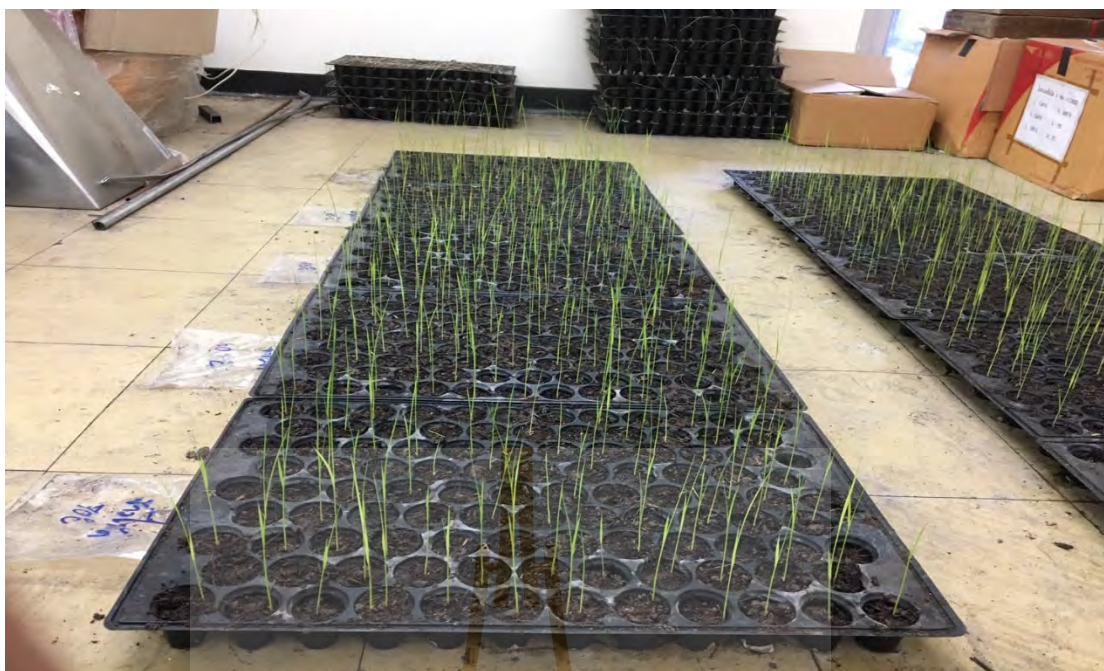


รูปที่ 5.19 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 1 เดือน

ผลการทดสอบความสูงหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 1 เดือน ทำการปลูกเป็นระยะเวลา 8 วัน ได้ผลการทดสอบความสูงเป็นเซนติเมตรพบว่า ไม่ผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 20

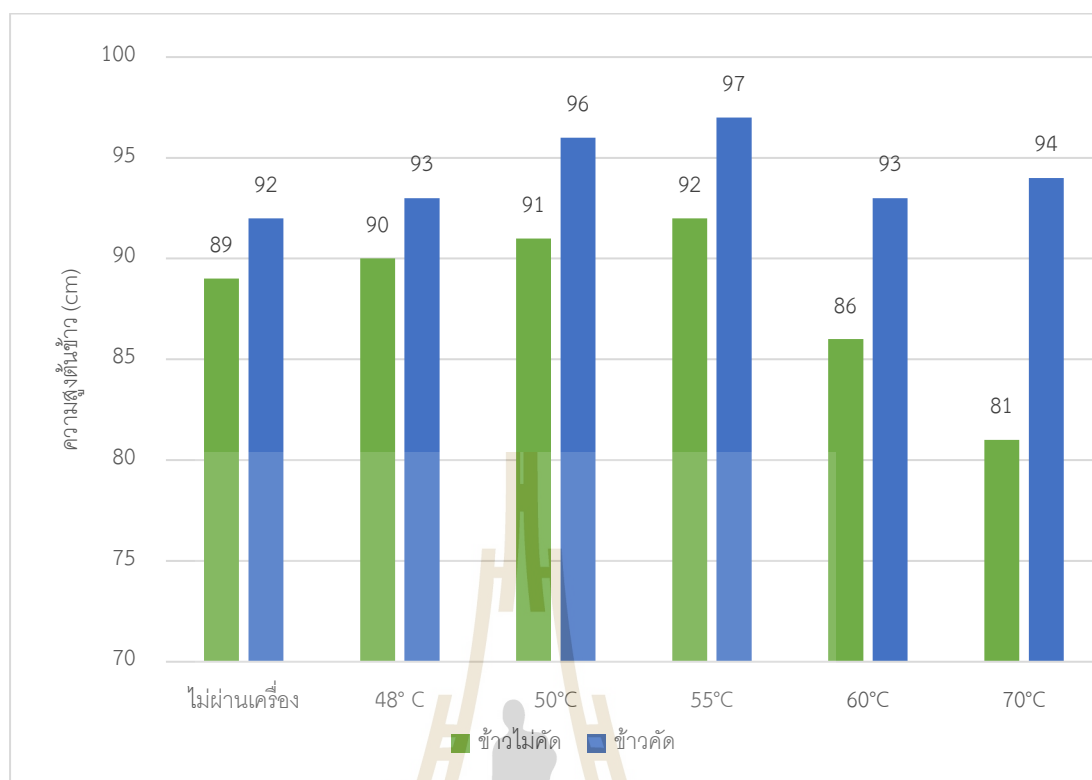


รูปที่ 20 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกมาแล้ว 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 1 เดือน



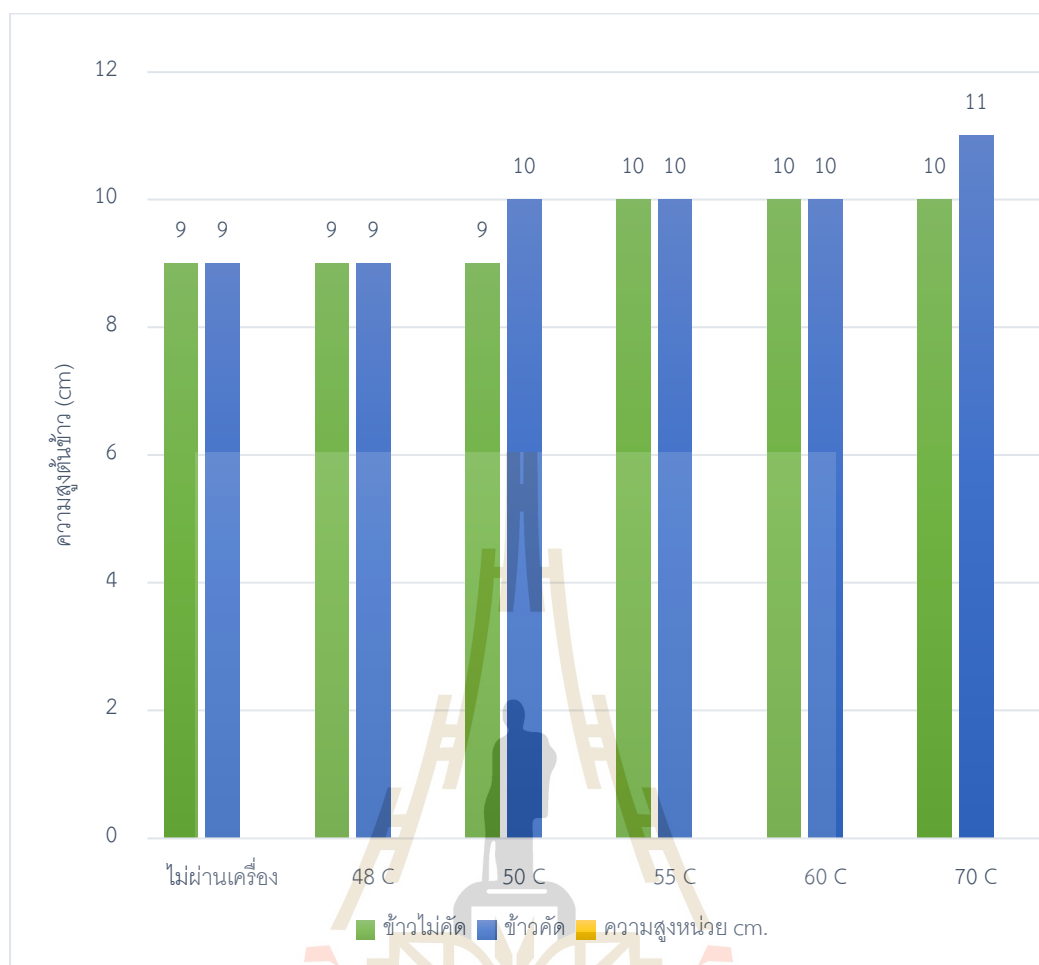
รูปที่ 5.21 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูก 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 1 เดือน

ผลการทดสอบอัตราการงอกหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 3 เดือน ได้ผลการทดสอบเป็นร้อยละ พบว่า ไม่ผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 89% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 92% ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 90% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 93% ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 91% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 96% ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 92% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 97% ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 86% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 93% ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 81% แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 94% แสดงดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 3 เดือน

ผลการทดสอบความสูงหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 3 เดือน ทำการปลูกเป็นระยะเวลา 8 วัน ได้ผลการทดสอบความสูงเป็นเซนติเมตรพบว่า ไม่ผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.23

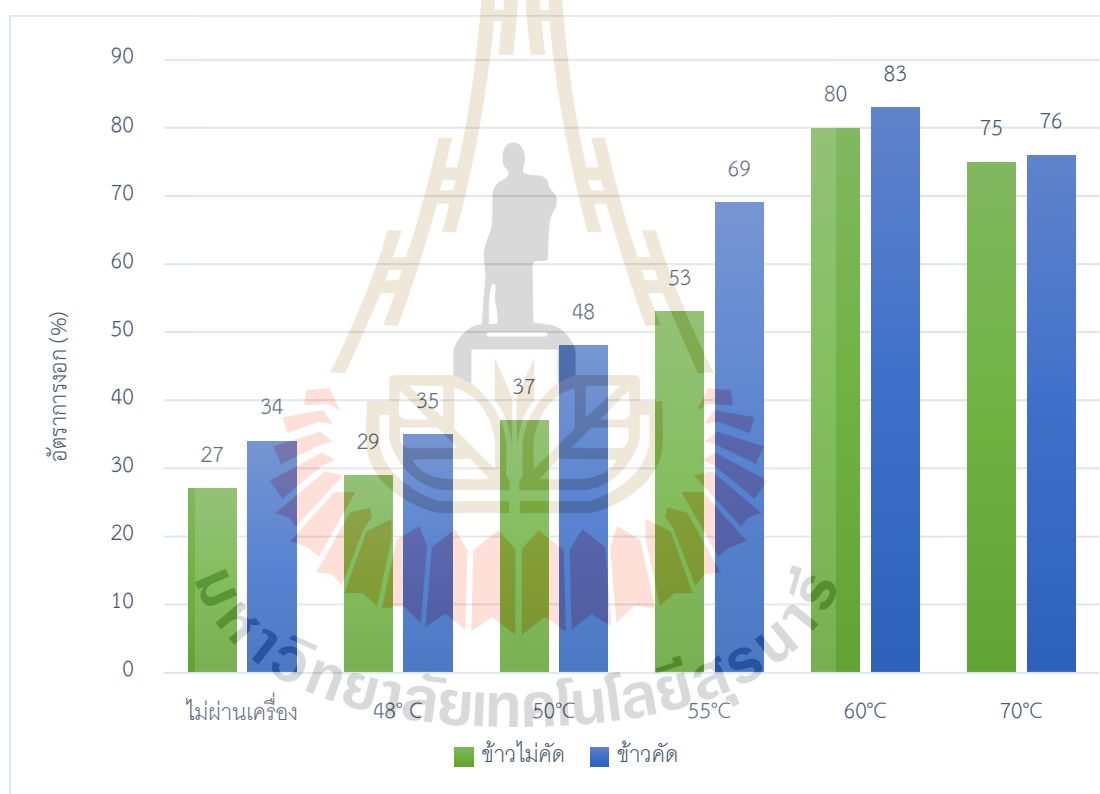


รูปที่ 5.23 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกลูกมาแล้ว 8 วัน



รูปที่ 5.24 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูกลูก 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 3 เดือน

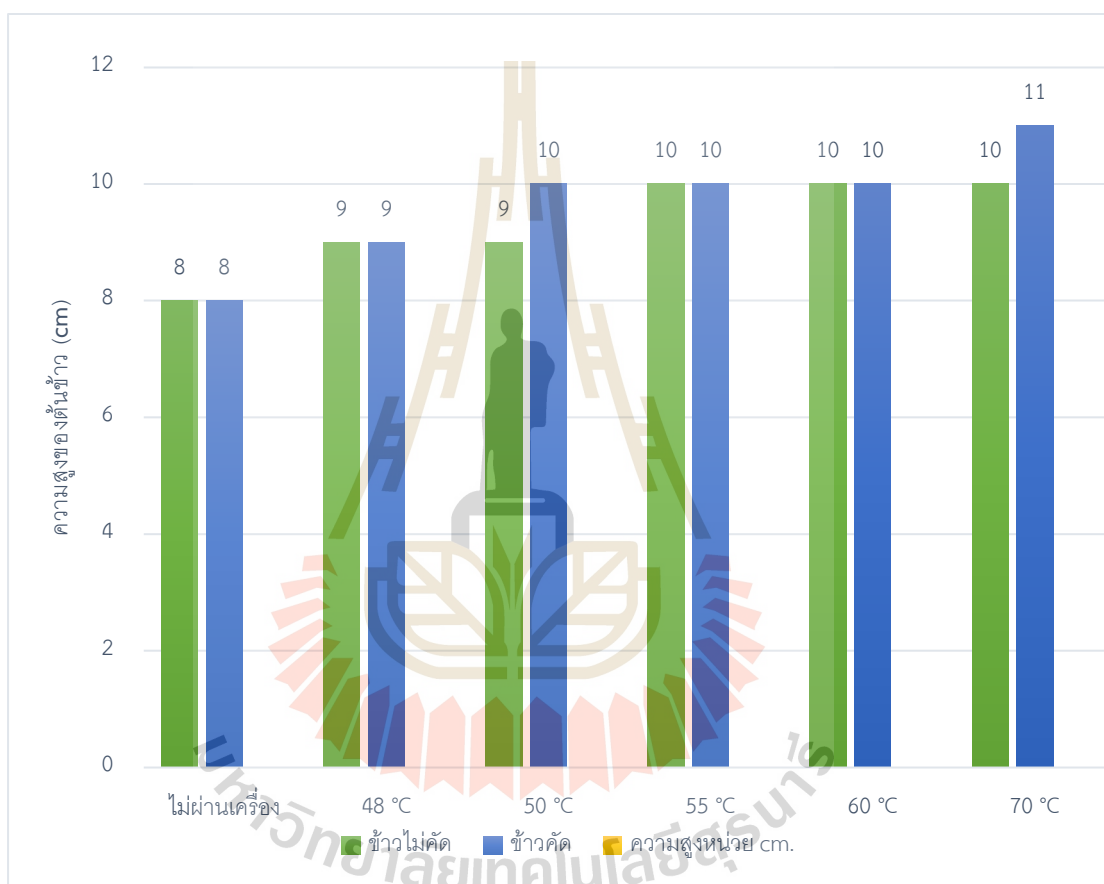
ผลการทดสอบอัตราการงอกหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 6 เดือน ได้ผลการทดสอบเป็นร้อยละ พบว่า ไม่ผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 27% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 34% ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 29% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 35% ที่อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 37% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 48% ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 53% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 69% ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 80% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 83% ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องอัตราการงอกของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 75% แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 76% แสดงดังรูปที่ 5.25



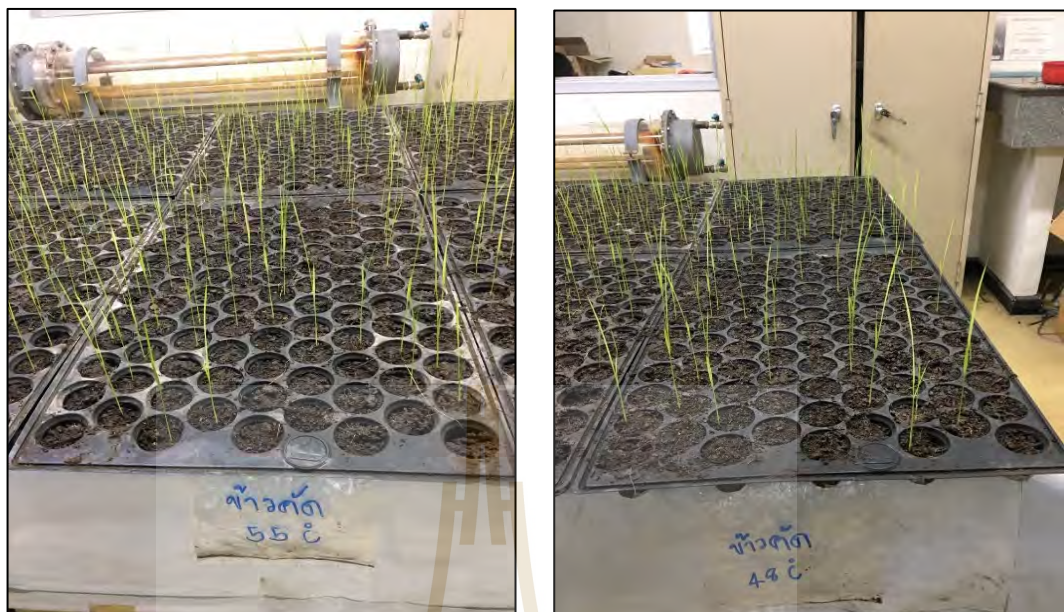
รูปที่ 5.25 อัตราการงอกของเมล็ดพันธุ์ข้าวหลังจากการกระตุ้นการงอก 6 เดือน

ผลการทดสอบความสูงหลังจากผ่านการกระตุ้นการงอกไปแล้ว 3 เดือน ทำการปลูกเป็นระยะเวลา 8 วัน ได้ผลการทดสอบความสูงเป็นเซนติเมตรพบว่า ไม่ผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 8 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 8 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 48 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัตจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัตเมล็ดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร ที่

อุณหภูมิ 50 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 9 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 55 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 60 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 70 °C หลังจากผ่านเครื่องความสูงของเมล็ดแบบไม่คัดจะเท่ากับ 10 เซนติเมตร แบบคัดเมล็ดจะเท่ากับ 11 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 ความสูงของต้นข้าวหลังจากการปลูกมาแล้ว 8 วัน



รูปที่ 5.27 ข้าวที่งอกหลังจากการปลูก 8 วัน ที่เก็บเมล็ดไว้ 6 เดือน

จากการทดสอบและเก็บผลการทดสอบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว สามารถกระตุ้นการงอกเมล็ดพันธุ์ได้ซึ่งจากการทดสอบและเก็บผลเปรียบเทียบระหว่างเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่ผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอกกับเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับกระตุ้นการงอก พบว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่มีการผ่านการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกมีอัตราการงอกและความสูงที่มากกว่าเมล็ดพันธุ์ข้าวที่ไม่การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

5.3 การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบ เครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวเปลือกและข้าวสารในกระสอบ

การทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ

สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสำหรับหม่อมอดข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุภัณฑ์ในกระสอบ ในการทดลองนั้นถุงข้าวเปลือกและข้าวสารที่บรรจุจะถูกวางอยู่ตรงกลางระหว่างเพลตทั้งสองและวางบนฐานที่ทำจากวัสดุพลาสติก Polypropylene แสดงดังรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.28 การจัดวางข้าวสารหรือข้าวเปลือกที่บรรจุในกระสอบวางบนฐานพลาสติก
Polypropylene



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.29 ถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวเพื่อทำการทดสอบ

สำหรับการทดสอบอัตราการตายของมอดข้าว ได้ดำเนินการจัดมอดข้าวใส่ในถุงผ้าเป็นชุด ถุงผ้าลักษณะตามรูปที่ 5.29 โดยกำหนดตำแหน่งการวางถุงผ้าใส่มอดข้าว วัดระยะข้าวไป 10 เซนติเมตร ตามรูปที่ 5.30 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องในการกำจัดมอดข้าว



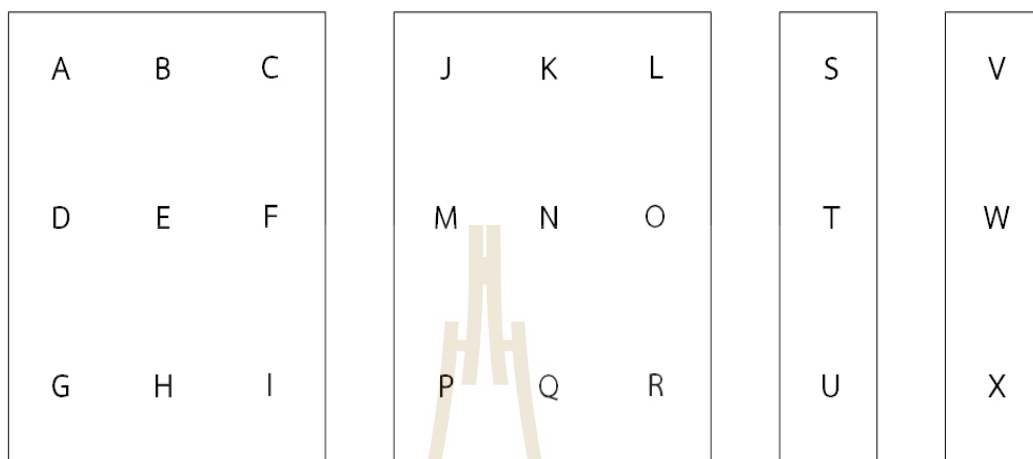
ด้านหน้า

ด้านหลัง

ด้านข้าง

รูป 5.30 ตำแหน่งการวางถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวในกระสอบข้าว

สำหรับการทดลองจะทำการวัดอุณหภูมิภายนอกของกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือกโดยใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A ในการวัดอุณหภูมิและดูภาพรวมของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นที่กระสอบข้าว ซึ่งกำหนดตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิตามรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.31 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวสารและข้าวเปลือก

การทดสอบวัดอุณหภูมิต่อเวลา

ทดสอบโดยใช้ข้าวเปลือก

1. ทดสอบโดยใช้เวลา 10 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
2. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 10 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
3. ทดสอบโดยใช้เวลา 15 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
4. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 15 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
5. ทดสอบโดยใช้เวลา 20 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
6. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 20 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน

ทดสอบโดยใช้ข้าวสาร

1. ทดสอบโดยใช้เวลา 10 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
2. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 10 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
3. ทดสอบโดยใช้เวลา 15 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
4. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 15 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
5. ทดสอบโดยใช้เวลา 20 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน
6. กลับด้าน ทดสอบโดยใช้เวลา 20 นาที วัดผลอุณหภูมิทุกตำแหน่ง
ถ่ายภาพความร้อน ทุกด้าน ทั้ง 4 ด้าน

ผลการวัดความร้อนที่จุดต่าง ๆ และอัตราการตายของมอดข้าว

ในการทดสอบจะทำการวัดอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวเพื่อดูอุณหภูมิและภาพรวมที่เกิดขึ้นภายนอกกระสอบข้าว 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

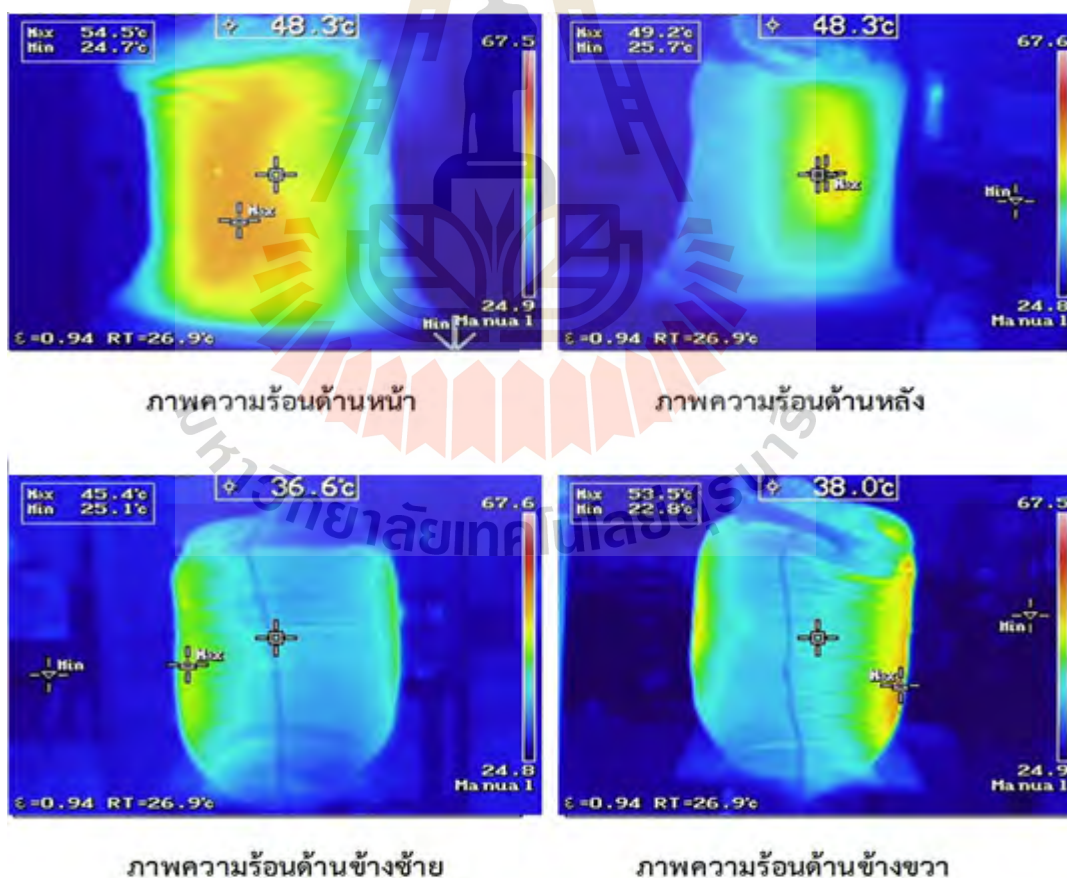
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 46.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 47.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 47.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 46.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ Q = 47.0 °C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา R = 46.6 °C อุณหภูมิด้านข้างฝั่งซ้ายของกระสอบที่ตำแหน่ง 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 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุอีก 1 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง 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

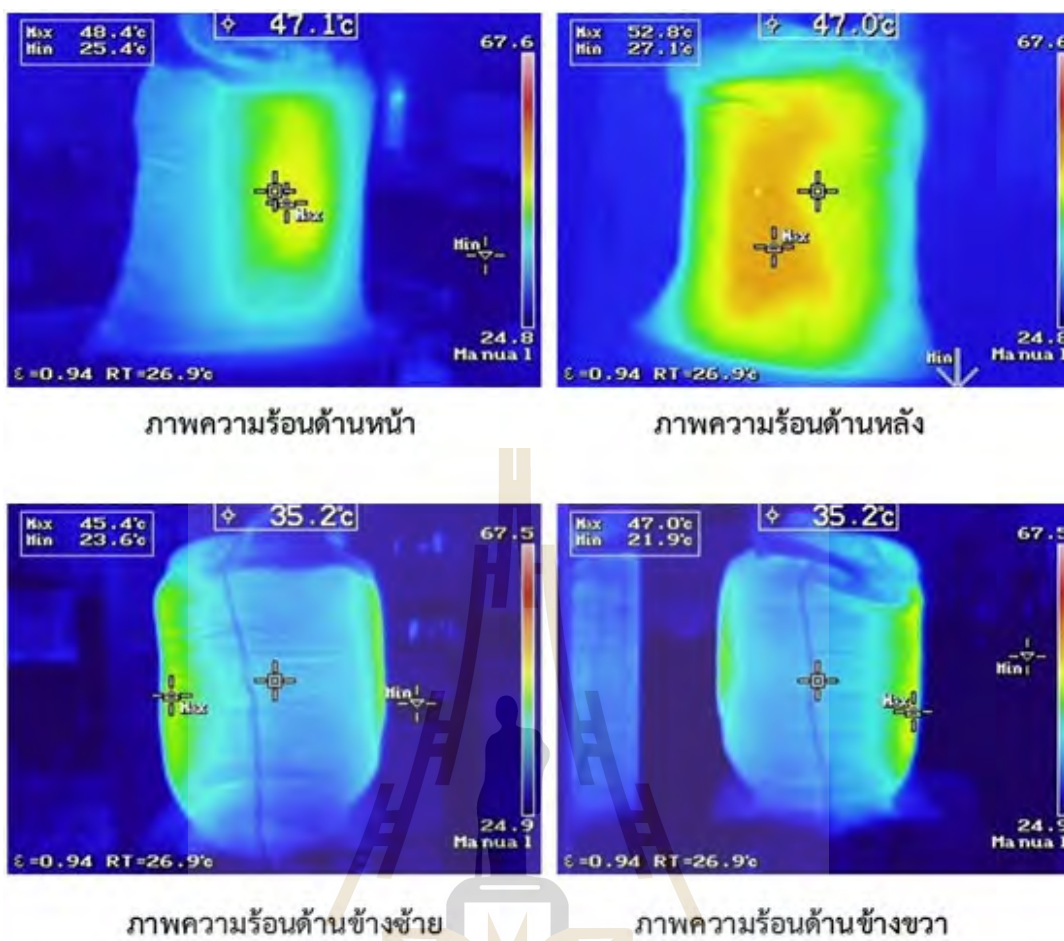
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 47.6 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 48.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 47.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 47.6 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 48.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ

O = 47.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 47.6 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลาง กระสอบ 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 อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลาและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.32 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.33 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที



รูปที่ 5.32 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.33 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

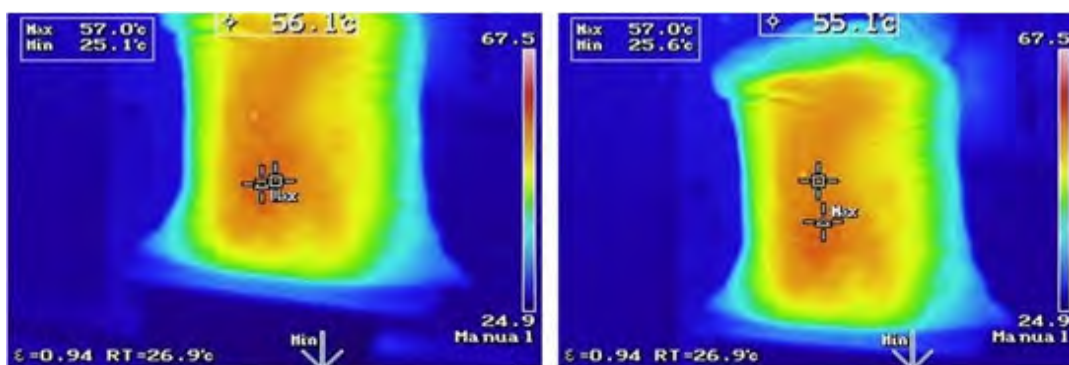
อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.7 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.7 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 54.7 °C 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

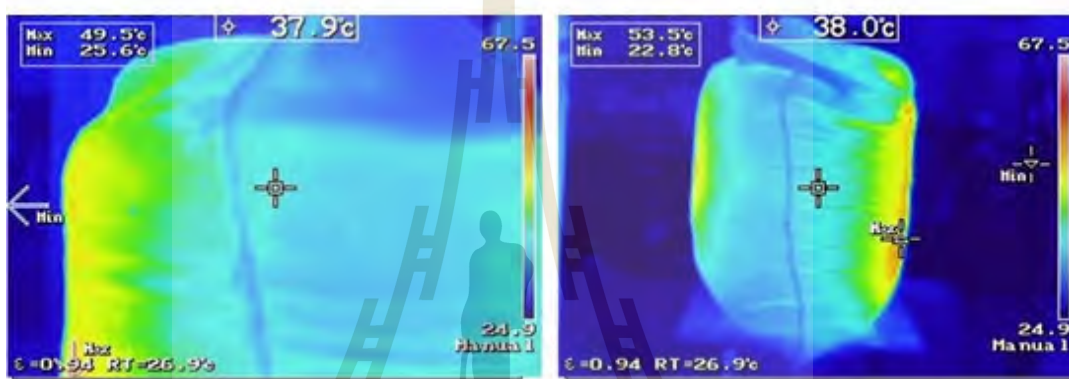
อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางกระสอบ N = 55.2 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ 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 5.34 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.35 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

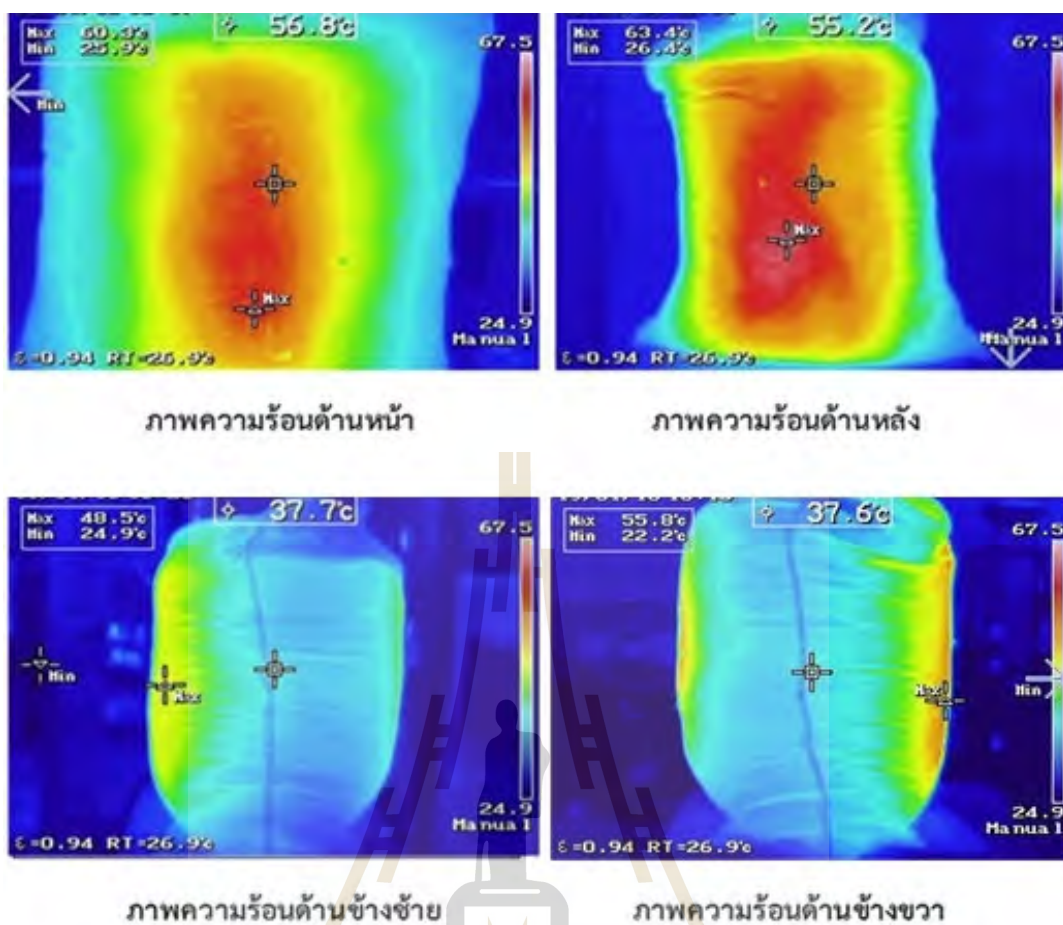
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.34 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.35 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก

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

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) 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 ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ H = 59.0°C และตำแหน่งสุดท้ายด้านล่างขวา I = 58.7°C

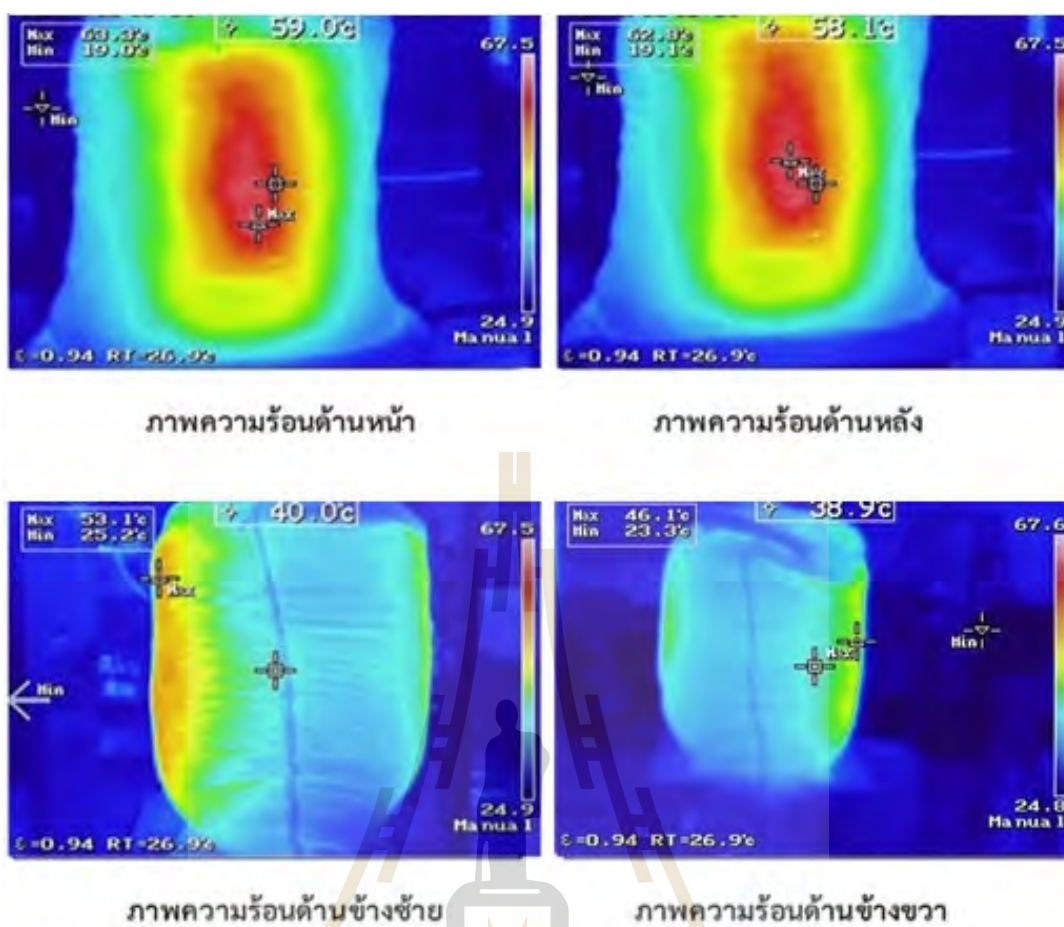
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 57.8°C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนบนของกระสอบ K = 58.1°C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 57.8°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 57.8°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 58.1°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ O = 57.8°C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ P = 57.8°C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างตรงกลางของกระสอบ 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 นาที แล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุอีก 3 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง

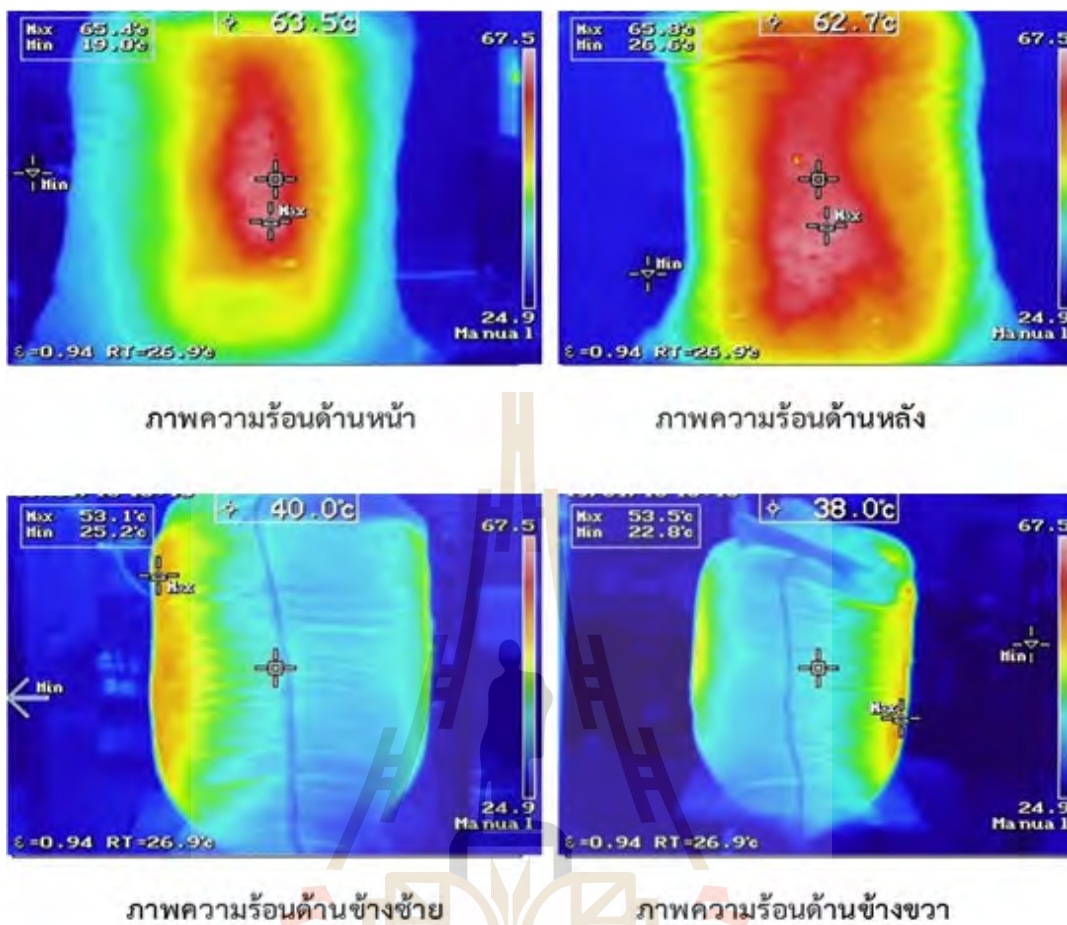
A = 62.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 63.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ D = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ E = 63.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ F = 62.8 °C ตำแหน่งถัดไปด้านล่างซ้ายของกระสอบ 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 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 และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง X = 38.0 °C

จากการทดสอบนำข้าวเปลือกไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 20 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.36 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.37 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที



รูปที่ 5.36 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวเปลือก



รูปที่ 5.37 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

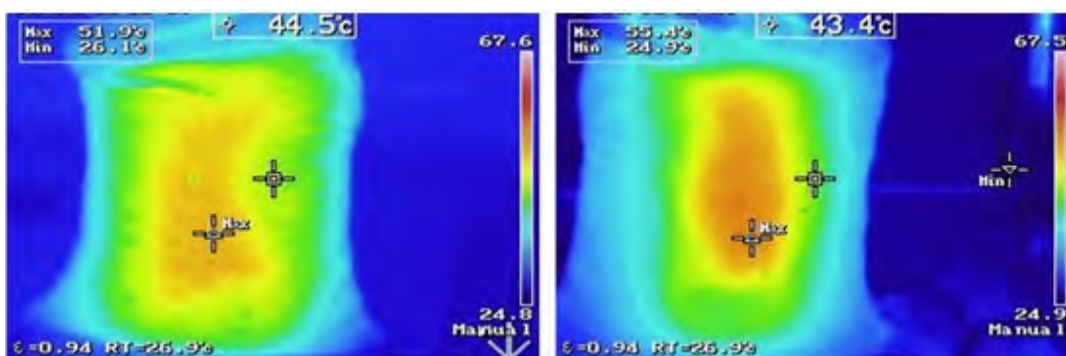
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 42.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 43.4 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 42.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 42.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 43.4 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 44.3 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 44.3 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของกระสอบ 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

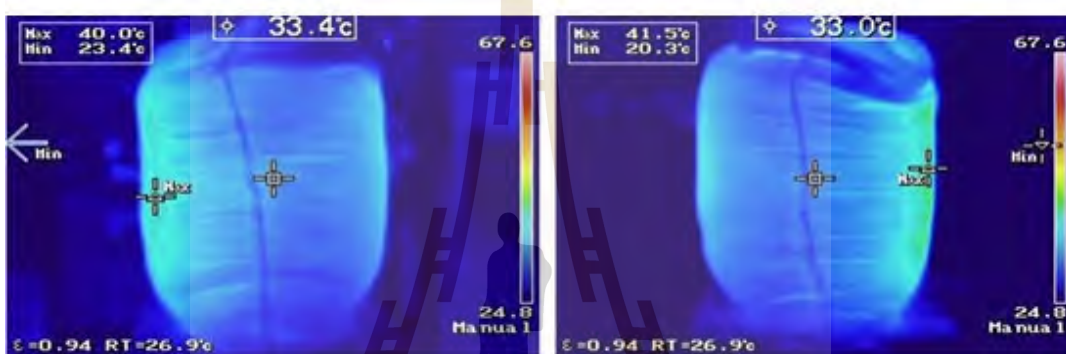
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 44.0 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 44.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของกระสอบ M = 44.0 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 44.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.38 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 10 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.39 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

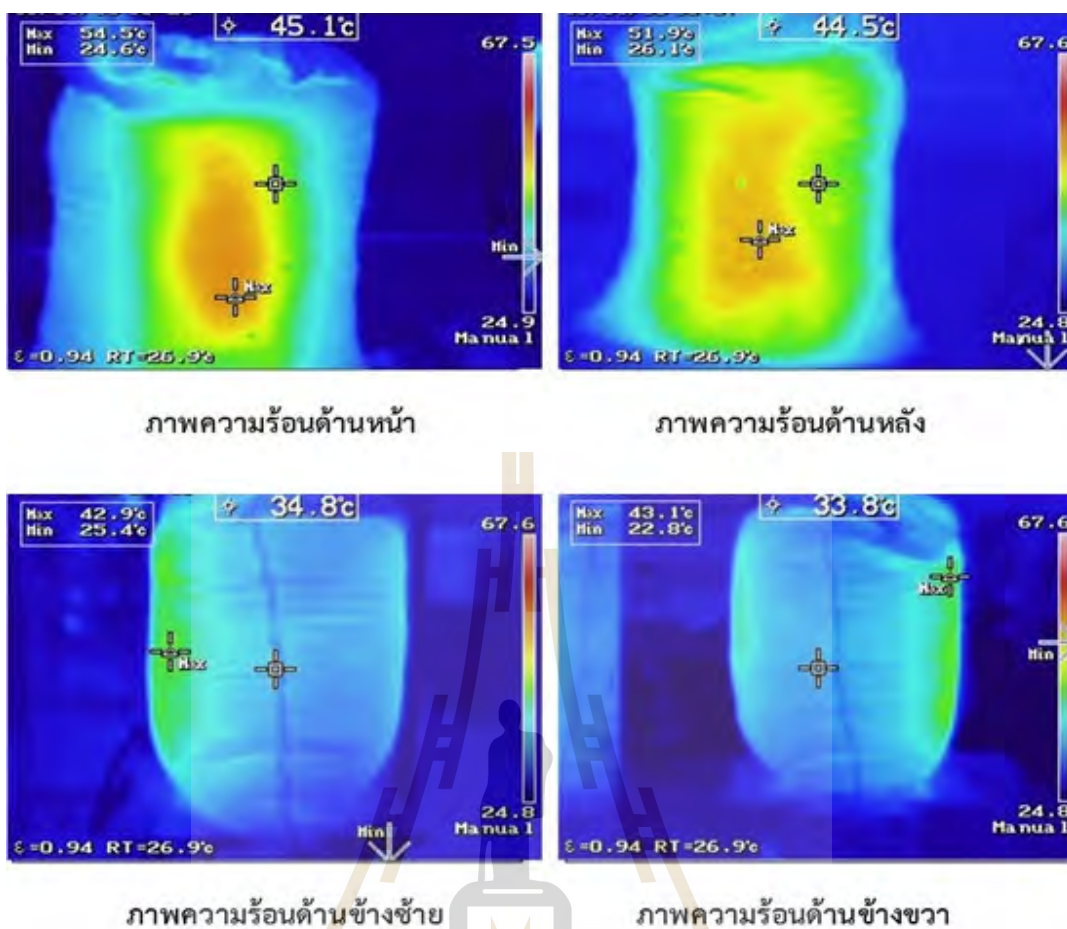
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.38 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร



รูปที่ 5.39 ภาพความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 10 นาที โดยใช้ข้าวสาร

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

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) 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

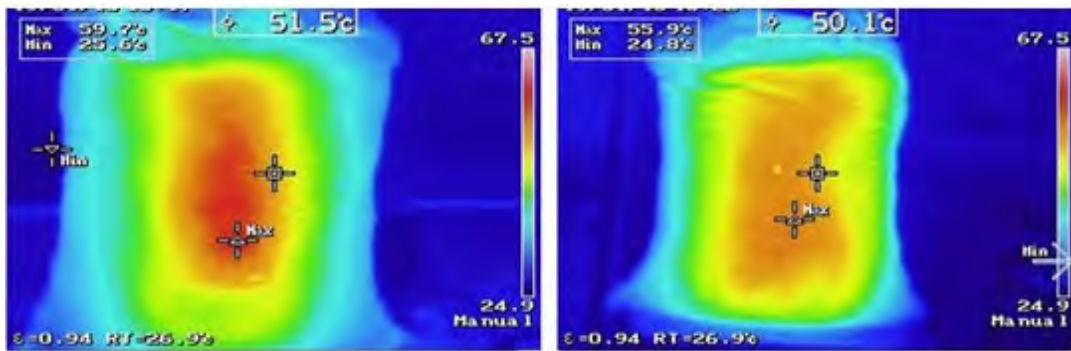
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 49.9°C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 49.9°C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 49.9°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 49.7°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 50.1°C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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

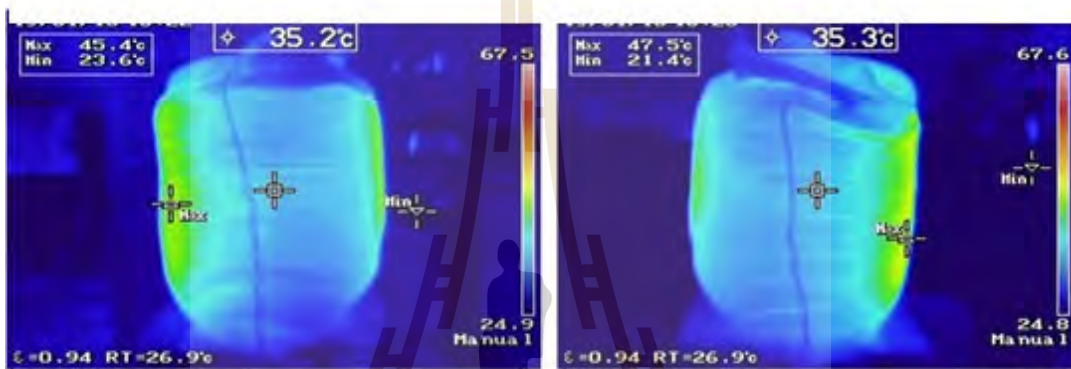
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 54.8 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 54.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 55.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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 และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง W = 36.4 °C

จากการทดสอบนำข้าวสารไปผ่านเครื่องความถี่วิทยุเป็นเวลา 15 นาที ทั้งแบบปกติและแบบกลับด้าน พบว่าอุณหภูมิภายนอกกระสอบข้าวที่ได้ทำการวัดโดยใช้กล้องจับภาพความร้อนนั้น อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.40 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.41 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

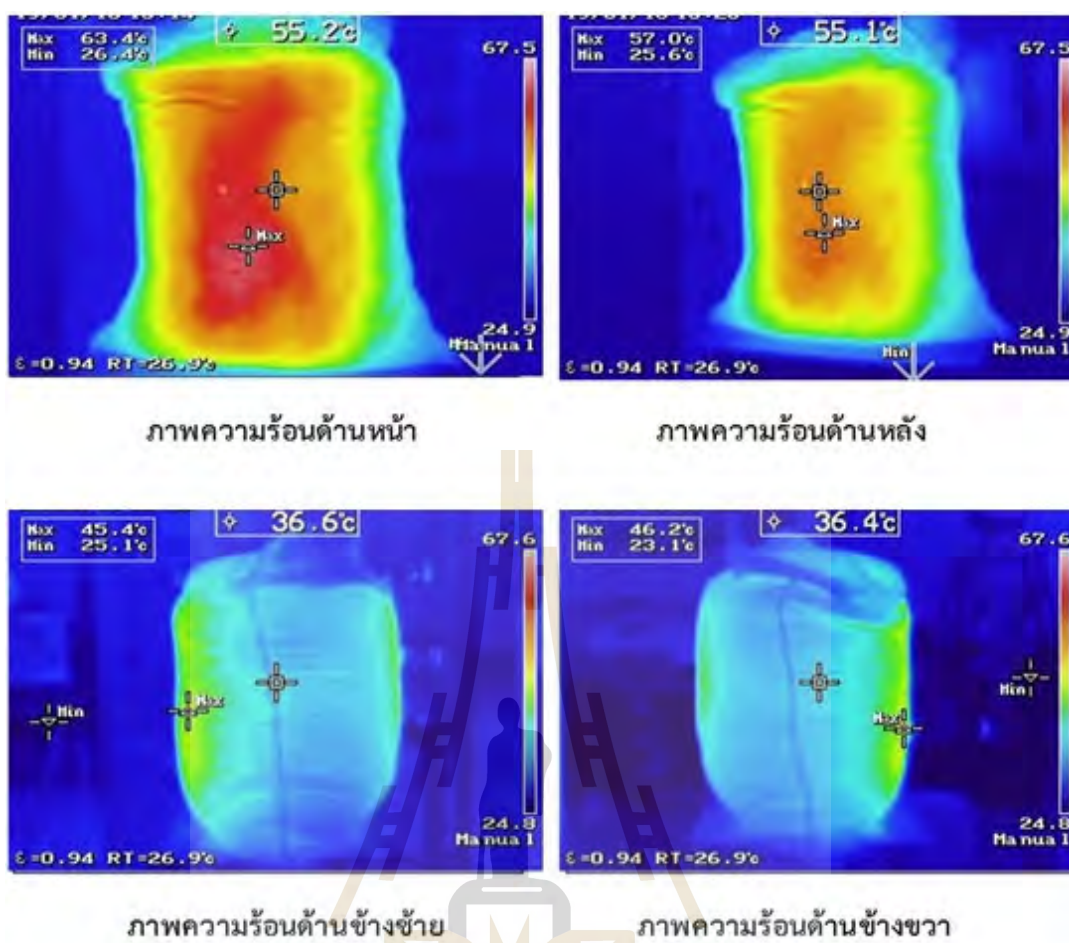
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.40 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 15 นาที โดยใช้ข้าวสาร



รูปที่ 5.41 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

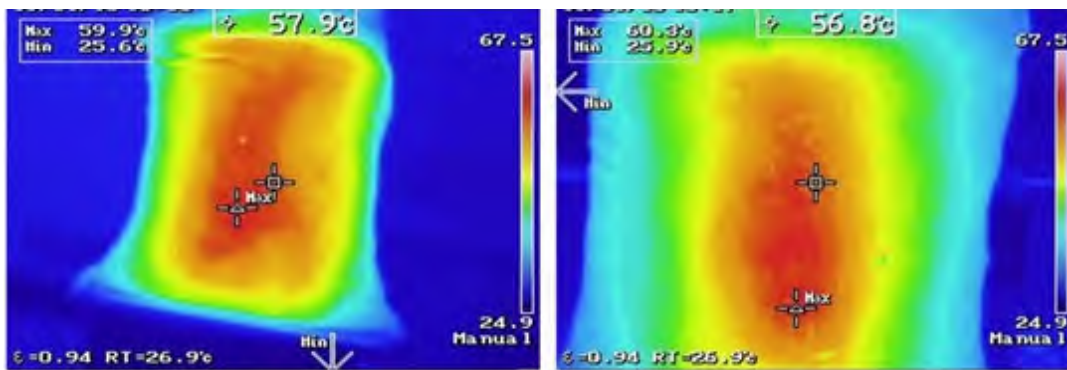
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 56.5 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางซ้ายของกระสอบ M = 56.5 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 56.8 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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 และตำแหน่งลำดับสุดท้ายด้านล่าง W = 37.6 °C

เมื่อทำการทดสอบ 20 นาที แบบกลับด้าน ทดสอบโดยการนำกระสอบข้าวเปลือกผ่านเครื่องความถี่วิทยุ 3 นาทีแล้วกลับด้านจากด้านใกล้เพลตให้ไปอยู่ด้านกราวด์แล้วนำไปผ่านเครื่องความถี่

วิทยุอีก 3 นาที เสร็จแล้วทำการวัดอุณหภูมิ ด้านใกล้เพลตอุณหภูมิภายนอกของกระสอบที่ตำแหน่ง A = 58.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ B = 59.0 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ C = 58.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของกระสอบ 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

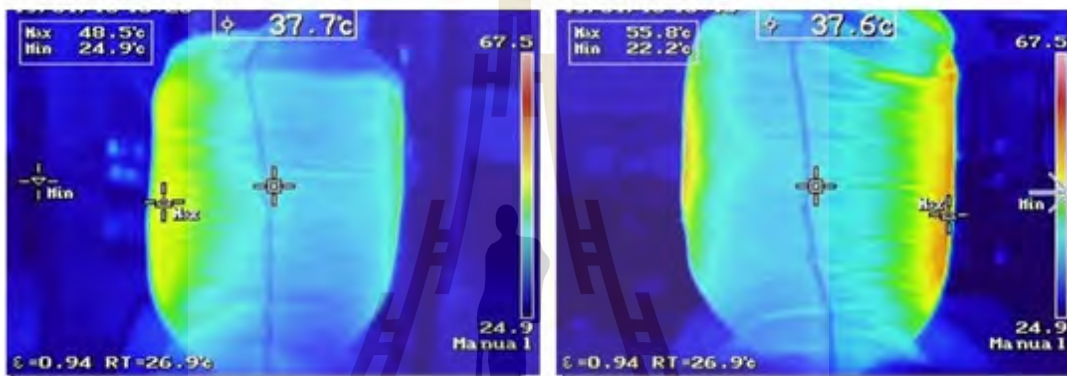
อุณหภูมิภายนอกกระสอบด้านกราวด์ อุณหภูมิภายนอกกระสอบที่ตำแหน่ง J = 57.9 °C ซึ่งเป็นตำแหน่งบนซ้ายด้านหน้าของกระสอบตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านบนของกระสอบ K = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปบนขวาของกระสอบ L = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางด้านซ้ายของกระสอบ M = 57.9 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางของกระสอบ N = 58.1 °C ตำแหน่งถัดไปตรงกลางข้างขวาของกระสอบ 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 อุณหภูมิของกระสอบข้าวจะร้อนที่ตำแหน่งตรงกลางในแนวตั้งของกระสอบข้าวมากที่สุดทั้งด้านใกล้เพลตและด้านกราวด์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับจุดบ่อนกำลังงานมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 5.42 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิเป็นเวลา 20 นาทีและ แสดงดังรูปที่ 5.43 ซึ่งเป็นภาพถ่ายความร้อนแบบกลับด้านทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที



ภาพความร้อนด้านหน้า

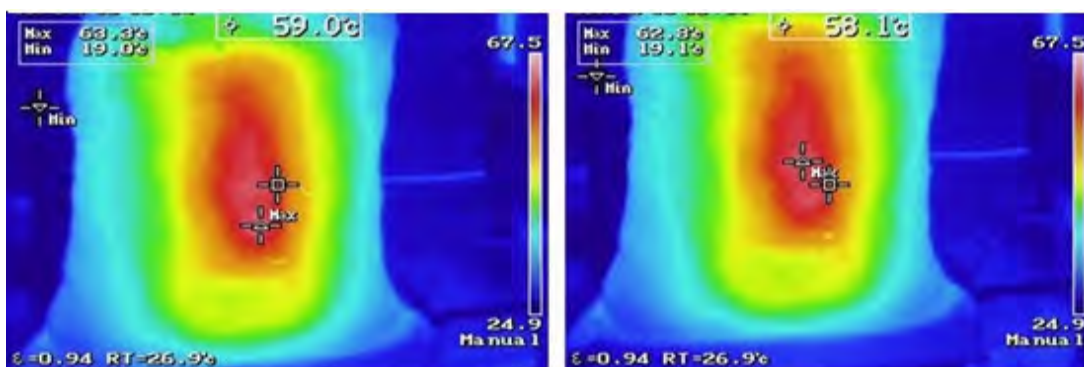
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

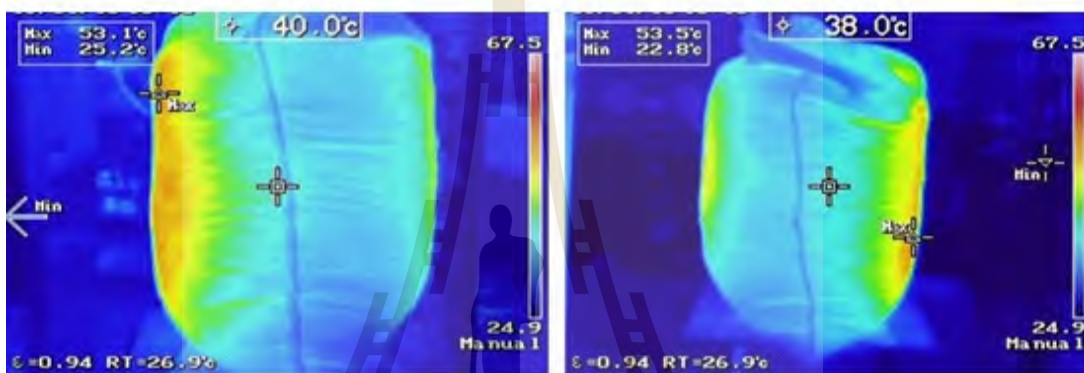
ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.42 ภาพความร้อนแบบปกติทดสอบอุณหภูมิ 20 นาที โดยใช้ข้าวสาร



ภาพความร้อนด้านหน้า

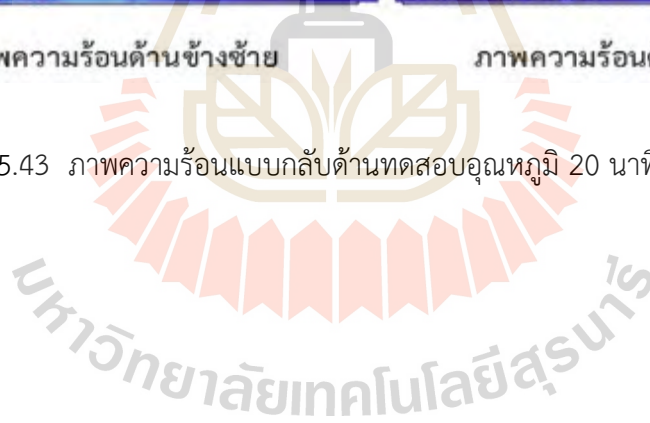
ภาพความร้อนด้านหลัง



ภาพความร้อนด้านข้างซ้าย

ภาพความร้อนด้านข้างขวา

รูปที่ 5.43 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 5.7

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 องศาเซลเซียสและนำถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวออกจากกระสอบทันที 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 และทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์การตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 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 และนำถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่าเมล็ดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที 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 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบและเมื่อทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์การตายพบว่าที่ 7 วัน มอดมีเปอร์เซ็นต์การตายเพิ่มขึ้นและตายจนครบ 100 เปอร์เซ็นต์เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน ดังแสดงตามตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 45 องศาเซลเซียส 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 และนำถุงผ้าที่ใส่เมล็ดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่าเมล็ดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที 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 และนำถุงผ้าที่ใส่มอดข้าวออกจากกระสอบทันที ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายทั้งหมดในทันที และมีเปอร์เซ็นต์การตายมากที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ในจุดที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, และ 12 เปอร์เซ็นต์การตาย 90 เปอร์เซ็นต์ ในจุดที่ 13, 14, 15, 16 ซึ่งเป็นตำแหน่งด้านข้างของกระสอบและทำการเก็บมอดไว้เพื่อดูเปอร์เซ็นต์ตายพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 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

จากการผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบสำหรับการฆ่ามอดในข้าวและข้าวเปลือกที่บรรจุภัณฑ์ไม่เกิน 100 กิโลกรัมต่อกระสอบ โดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุโครงการนี้ สามารถฆ่ามอดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเมื่อให้ความร้อนกับข้าวสารและข้าวเปลือก ทำให้มอดข้าวตายได้ 100% และลักษณะทางกายภาพของของข้าวสารและข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

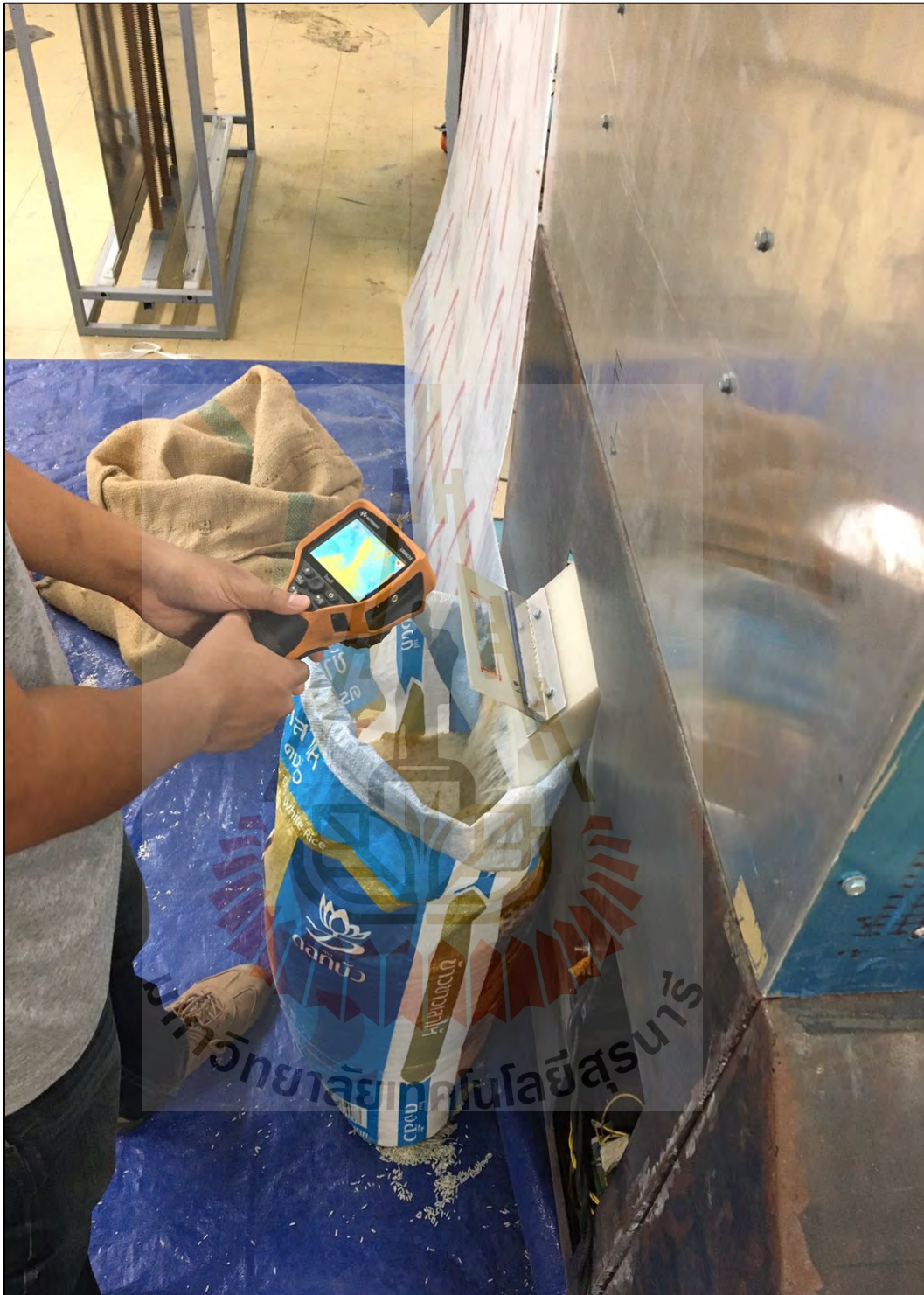
5.4 การทดสอบเครื่องต้นแบบและการเก็บผลการทดสอบเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาด 10 ตันต่อชั่วโมง

สำหรับการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดขนาดกำลังงาน 10 ตันต่อชั่วโมง กำหนดอุณหภูมิในการทดสอบเป็น 48 , 55 , 60 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบปริมาณการไหลของเมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการไหลที่ 12.4 ตันต่อชั่วโมง ถัดมาทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการไหลที่ 11.1 ตันต่อชั่วโมงและทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการไหลที่ 9.8 ตันต่อชั่วโมง สำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้กล้องจับภาพความร้อน Agilent KeySight รุ่น U5855A เก็บผลและวิเคราะห์ผลการทดสอบ การทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับฆ่ามอดในข้าวสารแสดงดังรูปที่ 5.44 ถัดมาเป็นการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกโดยกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 48 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 5.45 ถัดมาเป็นการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกโดยกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 55 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 5.46 ถัดมาเป็นการทดสอบให้ความร้อนไดอิเล็กตริกโดยกำหนดอุณหภูมิในการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสแสดงดังรูปที่ 5.47



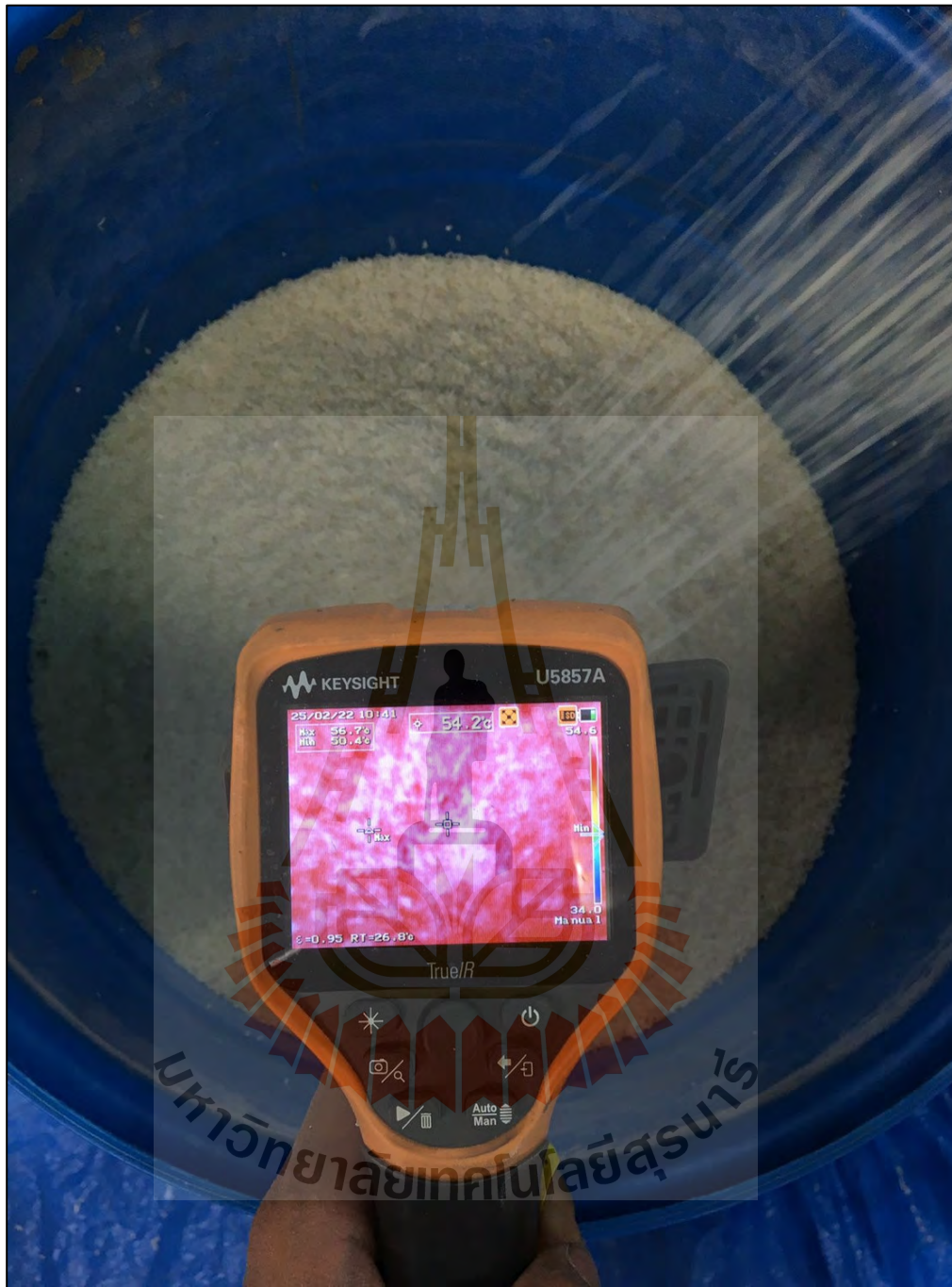
รูปที่ 5.44 การทดสอบการให้ความร้อนไดอิเล็กตริกสำหรับข้าวผัดในข้าวสาร



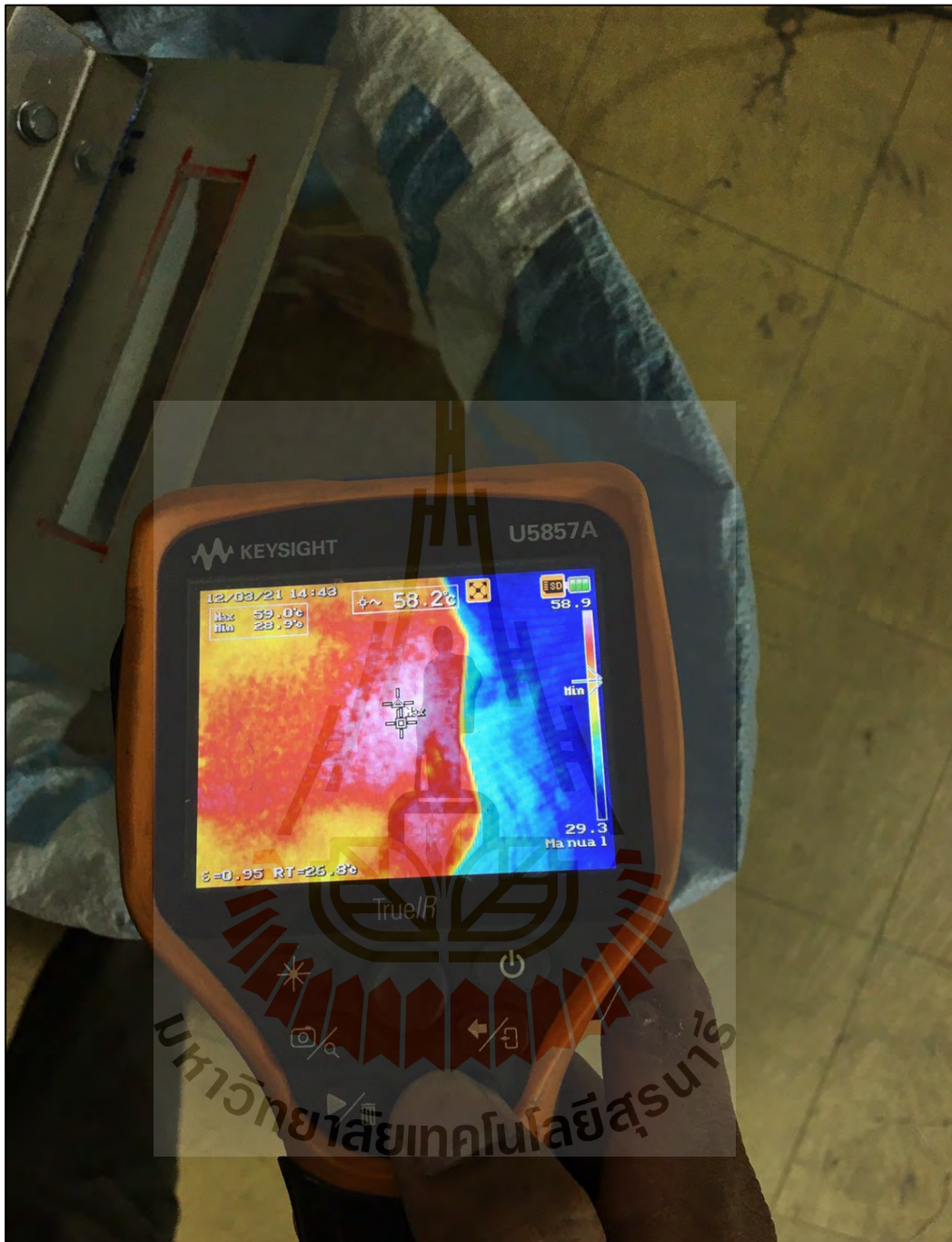
รูปที่ 5.44 การทดสอบการให้ความร้อนได้อิเล็กทริกสำหรับฆ่ามอดในข้าวสาร (ต่อ)



รูปที่ 5.45 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ 48 °C



รูปที่ 5.46 การให้ความร้อนไดอิเล็กตริกที่ 55 °C



รูปที่ 5.47 การให้ความร้อนไดโอดีทรกที่ 60 °C

5.4.1 ผลอัตราการตายของมอดข้าว

การทดสอบผลอัตราการตายของมอดข้าว

การทดสอบผลกับข้าวสาร

1. ที่อุณหภูมิข้าวสารประมาณ 48 °C นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน เก็บข้าวสารใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
2. ที่อุณหภูมิข้าวสารประมาณ 55 °C นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน เก็บข้าวสารใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน
3. ที่อุณหภูมิข้าวสารประมาณ 60 °C นับอัตราการตายของมอด เก็บไว้ 1, 7 และ 14 วัน เก็บข้าวสารใส่กล่อง สังเกตผล 15, 30, 45 และ 60 วัน

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กทริกจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28.1 °C จนถึงอุณหภูมิ 48 °C ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายหมดในทันที ซึ่งมีอัตราการตายหลังจากผ่านเครื่องไปแล้ว วันแรกจะมีอัตราการตายที่ 85% และจะมีอัตราการตายครบ 100% ที่ 7 วัน และเก็บข้าวไว้จนครบ 60 วัน เพื่อสังเกตการเกิดมอดใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 48 °C

เก็บมอดไว้ (วัน)	อัตราการตาย	
	ตัวเต็มไว	ระยะไข่
1	85	-
7	95	-
14	100	-
เก็บข้าวไว้ (วัน)		
15	100	-
30	100	-
45	100	-
60	100	-

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28.1 °C จนถึงอุณหภูมิ 55 °C ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายหมดในทันที ซึ่งมีอัตราการตายหลังจากผ่านเครื่องไปแล้ว วันแรกจะมีอัตราการตายที่ 95% และจะมีอัตราการตายครบ 100% ที่ 7 วัน และเก็บข้าวไว้จนครบ 60 วัน เพื่อสังเกตการเกิดมอดใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 55 °C

เก็บมอดไว้ (วัน)	อัตราการตาย	
	ตัวเต็มไว	ระยะไข่
1	95	-
7	100	-
14	100	-
เก็บข้าวไว้ (วัน)		
15	100	-
30	100	-
45	100	-
60	100	-

เมื่อนำข้าวสารไปผ่านเครื่องให้ความร้อนไดอิเล็กตริกจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 28.1 °C จนถึงอุณหภูมิ 60 °C ผลการทดลองพบว่ามอดข้าวไม่ตายหมดในทันที ซึ่งมีอัตราการตายหลังจากผ่านเครื่องไปแล้ว วันแรกจะมีอัตราการตายที่ 100% และเก็บข้าวไว้จนครบ 60 วัน เพื่อสังเกตการเกิดมอดใหม่ ดังแสดงในตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบอัตราการตาย (ร้อยละ) ณ อุณหภูมิข้าวประมาณ 60 °C

เก็บมอดไว้ (วัน)	อัตราการตาย	
	ตัวเต็มไว	ระยะไข่
1	95	-
7	100	-
14	100	-
เก็บข้าวไว้ (วัน)		
15	100	-
30	100	-
45	100	-
60	100	-

จากผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าเครื่องต้นแบบสำหรับ โดยการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กทริกโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ สามารถฆ่ามอดได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยเมื่อให้ความร้อนกับข้าวสาร ทำให้มอดข้าวตายได้ 100% และลักษณะทางกายภาพของของข้าวสารและข้าวเปลือกไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

5.5 สรุป

จากการผลการทดสอบข้างต้นจะเห็นได้ว่าระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจรที่ประกอบโครงสร้างของระบบ (1) กำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) กำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง (3) กำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) เครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน สามารถฆ่ามอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มอดตายได้ 100% ทั้งระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง ระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม และในระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่ และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ สามารถไล่แมลงได้ อีกทั้งในระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุนการงอกสามารถกระตุนการงอกได้เป็นอย่างดี

บทที่ 6

สรุป ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาและวิจัยถึงการวิเคราะห์ ออกแบบและสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจรที่ประกอบโครงสร้างของระบบดังนี้ (1) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ (2) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง (3) ทำการออกแบบสร้างระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม (4) ทำการออกแบบออกแบบสร้างเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ่นการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน โดยได้ศึกษาทฤษฎีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยสนามไฟฟ้าและพิจารณาถึง กลไกการให้ความร้อนของไดอิเล็กตริก หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และหลักการกระจายคลื่นสนามไฟฟ้าและได้นำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาทำการวิเคราะห์และออกแบบด้วยการคำนวณหาระดับพลังงานที่เกิดขึ้นในตัวมอดข้าวและช่วงความถี่ที่ใช้ให้มีความเหมาะสม การคำนวณหาระดับความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สามารถทำให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกที่เหมาะสมได้ การวิเคราะห์ถึงลักษณะของวงจรที่สามารถทำให้เกิดคลื่นสนามไฟฟ้า การคำนวณถึงกำลังงานที่ต้องใช้ภายในวงจรเพื่อให้ได้กำลังงานที่เหมาะสมซึ่งนำมาสู่ การจำลองผลของการกระจายความเข้มของสนามไฟฟ้าด้วยโปรแกรม CST และได้วิเคราะห์ถึงระดับการใช้กำลังงานที่ใช้ต่อพื้นที่ในการใช้งาน รวมถึงการพิจารณาระยะเวลาในการให้ความร้อนสำหรับฆ่ามอดข้าวที่เหมาะสม และองค์ประกอบด้านโครงสร้าง ระบบควบคุมการไหล ระบบลำเลียงต้นแบบต่าง ๆ สำหรับผลการทดสอบในแต่ละระบบพบว่า ระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่ เมื่อทำการปล่อยคลื่นและพลังงานที่เหมาะสม จะทำให้สามารถควบคุมจำนวนแมลงที่ข้าวมายังโรงเก็บหรือโกดังได้ สำหรับระบบเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ่นการงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน สามารถกำจัดมอดข้าวให้มีอัตราการตาย 100% ได้ อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการงอกที่เพิ่มขึ้นที่การให้ความร้อนที่อุณหภูมิในช่วง 50 -60 องศาเซลเซียส ได้อีกด้วย ระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าวขนาด 100 กิโลกรัม พบว่ามอดข้าวมีอัตราการตาย 100% ที่อุณหภูมิสูงสุดของข้าวสารประมาณ 55 องศาเซลเซียส เมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว และระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มีกำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง มอดข้าวมีอัตราการ

ตาย 100% และอุณหภูมิสูงสุดของข้าวสารประมาณ 55 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน และเมื่อตรวจสอบคุณลักษณะของข้าวแล้วไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว จะเห็นได้ว่าทั้ง 4 ระบบนี้ไม่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหายทุกขั้นตอน และเป็นการนำมาทดแทนการใช้สารเคมีในการฆ่ามอดข้าวและไข่มอดในปัจจุบัน ทำให้ได้ระบบที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้งานและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

การติดตั้งเครื่องทุกระบบสำหรับระบบจ่ายกำลังงานของอาคาร 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 disinfection of rough rice with full retention of quality attributes, Applied Engineering in Agriculture, vol. 23, no. 5, pp. 647-654.
- Li, C. Wang, J. and Zhu, 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

คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวที่ครบวงจร



คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในกองข้าวขนาดใหญ่และโรงเก็บ ข้าวเปลือกในโกดังขนาดใหญ่

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- ใช้กับไฟฟ้า 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 1 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 25 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแม่เหล็กกระจายของระบบ

- สามารถป้องกันกระแสไฟรั่วจากตัวเครื่อง
- สามารถป้องกันคลื่นสนามไฟฟ้าด้วยแผ่นปิดกันอลูมิเนียมรอบตัวเครื่อง

คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วที่มี
กำลังการผลิต 10 ตัน/ชั่วโมง

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- ใช้กับไฟฟ้า 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 50 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 200 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแม่เหล็กกระจายของระบบ

- สามารถป้องกันกระแสไฟฟ้ารั่วจากตัวเครื่อง
- สามารถป้องกันคลื่นสนามไฟฟ้าด้วยแผ่นปิดกันอลูมิเนียมรอบตัวเครื่อง
- เป็นแท่งกราวด์ทองแดงขนาดความยาว 1.8 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว จำนวน 6 แท่ง สำหรับตอกลงดิน
- สายไฟทองแดงเบอร์ 4 สำหรับต่อจากตัวเครื่องมายังแท่งกราวด์
- มีตัวยึดสายไฟทองแดงที่ตัวเครื่องกับแท่งกราวด์ทองแดง

**คุณสมบัติเฉพาะของระบบกำจัดมอดและแมลงในข้าวสารที่บรรจุไว้ในกระสอบข้าว
ขนาด 100 กิโลกรัม**

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- ใช้กับไฟฟ้า 220 หรือ 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 10 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 100 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแม่เหล็กกระจายของระบบ

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

คุณสมบัติเฉพาะของเครื่องกำจัดมอดและแมลงในเมล็ดพันธุ์ข้าวปลูกพร้อมกระตุ้น
การงอก ขนาดกำลังการผลิต 10 ตัน/วัน

คุณสมบัติเฉพาะ :

คุณลักษณะทั่วไป

- ใช้กับไฟฟ้า 220 หรือ 380 โวลต์ 50 เฮิร์ต
- ขนาดของกำลังงานเอาต์พุต 10 กิโลวัตต์

ระบบวงจรควบคุมการทำงานทั้งระบบ

- สามารถทำการตัดไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อมีกระแสไหลเกิน
- มีชุดควบคุมหลักสามารถทนกระแสได้ 100 แอมป์
- มีการแสดงผลของสถานการณ์ควบคุมกระแสไฟฟ้าในภาคส่วนต่าง ๆ ของตัวเครื่อง

ระบบป้องกันคลื่นแม่เหล็กกระจายของระบบ

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