

การวิเคราะห์และออกแบบสร้างเครื่องอบยางพารา
โดยใช้พลังงานคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อน



นายคมพิศิษฐ์ กระจายโกชน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**ANALYSIS AND DESIGN OF RUBBER DRYING SYSTEM
USING COMBINATION OF HIGH FREQUENCY
ENERGY AND HOT AIR**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Electronic Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2018**

การวิเคราะห์และออกแบบสร้างเครื่องอบยางพาราโดยใช้พลังงานคลื่นความถี่สูง
ร่วมกับลมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภณ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)

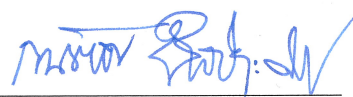
กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

และพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

คมพิศิษฐ์ กระจายโภชน : การวิเคราะห์และออกแบบสร้างเครื่องอบยางพาราโดยใช้พลังงานคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อน (ANALYSIS AND DESIGN OF RUBBER DRYING SYSTEM USING COMBINATION OF HIGH FREQUENCY ENERGY AND HOT AIR) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนเสถียร ทศศิกรพัฒน์, 80 หน้า.

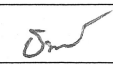
งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบระบบให้ความร้อน แบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงที่สามารถระบายความชื้นจากภายในแผ่นยางพาราได้ เพื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับลมร้อน ซึ่งได้มีการนำลมร้อนจากการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหมุนเวียนเข้าสู่ระบบ โดยได้มีการศึกษาถึงหลักการทำงานของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วในการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนของระบบ รวมถึงการออกแบบสร้างระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และวงจรเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อ ทดสอบประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่ระบบ และวิเคราะห์ผลเพื่อปรับปรุงแก้ไขจนได้ระบบ การให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ผลการทดลองพบว่ากำลังงานของสนามไฟฟ้าที่ต่างกัน ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกัน รวมไปถึงส่งผลต่อโครงสร้างของยางพาราอีกด้วย โดยที่ กำลังงาน 500 วัตต์ ใช้ระยะเวลาในการอบประมาณ 105 นาที แต่พบว่าส่งผลเสียกับยางพารา ส่วนที่ กำลังงาน 200 วัตต์ ใช้ระยะเวลาประมาณ 165 นาทีซึ่ง โครงสร้างของยางพาราไม่เกิดความเสียหาย ดังนั้นระบบที่ได้ทำการทดลองนี้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อมีการปรับกำลังงานให้เหมาะสม

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



KOMPISIT KRAJAIPOTE: ANALYSIS AND DESIGN OF RUBBER
DRYING SYSTEM USING COMBINATION OF HIGH FREQUENCY
ENERGY AND HOT AIR. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THANASET
THOSDEEKORAPHAT, Ph.D., 80 PP.

DIELECTRIC HEATING/HOT AIR/RUBBER/DRYING

The objective of this research is to studied and designed the heating of dielectric system by using high-frequency wave which can drain the moisture from inside the rubber sheet for application to combined with hot air drying which using induction heating system. The studied principle of induction heating and dielectric heating and mathematical model of these methods. The studied implement of temperature control, humidity control and speed of change in thermal energy of the system including the design and build of dielectric heating system and integrated circuit of induction heating to test the efficiency of the heating system. Analyze the results to improve the heating system to have the maximum efficiency. The results showed that the power of different electric fields affect to the using time is difference, including damage to the structure of the rubber. With a power of 500 watts, which takes about 55 minutes but found to have damage to the structure of rubber. The power of 200 watts takes about 100 minutes, the structure of the rubber does not damage.

School of Electronic Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature Kompisit

Advisor's Signature T.Thanaset

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนเสฏฐ์ ทศศิกรพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภิต อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำปรึกษาทางวิชาการมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย รวมถึงบุคลากรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือต่าง ๆ ในการทำวิจัยนี้

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

กมลพิศิษฐ์ กระจายโกชนัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.6 ปริทัศน์วรรณกรรม.....	4
2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ.....	9
2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง.....	9
2.2.1 อัตราการอบแห้งและค่าความชื้นเปลือกพลังงานจำเพาะ.....	10
2.3 หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า.....	11
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก.....	11
2.3.2 กลไกการเกิดความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.....	12
2.3.3 การเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของไดอิเล็กตริก.....	13
2.3.4 ระดับความลึกผิว (skin depth).....	15

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4	การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ.....	16
2.4.1	ส่วนกำเนิดคลื่น	17
2.4.2	ท่อนำคลื่น.....	21
2.5	หลักการเบื้องต้นสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	23
2.6	หลักการเบื้องต้นสำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม.....	26
2.7	การส่งผ่านความร้อน.....	28
2.8	การคำนวณพลังงานความร้อน	30
2.8.1	การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการให้ความร้อน.....	30
2.9	สรุป.....	31
3	การออกแบบและวิเคราะห์ระบบบไลความชื้นจากแผ่นยางพารา	
3.1	กล่าวนำ.....	32
3.2	การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองผลท่อนำคลื่นในการส่งผ่านคลื่นความถี่สูงที่ใช้ในระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก.....	32
3.3	การออกแบบเครื่องอบแห้ง	35
3.3.1	เครื่องอบ.....	35
3.3.2	ฝาปิดเครื่องอบ.....	36
3.3.3	ฐานเครื่องอบ	36
3.3.4	การจำลองผลการแพร่กระจายคลื่นของเครื่อง	38
3.3.5	การจำลองผลการแพร่กระจายลมร้อนของตู้อบ.....	40
3.4	การออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน.....	40
3.5	ระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง.....	42
3.5.1	ส่วนควบคุมมอเตอร์	42
3.5.2	ส่วนควบคุมระบบการให้ความร้อน	44
3.6	สรุป.....	45
4	การวัดและผลการทดลอง	
4.1	กล่าวนำ.....	46

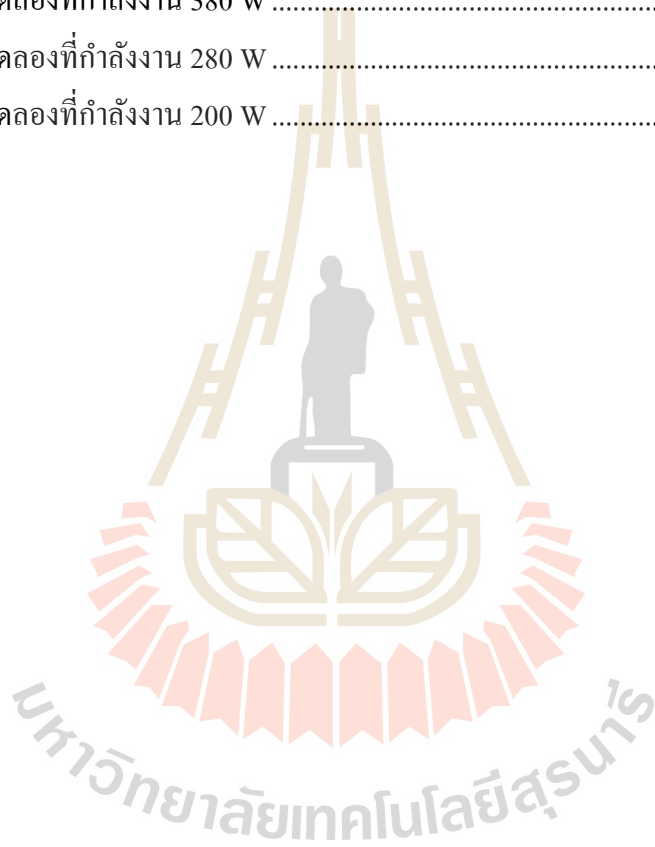
สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.2	การทดสอบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน.....	46
4.2.1	ทดลองวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก (ขา 3) ของ ไอซี (NE555).....	46
4.2.2	ทดลองวัดสัญญาณที่ขาเกตของ IGBT.....	47
4.2.3	อุณหภูมิของอุปกรณ์เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์.....	47
4.3	การตรวจสอบคุณภาพยางพารา (ยางแผ่นดิบคุณภาพดี).....	49
4.4	การทดลองอบแผ่นยางพารา.....	49
4.4.1	ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 500 W.....	50
4.4.2	ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 380 W.....	53
4.4.3	ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 280 W.....	56
4.4.4	ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 200 W.....	59
4.5	วิเคราะห์ผลการทดลอง	62
4.5.1	การวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นต่อเวลา	63
4.5.2	การวิเคราะห์ผลกระทบต่อน้ำหนักจากการอบที่กำลังงานต่าง ๆ.....	63
4.5.3	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงานต่าง ๆ.....	63
4.6	สรุป.....	64
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปเนื้อหาของการวิจัย.....	65
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	65
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	66
	เอกสารอ้างอิง	67
	ภาคผนวก ก	
	บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา.....	69
	ประวัติผู้วิจัย	80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองที่กำลังงาน 500 W	51
4.2 ผลการทดลองที่กำลังงาน 380 W	53
4.3 ผลการทดลองที่กำลังงาน 280 W	57
4.4 ผลการทดลองที่กำลังงาน 200 W	60



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โมเดลของน้ำที่เปลี่ยนทิศกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็ว 17
2.2	หลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในการทดลอง 17
2.3	ส่วนประกอบของหลอดแมกนีตรอน 18
2.4	วงจรสำหรับจุดหลอดแมกนีตรอน 19
2.5	วงจรทีวีแรงดันแบบใช้ไดโอด 19
2.6	เอาต์พุตของวงจรทีวีแรงดัน 20
2.7	เอาต์พุตของหลอดแมกนีตรอน 20
2.8	(ก) สนามแม่เหล็กเดินทางได้สองทิศทาง (ข) สนามแม่เหล็กเดินทางได้ทุกทิศทาง 21
2.9	ลักษณะท่อนำคลื่น 21
2.10	การเปรียบเทียบระยะห่างของสายคู่ขนานสัญญาณกับท่อนำคลื่นที่เป็นวงกลม 22
2.11	วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ให้ภาวะความต้านทานสูง 23
2.12	วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ให้ภาวะความต้านทานต่ำ 24
2.13	การให้ความร้อนด้วยหลักการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างง่าย 25
2.14	วงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม 26
2.15	ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรม 27
3.1	ขนาดของแบบจำลองตัวปล่อยคลื่นโดยโปรแกรม Solidworks (มิลลิเมตร) 33
3.2	แบบจำลองตัวปล่อยคลื่นโดยโปรแกรม Computer Simulation Technology (CST) 33
3.3	ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของท่อนำคลื่น 34
3.4	S-Parameter 34
3.5	ท่อนำคลื่นที่สร้างขึ้น 35
3.6	ลักษณะของเครื่องอบ 35
3.7	ขนาดของเครื่องอบ (เซนติเมตร) 36
3.8	ลักษณะและขนาดของฝาปิดเครื่องอบ 36
3.9	ลักษณะของฐานเครื่องอบ 37
3.10	ขนาดของฐานเครื่องอบ 37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 เครื่องอบยางพาราที่สร้างขึ้น	38
3.12 ผลจำลองการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าภายในเครื่อง	39
3.13 ค่ากำลังงานสะท้อนกลับในแต่ละพอร์ท	39
3.14 ค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่กระจายตัวภายในเครื่องอบ (Flow Simulation).....	40
3.15 วงจรเหนี่ยวนำความร้อน	41
3.16 วงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้จริง	41
3.17 ลักษณะของท่ออากาศร้อน	42
3.18 แผนผังการควบคุมมอเตอร์	42
3.19 บอร์ด Arduino UNO R3	43
3.20 Relay Module 4 Channels.....	43
3.21 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์.....	44
3.22 ผังแสดงการควบคุมระบบการให้ความร้อน	44
4.1 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก (ขา 3) ของไอซี (NE555).....	46
4.2 สัญญาณที่ขาเกตของ IGBT ขณะก่อนป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์.....	47
4.3 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 5 นาที.....	47
4.4 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 15 นาที.....	48
4.5 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 30 นาที.....	48
4.6 การแขวนยางพาราเพื่อทำการอบ.....	50
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 500 W	52
4.8 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่ กำลังงาน 500 W	52
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 380 W	55
4.10 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่ กำลังงาน 380 W	56
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 280 W	58
4.12 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่ กำลังงาน 280 W	59
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 200 W	61
4.14 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่ กำลังงาน 200 W	62

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

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

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

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

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

ยางพาราเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยอีกชนิดหนึ่ง พบว่ามีเกษตรกรตลอดจนผู้ทำธุรกิจเกี่ยวข้องกับยางพาราประมาณ 1 ล้านครอบครัว จำนวนไม่น้อยกว่า 6 ล้านคน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกยางพาราและผลิตภัณฑ์ยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก นับตั้งแต่ พ.ศ. 2534 เป็นต้นมา จากข้อมูลทางเศรษฐกิจของสำนักงานกระทรวงการเกษตรพบว่า ประเทศไทยมีการผลิตยางพารา จำนวน 15.13 ล้านตัน มีการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้ง จำนวน 3.78 ล้านตัน ซึ่งในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่มาจากยางธรรมชาติได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น ทางด้านการแพทย์ ทางด้านยานพาหนะ ทางด้านสาธารณสุขพื้นฐาน และเป็นแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและอุตสาหกรรมเคมี เป็นต้น โดยมีการแปรรูปน้ำยางพาราก่อน เช่น การแปรรูปน้ำยางพาราเป็นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแท่ง ยางเครป และน้ำยางข้น เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้มีความสนใจในการแปรรูปน้ำยางพาราเป็นยางแผ่นผึ่งแห้ง เนื่องจากมีผู้ประกอบการเป็นจำนวนมากนิยมแปรรูปน้ำยางพาราเป็นยางแผ่นผึ่งแห้งเพื่อเพิ่มมูลค่าของผลผลิต โดยมีการรับซื้อน้ำยางสดจากกลุ่มเกษตรกรเพื่อนำมาแปรรูปเป็นยางแผ่น ปัจจุบันการแปรรูปน้ำยางพาราของกลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการเป็นยางแผ่นผึ่งแห้งนั้น เมื่อทำออกมาเป็นแผ่นเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนถัดไปต้องทำการไล่ความชื้นออกจากแผ่นยางพารา โดยได้มีการใช้วิธีต่าง ๆ เช่น การนำไปตากแดด การสร้างโรงอบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การอบโดยใช้ความร้อนจากไม้ฟืน การสร้างโรงอบโดยใช้ลมร้อน และการใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น (Suchonpanit et al, 2011) ซึ่งกระบวนการอบแห้งนี้ มีการใช้พลังงานความร้อน 2 รูปแบบหลัก ๆ คือ การใช้ความร้อนโดยการพึ่งธรรมชาติและการใช้ความร้อนจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรม สำหรับการให้ความร้อนแบบพึ่งพาธรรมชาติ ได้แก่ การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และการให้ความร้อนโดยใช้ไม้ฟืน เป็นต้น ซึ่งการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนจากธรรมชาติ และไม่สามารถควบคุมความร้อนได้ อีกทั้งยังใช้เวลาในการไล่ความชื้นหลายวัน ส่วนการใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไม้ฟืนยังคงเป็นวิธีการที่ก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้ความร้อนจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในนำประยุกต์ใช้งานเพื่อเพิ่ม

ประสิทธิภาพในกระบวนการอบไล่ความชื้นได้ โดยในอุตสาหกรรมการอบไล่ความชื้นจะมีการพลังงานความร้อนในรูปแบบของลมร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ ซึ่งวิธีการนี้เป็นการให้ความร้อนโดยวิธีการพาความร้อน พลังงานความร้อนจะถูกโอนถ่ายที่บริเวณผิวของชิ้นงาน และหากชิ้นงานมีความหนาความร้อนที่จะเกิดขึ้นในเนื้อของชิ้นงานก็จะน้อยกว่าที่ผิวดังนั้นเพื่อที่จะให้ความร้อนกับเนื้อในของชิ้นงานด้วยพบว่าการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก (Dielectric Heating) สามารถให้ความร้อนเข้าไปถึงเนื้อของชิ้นงานได้ ซึ่งมีการประยุกต์ใช้ใน อุตสาหกรรมการอบไล่ความชื้น (Myungsik and Kwangsoo, 2012) เนื่องจากแผ่นยางพาราที่จะทำการอบนั้นจะมีโมเลกุลของน้ำ เป็นส่วนประกอบอยู่ภายในโดยน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว จึงสามารถใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งสามารถให้ความร้อนแก่โมเลกุลที่มีขั้วได้ และจากงานวิจัย (Mei et al., 2011) ซึ่งได้มีการค้นพบว่า การใช้การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสร้างความเสียหายต่อโครงสร้างของแผ่นยางพาราได้ ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพของยางพาราแต่ในงานวิจัยอื่นการใช้หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกมีข้อดีคือ ได้เวลาที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นที่น้อย (Rattanadecho et al, 2006)

จากความสำคัญและที่มาของปัญหาดังที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและออกแบบระบบให้ ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกร่วมกับวิธีการให้ความร้อนแบบลมร้อน ซึ่งจะสามารถระบายความชื้นจากภายใน รวมถึงผิวของแผ่นยางพาราได้ โดยได้มีการศึกษาถึงหลักการทำงานของ การเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และ ความเร็วลม รวมถึงการออกแบบสร้างระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก และวงจรเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการให้ความร้อนแก่ระบบ และวิเคราะห์ผลเพื่อปรับปรุงแก้ไขจนได้ระบบ การให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับประยุกต์ใช้ในการอบยางพาราได้อย่างยั่งยืน มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงในเครื่องอบไล่ความชื้น
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบต่อชิ้นงานจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับ การให้ความร้อนด้วยลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง
- 1.2.3 เพื่อออกแบบและสร้างระบบการไล่ความชื้นในชิ้นงาน ให้มีการใช้ระยะเวลา น้อยลงและไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของชิ้นงาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์พื้นที่การกระจายความร้อนและผลกระทบจากการให้ความร้อนเมื่อใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงในการอบไล่ความชื้นของชิ้นงานยางพารา
- 1.3.2 ทดสอบระบบอบไล่ความชื้น เพื่อปรับปรุงการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ประหยัดเวลา และไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงานยางพารา

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) วิเคราะห์พื้นที่การกระจายความร้อนของตัวกลางที่มีการสูญเสียจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง
- 3) ออกแบบระบบ จำลองผล รวมถึงทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.2 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง เพื่อหาขนาดของท่อนำคลื่นที่เหมาะสมในการส่งผ่านกำลังงานสูงสุดไปยังชิ้นงานยางพารา
- 3) ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนด้วยลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง จำลองผลการกระจายความร้อน ให้เกิดการไหลเวียนได้ทั่วชิ้นงาน
- 4) วิเคราะห์พื้นที่การกระจายความร้อนจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงเพื่อปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพ

1.4.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการทางอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 (F3) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

1.4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personnel Computer)
- 2) เครื่องวัดอุณหภูมิ (Temperature Measuring)

- 3) เครื่องวัดคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- 4) กล้องถ่ายภาพความร้อน
- 5) เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 6) ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง

1.4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจปรีทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) เก็บรวบรวมผลจากการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปและนำผลไปวิเคราะห์ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบระบบให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง
- 3) เก็บรวบรวมผลจากการทดสอบการไหลเวียนลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงภายในเครื่องอบ
- 4) เก็บรวบรวมผลจากการออกแบบสร้างและวัดทดสอบการแพร่กระจายความร้อนจากการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงต่อชิ้นงานยางพารา

1.4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการกระจายความร้อนของชิ้นงานยางพารา จะถูกนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและทฤษฎีรวมทั้งเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ได้ตีพิมพ์ไปแล้ว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ผลการวิเคราะห์ผลกระทบจากการให้ความร้อน เมื่อใช้เทคนิคการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูงในการอบไล่ความชื้นของชิ้นงานบนตัวกลางที่มีการสูญเสีย
- 1.5.2 ได้ระบบอบไล่ความชื้น สำหรับใช้ในการอบชิ้นงานต่าง ๆ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมยางพาราได้

1.6 ปรีทัศน์วรรณกรรม

สำหรับการอบไล่ความชื้นแผ่นยางพารานั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การตากแดดหรือผึ่งแดดตามธรรมชาติ การใช้วิธีอบไล่ความชื้นจากพลังงานแสงอาทิตย์ การใช้วิธีอบไล่ความชื้นแบบลมร้อนรวมไปถึงการใช้หลอดไฟอินฟราเรดในการอบไล่ความชื้นจากแผ่นยางพารา ซึ่งวิธีการใช้

หลอดอินฟราเรดในการอบแห้งแผ่นยางพารา เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบได้ ต่อมาได้มีการประยุกต์ใช้การให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงแก่แผ่นยางพารา ซึ่งเทคนิคนี้ได้รับความสนใจในการให้ความร้อนแก่แผ่นยางพาราเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นเข้าไปถึงภายในเนื้อของแผ่นยางพาราได้ โดยมีรูปแบบของการวิจัยและพัฒนามากมาย เช่น การวิเคราะห์คุณภาพของยางพาราภายหลังจากการอบแห้ง การวิเคราะห์กำลังงานที่ใช้ และการวิเคราะห์ระยะเวลาที่ใช้ในการอบไล่ความชื้น โดยนักวิจัยได้มีความพยายามที่จะพัฒนาการอบไล่ความชื้นแผ่นยางพาราให้มีการใช้ระยะเวลาในการอบไล่ความชื้นน้อยลง โดยได้มีการศึกษาและเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ๆ ซึ่งได้คำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบและคุณภาพของยางพาราภายหลังจากการอบเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผลการดำเนินการวิจัยตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและอาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีชื่อเสียงและได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น ฐานข้อมูล IEEE และฐานข้อมูล IEICE นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัย จากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจากผลการสืบค้นที่ได้นั้นจะใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึง ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มต่าง ๆ ดังนี้คือ งานวิจัยและรายงานที่ศึกษาเกี่ยวกับการอบไล่ความชื้น งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของการใช้คลื่นความถี่สูงในการอบไล่ความชื้น และงานวิจัยที่ใช้การอบไล่ความชื้นแบบลมร้อน ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบจากระบวนการอบไล่ความชื้นต่อคุณภาพของชิ้นงานยางพารา

1.6.1 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบทางคณิตศาสตร์ของการอบไล่ความชื้น จลนพลศาสตร์ของการอบไล่ความชื้น อัตราการอบไล่ความชื้น รวมไปถึงระยะเวลาที่ใช้ในการอบไล่ความชื้น ได้มีผู้วิจัย และทำการศึกษาไว้มากมาย เพื่อที่จะสามารถทำนายและอธิบายถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบไล่ความชื้น ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการอบไล่ความชื้น (Tirawanichakul et al., 2007) ได้มีการวิจัยเกี่ยวกับกลยุทธ์ที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นกึ่งด้วยลมร้อนและการอบไล่ความชื้นกึ่งด้วยคลื่นอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน ซึ่งได้มีการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการใช้การให้ความร้อนด้วยคลื่นอินฟราเรดและการให้ความร้อนด้วยลมร้อนสำหรับการอบแห้ง โดยผลที่ได้จากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนของความชื้นสัมพัทธ์มีการลดลงแบบเอกโพเนนเชียลไปตามเวลาที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของกึ่ง ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาปัจจัยของการอบไล่ความชื้นด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อนที่มีผลต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ (Saekhow et al, 2012) โดยในการทดลองได้มีการทดลองการอบไล่ความชื้นด้วยการพาความร้อนของลมร้อนร่วมกับการแผ่รังสีได้

แดง และ กระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับการแผ่รังสีได้แดง ซึ่งได้มีการหาผลเฉลี่ยทั่วไปของสมการการเปลี่ยนแปลงความชื้นสำหรับการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุรูปทรงเรขาคณิต โดยเมล็ดพริกไทยค่านั้นมีลักษณะเป็นทรงกลม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูงทุกแหล่งพลังงานความร้อนจะมีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งด้วยรังสีได้แดงเพียงอย่างเดียวมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ยังผลสูงที่สุด ในการสร้างแบบจำลองทำนายผลจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น ในการค้นคว้าหาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับการอบแห้งจากหนังสือที่เกี่ยวกับการอบไล่ความชื้น (Bala, 1997) ซึ่งได้รวบรวมวิธีการอบแห้งธัญพืชต่าง ๆ ไว้ รวมถึงหลักการต่าง ๆ ในการอบแห้ง เช่น การจัดการกับอากาศและความชื้น สมบัติทางกายภาพและความร้อนของธัญพืชหลักการของการไหลของอากาศ รวมไปถึงการวิเคราะห์รายละเอียดของการอบแห้งเพื่อที่จะนำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ในการอบแห้งยางพารา จากการค้นคว้าเกี่ยวกับการอบแห้งซึ่งได้วิเคราะห์ผลของอุณหภูมิจากการอบแบบฟลูอิดไคซ์ต่อคุณภาพของข้าวเปลือก (Tirawanichakul et al, 2004) ซึ่งจากงานวิจัยอื่น ๆ พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือก แบบฟลูอิดไคซ์ โดยใช้อุณหภูมิต่ำของอากาศสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสส่งผลกระทบต่อผลผลิตของข้าว อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์ที่ใช้ อุณหภูมิในการอบแห้งที่น้อยกว่า 100 องศาเซลเซียส ยังมีน้อย จึงได้ทำการศึกษาอุณหภูมิของอากาศ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการอบข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์ โดยช่วงของอุณหภูมิที่ใช้อยู่ ระหว่าง 40 ถึง 150 องศาเซลเซียส โดยปรับเปลี่ยนไปที่ละ 10 องศาเซลเซียส จากผลการทดลอง พบว่า ความชื้นเริ่มต้นในข้าวเปลือกกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในการนำหลักการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งยางพาราจึงต้องมีการศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อความ แม่นยำในการทำนายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้

1.6.2 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบไล่ความชื้นจากแผ่นยางพารานั้น ได้มีการศึกษาและวิจัยในรูปแบบต่าง ๆ มากมาย โดยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปทางด้านประสิทธิภาพในการอบแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ รวมไปถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้ง จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ซึ่งในปัจจุบันการผลิตยางแผ่นผึ่งแห้งนั้นได้มีการใช้วิธีการไล่ความชื้นแตกต่างกัน เช่น การนำไปตากแดด การสร้างโรงอบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ การอบโดยใช้ความร้อนจากไม้ฟืน การสร้างโรงอบโดยใช้ลมร้อน และการใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น (Suchonpanit et al, 2011) ได้ทำการทดลองศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกันต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของแผ่นยางพารา โดยได้มีการทดลองเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งที่แตกต่างกัน 5 วิธีการด้วยกัน คือ การ

อบแห้งโดยใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งโดยการใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการพาความร้อนตามธรรมชาติ การตากแดดร่วมกับการพาความร้อนแบบธรรมชาติ การอบแห้งโดยการใช้หลอดอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งค่าความชื้นเริ่มต้นของแผ่นยางพาราอยู่ที่ประมาณ 30%Drybasis ถึง 50%Drybasis และมีค่าความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ประมาณ 0.5%Dry-basis โดยจากผลการทดลองได้พบว่าค่าของอัตราการอบแห้งลดลง (falling drying rate) และรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของรูปแบบการแพร่กระจายความร้อนสามารถทำนายสิ่งที่เกิดขึ้นกับแผ่นยางพาราได้เป็นอย่างดี แผ่นยางพาราที่ผ่านกระบวนการอบด้วยการอบแห้งโดย การใช้โรงอบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับการพาความร้อนตามธรรมชาติจะใช้เวลานานที่สุด และการอบโดยการใช้คลื่นอินฟราเรดใช้เวลาที่น้อยที่สุด ในงานวิจัยในการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงแบบต่อเนื่องในเครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Rattanadecho et al, 2006) ซึ่งจากผลการทดลองได้พบว่าการใช้คลื่นความถี่สูงในการอบแห้งมีประสิทธิภาพมาก กล่าวคือ ใช้เวลาในการอบที่น้อยสามารถให้ความร้อนได้ทั่วทั้งชิ้นงาน และมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบอื่น ต่อมาในงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบของวิธีการอบแห้งต่าง ๆ ต่อโครงสร้างในระดับไมโครเมตรของยางธรรมชาติ (Mei et al, 2011) โดยได้เปรียบเทียบการอบแห้งยางพาราด้วยการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนกับการอบแห้งโดยใช้คลื่นความถี่สูงที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งโดยใช้คลื่นความถี่สูงใช้ เวลาในการอบเพียง 13.47 นาที และการอบแห้งโดยใช้ลมร้อน ใช้เวลาถึง 210 นาที จากการ ตรวจสอบคุณภาพของยางพาราโดยการส่องดูโครงสร้างจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่ายางพาราที่ผ่านการอบแห้งด้วยคลื่นความถี่สูงมีพื้นผิวที่ขรุขระ แต่ว่ายางพาราที่ผ่านการอบแห้งด้วยลมร้อนมีผิวที่เรียบ

1.6.3 ปรัชญาการให้ความร้อนด้วยเทคโนโลยีด้านการใช้ประโยชน์จากสนามแม่เหล็กไฟฟ้า นับได้ว่าเป็นหัวข้อที่สำคัญในกาวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรม ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการให้ความร้อนในรูปแบบต่าง ๆ หลายประเภท เช่น การให้ความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำ Induction Heating (Sarnago et al, 2013; Lichan et al, 2011; Ahmed, 2011) เป็นการให้พลังงานความร้อนโดยอาศัยคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากขดลวดเหนี่ยวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้กระแสไฟฟ้าไหลวนในชิ้นงาน ซึ่งกระแสส่วนมากจะไหลวนในชิ้นงานในระดับความลึกผิว (Skin Depth) และกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลทางเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน และความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปบริเวณอื่น โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และสำหรับอีกรูปแบบหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน นั่นคือ การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก เป็นรูปแบบการให้ความร้อนโดยตรงไปยังวัสดุ

ที่เป็นไดอิเล็กตริกที่มีความเหมาะสมต่อช่วงความถี่ใช้งานและทำให้ไม่กระทบต่อวัสดุอื่น ๆ โดยโครงสร้างของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก ใช้หลักการนำคลื่นความถี่มาประยุกต์ใช้ใน รูปแบบของสนามไฟฟ้าเพื่อส่งผ่านกำลังงานเข้าไปยังเนื้อในของวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสีย การให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกสามารถใช้หลักการให้ความร้อนด้วยสนามไฟฟ้าโดยพิจารณา จากสมการ นั่นคือ ค่าของวัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการให้ความร้อนดีที่สุด (Myungsik and Kwangsoo, 2012)

โดยจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่นำเสนอมานั้นส่วนใหญ่ได้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ถึงรูปแบบทาง คณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ในการอบแห้งแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในการอบแห้งได้ โดยรูปแบบ ทางคณิตศาสตร์จะมีความแตกต่างกันไปบ้างขึ้นอยู่กับรูปทรงเรขาคณิตของชิ้นงานที่ทำการอบแห้ง นั้น ๆ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งยางพารา รูปแบบทางคณิตศาสตร์ จลนพลศาสตร์ ในการอบแห้ง ซึ่งส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพของการอบแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ โดย เปรียบเทียบ กับการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ รวมไปถึงการวิเคราะห์เกี่ยวกับผลกระทบต่อคุณภาพของ ยางพาราจากการอบแห้งด้วยวิธีต่าง ๆ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุด ดังนั้นในการ ประยุกต์ใช้หลักการและทฤษฎีต่าง ๆ ในงานวิจัยที่ผ่านมาสำหรับการอบแห้งแผ่นยางพาราโดยใช้ หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วย สนามแม่เหล็กความถี่สูง จึงจำเป็นต้องศึกษาถึงรูปแบบของการกระจายความร้อน รูปแบบทาง คณิตศาสตร์ที่เกิดขึ้น เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การอบแห้ง รวมถึงทำนายอัตราการอบแห้งของระบบ ที่สร้างขึ้นได้ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดของระบบการอบไล่ความชื้นออกจากยางพาราสำหรับ ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมยางพาราได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันเทคนิคการอบแห้งโดยการใช้เทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรมได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถควบคุมการทำงานให้เหมาะสมกับการใช้งาน ลดระยะเวลาในกระบวนการอบแห้งได้อีกทั้งยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์และทางวิศวกรรมศาสตร์ที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในการอบแห้งมาก คือ หลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อน จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงและหลักการให้ความร้อนด้วยลมร้อน เพื่อให้เป็นพื้นฐานของความรู้และความเข้าใจในงาน สามารถใช้เป็นแหล่งอ้างอิงในการดำเนินงานวิจัย ดังนั้นในบทนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยหัวข้อหลัก ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ทฤษฎีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกและการทำงานของคลื่นความถี่สูง ตัวกำเนิดคลื่น ท่อนำคลื่น และหลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็ก รวมถึง หลักการเบื้องต้นสำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม โดยจะกล่าวถึงเฉพาะส่วนที่เป็นประโยชน์ หรือกล่าวอ้างถึงในการดำเนินงานวิจัย เพื่อให้เนื้อหามีความกระชับ ชัดเจน สำหรับใช้เป็นแนวทาง ในการออกแบบระบบอบไล่ความชื้นจากการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูง ร่วมกับลมร้อนจากการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กความถี่สูง

2.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง

สำหรับในการทดลองเกี่ยวกับการอบแห้ง โดยปกติความชื้นเริ่มต้นของวัสดุจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อให้การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของตัวอย่างสามารถเปรียบเทียบกันได้ และไม่มีผลของหน่วยในการวัดเข้ามาเกี่ยวข้อง การศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นจึงมักแสดงในรูปเทอมไร้หน่วย ได้แก่ การทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นในรูปอัตราส่วนความชื้น โดยนิยามอัตราส่วนความชื้น (MR: Moisture Ratio) แสดงรายละเอียดดังสมการที่ 2.1

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_{in} - M_{eq})} \quad (2.1)$$

เมื่อ	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	M_t	คือ ความชื้นที่เวลาใด ๆ ของวัสดุ, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	M_{eq}	คือ ค่าความชื้นสมดุลของวัสดุ, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)

โดยปกติกระบวนการอบแห้ง ช่วงต้นของการอบแห้งอาจจะมีอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate) และหลังจากนั้นการอบแห้งที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบอัตราการอบแห้งลดลง (falling drying rate) กล่าวคือ ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นั้นผิวของวัสดุอบแห้งยังคงอึดด้วยน้ำ อัตราการอบแห้งหรืออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นจะถูกจำกัดโดยอัตราการส่งผ่านความร้อนจากแหล่งกำเนิดพลังงานไปยังวัสดุอบแห้ง และในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงจะบ่งชี้ให้เห็นความต้านทานการเปลี่ยนแปลงความชื้นที่เกิดขึ้นทั้งการส่งผ่านความร้อนและการส่งผ่านมวล ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นหรือปริมาณน้ำถูกควบคุมด้วยกลไกภายในวัสดุ

2.2.1 อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

การคำนวณหาอัตราการอบแห้งโดยนำค่าความชื้นก่อนการอบแห้ง และหลังอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดคำนวณหาอัตราการอบแห้ง Drying Rate (DR, kg-of water evaporated/h) ดังสมการที่ 2.2

$$DR = \frac{(M_{in} - M_f)W_d}{t} \quad (2.2)$$

เมื่อ	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	M_f	คือ ความชื้นสุดท้าย, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	W_d	คือ มวลของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม (kg)
	t	คือ ระยะเวลาในการอบแห้ง, ชั่วโมง (h)

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ Specific energy consumption, SEC (MJ/kg of water evaporated) ที่ใช้ในการอบแห้ง คำนวณได้ตามสมการที่ 2.3

$$SEC = \frac{3.6E_p}{(M_{in} - M_f)W_d} \quad (2.3)$$

เมื่อ	SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg of water evaporated)
	E_p	คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ (kWh)
	M_{in}	คือ ความชื้นเริ่มต้น, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	M_f	คือ ความชื้นสุดท้าย, ร้อยละมูลฐานแห้ง (%Dry-basis)
	W_d	คือ มวลของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม (kg)

การหาค่าร้อยละมูลฐานแห้งของชิ้นงานสามารถคำนวณหาได้จากน้ำหนักของชิ้นงานดังความสัมพันธ์ตามสมการที่ 2.4

$$\% Dry - basis = \frac{(W_{in} - W_d) \times 100}{W_d} \quad (2.4)$$

เมื่อ	W_{in}	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของชิ้นงาน, กิโลกรัม (kg)
	W_d	คือ น้ำหนักแห้งของชิ้นงาน, กิโลกรัม (kg)

2.3 หลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนโดยใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก

สำหรับการใช้งานเกี่ยวกับคลื่นความถี่เป็นส่วนสำคัญที่ต้องพิจารณาสำหรับการออกแบบตัวปล่อยคลื่นความถี่และระบบที่ใช้งานคลื่นความถี่ โดยจำเป็นที่จะต้องศึกษาการเกิดความร้อนของไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียและการแพร่กระจายความร้อนในไดอิเล็กตริกนั้น คุณสมบัติของไดอิเล็กตริกสามารถอธิบายได้ด้วยพฤติกรรมภายใต้การใช้งานคลื่นความถี่สูง ซึ่งเป็นค่าสภาพ ขอมเชิงซ้อน (complex permittivity: ϵ^*) หรือเรียกว่าค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประสิทธิผล (effective dielectric constant) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.5

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon''_{eff} \quad (2.5)$$

โดยที่	ϵ''_{eff}	คือ ตัวประกอบการสูญเสียประสิทธิผล (effective loss factor)
--------	--------------------	---

สำหรับการพิจารณาการเกิดการสูญเสียในวัสดุไดอิเล็กตริกจะพิจารณาจากส่วนที่เป็นจำนวนจินตภาพของค่าคงที่ไดอิเล็กตริก โดยขึ้นอยู่กับความถี่และอุณหภูมิที่ใช้งาน ซึ่งการนิยามการสูญเสียแทนเจนต์ (loss tangent) สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.6

$$\tan \delta_{eff} = \epsilon''_{eff} / \epsilon' \quad (2.6)$$

2.3.2 กลไกการเกิดความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก

วัสดุไดอิเล็กตริก (dielectric) ที่มีการสูญเสียนั้นสามารถทำให้เกิดเป็นความร้อนได้ โดยการป้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากความสามารถของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ทำให้เกิดโพลาไรซ์ของประจุภายในไดอิเล็กตริก เมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าสติดแล้วสนามไฟฟ้าสติดจะทำให้เกิดโพลาไรซ์ขึ้น แต่ในกรณีที่เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับพลังงานของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนี้จะทำให้เกิดโพลาไรซ์และจะทำให้ไดโพลโมเมนต์ของวัสดุไดอิเล็กตริกเกิดการหมุนไปตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลง การหมุนของไดโพลโมเมนต์ของวัสดุไดอิเล็กตริกเกิดการชนกันของโมเลกุลภายใน โดยโมเลกุลของไดอิเล็กตริกนั้นจะต้องมีค่าไดโพลโมเมนต์ (dipole moment) สูงพอ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพของการทำให้เกิดความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกนั้น ๆ ไดอิเล็กตริกที่มีการสูญเสียส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุที่มีโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนประกอบ ซึ่งในสภาวะทั่วไปไดอิเล็กตริกสามารถที่จะเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ โดยเกิดจากประจุบวกและประจุลบที่แยกห่างออกจากกัน เนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปภายในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะฝืนกับแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมหรือโมเลกุล โดยกลไกของการเกิดการแยกห่างกันของประจุจะขึ้นอยู่กับชนิดของไดอิเล็กตริกและความถี่ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนให้กับไดอิเล็กตริก โดยการแบ่งชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ของไดอิเล็กตริกนั้นสามารถแบ่งได้ 4 ลักษณะ ซึ่งในแต่ละแบบจะเกิดปรากฏการณ์ที่คล้ายกันแต่จะเกิดขึ้นที่ความถี่ที่แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบบความเป็นกลางทางไฟฟ้าจะถูกครอบงำ เนื่องจากการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริก ซึ่งจะทำให้เกิดการแยกห่างออกจากกันของประจุลบและประจุบวก โดยที่พลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสลับนั้นความถี่จะเป็นตัวกำหนดชนิดของการเกิดโพลาไรซ์ ซึ่งสามารถอธิบายการเกิดโพลาไรซ์ชนิดต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้ คือ อันดับแรกนั้นเป็นลักษณะการเกิดโพลาไรซ์แบบสเปซชาร์จ์ (space charge polarization) โดยการเกิดโพลาไรซ์ชนิดนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ต่ำ ซึ่งจะเป็นช่วง VLF และ LF เนื่องจากการเกิดโพลาไรซ์จะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุหรือตัวกลางมีอิเล็กตรอนอิสระ โดยที่ระยะห่างของประจุบวกและประจุลบจะถูกจำกัดด้วยสิ่งกีดขวาง เมื่อมีการป้อนพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้า

ไปยังไดอิเล็กตริกแล้วอิเล็กตรอนก็จะไปสะสมบริเวณที่ส่วนทึดขวาง ซึ่งจะทำให้ประจุบวกและประจุลบแยกห่างออกจากกัน และมีผลทำให้ไดอิเล็กตริกเกิดโพลาไรซ์ โดยการเกิดโพลาไรซ์ลักษณะนี้เป็นพื้นฐานของอิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ ต่อมาอันดับที่สองเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบการจัดเรียงไดโพลโมเมนต์ (polarization by dipole alignment) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงมาก เช่น ย่านความถี่ไมโครเวฟเนื่องจากจะเกิดขึ้นในระดับของโมเลกุล โดยหลักการนี้จะใช้เป็นพื้นฐานของการเกิดความร้อนในไดอิเล็กตริก ต่อมาเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบไอออนิก (ionic polarization) การเกิดโพลาไรซ์แบบนี้จะเกิดขึ้นที่ความถี่ของอินฟราเรด โดยจะเกิดขึ้นเนื่องจากการแยกห่างจากกันของประจุบวกและประจุลบภายใน โมเลกุล และสุดท้ายเป็นการเกิดโพลาไรซ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic polarization) โดยจะเกิดขึ้นที่ความถี่สูงที่ใกล้กับความถี่ของอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งนิวเคลียสของอะตอมซึ่งเป็นประจุบวกจะอยู่กับที่ในเมตริกซ์ของสารที่เป็นไดอิเล็กตริก โดยกลุ่มของประจุลบที่อยู่รอบนิวเคลียสนั้นจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามา

2.3.3 การเกิดความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของไดอิเล็กตริก

สำหรับแพร่กระจายพลังงานสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปในไดอิเล็กตริกจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในไดอิเล็กตริก ซึ่งพลังงานที่แพร่กระจายนี้จะทำให้เกิดการหมุนของขั้วไดโพล และเกิดความเสียหายจากการหมุนทำให้เกิดความร้อนและมีการแพร่กระจายของกำลังงาน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยแปรผันตรงกับกำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่กระจายในหนึ่งหน่วยปริมาตรนี้สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.7

$$\frac{P_d}{V} = \sigma_d E_{loc}^2 \quad (2.7)$$

เมื่อ σ_d คือ ค่าความนำของไดอิเล็กตริก โดยที่ σ_d มีค่าเท่ากับ $\omega \epsilon' \epsilon_o \tan \delta_{eff}$ จากนั้นเมื่อทำการแทนค่าความนำของไดอิเล็กตริกลงในสมการที่ 2.7 สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.8

$$\frac{P_d}{V} = \omega \epsilon' \epsilon_o \tan \delta_{eff} E_{loc}^2 \quad (2.8)$$

แต่ในกรณีของคลื่นภายในตัวกลางที่มีความแตกต่างจากคลื่นที่ให้ออกภายนอก โดยที่คลื่นเดินทางภายในตัวกลางในทิศทาง Z จะได้กำลังงานของคลื่นภายในตัวกลางดังสมการ

$$P_{(z)} = P_0 e^{-2\alpha z} \quad (2.9)$$

เมื่อ P_0 คือ กำลังงานคลื่นที่ตกกระทบตัวกลาง α คือ ค่าคงที่ของการลดทอนกำลังงานคลื่นในไดอิเล็กตริก ถ้าพิจารณาสนามที่เคลื่อนที่ในระยะทาง d_1 ได้ตั้งสมการที่ 2.10 จากนั้นเมื่อจัดรูปสมการที่ 2.10 ใหม่จะได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.11

$$\int_0^{d_1} e^{-2\alpha z} dz = \frac{1}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha d_1}) \quad (2.10)$$

$$\frac{P_d(d_1)}{V} = \omega \varepsilon' \varepsilon_0 \tan \delta_{eff} E_{loc}^2 \frac{1}{2\alpha} (1 - e^{-2\alpha d_1}) \quad (2.11)$$

การเกิดความร้อนภายในตัวกลางนั้นจะมีรูปแบบการแพร่กระจายของความร้อนภายในตัวกลางด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน เช่น การนำ (conduction) การพา (convection) และการแผ่ (radiation) แต่ในที่นี้จะพิจารณาเฉพาะการแพร่กระจายของความร้อนด้วยการนำและการแผ่เท่านั้น ซึ่งเป็นการเกิดความร้อนเนื่องจากคลื่นความถี่ภายในตัวกลาง โดยจะสามารถอธิบายได้ด้วยรูปแบบสมการมาตรฐานของสมการการส่งถ่ายความร้อน (heat transfer equation) ซึ่งรวมทั้งเทอมของความร้อนภายในด้วย ในกรณีของระบบพิกัดฉาก (cartesian coordinate) จะสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.12

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q(x, y, z)}{k} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2.12)$$

เมื่อ $a = \frac{k}{\rho C_p}$

โดยที่	T	คืออุณหภูมิ (°K)
	$q(x, y, z)$	คือกำลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (W/m ³)
	k	คือความนำเชิงอุณหภูมิ (thermal conductivity) (W/m ³ °K)
	a	คือความสามารถในการแพร่กระจายอุณหภูมิ (thermal diffusivity) (m ² /s)
	ρ	คือความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m ³)

C_p	คือความร้อนจำเพาะ (specific heat) ($J \times kg^{-1} \times ^\circ C^{-1}$)
t	คือเวลา

สำหรับการใช้งานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น เมื่อคลื่นเดินทางเข้าไปในตัวกลางแล้วสามารถหาสนามแม่เหล็กไฟฟ้าภายในตัวกลางโดยใช้การวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ยากเกินไป แต่อาจจะทำได้ด้วยการวัดหรือการประมาณจากวิธีการทางแบบจำลองเชิงเลข (numerical modeling) โดยที่ค่ากำลังที่ดูดซับต่อหนึ่งหน่วยมวล (power absorbed per unit mass: P_d) จะเป็นตัวบอกถึงการวัดค่ากำลังงานที่แพร่กระจายอยู่ในตัวกลางและในการคำนวณหาอุณหภูมิสูงขึ้นสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\Delta T = \frac{1}{C_p} P_d \Delta t \quad (2.13)$$

2.3.4 ระดับความลึกผิว (skin depth)

การประยุกต์ใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสามารถในการทะลุทะลวงหรือความลึกของคลื่นที่ใช้งานในตัวกลาง ซึ่งเป็นระยะความลึกที่คลื่นแพร่เข้าไปในตัวกลาง (penetration depth) โดยเป็นระยะทางจากผิวของตัวกลางไปจนถึงตำแหน่งที่ทำให้คลื่นมีกำลังงานลดลง ซึ่งสามารถแสดงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$D_p = \frac{1}{2\alpha} \quad (2.14)$$

$$\alpha = \omega \left(\frac{\mu_o \mu' \epsilon_o \epsilon'}{2} \right)^{1/2} \left[\left(1 + (\epsilon''_{eff} / \epsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2} \quad (2.15)$$

$$D_p = \frac{1}{2\omega \left(\frac{\mu_o \mu' \epsilon_o \epsilon'}{2} \right)^{1/2} \left[\left(1 + (\epsilon''_{eff} / \epsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2}} \quad (2.16)$$

โดยเมื่อพิจารณาสมการที่ 2.16 ในอวกาศว่างที่มีค่า $\mu' = 1$ แล้วสามารถจัดรูปสมการใหม่แล้วได้ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2.17

$$D_P = \frac{\lambda}{2\pi(2\varepsilon')^{1/2}} \left[\left(1 + (\varepsilon''_{eff} / \varepsilon')^2 \right)^{1/2} - 1 \right]^{1/2} \quad (2.17)$$

สำหรับกรณีของไดอิเล็กตริกที่มีความสูญเสียต่ำ โดยที่สามารถจัดรูปแบบสมการใหม่ได้ดังสมการที่ 2.18

$$D_P = \frac{\lambda(\varepsilon')^{1/2}}{2\pi\varepsilon''_{eff}} \quad (2.18)$$

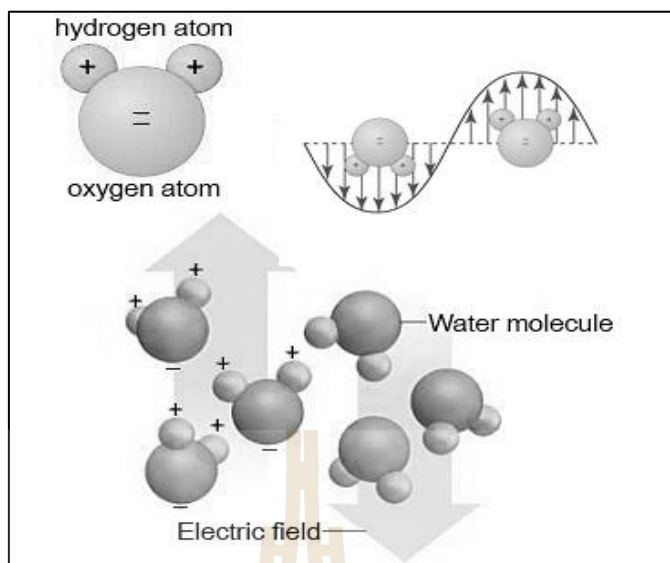
หรือ

$$D_P = \frac{\lambda(\varepsilon')^{1/2}}{2\pi\varepsilon''_{eff}} \quad (2.19)$$

โดยจากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.19 ซึ่งเป็นสมการความลึกในการใช้งานคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในตัวกลางของไดอิเล็กตริกที่มีความสูญเสียต่ำตามเงื่อนไขดังกล่าว โดยมีความถี่เป็นตัวแปร ซึ่งนำไปสู่การพิจารณาในรายละเอียดของปัจจัยในด้านความถี่ที่ถูกเลือกไปใช้งานสำหรับการอบแห้งยางพาราต่อไป

2.4 การทำงานของคลื่นไมโครเวฟ

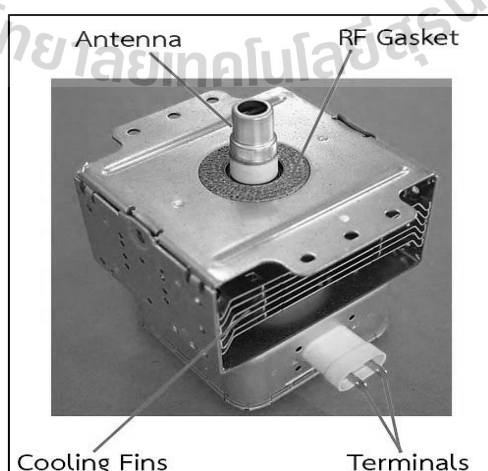
คลื่นไมโครเวฟเป็นสนามของพลังงานไฟฟ้า และพลังงานแม่เหล็กอยู่ด้วยกัน จึงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความเร็วเท่ากับความเร็วแสง มีการแผ่รังสีเหมือนแสง แต่มีพลังงานน้อยกว่าเคลื่อนที่ในรูปแบบคลื่น ดังนั้นไมโครเวฟจึงสะท้อนไปมาจะถูกส่งผ่านหรือดูดกลืนได้โดยขึ้นกับสารที่ไมโครเวฟทำปฏิกิริยาด้วยหลักการทำงานอาศัยน้ำ เพราะน้ำเป็นโมเลกุลชนิดมีขั้วบวกที่ปลายด้านหนึ่ง โมเลกุลของน้ำในอาหารจะจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเปิดเครื่องทำให้เกิดคลื่นไมโครเวฟในเตาอบ โมเลกุลของน้ำจะเริ่มดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเกิดการสั่นเป็นจำนวนล้านๆ ครั้งใน 1 วินาที ขณะเดียวกันโมเลกุลของน้ำสั่นไปด้วยพร้อม ๆ กับเปลี่ยนตำแหน่งของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโมเลกุลให้เป็นระเบียบมากขึ้น การที่โมเลกุลของน้ำสั่นอย่างมากขึ้นนี้ทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 โมเลกุลของน้ำที่เปลี่ยนทิศกลับไปกลับมารวดเร็ว

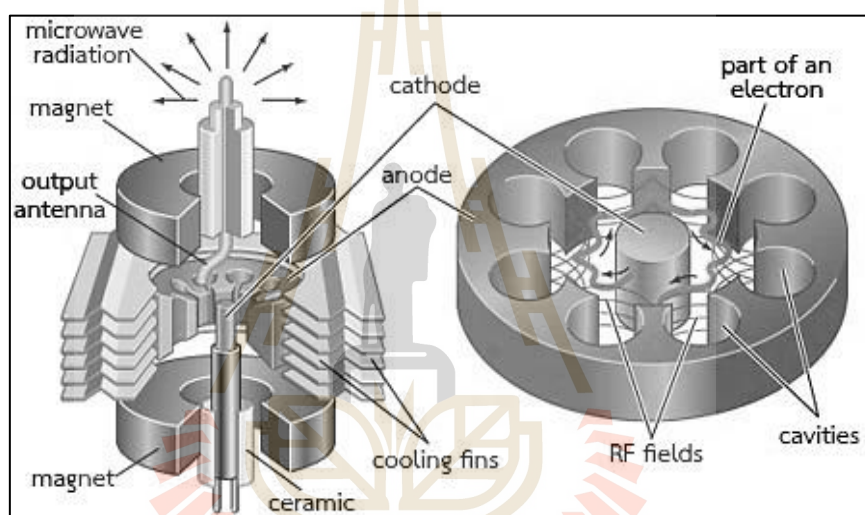
2.4.1 ส่วนกำเนิดคลื่น

หลอดแมกนีตรอนประกอบด้วยไส้หลอดทำหน้าที่เป็นขั้วคาโทดถูกบรรจุอยู่ในหลอดสุญญากาศ โดยส่วนของผนังรอบๆ สุญญากาศจะทำหน้าที่เป็นแอนโอดมิวไว้เพื่อสร้างสนามไฟฟ้า ส่วนสนามแม่เหล็กจะมีวงแหวนแม่เหล็กถาวรเป็นตัวสร้าง โดยคลื่นไมโครเวฟของหลอดแมกนีตรอนอาศัยสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในลักษณะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันจึงเกิดเป็นคลื่นไมโครเวฟ



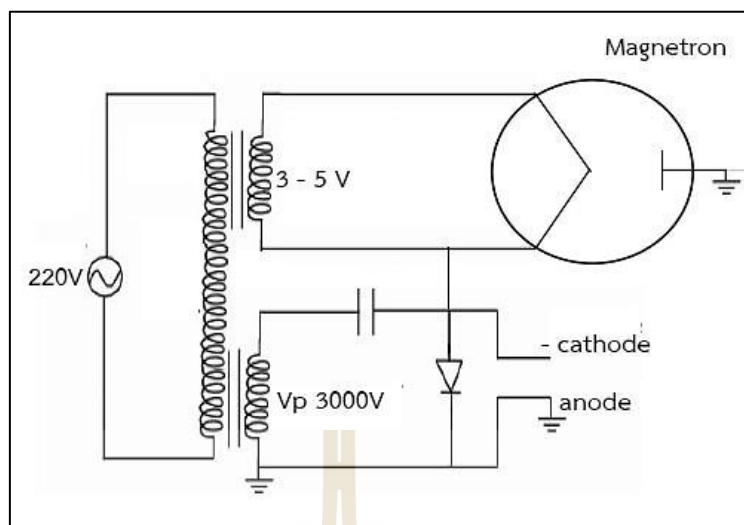
รูปที่ 2.2 หลอดแมกนีตรอนที่ใช้ในการทดลอง

ในการทำงานของหลอดแมกนีตรอนนั้น หลอดจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันต่ำประมาณ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับอโนด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร และเมื่อความต่างศักย์มีค่าสูงจนถึงค่าหนึ่งก็จะทำให้หลอดแมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยความถี่ของคลื่นย่านไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในของช่องสูญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอโนด ซึ่งทำให้มีความเหมาะสมที่จะทำให้หลอดแมกนีตรอนสามารถกำเนิดคลื่นออกมาที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิร์ต



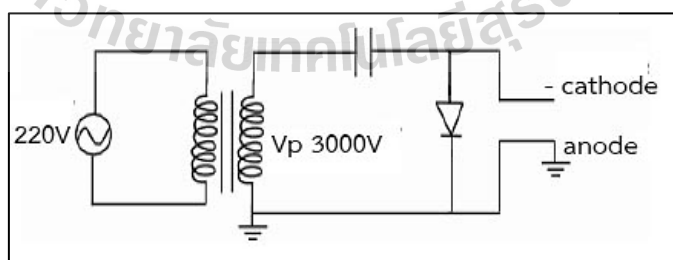
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของหลอดแมกนีตรอน

กระบวนการเปิดทำงานหลอดแมกนีตรอนจะต้องใช้ชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงให้กับหลอดแมกนีตรอน ในขณะที่จ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ให้กับไส้หลอดอยู่นั้นแรงดันไฟฟ้าแรงสูงที่จ่ายให้ขั้วอโนดกับขั้วคาโทดจะต้องมีค่าสูงประมาณ 4,000 โวลต์ จึงจะทำให้หลอดแมกนีตรอนปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ และจากการทดลองโดยการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วอโนด



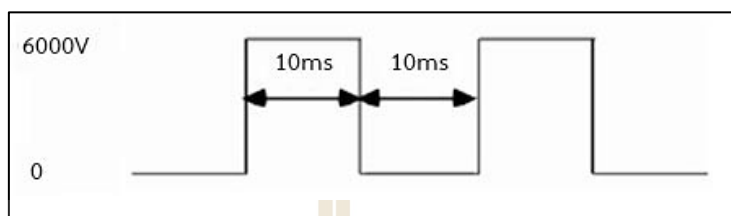
รูปที่ 2.4 วงจรสำหรับจุดหลอดแมกนีตรอน

พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่สามารถทำให้แมกนีตรอนเริ่มปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้จะมีค่าประมาณ 4,000 โวลต์ โดยที่เมื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายกับขั้วทั้งสองมีค่าสูงขึ้น ก็จะทำให้หลอดแมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมมีค่าคงที่เท่ากับ 4,000 โวลต์ นั้นแสดงว่าแรงดันไฟฟ้าส่วนเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น เตาไมโครเวฟโดยทั่วไป จะมีชุดจ่ายแรงดันซึ่งประกอบด้วย Step up Transformer ซึ่งมีแรงดันด้านขดทุติยภูมิ $V_{peak} = 3,000$ โวลต์ เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ 220 โวลต์ และต่อเข้ากับไดโอด และตัวเก็บประจุในลักษณะวงจรทวิแรงดัน 2 เท่า



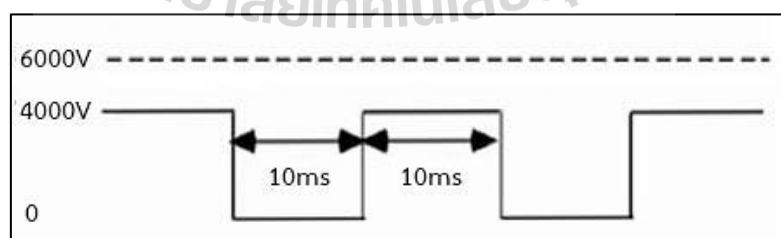
รูปที่ 2.5 วงจรทวิแรงดันแบบใช้ไดโอด

ในขณะที่ยังไม่ต่อชุดจ่ายแรงดันไฟฟ้านี้ให้กับแมกนีตรอน จะวัดค่าแรงดันสูงสุดตรงขาออกได้ เท่ากับ 6,000 โวลต์ ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของวงจรทีวีแรงดัน โดยจะมีลักษณะเป็นพัลส์ความถี่ 50 เฮิร์ต



รูปที่ 2.6 เอาต์พุตของวงจรทีวีแรงดัน

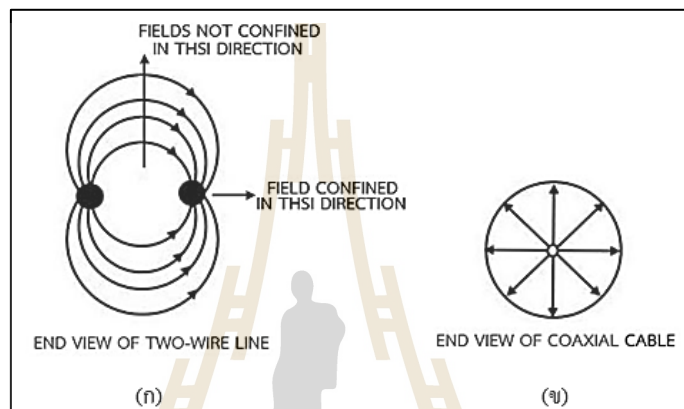
การทำงานของวงจรทีวีแรงดันจะมีลักษณะคือ ขณะที่แรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลง มีค่าเป็นบวก ($V_{\text{peak}} = 3,000$ โวลต์) ไดโอดก็จะนำกระแสและตัวเก็บประจุจะถูกชาร์จ ในขณะที่แรงดันที่ตกคร่อมขั้วคาโทดและขั้วแอนโอดมีค่าเป็นศูนย์ และเมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกของหม้อแปลงเปลี่ยนเป็นลบ ไดโอดก็จะหยุดนำกระแส ซึ่งจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขั้วคาโทดและขั้วแอนโอดเป็นแรงดันไฟฟ้ารวมของแรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุและแรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงซึ่งเท่ากับ 6,000 โวลต์เมื่อต่อวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้างดกล่าวเข้ากับแมกนีตรอน แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมขั้วแอนโอดและขั้วคาโทดจะลดเหลือ 4,000 โวลต์ ดังรูป 2.4 ซึ่งแรงดันไฟฟ้าผลต่าง 2,000 โวลต์ จะเปลี่ยนเป็นกำลังของคลื่น ไมโครเวฟสูงสุดที่ถูกส่งออกมา ซึ่งคลื่นความถี่สูงที่ถูกส่งออกมาก็จะมีลักษณะเป็นพัลส์ดังกับรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เอาต์พุตของหลอดแมกนีตรอน

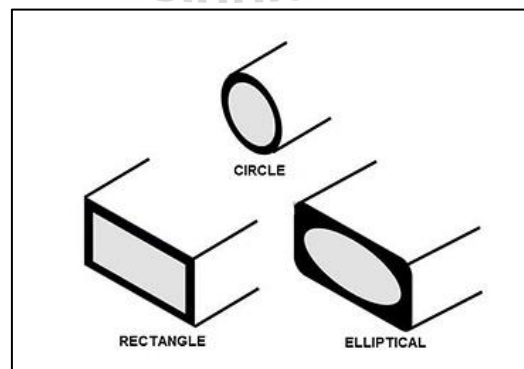
2.4.2 ท่อนำคลื่น

สายนำสัญญาณที่ใช้กันในวงจรโดยทั่วไป มักมีประสิทธิภาพในการถ่ายโอนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูงต่ำ ที่ความถี่สูงนี้พลังงานจะถูกปล่อยออกมาโดยการแผ่รังสีเพราะสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กไม่ได้จำกัดในทุก ๆ ด้านสายโคแอกเซียลมีประสิทธิภาพมากกว่าสายนำสัญญาณในการส่งถ่ายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เพราะมีการจำกัดขอบเขตด้วยตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 (ก) สนามแม่เหล็กเดินทางได้สองทิศทาง (ข) สนามแม่เหล็กเดินทางได้ทุกทิศทาง

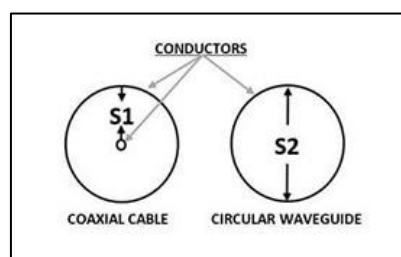
อย่างไรก็ตามท่อนำคลื่นเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการส่งถ่ายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ท่อนำคลื่นมีลักษณะเป็นสายโคแอกเซียลที่ไม่มีตัวนำตรงกลาง สร้างขึ้นจากสารตัวนำและอาจมีรูปร่าง ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม วงกลม หรือวงรี



รูปที่ 2.9 ลักษณะท่อนำคลื่น

จากลักษณะของสายคู่นำสัญญาณ สายโคแอกเชียล และท่อนำคลื่นในการเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานนั้นมีผลอย่างมาก ทำให้ในการเลือกใช้กับคลื่นความถี่สูงและกำลังงานสูงจึงต้องเลือกใช้ท่อนำคลื่นจะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับข้อดีและข้อเสียของท่อนำคลื่น

ท่อนำคลื่นมีข้อดีมากกว่าสายคู่นำสัญญาณและสายโคแอกเชียล เช่น มีพื้นที่ผิวมากกว่าทำให้ลดการเกิด Copper losses สายคู่นำสัญญาณจะมีการเกิด Copper losses เพราะมีพื้นที่ผิวสัมผัสน้อยส่วนสายโคแอกเชียลจะมีพื้นที่ผิวด้านนอกมาก แต่พื้นที่ผิวด้านในน้อยที่ความถี่สูงกระแสจะเดินทางที่ผิวด้านในของตัวนำที่เรียกว่า Skin effect จะเป็นตัวเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นตัวต้านทานของตัวนำ แม้ว่าพลังงานจะส่งถ่ายในสายโคแอกเชียลเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ขนาดของสนามจะถูกจำกัดด้วยพื้นที่ผิวด้านในที่กระแสเดินทางผ่านตัวนำที่มีพื้นที่ผิวด้านในน้อยจะทำให้เกิด Skin effect และมีประสิทธิภาพในการส่งถ่ายพลังงานน้อยกว่าท่อนำคลื่น Dielectric losses ในท่อนำคลื่นจะต่ำกว่าในสายคู่นำสัญญาณ และสายโคแอกเชียล Dielectric losses ในสายคู่นำสัญญาณจะเกิดจากความร้อนของตัวฉนวนระหว่างตัวนำฉนวนจะประพฤติตัวแบบ Dielectric ในรูปแบบของตัวเก็บประจุ โดยความต่างศักย์ที่สองสายจะทำให้เกิดความร้อนและการสูญเสียกำลังงาน การเกิด Breakdown นี้มักเกิดจากการไม่เปลี่ยนแปลงศักย์จากการเกิดคลื่นนิ่ง (standing wave) จะเกิดเมื่อมีการ Mismatch อิมพีแดนซ์และเกิดการสะท้อน ศักย์ที่ตำแหน่งที่มีการแกว่งมาก (antinode) จะมากพอที่จะทำให้เกิด Breakdown ในตัวฉนวนระหว่างตัวนำทั้งสองได้ Dielectric ในท่อนำคลื่นคืออากาศซึ่งมีน้อยกว่า Dielectric losses มากกว่าในสารฉนวน อย่างไรก็ตาม ท่อนำคลื่นยังอยู่ภายใต้การเกิด Breakdown โดยคลื่นนิ่งในท่อนำคลื่นเป็นสาเหตุให้เกิดการอาร์คซึ่งทำให้เกิดการลดลงของประสิทธิภาพในการส่งถ่าย และอาจเป็นอันตรายต่อท่อนำคลื่นได้ แม้ว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ภายในท่อนำคลื่นจะมีการสูญเสียจากการแผ่รังสีน้อย ซึ่งข้อดีอีกประการของท่อนำคลื่นคือสามารถส่งถ่ายพลังงานได้มากกว่าสายโคแอกเชียลที่มีขนาดเท่ากันเนื่องจากระยะห่างระหว่างตัวนำ ดังแสดงในรูปที่ 2.10

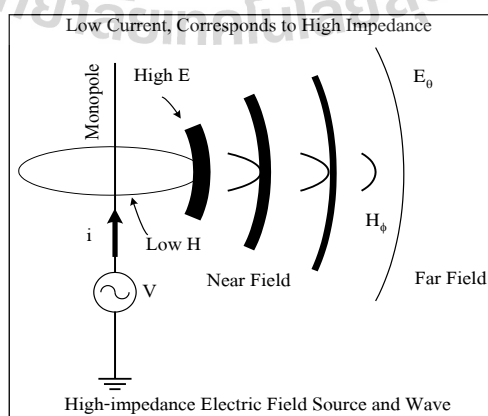


รูปที่ 2.10 การเปรียบเทียบระยะห่างของสายคู่นำสัญญาณกับท่อนำคลื่นที่เป็นวงกลม

จากข้อดีที่กล่าวมาอาจทำให้มองว่าท่อนำคลื่นเป็นสายส่งที่ดีมาก แต่ในทางปฏิบัติแล้วก็มีข้อเสียที่ทำให้ต้องนำท่อนำคลื่นมาใช้เฉพาะในความถี่ย่านไมโครเวฟด้วยซึ่งขนาดทางด้านกายภาพเป็นข้อจำกัดพื้นฐานของท่อนำคลื่นในย่านความถี่ต่ำ ความกว้างของท่อนำคลื่นจะประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ความถี่นั้น ๆ นอกจากนี้ท่อนำคลื่นยังยากต่อการติดตั้งเนื่องจากลักษณะรูปร่างแล้ว ที่ผิวด้านในของท่อนำคลื่นทำจากธาตุเงินหรือทองเพื่อลดการเกิด Skin effect ทำให้ท่อนำคลื่นมีราคาสูงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในย่านความถี่อื่น โดยไม่จำเป็น

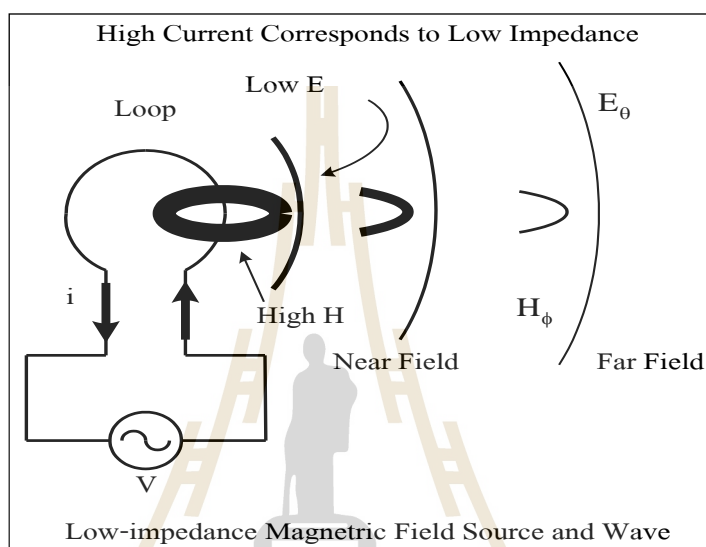
2.5 หลักการเบื้องต้นสำหรับการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับการใช้งานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นจำเป็นต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานของสภาวะการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าดังกล่าว เนื่องจากการใช้งานนั้นสามารถจำแนกสภาวะการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กและการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าโดยสังเขปได้จากกระบวนการพื้นฐานของวงจรและแหล่งจ่าย ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงภาวะกระแสและความต้านทานของวงจรที่กำหนดขึ้นตามหลักการของฟาราเดย์ที่ว่าสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นรอบลวดตัวนำที่มีกระแสไหลผ่านและจะเกิดสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กนั้น ซึ่งการนำสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้าไปใช้งานสามารถพิจารณาได้จากปริมาณของสนามดังกล่าวพิจารณาจาก เนื่องจากวงจรพื้นฐานแบบคลื่นสนามไฟฟ้าที่ให้ภาวะความต้านทานสูงนั้น พบว่าวงจรภายในเป็นลักษณะเปิดทำให้กระแสที่ไหลจากแหล่งจ่ายมีค่าน้อยทำให้การเกิดสนามแม่เหล็ก H ในช่วงต้นมีค่าน้อย (low H) แต่ให้ผลด้านสนามไฟฟ้า E ที่มีมาก (high E) ทำให้เกิดภาวะสมดุลด้านกำลังงานการพิจารณาระยะเริ่มต้นนี้มักใช้ชื่อเรียกว่าสนามระยะใกล้ (near field) ส่วนมากจะพิจารณากำลังงานจากสนามไฟฟ้าเป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 2.11 วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ให้ภาวะความต้านทานสูง

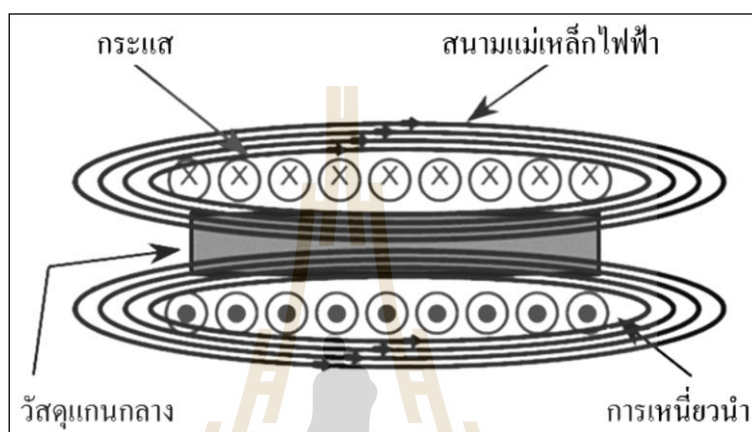
นอกจากวงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามไฟฟ้าที่ให้สถานะความต้านทานสูง จากรูปที่ 2.11 แล้วยังมีวงจรแบบคลื่นสนามแม่เหล็กที่ให้ภาวะความต้านทานต่ำ เมื่อพิจารณาวงจร พบว่ามีลักษณะเป็นวงครบรอบ (loop) ทำให้กระแสสามารถไหลได้ในปริมาณที่มากเมื่อมีกระแสไหลในลวดตัวนำได้มากจึงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก H ลวดตัวนำในช่วงต้นได้มากเช่นกันแสดงได้ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 วงจรพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสนามแม่เหล็กที่ให้ภาวะความต้านทานต่ำ

โดยถ้าพิจารณารูปที่ 2.12 แล้วจะพบว่า จะเกิดสนามแม่เหล็กเป็นส่วนใหญ่ในขณะที่สนามไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในลักษณะที่ตรงตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กแต่จะมีปริมาณของสนามไฟฟ้าที่น้อยทำให้เกิดสถานะสมดุลด้านกำลังงาน ซึ่งการพิจารณาระยะเริ่มต้นนี้จะเรียกว่าสนามระยะใกล้ (near field) และการจะพิจารณาด้านกำลังงานนั้นจะพิจารณาจากสนามแม่เหล็กเป็นส่วนใหญ่ โดยการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic induction) ปรากฏการณ์ที่ผิว (skin effect) และการถ่ายเทความร้อน (heat transfer) ซึ่งจากปรากฏการณ์ทั้งสาม ทำให้สามารถอธิบายการให้ความร้อนหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยได้ดังนี้คือ เมื่อให้ไฟฟ้ากระแสสลับผ่านเข้าสู่ลวดเหนี่ยวนำที่มีโลหะอยู่ภายใน กระแสไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ลวดเหนี่ยวนำจะเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นในลวดลวดล้องผ่านโลหะภายใน เนื่องจากวัสดุภายในเป็นโลหะสนามแม่เหล็กที่ล้องผ่านขึ้นงานจะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหล โดยกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานในบริเวณความถี่ระดับผิวของวัสดุ โดยกระแสที่ไหลวนรอบวัสดุทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของวัสดุ ซึ่งความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่

เหนี่ยวนำและความต้านทานสมมูลของเส้นทางที่กระแสไหลผ่าน โดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดการถ่ายเทไปสู่บริเวณอื่น ๆ โดยการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีที่บริเวณผิวของโลหะที่เกิดความร้อน จากหลักการให้ความร้อนด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างง่ายกล่าวคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดซึ่งพันอยู่รอบโลหะจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดนั้น โดยโลหะนั้นจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลวนภายในและเกิดความร้อนขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.13



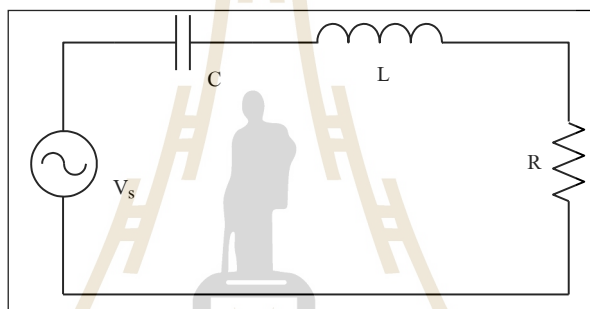
รูปที่ 2.13 การให้ความร้อนด้วยหลักการของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างง่าย

จากรูปที่ 2.13 นั้นเป็นการแสดงถึงหลักการให้ความร้อนด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำอย่างง่าย โดยให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดที่พันอยู่รอบโลหะแล้วทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดนั้น ถ้าพิจารณาทั้งระบบจะพบว่าคล้ายกับเป็นหม้อแปลงชุดหนึ่ง โดยที่ขดลวดเหนี่ยวนำจะเป็นเสมือนขดลวดปฐมภูมิ (primary coil) ของหม้อแปลงที่มีจำนวนรอบเท่ากับจำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำในวัสดุ โลหะที่ถูกให้ความร้อนจะถูกเปรียบเสมือนขดลวดทุติยภูมิ (secondary coil) ของหม้อแปลงที่มีจำนวนรอบเป็น 1 รอบเท่านั้น เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกเหนี่ยวนำขึ้นในโลหะจะไหลอยู่ภายในเนื้อโลหะ ซึ่งสามารถเปรียบได้เป็นภาวะทางไฟฟ้าที่มีสภาพเกือบจะลัดวงจร เนื่องจากความต้านทานสมมูลของในวัสดุค่อนข้างต่ำมาก โดยจากการอธิบายข้างต้นหากจะเขียนเป็นวงจรสมมูลเปรียบเทียบกันระหว่างหม้อแปลงไฟฟ้ากับการให้ความร้อนหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ซึ่งกระแสที่ไหลผ่านวงจรจะมีค่ามากที่สุดทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่ไหลมีค่าสูงสุด เป็นวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จ่ายให้วงจรหรือเลื่อนความถี่การใช้งานให้ต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งรีโซแนนซ์ โดยที่หลักการรีโซแนนซ์นั้นเป็นสถานะของวงจรที่ทำให้เกิดกระแสและแรงดันสูงสุดหรือต่ำสุด ซึ่งสามารถเกิดได้ 2 สถานะ นั่นคือภาวะรีโซแนนซ์แบบ

วงจรรอนุกรมและแบบขนาน ซึ่งในเนื้อหาวิทยานิพนธ์นี้จะได้กล่าวถึงเพียงแต่ภาวะวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมเท่านั้น

2.6 หลักการเบื้องต้นสำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

สำหรับวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมนั้นจะมีลักษณะพฤติกรรมทางไฟฟ้าของอิมพีแดนซ์ที่ตำแหน่งรีโซแนนซ์ต่ำสุด โดยค่าของกระแสที่ไหลผ่านวงจรดังกล่าวจะมีค่ามากที่สุดและทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าสูงสุด ซึ่งวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้านั้นสามารถทำได้โดยการลดแรงดันที่จ่ายให้วงจรหรือการเลื่อนความถี่ใช้งานให้มีค่าต่ำหรือสูงกว่าตำแหน่งรีโซแนนซ์ โดยที่ลักษณะของวงจรรีโซแนนซ์ RLC ที่ต่อแบบอนุกรมนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรม

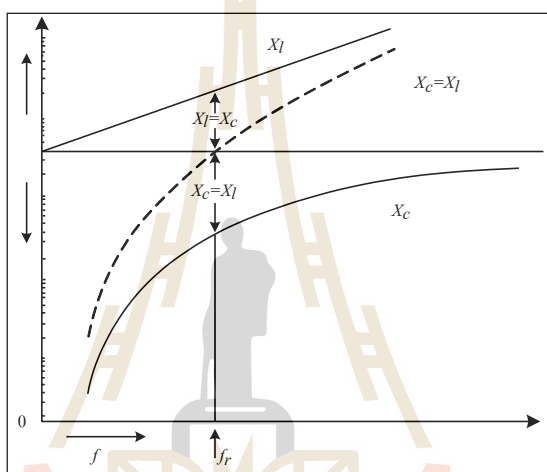
เมื่อพิจารณาคูณลักษณะของวงจรรีโซแนนซ์ในรูปที่ 2.14 แล้วพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรรีโซแนนซ์ RLC ที่ต่อแบบอนุกรมจะมีค่าดังสมการที่ 2.20

$$Z = R + j(X_L - X_C) \quad (2.20)$$

ถ้ากำหนดให้ $X_L = X_C$ นั่นคือ $2\pi fL = 1/2\pi fC$ จากนั้นจัดรูปใหม่ซึ่งจะได้ค่าของความถี่ $f^2 = 1/(2\pi)^2 LC$ ดังนั้นจะได้สมการความสัมพันธ์ของความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ดังแสดงในสมการที่ 2.21

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.21)$$

จากสมการ 2.21 พบว่าค่าอิมพีแดนซ์นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เนื่องจากค่า $X_L = 2\pi fL$ และ $X_C = 1/2\pi fC$ โดยเมื่อพิจารณาวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมใน แล้วพบว่าถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นแล้วค่า X_L จะมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าของ X_C จะมีค่าลดลงแบบเชิงเส้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ามีค่าเท่ากับค่าความถี่ของวงจรรีโซแนนซ์แล้วจะมีผลทำให้ค่ารีแอกแตนซ์รวมของวงจรมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคืออิมพีแดนซ์รวมของวงจรจะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน ($Z=R$) ซึ่งสามารถพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรมได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของ X_L และ X_C ต่อความถี่สำหรับวงจรรีโซแนนซ์ RLC แบบอนุกรม

จากคุณลักษณะของวงจรรีโซแนนซ์แบบอนุกรมในรูปที่ 2.14 จะเห็นว่ากระแสภายในวงจรอนุกรมดังนั้นสามารถอธิบายได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2.22 และกระแสที่ไหลเมื่อวงจรเกิดสภาวะการรีโซแนนซ์นั้นคือ $X_L = X_C$ จะแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 2.23

$$I = \frac{V}{R + j(X_L + X_C)} \quad (2.22)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.23)$$

โดยค่าความถี่รีโซแนนซ์นั้นเป็นความถี่เฉพาะค่าหนึ่งทีค่าแรงดัน ค่ากระแส และค่าความต้านทานอย่างใดอย่างหนึ่งมีค่ามากที่สุดหรือน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังความสัมพันธ์ในสมการต่อไปนี้

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.24)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.25)$$

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.26)$$

โดยที่ L คือตัวเหนี่ยวนำ มีหน่วยเป็นเฮนรี (H)
 C คือตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

2.7 การส่งผ่านความร้อน

สำหรับการพิจารณากำลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถทำให้เกิดความร้อนได้ เมื่อมีพลังงานกระตุ้นที่อยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งกลไกของความร้อนที่เกิดขึ้นมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปกระตุ้นอนุภาคที่มีสถานะเป็นกลางทางไฟฟ้า หรือประจุไฟฟ้าที่อยู่ในตัวกลางนั้นจากสภาวะสมดุลทำให้เกิดสภาพเป็นขั้วที่มีผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นให้เกิดการโพลาไรซ์ตามทิศทางของสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ซึ่งสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่กระตุ้นเป็นผลทำให้เกิดการกระจายกำลังงานในรูปของความร้อนภายในตัวกลางที่มีการสูญเสีย โดยอีกปรากฏการณ์หนึ่งที่เกิดควบคู่กันคือ ตัวกลางที่มีการสูญเสียสามารถเกิดความร้อนโดยตรงจากการนำไฟฟ้า เนื่องจากการกระจายตัวของอนุภาคประจุไฟฟ้าภายใต้อิทธิพลของการกระตุ้นจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกทำให้เกิดเส้นทางการนำไฟฟ้าขึ้น โดยสามารถพิจารณาได้จากสมการพื้นฐานของแมกซ์เวลล์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ภาพได้เงื่อนไขว่าเป็นตัวกลางที่มีการสูญเสียชนิดเดียวและมีการส่งผ่านความร้อนโดยการนำความร้อน (heat conduction) ภายในตัวกลางที่มีการสูญเสียที่มีการพาความร้อนที่บริเวณผิวของตัวกลางที่มีการสูญเสีย และไม่คิดการระเหยของน้ำกลายเป็นไอ (มวลไม่เปลี่ยนแปลง) ซึ่งการแพร่กระจายพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดความร้อนแก่วัตถุใด ๆ

สามารถแสดงด้วยสมการการส่งผ่านความร้อน (heat transport equation) (Metaxas et al., 1983; ดวงอาทิตย์ ศรีมูล, 2544; ชาญชัย ทองโสภา, 2545) แสดงได้ดังนี้

$$\frac{\partial T}{\partial t} = R_T \nabla^2 T + \frac{\varepsilon_v}{C_p} L_h \frac{\partial M_l}{\partial t} + \frac{P}{\rho C_p} \quad (2.27)$$

เมื่อ	T	คือ อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)
	t	คือ เวลา (s)
	R_T	คือ ความสามารถในการกระจายอุณหภูมิ (m^2/s)
	ε_v	คือ อัตราส่วนการถ่ายเทของ เหลวไอน้ำต่อการถ่ายเทความร้อนทั้งหมด (kg)
	C_p	คือ ความจุความร้อนจำเพาะของวัตถุ ($\text{J}\times\text{kg}^{-1}\times^{\circ}\text{C}^{-1}$)
	L_h	คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของเหลว (kJ/kg)
	M_l	คือ มวลของของเหลว (kg)
	ρ	คือ ค่าความหนาแน่นของวัตถุ ($\text{kg}\times\text{m}^{-3}$)

โดยการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดจากสมการที่ 2.27 มีอยู่ 3 ปัจจัยคือ เทอมแรก หมายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อน เทอมที่สองหมายถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เกิดจากการพาความร้อน และเทอมที่สามหมายถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกำลังงานภายนอกที่ป้อนให้แก่ระบบ เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเป็นรูปทรงสามมิติในระบบพิกัดฉากสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้เป็น

$$\frac{\partial T}{\partial t} = R_T \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{\varepsilon_v}{C_p} L_h \frac{\partial M_l}{\partial t} + \frac{P}{\rho C_p} \quad (2.28)$$

สำหรับการคำนวณหาการกระจายอุณหภูมิภายในก้อนวัตถุที่มีคุณสมบัติดูดซับกำลังงานนั้น จะใช้การคำนวณจากสนามแม่เหล็กในการคำนวณหาสนามแม่เหล็ก B สามารถดำเนินการได้โดยเพียงไปคำนวณหาศักย์เวกเตอร์แม่เหล็ก A เนื่องจากสามารถคำนวณได้ง่ายกว่า โดยสนามแม่เหล็ก B สามารถคำนวณได้ด้วยการเคิร์ลศักย์เชิงเวกเตอร์แม่เหล็ก A ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.8 การคำนวณพลังงานความร้อน

พลังงานที่ต้องใช้ในการให้ความร้อนเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งที่สามารถชี้วัดความคุ้มค่าของระบบที่ได้ทำการออกแบบ

2.8.1 การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการให้ความร้อน

ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแบ่งออกเป็นสองส่วนประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่งคือพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของชิ้นงานให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิตั้ง ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.29

$$Q_i = mc\Delta T \quad (2.29)$$

โดยที่	Q_i	คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (kJ)
	m	คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)
	c	คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (kJ/kg \times °C)
	ΔT	คือ ค่าความจุอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็น (°C)

โดยที่ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเป็นของน้ำซึ่งมีค่าประมาณ 4.189 kJ/kg \times °C (B.R.Bekkulov et al., 2018) และในส่วนที่สองเป็นพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2.30

$$Q_d = mL \quad (2.30)$$

โดยที่	Q_d	คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงการระเหยน้ำ (kJ)
	m	คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg)
	L	คือ ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของวัสดุ (kJ/kg)

โดยที่ค่าความความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของน้ำมีค่า 2,257 kJ/kg ซึ่งในการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของการไล่ความชื้นของชิ้นงานพลังงานความร้อนรวมที่ต้องใช้ในการอบแห้งทั้งหมดจะสามารถหาได้จากสมการที่ 2.31

$$Q_T = Q_i + Q_d \quad (2.31)$$

2.9 สรุป

จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง โดยได้กล่าวถึงสมการอัตราส่วนของความชื้น อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจำเป็นที่จะต้องรู้ค่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุ ค่าความชื้นที่เวลาใด ๆ ค่าความชื้นสมดุล ค่าความชื้นก่อน และหลังการอบแห้ง ระยะเวลาที่ใช้ในการอบ และได้กล่าวถึงในส่วนของหลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูง ความรู้เบื้องต้นของคุณสมบัติไดอิเล็กตริก รูปแบบการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก การกระจายความร้อนและการกระจายอุณหภูมิของไดอิเล็กตริก แล้วยังคงกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นสำหรับการเหนี่ยวนำ ความร้อนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากนั้น จะทำการออกแบบระบบการให้ความร้อน แบบไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นออกจากยางพาราด้วยโปรแกรม CST EM STUDIO เพื่อให้ได้รูปแบบของระบบอบไล่ความชื้นแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูง รวมไปถึงการออกแบบระบบการให้ความร้อนด้วยลมร้อนโดยใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation เพื่อดูการกระจายตัวของอากาศร้อนภายในเครื่องอบต่อไป



บทที่ 3

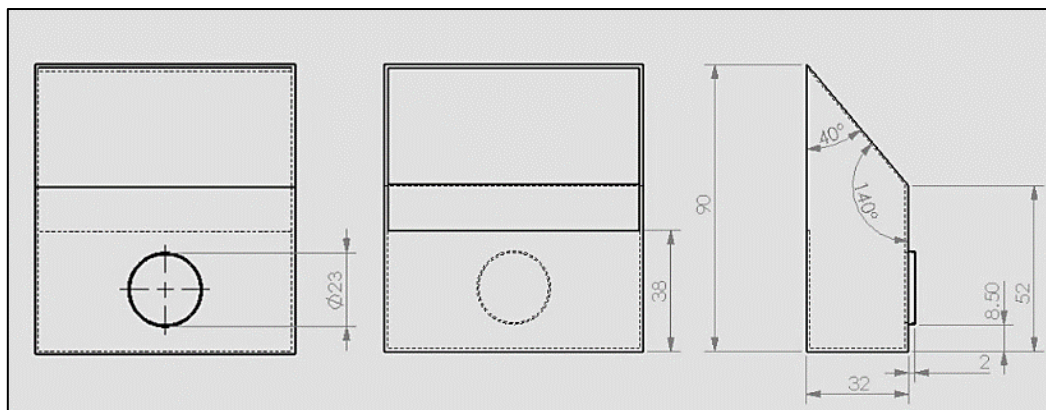
การออกแบบและวิเคราะห์ระบบอบไล่ความชื้นจากแผ่นยางพารา

3.1 กล่าวนำ

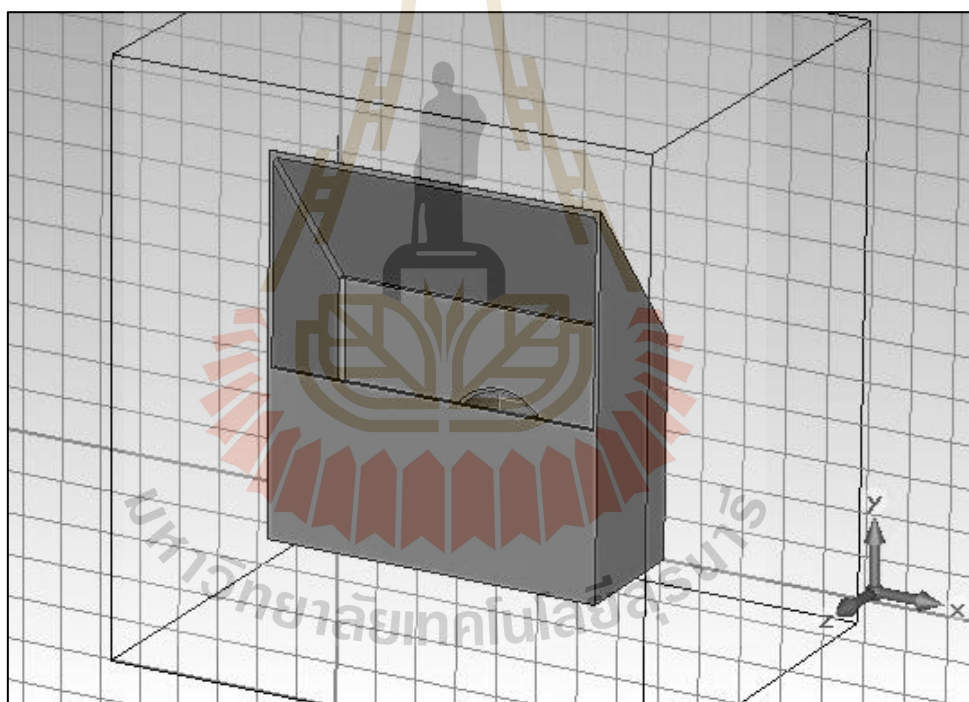
สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึงการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูง ระบบการให้ความร้อนด้วยลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง และระบบควบคุม การทำงานของระบบให้ความร้อน เพื่ออบไล่ความชื้นออกจากแผ่นยางพารา ซึ่งจะใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO 2016 ในการวิเคราะห์เชิงตัวเลข เพื่อออกแบบท่อนำคลื่นของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงที่ โดยเบื้องต้นนั้นจะเป็นการจำลองผลท่อนำคลื่นความถี่สูงเพื่อให้มีความเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งการออกแบบนั้นจะออกแบบให้ใช้งานที่คลื่นความถี่ 2.45 GHz ต่อมาจะเป็นการออกแบบในส่วนของเครื่องอบโดยได้ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solidworks และจำลองผลการแพร่กระจายตัวของอากาศร้อนในเครื่องอบด้วยโปรแกรม Solidworks Flow Simulation จากนั้นจะกล่าวถึงการออกแบบระบบกำเนิดลมร้อนจากการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กความถี่สูง และสุดท้ายจะเป็นเนื้อหาของ การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด

3.2 การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการออกแบบและจำลองพ้อท่อนำคลื่นในการส่งผ่านคลื่นความถี่สูงที่ใช้ในระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก

การออกแบบระบบการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกนั้นจะศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการจัดวางตำแหน่งของระบบให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่สูงที่ใช้ในการอบไล่ความชื้นออกจากแผ่นยางพารา ในการออกแบบจะออกแบบที่ความถี่ 2.45 GHz ในส่วนแรกจะทำการออกแบบและจำลองผลท่อนำคลื่น โดยการออกแบบขนาดของท่อนำคลื่นจะใช้โปรแกรม Solidworks ในการออกแบบดังแสดงในรูปที่ 3.1 และจะนำไปจำลองผลการส่งผ่านคลื่นความถี่สูงด้วยโปรแกรม CST Microwave Studio ต่อไป

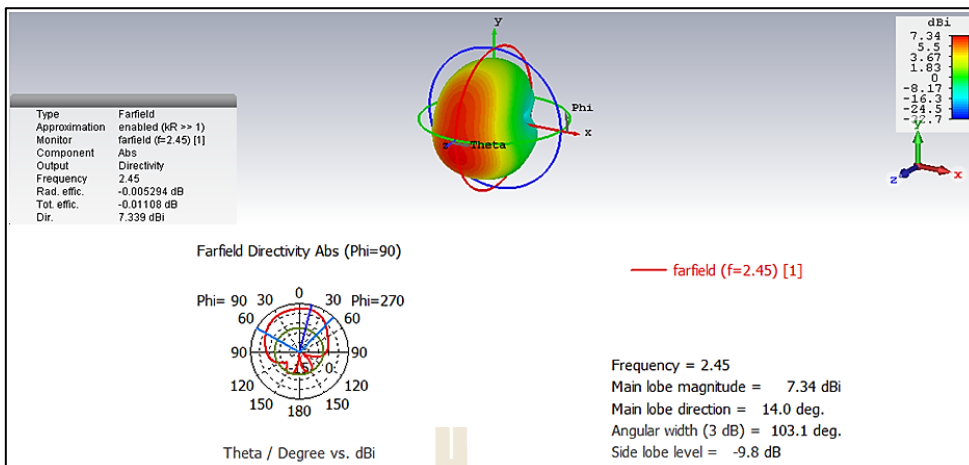


รูปที่ 3.1 ขนาดของแบบจำลองตัวปล่อยคลื่น โดยโปรแกรม Solidworks (มิลลิเมตร)



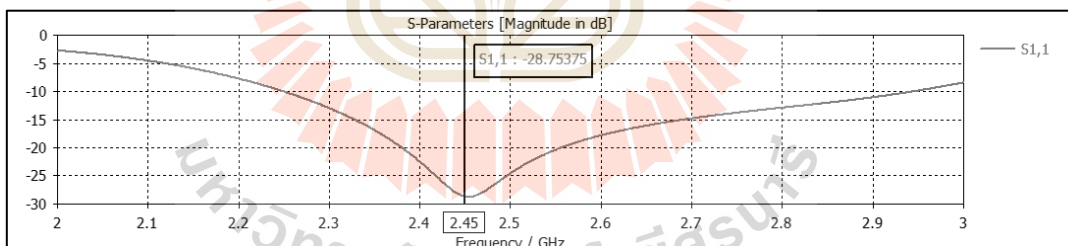
รูปที่ 3.2 แบบจำลองตัวปล่อยคลื่น โดยโปรแกรม Computer Simulation Technology (CST)

โดยรูปที่ 3.2 เป็นรูปท่อนำคลื่นที่ออกแบบโดยใช้โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO เพื่อใช้ส่งผ่านคลื่นความถี่ที่ 2.45 จิกะเฮิรต์ โดยคลื่นความถี่จะมีทิศทางการแพร่กระจายไปในแนวแกน Z ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นการจำลองผลการแพร่กระจายคลื่นในสนามไกลเพื่อดูทิศทางการแพร่กระจายคลื่น อัตราขยายเทียบกับไอโซโทรปิก ซึ่งมีหน่วยเป็น ดีบีไอ จะเห็นได้ว่ามีอัตราขยาย 7.34 ดีบีไอ ที่ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรต์

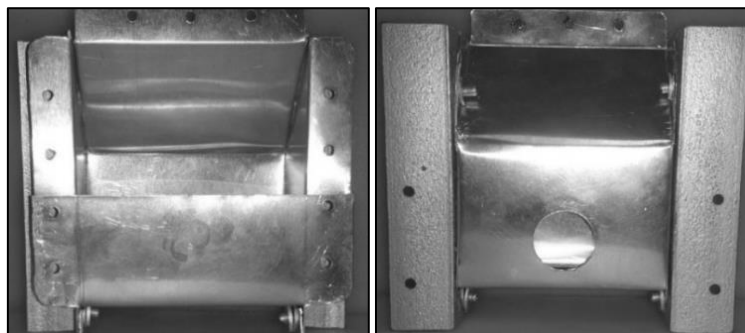


รูปที่ 3.3 ทิศทางการแพร่กระจายคลื่นของท่อนำคลื่น

สำหรับส่วนของการจำลองผลท่อนำคลื่นความถี่นั้นนอกจากจะต้องคำนึงถึงทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นแล้วยังต้องคำนึงถึงค่า s-parameter ที่ใช้ในย่านความถี่ที่เราต้องการ ซึ่งดูได้จากรูปที่ 3.4 เป็นกราฟการแสดงค่ากำลังงานสะท้อนกลับในแต่ละย่านความถี่ที่ได้จำลองผล จะเห็นว่าที่ ความถี่ 2.45 จิกะเฮิรต มีการสะท้อนกลับอยู่ที่ประมาณ -28.7 ดิบี



รูปที่ 3.4 S-Parameter



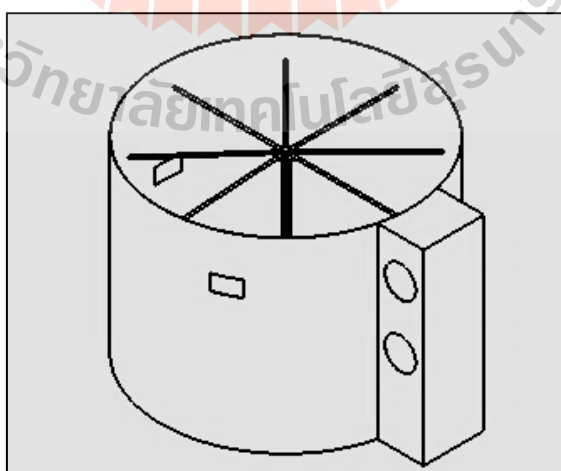
รูปที่ 3.5 ท่อนำคลื่นที่สร้างขึ้น

3.3 การออกแบบเครื่องอบแห้ง

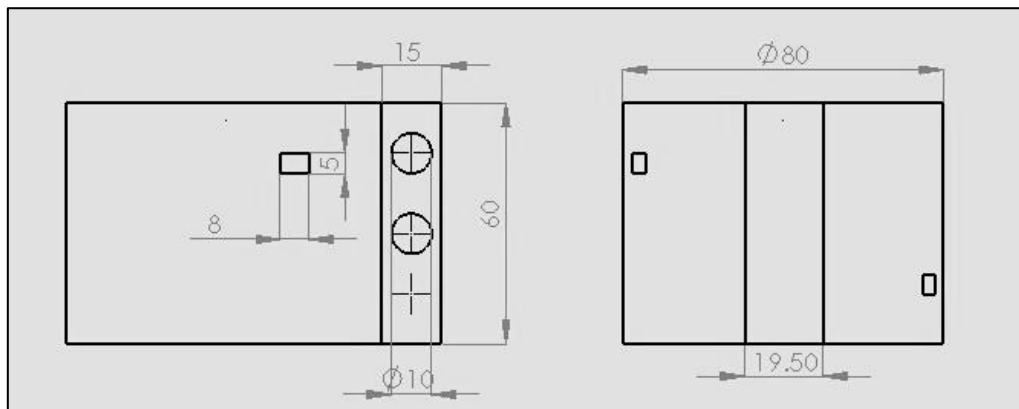
การออกแบบและจำลองผลการส่งผ่านคลื่นความถี่ของเครื่องอบแห้งใช้ โปรแกรม CST MICROWAVE STUDIO ในการออกแบบ และวัสดุที่ใช้คือแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1.0 มิลลิเมตร เพื่อใช้ในสร้างส่วนต่างๆ

3.3.1 เครื่องอบ

ตัวเครื่องออกแบบให้เป็นทรงกระบอก เพื่อให้เกิดการสะท้อนของคลื่น ไมโครเวฟอยู่ภายในตัวเครื่องอบให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งตัวเครื่องมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 80 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ภายในเครื่องอบก็จะมีแกนหมุนไว้สำหรับแขวนแผ่นยางพารา ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7



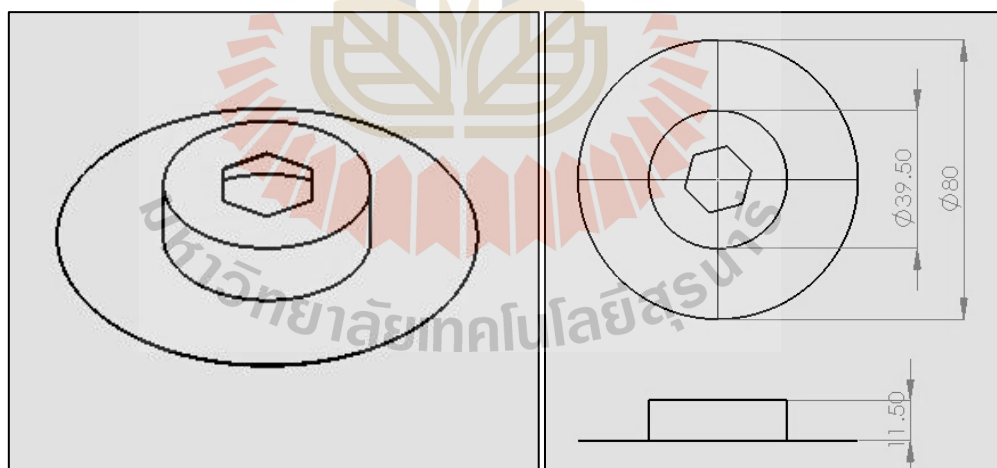
รูปที่ 3.6 ลักษณะของเครื่องอบ



รูปที่ 3.7 ขนาดของเครื่องอบ (เซนติเมตร)

3.3.2 ฝาปิดเครื่องอบ

ฝาคาบด้านบนเป็นส่วนที่จะประกอบติดกับเครื่องอบ และที่ส่วนของฝาจะมีการติดตั้งพัดลมไว้เพื่อระบายความร้อนภายในเครื่องซึ่งมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.8 โดยในการออกแบบจะใช้หน่วยในการออกแบบเป็นเซนติเมตร

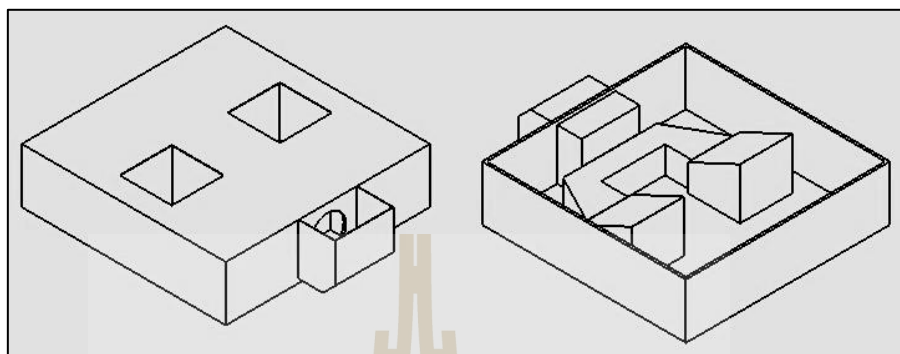


รูปที่ 3.8 ลักษณะและขนาดของฝาปิดเครื่องอบ

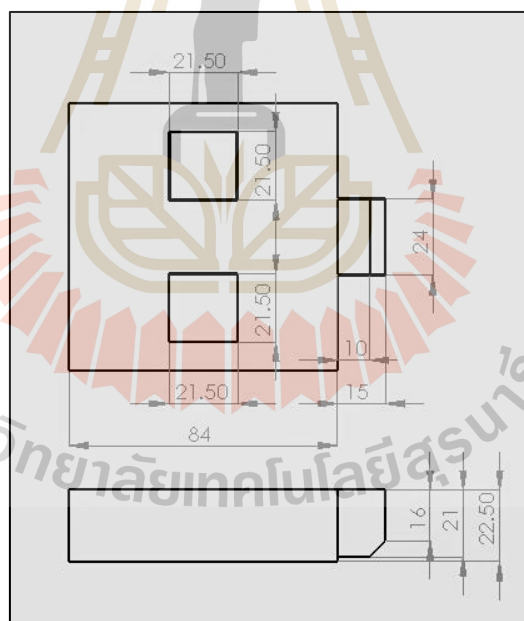
3.3.3 ฐานเครื่องอบ

ฐานของเครื่องอบเป็นส่วนที่รองรับน้ำหนักของเครื่องและ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดอยู่กับเครื่องอบ และในส่วนของฐานนั้นจะมีช่องลม ซึ่งนำลมร้อนจากขดลวดเหนี่ยวนำและหลุด

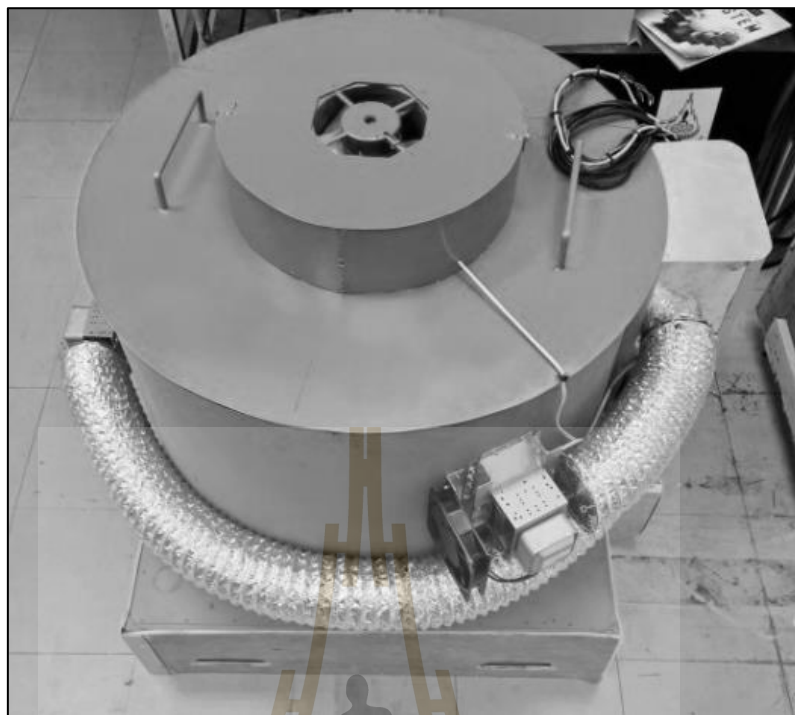
แมกนีตรอนมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแผ่นยางพารา มีลักษณะดังรูปที่ 3.9 และมีขนาดดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 ลักษณะของฐานเครื่องอบ



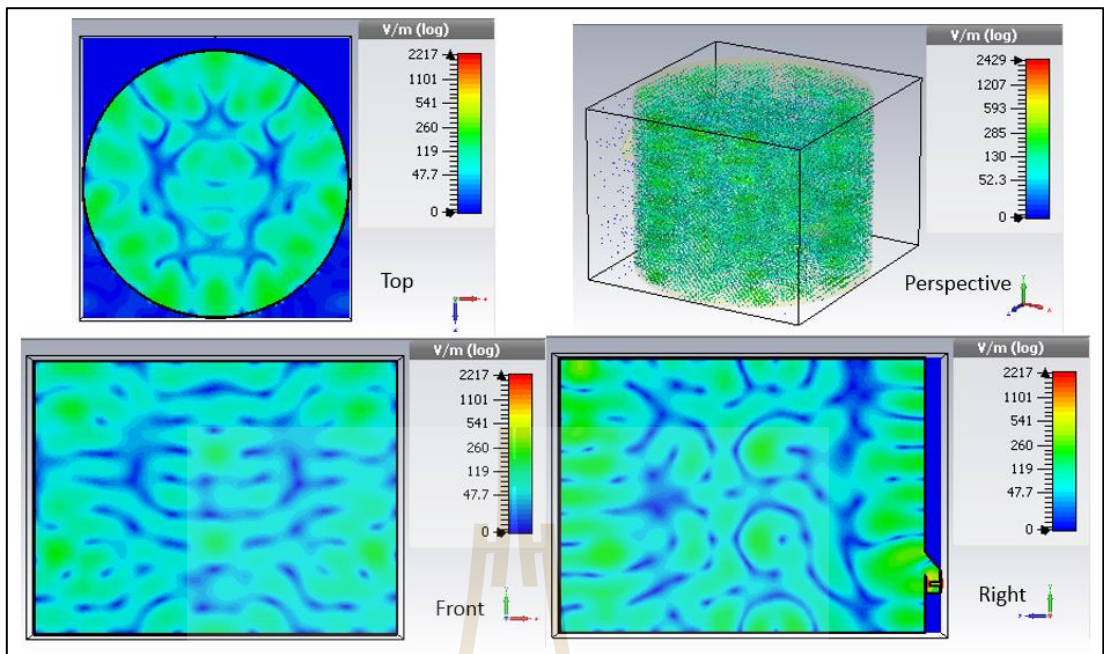
รูปที่ 3.10 ขนาดของฐานเครื่องอบ



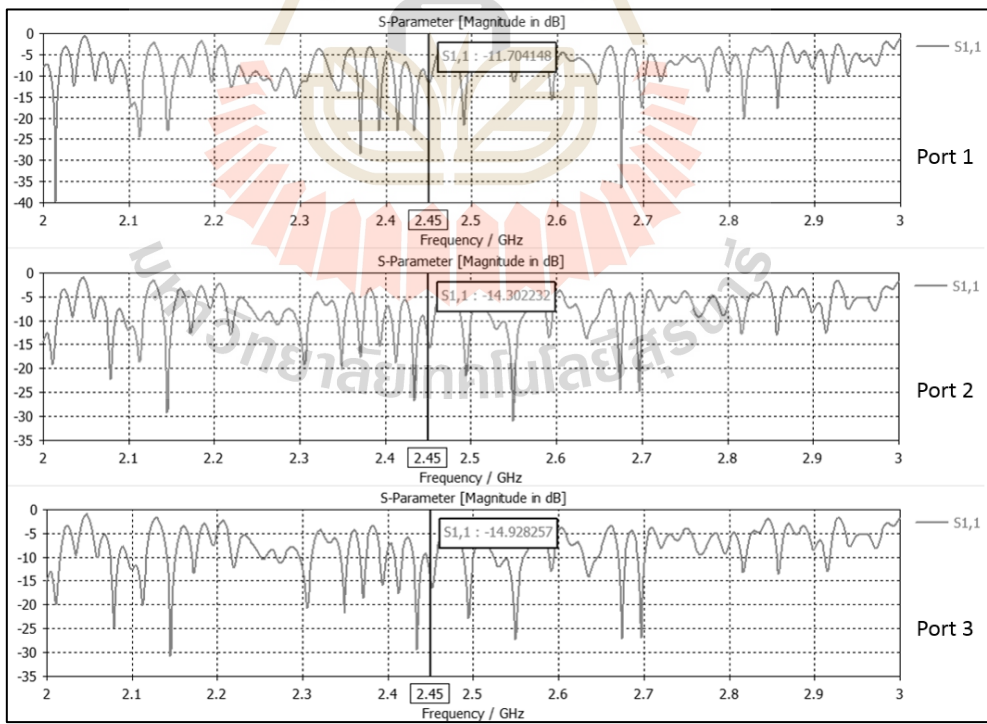
รูปที่ 3.11 เครื่องอบยางพาราที่สร้างขึ้น

3.3.4 การจำลองผลการแพร่กระจายคลื่นของเครื่อง

เมื่อทำการจำลองผลการส่งผ่านคลื่นความถี่ภายในเครื่องอบ โดยในเครื่องอบจะมีจุดบ่อนำพลังงานทั้งหมดสามจุด แต่ละจุดวางทำมุมกัน 120 องศา โดยอยู่คนละระดับความสูงกันไ้ระดับแบบสมมาตรกับความสูงของเครื่องอบ โดยในรูปที่ 3.12 แสดงลักษณะการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าภายในเครื่องอบ และรูปที่ 3.13 แสดงผลจำลองค่ากำลังงานสะท้อนกลับในแต่ละพอร์ตของเครื่องอบ



รูปที่ 3.12 ผลจำลองการแพร่กระจายสนามไฟฟ้าภายในเครื่อง

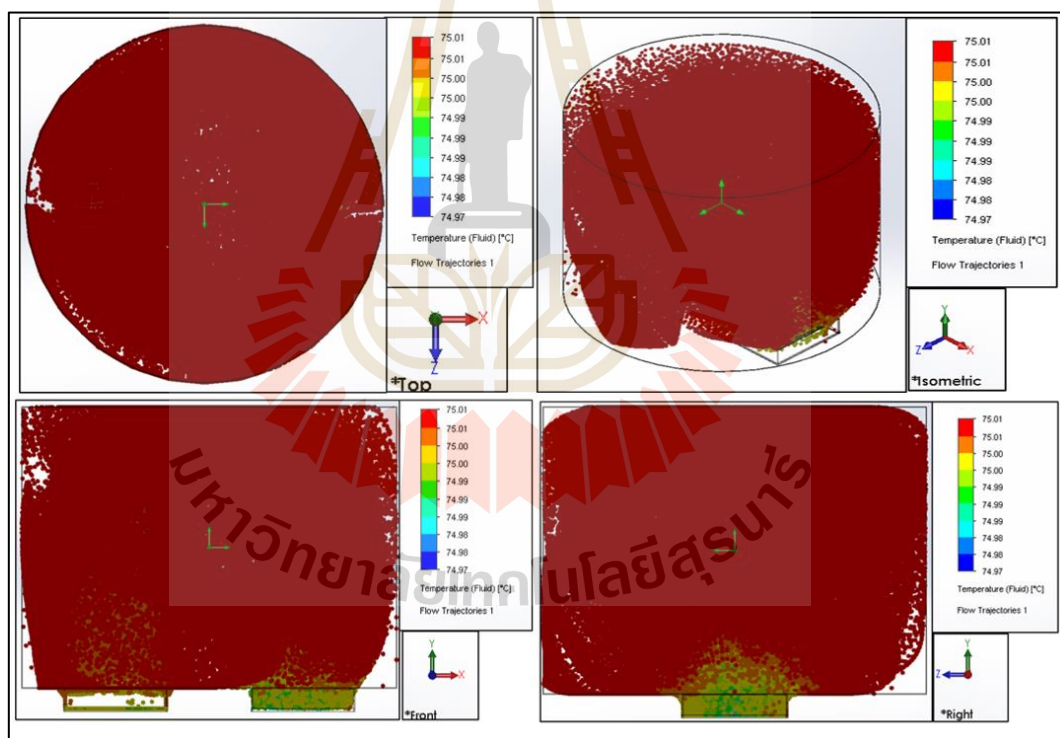


รูปที่ 3.13 ค่ากำลังงานสะท้อนกลับในแต่ละพอร์ต

จากรูปที่ 3.13 แสดงค่ากำลังงานสะท้อนกลับของแต่ละพอร์ต โดยพอร์ตที่ 1 พอร์ตที่ 2 และ พอร์ตที่ 3 จะมีค่ากำลังงานสะท้อนกลับที่ประมาณ -11.7 dB, -14.3 dB และ -14.9 dB ตามลำดับ

3.3.5 การจำลองผลการแพร่กระจายความร้อนภายในตู้อบ

เมื่อทำการออกแบบฐานของเครื่องอบที่ใช้สำหรับติดตั้งแหล่งกำเนิดความร้อนแล้ว จึงได้จำลองผลของการแพร่กระจายตัวของความร้อนภายในเครื่องอบโดยใช้โปรแกรม Solidworks Flow Simulation ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดอุณหภูมิของความร้อนมีค่าประมาณ 75 องศาเซลเซียส โดยในรูปที่ 3.14 แสดงผลการจำลองการแพร่กระจายความร้อนภายในเครื่องอบ จะเห็นได้ว่าการแพร่กระจายตัวของอากาศร้อนมีการแพร่กระจายตัวที่สม่ำเสมอทั่วทั้งหมุด ซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 75 องศาเซลเซียส

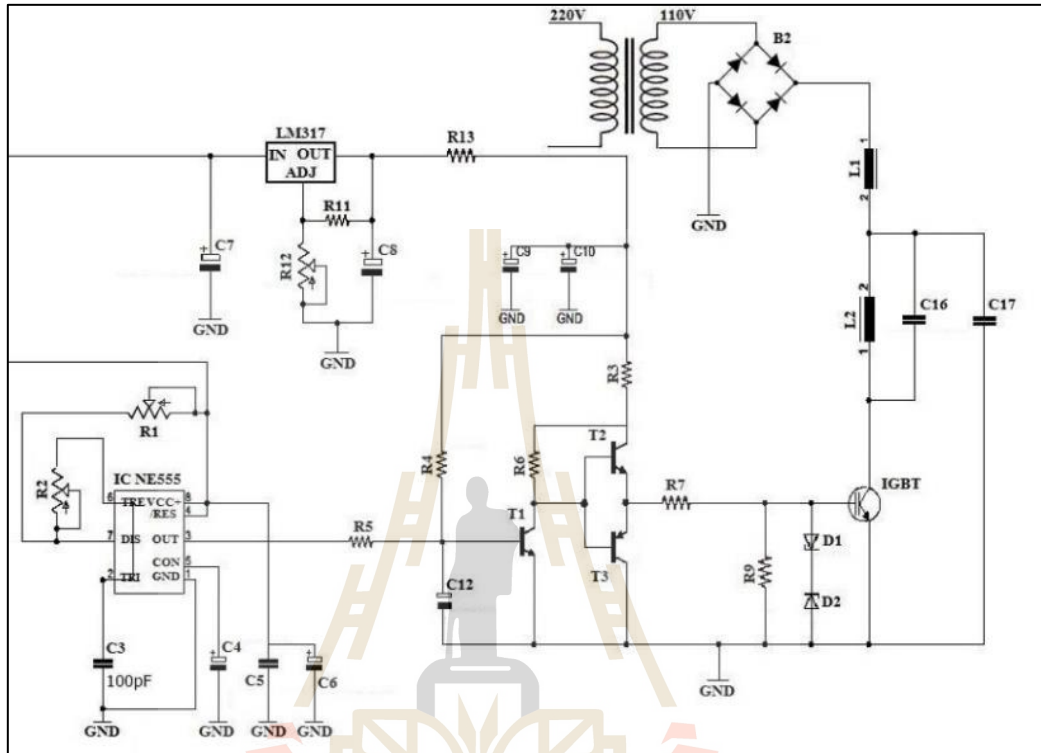


รูปที่ 3.14 ค่าอุณหภูมิของความร้อนที่กระจายตัวภายในเครื่องอบ (Flow Simulation)

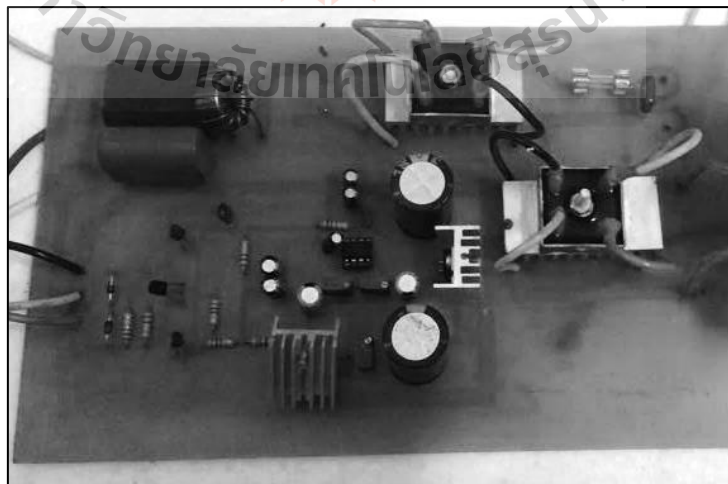
3.4 การออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน

การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำอาศัยหลักการเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้า โดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นโลหะเกิดจาก

การเสียดสี ของโมเลกุลเนื่องจากความต้านทานสนามแม่เหล็กของชั้นโลหะ และเกิดจากกระแสไฟฟ้า ไหลวนจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในชั้นโลหะ

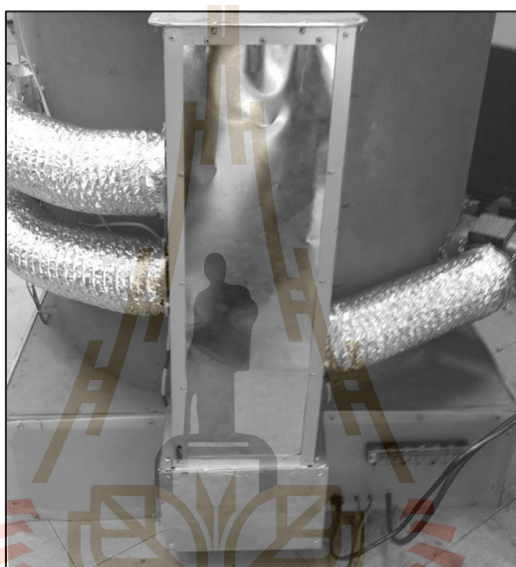


รูปที่ 3.15 วงจรเหนี่ยวนำความร้อน



รูปที่ 3.16 วงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่ใช้จริง

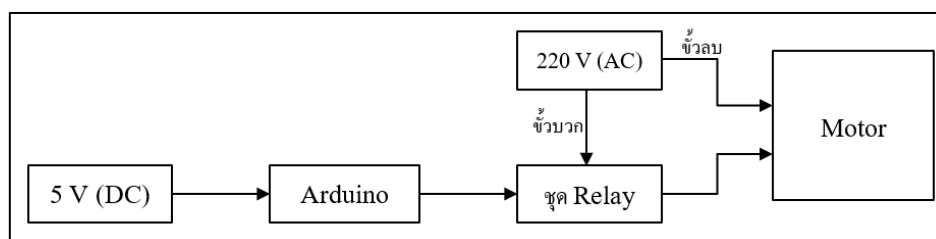
ในการเลือกใช้ลมร้อนเข้ามาช่วยในระบบเครื่องอบแห้งนั้นเป็นการนำความร้อนที่เกิดจากหลอดแมกนีตรอนสร้างขึ้นและบวกกับความร้อนจากขดลวดเหนี่ยวนำ มาใช้ประโยชน์โดยเปลี่ยนเป็นในรูปแบบของพลังงานลมร้อน เพื่อจะช่วยระบายความชื้นภายในตัวเครื่องอบ และเนื่องจากอากาศที่ได้จากความร้อนของหลอดแมกนีตรอนจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศปกติจึงทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเมื่อนำกลับเข้าไปในเครื่องอบจะทำให้ภายในเครื่องอบมีอากาศภายในเครื่องอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นและจะช่วยระบายความชื้นออกจากเครื่องอบได้



รูปที่ 3.17 ลักษณะของท่ออากาศร้อน

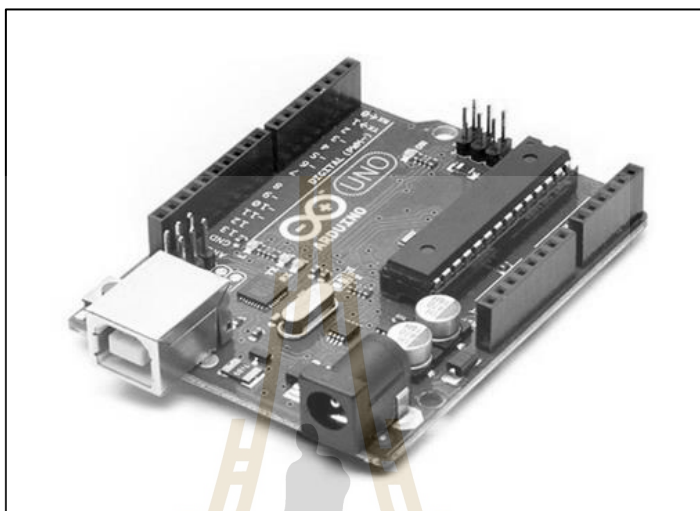
3.5 ระบบควบคุมการทำงานของเครื่อง

3.5.1 ส่วนควบคุมมอเตอร์



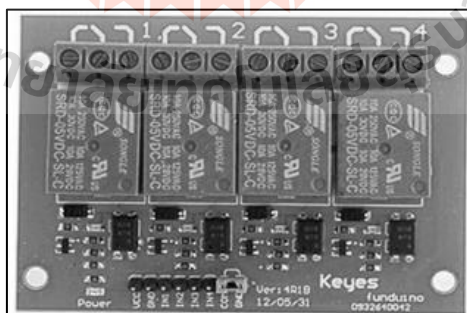
รูปที่ 3.18 แผนผังการควบคุมมอเตอร์

รูปที่ 3.18 คือ การเชื่อมต่อจุดต่างๆ ของอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์อีกชิ้นหนึ่ง โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ ต่อเข้ากับบอร์ด Arduino UNO R3 และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ต่อกับหม้อแปลงและบอร์ดชุด Module Relay



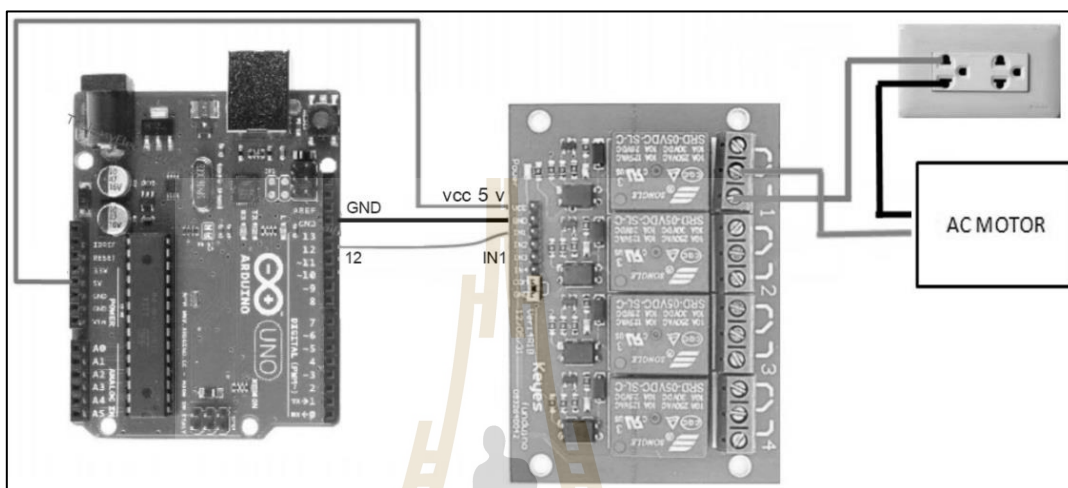
รูปที่ 3.19 บอร์ด Arduino UNO R3

จากรูปที่ 3.19 บอร์ด Arduino UNO R3 นั้นเป็นบอร์ดที่ใช้งานได้ง่ายและสะดวกหาซื้อได้ตามเว็บไซต์ทั่วไป ในการเขียนโปรแกรมจะเขียนด้วยภาษา C



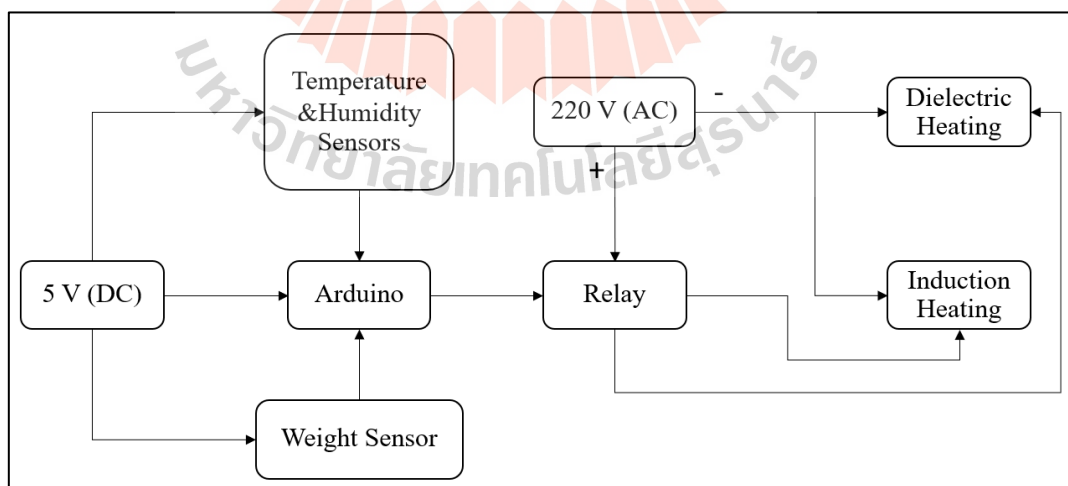
รูปที่ 3.20 Relay Module 4 Channels

Relay Module 4 Channels มีเอาต์พุตคอนเน็คเตอร์ที่ Relay เป็น NO/COM/NC สามารถใช้กับ โหลดได้ทั้งแรงดันไฟฟ้า DC และ AC โดยใช้สัญญาณในการควบคุมการทำงาน ด้วยสัญญาณ โลจิก TTL



รูปที่ 3.21 ชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์

3.5.2 ส่วนควบคุมระบบการให้ความร้อน



รูปที่ 3.22 ฟังแสดงการควบคุมระบบการให้ความร้อน

รูปที่ 3.22 แสดงผังการเชื่อมต่อของระบบการให้ความร้อน โดยมีส่วนของอินพุท เป็น อุณหภูมิ ความชื้น และน้ำหนัก เชื่อมต่อเข้ากับ Ardiono และมีส่วนของเอาพุทเชื่อมต่ออยู่กับ Relay

3.6 สรุป

หลังจากได้ผลการออกแบบและจำลองแบบแล้วได้ทำการนำไปสร้างจริง โดยตัวเครื่อง และฝาปิดได้ใช้แผ่นเหล็กที่มีความหนา 1 มิลลิเมตรประกอบขึ้นมา ส่วนท่อนำคลื่นได้ทำขึ้นมา จากแผ่นอลูมิเนียมที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร และชุดควบคุมที่ได้เลือกมาเป็น บอร์ด Arduino UNO R3 เพราะเป็นบอร์ดที่ได้รับความนิยมและใช้งานได้ง่าย และใช้ท่อคลุมร้อนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว เป็นตัวพาความร้อนเข้าเครื่องอบแห้ง และหลังจากการออกแบบทั้งหมดเสร็จสิ้น จึงจะทำการทดลองในบทต่อไป

บทที่ 4

การวัดและผลการทดลอง

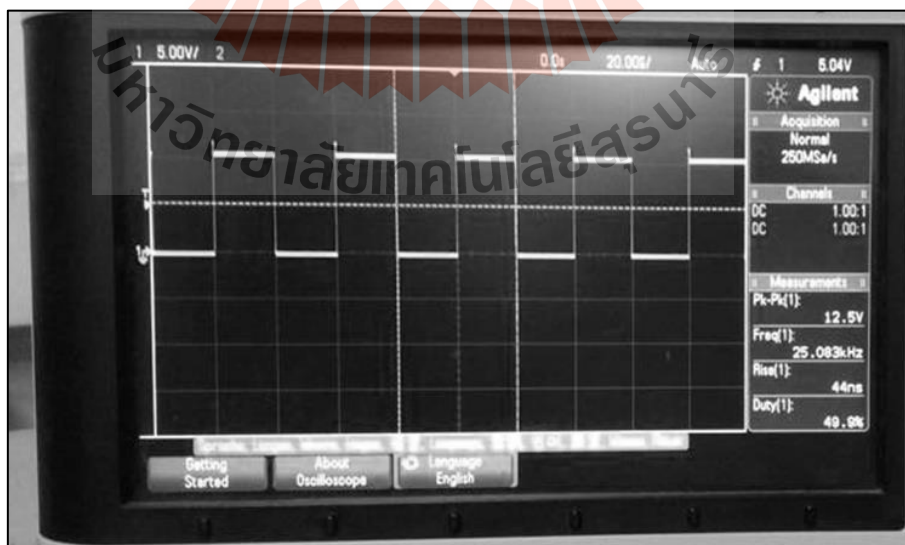
4.1 กล่าวนำ

จากบทที่ 3 ที่เป็นการออกแบบและแบบจำลองผลของเครื่องอบ และขนาดของท่อนำคลื่น เพื่อนำมาสร้างชิ้นจริงตามที่ออกแบบไว้แล้วดังแสดงในบทที่ 3 และในบทนี้จะกล่าวถึง การทดสอบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน อุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องอบ การตรวจสอบคุณภาพของยางพารา การทดสอบผลของการปรับกำลังงานของเครื่องอบ ประสิทธิภาพของเครื่องที่กำลังงานต่าง ๆ และการวิเคราะห์ผล

4.2 การทดสอบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน

จากเพื่อทดสอบสัญญาณในจุดต่างๆและอุณหภูมิหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์และทดสอบการทำงานของวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างขึ้นว่าสามารถเหนี่ยวนำให้แท่งเหล็กร้อนได้จริง

4.2.1 ทดลองวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก (ขา 3) ของไอซี (NE555)



รูปที่ 4.1 สัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก (ขา 3) ของไอซี (NE555)

วัดสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจาก (ขา 3) ของไอซี (NE555) ได้รูปสัญญาณเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 12.5 โวลต์ มีความถี่ 25.083 kHz และมี Duty cycle 49.9%

4.2.2 ทดลองวัดสัญญาณที่ขาเกตของ IGBT



รูปที่ 4.2 สัญญาณที่ขาเกตของ IGBT ขณะก่อนป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์

วัดสัญญาณที่ขาเกตของ IGBT ขณะก่อนป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ ได้รูปสัญญาณมีลักษณะเป็นพัลส์สี่เหลี่ยม แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 10.1 โวลต์ ความถี่ 25.25 kHz และ Duty cycle 39.0%

4.2.3 อุณหภูมิของอุปกรณ์เมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์



รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 5 นาที

จากรูปที่ 4.3 เมื่อทำการวัดอุณหภูมิของแท่งเหล็กตอนเริ่มต้นหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ให้กับวงจรด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที พบว่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 108.0 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 15 นาที

จากรูปที่ 4.4 เมื่อทำการวัดอุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ให้กับวงจร 15 นาที ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด พบว่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็น 252.2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.5 อุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 110 โวลต์ 30 นาที

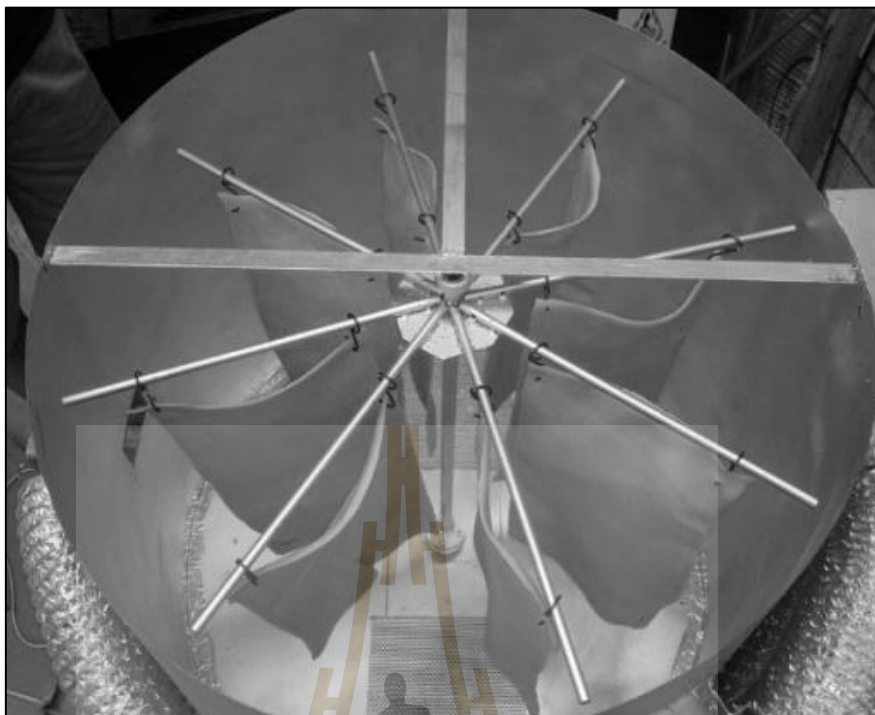
จากรูปที่ 4.5 เมื่อทำการวัดอุณหภูมิของแท่งเหล็กหลังป้อนแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับ 110 โวลต์ให้กัวงจร 30 นาที ด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด พบว่าอุณหภูมิของแท่งเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิม เป็น 353.9 องศาเซลเซียส

4.3 การตรวจสอบคุณภาพยางพารา (ยางแผ่นดิบคุณภาพดี)

- ยางแผ่นมีความสะอาด ไม่มีฟองอากาศ
- ความหนาของแผ่นยาง ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร
- ความชื้นในแผ่นไม่เกิน 3%
- เนื้อยางแห้งใส มีสีสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น หรืออาจมีสีคล้ำ หรือสีค่อนข้างทึบ โปรงแสง พอสมควร
- มีความยืดหยุ่นดีและมีลายดอกเห็นเด่นชัด
- น้ำหนักเฉลี่ยต่อแผ่น 1,000 - 1,200 กรัม
- แผ่นยางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 38 - 46 เซนติเมตร ความยาว 80 - 90 เซนติเมตร หรือรูปทรงของยางแผ่นเหมาะสำหรับนำเข้าโรงรมควัน

4.4 การทดลองอบแผ่นยางพารา

วัตถุประสงค์การทดลองเพื่อทดสอบผลของการอบไล่ความชื้นจากแผ่นยางพาราเมื่อทำการปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ใช้ในการอบ เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลกระทบของคลื่นความถี่สูงที่มีผลต่อแผ่นยางพาราโดยปรับกำลังงานคลื่นความถี่สูงที่ 500 W, 380 W, 280 W และ 200 W โดยในการทดลองได้มีการควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนที่ไหลเวียนในเครื่องให้อยู่ที่ประมาณ 75 องศาเซลเซียส ความเร็วลมอยู่ที่ 5 เมตรต่อวินาที และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้มีค่าประมาณ 70% ซึ่งมีส่วนของระบบควบคุมในการควบคุมค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งจะใช้คอนโทรลเลอร์ในการสั่งงานเพื่อรักษาระดับค่าของตัวแปรต่าง ๆ ให้อยู่ในระดับที่ต้องการแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 4.6 การแขวนแผ่นยางพาราเพื่อทำการอบ

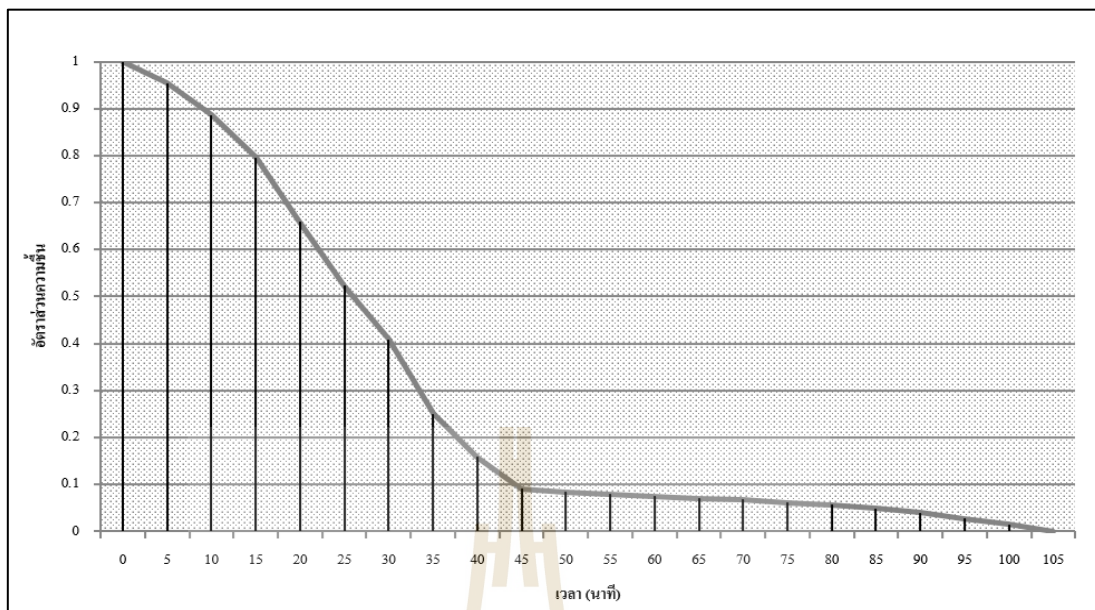
จากรูปที่ 4.6 เป็นลักษณะของชิ้นงานแผ่นยางพาราที่อยู่ในเครื่องอบ โดยแผ่นยางพาราจะมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ที่ประมาณ 45%Dry-basis และมีความชื้นสมดุลอยู่ที่ประมาณ 3%Dry-basis ซึ่งในการทดลองจะทำการปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงให้มีกำลังงานที่ 500 W, 380 W, 280 W และ 200 W ในการบันทึกผลจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาในการอบ ซึ่งอัตราส่วนความชื้นสามารถใช้ความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.1

4.4.1 ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 500 W

- ทำชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของแผ่นยางพาราทั้ง 8 แผ่น (12.18 กิโลกรัม)
- ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 45%Dry-basis
- คำนวณหาน้ำหนักแห้งตามสมการที่ 2.4 จะได้เท่ากับ 8.4 กิโลกรัม
- คำนวณหาค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราที่มีความชื้นอยู่ 3%Dry-basis
- ค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราเท่ากับ 8.652 กิโลกรัม

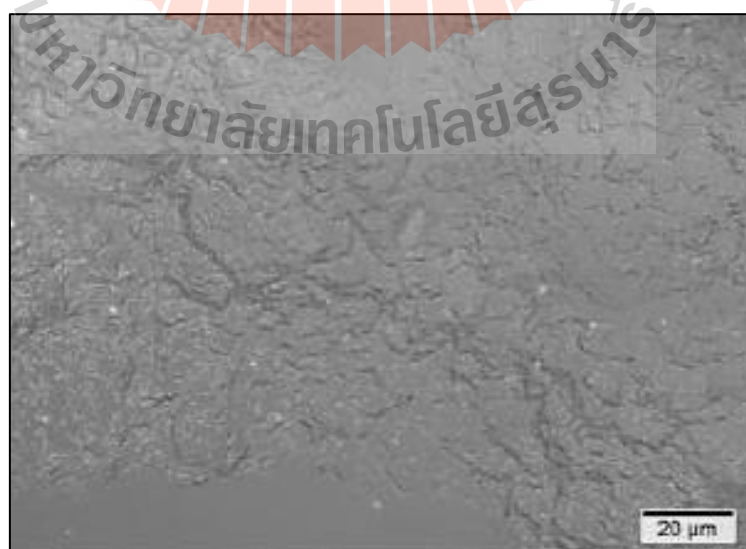
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองที่ กำลังงาน 500 W

เวลา (นาที)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
0	1	45	12.18
5	0.9545	43.089	12.01948
10	0.88636	40.22712	11.77908
15	0.79545	36.4089	11.45835
20	0.65909	30.68178	10.97727
25	0.52272	24.95424	10.49616
30	0.40909	20.18178	10.09527
35	0.25	13.5	9.534
40	0.15909	9.68178	9.21327
45	0.09091	6.81822	8.97273
50	0.08409	6.53178	8.94867
55	0.07955	6.3411	8.932652
60	0.075	6.15	8.9166
65	0.07045	5.9589	8.900548
70	0.06818	5.86356	8.892539
75	0.06136	5.57712	8.868478
80	0.05682	5.38644	8.852461
85	0.04862	5.04204	8.823531
90	0.03948	4.65816	8.791285
95	0.02741	4.15122	8.748702
100	0.0148	3.6216	8.704214
105	0	3	8.652



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 500 W

จากรูปที่ 4.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของเครื่องอบเมื่อทำการปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 500 W ซึ่งมีการใช้เวลาในการอบอยู่ที่ประมาณ 105 นาที หรือประมาณ 1.75 ชั่วโมง จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.2 อัตราการอบแห้งจะมีค่าประมาณ 2.016 kg/h และเมื่อนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างภายในโดยใช้กล้อง MFM แสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายชิ้นงานขางพาราที่ผ่านการอบที่กำลังงาน 500 W

หาประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงาน 500 W โดยคำนวณหาพลังงานที่ใช้จากสมการที่ 2.29 ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นเมื่อแทนค่าลงในสมการจะได้ค่าพลังงานที่ใช้ในช่วงเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 791.72 kJ จากนั้นคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจากสมการที่ 2.30 จะได้ค่าประมาณ 8,165 kJ ซึ่งเมื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดจากสมการที่ 2.31 จะได้กำลังงานรวมทั้งหมดประมาณ 8,956.72 kJ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการอบทั้งหมด 1.75 ชั่วโมงเมื่อแปลงพลังงานที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดจะได้กำลังงานทางไฟฟ้าซึ่งมีค่าประมาณ 1,421.7 W โดยที่กำลังงานรวมของเครื่องอบที่กำลังงานนี้มีค่าประมาณ 2,450 W ซึ่งเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้อยู่ที่ 58.03%

4.4.2 ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 380 W

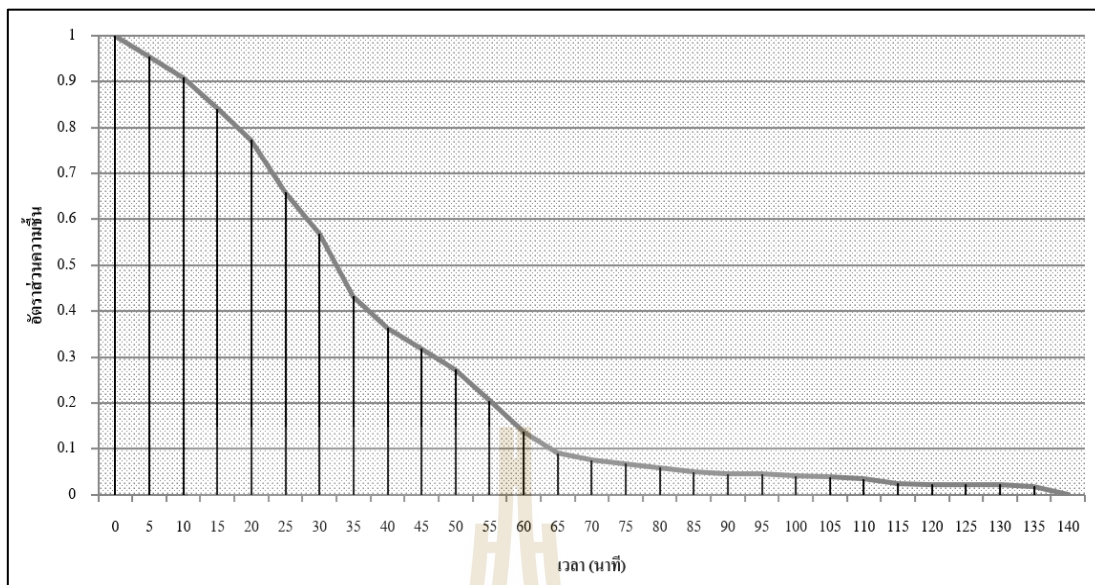
- ทำชั่งน้ำหนักเริ่มต้นของแผ่นยางพาราทั้ง 8 แผ่น (15.08 กิโลกรัม)
- ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 45% Dry-basis
- คำนวณหาน้ำหนักแห้งตามสมการที่ 2.4 จะได้เท่ากับ 10.4 กิโลกรัม
- คำนวณหาค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราที่มีความชื้นอยู่ 3% Dry-basis
- ค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราเท่ากับ 10.71 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่กำลังงาน 380 W

เวลา (นาที)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
0	1	45	15.08
5	0.9545	43.089	14.88126
10	0.9091	41.1822	14.68295
15	0.8409	38.3178	14.38505
20	0.7727	35.4534	14.08715
25	0.6591	30.6822	13.59095
30	0.5682	26.8644	13.1939
35	0.4318	21.1356	12.5981
40	0.3636	18.2712	12.3002
45	0.3182	16.3644	12.1019
50	0.2727	14.4534	11.90315
55	0.2045	11.589	11.60526

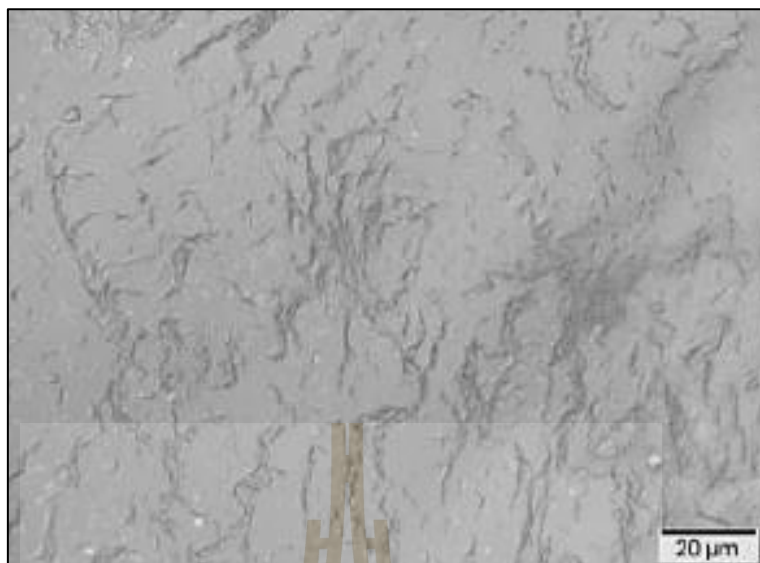
ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

เวลา (นาที)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
60	0.1364	8.7288	11.3078
65	0.0909	6.8178	11.10905
70	0.075	6.15	11.0396
75	0.0682	5.8644	11.0099
80	0.0591	5.4822	10.97015
85	0.05	5.1	10.9304
90	0.0455	4.911	10.91074
95	0.0455	4.911	10.91074
100	0.0409	4.7178	10.89065
105	0.0386	4.6212	10.8806
110	0.0341	4.4322	10.86095
115	0.025	4.05	10.8212
120	0.0227	3.9534	10.81115
125	0.0227	3.9534	10.81115
130	0.0227	3.9534	10.81115
135	0.0182	3.7644	10.7915
140	0	3	10.712



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 380 W

จากรูปที่ 4.9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของเครื่องอบ เมื่อทำการปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 380 W ซึ่งมีการใช้เวลาในการอบอยู่ที่ประมาณ 140 นาที หรือประมาณ 2.3333 ชั่วโมง จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.2 อัตราการอบแห้งจะมีค่าประมาณ 1.872 kg/h และเมื่อนำชิ้นงานไปตรวจสอบ โครงสร้างภายในโดยใช้กล้อง MFM แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่กำลังงาน 380 W

หาประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงาน 380 W โดยคำนวณหาพลังงานที่ใช้จากสมการที่ 2.29 ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นจะได้ค่าประมาณ 980.23 kJ จากนั้นคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจากสมการที่ 2.30 จะได้ค่าประมาณ 9,863.09 kJ ซึ่งเมื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดจากสมการที่ 2.31 จะได้กำลังงานรวมทั้งหมดประมาณ 10,843.32 kJ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการอบทั้งหมด 2.333 ชั่วโมงเมื่อแปลงพลังงานที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดจะได้กำลังงานทางไฟฟ้าซึ่งมีค่าประมาณ 1,291.06 W โดยที่กำลังงานรวมของเครื่องอบมีค่าประมาณ 2,198 W ซึ่งเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้อยู่ที่ 58.74%

4.4.3 ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 280 W

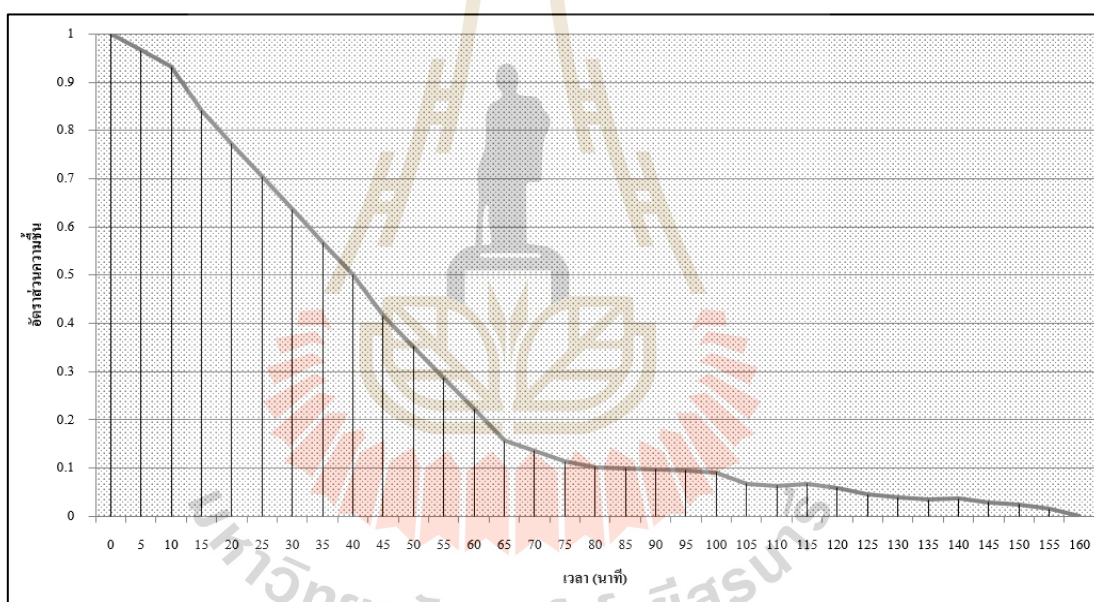
- ทำชิ้นน้ำหนักรีดเริ่มต้นของแผ่นยางพาราทั้ง 8 แผ่น (13.86 กิโลกรัม)
- ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 45% Dry-basis
- คำนวณหาน้ำหนักแห้งตามสมการที่ 2.4 จะได้เท่ากับ 9.56 กิโลกรัม
- คำนวณหาค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราที่มีความชื้นอยู่ 3% Dry-basis
- ค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราเท่ากับ 9.85 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่ กำลังงาน 280 W

เวลา (นาท)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
0	1	45	13.862
5	0.96591	43.56822	13.72512
10	0.93182	42.13644	13.58824
15	0.84091	38.31822	13.22322
20	0.77273	35.45466	12.94947
25	0.70455	32.5911	12.67571
30	0.63636	29.72712	12.40191
35	0.56818	26.86356	12.12816
40	0.5	24	11.8544
45	0.41591	20.46822	11.51676
50	0.35227	17.79534	11.26123
55	0.28636	15.02712	10.99659
60	0.22273	12.35466	10.74111
65	0.15682	9.58644	10.47646
70	0.13636	8.72712	10.39431
75	0.11364	7.77288	10.30309
80	0.10227	7.29534	10.25743
85	0.1	7.2	10.24832
90	0.09773	7.10466	10.23921
95	0.09545	7.0089	10.23005
100	0.09091	6.81822	10.21182
105	0.06818	5.86356	10.12056
110	0.06364	5.67288	10.10233
115	0.06818	5.86356	10.12056
120	0.05909	5.48178	10.08406
125	0.04545	4.9089	10.02929
130	0.03864	4.62288	10.00195

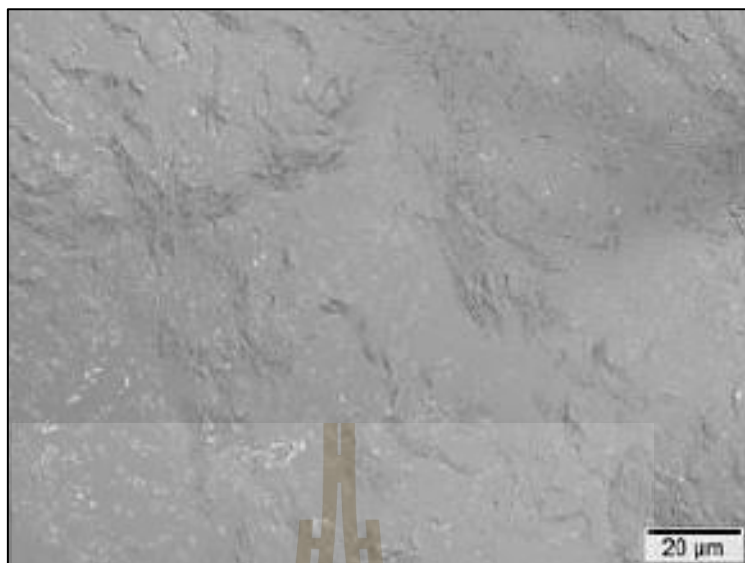
ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

เวลา (นาทื)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
135	0.03409	4.43178	9.983678
140	0.03636	4.52712	9.992793
145	0.02859	4.20078	9.961595
150	0.025	4.05	9.94718
155	0.0148	3.6216	9.56
160	0	3	9.8468



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่กำลังงาน 280 W

จากรูปที่ 4.11 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของเครื่องอบเมื่อทำการปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 280 W ซึ่งมีการใช้เวลาในการอบอยู่ที่ประมาณ 160 นาที หรือประมาณ 2.67 ชั่วโมง จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.2 อัตราการอบแห้งจะมีค่าประมาณ 1.506 kg/h และเมื่อนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างภายในโดยใช้กล้อง MFM แสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่กำลังงาน 280 W

หาประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงาน 280 W โดยคำนวณหาพลังงานที่ใช้จากสมการที่ 2.29 ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นจะได้ค่าประมาณ 900.64 kJ จากนั้นคำนวณหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจากสมการที่ 2.30 จะได้ค่าประมาณ 9,050.57 kJ ซึ่งเมื่อคำนวณหาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดจากสมการที่ 2.31 จะได้กำลังงานรวมทั้งหมดประมาณ 9,951.21 kJ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการอบทั้งหมด 2.67 ชั่วโมงเมื่อแปลงพลังงานที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดจะได้กำลังงานทางไฟฟ้าซึ่งมีค่าประมาณ 1,035.29 W โดยที่กำลังงานรวมของเครื่องอบมีค่าประมาณ 1,988 W ซึ่งเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้อยู่ที่ 52.08%

4.4.4 ปรับค่ากำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 200W

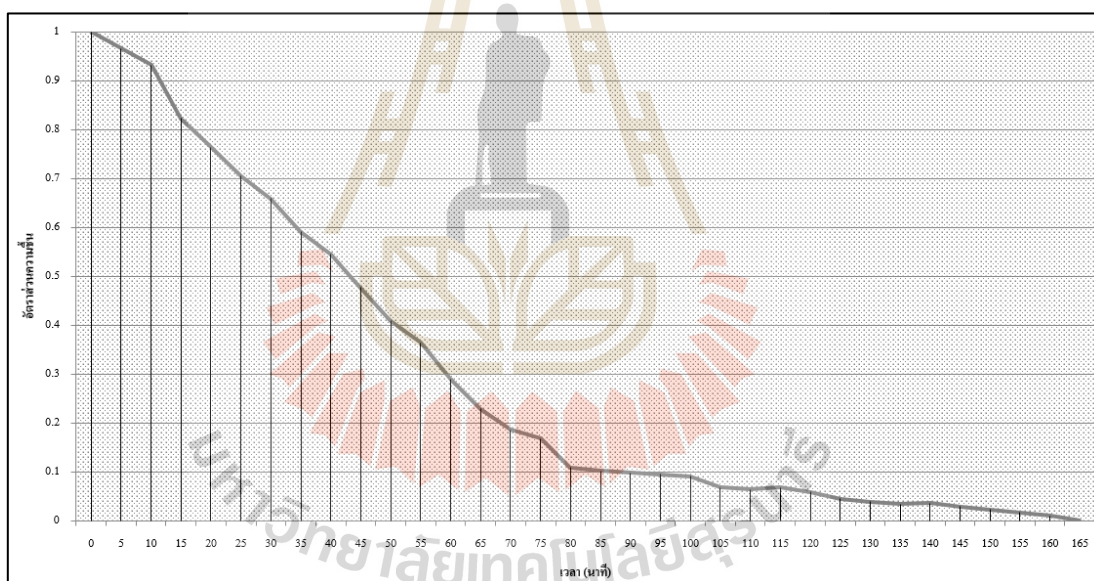
- ทำชิ้นน้ำหนักรีดเริ่มต้นของแผ่นยางพาราทั้ง 8 แผ่น (13.92 กิโลกรัม)
- ความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 45% Dry-basis
- คำนวณหาน้ำหนักแห้งตามสมการที่ 2.4 จะได้เท่ากับ 9.6 กิโลกรัม
- คำนวณหาค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราที่มีความชื้นอยู่ 3% Dry-basis
- ค่าน้ำหนักสุดท้ายของยางพาราเท่ากับ 9.89 กิโลกรัม

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ กำลังงาน 200 W

เวลา (นาท)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
0	1	45	13.92
5	0.96591	43.56822	13.78255
10	0.93182	42.13644	13.6451
15	0.82273	37.55466	13.20525
20	0.76364	35.07288	12.967
25	0.70455	32.5911	12.72875
30	0.65909	30.68178	12.54545
35	0.59091	27.81822	12.27055
40	0.54545	25.9089	12.08725
45	0.47727	23.04534	11.81235
50	0.40909	20.18178	11.53745
55	0.36364	18.27288	11.3542
60	0.28864	15.12288	11.0518
65	0.22955	12.6411	10.81355
70	0.18636	10.82712	10.6394
75	0.16818	10.06356	10.5661
80	0.10909	7.58178	10.32785
85	0.10227	7.29534	10.30035
90	0.09773	7.10466	10.28205
95	0.09545	7.0089	10.27285
100	0.09091	6.81822	10.25455
105	0.06818	5.86356	10.1629
110	0.06364	5.67288	10.1446
115	0.06818	5.86356	10.1629
120	0.05909	5.48178	10.12625
125	0.04545	4.9089	10.07125
130	0.03864	4.62288	10.0438

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองที่ กำลังงาน 200 W

เวลา (นาท)	อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio)	ความชื้นของชิ้นงาน (%Dry-basis)	น้ำหนักของชิ้นงาน (กิโลกรัม)
135	0.03409	4.43178	10.02545
140	0.03636	4.52712	10.0346
145	0.02955	4.2411	10.00715
150	0.02273	3.95466	9.979647
155	0.01682	3.70644	9.955818
160	0.00987	3.41454	9.927796
165	0	3	9.888



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาที่ กำลังงาน 200 W

จากรูปที่ 4.13 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับเวลาของเครื่องอบเมื่อทำการปรับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงที่ 200 W ซึ่งมีการใช้เวลาในการอบอยู่ที่ประมาณ 165 นาที หรือประมาณ 2.75 ชั่วโมง จากความสัมพันธ์ในสมการที่ 2.2 อัตราการอบแห้งจะมีค่าประมาณ 1.466 kg/h และเมื่อนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างภายในโดยใช้กล้อง MFM แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายชิ้นงานยางพาราที่ผ่านการอบที่กําลังงาน 200 W

หาประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กําลังงาน 200 W โดยคํานวณหาพลังงานที่ใช้จากสมการที่ 2.29 ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิในช่วงเริ่มต้นจะได้ค่าประมาณ 904.83 kJ จากนั้นคํานวณหาพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำจากสมการที่ 2.30 จะได้ค่าประมาณ 9,095.71 kJ ซึ่งเมื่อกํานวณหาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดจากสมการที่ 2.31 จะได้กําลังงานรวมทั้งหมดประมาณ 10,000.54 kJ โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการอบทั้งหมด 2.75 ชั่วโมงเมื่อแปลงพลังงานที่ได้ต่อเวลาที่ใช้ไปทั้งหมดจะได้กําลังงานทางไฟฟ้าซึ่งมีค่าประมาณ 1,010.16 W โดยที่กําลังงานรวมของเครื่องอบมีค่าประมาณ 1,820 W ซึ่งเมื่อคิดเป็นประสิทธิภาพจะได้อยู่ที่ 55.50%

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองได้มีการปรับกําลังงานของการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกโดยทำการปรับกําลังงานอินพุตของหลอดแมกนีตรอนซึ่งได้ทำการปรับที่กําลังงาน 500 W, 380 W, 280 W และ 200 W ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ในแต่ละกําลังงานที่ใช้ได้แสดงด้วยกราฟของอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปในระยะเวลาที่ใช้ในการอบ จากนั้นได้ถ่ายภาพชิ้นงานเพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการให้ความร้อน โดยใช้กล้อง Motorized Fluorescence Microscope (NIKON Ni-E) ของชิ้นงานจากการทดลองในกําลังงานต่าง ๆ และมีการคํานวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กําลังงานต่าง ๆ ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสามเรื่องได้แก่ การวิเคราะห์กราฟอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบที่กําลังงานต่าง ๆ ถัดมาจะวิเคราะห์ใน

ส่วนของผลกระทบต่อชิ้นงานจากการอบที่กำลังงานต่าง ๆ และสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงานต่าง ๆ

4.5.1 การวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความชื้นต่อเวลา

จากผลการทดลองที่กำลังงานต่าง ๆ ตามกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นกับระยะเวลาที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.14, 4.16 และ 4.18 ซึ่งเป็นผลการทดลองที่กำลังงาน 500W, 380W, 280W และ 200W ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์จะเห็นว่าอัตราส่วนความชื้นเริ่มต้นที่ระยะเวลาเริ่มต้นจะมีค่าสูงสุด $MR = 1$ จากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปจนค่า $MR = 0$ ซึ่งในแต่ละการทดลองเมื่อค่ากำลังงานที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงจะส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบน้อยกว่ากำลังงานต่ำ

4.5.2 การวิเคราะห์ผลกระทบต่อชิ้นงานจากการอบที่กำลังงานต่าง ๆ

หลังงานทดลองอบชิ้นงานที่กำลังงานต่าง ๆ เสร็จแล้วได้นำชิ้นงานที่ผ่านการอบไปวัดความชื้นไปตรวจสอบคุณภาพโดยถ่ายภาพจุลทรรศน์โดยใช้กล้อง Motorized Fluorescence Microscope (NIKON Ni-E) จากภาพถ่ายโครงสร้างของชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 4.13, 4.15, 4.17 และ 4.19 ซึ่งเป็นภาพถ่ายชิ้นงานจากการทดลองที่กำลังงาน 500W, 380W, 280W และ 200W ตามลำดับ โดยจะเห็นว่า การทดลองอบที่กำลังงานสูงจะส่งผลให้พื้นผิวของชิ้นงานมีความขรุขระมากกว่าการทดลองอบที่กำลังงานต่ำ

4.5.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องอบที่กำลังงานต่าง ๆ

หลังจากทดลองอบได้ความชื้นจากแผ่นยางพาราที่กำลังงานต่าง ๆ แล้วในการวิเคราะห์ระบบอบได้ความชื้นจากชิ้นงานสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้คือการคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพของการอบได้ความชื้นที่การทดลองที่กำลังงานต่าง ๆ ซึ่งจากการคำนวณค่าประสิทธิภาพที่กำลังงานต่าง ๆ นั้นจะเห็นว่าที่การทดลองอบได้ความชื้นที่กำลังงาน 380W จะให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงสุดอยู่ที่ 58.74% รองลงมาจะเป็นการอบได้ความชื้นที่กำลังงาน 500W ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพอยู่ที่ 58.03% ถัดมาจะเป็นของการอบได้ความชื้นที่กำลังงาน 200W ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 55.50% และลำดับสุดท้ายจะเป็นของการอบได้ความชื้นที่กำลังงาน 280W ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพที่ 52.08%

ดังนั้นจากการผลการทดลองที่ได้และเมื่อทำการวิเคราะห์ผลที่ได้ในส่วนของกำลังงานที่เปลี่ยนไป ระยะเวลาที่ใช้ ผลกระทบต่อชิ้นงาน รวมไปถึงประสิทธิภาพของระบบที่กำลังงานต่าง ๆ จะเห็นได้ว่า หากดูระยะเวลาจะเห็นว่าที่กำลังงานสูงจะใช้เวลาน้อยกว่า หากดูผลกระทบต่อชิ้นงานจะเห็นว่าที่กำลังงานต่ำจะให้ผลที่ดีกว่า และหากพิจารณาดูที่ประสิทธิภาพของระบบซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความคุ้มค่าก็จะเป็นที่กำลังงาน 380W จะให้ความคุ้มค่าที่มากกว่า

4.6 สรุป

จากการทดลองทำให้ทราบผลที่เป็นไปตามความคาดหวังซึ่งในการทดลองเครื่องอบไล่ความชื้นแผ่นยางพาราด้วยคลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อน โดยการปรับกำลังไฟฟ้าของวิธีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริก จะเห็นได้ว่าถ้าใช้กำลังไฟฟ้าสูงๆจะใช้ระยะเวลาในการอบไล่ความชื้นที่น้อยกว่าที่การอบที่กำลังงานต่ำ ซึ่งส่งผลกระทบต่อยางพาราโดยที่ค่ากำลังงานสูงจะส่งผลเสียต่อยางพารามากกว่าที่ค่ากำลังงานที่ต่ำกว่า และเมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพของการอบไล่ความชื้นที่กำลังงานต่าง ๆ จะเห็นว่าที่กำลังงาน 380 W จะได้ค่าประสิทธิภาพของระบบที่สูงสุดที่ 58.74%



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของการวิจัย

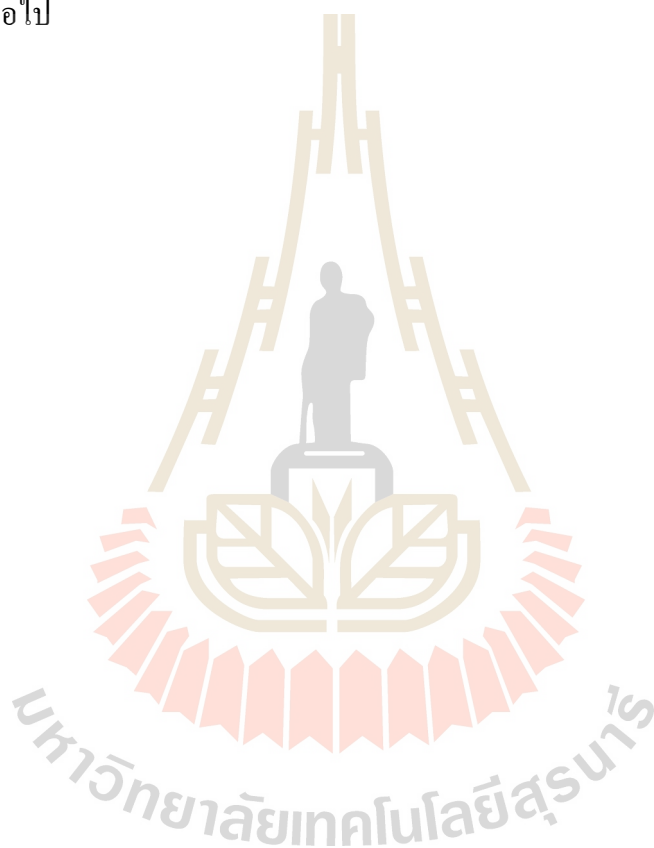
งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอระบบบดไล่ความชื้น เพื่อประยุกต์ใช้ในการอบแห้งยางพารา โดยใช้คลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้แก่ระบบ ซึ่งการให้ความร้อนด้วยคลื่นความถี่สูงนั้นสามารถให้ความร้อนเข้าไปถึงภายในเนื้อของชิ้นงานได้โดยคลื่นที่ใช้มีความถี่ 2.45 GHz ส่วนการให้ความร้อนด้วยลมร้อนนั้นจะทำให้สภาพแวดล้อมในเครื่องมีอุณหภูมิที่เอื้อต่อการคายความชื้นออกมาซึ่งควบคุมความร้อนที่ประมาณ 75 องศาเซลเซียส โดยมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของอากาศในเครื่องอบ ซึ่งการใช้แหล่งพลังงานความร้อนทั้งสองรูปแบบนี้ร่วมกันจะช่วยให้การอบนั้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการทดลองได้มีการปรับระดับกำลังงานของคลื่นความถี่สูงเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของคลื่นความถี่ที่มีผลต่อชิ้นงานยางพารา ในการออกแบบส่วนของตัวปล่อยคลื่นความถี่และการจำลองผลของการแพร่กระจายคลื่นความถี่ได้ใช้โปรแกรม CST EM STUDIO ทำการออกแบบและวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการทดลองนั้นเห็นได้ว่ากำลังงานที่ใช้ในการอบแห้งนั้นส่งผลต่อโครงสร้างของชิ้นงานยางพาราซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการอบแห้งด้วยและเวลาในการอบ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

สำหรับปัญหาที่พบในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์คือ การวัดค่าอุณหภูมิความชื้นของระบบ ซึ่งมีคลื่นความถี่สูงรบกวน ปัญหาถัดมาคือการระบายความชื้นออกจากเครื่องอบกรณีที่มีความชื้นเกินจากที่กำหนดไว้จะต้องระบายความชื้นออกโดยการเปิดพัดลมที่ฝาของเครื่อง ซึ่งทำให้สูญเสียความร้อนไปบางส่วนส่งผลต่อสภาพแวดล้อมในเครื่องอบทำให้ผลที่ได้มาอาจจะมี ความคลาดเคลื่อนได้ นอกจากนี้อาจจะมีปัญหาด้านเครื่องมือวัดที่มีข้อจำกัด ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความผิดพลาดระหว่างการคำนวณทางทฤษฎีและผลการทดลองได้

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

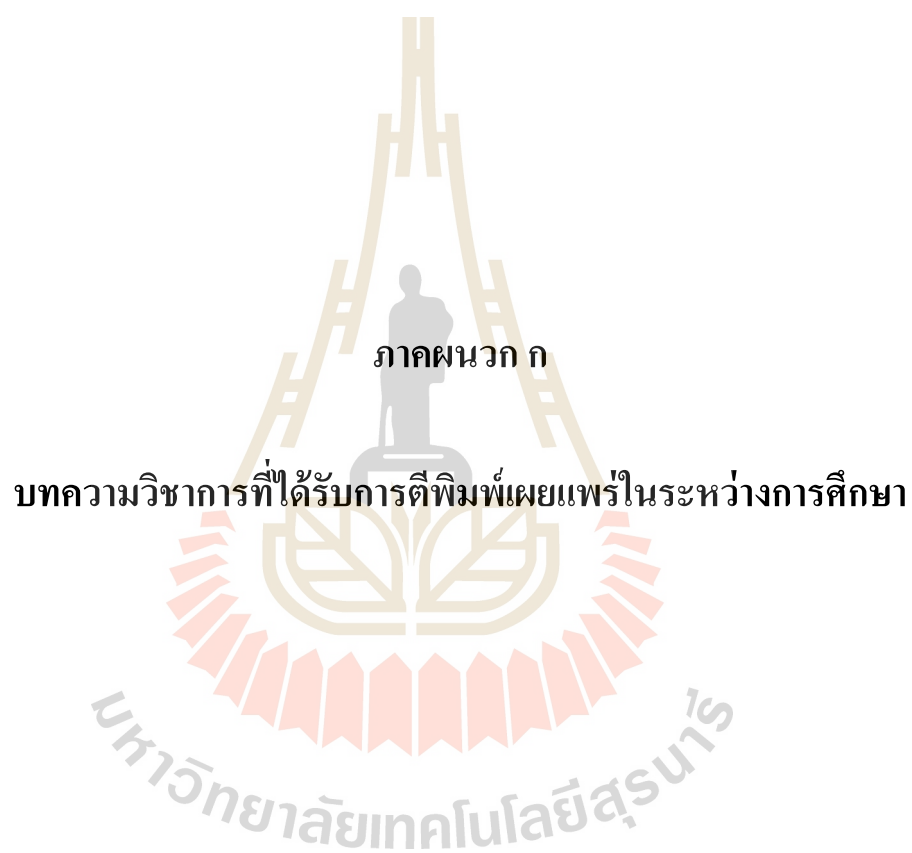
จากงานวิจัยที่ผ่านมาการไล่ความชื้นจากแผ่นยางพารานั้นมีหลายวิธีการซึ่งมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกันไป แต่ในการใช้คลื่นความถี่สูงร่วมกับลมร้อนเป็นวิธีการที่ใช้เวลาน้อยในการอบ แต่ยังมีสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในแง่ของคุณภาพของชิ้นงานซึ่งในการใช้คลื่นความถี่สูงนั้นจะเป็นการส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังชิ้นงานแล้วก่อให้เกิดความร้อนขึ้นกับตัวของชิ้นงานนั้น ๆ ซึ่งในชิ้นงานของยางพารานั้นอาจมีผลต่อคุณภาพ ก่อให้เกิดฟองอากาศขึ้นภายในชิ้นงานได้ ดังนั้นการใช้วิธีการนี้ยังต้องปรับปรุงกำลังงานของการให้ความร้อนให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในการอบชิ้นงานต่าง ๆ ต่อไป



รายการอ้างอิง

- Suchonpanit, W., et al., Experimental study of the effects of different drying methods on the kinetics and quality of air-dried sheet (ADS) rubber, IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering. 2011.
- Myungsik, K. and Kwangsoo, K. Development of a compact cylindrical reaction cavity for a microwave dielectric heating system, Review of Scientific Instruments, vol. 83 pp.1. 2012.
- Mei, C., Yong-Zhou, W., Guang, L., and Xiao-Ping, W., Effects of different drying methods on the microstructure and thermal oxidative aging resistance of natural rubber, J. of Applied Polymer Science, vol. 6, no. 126, pp. 1808-1813, 2012.
- Rattanadecho, P., Suwannapum, N., Watanasungsuit, A., Duanduen, A., Drying of Dielectric Materials Using a continuous Microwave Belt Drier (Case Study: Ceramics and Natural Rubber), J. of Manufacturing Science and Engineering vol. 1, no. 129, pp. 157-163, 2006.
- Tirawanichakul, S.; Sanai, S.; Sangwichien, C.; Tirawanichakul, Y., Parameters for the analysis of natural rubber drying. Songklanakarin Journal of Science and Technology 2007, 29(2), 335–346.
- Sae-Khow, A., Tirawanichakul, S. and Tirawanichakul Y., Effect of Drying with Heat Convection and Heat Radiation on Drying Kinetics and Quality Aspect of Black Pepper, Burapha Sci. Vol. 17, pp.166-180, 2012
- Bala, B.K., Drying and Storage of Cereal Grains, Science Publishers, U.S. (1 Aug. 1997)
- Tirawanichakul, S., Prachayawarakorn, S., Varayanond, W., Tungtrakul, P. and Soponraonnarit, S., Effect of Fluidized Bed Drying Temperature on Various Quality Attributes of Paddy, Drying Technology, Vol. 22, No. 7, pp. 1731-1754, December 2004.
- 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.

- 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.
- Ahmed, N.A., (2011). High-Frequency Soft-Switching AC Conversion Circuit With Dual-Mode PWM/PDM Control Strategy for High-Power IH Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 58: 1440 - 1448.z
- ASAE standard, "Moisture Measurement", 29th ed., St. Joseph, Miami, USA, 1982.
- Nelson, S. O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the ASAE*, 39, pp. 1475–1484, 1996.
- Kaya, A.; Aydin, O.; Dincer, I. Numerical modeling of heat and mass transfer during forced convection drying of rectangular moist objects. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2006, 49(17–18), 3094–3103.
- Kaya, A.; Aydin, O.; Dincer, I. Heat and mass transfer modeling of recirculating flows during air drying of moist objects for various dryer configurations. *International Journal of Computation and Methodology* 2007, 53, 18–34.
- Kaya, A.; Aydin, O.; Dincer, I. Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits. *Journal of Food Engineering* 2008, 88(3), 323–330.
- Cengel, Y.A.; Ghajar, A.J. *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications*; McGraw-Hill: New York, 2011.
- Linfeng Chen & Vijay K. Varadan (2004). *Microwave electronics: measurement and materials characterization*, John Wiley and Sons.
- B.R. Bekkulov, R.U. Aliyev, M.T. Khalilov, Y.T. Mamirov, Z.X. Jalolova. Experimental research for paddy and rice. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology* Vol. 5, Issue 7, July 2018

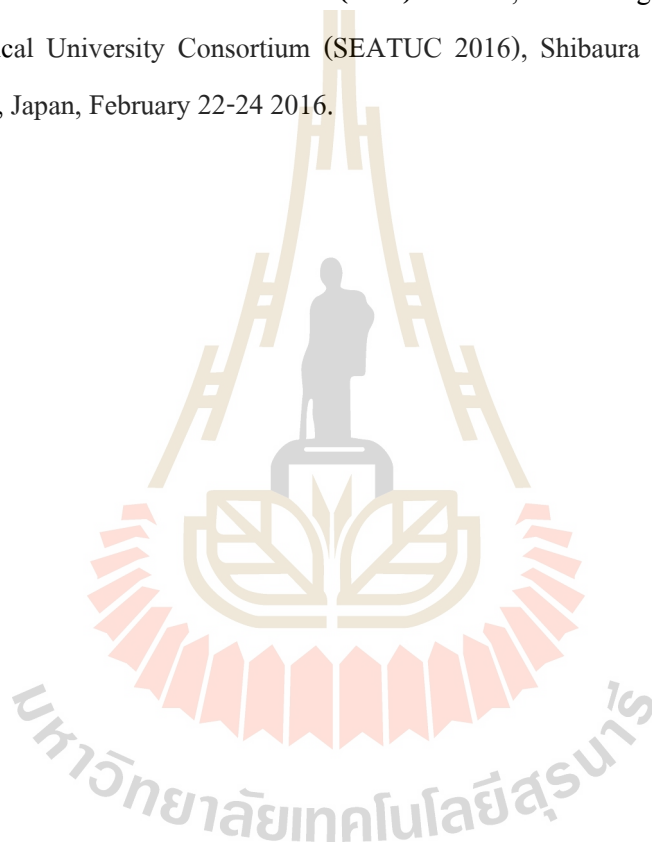


ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Kompisit Krajaipote, Worawut Boonpeang, Chanon Srisuma, Poramin Kuntayom, Supawat Kochapradit, Thanaset Thosdeekaraphat, Sanran Santalunai and Chanchai Thongsopa **Study and Analysis of the Difference Microwave Drying Power Effects on the Microstructure of Air-Dried Sheet (ADS) Rubber**, Proceedings of 10th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2016), Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan, February 22-24 2016.



STUDY AND ANALYSIS OF THE DIFFERENT MICROWAVE DRYING POWER EFFECTS ON THE MICROSTRUCTURE OF AIR DRIED SHEET (ADS) RUBBER

Kompisit Krajaipote, Worawut Boonpeang, Chanon Srisuma, Poramin Kuntayom, Supawat Kochapradit, Thanaset Thosdeekoraphat, Samran Santalunai, and Chanchai Thongsopa
School of Electronics Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand
m5740963@g.sut.ac.th

ABSTRACT

The aim of this research was to study and analysis of the different microwave drying power effects on the microstructure of air dried sheet (ADS) rubber. Based on the comparative study and analyze the result from different microwave power with initial moisture content ranging of 25-40% dry-basis, ADS rubber temperature of 40-100°C and final moisture content of 0.5% drying-basis, the result showed that microwave drying power about the temperature less than 40°C will not damage to the microstructure of ADS rubber, and then take a picture of different microwave power on the microstructure from motorized fluorescence microscope (MFM) that we found it can be used effectively without affect to the microstructure.

(IR) drying and hot air (HA) drying. They found that the ADS rubber was dried by GH-NC drying longer period than those of OS-NC drying, GH drying, HA drying and IR drying, respectively. The result showed that quality of samples was acceptable in market level. In research of (P. Rattanadecho et al, 2006) reported the study drying of dielectric materials by a continuous microwave belt drier has been investigated experimentally, it focuses on the investigation of drying phenomena under microwave environment. They found that using the continuous microwave applicators technique has effectively than the conventional method such as shorter processing times, the dissipation of energy throughout a product and high energy efficiency compared with other process. However, in research of (C. Mei et al, 2012) reported the effects of different drying methods on the microstructure of natural rubber. They found that the microwave drying damage to the microstructure of natural rubber. From the mentioned above, the reported of different drying methods we found that the microwave drying technology as one of the most interesting.

1. INTRODUCTION

Rubber is an important crop in Thailand because the rubber exports ranked one of the world. The information from office of agricultural economics we found that natural rubber was roughly harvested about of 15.13 million raises and raw production of rubber sheet was about of 3.78 million tons. In the current, the products that come from natural rubber has a greater role in daily life such as the medical, the vehicle, the automobile spare parts, basic health and use as a raw material source in product of food and chemical industry. From the mentioned above, need to latex processing first such as ribbed smoke sheet (RSS), air dried sheet (ADS) rubber, block rubber, crepe rubber and concentrated latex, etc.

Beside, (W. Suchonpanit et al, 2011) reported the study effect drying conditions on kinetics and quality of ADS rubber, the comparative of five different strategies were carried on by green house drying (GH), green house and natural convention (GH-NC) drying, open sun and natural convention (OS-NC) drying, infrared radiation

This paper presents a study and analysis of the different microwave drying power effects on the microstructure of ADS rubber. Base on the comparative study and analyze the result from different microwave power to find a suitable power, which does not damage to the microstructure of the ADS rubber and can use this method to be applied in the combination with the other methods to increase the efficiency of drying technology in the future.

2. EXPERIMENT

2.1 Materials

2.1.1 Drying equipment. The microwave dryer showed in Fig. 1 which the dimension of dryer room diameter was about 80 cm and high 60 cm, inside the dryer will have axes hanging rubber spinning. The dryer has a three point

microwave signal input which frequency 2.45 GHz, each point put away the angle of 120 degree, high, medium and low respectively.

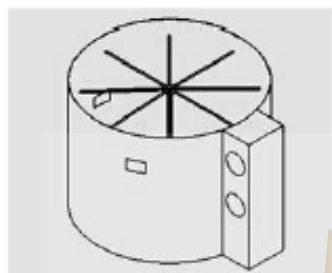


Fig. 1 Microwave drying system.

2.1.2 ADS rubber. The dimension of sample ADS rubber sheet was about of 60×120 cm and weight of 1.6-3.0 kg. We divided into four equal parts approximately, in each parts have the moisture content ranging about 25-40% dry-basis.



Fig. 2 The ADS rubber in the dryer.

2.2 Methods

2.2.1 Preparation of the samples. The preparation of ADS rubber dried by microwave heating is as follows: the fresh ADS rubber must be suspended on rail to drain the residue out of rubber sheet first after that before put the ADS rubber into the dryer will be divided them to four equal parts approximately.

2.2.2 Testing. Preparation of the ADS rubber after pass procedures of the drain residue of rubber sheet. After that put them into the dryer and run the microwave heating in the following order. The increase in temperature of the ADS rubber as a result of the absorbed electromagnetic energy from microwave heating can be expressed by (Nelson, 1996).

$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \epsilon'' \quad (1)$$

Where C_p is the specific heat of the material ($J \times kg^{-1} \times ^\circ C^{-1}$), ρ is the density of the material ($kg \times m^{-3}$), E is the electric field intensity ($V \times m^{-1}$), f is the frequency (Hz), ϵ'' is the dielectric loss factor of the material, Δt is the time duration (s) and ΔT is the temperature rise in the material ($^\circ C$). The decrease in moisture content of the ADS rubber as a result of the weight loss from the microwave drying can be expressed by (ASAE standard, 1982) method.

$$\text{Moisture ratio, MR} = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} \quad (2)$$

Where MR is moisture ratio (no unit), M_t moisture at any time (% dry-basis), M_i is initial moisture (% dry-basis), M_{eq} is moisture balance (% dry-basis) which can find it will be use Halsey model equation (Y. Tirawanichakul et al, 2011) expressed in equation 3.

$$M_{eq} = \left[\frac{-0.377}{(-33174.961T + 107.421T^2) \ln RH} \right]^{\frac{1}{2.284}} \quad (3)$$

Where T is temperature (K) and RH is relative humidity (decimal).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 3 showed the relationship between the moisture ratio with the drying time of ADS rubber drying process from the difference microwave drying power which affects to difference temperature in each result.

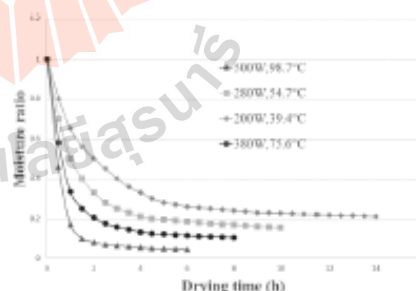


Fig. 3 The relationship between the moisture ratio with the drying time of the ADS rubber drying process.

The four of difference microwave drying power was reported, the 500W microwave power affects to ADS rubber have temperature about 98.7°C, the 380W microwave power affects to ADS rubber have temperature about 75.6°C, the 280W microwave power affects to ADS

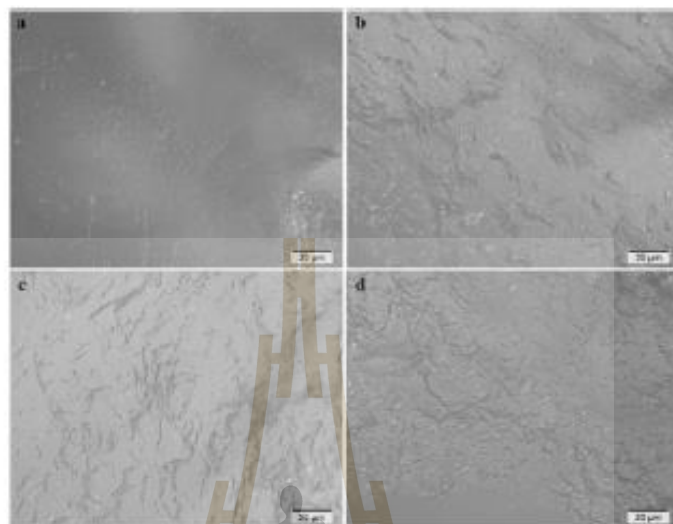


Fig. 4 MFM micrographs of ADS rubber sample obtained by different microwave drying power.

rubber have temperature about 54.7°C and the 200W microwave power affects to ADS rubber have temperature about 39.4°C.

Fig. 4 showed the difference microwave drying power which effects on the microstructure of ADS rubber at the same expansion rate of each sample. The result in fig. 4(b-d) are effect from 500W, 380W, 280W and 200W microwave drying power respectively as a result showed that damage to the microstructure of ADS rubber. The result in fig. 4(a) is effect from 200W microwave drying power as a result showed that not damage to the microstructure of ADS rubber.

Consider follow the equation 1 will see that the temperature occurred in each sample depended on the electric field intensity ($V \cdot m^{-1}$). In the drying industry which regarded quality first so in the drying process with the microwave heating must be adjust power to appropriate.

CONCLUSION

The microwave drying technology is another interesting option that can be apply in drying industry. Because it has effectively than the conventional methods such as shorter processing times, the dissipation of energy throughout a product and high energy efficiency compared with other process. The microwave drying can be adjust for the drying process of the other product which can be maintain the quality of product in the drying industry and this principle can be application with the other drying methods to enhance the efficiency of drying process in the future.

ACKNOWLEDGMENT

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

REFERENCES

- Suchonpanit, W., Tirawanichakul, Y., and Tirawanichakul, S., Experimental study of the effects of different drying methods on the kinetics and quality of air dried sheet (ADS) rubber, in Humanities, Science and Engineering (CHUSER), IEEE Colloquium on, 2011.
- Rattanadecho, P., Suwannapum, N., Watanasungsit, A., Duanduen, A., Drying of Dielectric Materials Using a Continuous Microwave Belt Drier (Case Study: Ceramics and Natural Rubber), *J. of Manufacturing Science and Engineering* vol. 1, no. 129, pp. 157-163, 2006.
- Mei, C., Yong-Zhou, W., Guang, L., and Xiao-Ping, W., Effects of different drying methods on the microstructure and thermal oxidative aging resistance of natural rubber, *J. of Applied Polymer Science*, vol. 6, no. 126, pp. 1808-1813, 2012.
- ASAE standard, Moisture Measurement, the 29th ed., St. Joseph, Miami, USA, 1982.
- Nelson, S. O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. *Transactions of the ASAE*, 39, pp. 1475-1484, 1996.
- Tirawanichakul, Y., Suchonpanit, W., and Tirawanichakul, S., Sorption Isotherm and Liquid Diffusion Model for Unsmoked Sheet Rubber Drying, international conference on alternative energy, pp. 167-173, 2011.

NOMENCLATURE*a* : Microstructure*b* : Microwave*c* : Drying

Subscripts

ADS : air dried sheet*MFM* : motorized fluorescence microscope

Kompisit Krajaipote received the B.Eng. (2013) degrees in Electronic engineering from Suranaree University of Technology.

He studying master's degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include high power microwave heating.



Worawut Boonpeang received the B.Eng. (1'Hons) in Electronic engineering (2013), from Suranaree University of Technology.

He studying Ph.D. degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include high power switching induction, and microcontroller.



Charoon Srisuma received the B.Eng. (2013) degrees in Electronic engineering from Suranaree University of Technology.

He studying master's degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include RF high power and high power self-oscillator.



Chanchai Thongsopa B.Eng (1'Hons) Electronics Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand, M.Eng. (Electrical and Communications Engineering), Kasetsart University, Thailand and D.Eng.(Electrical Engineering), King

Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand in 1992, 1996 and 2002, respectively. Experiences & Expert are RF circuit design, active antenna, Microwave heating application in 1992-1997 Researcher at Aeronautical Radio of Thailand Company Design Systems Air Traffic control: Design transmitters VHF-UHF (AM) 25W (on 24 Hour) and Design Transmitters HF (AM) 1KW (on 24 Hour). Furthermore, Researcher at National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC) and consultant of SDH project at Telephone Organization of Thailand (TOT) design RF circuit in 1997-2000.



Poramin Kumrayom received the B.Eng. (2013) degrees in Electronic engineering from Suranaree University of Technology.

He studying master's degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include RF high power and high power self-oscillator



Supawat Kotchaprudit received the B.Eng. (1'Hons) in Electronic engineering (2013), from Suranaree University of Technology.

He studying Ph.D. degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include power electronic, microwave circuit and RF circuit design.



Samran Santalunai received the B.S. and M.S. degrees in telecommunication engineering from Suranaree University of Technology in 2007 and 2009, respectively. At present, He Studying doctoral's degree in telecommunication engineering at

Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include wireless power transfer, induction heating and RF circuit design.



Thanaset Thosdeekoraphat received the B.S. and M.S. degrees in Telecommunication engineering from Suranaree University of Technology in 2006 and 2008, respectively. Ph.D. in

Telecommunication engineering (2012), Suranaree University of Technology, Thailand. At present Lecturer, School of Telecommunication and Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include hyperthermia inductive heating, magnetic shielding system, RF and microwave circuit design, microwave heating, antenna, active antenna and UWB transmitter-receiver design and analysis of impulse signal for UWB communication system. In addition, as a reviewer of the International Journal of Antennas and Propagation.

Kompisit Krajaipote, Thanaset Thosdeekaraphat and Chanchai Thongsopa **Study and Analysis of the Difference Heating Applicator for Dehumidification the Rubber Sheet**, *Proceedings of 10th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC 2017)*, Ho Chi Minh University of Technology, Vietnam, March 13-14 2017.



STUDY AND ANALYSIS OF THE DIFFERENCE HEATING APPLICATOR FOR DEHUMIDIFICATION THE RUBBER SHEET

Kompisit Krajaipote*, Thanaset Thosdeekoraphat, Chanchai Thongsopa
 School of Electronics Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand
 Email: m5740963@g.sut.ac.th

ABSTRACT

In this paper, the researches propose to study and analysis of the difference heating applicator for dehumidification rubber sheet. The focused is to study the heating area which the heat is occur in rubber sheet medium distributed. The result from this research was believed to be effectively applied to the rubber drying. In the simulation, the difference applicator excited by 2.45 GHz signal. To investigate the difference of electric power on heating predicted by the theoretical model, the electric field distributions were analyzed by using the computer simulation technology microwave studio (CST MWS). The distance between lossy medium to the difference heating applicator was fixed at 5 millimeters and 10 millimeters for study and analysis heating area distributed. As the results of heating area simulation, waveguide applicator generated low heat, wide heating area and uniform distribution. However, dielectric plate generated high heat and not uniform distribution. The both heating applicator was near lossy medium generated maximum heating. Moreover, the both heating applicator was far lossy medium generate minimums heating. The results from investigation can be applied for combination with other method and another advantage was reduced the time in drying process. The advantage of the dielectric heating with high frequency is that it can be apply for dehumidification process.

KEYWORDS: *dielectric heating, rubber sheet, lossy medium*

1. INTRODUCTION

Rubber is an important crop in Thailand because the rubber exports ranked one of the world. The information from office of agricultural economics we found, in current, rubber product about of 4.46 million tons which more than last year about of 0.22 million tons due to the

area harvested increasing. In research of (W. Suchonpanit et al, 2011) reported the study effect drying of air dried sheet (ADS) rubber on the five different strategies, such as green house drying (GH), green house and natural convention (GH-NC) drying, open sun and natural convention (OS-NC) drying, infrared radiation (IR) drying, and hot air (HA) drying, the result from experimental shown the IR drying is shorter period than those drying. In research of (S. Tirawanichakul et al, 2011) reported to study effect of cashew nut drying using two different strategies are hot air drying and combined microwave and hot air drying, the result from experimental shown the combined of microwave and hot air drying technique has high drying rate comparing to the hot air drying. In research of (Santahumai, S. et al, 2015) reported the considering of the electric field distribution and intensity in dielectric loads, by using the dielectric heating technique of electrode plates. From the mentioned above researcher were interesting to microwave drying technique. Because that can using combined with other methods.

In this paper propose to study and analysis of the difference heating applicator for dehumidification rubber sheet. The focused is to study the heating area which the heat is occur in lossy medium from wave guide applicator comparing with dielectric plate applicator. In the simulation, the difference applicator excited by 2.45 GHz signal. The electric field distributions were analyzed by using the computer simulation technology microwave studio (CST MWS). The distance between lossy medium to the difference heating applicator was fixed at 5 millimeters and 10 millimeters for study and analysis heating area distributed. As the results of heating area simulation, waveguide applicator generated low heat, wide heating area and uniform distribution. However, dielectric plate generated high heat and not uniform distribution. The both heating applicator was near lossy

medium generated maximum heating. Moreover, the both heating applicator was far lossy medium generate minimums heating. The results from investigation can be applied for combination with other method and another advantage was reduced the time in drying process. The advantage of the dielectric heating with high frequency is that it can be used to applied for dehumidification process.

2. EXPERIMENT

2.1 Materials

2.1.1 Dielectric plate. The most effectiveness of applications of dielectric heating should comprise the structures and patterns for the appropriate heat and provide minimal thermal impact in the near materials. The structure of dielectric heating shown in the Figure 1. The diagram configuration of the generated oscillator frequency with 2.45 GHz, transferred into the electrode plate.



Fig 1. The diagram of dielectric heating structure

The electrode plates consisted of two plates: the upper electrode plate is anode for generating an electric field to the dielectric loads, and the other lower electrode plate is cathode. The parameters of dielectric heating system are electrode plates composed into a rectangular applicator. This copper material had a width, length, and thickness of 54.6, 109.2, and 2 mm, respectively.

2.1.2 Waveguide applicator. The waveguide applicator with aperture dimension has a width, and length of 54.6, 109.2 respectively, as show in figure 2.

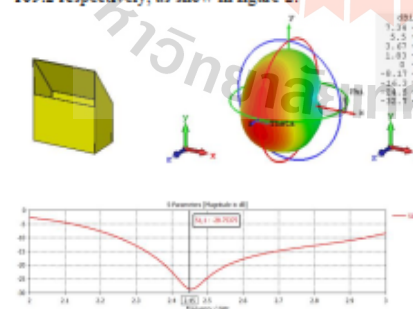


Fig 2. Design of waveguide applicator by using CST Microwave Studio.

2.1.3 Lossy medium. The dimension of sample water sheet was about of 100×200 mm.

2.2 Methods. The dielectric heating technique of electrode plates materials used for generating the electric field can be consider of highly conductive materials could be able to generate electric field intensity which effective to provide heating. The dielectric heating of waveguide materials use for generating the electromagnetic wave. The distance between lossy medium to dielectric plate was fixed at 5 mm, and 10 mm respectively. In the simulation, the both different applicator excited by 2.45 GHz signal. To investigate the difference of electric power on heating predicted by the theoretical model, the electric field distributions were analyzed by using the CST microwave studio.

3. ANALYSIS

The increase in temperature of the lossy medium as a result of the absorbed electromagnetic energy from microwave heating can be expressed by (Nelson, 1996).

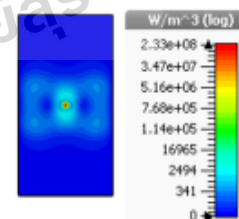
$$\rho C_p \frac{\Delta T}{\Delta t} = 5.563 \times 10^{-11} f E^2 \epsilon'' \quad (1)$$

Where C_p is the specific heat of the material ($J \times kg^{-1} \times ^\circ C^{-1}$), ρ is the density of the material ($kg \times m^{-3}$), E is the electric field intensity ($V \times m^{-1}$), f is the frequency (Hz), ϵ'' is the dielectric loss factor of the material, Δt is the time duration (s) and ΔT is the temperature rise in the material ($^\circ C$). The power absorbed per unit mass: P_d ($W \times m^{-3}$) described indicates the power which spread in the lossy medium and can calculate the temperature increasing by following equation.

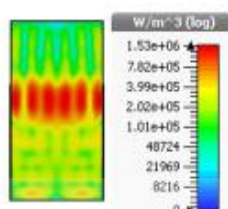
$$\Delta T = \frac{1}{C_p} P_d \Delta t \quad (2)$$

4. RESULTS AND DISCUSSION

The results from simulation of heating area can be visualized as power loss densities, it was analyzing using the CST microwave studio, as shown in Figure 3, and 4.



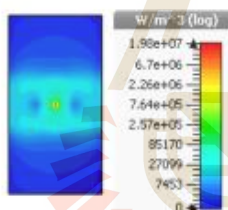
(a)



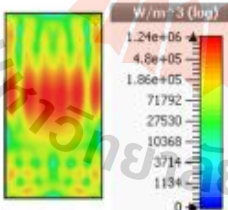
(b)

Fig 3. Power loss density of difference heating applicator in lossy medium, distance between lossy medium was 5 mm.

Figure 3 shows the power loss density in lossy medium of difference heating applicator when distance between the difference applicator was 5 mm, 3(a) shown power loss density in lossy medium of electric plate applicator, 3(b) shown power loss density in lossy medium of waveguide applicator. The result showed the maximum power loss densities were $2.33 \times 10^8 \text{ W/m}^3$ of electric plate applicator, and $1.53 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ of waveguide applicator.



(a)

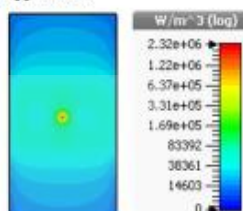


(b)

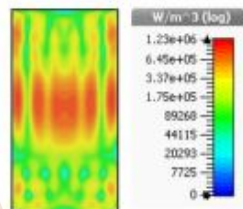
Fig 4. Power loss density of difference heating applicator in lossy medium, distance between lossy medium was 10 mm.

Figure 4 shows the power loss density in lossy medium of difference heating applicator when distance between the difference applicator was 10 mm, 4(a) shown power loss density in lossy medium of electric plate applicator, 4(b) shown power loss density in lossy

medium of waveguide applicator. The result showed the maximum power loss densities were $1.98 \times 10^7 \text{ W/m}^3$ of electric plate applicator, and $1.24 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ of waveguide applicator.



(a)



(b)

Fig 5. Power loss density of difference heating applicator in lossy medium, distance between lossy medium was 20 mm.

Figure 5 shows the power loss density in lossy medium of difference heating applicator when distance between the difference applicator was 20 mm, 5(a) shown power loss density in lossy medium of electric plate applicator, 5(b) shown power loss density in lossy medium of waveguide applicator. The result showed the maximum power loss densities were $2.32 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ of electric plate applicator, and $1.23 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ of waveguide applicator. As the results of heating area simulation, waveguide applicator generated lower heat than electric plate applicator, but wide heating area and uniform distribution. The both heating applicator was near lossy medium generated maximum heating. Moreover, the both heating applicator was far lossy medium generate minimum heating.

5. CONCLUSIONS

The study and analysis of the difference heating applicator for dehumidification rubber sheet. To determine heat distribution in the dielectric loads or rubber sheet, which electric loss density is analyzing for effect of the dielectric plate position to heating area. The focused is to consider the wide area which the heat is occur in lossy medium. The analysis was dielectric plate applicator and waveguide applicator for comparing of electric power

The 11th SEATUC Symposium

distribution. The distance between lossy medium to the difference heating applicator was fixed at 5 millimeters and 10 millimeters. In the simulation, the different heating applicator excited by 2.45 GHz signal. As the results of heating area simulation, waveguide applicator generated low heat, wide heating area and uniform distribution. However, dielectric plate generated high heat and not uniform distribution. The both heating applicator was near lossy medium generated maximum heating. Moreover, the both heating applicator was far lossy medium generate minimums heating. The advantage of this research was believed to be effectively applied to the hyperthermia cancer treatment. The results from investigation can be applied for combination with other method and another advantage was reduced the time in drying process.

ACKNOWLEDGMENT

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

REFERENCES

Suchonpanit, W., et al., Experimental study of the effects of different drying methods on the kinetics and quality of air dried sheet (ADS) rubber. IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering. 2011.

Tirawanichakul, S., et al., Microwave and hot air drying of cashew nut: Drying kinetics and quality aspects. 2011 IEEE Colloquium on Humanities, Science and Engineering. 2011.

Santalunai, S., et al. (2015). The efficiency of dielectric heating by using symmetrically electric power ports on electrode plate for pest control. 2015 12th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON).

Nelson, S. O. Review and assessment of radio-frequency and microwave energy for stored-grain insect control. Transactions of the ASAE, 39, pp. 1475-1484, 1996.

PHOTOS AND INFORMATION



Kompisit Krajaipote received the B.Eng. (2013) degrees in Electronic engineering from Suranaree University of Technology. He studying master's degree in electronic engineering (2014), Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include high power microwave heating.



Thanaset Thosdeekoraphat received the B.S. and M.S. degrees in Telecommunication engineering from Suranaree University of Technology in 2006 and 2008, respectively. Ph.D. in Telecommunication engineering (2012), Suranaree University of Technology, Thailand. At present Lecturer, School of Telecommunication and Electronic Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand. Research interests include hyperthermia inductive heating, magnetic shielding system, RF and microwave circuit design, microwave heating, antenna, active antenna and UWB transmitter-receiver design and analysis of impulse signal for UWB communication system. In addition, as a reviewer of the International Journal of Antennas and Propagation



Chanchai Thongsopa B.Eng (1'Hons) Electronics Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand, M.Eng. (Electrical and Communications Engineering), Kasetsart University, Thailand and D.Eng.(Electrical Engineering), King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL), Thailand in 1992, 1996 and 2002, respectively. Experiences & Expert are RF circuit design, active antenna, Microwave heating application in 1992-1997 Researcher at Aeronautical Radio of Thailand Company Design Systems Air Traffic control: Design transmitters VHF-UHF (AM) 25W (on 24 Hour) and Design Transmitters HF (AM) 1KW (on 24 Hour). Furthermore, Researcher at National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC)

ประวัติผู้วิจัย

นายคมพิศิษฐ์ กระจายโภชน์ เกิดเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2534 ที่อำเภอสวี จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนสวีวิทยา อำเภอสวี จังหวัดชุมพร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2557 จากนั้นได้เข้าร่วมทำงานกับบริษัท ศิริวิทย์ สแตนเลย์ จำกัด เป็นเวลา 1 ปี ระหว่างที่กำลังศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

