การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟรวมกับลมร้อนแบบต่อเนื่อง

นายธราวุธ บุญน้อม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2555

DEVELOPMENT OF CONTINUOUS COMBINED HOT-AIR AND MICROWAVE DRYER

Tarawut Bunnom

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Agriculturaland Food Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2012

การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบต่อเนื่อง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.วีรชัย อาจหาญ)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปีจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ธราวุธ บุญน้อม : การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบต่อเนื่อง (DEVELOPMENT OF CONTINUOUS COMBINED HOT-AIR AND MICROWAVE DRYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ, 115 หน้า.

การพัฒนาเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อใช้งานอบแห้งวัสดุเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้วหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตพริกแห้ง และศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน มีขั้นตอนการศึกษาคือ 1) ปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 2) ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น 3) ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 4) ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และ5) ศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ผลการศึกษาพบว่า ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นมีประสิทธิภาพ 20.75 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิตพริกแห้ง คือ ระบบแมกนีตรอนเปิดทำงานที่อุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดที่แมกนีตรอนทำงานครบเวลา 90 วินาที ระบบลมร้อนเปิดทำงานที่อุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดที่อุณหภูมิภายในห้องอบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ระบบระบายความชื้นเปิดระบบทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และปิดระบบที่ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าพลังงานที่ใช้สำหรับผลิตพริกแห้งเท่ากับ 38 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

สาขาวิชา วิศวกรรมเกษตร ลายมือชื่อนักศึกษา_____

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

TARAWUT BUNNOM : DEVELOPMENT OF CONTINUOUS COMBINED HOT-AIR AND MICROWAVE DRYER. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. WEERACHAI ARJHARN, Ph.D., 115 PP.

CHILIES / HOT-AIR / MICROWAVE OVEN

The combination of microwave and hot-air are reducing in drying time for postharvest dryer. In the present study, an application of combined microwave and hot air oven was studied. The objectives were to determine suitable conditions of chilies drying using a combined microwave and hot air oven as well as to evaluate its production cost. The purpose of this study were 1) develop and construct the microwave and hot-air oven 2)Test for optimum and fine adjustment 3) determine suitable conditions of chilies drying 4) Proof for dried product quality and physical property (color and texture). 5) Study in production cost.

The efficiency of new prototype is 20.75% and optimum condition for drying chilies were 60°C for hot air and 90s for microwave when temperature inside oven is lower than 60°C and Moisture release when inside relative humidity more than 15%. And the production cost of dried chilies using the combined microwave and hot air system was 38 Baht/kg (dry weight).

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Agricultural Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2012 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคล และกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษาให้คำแนะนำปรึกษาด้านวิชาการ ช่วยแก้ไขปัญหา และให้กำลังใจกับผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระศักดิ์ เลิศสิริโยธิน และอาจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรคกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านวิชาการอันเป็นประโยชน์

คุณกรรณิกา ประเสริฐสังข์ และบุคลากรศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่คอยให้กำลังใจ กำลังกาย และคำแนะนำปรึกษามาโดยตลอด

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่งที่ให้การเลี้ยงดู อบรม ส่งเสริมการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ และมีหลักธรรมในการดำเนินชีวิตที่ดีตลอดมา

ธราวุธ บุญน้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (อังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 บทนำ 4
2.2 ลักษณะทั่วไปของพริก 4
2.3 กระบวนการผลิตพริกแห้ง 5
2.4 การอบแห้ง 6
2.4.1 การอบแห้ง 6
2.4.2 กลไกการถ่ายเทมวลสารและความร้อนในการอบแห้ง 7
2.4.3 จลนศาสตร์การอบแห้ง 9
2.4.4 ความชื้นวัสดุ 10
2.4.5 ความชื้นสมดุล 11
2.4.6 ประเภทการอบแห้งแบบต่างๆ 13
2.5 เตาอบไมโครเวฟ 15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ 15
2.5.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ 16
2.5.3 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ 17
2.5.4 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ 18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย 24
3.1 บทนำ 24
3.2 ตัวอย่าง 24
3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 25
3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 25
3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 28
3.4.1 สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย 28
3.4.2 ปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 28
3.4.3 ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น 30
3.4.4 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 35
3.4.5 ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 38
3.4.6 ศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 38
4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล 39
4.1 บทนำ 39
4.2 การปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 39
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น 61

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1 การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น....61
4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน....65
4.4 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....69
4.4.1 ทดสอบเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน....69
4.4.2 ทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน.73
4.5 ผลการตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน....81
4.6 ผลการศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....83
4.6.1 ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....83
4.6.2 ต้นทุนการการอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....83
4.7 แนวทางการพัฒนาสู่เชิงพานิชย์....84
4.7.1 ลักษณะเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์....84
4.7.2 หลักการทำงานและการควบคุม....84
4.7.3 ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์....86
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....87
5.1 สรุปผลการทดลอง....87
5.1.1 ลักษณะต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....87
5.1.2 ผลการทดสอบการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....88
5.1.3 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....89

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.1.4 คุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 90
5.1.5 ต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 90
5.2 ข้อเสนอแนะ 90

รายการอ้างอิง 91

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 93
ภาคผนวก ข. วิธีวิเคราะห์ความชื้น 99
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ 101
ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 106

ประวัติผู้เขียน 115

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง 7
2.2 ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสารละลายอิ่มตัวบางชนิด 12
3.1 เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา 25
3.2 อุปกรณ์ 25
3.3 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบประสิทธิภาพ 34
3.4 สัญลักษณ์และหน่วย 34
3.5 สภาวะการทดสอบ 35
3.6 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 37
4.1 แสดงหลักการออกแบบห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 43
4.2 ประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 66
4.3 ปริสภาวะที่เหมาะสมของระบบแมกนีตรอน 73
4.4 สภาวะที่เหมาะสมของระบบลมร้อน 74
4.5 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งพริก 78
4.6 ลักษณะของพริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 81
4.7 ต้นทุนเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 83
4.8 ต้นทุนอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 84

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ลักษณะทั่วไปของพริก....5
2.2 การผลิตพริกแห้งในระดับครัวเรือน....5
2.3 การผลิตพริกแห้งในระดับการค้า....6
2.4 พฤติกรรมการอบแห้งวัสดุอาหาร....8
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาและอัตราการอบแห้งที่สัมพันธ์กัน....10
2.6 ความชื้นสมดุลไอโซเทอมของข้าวสาลีที่อุณหภูมิ 35 ^{O}C....12
2.7 แมกนีตรอน....18
2.8 ส่วนประกอบภายในของแมกนีตรอน....19
2.9 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน....20
2.10 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง....21
3.1 ตัวอย่างพริกที่ใช้ในการศึกษา....24
3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์....26
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา....29
3.4 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น....30
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพและการวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น....32
3.6 ลักษณะการเตรียมพริกก่อนอบแห้ง....36
3.7 ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน....37
3.8 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด....38
4.1 แบบ 3 มิติเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน....40
4.2 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านหน้า - หลัง....41
4.3 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านข้าง....42
4.4 การทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว....44
4.5 แสดงลักษณะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว....45
4.6 แสดงลักษณะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว (5 นาที)....46
4.7 ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว (6 นาที)....46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.8 ลักษณะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว (7 นาที) 47
4.9 ทิศทางการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอนภายในห้องอบ 48
4.10 แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน (ก) และ
ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ (ข) 49
4.11 การติดตั้งพัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน 50
4.12 แสดงลักษณะทางเข้า-ออก วัตถุดิบ 52
4.13 ลักษณะระบบระบายความชื้น 53
4.14 ลักษณะทางเข้า-ออก ลมร้อน 54
4.15 ชนิดและวัสดุที่ใช้สร้างห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 55
4.16 แสดงส่วนประกอบของชุดสายพาน 56
4.17 แสดงส่วนประกอบของระบบลมร้อน 57
4.18 วงจรการควบคุมระบบ 59
4.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (3 นาที) 62
4.20 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (4 นาที) 63
4.21 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที) 64
4.22 กราฟแสดงค่าพลังงานของระบบ 67
4.23 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของระบบ 67
4.24 การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น 68
4.25 กราฟแสดงค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือน
ร่วมกับลมร้อน 70
4.26 กราฟแสดงค่าเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน 70
4.27 ลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือน
ร่วมกับลมร้อน 71
4.28 กราฟแสดงค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของพริกแห้ง
อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน 72
4.29 ลักษณะพริกไม่แตกและแตกเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ 74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.30 ลักษณะพริกแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิต่างๆ 75
4.31 สภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน 76
4.32 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 77
4.33 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน.....79
4.34 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 80
4.35 กราฟแสดงค่าเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน.....80
4.36 กราฟแสดงค่าค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของพริกแห้งอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อน 82
4.37 ลักษณะของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 82
4.38 ลักษณะเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์.....85

ก1 ลักษณะของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 92
ก2 แสดงแบบภายในห้องแมกนีตรอนเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 93
ก3 แสดงแบบภายในผนังห้องอบไมโครเวฟ.....94
ก4 แสดงแบบสายพานเตาอบไมโครเวฟ.....95
ก5 แสดงแบบสายพานเตาอบไมโครเวฟ.....96

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Eff. = ประสิทธิภาพของระบบ (%)

Q_{out} = พลังงานที่ได้รับจากระบบ(kJ)

Q_{in} = พลังงานที่ให้ระบบ(kJ)

h = ค่าความร้อนแฝงของการเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2,260(kJ/kg)

Δm = น้ำหนักของน้ำที่หายไป(g)

$\mathbf{c_p}$ = ค่าความจุความร้อนของน้ำ(kJ/kg C)

P_w = พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ(kJ)

P_T = พลังงานที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น(kJ)

t_m = เวลาเปิดแมกนีตรอน

t_h = เวลาเปิดลมร้อน

t_{mh} = เวลาเปิดแมกนีตรอนร่วมกับลมร้อน

m_1 = น้ำหนักน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

m_2 = น้ำหนักน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_1 = อุณหภูมิน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_2 = อุณหภูมิน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_{o1} = อุณหภูมิภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_{o2} = อุณหภูมิภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_{s1} = อุณหภูมิภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

T_{s2} = อุณหภูมิภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

R_{o1} = ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

R_{o2} = ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

R_{s1} = ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

R_{s2} = ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

P = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชากรส่วนใหญ่ของประเทศไทยมีอาชีพเกษตรกรรมเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จากผลผลิตที่เกิดขึ้นในช่วงของฤดูกาลของพืชแต่ละชนิดเกษตรกรจำเป็นต้องจำหน่ายโดยเร็วเพื่อลดการสูญเสียการอบแห้งเป็นการลดการสูญเสียวิธีหนึ่ง ซึ่งทำให้เก็บผลผลิตได้ยาวนานขึ้น และยังเป็นกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่มีความสำคัญช่วยให้ผลผลิตมีมูลค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในช่วงที่มีปัญหาผลผลิตที่ล้นตลาด และมีราคาตกต่ำ

พริก เป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเกษตรกรที่ปลูกพริกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งการปลูกพริกจะเริ่มปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคมเริ่มเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคมจนถึงเดือนตุลาคมเมื่อพริกสุกหรือเริ่มเก็บเกี่ยวปริมาณของพริกในช่วงนี้จะมีจำนวนมากจนในบางปีเกิดภาวะล้นตลาดขณะเดียวกันถ้าจำหน่ายเป็นพริกสดหรือตากแห้งไม่ทันเนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนพริกก็จะเกิดการเน่า และเสียหายส่งผลให้พริกเกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพ และราคา

ไมโครเวฟ เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย อาทิ เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม งานด้านอุตสาหกรรม และงานในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคมซึ่งจะใช้งานในส่วนของ การส่งคลื่นสัญญาณไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่าง ๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุสัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิตจะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ได้แก่ การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เช่น ธัญพืช ผลไม้ ไม้ดอกไม้ประดับ สมุนไพร การอบแห้งเซรามิค การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊ส และเตาไฟฟ้า ในการอุ่น อบหรือนึ่ง

เทคโนโลยีการใช้ไมโครเวฟในการผลิตความร้อนจัดเป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงรวดเร็ว รวมไปถึงไม่มีของเสียออกจากกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีนี้ หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ(2450MHz) ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุโมเลกุลของน้ำที่อยู่ใน

วัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป โมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวก และประจุลบที่ตรงกันข้ามเมื่อคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไป โมเลกุลเหล่านี้ ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้ว เพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่นในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำไปใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวนอกเหนือจากการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟที่เหมาะสมกับลักษณะของงานแล้ว องค์ความรู้ที่ชัดเจนเกี่ยวกับพฤติกรรมทางวิศวกรรมของกระบวนการที่ต้องการประยุกต์ใช้ขอบเขต สภาวะการใช้งาน และคุณภาพของผลิตผลที่ได้รับ ยังไม่มีการศึกษาวิจัยออกมาอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่จะทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟต่อยอดจากการวิจัยเดิมโดยมีแนวคิดที่จะพัฒนาเตาอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียง และนำมาทดสอบหาสภาวะของการทำงานที่เหมาะสมสำหรับผลิตพริกแห้งเพื่อให้ได้พริกแห้งที่มีคุณภาพ รวมถึงวิเคราะห์การใช้พลังงาน และต้นทุนที่ใช้ในการผลิตพริกแห้งเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบสำหรับใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

1.2.2 เพื่อหาสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตพริกแห้ง

1.2.3 เพื่อศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ในการศึกษานี้ใช้พริกในกรณีศึกษา โดยที่ไม่สนใจ ขนาด สายพันธุ์ และพื้นที่ปลูก

1.3.2 ในการศึกษานี้จะทำการปรับปรุง ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใช้แมกนีตรอน ความถี่ 2450 MHz เป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ความถี่ จำนวน 6 ตัว ใช้พัดลม

ระบายความร้อนแมกนีตรอน ขับเคลื่อนชิ้นงานด้วยสายพานหม้อแปลงของแมกนีตรอน และระบบควบคุมติดตั้งไว้ภายในห้องแยกส่วนจากแมกนีตรอน

1.3.3 การออกแบบทิศทางการติดตั้งท่อนำคลื่น ใช้ระยะจากการศึกษาทิศทางการกระจายตัวของคลื่นจากการทดลอง เนื่องจากแมกนีตรอนที่ใช้ประยุกต์ในงานนี้ เป็นแมกนีตรอนที่ใช้กำเนิดคลื่นของเตาไมโครเวฟที่ใช้ตามบ้านเรือน (เพราะมีราคาถูก และหาซื้อง่าย) ดังนั้น จึงยากต่อการทำนายระยะการกระจายตัวของคลื่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เป็นองค์ความรู้พื้นฐาน ที่จะนำไปสู่การใช้เทคโนโลยีการผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับพริกแห้ง และเกษตรกรต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้ กล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตพริกแห้ง ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของพริก ประโยชน์ของพริก กระบวนการอบพริกแห้ง ที่แสดงให้เห็นลักษณะทั่วไปของวัตถุดิบที่นำมาใช้กับงานศึกษานี้ รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเตาอบไมโครเวฟ ทฤษฎีการอบแห้ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2 ลักษณะทั่วไปของพริก

พริก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Capsicum frutescens* พริกเป็นพืชที่มีอายุได้หลายฤดูและลำต้นตั้งตรงสูงประมาณ 30 ถึง 77 เซนติเมตร ใบแบนเรียบ และเป็นมัน ใบรูปร่างกลมรี ปลายใบแหลม ใบออกตรงกันข้าม ดอกเป็นดอกเดี่ยวขนาดเล็ก ก้านดอกตรงหรือโค้ง กลีบดอกมีสีขาวหรือสีม่วงเกสรตัวผู้มี 1 ถึง 10 อัน เกสรตัวเมียมี 1 ถึง 2 รังไข่ ผลหลายขนาด พริกขี้หนูมีผลขนาดเล็กยาวประมาณ 30 ถึง 45 เซนติเมตร เมื่ออ่อนสีเขียวเข้ม และเมื่อเจริญเต็มที่จะเปลี่ยนเป็นสีแดงหรือสีเหลืองในแต่ละผลจะมีเมล็ดจำนวนมากเรียงตัวกันหนาแน่น ส่วนของรากมีสีขาว การปลูกพริกชอบดินร่วนซุยอากาศร้อน ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดมีต้นกำเนิดมาจากทวีปอเมริกา ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีปลูกกันในหลายประเทศทั่วโลกเพราะพริกเป็นเครื่องเทศที่สำคัญ และยังมีคุณสมบัติเป็นยาสมุนไพรด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1 พริกมีวิตามินซีสูงเป็นแหล่งของกรด ascorbicสารนี้ช่วยขยายเส้นโลหิตในลำไส้ และกระเพาะอาหารเพื่อให้ดูดซึมอาหารดีขึ้นช่วยร่างกายขับถ่ายของเสีย และนำธาตุอาหารไปยังเนื้อเยื่อของร่างกาย นอกจากนี้พริกยังมีสารเบต้าแคโรทีนหรือ วิตามินเอสูงพริกยังมีสารสำคัญอีก 2 ชนิด ได้แก่ Capsaicin และ Ole-oresin โดยเฉพาะสารCapsaicin ที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และผลิตภัณฑ์รักษาโรค สาร Capsaicin ยังมีคุณสมบัติทำให้เกิดรสเผ็ด ลดความเจ็บปวดของกล้ามเนื้อหัวไหล่ แขน ปั้นเอว และส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของพริก

2.3 กระบวนการผลิตพริกแห้ง

การทำพริกแห้งในปัจจุบันมี 2 วิธี คือ ในระดับครัวเรือน นิยมใช้วิธีการตากแดดกลางแจ้ง ใช้ระยะเวลาในการตากแห้ง 5 ถึง 7 วัน ใช้เวลานาน และต้องใช้แรงงานในครัวเรือน ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และระดับการค้า นิยมใช้การอบแห้งพริกในโรงเรือน ใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่สามารถป้องกันฝน และน้ำค้างได้แต่การอบแห้งในโรงเรือนนี้ จำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการกลับชั้นซึ่งขณะทำการกลับชั้นไอระเหยของพริกทำให้แสบตา และจมูกเป็นอันตรายต่อแรงงาน ทำให้การผลิตพริกแห้งทำได้ด้วยความยากลำบาก ดังแสดงในรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.2 การผลิตพริกแห้งในระดับครัวเรือน

รูปที่ 2.3 การผลิตพริกแห้งในระดับการค้า

2.4 การอบแห้ง

2.4.1 การอบแห้ง (เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)

การอบแห้งเป็นการลดความชื้นที่มีความสำคัญกระบวนการหนึ่งสำหรับอุตสาหกรรมอาหารและผลิตผลทางการเกษตร โดยจุดมุ่งหมายหลักของการอบแห้งก็เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการลดน้ำหนักและปริมาตรเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการบรรจุ การจัดการ การเก็บรักษาและการกระจายผลิตภัณฑ์ระหว่างกระบวนการอบแห้งตัวผลิตภัณฑ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมี ชีวภาพ เช่นเนื้อสัมผัส สี กลิ่น และคุณค่าทางอาหาร ดังนั้นจุดประสงค์รองของการอบแห้ง คือ ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีคุณภาพที่ดี และมีคุณค่าทางอาหารตามที่มาตรฐานกำหนด

การจำแนกเครื่องอบแห้ง จำแนกได้จากวิธีการให้ความร้อน ชนิดของเครื่องมือในการอบแห้ง วิธีการลำเลียงผลิตภัณฑ์และสถานะในการป้อน สภาวะการทำงาน เป็นต้น ตัวอย่างการจำแนกเครื่องอบแห้งตามลักษณะการถ่ายเทความร้อน แสดงในตารางที่ 2.1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

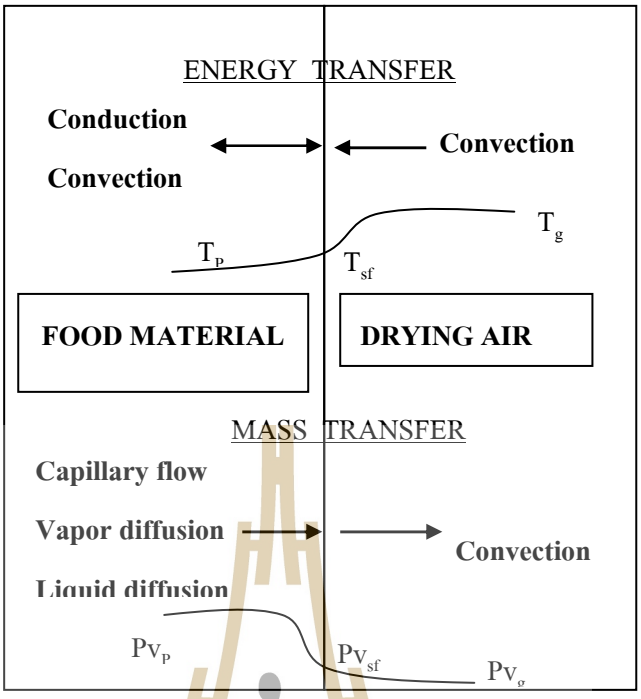
ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของเครื่องอบแห้ง

Mode of Heat Transfer	Dryers	
	Batch operation	Continuous operation
Convection	Kiln dryer	Tunnel dryer
	Cabinet dryer	Conveyor dryer
	Heat pump dryer	Spray dryer
		Fluidized bed dryer
		Heat pump dryer
Conduction	Heat-shelf dryer	Drum dryer
	Agitated pan dryer	
Radiation	Infrared dryer	
Internal generation of heat	Microwave oven	Dielectric continuous dryer
		Microwave tunnel
Mixed	Shelf dryer	Rotary dryer

(สมบัติ ,2529 อ้างถึงใน เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551,หน้า 6)

2.4.2 กลไกการถ่ายเทมวลสารและความร้อนในการอบแห้ง

การอบแห้งอยู่บนพื้นฐาน ความรู้เรื่องคุณสมบัติของอากาศ และวัสดุโดยที่ความสัมพันธ์ของไอน้ำในอากาศ และ Psychometric properties ของอากาศชื้น คุณสมบัติการดูดกลืนความชื้นและ thermo physical properties ของวัสดุหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการหรือทำนายจากแบบจำลอง ดังแสดงใน รูปที่ 2.4 การถ่ายเทมวล และความร้อนระหว่างวัสดุอบแห้งกับสิ่งแวดล้อม โดยการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมสู่ผิวของวัสดุในระหว่างการอบแห้งจะมีการส่งผ่านความร้อนภายในเนื้อของวัสดุด้วยในขณะเดียวกัน จะมีการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเนื้อวัสดุไปสู่ผิวของวัสดุแล้วถ่ายเทความชื้นสู่สิ่งแวดล้อมการระเหยเป็นไอเกิดขึ้นได้ทั้งที่ผิว และภายในเนื้อวัสดุทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ และสภาวะการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งทั้งแบบการพาความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อพลังงานสำหรับการระเหยได้รับจากกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุดังเช่น การอบแห้งแบบถาด belt conveyor flash fluid bed และ spray drying และการนำความร้อนเกิดขึ้น เมื่อวัสดุสัมผัสกับผิวร้อน ดังในกรณีของ เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหรือ rotary dryer



รูปที่ 2.4 พฤติกรรมการอบแห้งวัสดุอาหาร (Guillermo et al, 1997 อ้างถึงใน เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551, หน้า 7)

การส่งผ่านความร้อนภายในผลิตภัณฑ์เกิดขึ้นโดยการนำเนื่องจาก Internal gradient ของอุณหภูมิ และมีเพียงเล็กน้อยที่เกิดจากการพา เนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้นการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุอาหารอาจเกิดขึ้นจากกลไกที่ต่างกัน คือ

1. Capillary flow เนื่องจาก Gradients ของ Capillary suction pressure
2. การแพร่กระจายของเหลวเนื่องจาก Gradient ของความเข้มข้น
3. การแพร่กระจายของไอเนื่องจาก Partial vapor pressure gradients
4. Viscous flow เนื่องจาก Total pressure gradient ซึ่งมีสาเหตุมาจากความดันภายนอกหรืออุณหภูมิที่สูง

การถ่ายเทมวลจากผลิตภัณฑ์ไปสู่สิ่งแวดล้อมเกิดขึ้นเนื่องจากการพาความร้อนซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของ Partial vapor pressure ที่ Boundary layer ในบริเวณรอยต่อของอากาศและผลิตภัณฑ์การระเหยโดยตรงเกิดขึ้นเมื่อความดันไอในผิวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ อย่างเช่น ในกรณีนี้ของ Vacuum drying และ Freeze drying

การสมดุลความร้อนอย่างง่ายของกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน (เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551) ได้แนะนำสมการซึ่งทำการสมดุลพลังงานของอากาศกับความชื้นของวัสดุโดย

สมมติให้ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำจากวัสดุชื้น มีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัสของอากาศ ซึ่งมีรูปสมการ คือ

$$m_w h_{fg} = \dot{m}_a c_a (T_{ai} - T_{af})t \quad (2\text{-}1)$$

เมื่อ m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ (kg)

h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg)

$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

c_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg ^{O}C)

T_{ai} คือ อุณหภูมิอากาศก่อนอบแห้ง (^{O}C)

T_{af} คือ อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้ง (^{O}C)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s)

สำหรับปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ ระหว่างน้ำหนักเริ่มต้น ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของวัสดุ ดังสมการ คือ

$$m_w = m_{pi}\left(1 - \frac{M_f + 1}{M_i + 1}\right) \quad (2\text{-}2)$$

เมื่อ m_{pi} คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุ (kg)

M_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)

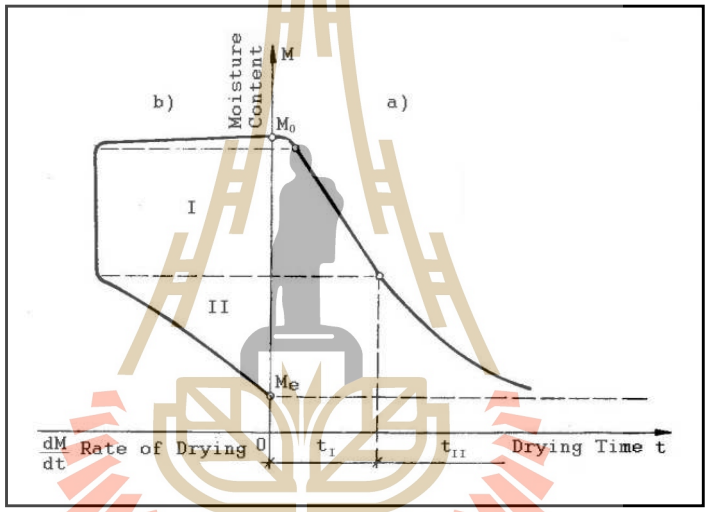
M_f คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4.3 จลนศาสตร์การอบแห้ง (Drying kinetics)

ข้อมูลการอบแห้งส่วนใหญ่ได้มาจากการทดลอง หรือได้มาจากการทำนายด้วยแบบจำลองพฤติกรรมการอบแห้ง แสดงไว้ใน รูปที่ 2.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองส่วนใหญ่แสดงอยู่ในรูปของ Drying curve หรือ Drying rate curve โดย Drying curve สามารถที่จะแบ่งเป็นบริเวณที่แตกต่างกัน คือ ช่วงเริ่มต้นซึ่งการระเหยเกิดขึ้นที่ผิว และอุณหภูมิจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่าเป็นช่วงการอบแห้งคงที่ผลิตภัณฑ์อาหาร และวัสดุเกษตรส่วนใหญ่จะไม่มีพฤติกรรมนี้ เนื่องจากไม่มีปริมาณน้ำอิสระที่ผิววัสดุ จุดที่เกิดอัตราการ

อบแห้งลดลงจะเริ่มจากจุดซึ่งเรียกว่าความชื้นวิกฤตระหว่างช่วงนี้ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุมีค่าลดลงส่วนอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเหนืออุณหภูมิกระเปาะเปียกเกิดการพัฒนา Non flat internal moisture and Temperature profiles โซนการระเหยจะย้ายจากผิววัสดุเข้าสู่เนื้อวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการอบแห้ง และคุณสมบัติของวัสดุขณะที่ความชื้นลดลงความต้านทานภายในสำหรับการถ่ายเทมวลเพิ่มขึ้น และชัดเจนขึ้นเมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นประมาณอุณหภูมิกระเปาะแห้งทำให้เกิดช่วงที่สองของอัตราการอบแห้งลดลง กลไกการควบคุมก็คือ อัตราการเคลื่อนที่ความชื้นภายในวัสดุโดยมีการแพร่กระจายของไอน้ำเป็นหลัก ปริมาณความชื้นมาถึง M_e ซึ่งเป็นค่าสมดุลที่ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศ



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาและอัตราการอบแห้งที่สัมพันธ์กัน
(Pabis et al,1998 อ้างถึงใน เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551, หน้า 10)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.4.4 ความชื้นวัสดุ

ปริมาณความชื้นของวัสดุจะอธิบายอยู่ในรูปของเปอร์เซ็นต์ความชื้นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก และความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานเปียกจะแสดงน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ต่อน้ำหนักรวมของวัสดุโดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M_w = \frac{m_w}{m_w + m_d} \quad (2\text{-}3)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง ซึ่งจะใช้ในงานวิจัยทางวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์เนื่องจากมวลแห้งของวัสดุไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการอบแห้ง ดังนั้นจึงง่ายในการวิเคราะห์การถ่ายเทความชื้น ความชื้นมาตรฐานแห้งหาได้จาก

$$M_d = \frac{m_w}{m_d} \quad (2\text{-}4)$$

จากสมการ (2-3) และ (2-4) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้งดังนี้

$$M_d = \frac{M_w}{1 - M_w} \quad (2\text{-}5)$$

และ

$$M_w = \frac{M_d}{1 + M_d} \quad (2\text{-}6)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (w.b, อัตราส่วน)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b, อัตราส่วน)

m_w คือ มวลของความชื้น (kg)

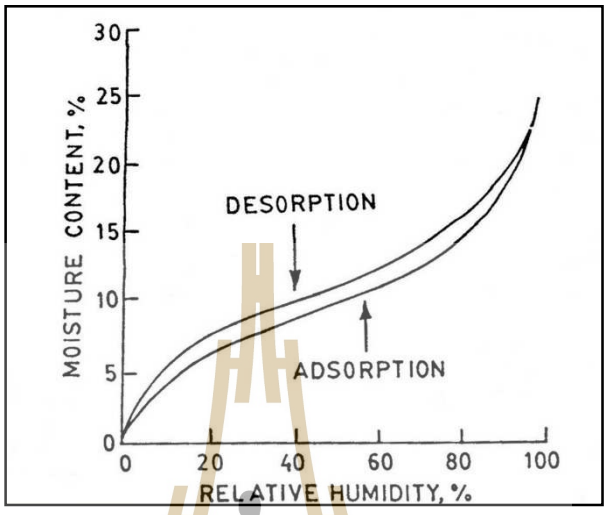
m_d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

2.4.5 ความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญสำหรับการอบแห้ง และการเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการอบแห้งหรือเก็บรักษาวัสดุเกษตรที่สภาวะคงที่ความชื้นของวัสดุจะลดจนถึงความชื้นสมดุล ซึ่งมีความดันไอภายในวัสดุเท่ากับความดันไอในบรรยากาศ ความชื้นสมดุลของวัสดุเปลี่ยนแปลงไปตาม ชนิดของวัสดุ อุณหภูมิอากาศ และความชื้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของวัสดุกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิค่าหนึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูปตัว S ดังแสดงใน รูปที่ 2.6 เรียกว่าไอโซเทอม



รูปที่ 2.6 ความชื้นสมดุลไอโซเทอมของข้าวสาลีที่อุณหภูมิ 35 ^{O}C

(Bala,1997 อ้างถึงใน เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551,หน้า 12)

ค่าความชื้นสมดุลของวัสดุหาได้จาก การนำเอาวัสดุไว้ในที่สภาวะอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศคงที่เป็นเวลานานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความชื้นกับบรรยากาศแวดล้อมอย่างสมบูรณ์ ซึ่งวิธีการหาค่าความชื้นสมดุลที่วัสดุเกษตรและอาหารหลายชนิดจะใช้การนำเอาวัสดุใส่ไว้ด้านบนตะแกรงซึ่งอยู่ในภาชนะปิดสนิทที่บรรจุสารละลายเกลือหรือกรดอิ่มตัวซึ่งจะให้สภาวะอากาศภายในภาชนะ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความชื้นสัมพัทธ์สมดุลของสารละลายอิ่มตัวบางชนิด

Salt	Equilibrium relative humidity (%)		
	30 ^{O}C	40 ^{O}C	50 ^{O}C
KOH	7.38	6.26	5.72
$MgCl_2$	32.38	31.59	30.54
N_2CO_3	43.17	42.30	40.91
$NaNO_3$	72.75	71.00	69.04
KCl	83.62	82.32	81.26
$BaCl_2$	89.90	89.10	88.23

(Lahsasni et al,2002 อ้างถึงใน เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551, หน้า 14)

2.4.6 ประเภทการอบแห้งแบบต่างๆ

1) การอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์

เนื่องจากประเทศไทยอยู่บริเวณศูนย์สูตรซึ่งมีศักยภาพด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง และสืบเนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม พืชผลทางการเกษตรมากมาย เพื่อเพิ่มมูลค่า ยืดอายุการจัดเก็บ หรือความสะดวกต่อการขนส่ง การอบแห้งหรือตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ก็เป็นทางเลือกที่เกษตรกร หรือผู้ประกอบการเลือกใช้ เนื่องจาก ต้นทุนต่ำ และมีอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ปัจจุบันประเทศไทยหลายหน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชน ได้ให้ความสำคัญกับการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น เนื่องจากกระแสการอนุรักษ์พลังงาน และลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล จึงเกิดการพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีรูปแบบพัฒนาหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น เครื่องอบแห้งแบบธรรมชาติ แบบบังคับ หรือแบบมีตัวรับรังสี แต่ยังไม่ได้รับความนิยมมากนักในระดับเกษตรกร ครัวเรือน หรือระดับชุมชน เนื่องจากปริมาณการอบยังมีปริมาณน้อย ขาดการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่เหมาะสม และความไม่แน่นอนของปริมาณแสงอาทิตย์ แต่อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ก็ยังมีข้อดี กว่าการใช้แหล่งความร้อนจากเชื้อเพลิงอื่น ๆ (ทนงศักดิ์ วัฒนา, 2554)

2) การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน

การอบแห้งโดยใช้ลมร้อน มีหลักการทำงานโดยใช้กระแสลมร้อน สัมผัสกับวัตถุดิบ เช่น เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบตู้หรือถาด มีลักษณะเป็นตู้ที่บุด้วยวัสดุที่เป็นฉนวน มีถาดสำหรับวางอาหารที่จะอบ โดยพัดลม เครื่องมือชนิดนี้จะใช้อบอาหารที่มีปริมาณน้อย หรือสำหรับงานทดลอง เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบต่อเนื่อง มีลักษณะคล้ายอุโมงค์ เมื่อนำวัสดุที่ต้องการอบแห้งวางบนสายพานที่เคลื่อนผ่านลมร้อนในอุโมงค์ เมื่อวัสดุเคลื่อนออกจากอุโมงค์ก็จะแห้งพอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับอุณหภูมิของลมร้อน และความเร็วของสายพาน ที่เคลื่อนผ่านลมร้อนในอุโมงค์ ตัวอย่างอาหารเช่น ผักหรือผลไม้อบแห้ง และเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย การทำงานของเครื่องอบแบบนี้ คือ ของเหลวที่ต้องการทำให้แห้งต้องฉีดพ่นเป็นละอองเข้าไปในตู้ที่มีลมร้อนผ่านเข้ามา เมื่อละอองของวัสดุที่ต้องการอบแห้ง และลมร้อนสัมผัสกันจะทำให้น้ำระเหยออกไป แล้วอนุภาคที่แห้งจะลอยกระจายในกระแสลม เข้าสู่เครื่องแยกเป็นผงละเอียดแล้วนำวัสดุผงนั้นบรรจุในภาชนะต่อไป เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป ไข่ผง น้ำผลไม้ผง เป็นต้น(สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน)

3) การอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

ประกอบด้วยลูกกลิ้งทำด้วยเหล็กไร้สนิม อาจเป็นแบบลูกกลิ้งคู่ หรือลูกกลิ้งเดี่ยวก็ได้ ภายในมีลักษณะกลวง และทำให้ร้อนด้วยไอน้ำ ป้อนวัสดุที่ต้องการอบแห้งเข้าเครื่องตรงผิวนอกของลูกกลิ้งเป็นแผ่นฟิล์มบาง ๆ แผ่นฟิล์มของวัสดุที่แห้งติดบนผิวหน้าของลูกกลิ้ง แซะออก โดยใบมีดที่ติดให้ขนานกับผิวหน้าของลูกกลิ้ง จะได้ผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เป็นแผ่นบาง ๆ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน)

4) การอบแห้งแบบเยือกแข็ง

ประกอบด้วยเครื่องที่ทำให้อาหารเย็นจัด แผ่นให้ความร้อน และตู้สูญญากาศ หลักการในการทำแห้งแบบนี้ คือ การไล่น้ำจากอาหารออกไป ในสภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็ง แล้วกลายเป็นไอหรือที่เรียกว่าเกิดการระเหิดขึ้นภายในตู้สูญญากาศผลิตภัณฑ์เยือกแข็งจะวางอยู่ในถาด และถาดวางอยู่บนแผ่นให้ความร้อน ถ้าใช้ไมโครเวฟในกระบวนการอบแห้งร่วมกับการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จะช่วยลดเวลาของการทำแห้งลงไป อย่างผลิตภัณฑ์ที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด ในการอบแห้งวิธีนี้ คือ กาแฟผงสำเร็จรูป(สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน)

5) การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟ

เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดย การแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่น ที่ผ่านเข้าไปซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้ว เพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมา จึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่นในการกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออกแต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบใช้ลมร้อน การอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟจะช่วยลดเวลาเหลือเพียงหนึ่งในห้า ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และผลิตภัณฑ์ที่จะมีคุณภาพดี และมีสีสวย (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน)

2.5 เตาอบไมโครเวฟ

เทคโนโลยีไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคม ด้านอุตสาหกรรม และในครัวเรือน โดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป เช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่าง ๆ ที่ความถี่ต่างกัน เช่น สัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์ สัญญาณโทรศัพท์ เป็นต้น ในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิต จะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนสำหรับกระบวนการผลิตต่าง ๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอบแห้งเซรามิค การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อน ใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหารเหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้า

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้ในการผลิตเป็นความร้อนสำหรับใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมในประเทศไทยยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากราคาของเตาอบไมโครเวฟอุตสาหกรรม ซึ่งใช้แมกนีตรอน (Magnetron) หรือแหล่งกำเนิดคลื่นที่มีกำลังวัตต์สูง และมีการทนความร้อนสูงเพื่อจะสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีราคาสูงอยู่ในช่วง 50,000 - 100,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และไม่มีจำหน่ายในประเทศไทยซึ่ง แตกต่างกับเตาอบไมโครเวฟขนาดเล็กที่ใช้ในครัวเรือนที่ใช้งานอย่างแพร่หลายในประเทศไทย และยกระดับการผลิตเป็น Mass production ทำให้ราคาต่ำมากอยู่ในช่วง 1,500 - 2,500 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า แมกนีตรอนที่ใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนสามารถนำมาพัฒนาให้ใช้ได้อย่างต่อเนื่องในงานอุตสาหกรรมได้

2.5.1 หลักการทำงานของเตาอบไมโครเวฟ

หลักการของเทคโนโลยีนี้สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ ผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุ โมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุลเหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่ มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชิ้นวัสดุ ความหนาแน่น และองค์ประกอบอื่น ในการกลายเป็นไอน้ำนั้นจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออก แต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชิ้นวัสดุเอง จึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

2.5.2 หลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุ

จากการศึกษาหลักการเกิดความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟของวัสดุในที่นี้ จะอ้างถึง "*พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ*" ของ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ที่อธิบายถึงกลไกการเกิดความร้อน (Heating mechanism) ไว้ว่าในกระบวนการทำความร้อน ด้วยคลื่นไมโครเวฟนั้น จะต้องอาศัยกลไกลการเปลี่ยนแปลงพลังงาน 2 กลไก คือ การเหนี่ยวนำเชิงไอออนและกลไกการหมุนทั้งสองขั้ว โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กลไกชนิดการเหนี่ยวนำเชิงไอออน (Ionic conduction)

กลไกนี้เริ่มขึ้นเมื่อประจุไอออนซึ่งเกิดการแตกตัวในสารละลายถูกเร่งด้วยแรงของสนามไฟฟ้าที่กระทำ ตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือในน้ำ ซึ่งในสารละลายจะประกอบไปด้วยไอออนของโซเดียม (Na^+) คลอไรด์(Cl^-) ไฮโดรเนียมไอออน(H_3O^+, H^+) และไฮดรอกซิลไอออน(OH^-) ซึ่งเคลื่อนที่โดยสนามไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามกับประจุที่มีอยู่แต่ละไอออน จากการเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้ไอออนชนกับโมเลกุลของน้ำที่ยังไม่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พลังงานจลน์เพิ่มขึ้นเป็นเหตุให้ไอออนเกิดความเร่ง และส่งผลเป็นลูกโซ่ต่อการชนของโมเลกุลอื่นคล้ายกับการชนของลูกบิลเลียด เมื่อค่าประจุเปลี่ยนแปลงไอออนจึงมีความเร่งเพิ่มขึ้นในทิศทางตรงกันข้าม โดยเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดด้วยอัตราความถี่สูงนับล้านครั้งต่อวินาที ทำให้มีการชนและถ่ายเทพลังงานเกิดขึ้นในระดับโมเลกุลอย่างมหาศาล ดังนั้นจึงมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน 2 ขั้นตอน คือ พลังงานของสนามไฟฟ้าถูกเปลี่ยนแปลงไปตามพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบบังคับทิศทาง (Ordered kinetic energy) ซึ่งถูกเปลี่ยนกลับมาเป็นพลังงานจลน์ โดยการเหนี่ยวนำแบบไร้ทิศทาง (Disordered kinetic energy) ณ จุดซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นด้วยกลไกนี้จะไม่ขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิหรือความถี่

2) กลไกการชนิดการหมุนของทั้งสองขั้ว (Dipolar rotation)

สำหรับโมเลกุลหลาย ๆ ชนิด เช่น โมเลกุลน้ำซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสองขั้ว (Dipole)โดยธรรมชาติ หมายถึง โมเลกุลมีสมบัติของการกระจายความจุที่ไม่สมมาตร เมื่อเทียบกับจุดศูนย์กลางส่วนโมเลกุลของสสารชนิดอื่นจะเกิดความไม่สมมาตรได้ หากเกิดการเหนี่ยวนำโดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป ทั้งนี้เพราะสนามไฟฟ้าทำให้เกิดหน่วยแรงเค้นภายในโมเลกุล โดยขั้วทั้งสองได้รับอิทธิพลจากกลไกดังกล่าว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากระทำ ตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2450 MHz สามารถทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4900 ล้านครั้งต่อหนึ่งรอบคลื่น แม้ว่าในตอนที่เริ่มประจุในโมเลกุลจะมีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบหรืออย่างสุ่มก็จะได้รับผลให้มีการจัดเรียงประจุตามทิศทางหรือขั้วของสนามไฟฟ้าที่มากระทำ อย่างไรก็ตามเมื่อสนามไฟฟ้าที่มากระทำมีค่าลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ทำให้ขั้ว

ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าดังกล่าว เปลี่ยนกลับมามีการกระจายตัวอย่างไม่เป็นระเบียบเช่นเดิมคือ การคลายสนาม (Pelaxes) เช่นกัน เมื่อสนามไฟฟ้ามากระทำในทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นการสร้างหรือการจัดเรียง (Alignment) และการคลายสนามที่ความถี่หนึ่งจะเกิดขึ้นนับล้านครั้ง ในหนึ่งวินาที เป็นการแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นศักย์เก็บไว้ในวัสดุแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ หรือพลังงานความร้อนนั้นเอง นอกจากนั้นขนาดของโมเลกุลที่ขึ้นอยู่กับเวลาและอุณหภูมิในขณะที่มีการสร้างหรือการจัดเรียงและการคลายสนามไฟฟ้านั้น จะถูกนิยามเป็นความถี่ของการคลายสนาม โดยโมเลกุลที่มีขนาดเล็ก เช่น น้ำและโมโนเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามมากกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟและมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จึงเป็นเหตุให้การเปลี่ยนพลังงานไปเป็นความร้อนได้ช้าลง ในทางตรงกันข้ามกับโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ เช่น โพลิเมอร์จะมีค่าความถี่ของการคลายสนามน้อยกว่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นได้ในบางสภาวะซึ่ง ก็คือมีการแปลงพลังงานไปเป็นความร้อนได้สูง และนำไปสู่การเกิดปรากฏการณ์เทอร์มอลรันอะเวย์ (Thermal runaway) ในวัสดุได้ง่าย มีข้อสนับสนุนถึงความจริงอย่างหนึ่งที่ว่าของเหลว เช่น น้ำ และโมโนเมอร์จะเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีกว่าโพลิเมอร์ เหตุนี้จึงสามารถนำไมโครเวฟ ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการอบแห้งที่มีองค์ประกอบเป็นของเหลวและโมโนเมอร์ได้

2.5.3 อันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ

จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับวัสดุ ในที่นี้จะอ้างถึง“*พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ*” ของ ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551) ซึ่งได้แบ่งประเภทของวัสดุที่มีอันตรกิริยากับคลื่นไมโครเวฟเป็น 4 ชนิด คือ

1) วัสดุตัวนำไฟฟ้า (Conductors)

วัสดุที่มีอิเล็กตรอนอิสระ (Free electrons) เช่น โลหะที่สามารถสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคล้ายกับแสงซึ่งสะท้อนเมื่อกระทบกับกระจกปกติวัสดุเหล่านี้ถูกใช้ออกแบบเป็นบริเวณกักเก็บคลื่นเพื่อควบคุมทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นเป็นผนังท่อนำคลื่น และคาวิตี้หรือแอพพลิเคเตอร์

2) วัสดุฉนวนไฟฟ้า (Insulators)

วัสดุประเภทไม่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เช่น เซรามิคและอากาศ โดยฉนวนนี้จะสามารถสะท้อนและดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ไปจนถึงส่งผ่านคลื่นได้ โดยปกติจะถูกใช้เป็นวัสดุห่อหุ้มหรือบรรจุวัสดุที่ต้องการทำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ฐานรองรับจาน และวัสดุอื่นๆ

3) วัสดุไดอิเล็กตริก (Dielectric)

วัสดุที่สามารถดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและแปลงเป็นพลังงานความร้อนได้ เช่น น้ำ น้ำมัน ไม้ และอาหารที่มีความชื้น เป็นต้น

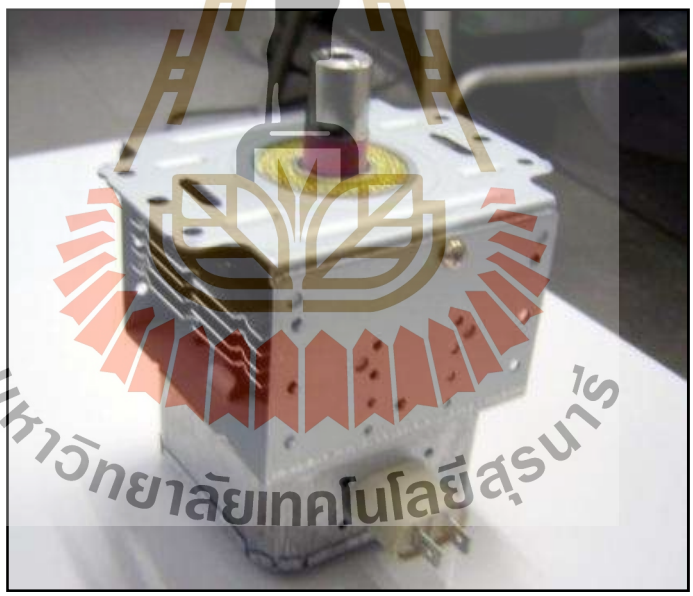
4) วัสดุที่มีองค์ประกอบของแม่เหล็ก (Magnetic compounds)

วัสดุประเภทนี้ เช่น แร่เหล็ก จะมีอันตรกิริยากับองค์ประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า กล่าวคือ สนามแม่เหล็กแปลงสภาพจนเกิดเป็นความร้อนอย่างรวดเร็ว

2.5.4 องค์ประกอบของเตาอบไมโครเวฟ

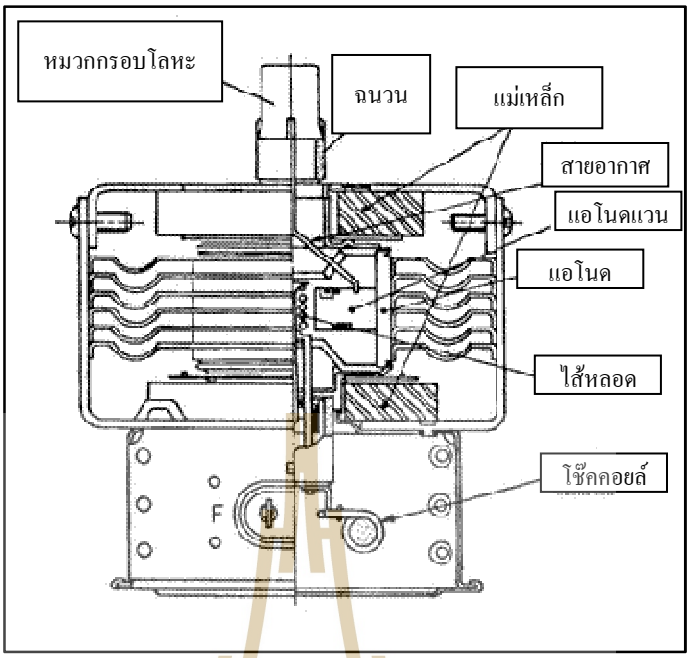
1) แหล่งกำเนิดคลื่น

แมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่น ความถี่ 2450 MHz ลักษณะภายนอกของแมกนีตรอน ดังแสดงใน รูปที่ 2.7 ส่วนโครงสร้างภายในของแมกนีตรอนประกอบไปด้วย แอโนด (Anode) สายอากาศ (Antenna) ไส้หลอด (Filament or Heater) ซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด (Cathode) และอื่น ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 2.8



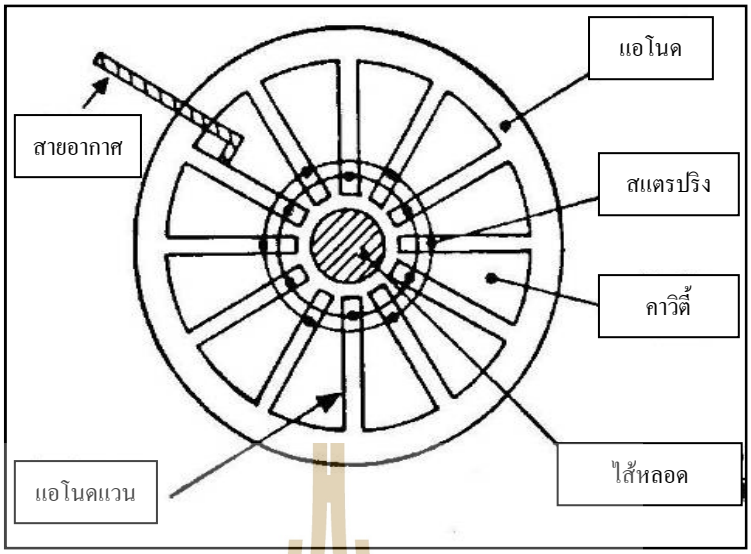
รูปที่ 2.7 แมกนีตรอน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบภายในของแมกนีตรอน (ที่มา: เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.9 ขั้วแอโนดของแมกนีตรอน (ที่มา: เทวรัตน์ ทิพยวิมล, 2551)

รูปที่ 2.9 แสดงขั้วแอโนด ซึ่งทำเป็นครีบโลหะต่อกับวงแอโนดด้านนอก พุ่งเข้าไปหาแคโทดภายในตรงกลาง ซึ่งครีบนี้เรียกว่าแอโนดเวน (Anode vane) ปกติมักจะมีจำนวนครีบเป็นเลขคู่ โดยมีช่องว่างระหว่างครีบเรียกว่า เคาวิตี้ (Cavity) ภายในหลอดแมกนีตรอนนี้เป็นสูญญากาศ ตัวสายอากาศถูกต่ออยู่ที่ครีบและออกสู่ภายนอกโดยผ่านยอดกลม(Dome) ซึ่งทำเป็นฉนวนกันสายอากาศชื้อตกับขั้วแอโนดฉนวนนี้มักทำด้วยเซรามิค ต่อจากปลายของสายอากาศ เหนือฉนวนขึ้นไปจะทำเป็นหมวกทรงกระบอกกลม (Cap) มาครอบอีกครั้งหนึ่ง

2) วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง

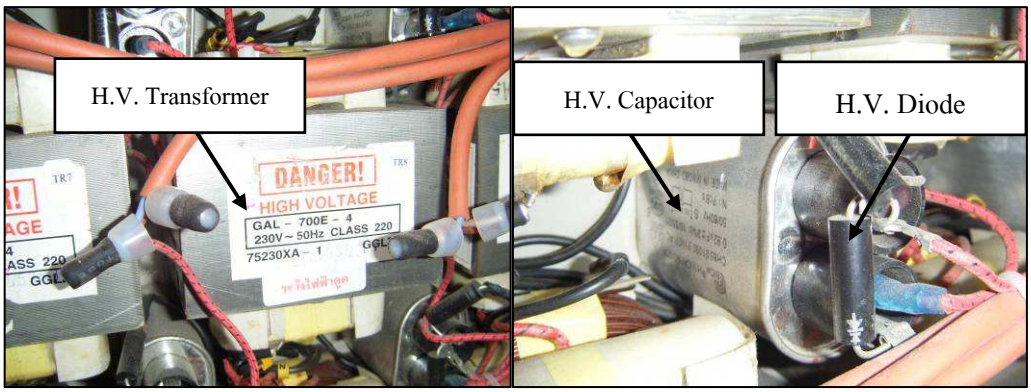
ชุดวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงประกอบด้วย High Voltage Transformer High Voltage Diode และ High Voltage Capacitor เพื่อสร้างความต่างศักย์ของแรงดันระหว่างขั้วแอโนดและแคโทด ลักษณะของอุปกรณ์วงจรสร้างความดันไฟฟ้าสูง ดังแสดงใน รูปที่ 2.10

3) ท่อนำคลื่น (Wave guide)

โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นท่อกลมหรือท่อเหลี่ยม ทำมาจากทองแดงหรืออะลูมิเนียม ทำหน้าที่นำคลื่นจากแมกนีตรอนไปสู่ห้องอบ

4) ห้องอบ (Cavity)

ห้องอบประกอบด้วยทางเข้าออกของวัสดุ ช่องระบายความชื้น ทางออกของคลื่น และอุปกรณ์กวนคลื่นสำหรับสร้างความสม่ำเสมอของการกระจายคลื่น โดยห้องอบจะถูกออกแบบให้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอก(ไม่เกิน 10 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร)



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าสูง

5) ระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอน

การทำงานของแมกนีตรอนจะมีความร้อนเกิดขึ้นบริเวณโดยรอบ ต้องมีการระบายความร้อนออกโดยทั่วไป ใช้พัดลมเป่าผ่านแมกนีตรอนสำหรับเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน สำหรับในเตาอบไมโครเวฟที่ใช้ในอุตสาหกรรมระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนจะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ เช่น การใช้น้ำเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น

6) ระบบควบคุม

เตาอบไมโครเวฟมีระบบควบคุมการทำงานของ ส่วนประกอบของเครื่องเช่น การทำงานของแมกนีตรอน การทำงานของพัดลม และอุปกรณ์อื่น ๆ ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาพบว่าที่ผ่านมามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเตาอบไมโครเวฟและลมร้อนมาประยุกต์ใช้เพื่อการอบแห้งวัสดุ ซึ่งมีรายละเอียดสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ (2545) ได้ศึกษาผลของความดัน (21, 35 และ 48 กิโลปาสคาล) ปริมาณพริกไทย (200, 400 และ 800 กรัม) และความเร็วรอบในการหมุนโรตารีดรัม (7, 13, 18 และ 22 รอบต่อนาที) ที่มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น และอุณหภูมิขณะทำแห้งพริกไทยด้วยระบบสูญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทยพบว่าช่วงที่ทำการศึกษาทั้ง 3 ปัจจัยไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และอัตราการทำแห้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อัตราการทำแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อลดความดันลง และความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟเพิ่มขึ้น (ปริมาณพริกไทยลดลง)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มยุรี ปฏิมาพรเทพ (2546) ได้อธิบายถึงกระบวนการอบแห้งว่าเป็นกระบวนการกำจัดน้ำในผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมเกษตร ที่ใช้แปรรูปหรือควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์โดยวิธีการที่ใช้ในการอบแห้งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่น่าสนใจ คือ วิธีการอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟ เนื่องจากการอบแห้งด้วยวิธีนี้จะมีการแพร่กระจายของคลื่นไมโครเวฟไปทั่วทุกทิศทาง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงมีสีสันสวยงาม

Tomas Funebo and Thomas Ohlsson (1998) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนในการลดความชื้นของแอปเปิ้ลและเห็ดหอม ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพในด้านสีที่ดีใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์สดและสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ 50 และ 75% สำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ลและการอบแห้งเห็ดหอม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว

Sharma G.P. and Suresh Prasad (2001) ได้ทำการอบแห้งกระเทียมโดยใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ ขนาด 40 วัตต์ ต่อเนื่องพบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟสามารถลดเวลาในการอบแห้งลงได้ 80 ถึง 90% เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียวและให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ดีกว่า

เทวรัตน์ ทิพยวิมล (2551) ได้ศึกษาการนำพลังงานไมโครเวฟมาใช้ร่วมกับการอบแห้งเพื่อทำการพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน ให้สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ในเบื้องต้นได้ทำการหาแนวทางในการเสริมพลังงานไมโครเวฟเข้ากับระบบการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยดัดแปลงตู้อบไมโครเวฟเป็นตู้อบลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ แล้วทำการทดลองอบแห้งพริก และไพล พบว่าการอบแห้งเป็นช่วงใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด มีอัตราการอบแห้ง และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์ จากนั้นได้ทำการออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟขึ้น โดยมีชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ หรือแมกนีตรอนขนาด 700 วัตต์ จำนวน 3 ชุด แล้วทดสอบประสิทธิภาพการอบแห้งเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียวโดยใช้พริก และไพล ซึ่งผลจากการทดสอบอบแห้งพริก พบว่าการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ 25% และลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลงได้ 21.91 % สำหรับผลการอบแห้งไพลพบว่าการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟในระบบการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ 20% และลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลงได้ 15.64% นอกจากนี้สีของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งยังสดกว่าสีของผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดและสารประกอบทางเคมี ในไพลไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับไพลสด

I.Albas Ozkan, B.Akbudak and N.Akbudak (2005) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งผักขม พบว่าผักขมที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟมีคุณภาพดีและใช้พลังงานในการอบน้อย

Y.Soysal (2004) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งผักชีฝรั่ง แล้วพบว่าสีของผักชีฝรั่งแห้งยังคงสีเขียวเหมือนขณะที่ยังสดและสามารถลดเวลาการทำแห้งลง 64%

จันทรา ดิษฐนา (2549) ได้ทำการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟในการผลิตดอกไม้แห้ง โดยการนำดอกไม้ฝังไว้ในซิลิกาเจล แล้วนำเข้าเตาอบไมโครเวฟ น้ำที่ระเหยออกจากดอกไม้จะถูกดูดซับด้วยซิลิกาเจล ทั้งนี้เวลาที่ใช้นั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับดอกไม้แต่ละชนิด วิธีการนี้ดอกไม้แห้งจะมีคุณภาพสีค่อนข้างดีแต่ดีไม่เท่ากับการทำแห้งด้วยความเย็น

Tulasidas T.N., G.S.V. Raghavan and A.S. Mujumdar (1995) ได้ใช้เตาอบไมโครเวฟอบแห้งองุ่นเพื่อทำลูกเกดร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยทำการศึกษาปัจจัย คือ อุณหภูมิของอากาศ ความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟ ความเร็วอากาศต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานและคุณภาพของลูกเกดที่ได้ นอกจากนี้ยังได้ทำการหาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทำให้ได้คุณภาพของลูกเกดที่ดีกว่า ส่วนการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและความหนาแน่นของพลังงานไมโครเวฟจะทำให้คุณภาพของลูกเกดลดลง เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของลูกเกดที่ได้จากการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับอากาศร้อนกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พบว่า ลูกเกดที่ได้มีคุณภาพในด้านความสว่างของสีที่ดีกว่า

ซึ่งโดยสรุป จากตัวอย่างงานวิจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเป็นข้อยืนยันได้ถึงข้อดีของเตาอบไมโครเวฟและลมร้อน ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี สามารถยืดอายุการเก็บรักษาใช้พลังงานน้อยไม่มีของเสียออกจากระบบ และเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานด้านอุตสาหกรรมการเกษตรที่เป็นอุตสาหกรรมหลักของประเทศไทย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
เครื่องมือและวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของตัวอย่างที่ใช้ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดประกอบไปด้วย ชื่อ รุ่น ขนาด และมาตรฐาน รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน ได้แก่ การปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟ แบบสายพานร่วมกับลมร้อน การทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่พัฒนาขึ้น การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน การตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และการศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนดังนี้

3.2 ตัวอย่าง

ในการศึกษานี้ใช้พริกชี้ฟ้าซื้อจากตลาดสด ไม่สนใจสายพันธุ์ มีลักษณะผิวสีแดงสด ดังแสดง ในรูปที่ 3.1 และไม่ใช้พริกไม่สุกหรือพริกที่มีผิวสีเขียว เนื่องจากพริกแห้งที่ได้จากพริกที่มีผิวสีเขียวจะมีลักษณะผิวเป็นสีดำ

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างพริกที่ใช้ในการศึกษา

3.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

อุปกรณ์ เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ใช้ในงานนี้ แสดงไว้ในตารางที่ 3.1 ถึง 3.2 และรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือวัด และพารามิเตอร์ที่ศึกษา

ลำดับ	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	ยี่ห้อ/รุ่น	พารามิเตอร์
1	เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์	DIGICON/DP 88	อุณหภูมิผิวพริก/น้ำ
2	นาฬิกาจับเวลา	-	เวลา
3	เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	FLUKE /43	พลังงานไฟฟ้า
4	เทอร์โมคัปเปิล	Type K	อุณหภูมิห้องอบ
5	เครื่องวัดความเร็วลม/อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์	Windspeed Meter/8918	ความเร็วลม/อุณหภูมิลม/ความชื้นสัมพัทธ์
6	เครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่น	Microwave leakage detector/cem DT-2G	การรั่วไหลของคลื่น
7	เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง	Sartorious	น้ำหนัก
8	เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง	Sartorious	น้ำหนัก
9	เครื่องวัดสี	Hunter Lab Color Quest XE	สีพริก
10	มิเตอร์ไฟฟ้า	-	พลังงานไฟฟ้า
11	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์	AH ONE/THI-HP	ความชื้นสัมพัทธ์
13	เตาอบ	Binder	ความชื้น

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

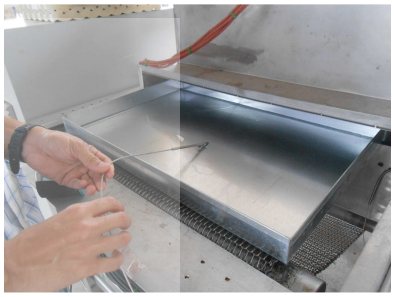
ลำดับ	อุปกรณ์	ยี่ห้อ/รุ่น
1	เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน	MITRON /P70D17L - D5
2	ถ้วยพลาสติก	-
3	ถาดพลาสติก	-
4	บิกเกอร์	-
5	น้ำกลั่น	-
6	กระบอกตวง	-

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เครื่องวัดอุณหภูมิแบบเรเซอร์

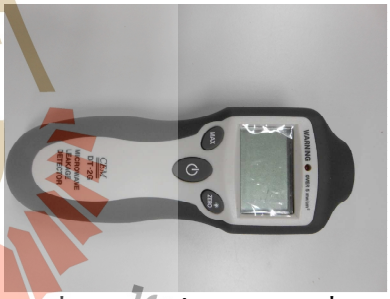
นาฬิกาจับเวลา

มิเตอร์ไฟฟ้า



เทอร์โมคัปเปิล

เครื่องวัดความเร็วลม/อุณหภูมิ/ความชื้นสัมพัทธ์



เครื่องวัดการรั่วไหลของคลื่น

เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

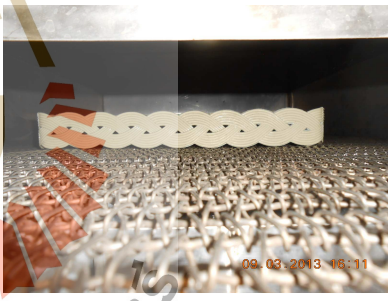
เครื่องวัดสี

กระบอกตวง

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์(ภายนอกระบบ)

เตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน

ถ้วยพลาสติก



ถาดพลาสติก

รูปที่ 3.2 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ (ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีดำเนินการศึกษาการพัฒนาเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแบบต่อเนื่อง ประกอบไปด้วย การสำรวจ และศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ตรวจสอบคุณภาพ และลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนดังแสดงใน รูปที่ 3.3 มีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 สำรวจและศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ทำการรวบรวมข้อมูลสำคัญต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อันเกี่ยวข้องกับงานศึกษาพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิตพริกแห้งนี้ ได้แก่ ลักษณะทั่วไปของพริกประโยชน์ของพริกกระบวนการอบพริกแห้ง รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเตาอบไมโครเวฟ ทฤษฎีการอบแห้ง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงไว้ในบทที่ 2

3.4.2 ปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ในงานนี้ทำการพัฒนาปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใช้ท่อนำคลื่นแมกนีตรอนจากไมโครเวฟแบบครัวเรือนยี่ห้อ MITRON รุ่น P70D17L - D5 ใช้หัวแมกนีตรอนที่หาซื้อได้ตามท้องตลาดทั่วไป ความถี่ 2450 เมกกะเฮริตซ์ จำนวน 6 หัว มีหัวข้อการออกแบบดังนี้

1) การออกแบบห้องอบ

การออกแบบห้องอบ ประกอบด้วย ลักษณะทางเข้า-ออกวัตถุดิบ ระบบระบายความชื้น ตำแหน่งวางหัวแมกนีตรอน ทางเข้า-ออกลมร้อน ชนิดของวัสดุ และอื่นๆ

2) การออกแบบสายพาน

การออกแบบสายพาน ประกอบด้วย ชนิดของสายพาน ขนาดมอเตอร์ ความเร็วสายพาน วัสดุที่ใช้ทำสายพาน และอื่นๆ

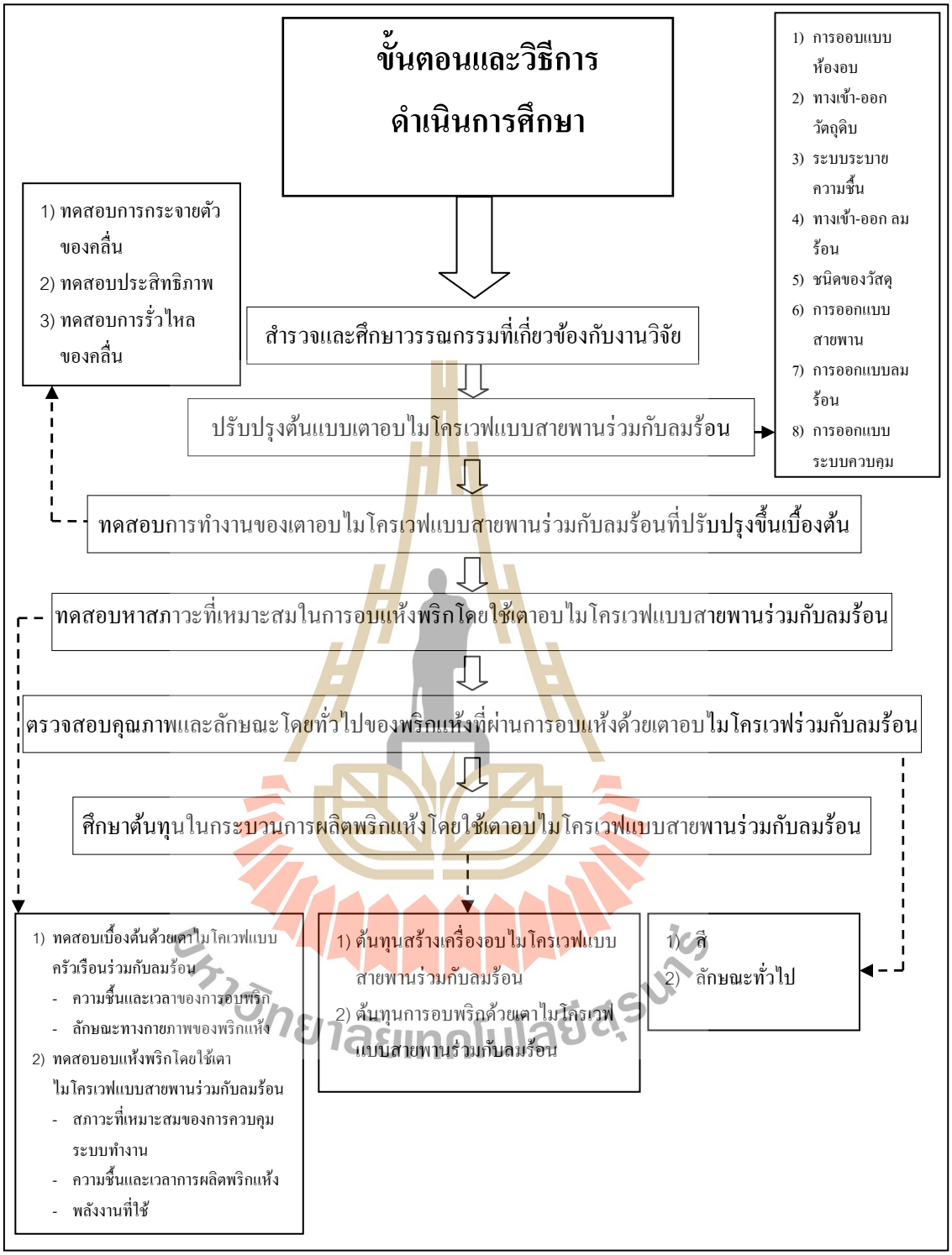
3) การออกแบบระบบลมร้อน

การออกแบบระบบลมร้อน ประกอบด้วย ขนาดมอเตอร์ ความเร็วลม อุณภูมิ และอื่นๆ

4) การออกแบบระบบควบคุม

การออกแบบระบบควบคุม ประกอบด้วย การวางระบบควบคุมการทำงานของสายพาน พัดลมดูดความชื้น เครื่องกำเนิดลมร้อน พัดลมหมุนวนลมร้อน แมกนีตรอน และอื่นๆ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



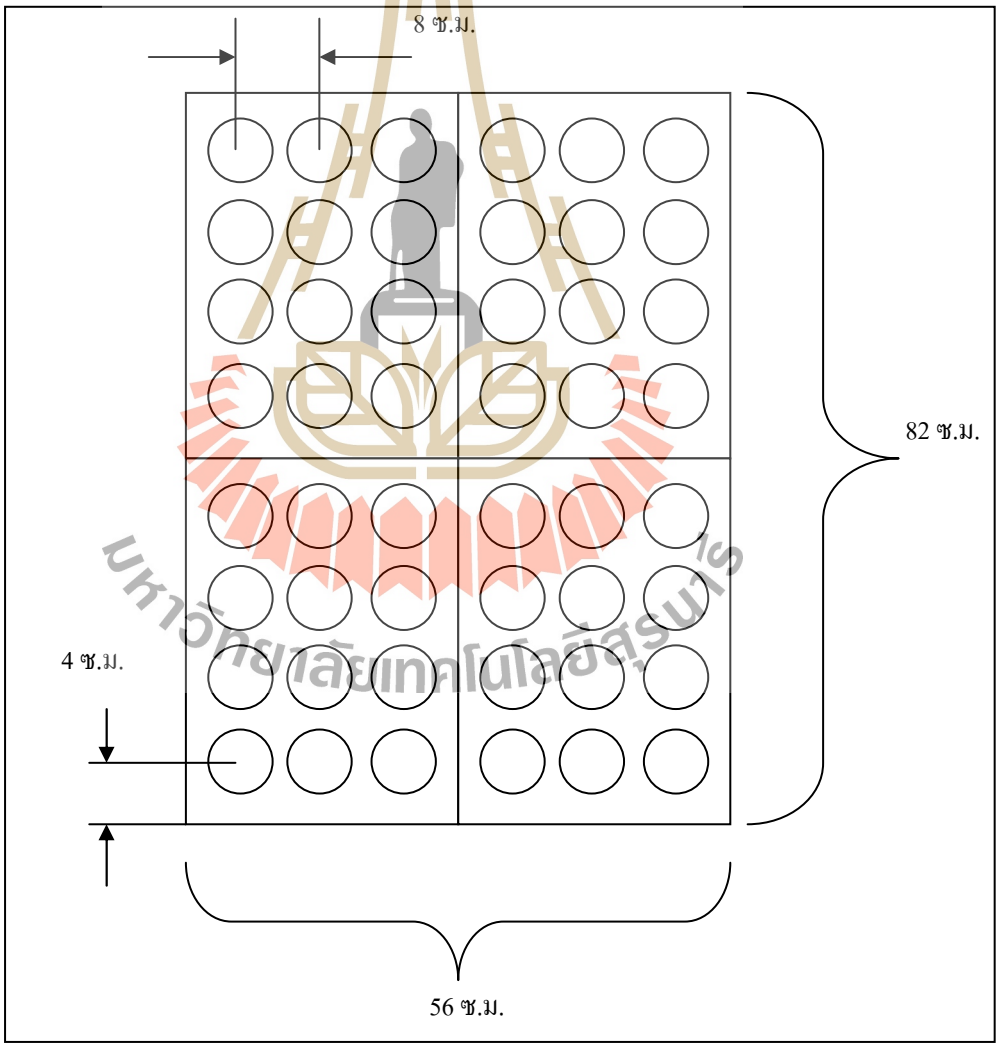
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษา

ข้อมูลการออกแบบแสดงรายละเอียดไว้ใน บทที่ 4 นำแบบมาสร้างเป็นต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้วทำการทดสอบการทำงานต่อไป

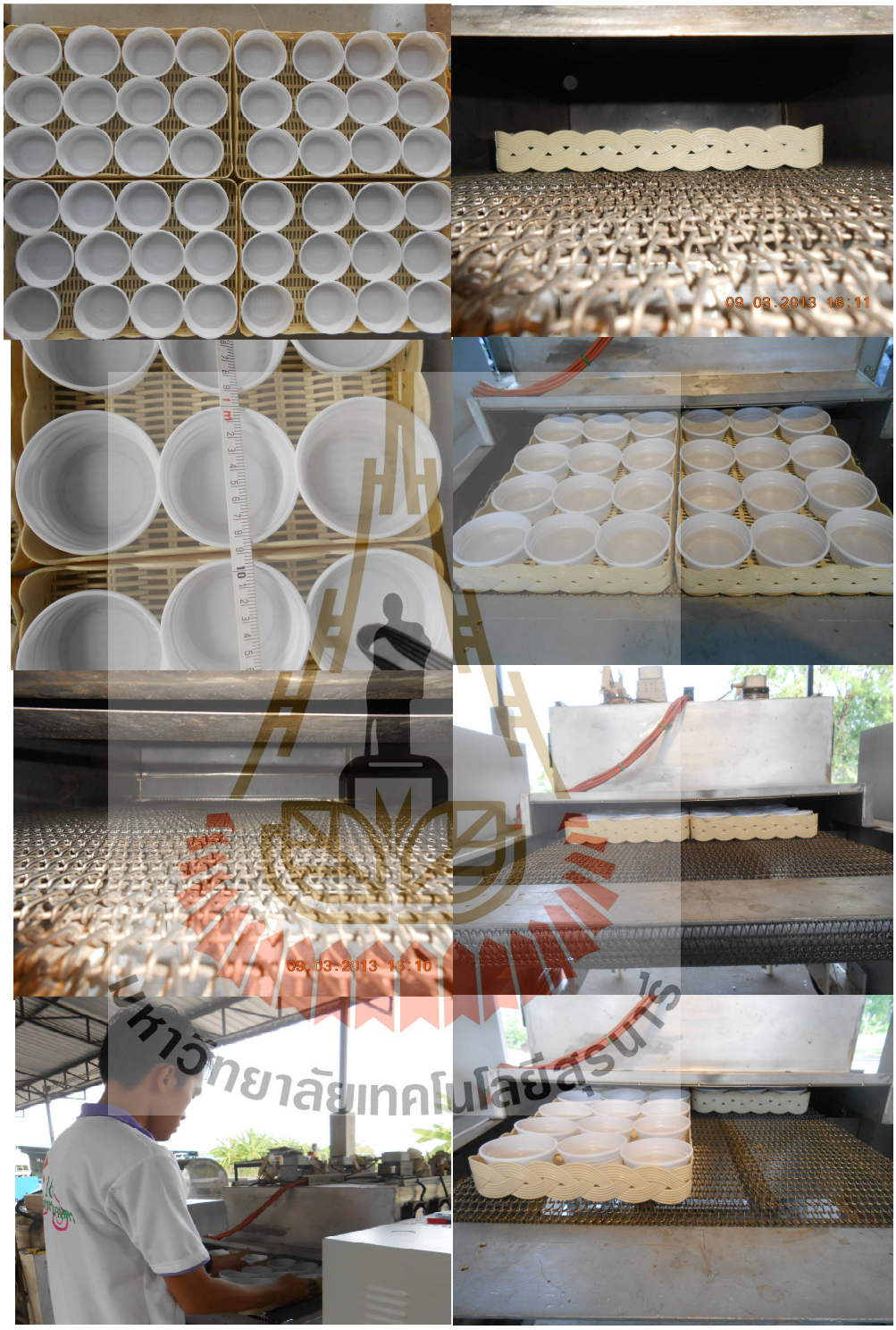
3.4.3 ทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น

1) การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น

เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้วทำการทดสอบการกระจายตัวของคลื่นโดยการนำน้ำใส่ภาชนะที่ยอมให้คลื่นผ่านและไม่ดูดซับคลื่น(ถ้วยพลาสติก จำนวน 12 ใบ/ถาด แต่ละใบบรรจุน้ำ 50 กรัม) จำนวน 4 ถาด นำไปวางในห้องอบแล้วเปิดให้แมกนีตรอนทำงานอย่างเดียว ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นในแต่ละจุดว่ามีความสม่ำเสมอเท่ากันทุกจุดหรือไม่ เพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น ดังแสดงใน รูปที่ 3.4 และ 3.6



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น



รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางภาชนะที่บรรจุน้ำเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น (ต่อ)

รูปที่ 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพและการวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น

2) การทดสอบประสิทธิภาพ

ในการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ใช้ถาดสังกะสีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร และสูง 5 เซนติเมตร บรรจุน้ำ จำนวน 2 ถาด ดังแสดงใน รูปที่ 3.5 วางในเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน แล้วทำการทดสอบหาประสิทธิภาพ 3 กรณี ได้แก่ 1) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดแมกนีตรอนอย่างเดียว 2) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดลมร้อนอย่างเดียว (ควบคุมลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) และ3) ประสิทธิภาพระบบกรณีเปิดแมกนีตรอนร่วมกับลมร้อน (ควบคุมลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) แล้วบันทึกข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.3

รูปที่ 3.5 การทดสอบประสิทธิภาพและการวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของคลื่น (ต่อ)

4) การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

ทดสอบทดสอบการรั่วไหลของคลื่นบริเวณรอบ ๆ ต้นแบบฯ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบประสิทธิภาพ

ลำดับ	ข้อมูลจดบันทึก	สัญลักษณ์
1	เวลาเปิดแมกนีตรอน	t_m
2	เวลาเปิดลมร้อน	t_h
3	เวลาเปิดแมกนีตรอนร่วมกับลมร้อน	t_{mh}
4	น้ำหนักน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	m_1
5	น้ำหนักน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	m_2
6	อุณหภูมิน้ำก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_1
7	อุณหภูมิน้ำหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_2
8	อุณหภูมิภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{o1}
9	อุณหภูมิภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{o2}
10	อุณหภูมิภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{s1}
11	อุณหภูมิภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{s2}
12	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{o1}
13	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{o2}
14	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{s1}
15	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{s2}
16	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด	P

ตารางที่ 3.4 สัญลักษณ์และหน่วย

ลำดับ	สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
1	Eff.	ประสิทธิภาพของระบบ	%
2	Q_{out}	พลังงานที่ได้รับจากระบบ	kJ
3	Q_{in}	พลังงานที่ให้ระบบ	kJ
4	h	ค่าความร้อนแฝงของการเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2,260	kJ/kg
5	Δm or (m_1-m_2)	น้ำหนักของน้ำที่หายไป	g
6	$\mathbf{c_p}$	ค่าความจุความร้อนของน้ำ	kJ/kg C
7	P_w	พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ	kJ
8	P_T	พลังงานที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น	kJ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นำข้อมูลจากการทดลองมาคำนวนหาประสิทธิภาพของระบบ ตามสมการความสัมพันธ์ดังนี้

$$Eff. = [Q_{out}/Q_{in}]x100 \quad (3\text{-}1)$$

$$Q_{out} = P_w + P_T \quad (3\text{-}2)$$

$$P_w = \Delta mh \quad (3\text{-}3)$$

$$P_T = m_2 c_p (T_2 - T_1) \quad (3\text{-}4)$$

$$Q_{in} = P \quad (3\text{-}5)$$

3.4.4 ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

1) ทดสอบเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพริกแห้งใช้พริกแดงสดจากตลาดโดยคัดเลือกเฉพาะเม็ดพริกสีแดงแต่ไม่คัดขนาดแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี กรณีที่1 นำไปอบด้วยลมร้อน กรณีที่ 2 อบด้วยไมโครเวฟ กรณีที่ 3 อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังแสดงในตารางที่ 3.5 แต่ละกรณีใช้พริกสดน้ำหนัก 560 กรัม เท่ากัน วัดอุณหภูมิที่ผิวพริกด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ทุกๆ 30 นาที และนำออกมาชั่งน้ำหนักจนน้ำหนักคงที่ (มีความแตกต่างไม่เกิน 1 กรัม) ผลการทดสอบที่ได้ นำไปใช้กำหนดการควบคุม การทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับ ลมร้อนที่พัฒนาขึ้นต่อไป

ตารางที่ 3.5 สภาวะการทดสอบ

กรณีที่	วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิการอบแห้ง	พารามิเตอร์ที่ศึกษา
1	ลมร้อน	70 ° C	1.ความชื้นพริก
2	ไมโครเวฟ	70 ° C	2.อุณหภูมิที่ผิวพริก
3	ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	70 ° C	3.พลังงานที่ใช้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

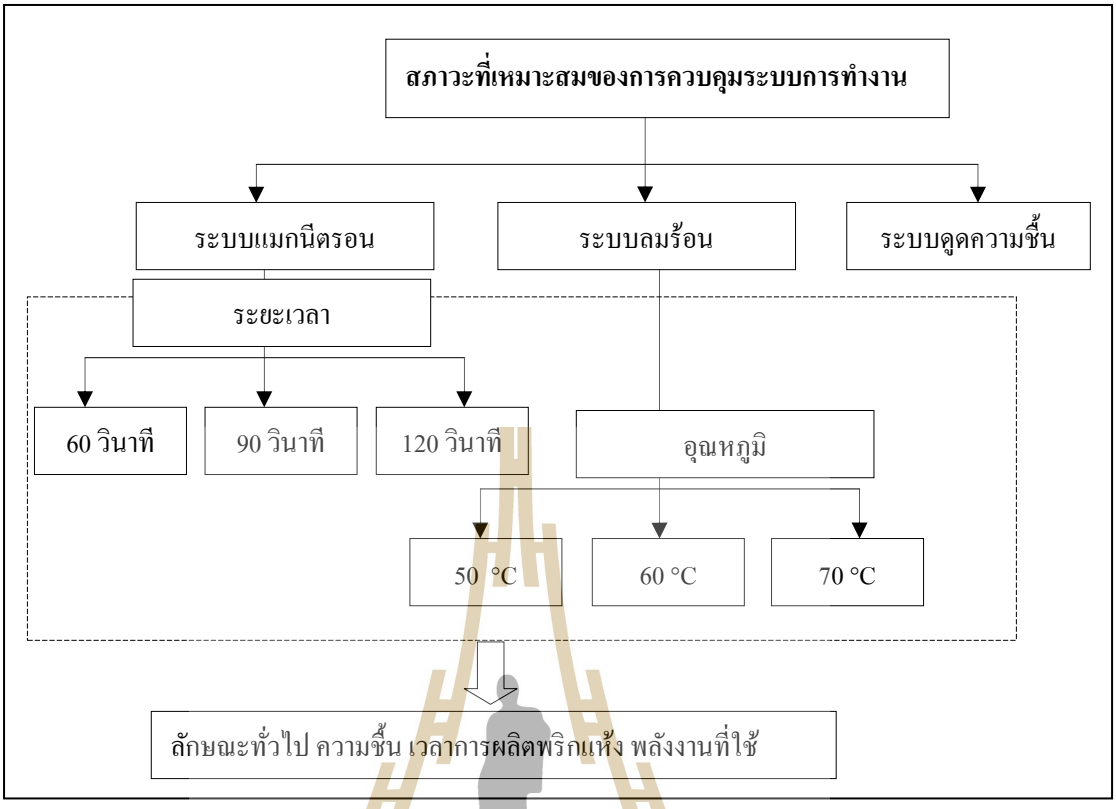
2) ทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

เมื่อปรับปรุงเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้ว นำมาทดสอบอบแห้งพริก โดยใช้พริกสด น้ำหนักเฉลี่ย 3.7 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 73.50-74.00 เปอร์เซนต์ มีวิธีการทดสอบ ดังนี้

ทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่พัฒนาขึ้น โดยใช้พริกสด น้ำหนัก 900 กรัม ใส่ลงถาดพลาสติกพื้นมีลักษณะเหมือนตะแกรง ขนาดกว้าง 31 เซนติเมตร ยาว 41 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร จำนวน 4 ถาด หรือ 2 กิโลกรัม ต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง ดังแสดงใน รูปที่ 3.6 และบันทึกข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.6

รูปที่ 3.6 ลักษณะการเตรียมพริกก่อนอบแห้ง

ทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงานของระบบแมกนีตรอน ระบบลมร้อน และระบบดูดความชื้นที่ 3 สภาวะ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัด ดังแสดงในรูปที่ 3.8

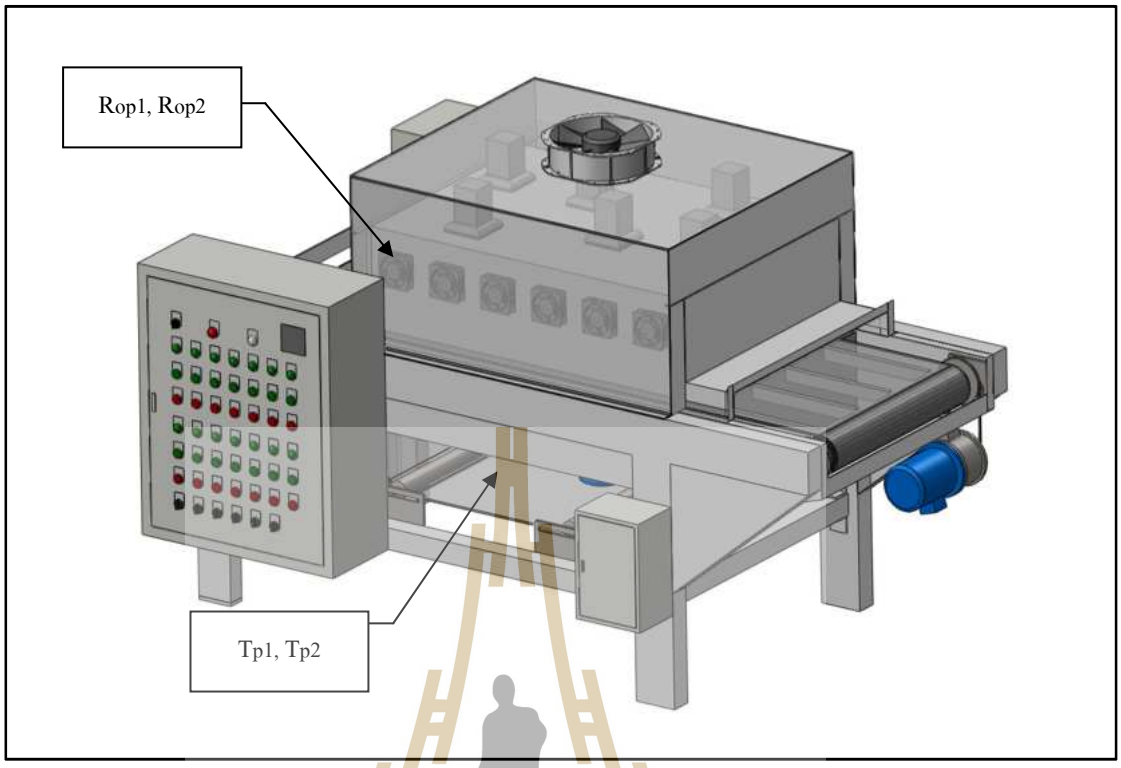


รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน

ตารางที่ 3.6 ข้อมูลจดบันทึกและสัญลักษณ์ของการทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ลำดับ	ข้อมูลจดบันทึก	สัญลักษณ์
1	น้ำหนักพริกก่อนอบ	w_1
2	น้ำหนักพริกหลังอบ	w_2
3	อุณหภูมิภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{p1}
4	อุณหภูมิภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{p2}
5	อุณหภูมิภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{sp1}
6	อุณหภูมิภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	T_{sp2}
7	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{op1}
8	ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{op2}
9	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบก่อนเปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{sp1}
10	ความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกห้องอบหลังปิดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน	R_{sp2}
11	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในการอบพริก	P_p

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

3.4.5 ตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

นำตัวอย่างพริกแห้งที่ผ่านการอบในแต่ละกรณีในข้อ 3.3.4 ไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Color Quest XE) ดังแสดงใน รูปที่ 3.2

3.4.6 ศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

วิเคราะห์ต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน ร่วมกับลมร้อนที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ต้นทุนสร้างเครื่องและต้นทุนการการอบแห้ง ในหน่วยบาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

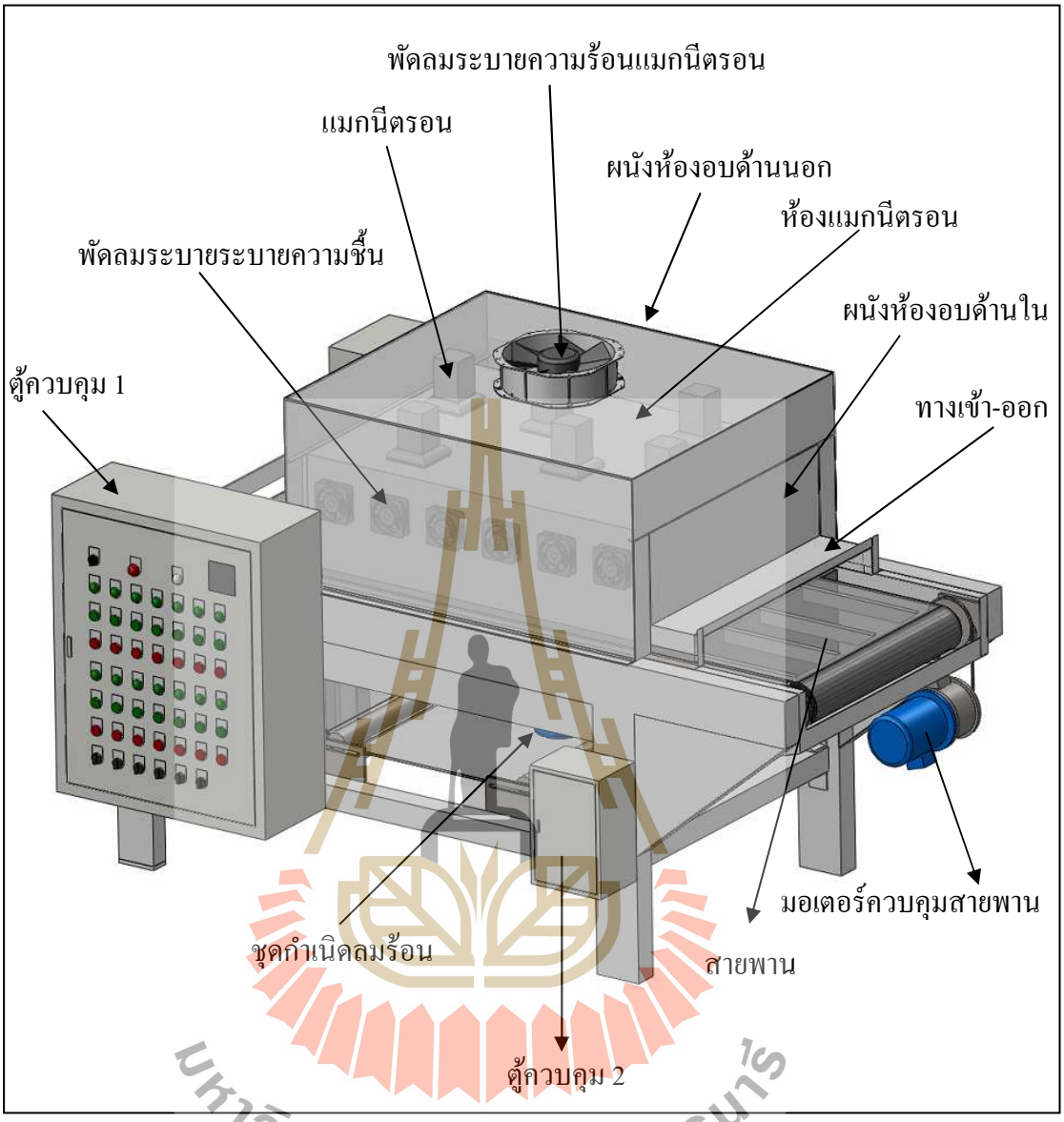
บทที่ 4
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึง รายละเอียดของการปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริก โดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ผลการตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และผลการศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน มีรายละเอียดดังนี้

4.2 การปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ในการปรับปรุงต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้พัฒนาต่อยอดมาจากงานต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพาน (สาวิตรี คำหอม, 2549) โดยการเพิ่มระบบลมร้อนและออกแบบห้องอบใหม่ เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟ ต้นแบบนี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ระบบควบคุม ระบบพัดลมระบายความชื้น ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน ผนังห้องอบ ทางเข้า-ออก วัตถุดิบ ระบบสายพาน ระบบกำเนิดลมร้อน และฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 (แบบละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก) ส่วนประกอบสำคัญแต่ละส่วนได้ทำการออกแบบ และติดตั้งใหม่โดยมีหลักการออกแบบที่ได้จากทฤษฎีและการทดลอง อาทิเช่น การออกแบบตำแหน่งวางแมกนีตรอนนั้นอาศัยการทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว แล้วนำมากำหนดระยะติดตั้งแมกนีตรอนทั้งหมด ในห้องอบ เป็นต้น มีรายละเอียดการออกแบบ ติดตั้ง หลักการทำงาน และลักษณะดังนี้



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.1 แบบ 3 มิติเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

(ก) เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านหน้า

(ข) เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านหลัง

รูปที่ 4.2 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านหน้า - หลัง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(ก) เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านข้าง 1

(ข) เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านข้าง 2

รูปที่ 4.3 ส่วนประกอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนด้านข้าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1) การออกแบบห้องอบ

การออกแบบห้องอบ และส่วนที่มีความสัมพันธ์กันภายในห้องอบใช้หลักการดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 ห้องอบมีขนาดความจุ 210 ลิตร หรือ ขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และ สูง 30 เซนติเมตร ผนังของห้องอบประกอบด้วย ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (ด้านบน) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ (ด้านหน้าและหลัง) ระบบระบายความชื้น (ด้านข้าง 2 ด้าน) และทางเข้า-ออกลมร้อน (ด้านล่าง) มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงหลักการออกแบบห้องอบไมโคเวฟร่วมกับลมร้อน

ลำดับ	การออกแบบ	หลักการ
1	ตำแหน่งวางแมกนีตรอน	การทดลอง
2	ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ	ทฤษฎีและการทดลอง
3	ระบบระบายความชื้น	ทฤษฎี
4	ทางเข้า-ออกลมร้อน	ทฤษฎี
5	ชนิดของวัสดุ	ทฤษฎี

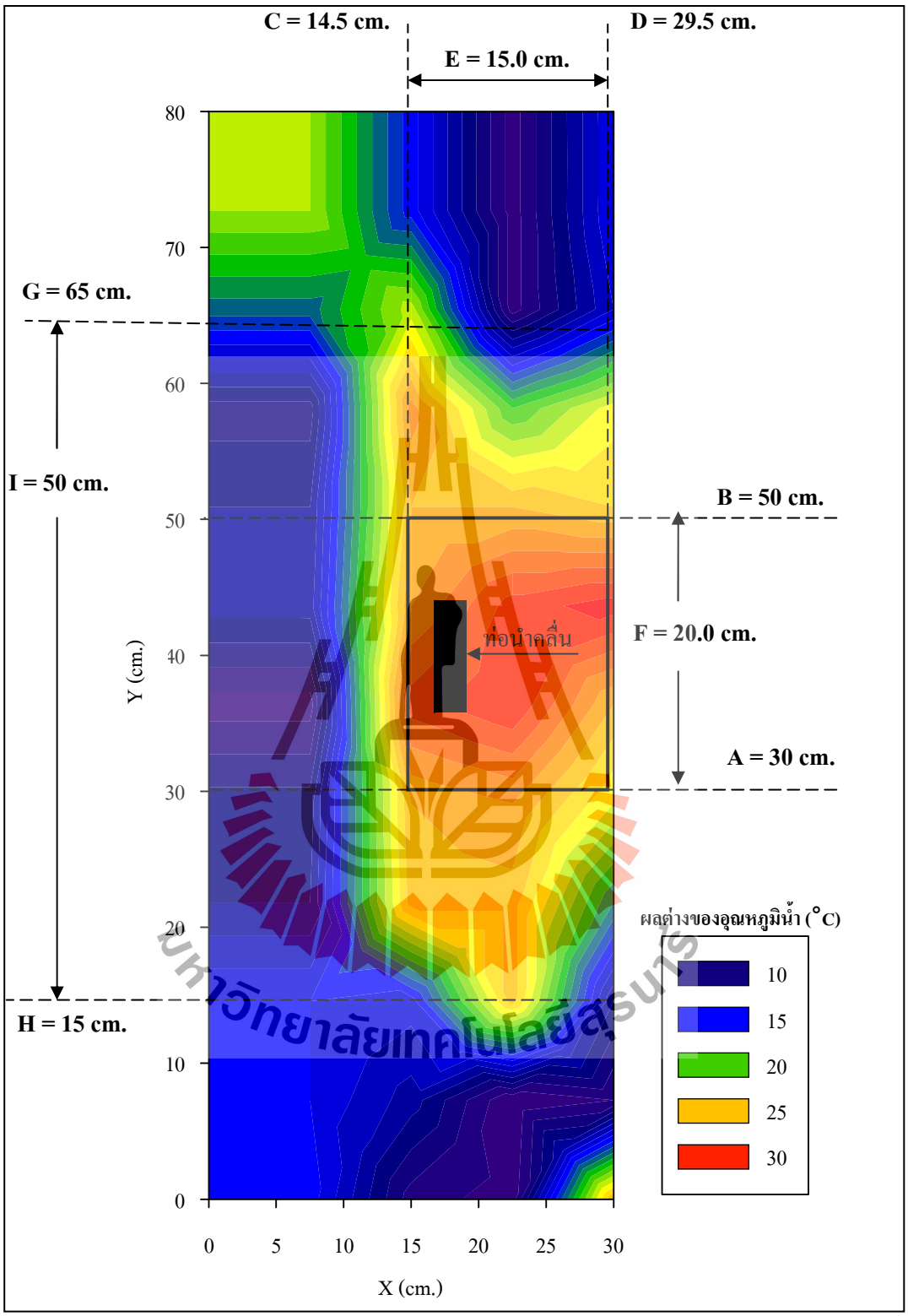
1.1) ตำแหน่งวางแมกนีตรอนและท่อนำคลื่น

การหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางแมกนีตรอนและท่อนำคลื่น ในที่นี้จะใช้แมกนีตรอนและท่อนำคลื่น ที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน ซึ่งราคาถูกและหาซื้อง่าย แต่จากการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของคลื่นแมกนีตรอนจากท่อนำคลื่นและแมกนีตรอนแต่ละตัวนั้นทำนายได้ยาก ซึ่งเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนจะใช้หลักการหมุนอาหารเพื่อให้เกิดการกระจายตัวของคลื่นที่สม่ำเสมอให้อาหารสุกทั่วถึง แต่ในงานด้านการอบแห้งหรืองานในระดับอุตสาหกรรม การให้วัสดุหมุนภายในไมโครเวฟนั้นทำได้ยากและกำลังการผลิตต่ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้ระบบสายพานเข้ามาช่วยทำให้วัสดุรับคลื่นได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ในงานพัฒนาครั้งนี้ ไม่สามารถเคลื่อนที่สายพานขณะอบวัสดุได้ เนื่องจากสายพานที่ออกแบบสำหรับใช้ในงานนี้มีระยะความยาวภายในห้องอบเพียง 100 เซนติเมตร (ข้อจำกัดด้านต้นทุนการสร้างเครื่อง) ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่ได้เคลื่อนที่สายพานขณะอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามสายพานที่งานวิจัยนี้ออกแบบไว้สำหรับระดับพานิชย์นั้นจะเคลื่อนที่พาวัสดุผ่านห้องอบแต่ละห้องภายในระยะเวลาที่กำหนด (ตามระยะเวลาการอบแห้งวัสดุแต่ละชนิด) และวัสดุที่ออกมาจะมีลักษณะแห้งตามความต้องการ รายละเอียดใน หัวข้อ 4.7 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาเพื่อเป็นองค์ความรู้ที่จะพัฒนาเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนในระดับพานิชย์ต่อไป

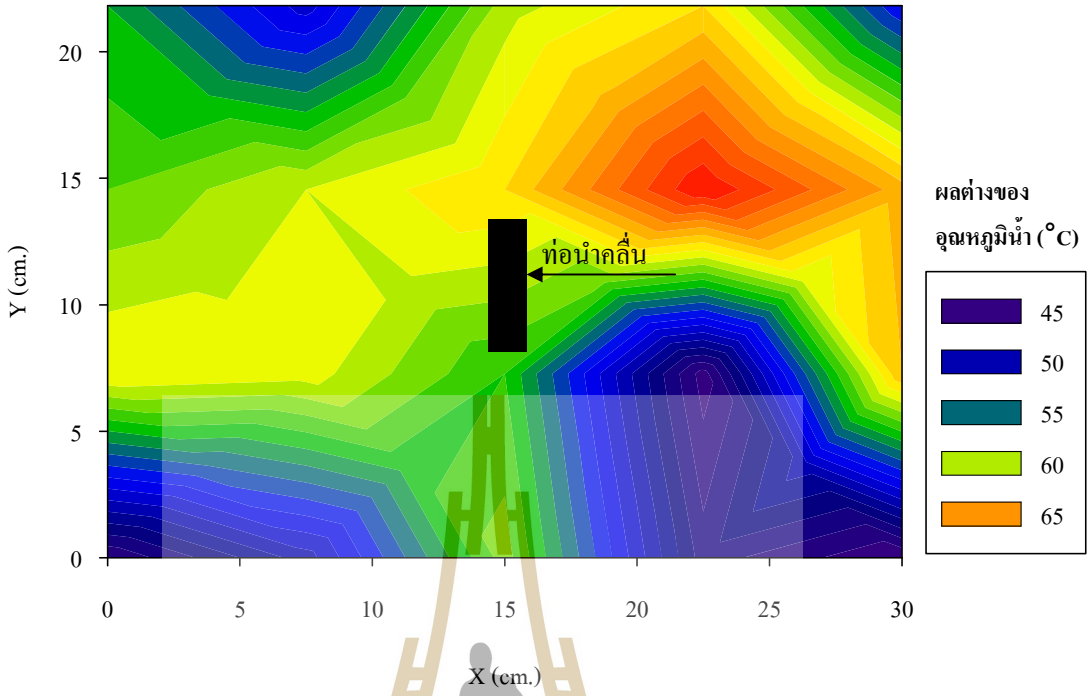
จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างห้องทดสอบการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว ขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร และสูง 30 เซนติเมตร ทำจากเหล็ก ติดตั้งท่อนำคลื่นไว้ด้านบน ไม่มีอุปกรณ์กระจายคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แล้วทำการทดลองกับน้ำ เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของอุณภูมิน้ำในแต่ละตำแหน่งอันแสดงให้เห็นถึงระยะการกระจายตัวของคลื่น

ผลการศึกษาระยะของคลื่นที่กระจายตัวได้ในระยะเวลาเปิดแมกนีตรอน 10 นาที พบว่าการกระจายตัวของคลื่นมีระยะประมาณ กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร (ในที่นี้เลือกระยะที่มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำสูงสุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ทั้งนี้เพื่อเป็นการตรวจสอบระยะการกระจายตัวของคลื่นในระยะดังกล่าว จึงได้ลดระยะของห้องอบลง จากความยาว 80 เซนติเมตร เป็นความยาว 20 เซนติเมตร ส่วนความสูงและความกว้างเท่าเดิม พบว่า ระยะการกระจายตัวของคลื่นมีความสม่ำเสมอขึ้น และเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเปิดแมกนีตรอน ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ถึง 4.8 แต่อย่างไรก็ดีจากภาพลักษณะการกระจายตัวของคลื่นในห้องอบยาว 20 เซนติเมตรนั้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการแพร่กระจายคลื่นออกไปได้อีกหากไม่มีผนัง ดังนั้นในการเลือกระยะการกระจายตัวของคลื่นจึงพิจารณา จากรูปที่ 4.4 โดยเลือกใช้ระยะสำหรับการออกแบบกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร

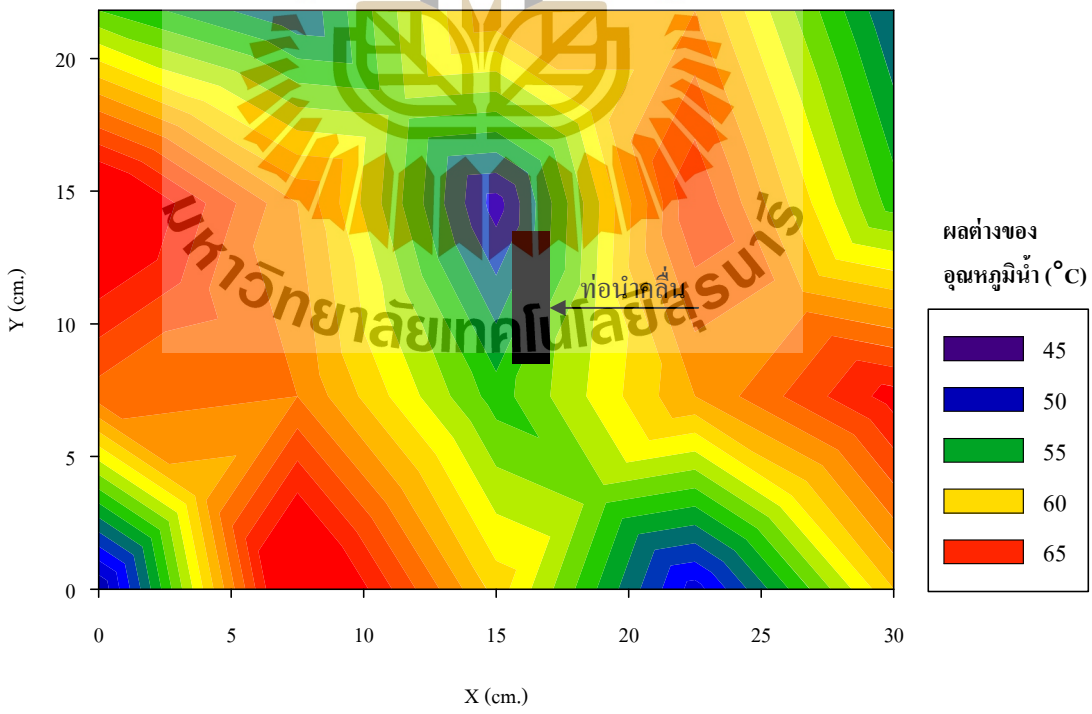
รูปที่ 4.4 การทดลองหาระยะการกระจายตัวของคลื่นจากแมกนีตรอน 1 ตัว



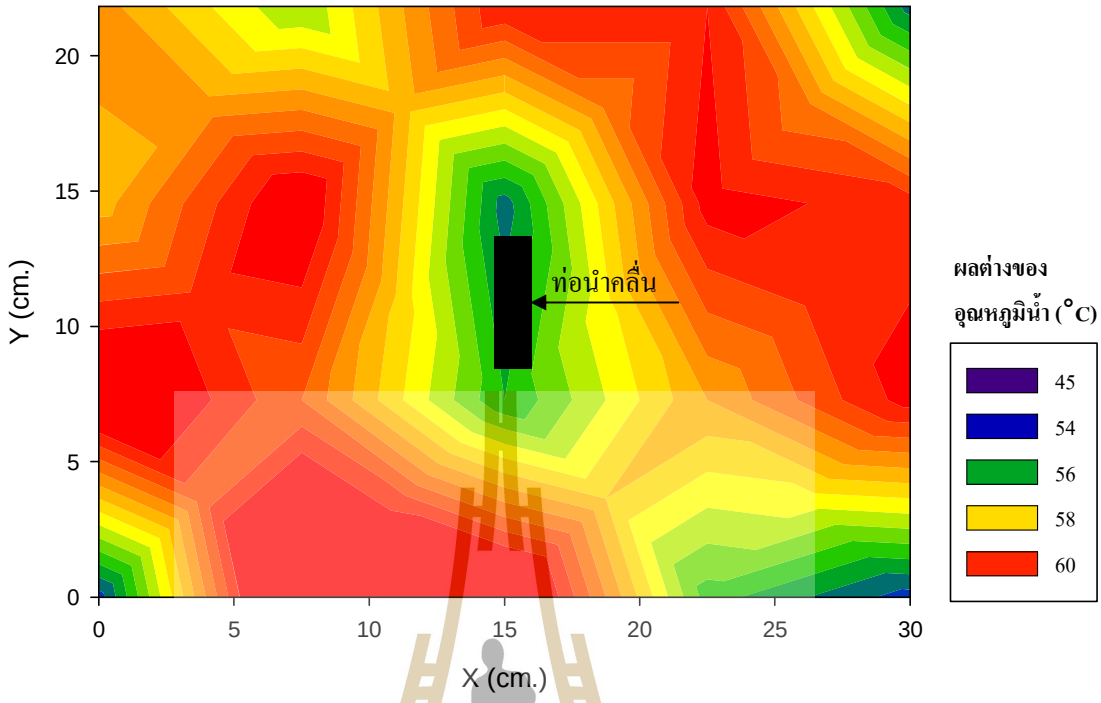
รูปที่ 4.5 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 4.6 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที)



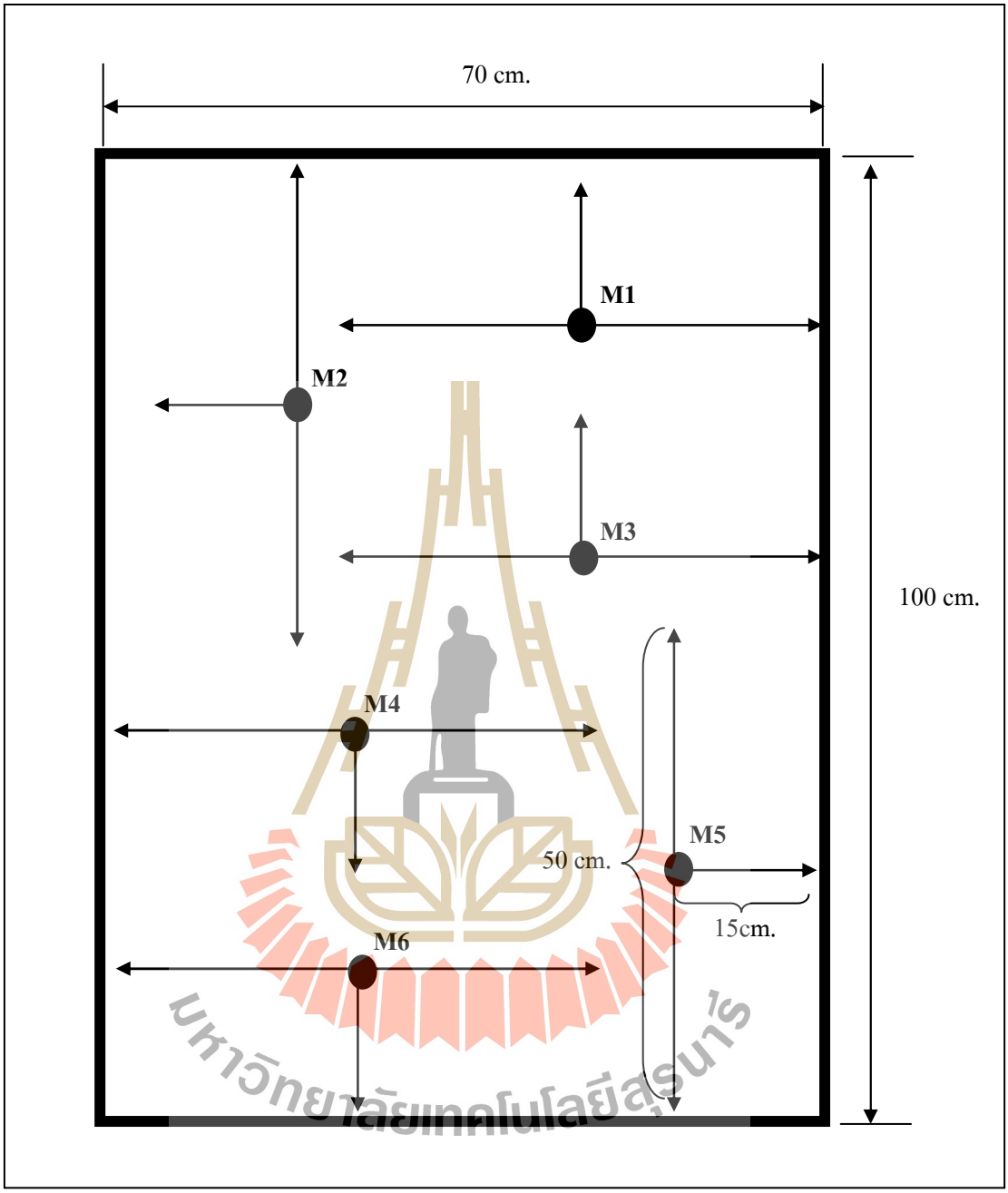
รูปที่ 4.7 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (6 นาที)



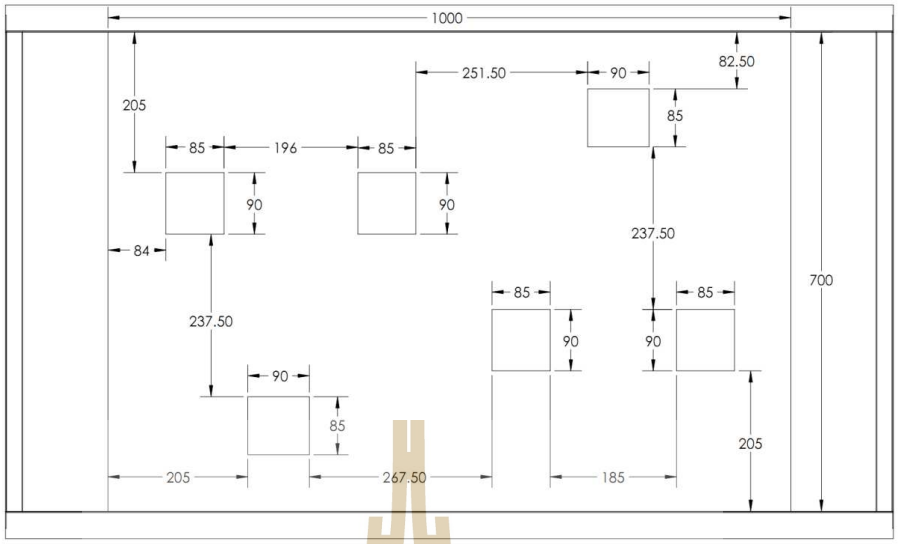
รูปที่ 4.8 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (7 นาที)

ออกแบบระยะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ จำนวน 6 ชุด โดยใช้ระยะการกระจายตัวของคลื่นกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร วางทิศทางการกระจายตัวของคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 4.9 แบบและลักษณะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แมกนีตรอน แต่ละตัว แผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ 2450 MHz กำลัง 1200 วัตต์

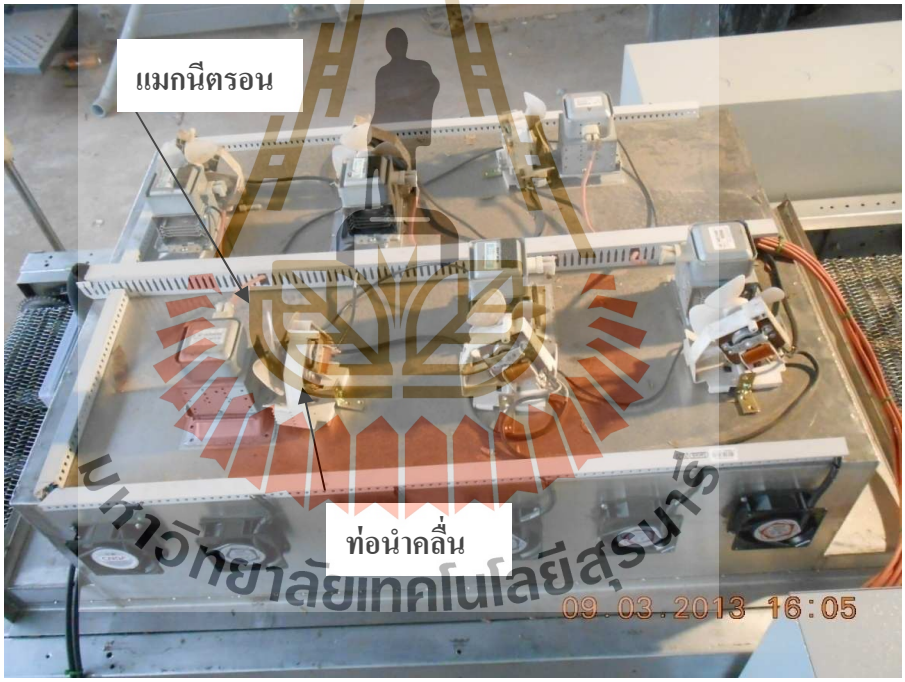
นอกจากนี้การทำงานของแมกนีตรอนยังมีอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับลดอุณหภูมิให้กับแมกนีตรอน คือ พัดลมระบายความร้อน ซึ่งในงานวิจัยนี้ติดตั้งพัดลมลมระบายความร้อน 2 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณด้านบนของผนังห้องอบภายนอก 1 ตัว ความเร็วลม 3.7 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ เป็นพัดดูดอากาศเย็นจากภายนอกแล้วปล่อยเข้าไปในห้องแมกนีตรอน เนื่องจากผนังห้องอบภายนอกทำจากตะแกรงขนาดรูขนาด 2 มิลลิเมตร จึงระบายความร้อนออกผนังห้องอบภายนอก และ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณติดกับแมกนีตรอน ทั้ง 6 ตัว ซึ่งพัดลมแต่ละตัว มีความเร็วลม 3.6 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 1.7 วัตต์ เป็นพัดลมดูดลมอากาศเย็นแล้วปล่อยผ่านครีบระบายความร้อนของแมกนีตรอนแต่ละตัว พัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ตำแหน่งเปิด-ปิด ตามการทำงานของแมกนีตรอน ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 ทิศทางการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ ภายในห้องอบ



(ก)แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน



(ข)ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ

รูปที่ 4.10 แสดงการออกแบบการวางแมกนีตรอน (ก) และ
ลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ (ข)

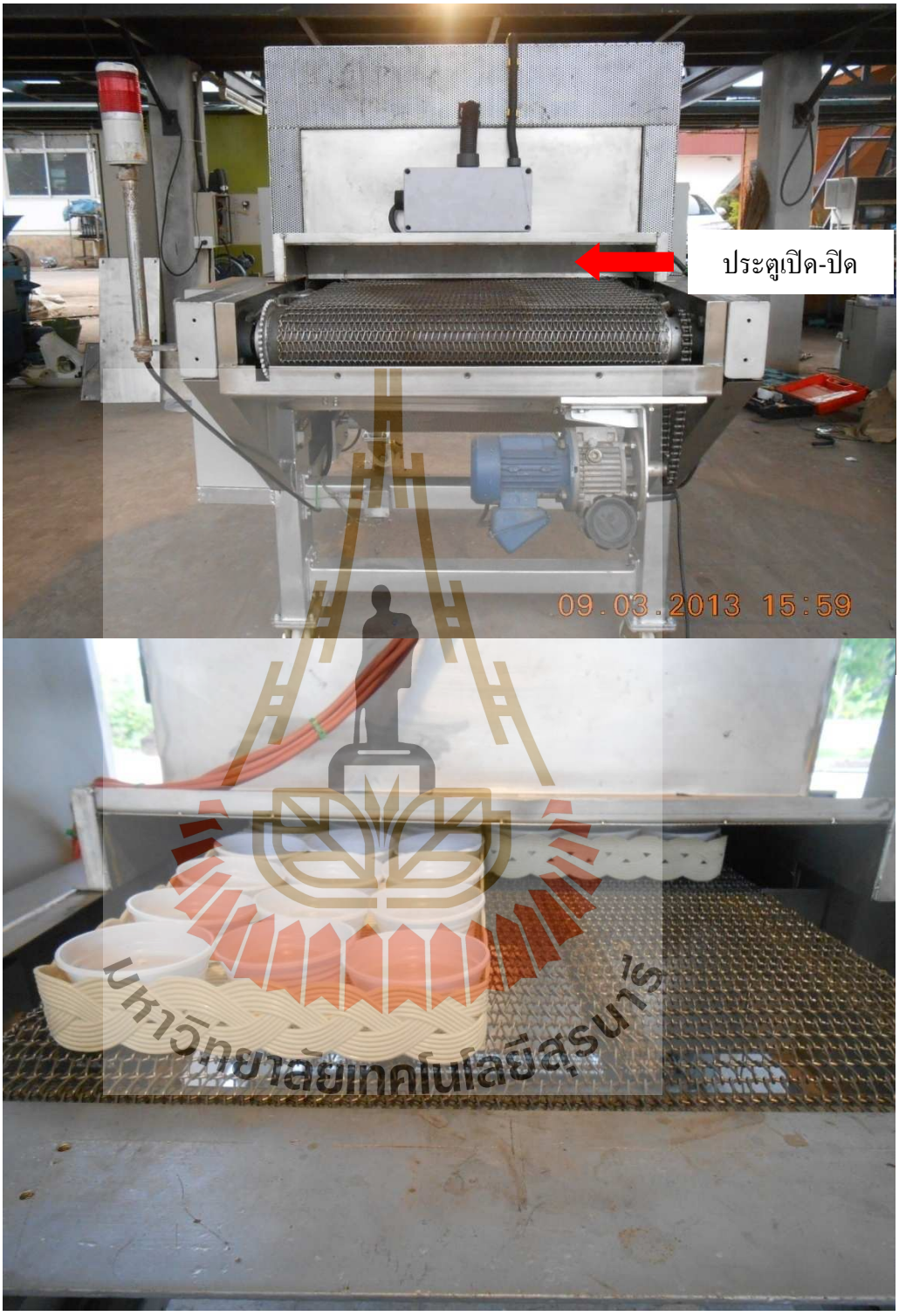
รูปที่ 4.11 การติดตั้งพัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน

1.2) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ

ทางเข้า-ออก วัตถุดิบมีขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นอุโมงค์ลึก 10 เซนติเมตร มีประตูเปิด-ปิด ระหว่างห้องอบกับอุโมงค์ ประตูเปิดได้ 2 ด้าน ทั้งจากด้านในและด้านนอก ด้วยถาดบรรจุวัตถุดิบ การออกแบบนี้ป้องกันการรั่วไหลของคลื่นสู่ภายนอกห้องอบขณะแมกนีตรอนทำงาน ในหลักการทำงานของประตูทั้ง 2 ด้าน คือ ด้านหน้าและด้านหลังสามารถเป็นได้ทั้งประตูทางเข้าและทางออก ขึ้นอยู่กับทิศทางของสายพานที่ผู้ใช้กำหนด ความสูงของประตู ซึ่งใช้หลักการออกแบบจากการทดลองอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือน พบว่าความหนาของชั้นพริกที่เหมาะสมที่ใช้อบแห้งเท่ากับ 5 เซนติเมตร ซึ่งพบว่าถ้าความหนาของชั้นพริกน้อยกว่า 5 เซนติเมตร จะทำให้กำลังการผลิตต่ำ แต่หากชั้นความหนาของพริกมากกว่า 5 เซนติเมตร พริกที่อยู่ชั้นต่ำที่สุดจะได้รับความร้อนน้อยกว่าชั้นที่อยู่ด้านบน ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการทะลุผ่านผิวพริกของคลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 5 เซนติเมตร นอกจากนี้ความหนาของชั้นพริกที่สูงกว่า 5 เซนติเมตร นั้นยังส่งผลถึงการระบายความชื้นออกสู่ภายนอก เพราะเมื่อพริกได้รับคลื่นไมโครเวฟแล้วจะมีไอน้ำระเหยออกจากผิว ถ้าชั้นของพริกมีความหนาเกินกว่าจะสามารถระบายไอน้ำได้ทัน พริกจะมีลักษณะเป็นพริกต้ม ทำให้สูญเสียโครงสร้าง ลักษณะทางกายภาพจะแตกต่างจากพริกแห้งทั่วไป จึงออกแบบให้ประตูทางเข้า-ออก สูง 7 เซนติเมตร (ระยะความหนาชั้นพริกที่เหมาะสม 5 เซนติเมตร และระยะขอบภาชนะสำหรับอบแห้ง 2 เซนติเมตร) ดังแสดงใน รูปที่ 4.12

วัสดุที่นำมาใช้สร้างประตู คือ สแตนเลส มีคุณสมบัติทนทานต่อการเกิดสนิมและเป็นตัวกลางที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถผ่านได้ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเครื่องมือและเครื่องจักรในอุตสาหกรรมอาหารอย่างแพร่หลาย การทดสอบการรั่วไหลของคลื่นจะแสดงใน หัวข้อ 4.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะทางเข้า-ออก วัตถุดิบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3) ระบบระบายความชื้น

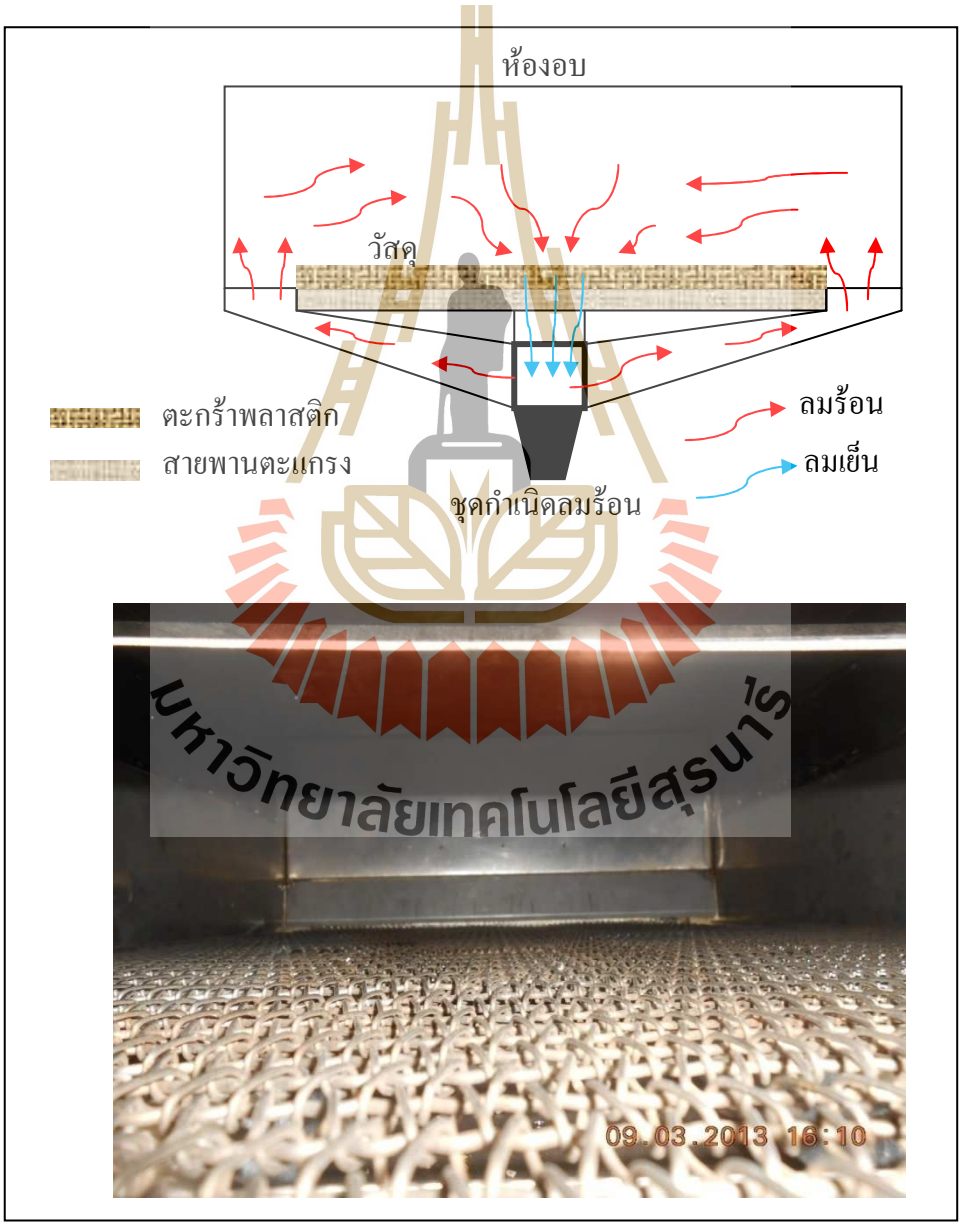
ภายในห้องอบนั้นมี ระบบระบายความชื้นด้วยพัดลมดูดความชื้นจำนวน 12 ตัว ติดตั้งไว้ด้านข้าง สูงจากพื้นห้องอบ 16 เซนติเมตร แต่ละตัวมีความเร็วลม 3.1 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 0.08 วัตต์ ทำหน้าที่ดูดความชื้นจากห้องอบปล่อยสู่ภายนอก โดยกำหนดให้พัดลมดูดความชื้นเปิดระบบทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบมีค่ามากกว่าภายนอกห้องอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.13 ลักษณะระบบระบายความชื้น

1.4) ทางเข้า-ออก ลมร้อน

ภายในห้องอบด้านล่างมีทางเข้าของลมร้อนอยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และทางออกเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ระบบลมร้อนหมุนวน โดยดูดลมเย็นจากวัสดุผ่านภาชนะที่มีรูด้านล่าง (งานวิจัยนี้ใช้ตะกร้าพลาสติกพื้นเป็นตะแกรง) หลังจากนั้นลมเย็นจะผ่านสายพานโลหะที่มีลักษณะเป็นตะแกรงเช่นเดียวกัน เข้าสู่ห้องผลิตลมร้อน และปล่อยลมร้อนออกมาทางด้านข้างของห้องอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ลักษณะทางเข้า-ออก ลมร้อน

1.5) ชนิดของวัสดุ

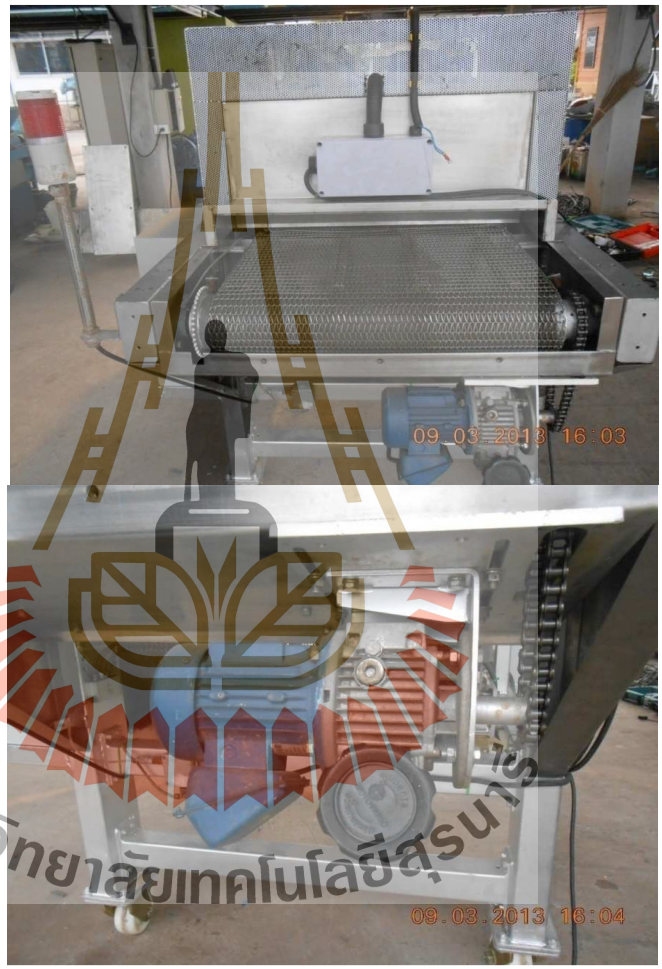
ในงานวิจัยนี้ใช้วัสดุเป็นแสตนเลสสตีล เกรด 304 เป็นผนังของห้องอบภายใน ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิมเมื่อรับความชื้นหรือไอน้ำ และเป็นโลหะที่คลื่นไมโครเวฟไม่สามารถทะลุผ่านได้ ผนังห้องอบด้านนอกใช้วัสดุตะแกรงเหล็ก มีขนาดของรูตะแกรง 2 มิลลิเมตร มีความหนา 3 มิลลิเมตร และฐานใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง ทั้งนี้อุปกรณ์ทุกชิ้นส่วนเชื่อมติดกับสายดิน ทั้งหมดเพื่อป้องกันการอาร์คของระบบ ในบริเวณรอยต่อของโลหะเนื่องจากไมโครเวฟเป็นระบบที่ใช้ไฟฟ้าความดันสูง 600 โวลล์ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่อิเล็กตรอนจะวิ่งผ่านอากาศ ระหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว จากลบไปหาบวก ทำให้เกิดการอาร์ค ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายตามมา ดังแสดงในรูปที่ 4.15

รูปที่ 4.15 ชนิดและวัสดุที่ใช้สร้างห้องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) การออกแบบสายพาน

ในงานวิจัยนี้ใช้ชุดสายพานสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นตะแกรงลวด พื้นที่ใช้งานทั้งหมดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร พื้นที่ใช้งานภายในห้องอบ กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 100 เมตร ขนาดมอเตอร์ 0.21 กิโลวัตต์ ควบคุมความเร็วด้วยเกียร์ ถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ขับสายพานด้วยโซ่ ดังแสดงในรูปที่ 4.16

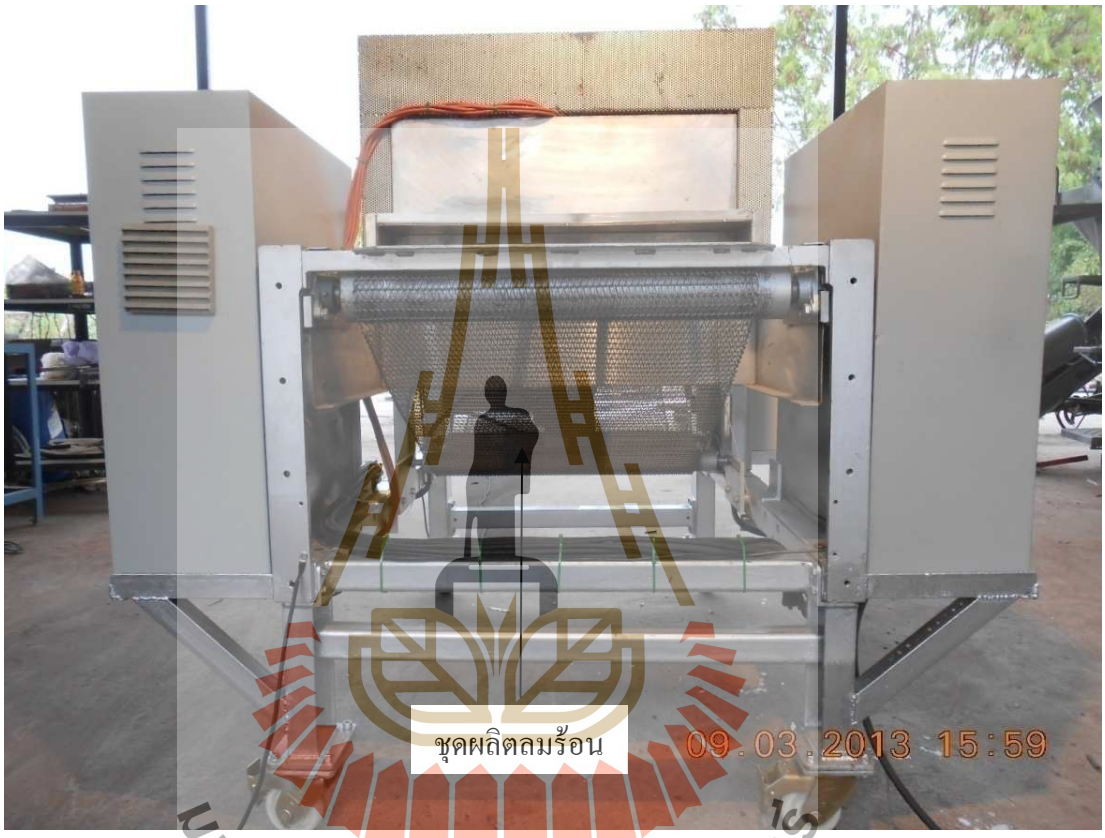


รูปที่ 4.16 แสดงส่วนประกอบของชุดสายพาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) การออกแบบระบบลมร้อน

ชุดผลิตลมร้อนที่ใช้ในงานนี้เป็นชนิดขดลวด มีขนาด 5,000 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 180 องศาเซลเซียส เป็นระบบผลิตลมร้อนแบบหมุนวน ควบคุมการเปิดปิดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ มีหลักการไหลวนลมร้อนและลมเย็น ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ติดตั้งไว้ใต้ห้องอบ ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 1.21 เมตรต่อวินาที ตำแหน่งติดตั้งชุดผลิตลมร้อน แสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงส่วนประกอบของระบบลมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) การออกแบบระบบควบคุม

ในการออกแบบระบบควบคุมในงานวิจัยนี้ แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานของอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ และส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานของอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติ ทั้ง 3 ส่วนที่ได้กล่าวมานี้ จำเป็นที่จะต้องทำงานให้มีความสัมพันธ์กัน มีรายละเอียดดังนี้

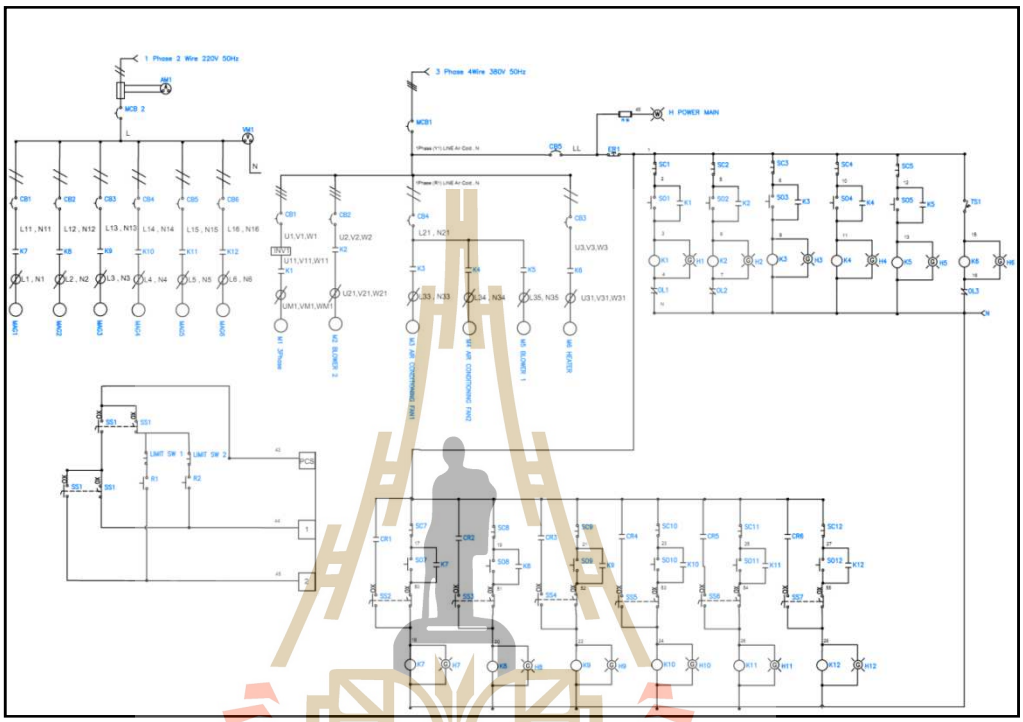
ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน จำนวน 6 ชุด จากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นลักษณะของวงจร ดังนี้ สวิตซ์ SO7 – SO12 เป็นสวิตซ์สำหรับการเปิดการทำงานของแมกนีตรอนแต่ละตัว และสวิตซ์ SC7 – SC12 เป็นสวิตซ์สำหรับการปิดการทำงานของแมกนีตรอนในแต่ละตัว นอกจากนี้แล้วยังมีสวิตซ์ SS1 – SS6 สำหรับเลือกการทำงานระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบควบคุมด้วยตนเอง เป็นต้น แต่หากใช้ระบบระบบอัตโนมัติ การควบคุมของระบบขึ้นอยู่กับอุณหภูมิภายในห้องอบที่ 60 องศาเซลเซียส (กำหนดอุณหมิ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากในการทดลองอบพริกแบบครัวเรือนอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสมเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงนำผลของอุณหภูมิดังกล่าวมาทดลองใช้กับเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ผลการทดสอบพบว่าผิวของพริกมีลักษณะเป็นสีแดงเข้มและมีสีดำปน ดังกล่าวจึงลองปรับลดอุณหภูมิลง จนพบว่าอุณหภูมิที่พริกมีสีสันสดใสเหมือนพริกแห้งทั่วไปตามท้องตลาด เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส จึงกำหนดอุณหภูมิภายในห้องอบสำหรับเปิดปิดการทำงานของแมกนีตรอนให้เท่ากับอุณภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิลมร้อน)

ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ ประกอบไปด้วย มอเตอร์สำหรับควบคุมสายพานลำเลียง พัดลมของระบบลมร้อน พัดลมดูดความชื้น พัดลมระบายความร้อนหม้อแปลง พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน และเครื่องกำเนิดลมร้อน การควบคุมทั้งหมดจะสามารถควบคุมได้จาก SO1 – SO7 สำหรับการเปิดการทำงานของแต่ละตัว SC1 – SC7 สำหรับการปิดการทำงานของแต่ละตัวเช่นกัน

ส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์ อื่นๆ แบบอัตโนมัติ จะมีทั้งหมด 7 เอาต์พุต ซึ่งจะประกอบไปด้วย เอาต์พุตสำหรับ รีเลย์ ควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนจำนวน 6 ชุด และ รีเลย์ สำหรับควบคุมการทำงานของ Alarm โดย เอาต์พุต 30300 ควบคุมการทำงานของ Alarm และ 30301 – 30306 ควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน โดยในระบบควบคุมอัตโนมัตินี้จะสามารถสั่งงานให้เปิด-ปิด แมกนีตรอน และเครื่องกำเนิดลมร้อนที่กำหนดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ

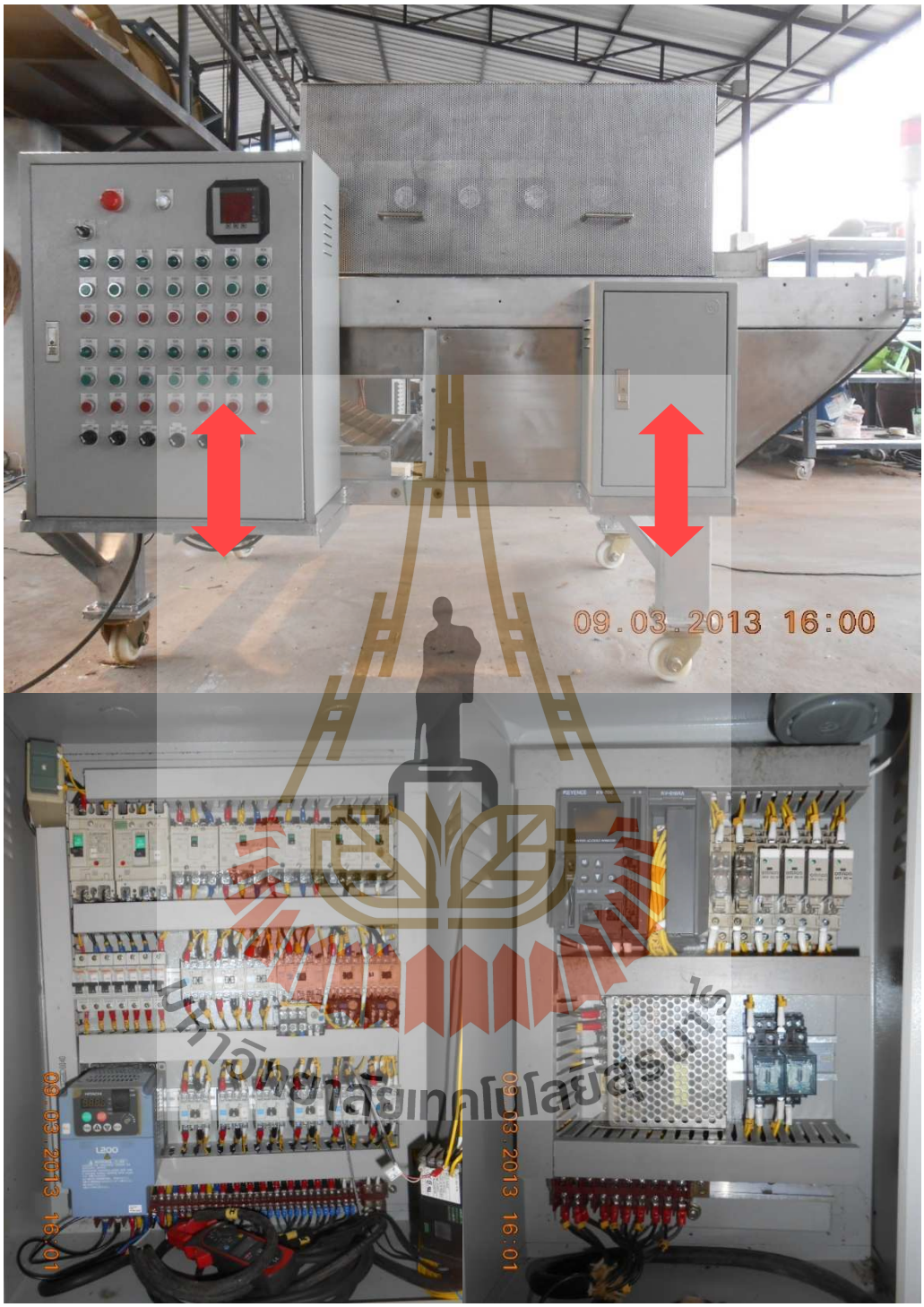
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ลักษณะอุปกรณ์ของระบบควบคุมถูกออกแบบให้ติดตั้งไว้ภายตู้เหล็ก มีสวิตซ์เปิด-ปิด ได้จากภายนอก มีระบบปุ่มควบคุมความปลอดภัย สำหรับตัดการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบต่างๆ ง่ายต่อการควบคุมในระบบปรับมือ และระบบอัตติโนมัติ ดังแสดงในรูปที่ 4.18(ก) และ (ข)



รูปที่ 4.18(ก) วงจรการควบคุมระบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.18(ข) ลักษณะอุปกรณ์ของระบบควบคุม

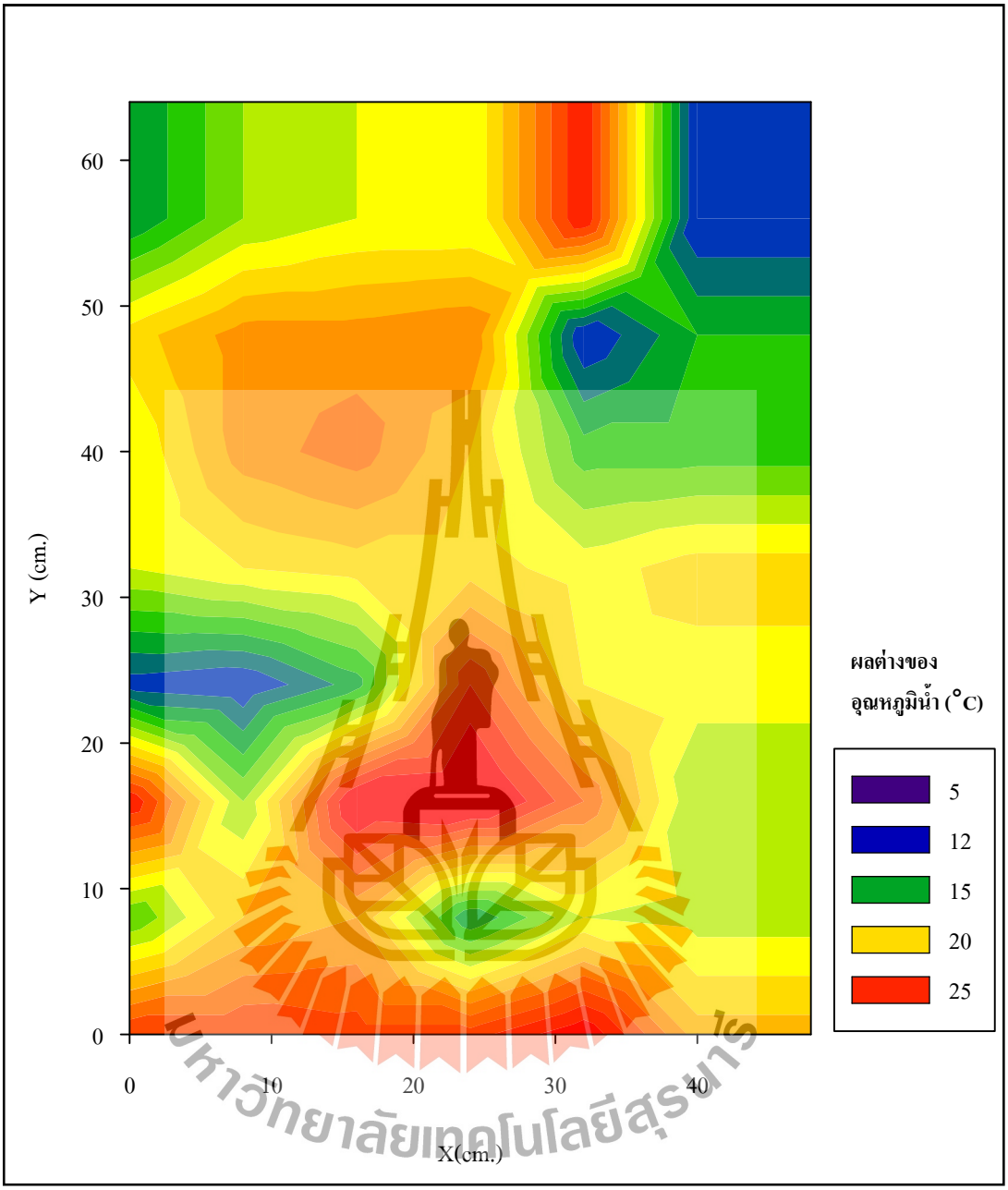
4.3 ผลการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นเบื้องต้น

การทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ได้ทำการทดสอบการกระจายตัวของคลื่น ทดสอบประสิทธิภาพ โดยใช้น้ำเป็นตัวรับพลังงานคลื่น และทดสอบการกระจายตัวของคลื่น มีผลการทดสอบดังนี้

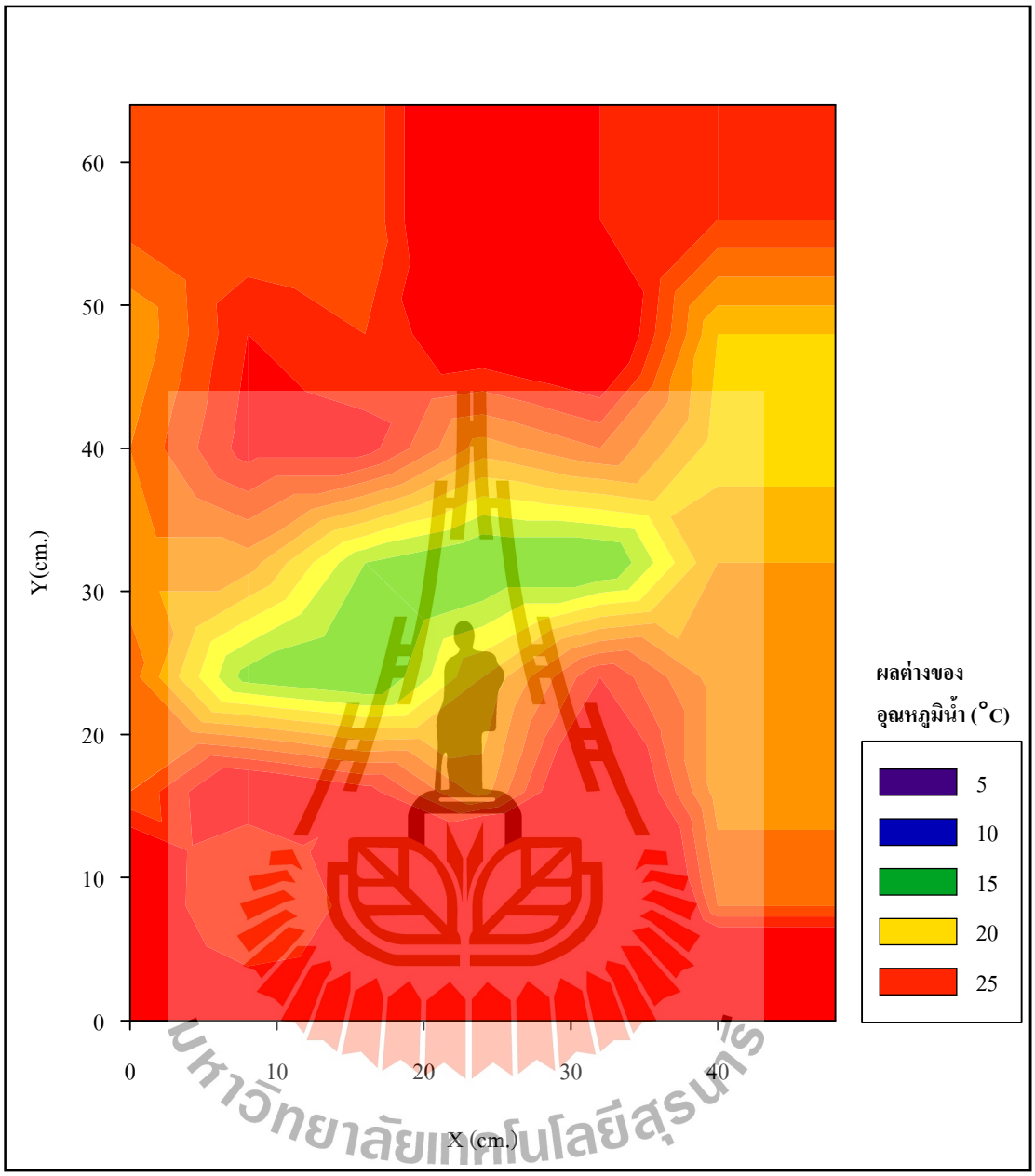
4.3.1 การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น

จากการทดสอบการกระจายตัวของคลื่นตามวิธีการในบทที่ 3 พบว่า การเปิดแมกนีตรอน ปิดระบบลมร้อน ปิดระบบดูดความชื้น และปิดระบบสายพาน ระยะเวลา 3 4 และ 5 นาที ให้การกระจายตัวของสม่ำเสมอที่ 80 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (พิจารณาจากภาพการกระจายตัวของคลื่น) แสดงดังรูปที่ 4.19 ถึง 4.21 ซึ่งชี้ให้เห็นประสิทธิผลของการออกแบบตำแหน่งที่ติดตั้งแมกนีตรอน และจากผลการศึกษา พบว่า เวลาของการเปิดแมกนีตรอนมีผลต่อการกระจายตัวของคลื่น เนื่องจากคลื่นมีการตกกระทบกับวัสดุ และผนังห้องอบ ซึ่งคลื่นบางส่วนถูกดูดกลืนพลังงานด้วยวัสดุ(ในที่นี้ คือ น้ำ) คลื่นบางส่วนสะท้อนไปมาภายในห้องอบ เมื่อทำการเปิดแมกนีตรอนและส่งคลื่นไปยังห้องอบเป็นระยะเวลานาน การกระจายตัวของคลื่นก็จะกระจายทั่วทุกพื้นที่ภายในห้องอบ แต่ถ้าวัสดุบริเวณที่ได้รับการตกกระทบของคลื่นซ้ำๆ เป็นระยะเวลานานก็สามารถก่อให้เกิดความเสียหายได้เช่นเดียวกัน ปัจจุบันในระดับอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องจึงนิยมแก้ปัญหา โดยการนำระบบสายพานเข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยให้การขับเคลื่อนชิ้นงานให้รับคลื่นอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อวัตถุดิบ

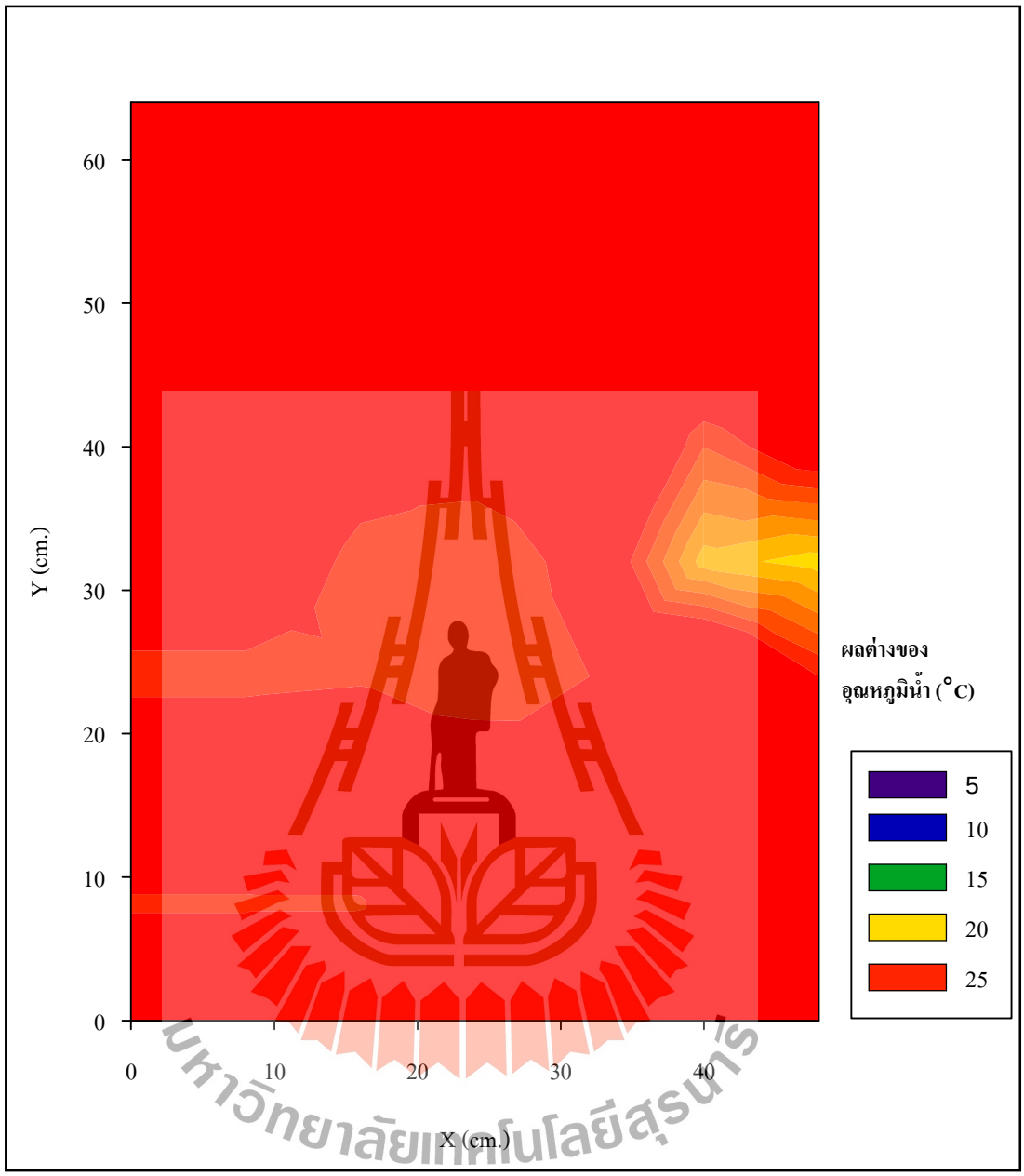
สำหรับในงานวิจัยนี้มีระบบสายพานสำหรับขับเคลื่อนวัตถุดิบแล้ว สำหรับการทดสอบไม่สามารถให้สายพานเคลื่อนที่ได้ตลอดเวลา เนื่องจากข้อจำกัดของระยะห้องอบและราคาของการสร้างเครื่องจักร ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น อย่างไรก็ดีสายพานและทางเข้า-ออก ของวัตถุดิบที่ปรับปรุงขึ้นนั้น สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง หากสายพานและห้องอบแห้งมีความยาวเพียงพอ ในกรณีของความยาวสายพานและจำนวนห้องอบที่เหมาะสมต้องทำการศึกษาหาเวลาการอบแห้งด้วยต้นแบบ ฯ ที่ปรับปรุงขึ้นนี้ก่อน แล้วนำไปออกแบบหาความยาวสายพาน ความเร็วของสายพาน และจำนวนห้องอบต่อไป สำหรับในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอความยาวสายพาน ความเร็วของสายพาน และความยาวห้องอบ ที่เหมาะสมสำหรับการสร้างเครื่องฯ ผลิตพริกแห้งเพื่อใช้ในระดับการค้าไว้ในหัวข้อ 4.7



รูปที่ 4.19 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (3 นาที)



รูปที่ 4.20 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (4 นาที)



รูปที่ 4.21 ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดจากคลื่นไมโครเวฟ (5 นาที)

4.3.2 การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ผลการทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นทั้ง 3 สภาวะ การทดสอบ พบว่า ในสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี เปิดระบบไมโครเวฟ และปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 19.76 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี ปิดระบบไมโครเวฟ และเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 20.05 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณีเปิดระบบไมโครเวฟและเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ ท่ากับ 20.75 เปอร์เซ็นต์ (ทั้ง 3 สภาวะ ปิดพัดลมระบายความชื้น) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.23

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพทั้ง 3 กรณี แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพในระบบเพียง 0.7 – 1.0 เปอร์เซ็นต์ หากใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อน เนื่องจากในกรณีเปิดระบบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนนั้นให้พลังงานกับวัสดุสูงกว่ากรณีเปิดระบบไมโครเวฟอย่างเดียวและเปิดระบบลมร้อนอย่างเดียว แต่ก็ใช้พลังงานสูงกว่าเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดี ด้วยคุณสมบัติการให้พลังงานที่สูงขึ้นของระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนนี้ จะเป็นข้อดีของการใช้งานระบบสำหรับงานด้านการอบแห้งเป็นอย่างยิ่ง เพราะถ้าระบบให้พลังงานกับวัสดุที่ต้องการการอบแห้งสูงนั้น น้ำภายในวัสดุก็จะระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งลดลง

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาพลังงานที่เกิดขึ้นจากทั้ง 3 กรณีการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงการนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ ดังนี้ สำหรับงานที่ต้องการให้วัสดุมีความร้อนสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและไม่จำเป็นต้องต้องระบายไอน้ำออก เช่น การนึ่งหรือต้ม ควรใช้ระบบไมโครเวฟอย่างเดียว และสำหรับงานที่ต้องการความร้อนสูงและต้องระบายไอน้ำออกอย่างรวดเร็ว เช่น การอบแห้ง ควรใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ส่วนระบบลมร้อนนั้นใช้พลังงานและให้พลังงานน้อย หากนำไปใช้ในระบบการอบแห้ง ต้องใช้ระยะเวลานาน

ดังนั้น การใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้แต่จะสามารถช่วยในด้านประหยัดระยะเวลา ซึ่งจะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

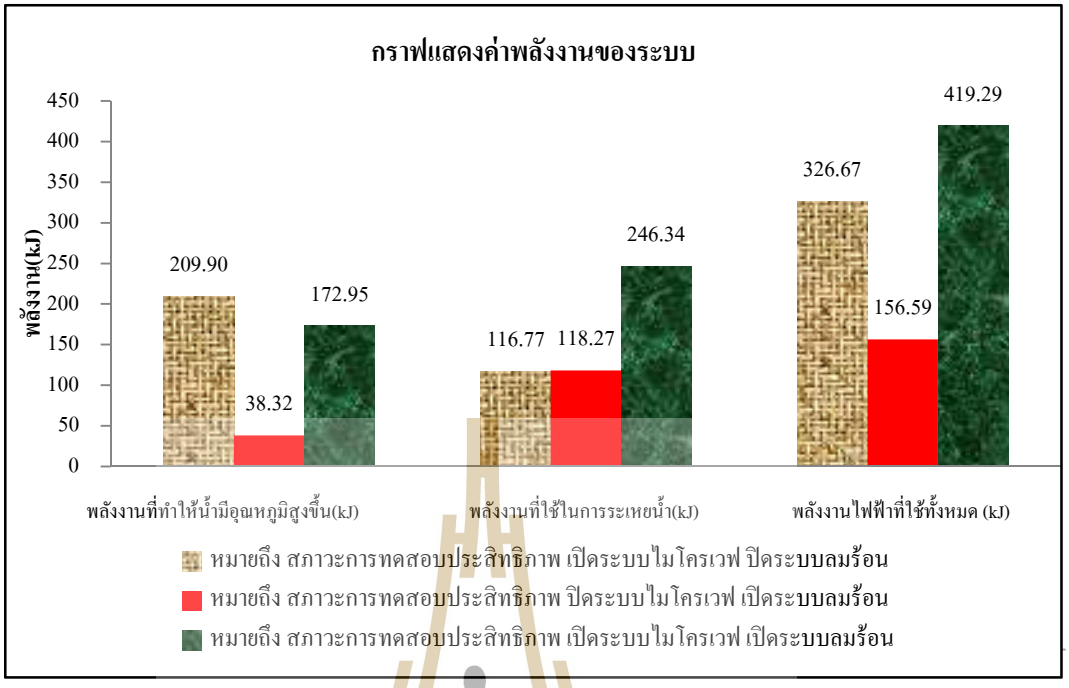
ซ้ำที่	สภาวะ	Q_{out}			Q_{in}	Eff.
		P_T (kJ)	P_w (kJ)	Total (kJ)	P (kJ)	(%)
1	M	210.57	133.34	343.91	1,560.00	22.05
2	M	208.53	106.22	314.75	1,644.00	19.15
3	M	210.60	110.74	321.34	1,776.00	18.09
เฉลี่ย						19.76
1	H	46.70	119.78	166.48	768.00	21.68
2	H	27.16	106.22	133.38	720.00	18.53
3	H	41.10	128.82	169.92	852.00	19.94
เฉลี่ย						20.05
1	MH	168.85	241.82	410.67	1,992.00	20.62
2	MH	166.50	237.30	403.80	2,016.00	20.03
3	MH	183.51	259.90	443.41	2,052.00	21.61
เฉลี่ย						20.75

หมายเหตุ M หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ เปิดระบบไมโครเวฟ ปิดระบบลมร้อน

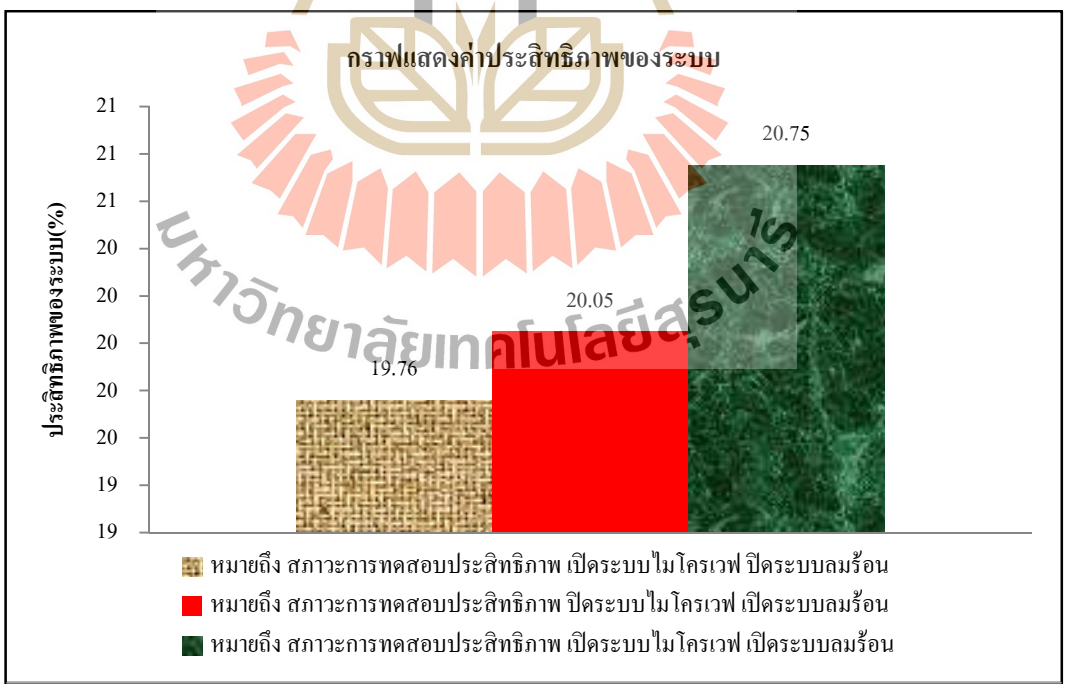
H หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ ปิดระบบไมโครเวฟ เปิดระบบลมร้อน

HM หมายถึง สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ เปิดระบบไมโครเวฟ เปิดระบบลมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงค่าพลังงานของระบบ



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพของระบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3) การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

ผลการทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟสู่นอกห้องอบ พบ ว่ามีการรั่วไหลเท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ระยะ 4 เมตร ที่บริเวณทางเข้า-ออกของวัสดุ ส่วนบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน มีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ที่ระยะ 2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งจากค่าการรั่วไหลดังกล่าวมีค่ามากกว่ามาตราฐานเตาอบไมโครเวฟขององค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (Microwave oven standard 21 CFR1030.10 USFDA) ซึ่งกำหนดระดับความเข้มของคลื่นไมโครเวฟรั่วจากผนังเตาที่ระยะห่าง 5 เซนติเมตร ต้องไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ต้องมีการพัฒนาแก้ไขปรับปรุงต่อไป

รูปที่ 4.24 การทดสอบการรั่วไหลของคลื่น

4.4 ผลการทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

การทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ประกอบไปด้วย การทดสอบอบแห้งพริกเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน และการทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ในการทดสอบระดับแรกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนั้น เพื่อนำผลการทดสอบไปใช้สำหรับออกแบบและพัฒนาปรับปรุงเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใหม่เมื่อปรับปรุงแล้ว ทำการทดสอบระดับสองมีรายละอียดดังต่อไปนี้

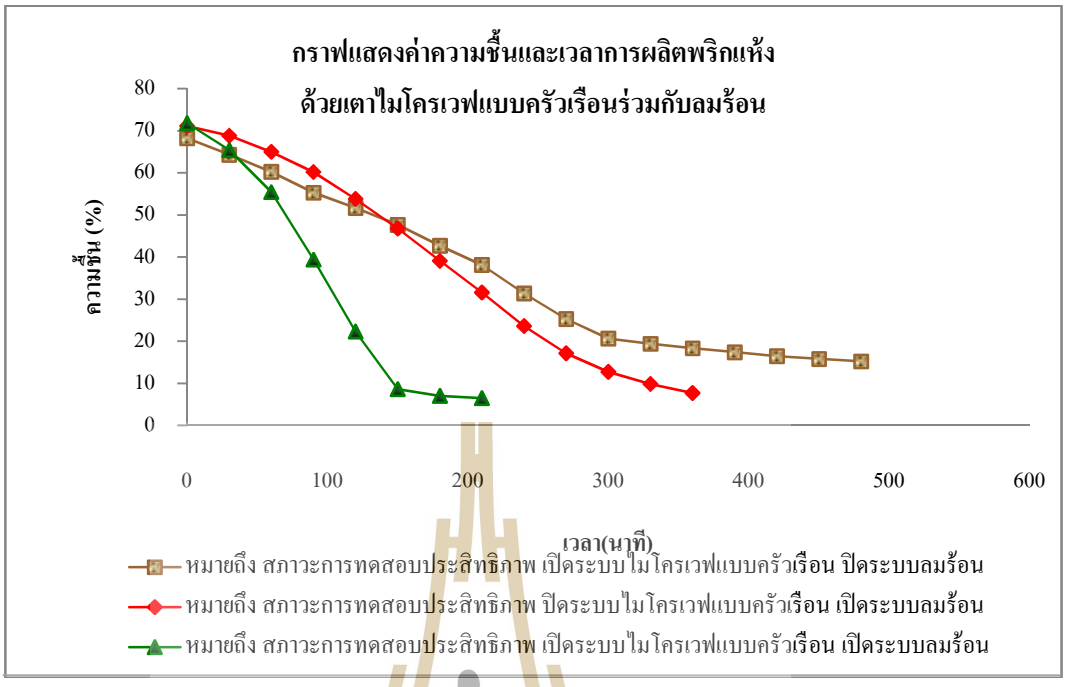
4.4.1 ทดสอบเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

1) ความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้ง

จากการทดสอบอบพริกแห้งด้วยไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน พบว่าความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 ถึง8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ในเวลา 150 นาที ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนหรือไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ดังแสดงใน รูปที่ 4.25 และ 4.26 ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการระเหยน้ำจากภายนอกผิวเข้าสู่ภายในเซลล์ที่ลึกเข้าไป เมื่อเวลาผ่านไปผิวภายนอกจะเกิดการหดตัวเป็นสาเหตุให้น้ำระเหยออกยากจึงต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดขึ้นในเซลล์พริกที่มีความชื้น สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ จนทำให้เป็นไอน้ำ ลอยตัวออกมานอกผิวของพริก หากไม่มีการระบายไอน้ำออกจากผิวพริก การอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟอย่างเดียว จะทำให้น้ำระเหยออกจากเซลล์พริกนั้นทำได้ยาก หรืออาจจะมีความเสียหายเนื่องจากความร้อนได้ (Heat Injury) และต้องใช้เวลามากขึ้นในการอบแห้ง

ดังนั้นเมื่อใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งพริกก็จะสามารถแก้ไขการหดตัวของผิวพริกแห้งที่เกิดจากลมร้อนและ การเกิดการชุ่มน้ำที่ผิวของพริกที่เกิดจากการระเหยของน้ำภายในเซลล์พริกได้อย่างสมดุล ทำให้ลดระยะเวลาในการอบแห้งและสามารถผลิตพริกแห้งที่มีคุณภาพสูงได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.25 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

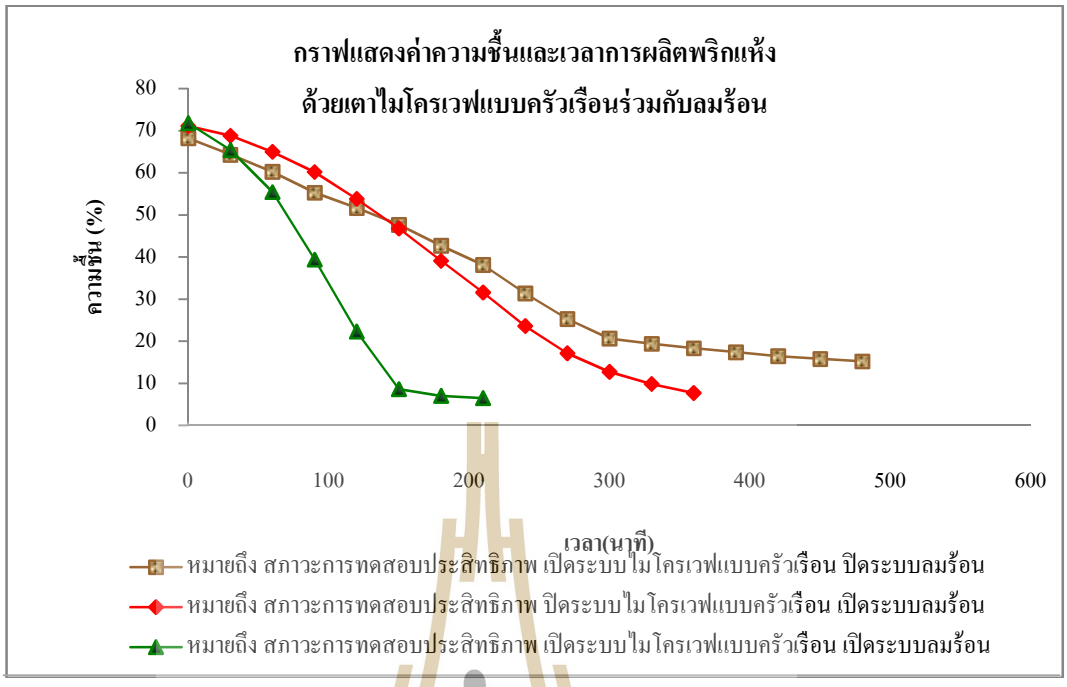
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

2) ลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง

พริกแห้งที่ผ่านการอบด้วยไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน พบว่ามีลักษณะผิวเป็นสีแดงใสขั้วเขียว ไม่แตก และไม่เหี่ยว มีความหนาแน่นเท่ากับ 88.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้น 8.61 เปอร์เซ็นต์ (พริกสดความหนาแน่นเท่ากับ 228.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้น 71.80 เปอร์เซ็นต์) พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อนมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 23.78 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 22.10 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 12.87 ตามลำดับ โดยลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง และ ความสว่างและสี แสดงไว้ใน รูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่าสีแดงและสีเหลือง ของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบต่างๆ พบว่า พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ดี ถึงแม้การอบพริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพริกแห้งจากตลาดและเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งแล้วสามารถพิจารณาได้ว่า การอบพริกโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเป็นวิธีการที่มีศักยภาพ สามารถพัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพของผลผลิตพริกแห้งต่อไปได้

รูปที่ 4.27 ลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน



รูปที่ 4.25 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 4.26 กราฟแสดงค่าเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

4.4.2 ทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

เมื่อปรับปรุงเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนแล้ว นำมาทดสอบอบแห้งพริก โดยใช้พริกสด น้ำหนักเฉลี่ย 3.7 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้น 73.50-74.00 เปอร์เซ็นต์ มีผลการทดสอบ ดังนี้

1) สภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน

1.1) ระบบแมกนีตรอน

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของระยะเวลาเปิดแมกนีตรอนสำหรับอบพริกนั้น ทำการทดสอบเปิดแมกนีตรอน 3 สภาวะเวลา ได้แก่ เวลา 60, 90 และ 120 วินาที (6 ตัว พร้อมกัน) ผลการศึกษา พบว่าการเปิดแมกนีตรอนที่สภาวะเวลา 60 และ 90 วินาที ให้ลักษณะสีพริกเป็นสีแดงสด ผิวไม่แตก แต่เมื่อเปิดแมกนีตรอน 120 วินาที ผิวพริกเริ่มแตก ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.29 เนื่องจากพริก รับพลังงานคลื่นไมโครเวฟแล้วน้ำภายในเซลล์มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นไอน้ำระเบิดออกสู่ภายนอกผิวพริก แสดงให้เห็นว่าการเปิดแมกนีตรอนในระยะเวลาดังกล่าวเป็นการปล่อยคลื่นไมโครเวฟสูงเกินกว่าน้ำภายในเซลล์จะระบายออกได้ทัน ในทางตรงกันข้ามการเปิดไมโครเวฟ ที่เวลาน้อยเกินไปนั้นจะส่งผลให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิภายในเซลล์พริกเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง(นาน) ในงานวิจัยนี้จึงเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเปิดแมกนีตรอน เท่ากับ 90 วินาที

ตารางที่ 4.3 สภาวะที่เหมาะสมของระบบแมกนีตรอน

สภาวะการทดลอง	เวลาเปิดแมกนีตรอน (วินาที)	ลักษณะทางกายภาพพิจารณาด้วยสายตา			
		ลักษณะสี		สภาพผิวพริก	
		สี	สัดส่วน (%)	ความแตก	สัดส่วน (%)
1	60	สีแดงสด	100	ไม่แตก	100
2	90	สีแดงสด	100	ไม่แตก	100
3	120	สีแดงสด	100	แตก	1

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.29 ลักษณะพริกไม่แตกและแตกเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ

1.2) ระบบลมร้อน

การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิลมร้อน สำหรับอบพริกนั้น ทำการทดสอบที่ 3 สภาวะ อุณหภูมิ ได้แก่ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า การอบแห้งพริกที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ให้ลักษณะสีผิวพริก เป็นสีแดงปกติ แต่ที่อุณหภูมิลมร้อน 70 องศาเซลเซียส ลักษณะสีผิวพริก เป็นสีแดงปนดำ เนื่องจากพริกได้รับความร้อนสูงจนเข้าสู่สภาวะไหม้ ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.30 ซึ่งงานวิจัยนี้จึงเลือกสภาวะอุณหภูมิลมร้อนที่เหมาะสม เท่ากับ 60 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 สภาวะที่เหมาะสมของระบบลมร้อน

สภาวะการทดลอง	อุณหภูมิลมร้อน (°C)	ลักษณะสีผิวพริกพิจารณาด้วยสายตา
1	50	สีแดง
2	60	สีแดง
3	70	สีแดงปนดำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

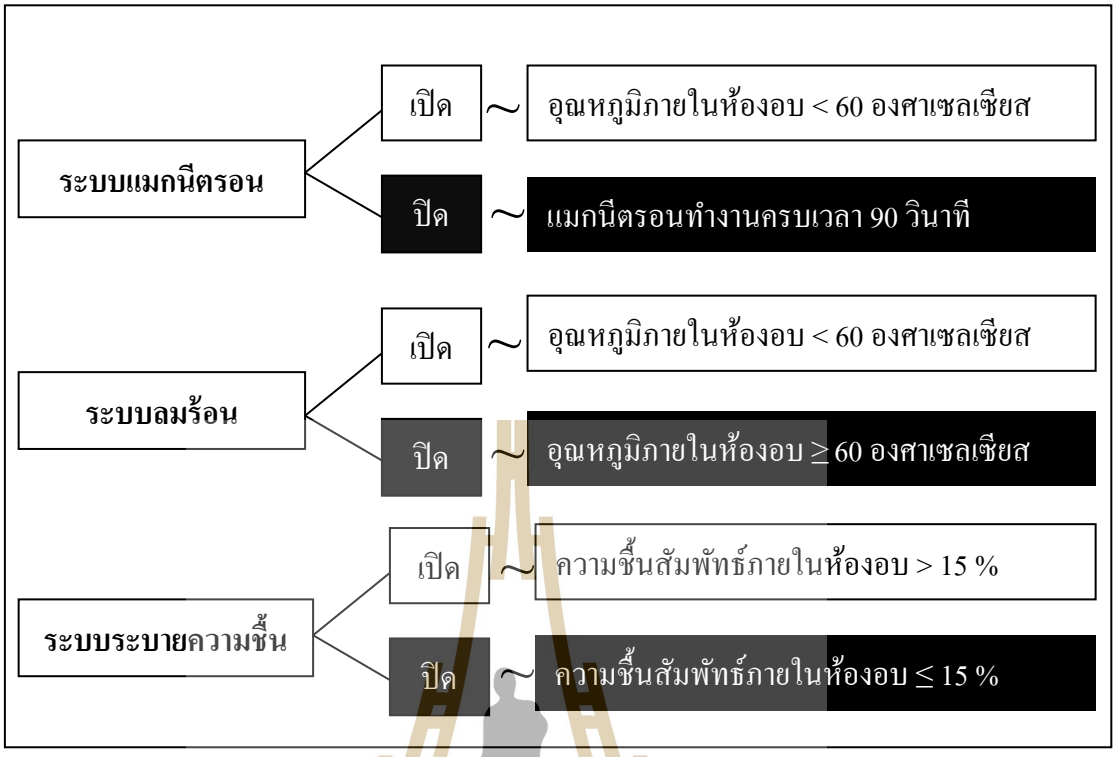
รูปที่ 4.30 ลักษณะพริกแห้งที่ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิต่างๆ

1.3) ระบบระบายความชื้น

จากการทดลองอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยขณะอบแห้งเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 31 เปอร์เซ็นต์ อุณภูมิลมร้อนที่ใช้สำหรับอบแห้งภายในห้องอบเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้น ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบ เท่ากับ 9 เปอร์เซ็นต์ (ตามทฤษฎี) และเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ (ตรวจวัดภายในห้องอบ) เมื่อเปิดแมกนีตรอน 90 วินาที ความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเพิ่มขึ้นเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นความชื้นสัมพัทธ์ควบคุมการเปิด-ปิดระบบระบายความชื้น

1.4) สรุปสภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน

สภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน อบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน คือ ระบบแมกนีตรอนเปิดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่อแมกนีตรอนทำงานครบเวลา 90 วินาที และระบบลมร้อนเปิดทำงาน ที่อุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิระบบแมกนีตรอนและระบบลมร้อนใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชุดเดียวกัน ส่วนระบบระบายความชื้น เปิดระบบทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบมากว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และปิดระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.31

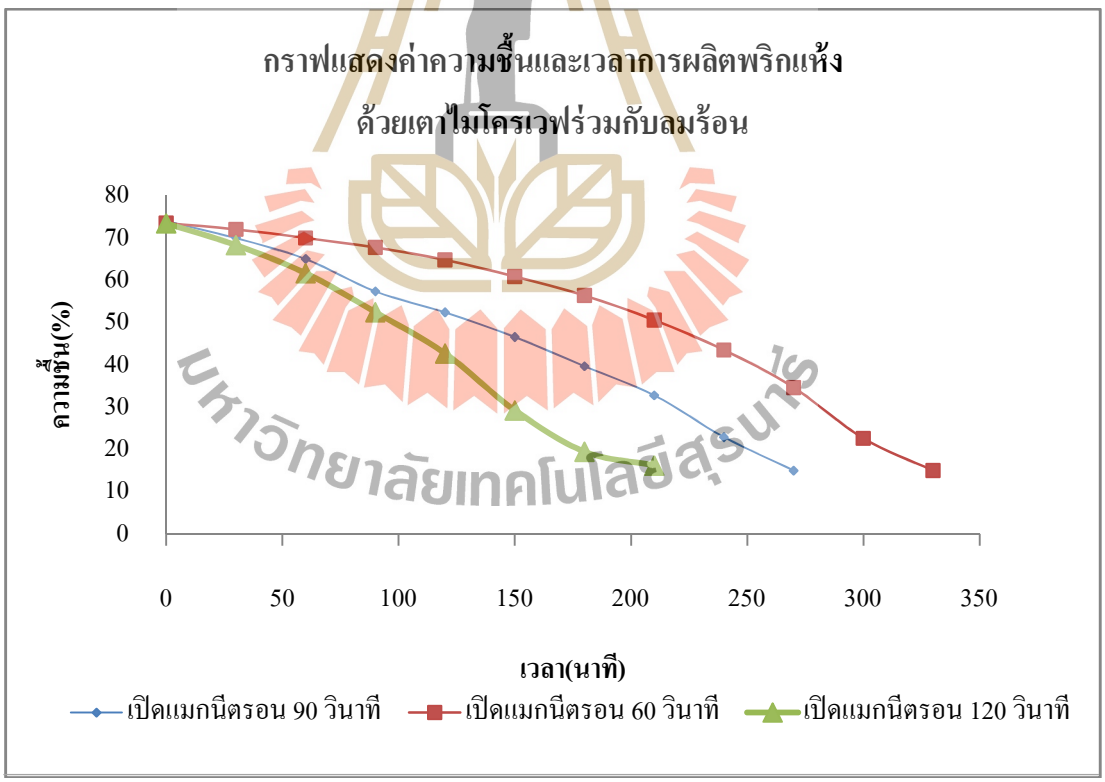


รูปที่ 4.31 สภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงาน

2) ความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้ง

จากการทดสอบอบพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน 3 สภาวะ ได้แก่ สภาวะที่ 1) ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 120 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ สภาวะที่ 2) ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะที่ 3) ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอน รอบละ 60 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษาพบว่าที่สภาวะที่ 1) ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 120 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 30 นาที แรก มีการถ่ายเทไอน้ำจากภายในเซลล์ออกสู่ภายนอกอย่างรวดเร็วเมื่อพริกได้รับพลังงานไมโครเวฟ พริกจึงมีลักษณะแตกที่บริเวณผิว สูญเสียลักษณะทางกายภาพสภาวะดังกล่าวจึงเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสม

จากผลการศึกษาพบว่า ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที ความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 73.50 ถึง 15.00 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ในเวลา 270 นาที หรือ 4.5 ชั่วโมง แต่เมื่อปรับระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอน ลดลงเหลือรอบละ 60 วินาที ส่งผลให้ระยะเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 330 นาที หรือ 5.5 ชั่วโมง ดังแสดงใน รูปที่ 4.30 เนื่องจากอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการระเหยน้ำจากภายนอกผิวเข้าสู่ภายในเซลล์ที่ลึกเข้าไป เมื่อเวลาผ่านไปผิวภายนอกจะเกิดการหดตัวเป็นสาเหตุให้น้ำระเหยออกยากจึงต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดขึ้นในเซลล์พริกที่มีความชื้น สามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ จนทำให้เป็นไอน้ำลอยตัวออกมานอกผิวของพริก ซึ่งในงานการอบแห้งนี้ผนวกทั้ง 2 ระบบเข้าด้วยกัน และเพิ่มระบบระบายความชื้นให้ระบบฯ ดังนั้นเวลาการเปิดระบบแมกนีตอนจึงส่งผลต่อระยะเวลาการอบแห้ง ซึ่งระยะเวลาการเปิดระบบแมกนีตรอนนั้นต้องมีความสัมพันธ์กับระบบระบายความชื้นที่ช่วยลดความเสียหายของพริกจากการเคลื่อนตัวของไอน้ำอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 4.32 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3) พลังงานที่ใช้

ค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากพริกเท่ากับ 18.79 เมกกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ ที่สภาวะที่ 2) (เปิดแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที) ซึ่งมีค่ามากว่า สภาวะที่ 3) (เปิดแมกนีตรอนรอบละ 60 วินาที) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.34 เนื่องจาก สภาวะที่ 2 สามารถอบแห้งวัสดุแล้วความชื้นลดลงได้เร็วกว่า สภาวะที่ 3) โดยพลังงานที่เพิ่มขึ้นนั้นเพิ่มจากการใช้พลังงานที่มากขึ้นของแมกนีตรอนนั้นเอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับระยะเวลาการอบแห้งจะพบว่า ในการอบพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ค่าการใช้พลังงานจะแปรผันรับระยะเวลาการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ดีการอบพริกแห้งถ้าให้พลังงานจากไมโครเวฟสูงเกินไปกว่าไอน้ำจะระบายออกจากผิวพริกได้ พริกจะเกิดการระเบิดของไอน้ำทำให้พริกเกิดความเสียหายหาย ขณะเดียวกันหากให้อุณหภูมิลมร้อนสูงเกินไป พริกก็จะมีสีแดงปนดำหรือสีดำ ทำความเสียหายให้พริกแห้งเช่นเดียวกัน แต่ในกรณีที่ให้พลังงานคลื่นไมโครเวฟและอุณหภูมิลมร้อนน้อย การอบแห้งก็ใช้ระยะเวลานาน

ตารางที่ 4.5 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งพริก

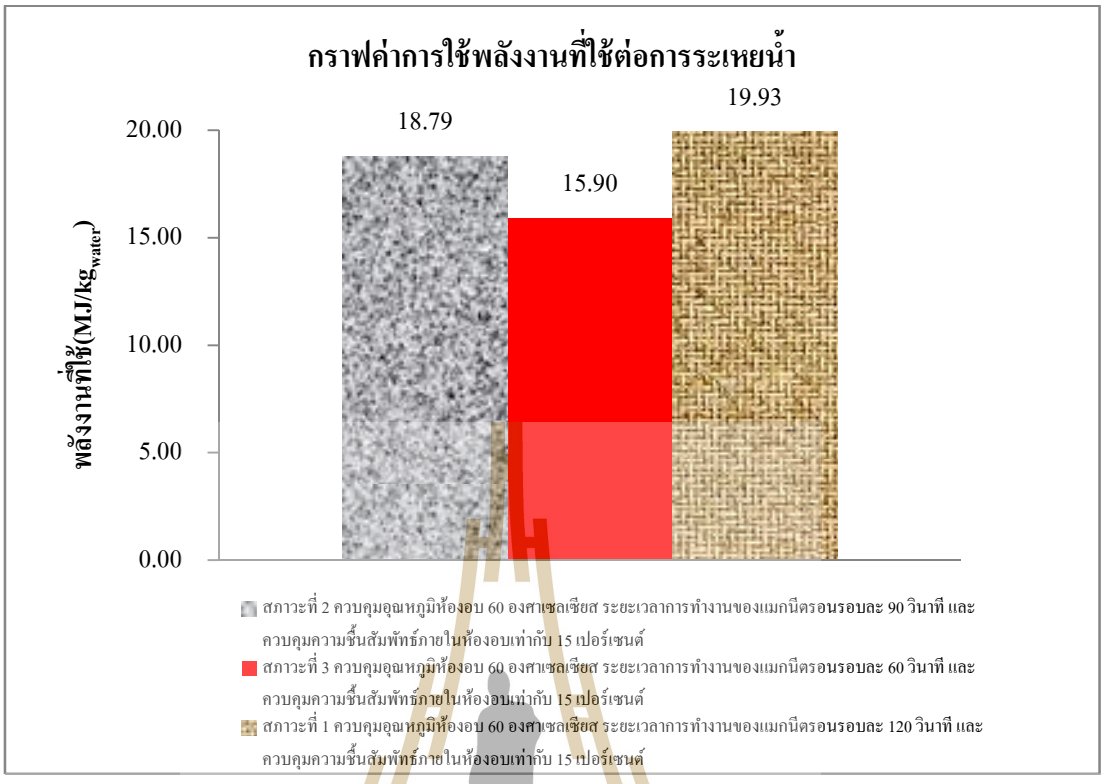
สภาวะที่	ระยะเวลาการอบแห้ง (min)	พลังงานที่ใช้ (MJ)	น้ำหนักพริกแห้งสด (kg)	น้ำหนักแห้งของพริก (kg)	พลังงาน/กิโลกรัมพริกแห้ง ($MJ/kg_{dry\ chili}$)	พลังงาน/กิโลกรัมน้ำ (MJ/kg_{water})
1	210	54.00	3.970	1.2600	42.86	19.93
2	270	46.80	3.692	1.201	38.97	18.79
3	330	43.20	3.846	1.129	38.26	15.90

หมายเหตุ สภาวะที่ 1 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 120 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

สภาวะที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

สภาวะที่ 3 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 60 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

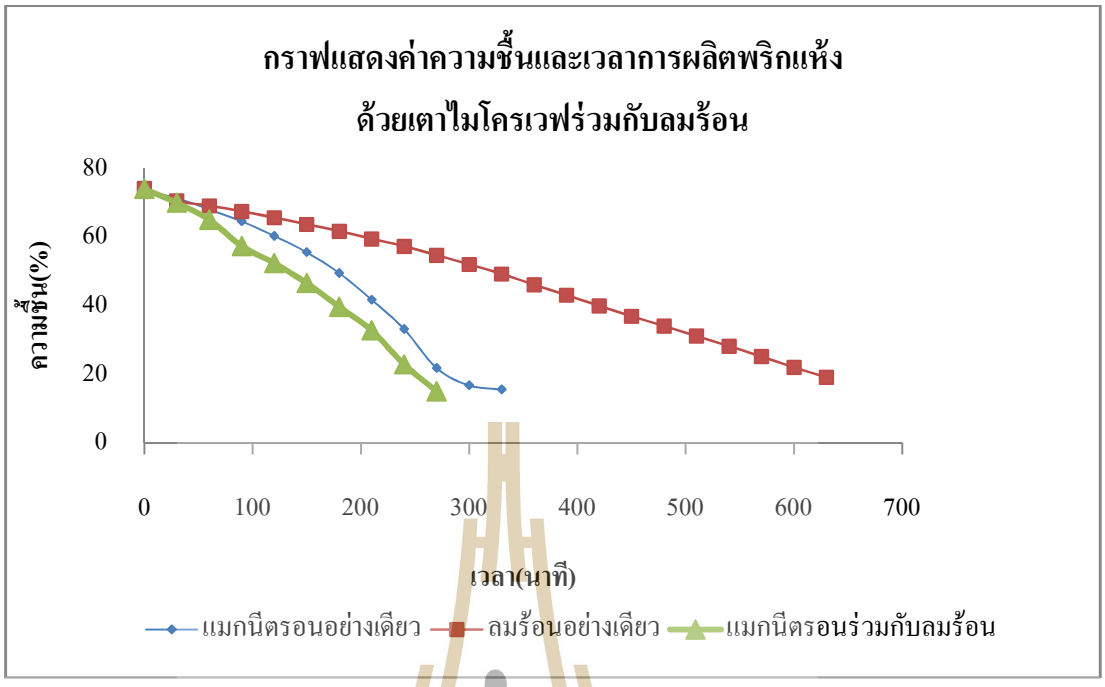


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4) การเปรียบเทียบความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้ง

จากการทดสอบอบพริกแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่พัฒนาขึ้น พบว่า การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถลดความชื้นและลดระยะเวลาการอบแห้งได้ตามผลการศึกษาการทดสอบอบพริกแห้งด้วยไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.34 และ 4.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.34 ค่าความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 4.35 กราฟแสดงค่าเวลาการผลิตพริกแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 ผลการตรวจสอบคุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

พริกแห้งที่อบ ด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น มีลักษณะผิวเป็นสีแดงใส ขั้วเขียว และไม่แตก มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 24.81 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 21.64 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 12.49 ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.36

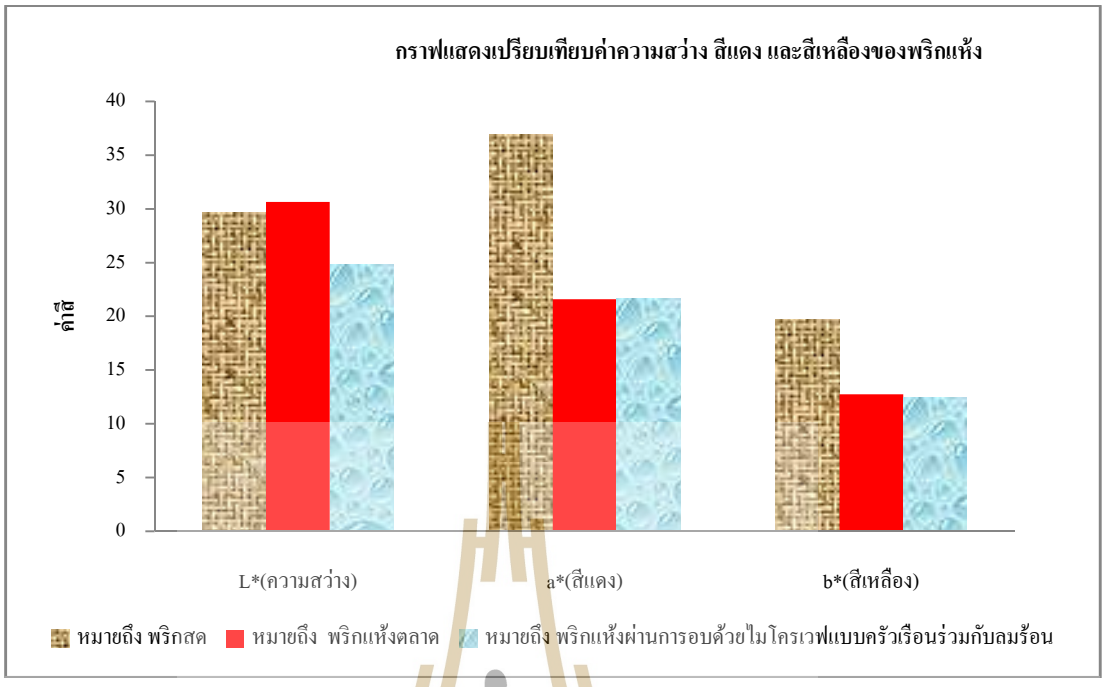
เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับพริกแห้งในท้องตลาดพบว่า พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีค่าความสว่างน้อยกว่า ทั้งนี้หากจำเป็นสามารถปรับปรุงได้โดยนำการนึ่งหรือลวกพริกก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง (นาริสา บินหะยีดิง และคณะ, 2553) หรืออาจจะประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อทำการนึ่งพริกก่อนแล้วจึงเข้ากระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต่อไป

อย่างไรก็ดี แม้ว่าพริกแห้งตามท้องตลาดจะมีค่าความสว่างสูง แต่เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของพริกแห้งพบว่าผิวจะเหี่ยวและขั้วดำ ต่างจากพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง แสดงไว้ใน รูปที่ 4.37

ตารางที่ 4.6 ลักษณะของพริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ประเภท	ค่าสี			ลักษณะทั่วไปของผิวพริก
	L*	a*	b*	
พริกสด	29.70	36.92	19.76	สีแดงสด ไม่เหี่ยว ขั้วเขียว และไม่แตก
พริกแห้งตลาด	30.65	21.58	12.75	สีแดง ใส ขั้วสีน้ำตาล เหี่ยว และไม่แตก
พริกแห้งผ่านการอบด้วยไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน	24.81	21.64	12.49	สีแดง ใส ขั้วเขียว เหี่ยวน้อย และไม่แตก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของพริกแห้ง อบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รูปที่ 4.37 ลักษณะของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

4.6 ผลการศึกษาต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ต้นทุนการสร้างเครื่อง และต้นทุนการอบแห้ง มีรายละเอียดดังนี้

4.6.1 ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ประกอบด้วย ต้นทุนระบบควบคุม ต้นทุนชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ต้นทุนชุดกำเนิดลมร้อน ต้นทุนฐานรองและห้องอบ ต้นทุนสายพาน และต้นทุนระบบระบายความชื้น รวมค่าแรงสร้างเครื่อง เท่ากับ 198,800 บาท รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ต้นทุนเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าอุปกรณ์	ค่าแรงติดตั้ง	รวมทั้งหมด
1	ระบบควบคุม						
	-อุปกรณ์	ชุด	1.00	25,000.00	25,000.00	5,000.00	30,000.00
	- โปรแกรม	โปรแกรม	1.00			10,000.00	10,000.00
2	ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ						
	- ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ	ชุด	6.00	2,500.00	15,000.00	10,000.00	25,000.00
	- ตู้	ตู้	2.00	2,000.00	4,000.00	1,000.00	5,000.00
	- สายไฟทนแรงดันสูง	เมตร	20.00	100.00	2,000.00	-	2,000.00
3	ชุดกำเนิดลมร้อน	ชุด	1.00	30,000.00	30,000.00	-	30,000.00
4	ฐานรองและห้องอบ	ชุด	1.00	60,000.00	60,000.00	20,000.00	80,000.00
5	สายพาน(รวมมอเตอร์)	ชุด	1.00	15,000.00	15,000.00	-	15,000.00
6	ระบบพัดลมระบายความชื้น	ตัว	12.00	150.00	1,800.00	-	1,800.00
รวมทั้งหมด					**152,800.00**	**46,000.00**	**198,800.00**

4.6.2 ต้นทุนการการอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ผลการทดสอบอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ สภาวะที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการผลิตพริกแห้ง 6.41 กิโลกรัมพริกแห้งต่อวัน (คำนวน 1 วัน เท่ากับ 24 ชั่วโมง) ต้นทุนค่าไฟฟ้า 38 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง (3.5 บาทต่อหน่วย) ไม่รวมค่าแรงงาน ดังแสดงในตารางที่ 4.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.8 ต้นทุนอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

สภาวะที่	ระยะเวลาการอบแห้ง (นาที)	พลังงานที่ใช้ (MJ)	น้ำหนักพริกสด (kg)	น้ำหนักพริกแห้ง (kg)	อัตราการผลิตพริกแห้ง $kg_{dry\ chilli}/day$	อัตราการผลิตพริกสด $kg_{fresh\ chilli}/day$	ต้นทุนการอบแห้ง $baht/kg_{dry\ chilli}$
1	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
2	270	46.80	3.69	1.20	6.41	20.95	38
3	330	43.20	3.85	1.20	5.24	16.80	37

หมายเหตุ สภาวะที่ 1 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 120 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

สภาวะที่ 2 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

สภาวะที่ 3 ควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 60 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

ความชื้นพริกสดเท่ากับ 74 เปอร์เซ็นต์

ความชื้นพริกแห้งเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

4.7 แนวทางการพัฒนาสู่เชิงพานิชย์

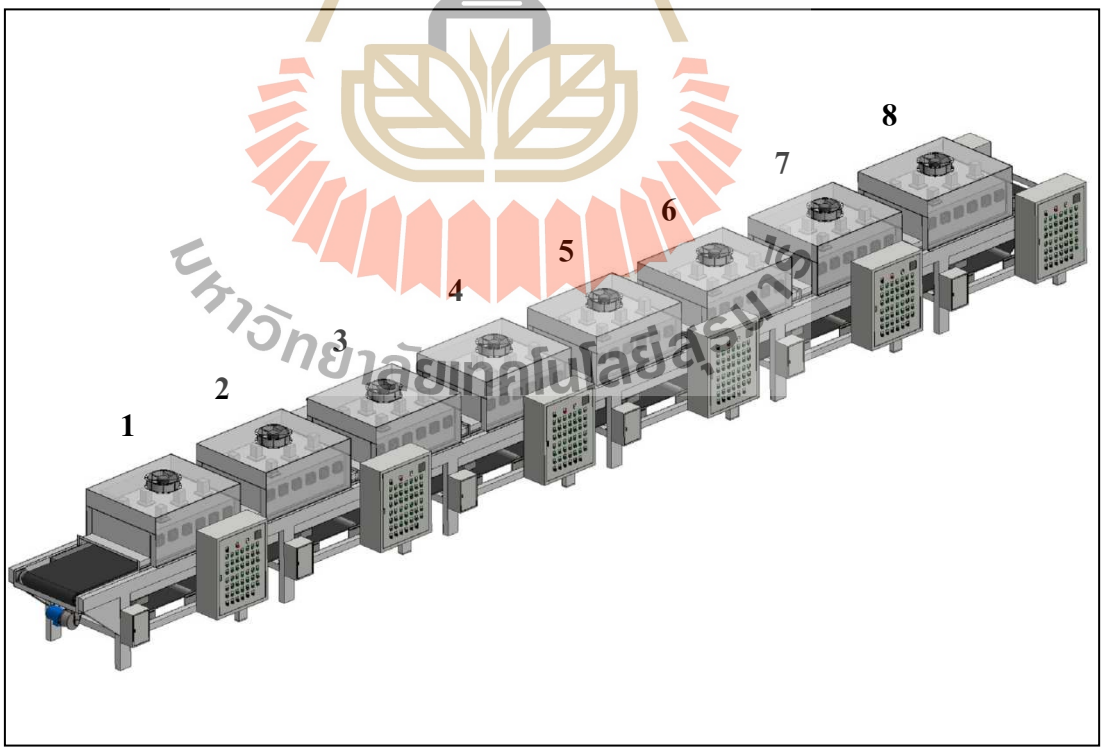
4.7.1 ลักษณะเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้ ออกแบบมาเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในเชิงพานิชย์ โดยนำแบบจากต้นแบบฯ จำนวน 8 ชุด ต่อเข้าด้วยกันและใช้สายพานชุดเดียว ยาว 10 เมตร แบ่งระบบควบคุม เป็นอิสระต่อกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1

4.7.2 หลักการทำงานและการควบคุม

จากผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสำหรับการอบพริกแห้ง คือ ระบบแมกนีตรอนเปิดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่อแมกนีตรอนทำงานครบเวลา 90 วินาที ระบบลมร้อนเปิดทำงาน เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิระบบแมกนีตรอนและระบบลมร้อน ระบบระบายความชื้น เปิดระบบทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และปิดระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ สภาวะดังกล่าวใช้เวลาลดความชื้นพริกจาก 74 เปอร์เซ็นต์ ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ภายใน 3.5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงได้หลักการทำงานและควบคุมระบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์ ดังนี้

เตรียมพริกน้ำหนัก 3.5 กิโลกรัม ใส่ถาดพื้นมีรูหรือพื้นตะแกรง ขนาดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 80 เซนติเมตร แล้วป้อนเข้าสู่ห้องอบที่ 1 (ห้องอบที่ 1-8 มีระบบแมกนีตรอนเปิดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่อแมกนีตรอนทำงานครบเวลา 90 วินาที ระบบลมร้อนเปิดทำงาน เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิระบบแมกนีตรอนและระบบลมร้อน ระบบระบายความชื้น เปิดระบบทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และปิดระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยแยกการควบคุมเป็นอิสระต่อกัน) ถาดที่ 1 ใช้เวลาอยู่ในห้องอบที่ 1 ประมาณ 26.25 นาที ในช่วงนาทีที่ 25.25 ห้องอบที่ 1 จะหยุดการทำงานของชุดกำเนิดลมร้อนและแมกนีตรอน เป็นระยะเวลา 5 นาที เพื่อลดการใช้พลังงานและให้พริกได้พักตัวกับระบบลมเย็น จากระบบควบคุมสายพานจะลำเลียงวัสดุในถาดที่ 1 เข้าสู่ตู้อบที่ 2 และขณะเดียวกันก็นำถาดที่ 2 เข้าตู้อบที่ 1 และทำงานเช่นนี้จนถาดที่ 8 เข้าสู่ตู้อบที่ 1 ทั้งหมดใช้เวลา 3.5 ชั่วโมง จะได้พริกแห้งถาดที่ 1 และ 2,3,4,...,8 ใน 1 วัน หรือ 24 ชั่วโมง สามารถผลิตพริกแห้งได้ 47 ถาด คิดเป็นพริกสด 164 กิโลกรัมพริกสด หรือ พริกแห้ง 50 กิโลกรัมพริกแห้ง



รูปที่ 4.38 ลักษณะเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์

4.7.3 ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์

การสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์นั้น ประกอบด้วยชุดเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้นนี้ จำนวน 8 ชุด ยกเว้นระบบสายพานใช้เพียงเส้นเดียว ยาว 10 เมตร ดังนั้นจึงมีต้นทุนสร้างเครื่องเท่ากับ 1,268,400 บาท รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ต้นทุนเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนระดับพานิชย์

ลำดับ	รายการ	หน่วย	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	รวมค่าอุปกรณ์	ค่าแรงติดตั้ง	รวมทั้งหมด
1	ระบบควบคุม						
	-อุปกรณ์	ชุด	8.00	25,000.00	200,000.00	5,000.00	205,000.00
	- โปรแกรม	โปรแกรม	1.00			10,000.00	10,000.00
2	ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ						
	- ชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ	ชุด	48.00	2,500.00	120,000.00	10,000.00	130,000.00
	- ตู้	ตู้	16.00	2,000.00	32,000.00	1,000.00	33,000.00
	- สายไฟทนแรงดันสูง	เมตร	160.00	100.00	16,000.00	-	16,000.00
3	ชุดกำเนิดลมร้อน	ชุด	8.00	30,000.00	240,000.00	-	240,000.00
4	ฐานรองและห้องอบ	ชุด	8.00	60,000.00	480,000.00	20,000.00	500,000.00
5	สายพาน(รวมมอเตอร์)	ชุด	1.00	120,000.00	120,000.00	-	120,000.00
6	ระบบพัดลมระบายความชื้น	ตัว	96.00	150.00	14,400.00	-	14,400.00
รวมทั้งหมด					**1,222,400.00**	**46,000.00**	**1,268,400.00**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ลักษณะต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้ ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ ระบบควบคุม ระบบพัดลมระบายความชื้น ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน ผนังห้องอบ ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ ระบบสายพาน ระบบกำเนิดลมร้อน และฐาน

ห้องอบมีขนาดความจุ 210 ลิตร หรือขนาดกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และ สูง 30 เซนติเมตร ผนังของห้องอบประกอบด้วย ท่อนำคลื่นไมโครเวฟ (ด้านบน) ทางเข้า-ออกวัตถุดิบ (ด้านหน้าและหลัง) ระบบระบายความชื้น (ด้านข้าง 2 ด้าน) และทางเข้า-ออกลมร้อน (ด้านล่าง)

การออกแบบระยะการติดตั้งแมกนีตรอนและท่อนำคลื่นบนผนังห้องอบ ใช้ระยะการกระจายตัวของคลื่นกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร ดังนั้นจึงใช้แมกนีตรอน 6 ตัว แต่ละตัว แผ่คลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟ 2450 MHz กำลัง 1200 วัตต์ ด้านบนของผนังห้องอบ มีอุปกรณ์สำหรับลดอุณหภูมิให้กับแมกนีตรอน คือ พัดลมระบายความร้อน โดยติดตั้งพัดลมลมระบายความร้อน 2 ตำแหน่ง ดังนี้ ตำแหน่งที่ 1 บริเวณด้านบนของผนังห้องอบภายนอก 1 ตัว ความเร็วลม 3.7 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 60 วัตต์ เป็นพัดดูดอากาศเย็นจากภายนอกแล้วปล่อยเข้าไปในห้องแมกนีตรอน และ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณติดกับหัวแมกนีตรอน ทั้ง 6 ตัว พัดลมแต่ละตัว มีความเร็วลม 3.6 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 1.7 วัตต์ เป็นพัดลมดูดลมอากาศเย็นแล้วปล่อยผ่านครีบระบายความร้อนของแมกนีตรอนแต่ละตัว พัดลมระบายความร้อนทั้ง 2 ตำแหน่งเปิด-ปิด ตามการทำงานของแมกนีตรอน

ทางเข้า-ออก วัตถุดิบมีขนาด กว้าง 70 เซนติเมตร สูง 7 เซนติเมตร มีลักษณะเป็นอุโมงค์ลึก 10 เซนติเมตร มีประตูเปิด-ปิด ระหว่างห้องอบกับอุโมงค์ ประตูเปิดได้ 2 ด้าน ทั้งจากด้านในและด้านนอก ด้วยถาดบรรจุวัตถุดิบ ภายในห้องอบมีระบบระบายความชื้นด้วยพัดลมดูดความชื้นจำนวน 12 ตัว ติดตั้งไว้ด้านข้าง สูงจากพื้นห้องอบ 16 เซนติเมตร แต่ละตัวมีความเร็วลม 3.1 เมตรต่อวินาที กำลังไฟฟ้า 0.08 วัตต์ ทำหน้าที่ดูดความชื้นจากห้องอบปล่อยสู่ภายนอก โดย

กำหนดให้พัดลมดูดความชื้นเปิดระบบทำงานที่ความชื้นสัมพัทธ์ในห้องอบมีค่ามากกว่าภายนอกห้องอบ ภายในห้องอบด้านล่าง มีทางเข้าลมร้อนอยู่ด้านข้างมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดกว้าง 4 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และทางออกเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร ระบบลมร้อนหมุนวน ผนังของห้องอบภายใน ทำจากวัสดุสแตนเลสสตีล เกรด 304 ส่วนผนังห้องอบด้านนอกใช้วัสดุตะแกรงเหล็ก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรู 2 มิลลิเมตร มีความหนาหนา 3 มิลลิเมตร และฐานใช้เหล็กเป็นโครงสร้าง

สายพานสำเร็จรูป มีลักษณะเป็นตะแกรงลวด พื้นที่ใช้งานทั้งหมดกว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 180 เซนติเมตร พื้นที่ใช้งานภายในห้องอบ กว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 100 เมตร ขนาดมอเตอร์ 0.21 กิโลวัตต์ ควบคุมความเร็วด้วยเกียร์ทด ถ่ายทอดกำลังจากมอเตอร์ขับสายพานด้วยโซ่

ชุดผลิตลมร้อนที่ใช้ในงานนี้มีขนาด 5,000 วัตต์ อุณหภูมิสูงสุด 180 องศาเซลเซียส เป็นระบบผลิตลมร้อนแบบหมุนวน ควบคุมการเปิดปิดด้วยอุณหภูมิภายในห้องอบ ความเร็วลมร้อนเท่ากับ 1.21 เมตรต่อวินาที

ระบบควบคุม แบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอน ส่วนที่ 2 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่น ๆ แบบปรับมือ และส่วนที่ 3 การควบคุมระบบการทำงานอุปกรณ์อื่นๆ แบบอัตโนมัติ

5.1.2 ผลการทดสอบการทดสอบการทำงานของเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

การทดสอบการกระจายตัวของคลื่น พบว่า การเปิดแมกนีตรอน ปิดระบบลมร้อน ปิดระบบดูดความชื้น และปิดระบบสายพาน ระยะเวลา 3 4 และ 5 นาที ให้การกระจายตัวของสม่ำเสมอ 80 90 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การทดสอบประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น 3 สภาวะการทดสอบ พบว่า ในสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี เปิดระบบไมโครเวฟ และปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 19.76 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณี ปิดระบบไมโครเวฟ และเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 20.05 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการทดสอบประสิทธิภาพ กรณีเปิดระบบไมโครเวฟและเปิดระบบลมร้อน ระบบมีประสิทธิภาพ ท่ากับ 20.75 เปอร์เซ็นต์ (ทั้ง 3 สภาวะ ปิดพัดลมระบายความชื้น)

การทดสอบการรั่วไหลของคลื่นไมโครเวฟสู่นอกห้องอบ พบ ว่ามีการรั่วไหลเท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 4 เมตร ที่บริเวณทางเข้า-ออกของวัสดุ ส่วนบริเวณด้านข้างทั้ง 2 ด้าน มีการรั่วไหล เท่ากับ 5 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ระยะ 2 เมตร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.1.3 การทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

การทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ การทดสอบอบแห้งพริกเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน และการทดสอบอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น ในการทดสอบระดับแรกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบครัวเรือนนั้น เพื่อนำผลการทดสอบไปใช้สำหรับออกแบบและปรับปรุงเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนใหม่ เมื่อปรับปรุงแล้ว ทำการทดสอบระดับสอง

1) ทดสอบเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนร่วมกับลมร้อน

การทดสอบผลิตพริกแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟแบบครัวเรือน พบว่าความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 ถึง 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ในเวลา 150 นาที จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนหรือไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อน มีลักษณะผิวเป็นสีแดงใส ขั้วเขียว ไม่แตก และไม่เหี่ยว มีความหนาแน่นเท่ากับ 88.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ความชื้น 8.61 เปอร์เซ็นต์ (พริกสด ความหนาแน่นเท่ากับ 228.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ความชื้น71.80 เปอร์เซ็นต์) พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อนมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 23.78 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 22.10 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 12.87 ตามลำดับ

2) ทดสอบเบื้องต้นด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

สภาวะที่เหมาะสมของการควบคุมระบบการทำงานอบแห้งพริกโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน คือ ระบบแมกนีตรอนเปิดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่อแมกนีตรอนทำงานครบเวลา 90 วินาที ระบบลมร้อนเปิดทำงาน เมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบน้อยกว่า 60 องศาเซลเซียส และปิดเมื่ออุณหภูมิภายในห้องอบมากกว่าหรือเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิระบบแมกนีตรอนและระบบลมร้อนใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิชุดเดียวกัน ส่วนระบบระบายความชื้น เปิดระบบทำงานเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบมากกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ และปิดระบบเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์

ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอน รอบละ 90 วินาที ความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 73.50 ถึง 15.00 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ในเวลา 270 นาที หรือ 4.5 ชั่วโมง ค่าพลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากพริกเท่ากับ 38,968 กิโลจูลต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

5.1.4 คุณภาพและลักษณะโดยทั่วไปของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ปรับปรุงขึ้น มีลักษณะผิวเป็นสีแดงใสขั้วเขียว และไม่แตก มีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 24.81 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 21.64 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 12.49 ตามลำดับ

5.1.5 ต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน

ต้นทุนในกระบวนการผลิตพริกแห้งแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ ต้นทุนการสร้างเครื่อง และต้นทุนการอบแห้ง ดังนี้ ต้นทุนสร้างเครื่องเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ประกอบด้วยต้นทุนระบบควบคุม ต้นทุนชุดกำเนิดคลื่นไมโครเวฟ ต้นทุนชุดกำเนิดลมร้อน ต้นทุนฐานรองและห้องอบ ต้นทุนสายพาน และต้นทุนระบบระบายความชื้น รวมค่าแรงสร้างเครื่องเท่ากับ 198,800 บาท และต้นทุนการการอบแห้งพริกด้วยเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน ที่สภาวะควบคุมอุณหภูมิห้องอบ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการทำงานของแมกนีตรอนรอบละ 90 วินาที และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องอบเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ มีอัตราการผลิตพริกแห้ง 6.41 กิโลกรัมพริกแห้งต่อวัน (คำนวน 1 วัน เท่ากับ 24 ชั่วโมง) ต้นทุนค่าไฟฟ้า 38 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง (3.5 บาทต่อหน่วย) ไม่รวมค่าแรงงาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเตาอบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อนของงานวิจัยนี้มีส่วนที่ยังไม่สามารถแก้ปัญหาได้ ในด้านการรั่วไหลของคลื่น ซึ่งเกิดขึ้นบริเวณทางเข้า ออก วัสดุ ในแนวทางการแก้ปัญหา คือ ปรับปรุงทางเข้า-ออก ให้เป็นประตู 2 ชั้น และเพิ่มกลไกลดการรั่วของคลื่น

ต้นแบบฯ ของงานวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาใช้ได้จริงในเชิงพานิชย์ เพื่อแก้ปัญหาการอบแห้งในฤดูฝนได้ นอกจากนี้ต้นแบบฯ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งวัสดุอื่น ๆ เช่น ปลาแดดเดียว เนื้อแดดเดียว กากมันสำปะหลัง มันเส้น สมุนไพร วัสดุอื่น ๆ ที่ต้องการทำแห้ง โดยปราศจากสิ่งปนเปื้อน ทั้งนี้ก่อนนำไปประยุกต์ใช้ต้องศึกษาต้นทุนความคุ้มค่าต่อการลงทุนก่อน เนื่องจากต้นแบบฯ นี้ใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีต้นทุนในด้านพลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้น ต้นแบบ ฯ นี้จึงเหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง

รายการอ้างอิง

จันทรา ดิษฐนา. (2549). **การทำแห้งดอกกุหลาบด้วยระบบปั๊มความร้อนและสูญญากาศ.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ทนงศักดิ์ วัฒนา. (2554). การอบแห้งและการประยุกต์ใช้งานเครื่องอบแห้งด้วย พลังงานแสงอาทิตย์, http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=13208&section=9

เทวรัตน์ ทิพยวิมล. (2551). **การพัฒนาเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนร่วมกับไมโครเวฟเพื่ออบแห้งสมุนไพร**.วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก วิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นาริสา บินหะยีดิง ปยาภรณ ภาษิตกุล และวิภา พลันสังเกต. (2553).อิทธิพลของสารกับการเปลี่ยนแปลงสีของพริกชี้ฟ้าแห้ง. The 36th Congress on Science and Technology of Thailand. 26 - 28 ตุลาคม 2553. ณ กรุงเทพ มหานคร.

ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. (2551). **พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

มยุรี ปฏิมาพรเทพ. (2546). **ชุดวัดความชื้นในเตาอบไมโครเวฟสำหรับอุตสาหกรรมเกษตร.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชามาตรวิทยาทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมบัติ ขอวิวัฒนา. (2529). กรรมวิธีการอบแห้ง.ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 284 น.

สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน,เล่มที่ ๑๙ / เรื่องที่ ๓ การถนอมผลิตผลการเกษตร /

สาวิตรี คำหอม. (2549). **การศึกษาการประยุกต์เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน**.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. (2545). **การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย.** ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSCyj202_DTU_D6j9nBcOnK5a2zlhCl5BmmS07usATzU-XDSv-

http://www.bloggang.com/data/lamaii/picture/1195989431.jpg

http://www.phitsanulokhotnews.com/wp-content/media/2011/11/DSC03360-1.jpg

http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/270/pic1/prik04.jpg

http://www.thaikasetsart.com/wp-content/uploads/2012/04/kaset16.jpg

http://www.thaikasetsart.com/wp-content/uploads/2012/04/kaset16.jpg

I.Albas Ozkan B.Akbudak and N.Akbudak. (2005). Microwave drying characteristics of spinach. **Journal of Food Engineering**, 78: 577-583.

Tomas Funebo and Thomas Ohlsson. (1998). Microwave - assisted air dehydration of apple and mushroom. **Journal of Food Engineering**, 38: 353-367.

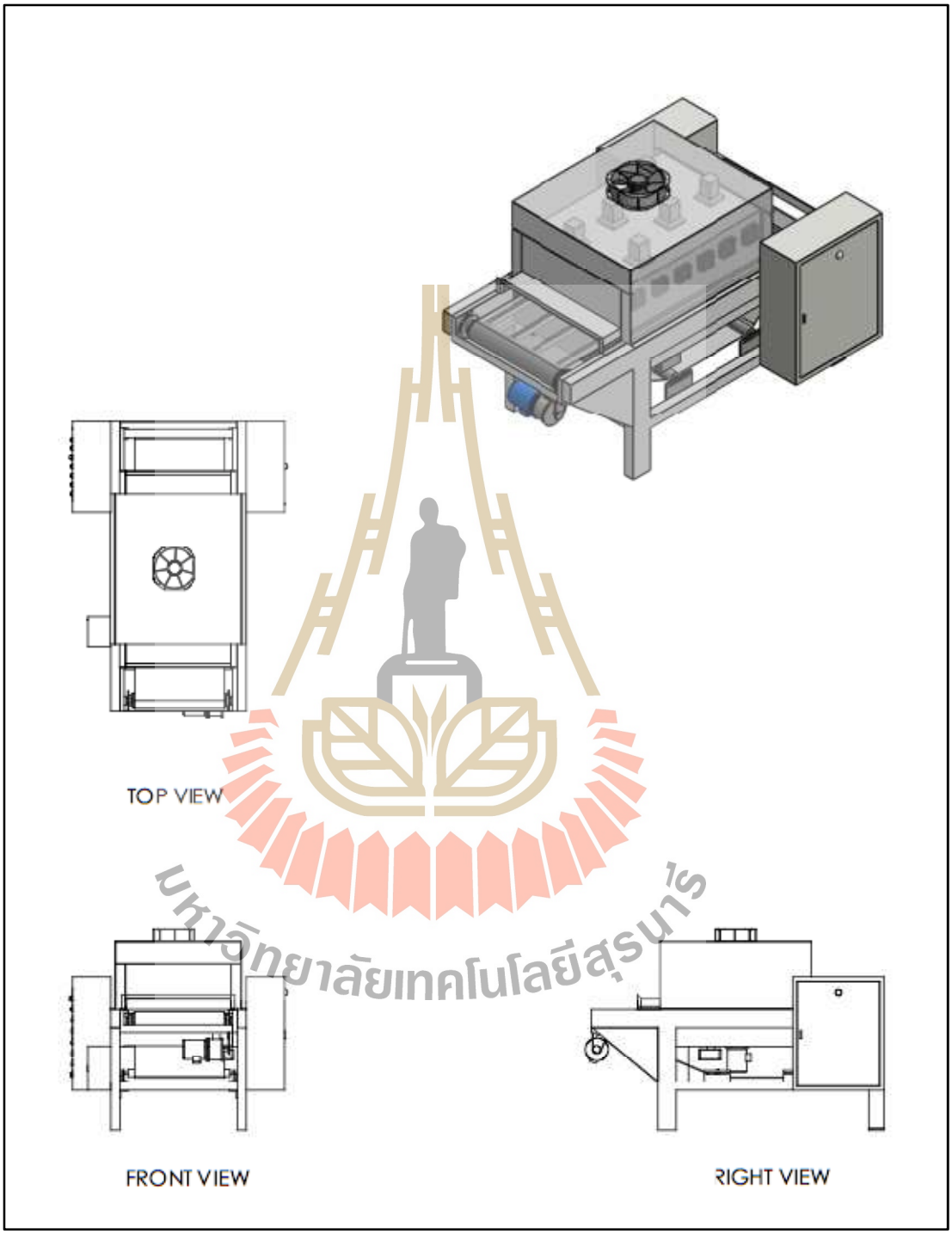
Tulasidas T.N., G.S.V. Raghavan and A.S. Mujumdar. (1995). Microwave drying of Grapes in a Single mode cavity at 2540 MHz I: Drying Kinetics. **Drying Technology**, 13 (8&9): 1949-1971.

Y.Soysal. (2004). Microwave drying characteristics of parsiey. **Biosystems engineering**, 89(2): 167-173.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

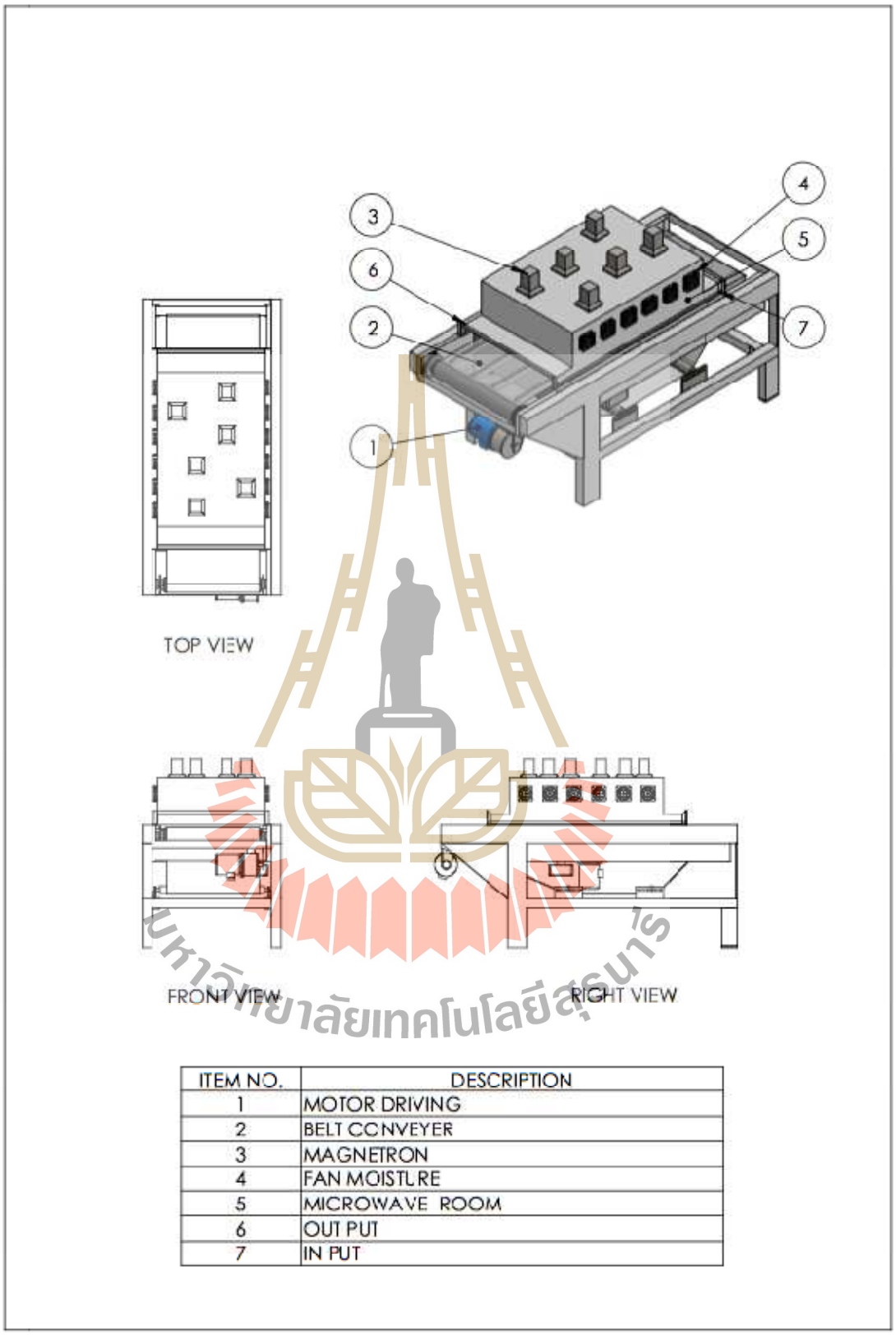
ภาคผนวก ก

เครื่องต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

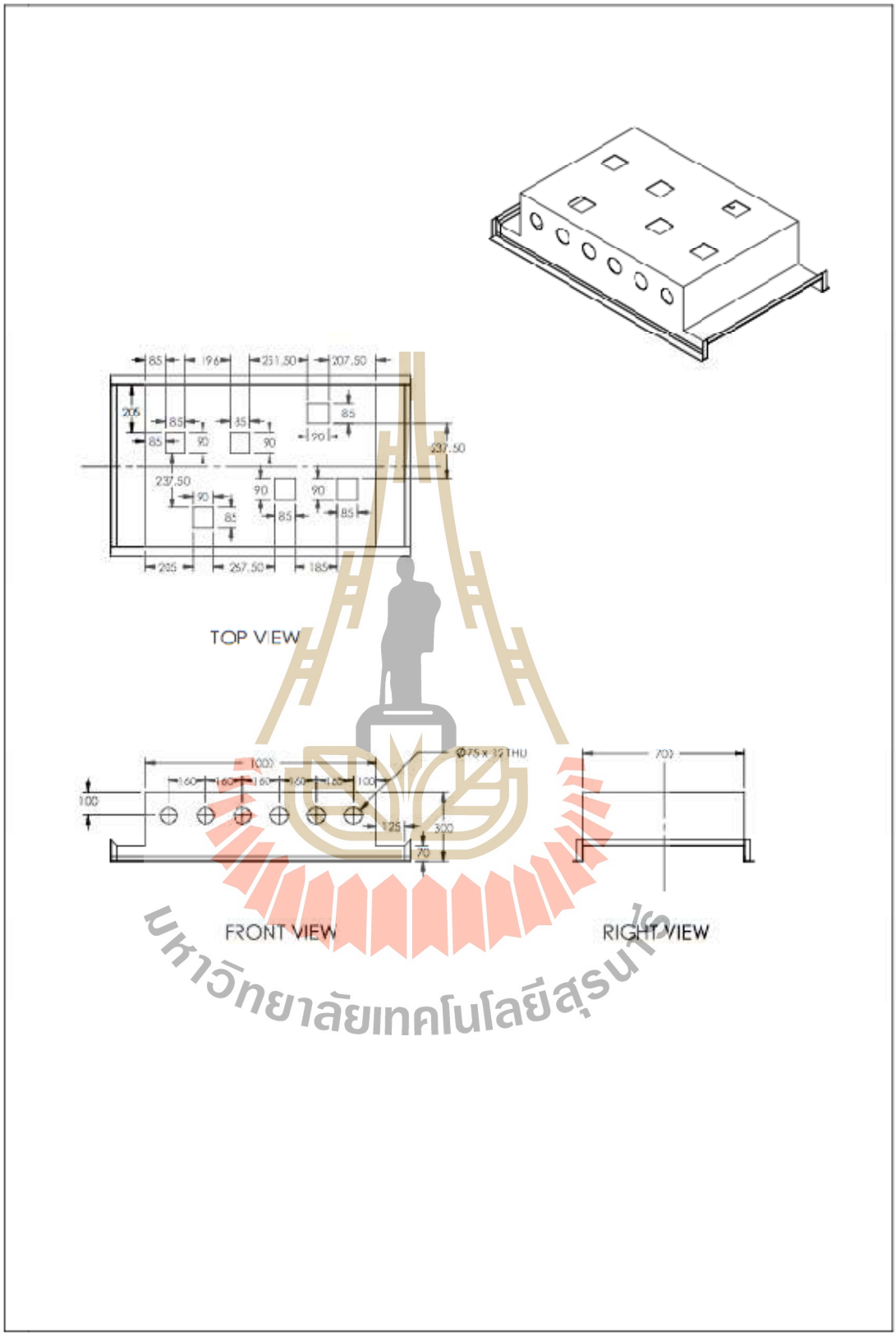
รูปที่ ก.1 แสดงแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน



ITEM NO.	DESCRIPTION
1	MOTOR DRIVING
2	BELT CONVEYER
3	MAGNETRON
4	FAN MOISTURE
5	MICROWAVE ROOM
6	OUT PUT
7	IN PUT

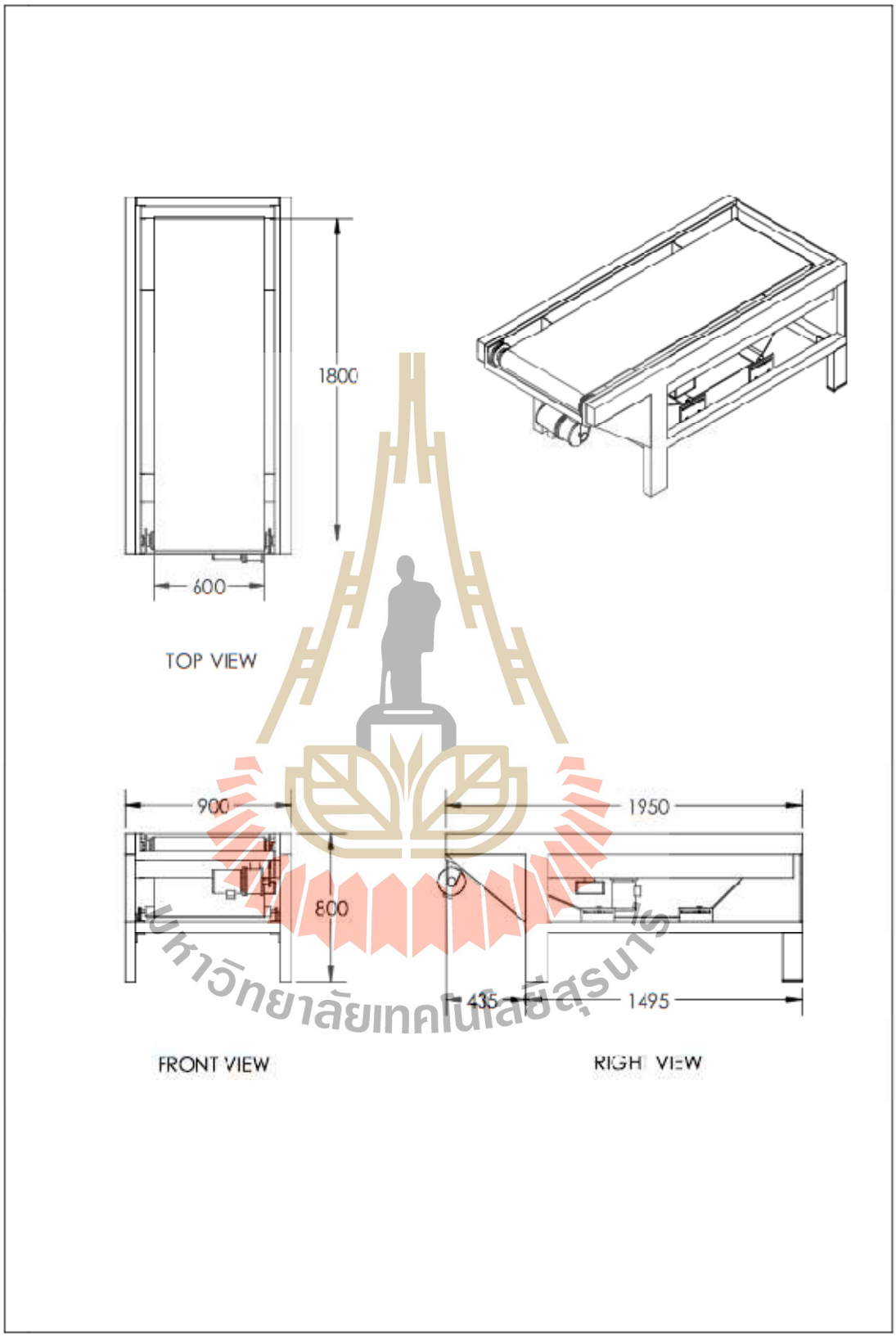
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ ก.2 แสดงแบบภายในห้องแมกนีตรอนเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานร่วมกับลมร้อน



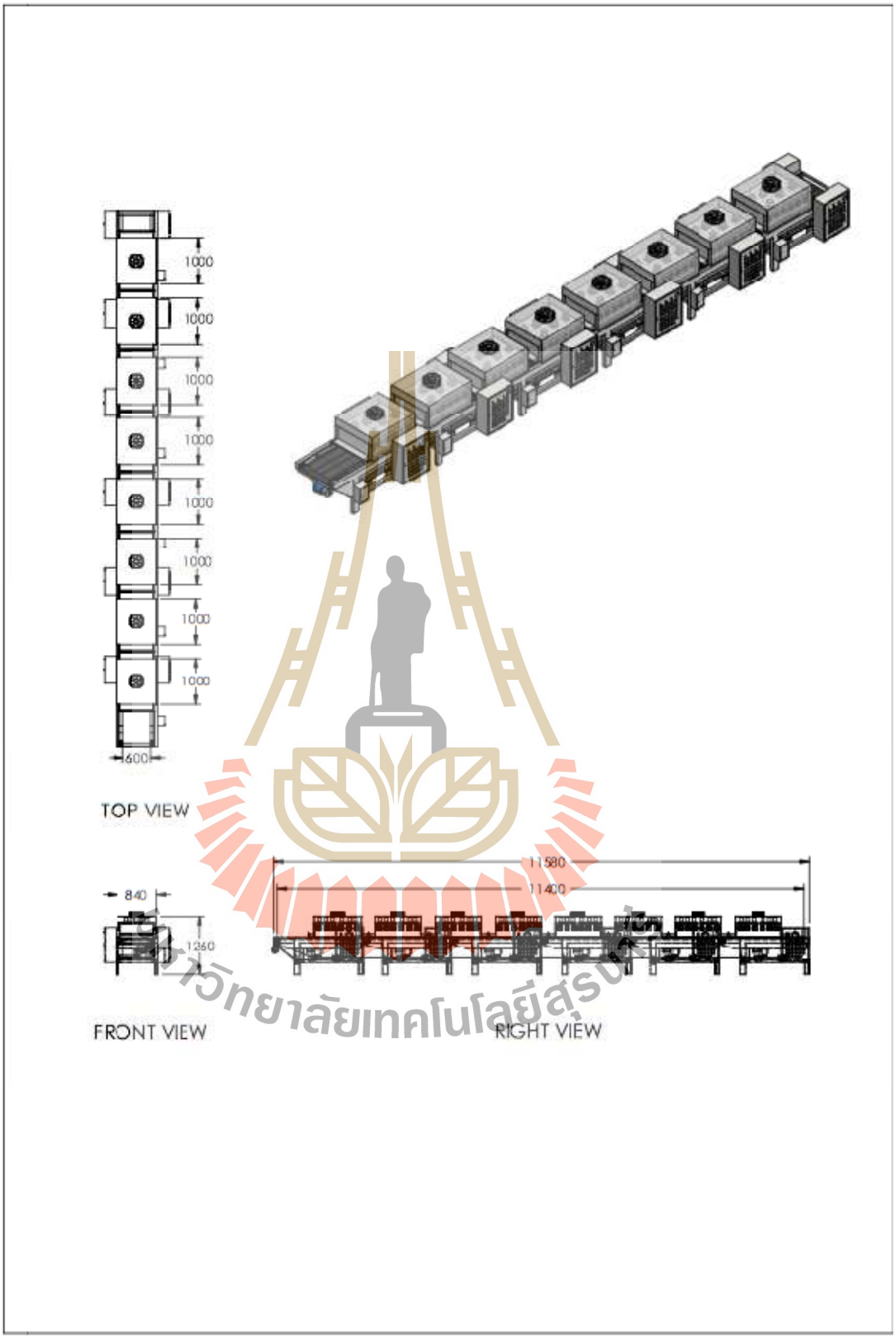
รูปที่ ก.3 แสดงแบบภายในผนังห้องอบไมโครเวฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

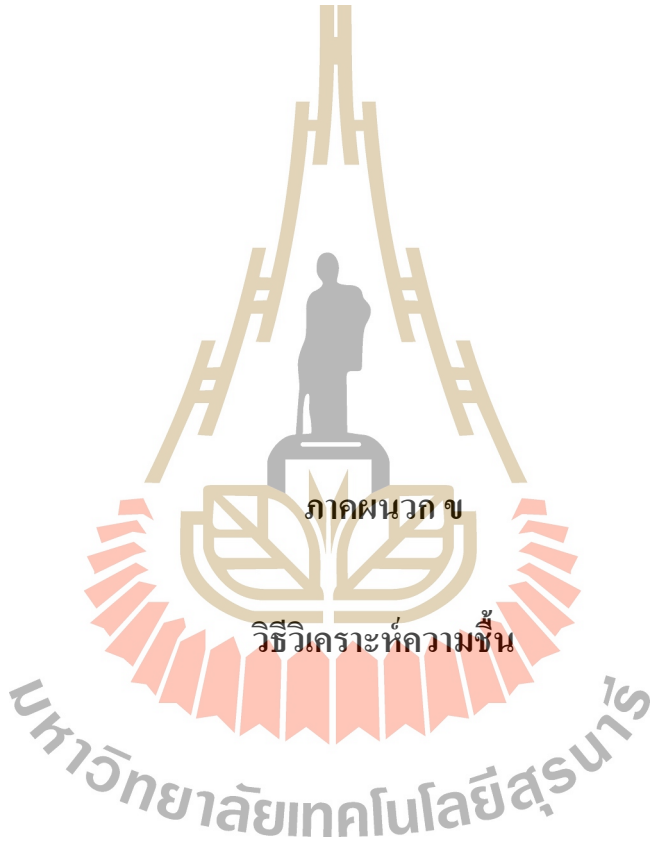


รูปที่ ก.4 แสดงแบบสายพานเตาอบไมโครเวฟ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ ก.5 แสดงแบบสายพานเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเชิงพานิชย์



ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ความชื้น

1. ความชื้น

คือ เปอร์เซ็นต์ของน้ำต่อน้ำหนักพริก มีผลโดยตรงต่อการเก็บรักษา มีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- อบถ้วยอลูมิเนียมพร้อมฝาในเตาอบ (Drying Oven) ที่อุณหภูมิ 104-110°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเดสิเกเตอร์ (Desicator) ทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งและบันทึกน้ำหนัก
- ชั่งตัวอย่างพริกที่ใช้ในการทดลองประมาณ 20 กรัม ลงในถ้วย อลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นบันทึกน้ำหนักตัวอย่างพริก
- นำตัวอย่างพริกไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 104-110 ° C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าน้ำหนักพริกจะคงที่
- นำถ้วยอลูมิเนียมมาทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำเข้าเดสิเกเตอร์ จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที จึงทำการชั่งน้ำหนักถ้วยอลูมิเนียมที่มีตัวอย่างพริก ที่ทำการอบแล้วอยู่ภายในและทำการบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = 100x\frac{(W1-W2)}{W1}$$

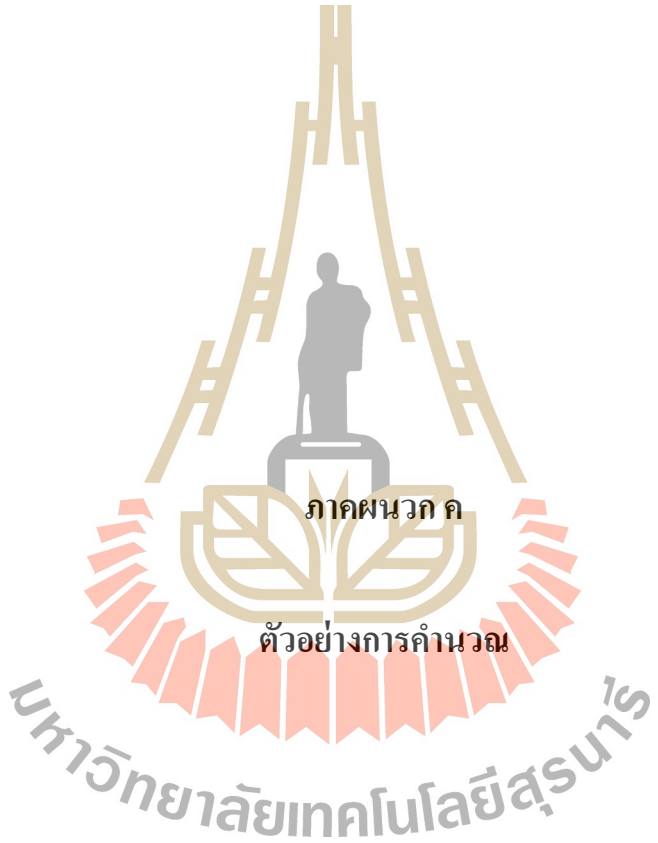
เมื่อ M = ร้อยละของความชื้นมาตรฐานเปียก

W_1 = น้ำหนักของตัวอย่างพริกก่อนทำการอบ (กรัม)

W_2 = น้ำหนักของตัวอย่างพริกที่หลังทำการอบ (กรัม)

W = น้ำหนักของตัวอย่างตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

1. ตัวอย่างการคำนวนประสิทธิภาพระบบ

$$Eff. = [Q_{out}/Q_{in}]x100$$

$$Q_{out} = P_w + P_T$$

$$P_w = \Delta mh$$

$$P_T = m_2c_p(T_2-T_1)$$

$$Q_{in} = P$$

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	หน่วย
Eff.	ประสิทธิภาพของระบบ	%
Q_{out}	พลังงานที่ได้รับจากระบบ	kJ
Q_{in}	พลังงานที่ให้ระบบ	kJ
h	ค่าความร้อนแฝงของการเป็นไอของน้ำเท่ากับ 2,260	kJ/kg
Δm or (m_1-m_2)	น้ำหนักของน้ำที่หายไป	g
c_p	ค่าความจุความร้อนของน้ำ	kJ/kg C
P_w	พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ	kJ
P_T	พลังงานที่ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น	kJ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดสอบหาประสิทธิภาพเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยใช้น้ำเป็นตัวรับคลื่น ที่เวลาเปิดระบบ 300 นาที น้ำหนักน้ำเริ่มต้น 1.5 กิโลกรัม น้ำหนักน้ำสุดท้าย 1.2 กิโลกรัม ใช้พลังงานไฟฟ้า 2,000 กิโลจูล อุณหภูมิน้ำเพิ่มขึ้น 1 องศา ประสิทธภาพของระบบมีค่าเท่ากับ

วิธีคำนวน

$$Q_{in} = P = 2{,}000 \text{ kJ}$$

$$P_T = m_2 c_p (T_2 - T_1) = 1.2 \text{ (kg)} \times 4.187 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)} \times 1 \text{ } (^\circ\text{C})$$

$$P_T = 5 \text{ kJ}$$

$$P_w = \Delta mh = 0.3 \text{(kg)} \times 2{,}260 \text{ (kJ/kg)}$$

$$P_w = 678 \text{ kJ}$$

$$Q_{out} = P_w + P_T = 678 \text{ kJ} + 5 \text{ kJ}$$

$$Q_{out} = 683 \text{ kJ}$$

$$\text{Eff.} = [Q_{out} / Q_{in}] \times 100 = [683(\text{kJ}) / 2{,}000(\text{kJ})] \times 100$$

$$\text{Eff.} = 34.15 \%$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ตัวอย่างการคำนวนพลังงานที่ใช้ต่อ 1 กิโลกรัมพริกแห้ง

การผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ใช้เวลา 270 นาที พลังงานที่ใช้ 46,800 กิโลจูล พริกสดน้ำหนัก 3.692 กิโลกรัม พริกแห้งน้ำหนัก 1.201 กิโลกรัม พลังงานที่ใช้ในการอบพริกเท่ากับ

วิธีคำนวน

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = พลังงานที่ใช้ /น้ำหนักพริกแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = (46,800 kJ) /(1.201 kg $_{\text{dry chilli}}$)

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = 38,968 kJ/ kg $_{\text{dry chilli}}$

3. ตัวอย่างการคำนวนอัตราการผลิตพริกแห้ง

การผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ใช้เวลา 270 นาที พลังงานที่ใช้ 46,800 กิโลจูล พริกสดน้ำหนัก 3.692 กิโลกรัม พริกแห้งน้ำหนัก 1.201 กิโลกรัม อัตราการผลิตพริกแห้งเท่ากับ

วิธีคำนวน

อัตราการผลิตพริกแห้ง = น้ำหนักพริกแห้ง/เวลาการอบพริก

อัตราการผลิตพริกแห้ง = (1.201 kg)/(270 min x(1 hr /60 min)) x 24 hr

อัตราการผลิตพริกแห้ง = 6.40 hr

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4. ตัวอย่างการคำนวนต้นทุนการอบแห้ง

การผลิตพริกแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ใช้เวลา 270 นาที พลังงานที่ใช้ 46,800 กิโลจูล พริกสดน้ำหนัก 3.692 กิโลกรัม พริกแห้งน้ำหนัก 1.201 กิโลกรัม ต้นทุนการอบแห้งเท่ากับ (ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.5 บาท)

วิธีคำนวน

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = พลังงานที่ใช้ /น้ำหนักพริกแห้ง

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = (46,800 kJ) /(1.201 $kg_{dry\ chilli}$)

พลังงานที่ใช้ในการอบพริก = 38,968 kJ/ $kg_{dry\ chilli}$

ใช้พลังงานไฟฟ้า = (38,968 kJ/ $kg_{dry\ chilli}$)/(3600 sec /hr)

ใช้พลังงานไฟฟ้า = 10.82 UNIT/ $kg_{dry\ chilli}$

ต้นทุนการอบแห้ง = [10.82 UNIT/ $kg_{dry\ chilli}$] x 3.5 baht

ต้นทุนการอบแห้ง = 37.86 baht/ $kg_{dry\ chilli}$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ธราวุธ บุญน้อม ณัฐพงษ์ ประภาการ สาวิตรี คำหอม และ วีรชัย อาจหาญ. (2555). **การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้ง.** การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้ง

Study of Application of Combine Hot-Air and Microwave oven in Drying Chilies Process

ธราวุธ บุญน้อม[1] ณัฐพงษ์ ประภาการ[1] สาวิตรี คำหอม[1] และ วีรชัย อาจหาญ[2*]

[1]นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
[2] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000
* ติดต่อ:Email: arjharh@g.sut.ac.th,โทรศัพท์: 044 225 007, โทรสาร: 044 225 046

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการอบพริกแห้งโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะ การทำงานที่เหมาะสมของเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้ง และศึกษาต้นทุนในกระบานการผลิต จากผลการศึกษาพบว่าพริกแห้งที่ผ่านกระบานการผลิตด้วยเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีลักษณะผิวเป็นสีแดงใส ขั้วเขียว และไม่แตก ใช้สภาวะการทำงานที่เหมาะสมของอุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที คลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 0.61 วัตต์ต่อกรัมพริกแห้ง ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 ถึง 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ภายในเวลา 150 นาที โดยมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 23.78, 22.10 และ 12.87 ตามลำดับ และมีต้นทุนการอบแห้งเท่ากับ 17 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง

คำหลัก: พริกแห้ง, เตาอบไมโครเวฟ, ลมร้อน, อบแห้ง

Abstract

In the present study, an application of combined microwave and hot air oven in chilies drying process was studied. The objectives were to determine suitable conditions of chilies drying usirg a combined microwave and hot air oven as well as to evaluate its production cost. The study showed that a combined microwave and hot air oven produced dried chilies with shiny red skin and green calyx, and without any crack. The most suitable combination conditions were at 70°C and 1 m/s for hot air and at 0.61 W/g (dry weight) for microwave. The moisture content was reduced from 71.80% to 8.61% within 150 min. The color parameters obtained including L*, a* and b* were 23.78, 22.10 and 12.87, respectively The production cost of dried chilies using the combined microwave and hot air system was 17 Baht/kg (dry weight).

Keywords: dried chilies, microwave oven, hot air, drying

การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13
4-5 เมษายน 2555 จังหวัดเชียงใหม่

1. บทนำ

พริกเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเกษตรกรที่ปลูกพริกในจังหวัดนครราชสีมา ในเขตอำเภอเมืองจังหวัดนครราชสีมาและอำเภอด่านขุนทด การปลูกพริกจะเริ่มปลูกในช่วงเดือนพฤษภาคม เริ่มเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคมจนถึงเดือนตุลาคม ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวจะมีผลผลิตพริกออกมาเป็นจำนวนมาก เกษตรกรจำเป็นต้องจำหน่ายโดยเร็วเพื่อลดการสูญเสีย ทำให้ราคาผลผลิตพริกผันผวนมาก และมีราคาตกต่ำมาก แม้ว่าจะมีตลาดพริกแห้งรองรับ แต่การอบพริก ทำได้ยากและมีสัดส่วนปริมาณน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณพริกสดที่ออกสู่ตลาดในช่วงฤดูเก็บเกี่ยว

การอบแห้งพริกในปัจจุบัน มี 2 วิธี คือ ในระดับครัวเรือน นิยมใช้วิธีการตากแดดกลางแจ้ง ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 5-7 วัน ซึ่งใช้เวลานานและต้องใช้แรงงานในครัวเรือน และระดับการค้า นิยมใช้การอบแห้งพริกในโรงเรือน ซึ่งใช้ระยะเวลาใกล้เคียงกัน แต่สามารถป้องกันฝนและน้ำค้างได้ แต่การอบแห้งในโรงเรือนนี้ จำเป็นต้องใช้แรงงานจำนวนมากในการกลับชั้น ซึ่งขณะทำการกลับชั้นไอระเหยของพริก จะทำให้แสบตาและจมูกเป็นอันตรายต่อแรงงาน ทำให้การผลิตพริกแห้งทำได้ด้วยความยากลำบาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการอบแห้งพริก

ไมโครเวฟ.เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น งานด้านการสื่อสารคมนาคมด้านอุตสาหกรรมและในครัวเรือนโดยในแต่ละด้านมีการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น การสื่อสารคมนาคมจะใช้งานในส่วนของการส่งสัญญาณคลื่นไมโครเวฟไปยังเครื่องรับในระบบต่างๆ ที่ความถี่ต่างกันเช่นสัญญาณวิทยุ สัญญาณโทรทัศน์สัญญาณโทรศัพท์เป็นต้นส่วนในด้านอุตสาหกรรมใช้ในระบบการผลิตจะใช้คลื่นไมโครเวฟในการผลิตความร้อนในกระบวนการผลิตต่างๆ เช่น การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร ธัญพืช ผลไม้ ไม้ดอก ไม้ประดับ สมุนไพร การอบแห้งเซรามิก การอบแห้งกระดาษ การอบแห้งพลาสติก และฯลฯ เป็นต้น เช่นเดียวกันกับงานในครัวเรือน คือ การผลิตความร้อนใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบอาหาร เหมือนเตาแก๊สและเตาไฟฟ้าในการอุ่นอบหรือนึ่ง

เทคโนโลยีการใช้ไมโครเวฟในการผลิตความร้อนจัดได้.เป็นเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงรวดเร็ว รวมถึงไม่มีของเสียออกจากกระบวนการที่ใช้เทคโนโลยีนี้หลักการของเทคโนโลยีนี้ สามารถอธิบายเพื่อความเข้าใจอย่างง่าย คือ เครื่องกำเนิดคลื่นไมโครเวฟจะให้ความร้อนกับวัสดุโดยการแผ่คลื่นผ่านความถี่ไมโครเวฟผ่านเข้าไปในเนื้อวัสดุโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุจะดูดซับพลังงานของคลื่นที่ผ่านเข้าไป ซึ่งโมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้วไฟฟ้า คือ มีประจุบวกและประจุลบที่ตรงกันข้าม เมื่อคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปโมเลกุล.เหล่านี้ก็จะถูกเหนี่ยวนำและหมุนขั้วเพื่อปรับเรียงตัวตามสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของคลื่นเป็นสนามที่เปลี่ยนแปลงสลับไปมาจึงส่งผลให้โมเลกุลเหล่านี้หมุนกลับไปกลับมาทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้น น้ำจึงกลายเป็นไอน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งเวลาการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมินั้นแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิดที่มีปัจจัยแตกต่างกัน เช่น ความชื้นในชั้นวัสดุความหนาแน่นและองค์ประกอบอื่นในการกลายเป็นไอน้ำ ไอน้ำจะลอยตัวสู่ด้านบนหากต้องการให้วัสดุแห้งจะต้องดูดไอน้ำนี้ออกแต่หากไม่ดูดออกวัสดุจะถูกนึ่งหรือต้มด้วยน้ำภายในชั้นวัสดุเองจึงทำให้เตาอบไมโครเวฟสามารถนำใช้งานในครัวเรือนได้อย่างแพร่หลาย

จากการศึกษางานวิจัยของ Tomas Funebo and Thomas Ohlsson (1998) ได้ทำการใช้เตาอบไมโครเวฟร่วมกับระบบลมร้อนในการลดความชื้นของแอปเปิ้ลและเห็ดหอมผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพในด้านสีที่ดีใกล้.เคียงกับผลิตภัณฑ์สดและสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ 50 และ 75% สำหรับการอบแห้งแอปเปิ้ลและการอบแห้งเห็ดหอม ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว [1]

จิรวัฒน์กันต์ เกรียงวงศ์ และคณะ (2549) ได้ศึกษาการผลิตพริกแห้งแบบใหม่โดยเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน โดยใช้เครื่องไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุน พบว่าพริกไม่จำเป็นต้องผ่านการลวก โดยมีน้ำหนัก 700 กรัม ใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2450 เมกกะเฮิรทซ์กำลังไฟฟ้า 1.18 กิโลวัตต์ ความดันสุญญากาศ 60 มิลลิเมตรปรอทและเวลาในการทำแห้ง 44 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมทำให้ได้พริกแห้งที่มีลักษณะเฉพาะที่ไม่เหมือนกับพริกแห้งในท้องตลาด คือ มีสีแดงสดใสเมื่อดูผิวเรียบแข็งเลื่อมมันมีค่าความสว่าง(L*) ค่าสีแดง(a*) ค่าสีเหลือง(b*) เท่ากับ 34.14 ± 1.27, 32.84 ± 1.94 และ 23.10 ± 0.69 ตามลำดับ ปริมาตรของพริกแห้งที่ได้เท่ากับ 1.63 ± 0.09 ซม^3/เม็ด ค่าความชื้นเท่ากับ 6.73 ± 0.64 % และค่า a_w เท่ากับ 0.444 ± 0.001 ซึ่งต่ำกว่าพริกแห้งท้องตลาด ทางด้านประสาทสัมผัสพบว่าพริกแห้งที่ผลิตจากเครื่องไมโครเวฟสุญญากาศแบบถังหมุนจะมีสีแดงกลิ่นหอมความป่องความกรอบและรสเผ็ดมากกว่าพริกแห้งท้องตลาด [2]

ดำนึง วาทโยธา(2553) ได้ทำการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยเตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนระดับขยาย ใช้ความสูงชั้นยาง 10 และ 15 เซนติเมตร ใช้อุณหภูมิลมร้อน 100 องศาเซลเซียส ให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ต่ำ คือ 11.67 และ 11.96 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหยตามลำดับ [3]

สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และสุรชัย แก้วบุญเรือง (2552) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งเครื่องต้มยำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศโดยเปรียบเทียบวิธีการอบ 2 วิธี คือ การใช้เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำที่นำมาอบแห้งนำมาทดสอบหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ลดลงจาก 106 CFU/g เหลือ 102 CFU/g ทั้งสองสภาวะทดสอบ วิธีการอบแห้งเครื่องต้มยำโดยวิธีอบแห้งด้วยตู้อบแบบสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนเนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยแต่ยังมีต้นทุนสูงกว่า [4]

จากการศึกษางานวิจัยของ สาวิตรี คำหอม (2551) ที่ได้ทำการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นจำนวน 20 ตัวความถี่ 2450 MHz การเปิด-ปิดแมกนีตรอนถูกควบคุมด้วยทอมพิวเตอร์มีระบบระบายความร้อนของแมกนีตรอนด้วยเครื่องปรับอากาศและพัดลมมีระบบขับเคลื่อนชิ้นงานด้วยสายพานควบคุมความเร็วด้วยอินเวอร์เตอร์ห้องอบมีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูงเท่ากับ 80 ซ.ม. x 200 ซ.ม. x 45 ซ.ม. ทางเข้า-ออกของวัตถุดิบมีขนาดกว้าง x สูง เท่ากับ 75 ซ.ม. x 43 ซ.ม การพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟแบบสายพานนี้เพื่อใช้ในการศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน พบว่าสามารถยับยั้งเอนไซม์ไลเปสและลดปริมาณกรดไขมันอิสระในผลปาล์มน้ำมันได้ในระยะเวลาที่สั้นกว่าการนึ่งปาล์มโดยใช้หม้อนึ่งไอน้ำแต่เมื่อพิจารณาพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการนึ่งพบว่าการนึ่งปาล์มน้ำมันโดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานมีค่าค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นต้องทำการปรับปรุงประสิทธิภาพและพัฒนาให้เหมาะสมกับวัสดุต่อไป [5]

อย่างไรก็ดีการนำเตาอบไมโครเวฟมาใช้งานทางด้านวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว จำเป็นต้องมีการพัฒนาองค์ความรู้ในด้านสมบัติของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไป จากการใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านคุณภาพของผลผลิต วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสม ในกระบวนการผลิตพริกแห้งโดยใช้เทคโนโลยีไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อให้ได้พริกแห้งที่มีคุณภาพ รวมถึงการวิเคราะห์การใช้พลังงานและต้นทุนที่ใช้ในการผลิตพริกแห้ง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต้นแบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในเชิงพาณิชย์ต่อไป

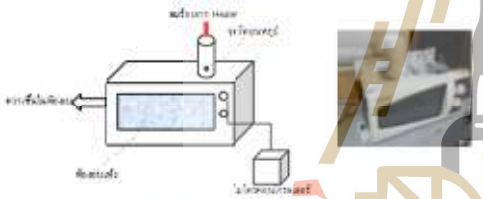
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์และตัวอย่าง

1) อุปกรณ์

นำเตาไมโครเวฟแบบครัวเรือนความถี่ 2450 MHz 1100 วัตต์ มาเจาะรูด้านบนเพื่อติดตั้งท่อนำลมร้อนเข้าสู่ห้องอบแหล่งลมร้อนได้จาก Heater ขนาด 1000 วัตต์ รูที่เจาะปิดด้วยตะแกรงรูขนาดเล็กเพื่อกันคลื่นให้อยู่ในห้องอบติดตั้ง Temperature Controller อุณหภูมิของลมร้อนถูกวัดโดยใช้ Thermocouple type K ซึ่งมีความถูกต้อง ±1 °C และติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของหัวแมกนีตรอนให้ปล่อยคลื่นและหยุดตามเวลาที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

2) พริก

พริกที่ใช้ในการอบแห้งซื้อจากตลาด ไม่สนใจสายพันธุ์ การทดสอบจะคัดเลือกเฉพาะเม็ดพริกสีแดงสด ขนาดใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ลักษณะพริกที่ใช้ในการทดสอบ

2.2 วิธีการทดลอง

หาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตพริกแห้ง ใช้พริกแดงสดจากตลาดโดยคัดเลือกเฉพาะเม็ดพริกสีแดงแต่ไม่คัดขนาดแบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี กรณีที่1 นำไปอบด้วยลมร้อน กรณีที่ 2 อบด้วยไมโครเวฟ กรณีที่ 3 อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังแสดงในตารางที่ 1 แต่ละกรณีใช้พริกสดน้ำหนัก 550 กรัม เท่ากัน วัดอุณหภูมิที่ผิวพริกด้วยเทอร์โมมิเตอร์แบบอินฟราเรด ทุกๆ 30 นาที และนำออกมาชั่งน้ำหนักจนน้ำหนักคงที่ (มีความแตกต่างไม่เกิน 1 กรัม) นำตัวอย่างพริกแห้งที่ผ่านการอบในแต่ละกรณีไปวัดค่าสีด้วยเครื่องวัดสี (Hunter Lab Color Quest XE)

ตารางที่ 1 สภาวะการทดสอบ

กรณี	วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิการอบแห้ง	พารามิเตอร์ที่ศึกษา
1	ลมร้อน	70 °C	1.ความชื้นพริก
2	ไมโครเวฟ	70 °C	2.อุณหภูมิที่ผิวพริก
3	ไมโครเวฟร่วมกับไมโครเวฟ	70 °C	3.พลังงานที่ใช้ 4. สี ความมันวาว

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

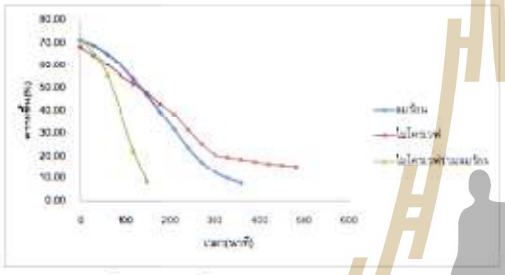
1) ความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้ง

จากการทดสอบผลิตพริกแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ พบว่าความชื้นลดลงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 ถึง 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ในเวลา 150 นาที จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนหรือ ไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ดังแสดงใน รูปที่ 3 และ 4 ทั้งนี้เนื่องจากการอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นการระเหยน้ำจากภายนอกผิวเข้าสู่ภายในเซลล์ที่ลึกเข้าไป เมื่อเวลาผ่านไปผิวภายนอกจะเกิดการหดตัวเป็นสาเหตุให้น้ำระเหยออกยากจึงต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง ส่วนการทำแห้งด้วยไมโครเวฟนั้นเกิดขึ้นในเซลล์พริกที่มีความชื้นสามารถดูดซับพลังงานจากคลื่นย่านความถี่ไมโครเวฟจนทำให้เป็นไอน้ำลอยตัวออกมานอกผิวของพริก หากไม่มีการระบายไอน้ำออกจากผิวพริก การอบแห้งโดยใช้เตาอบไมโครเวฟอย่างเดียว ทำให้น้ำระเหยออกจากเซลล์พริกได้ยาก หรืออาจมีความเสียหาย

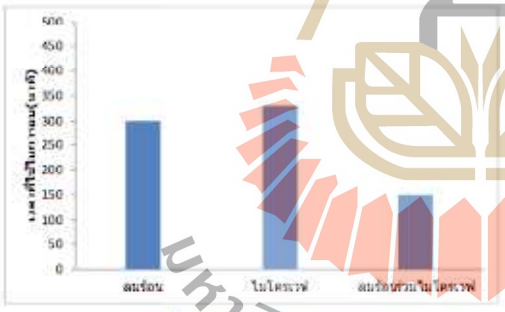
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เนื่องจากความร้อนได้ (Heat Injury) และต้องใช้เวลามากในการอบแห้ง

ดังนั้นเมื่อมีการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งพริกจะสามารถแก้ไขการหดตัวของผิวพริกแห้งที่เกิดจากลมร้อนและ การเกิดการชุ่มน้ำที่ผิวของพริกที่เกิดจากการระเหยของน้ำภายในเซลล์พริกได้อย่างสมดุล ทำให้ลดระยะเวลาในการอบแห้งและสามารถผลิตพริกแห้งที่มีคุณภาพสูงได้



รูปที่ 3 ความชื้นและเวลาการผลิตพริกแห้ง



รูปที่ 4 เวลาการผลิตพริกแห้ง

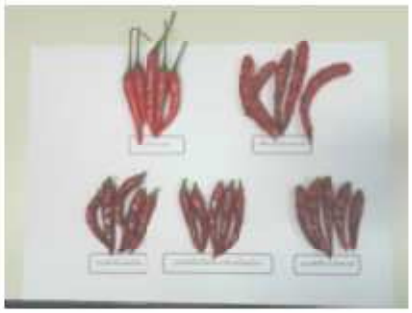
2) ลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง

พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อน มีลักษณะผิวเป็นสีแดงใสขั้วเขียว ไม่แตก และไม่เหี่ยว มีความหนาแน่นเท่ากับ 88.8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ความชื้น 8.61 เปอร์เซ็นต์ (พริกสด ความหนาแน่นเท่ากับ 228.00 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ความชื้น71.80 เปอร์เซ็นต์) พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อนมีค่าความสว่าง (L*) เท่ากับ 23.78 ค่าสีแดง (a*) เท่ากับ 22.10 และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 12.87 ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพกับพริกแห้งในท้องตลาดพบว่า พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อน มีค่าความสว่างน้อยกว่า ทั้งนี้หากจำเป็นสามารถปรับปรุงได้โดยนำการนึ่งหรือลวกพริกก่อนเข้ากระบวนการอบแห้ง [7] หรืออาจจะประยุกต์ใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อทำการนึ่งพริกก่อนแล้วจึงเข้ากระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต่อไป

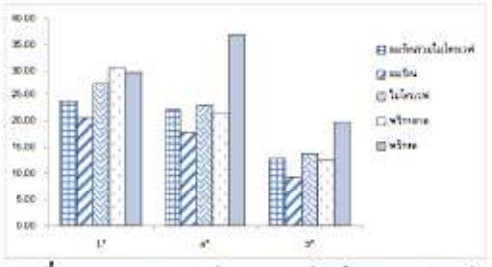
อย่างไรก็ดี แม้ว่าพริกแห้งตามท้องตลาดจะมีค่าความสว่างสูง แต่เมื่อพิจารณาลักษณะผิวของพริกแห้งพบว่าผิวจะเหี่ยวและขั้วดำ ต่างจากพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง และ ความสว่างและสี แสดงไว้ใน รูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

จากการพิจารณาค่าสีแดงและสีเหลือง ของพริกแห้งที่ผ่านการอบแห้งแบบต่างๆ พบว่า พริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว แต่สูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ดี ถึงแม้การอบพริกแห้งที่อบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะมีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำกว่าการอบแห้งด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพริกแห้งจากตลาดและเปรียบเทียบระยะเวลาในการอบแห้งแล้วสามารถพิจารณาได้ว่าการอบพริกโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เป็นวิธีการที่มีศักยภาพ สามารถพัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพของผลผลิตพริกแห้งต่อไปได้



รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของพริกแห้ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



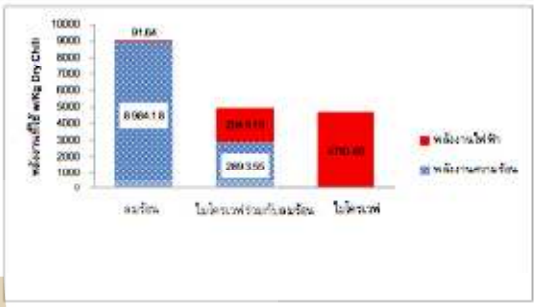
รูปที่ 6 ค่าความสว่าง สีแดง และสีเหลืองของพริกแห้ง

3) พลังงานที่ใช้

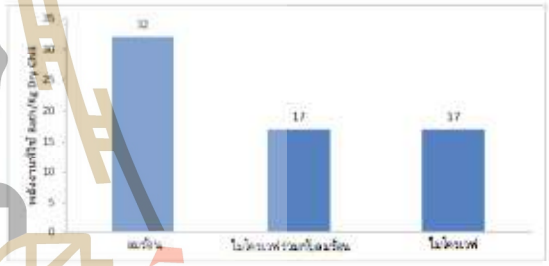
จากการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งพริกด้วยวิธีการต่างๆ 3 วิธี พบว่า การใช้พลังงานในการอบแห้งพริก เรียงจากน้อยไปหามาก คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งด้วยลมร้อน ตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆเช่น ระยะเวลาในการอบแห้งประกอบ คุณภาพของพริกแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการอบแห้งพริก มากกว่าวิธีการอื่น

ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน คือ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลมเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาที คลื่นไมโครเวฟ เท่ากับ 0.61 วัตต์ต่อกรัมพริกแห้ง ใช้พลังงาน 4,942.7 วัตต์ต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ต้นทุนการอบแห้งเท่ากับ 17.00 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง (ราคาค่าไฟฟ้า 3.5 บาท/กิโลวัตต์ชั่วโมง) ใกล้เคียงกันกับการอบแห้งพริกด้วยไมโครเวฟเพียงอย่างเดียว ขณะที่การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียวมีต้นทุนการอบแห้งสูงมาก 32.00 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ดังแสดงใน **รูปที่ 8**

อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน พบว่าพลังงานส่วนใหญ่ (มากกว่าร้อยละ 50) ใช้ไปกับการผลิตลมร้อน ขณะที่พลังงานที่ใช้กับการผลิตคลื่นไมโครเวฟลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางการพัฒนา ระบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนให้ใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนทดแทน Electric Heater ที่มีต้นทุนต่ำกว่า ซึ่งจำเป็นต้องทำการพัฒนาต่อไป



รูปที่ 7 พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง



รูปที่ 8 ต้นทุนการอบแห้ง

4. สรุปผลการศึกษา

การอบแห้งพริกโดยใช้ เตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน สามารถผลิตพริกแห้งที่มีคุณภาพเทียบเคียงกันกับห้องตลาด มีลักษณะผิวเป็นสีแดงใส ขั้วเขียวไม่แรก และไม่เหี่ยว สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน คือ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 70 องศาเซลเซียสความเร็วลมเท่ากับ 1 เมตรต่อวินาทีคลื่นไมโครเวฟเท่ากับ 0.61 วัตต์ต่อกรัมพริกแห้ง ค่าความชื้นของพริกลดลงจาก 71.80 ถึง 8.61 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ภายในเวลา 150 นาทีโดยมีค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) เท่ากับ 23.78, 22.10 และ12.87 ตามลำดับและมีต้นทุนการอบแห้งเท่ากับ 17 บาทต่อกิโลกรัมพริกแห้ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวทางการ

พัฒนา ระบบเตาอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนให้ใช้ในเชิงพาณิชย์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Tomas Funebo and Thomas Ohlsson (1998).Microwave Assisted Air Dehydration of Apple and Mushroom Journal of Food Engineering 38(1998); 353-367.

[2] จิรวัฒน์ กันต์เกรียงวงศ์ วรพจน์ สุนทรสุข และประเวทย์ ตุ้ยเต็มวงศ์. (2549). การผลิตพริกแห้งแบบใหม่โดยเครื่องไมโครเวฟสูญญากาศแบบถังหมุน วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 37 ฉบับที่ 2 (พิเศษ). 2549; หน้า 178-181.

[3] คำนึง วาทโยชา (2553).การศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยเตาไมโครเวฟระดับขยายส่วน.รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการศึกษาการอบแห้งยางแท่งด้วยเตาไมโครเวฟระดับขยายส่วน.สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สนับสุนงบประมาณวิจัย.ศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยี หลังการเก็บเกี่ยวมหาวิทยาลัย ขอนแก่น.

[4] สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และสุรชัย แก้วบุญเรือง. (2552). การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งเครื่องต้มยำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ. The 35th Congress on Science and Technology of Thailand (STT35). 15-17 ตุลาคม 2552. ณ มหาวิทยาลัย บูรพา จังหวัดชลบุรี.

[5] สาวิตรี คำหอม. (2551).การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานในกระบวนการนึ่งปาล์มน้ำมัน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[6] ศิระ สายศร และ ปัญญา แดงวิไลลักษณ์. (2548). การเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวโพดโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับไมโครเวฟและเครื่องอบแห้งแบบหมุนวนร่วมกับไมโครเวฟ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่19,19-21 ตุลาคม 2548. ณ จังหวัดภูเก็ต.

[7] นาริสา บินหะยีดิง ปยาภรณ ภาษิตกุล และวิภาพลันสังเกต. (2553).อิทธิพลของสารกับการเปลี่ยนแปลงสีของพริกชี้ฟ้าแห้ง. The 36th Congress on Science and Technology of Thailand. 26 - 28 ตุลาคม 2553. ณ กรุงเทพมหานคร.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายธราวุธ บุญน้อม เกิดเมื่อ วันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ. 2525 ณ อำเภอค้อ จังหวัดบุรีรัมย์ เป็นบุตรของนายคำพา บุญน้อม และ นางบัวเงิน บุญน้อม ศึกษาชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนบ้านติ้ว ตำบลกุดน้ำใส อำเภอค้อวัง จังหวัดบุรีรัมย์ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 – 6 ที่โรงเรียนบรมราชินีนาถราชวิทยาลัย ตำบลอ่างหิน อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี จากนั้นเข้าศึกษาต่อระดับอุดมศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา หลังจากสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552 ได้เข้าทำงานที่สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในตำแหน่งผู้ช่วยวิจัย

ในปี พ.ศ. 2553 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา ทุนบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และทำงาน ในตำแหน่งวิศวกรเกษตร ประจำศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านชีวมวล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เสนอบทความเข้าร่วมในการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 ประจำปี พ.ศ. 2555 เรื่อง “*การศึกษาการประยุกต์ใช้เตาไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในกระบวนการผลิตพริกแห้ง*”

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี