

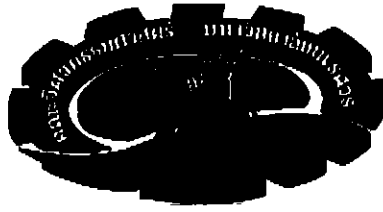


การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
Banana Drying By Using Microwave Hot – Air Oven

นายธนากรณ์ พยับ รหัส 52360997
นายพัฒนศักดิ์ กิ่งสิงษ์ รหัส 52361147
นายมนตรี นาคมี่ รหัส 52361222

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 20 ก.ค. 2558
เลขทะเบียน..... 16913904
เลขเรียกหนังสือ..... ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๕ 231 ๑ 2556

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2556



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ : การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ผู้ดำเนินโครงการ : นาย ธนากรณ์ พยับ รหัส 52360997

: นาย พัฒนศักดิ์ กิ่งสรวง รหัส 52361147

: นาย มนตรี นาคมี รหัส 52361222

ที่ปรึกษาโครงการ : รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2556

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(อาจารย์นพรัตน์ สีทะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ : การอบแห้งกล้วยโดยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ผู้ดำเนินโครงการ : นาย ธนากรณ์ พยับ รหัส 52360997

: นาย พัฒนศักดิ์ กิ่งสิงษ์ รหัส 52361147

: นาย มนตรี นาคมี รหัส 52361222

ที่ปรึกษาโครงการ : รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2556

บทคัดย่อ

โครงการนี้ได้ศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่ออบกล้วยน้ำว้าที่ถูกผ่านบางซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นอยู่ประมาณ 65 - 68 เปอร์เซ็นต์ นำไปอบแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนซึ่งมีการใช้ระดับพลังงานอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ระดับพลังงานปานกลาง และระดับพลังงานสูง อุณหภูมิของลมร้อนใช้ระดับอุณหภูมิ 3 อุณหภูมิด้วยกัน คือ 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที 2 เมตรต่อวินาที และ 3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ โดยจะอบจนกว่ากล้วยน้ำว้าจะมีความชื้นสุดท้ายอยู่ที่ 33 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าลักษณะของกล้วยที่ผ่านการอบด้วยระดับพลังงานละลายน้ำแข็งนั้นกล้วยจะมีสีน้ำตาลและแห้ง ระดับพลังงานปานกลางกล้วยจะมีลักษณะเหมือนกับระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง แต่ใช้เวลาเร็วกว่าระดับพลังละลายน้ำแข็ง และในระดับพลังงานสูงกล้วยจะมีลักษณะสีดำ แข็ง แห้ง และพบว่าที่ระดับพลังงานปานกลาง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที จะให้ผลดีที่สุดคือ ใช้เวลาในการอบน้อย และกล้วยน้ำว้าที่อบยังมีคุณภาพดีเมื่อเทียบกับกล้วยที่ผ่านการอบด้วย ระดับพลังงาน ความเร็วลม และอุณหภูมิอื่น แต่อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการอบคือความสุกและดิบของกล้วยที่ใช้ เนื่องจากว่าถ้าเป็นกล้วยที่สุกจะมีความชื้นมากกว่ากล้วยดิบจึงทำให้การอบใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

PROJECT TITLE : MICROWAVE DRYING PROCESS

Name : Mr. Thanakorn Payab ID. 52360997

: Mr. Patanasak Kingsiwong ID. 52361147

: Mr. Montree Nakmee ID. 52361222

Project Advisor : Assoc. Prof. Dr. Patomsok Wilaipon

Major : Mechanical Engineering

Department : Mechanical Engineering

Academic year : 2013

Abstract

The objective of this project was to build a microwave-hot air drying oven by adapting from a domestic microwave. Banana slices, with an initial moisture content of about 65-68 percent, were used as the raw material for drying purpose. Three levels of microwave power levels viz. defrost, moderate power levels and high energy and 3 hot air temperature values namely 60°C, 70°C and 80°C were used as the drying conditions. The effects of wind speed of 1, 2 and 3 meter per second on drying time were also investigated in this project. It was found that all drying products were brown and dry. According to the visual inspection, banana product obtained from a moderate energy level was similar to bananas obtained from defrost one. However, the drying time was shorter than that of defrost power levels. Bananas product obtained from the high microwave energy level were black and solid dry. The final moisture content of all products was set to be 33 percent. It was found that the best result with regard to the drying time and product quality was the dried banana obtained from moderate energy level, hot air temperature values 70°C and wind speed of 1 meter per second. In addition, another factor that affects the drying process and the final product quality was the ripeness level of bananas, so this factor should be further investigated.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านคำแนะนำในการทำโครงการจาก
รองศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณ
เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ เกดิษฐ์ กว้างตระกูล ที่ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือ และให้คำแนะนำใน
เทคนิคต่างในการทำโครงการชิ้นนี้

และสุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำหวังอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะมีประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในเรื่องการอบแห้ง
ด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟไม่มากนักน้อย

ขอขอบพระคุณ

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
ในรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ซ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.4 ขอบเขตการทำโครงการ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	4
 บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	 5
2.1 การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ	5
2.2 ความแตกต่างระหว่างเตาไมโครเวฟ ธรรมดา และ อินเวอร์เตอร์	8
2.3 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง	8
2.4 อัตราการแห้ง	9
2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง	11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	11
 บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง	 14
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	14
3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่อง	18
3.3 วิธีการทดลอง	19
 บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	 21
4.1 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าผ่านบางด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน	21
4.2 การวิเคราะห์ คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์	37

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการทดลอง	38
5.2 ข้อเสนอแนะ	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก ก	42
ภาคผนวก ข	51
ภาคผนวก ค	88
ประวัติผู้จัดทำ	93



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	4
1.2 รายละเอียดงบประมาณ	4



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	1
1.2 ตู้อบแห้งลมร้อน	2
1.3 เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง	2
1.4 เครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ	2
2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ	5
2.2 แสดงแบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดเป็นความร้อนขึ้นของวัสดุไดอิเล็กตริก	6
2.3 แสดง (ก) แมกนีตรอน และ (ข) โครงสร้างของแมกนีตรอน	7
2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างการควบคุมพลังงาน	8
2.5 กราฟอัตราการทำแห้งของอาหาร	10
3.1 เตาอบไมโครเวฟ	15
3.2 ฮีตเตอร์	16
3.3 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมหน้าจอแสดงผล	16
3.4 พัฒนาระบายอากาศ	17
3.5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	17
3.6 ตัวควบคุมอุณหภูมิ	18
3.7 ขั้นตอนการสร้างเครื่องอบแห้ง	19
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	21
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	22
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	22
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	23
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	24
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	24
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	25
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	25
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที่) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	26

รูปที่	หน้า
4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	35
4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	37
4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส	37
4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	38



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

การถนอมอาหารมักจะเกี่ยวข้องกับการยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียและจุลินทรีย์ และการหน่วงปฏิกิริยาระหว่างไขมันกับออกซิเจนในอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเน่าเสีย (rancidity) ของอาหาร การถนอมอาหารนี้อาจรวมถึงการรักษาอายุตามธรรมชาติและสีส่นของอาหารซึ่งเกิดจากการปรุงอาหาร และการถนอมอาหารบางประเภทจำเป็นต้องปิดผนึกอาหารหลังจากที่ผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อป้องกันการเกิดปัจจัยของการเน่าเสีย ทำให้อาหารนั้นสามารถเก็บไว้ได้นานมากกว่าปกติ

การอบแห้งก็เป็นการถนอมอาหารอีกรูปแบบหนึ่งที่นิยมทำกัน การอบแห้งคือการทำให้อาหารแห้งโดยการดึงเอาน้ำออกจากอาหารและยังไปยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียและจุลินทรีย์อีกด้วย โดยมีเครื่องอบที่ใช้พลังงานในการอบแตกต่างกันหลายรูปแบบคือ

1. การอบที่ใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ การทำอาหารให้แห้งในสมัยโบราณมักจะ ตากแดดซึ่งไม่สามารถควบคุมความร้อนและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนั้น จึงได้มีการคิดค้นสร้างตู้อบ หรือโรงอบ ที่ใช้ความร้อนจากแสง อาทิตย์ เพื่อทำอาหารให้แห้ง

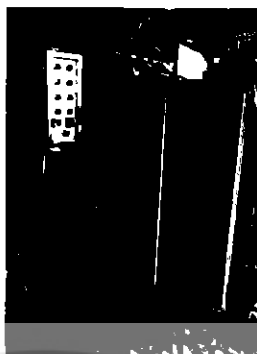


รูป 1.1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

(ที่มา : <http://www.cmvmedia.com/news/viewcomment.php?tid=1316&cat=5>)

2. การอบแห้งที่ใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น ความร้อนที่ใช้กับเครื่องอบประเภทนี้ ส่วนมากจะได้กระแสไฟฟ้าหรือก๊าซ ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้ออบอาหารให้แห้งในระบบอุตสาหกรรมมีหลายแบบหลายขนาดโดยใช้หลักการที่แตกต่างกัน เช่น

2.1 เครื่องอบร้อนที่ใช้ลมร้อนแบบต่อเนื่อง โดยมีหลักการคือการทำให้ลมร้อนผ่านอาหารและดึงเอาน้ำออกจากอาหาร



รูปที่ 1.2 ตู้อบแห้งลมร้อน

(ที่มา : http://www.2getware.com/2011/07/blog-post_3190.html)

2.2 การอบแห้งแบบเยือกแข็ง หลักการในการทำแห้งแบบนี้ คือ การไล่น้ำจากอาหารออกไปในสภาพที่น้ำเป็นน้ำแข็งแล้วกลายเป็นไอ หรือที่เรียกว่าเกิดการระเหิดขึ้นภายในตู้สุญญากาศ



รูปที่ 1.3 เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง

(ที่มา : <http://www.weloveshopping.com/shop/showproduct.php?pid=14370018&shopid=142434>)

2.3 การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ โดยมีหลักการคือการใช้คลื่นไมโครเวฟไปทำให้โมเลกุลของอาหารสั่นและเกิดความร้อนขึ้น



รูปที่ 1.4 เครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

(ที่มา : http://eng.sut.ac.th/tce/SeniorProjects/2549/49_1.html)

กลุ่มของผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยเตาไมโครเวฟที่ใช้เป็นระบบอินเวอร์เตอร์ซึ่งเป็นระบบใหม่ของพานาโซนิคที่สามารถปรับลด – เพิ่มกำลังของไมโครเวฟได้ ซึ่งจะทำให้การอบแห้งนั้นลดระยะเวลาการอบแห้งให้สั้นลงได้และสามารถทดสอบได้กับหลายวัตถุดิบตามฤดูกาล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อที่จะศึกษาการทำงานของไมโครเวฟ

1.2.2 หาความเหมาะสมในการทำงานของไมโครเวฟและระบบลมร้อนในการอบแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

1.2.3 ทดสอบขอบเขตกำลังของแมกนีตรอนที่สามารถควบคุมและทำงานได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานจากคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนระดับห้องปฏิบัติการ

1.3.2 ลดระยะเวลาในการอบแห้งได้มากยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตการทำโครงการ

1.4.1 ดัดแปลงไมโครเวฟ Panasonic NN-SM332M ความจุ 25 ลิตร กำลังไฟ 1,000 วัตต์ ให้สามารถเป็นไมโครเวฟอบแห้งได้

1.4.2 ศึกษาอิทธิพลของกำลังไมโครเวฟที่มีผลต่อระยะเวลาการอบกล้วยฝานบาง

1.4.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิลมร้อนที่มีผลต่อระยะเวลาการอบแห้งกล้วยฝานบาง

1.4.4 ทดสอบการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ชนิดฝานแผ่นบางและจัดเรียงเป็นชั้นไม่เกิน 100 กรัม

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

1.5.2 ทำการออกแบบระบบเครื่องอบแห้ง

1.5.3 ทำการสร้างเครื่องอบแห้งตามที่ได้ออกแบบ

1.5.4 ทำการทดสอบเครื่องอบแห้งและเก็บข้อมูล

1.5.5 สรุปผลการทดสอบเครื่องอบแห้งและทำการประเมินผล

1.5.6 จัดทำรูปเล่มโครงการ

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

รายละเอียดการปฏิบัติงาน	พ.ศ.2555						พ.ศ.2556		
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล									
2.ทำการออกแบบระบบเครื่องอบแห้ง									
3.สั่งซื้อวัสดุ อุปกรณ์									
4.ทำการสร้างเครื่องอบแห้งตามที่ได้ออกแบบ									
5.ทำการทดสอบเครื่องอบแห้งและเก็บข้อมูล									
6.สรุปผลการทดสอบเครื่องอบแห้งและทำการประเมินผล									
7.จัดทำรูปเล่มโครงการ									
8.สอบปลายภาค									

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

ตารางที่ 1.2 รายละเอียดงบประมาณ

ลำดับที่	รายการ	ราคา	
1	เตาไมโครเวฟ Panasonic NN-GD371M	4990	บาท
2	ค่าจัดทำเอกสาร	1000	บาท
3	เตาไมโครเวฟ Panasonic NN-SM332M	2700	บาท

บทที่ 2

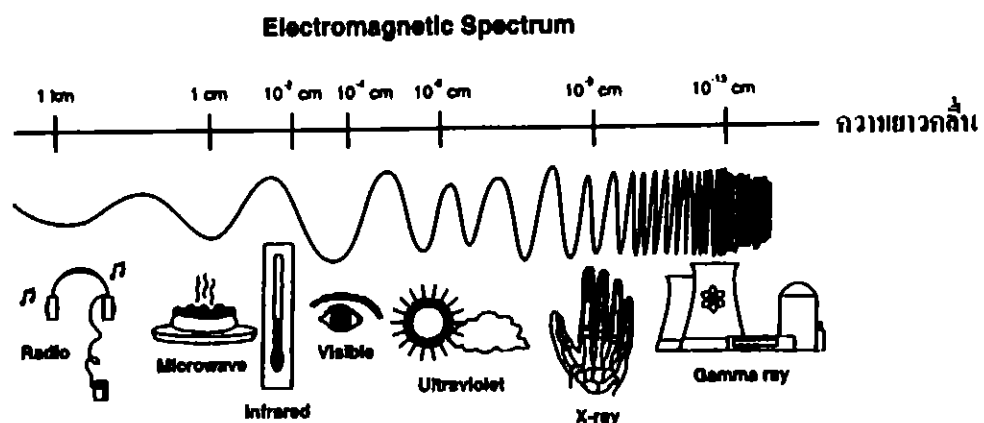
หลักการและทฤษฎี

ปัจจุบันเทคโนโลยีการอบแห้งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุดิบ ทั้งการรักษาสภาพของวัตถุดิบคุณสมบัติด้านสี ตลอดจนคุณค่าทางอาหาร ให้คงอยู่มากที่สุด อีกทั้งการอบแห้งยังช่วยการเพิ่มเวลาในการจัดเก็บหรือการขนส่งให้มีความสะดวกมากขึ้น การอบแห้ง เป็นกระบวนการลดน้ำออกจากวัตถุดิบหรืออาหาร ปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งขึ้นมามากมายเพื่อตอบสนองต่อกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนและลดเวลาการผลิตลง เช่น เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ซึ่งลดเวลาในการอบแห้งลงมาก รวมถึงลดการใช้พลังงานในการอบแห้งลงเช่นกัน อีกทั้ง พลังงานคลื่นไมโครเวฟเป็นพลังงานสะอาด ยังช่วยลดสภาวะโลกร้อนได้อีกด้วย

2.1 การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.1.1 คลื่นไมโครเวฟและการให้ความร้อนกับวัสดุ

คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งมีความยาวคลื่นระหว่าง 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตรดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเมื่อนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทุกชนิดมาเรียงกันตามความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน จะได้แผนภาพที่เรียกว่าสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) โดยคลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่ระหว่างคลื่นวิทยุ และคลื่นอินฟราเรด คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความยาวคลื่นและความถี่ที่เหมาะสม สำหรับใช้ในกระบวนการเกี่ยวกับอาหาร เช่น การต้ม การนึ่ง การอุ่น และการทำแห้ง



รูปที่ 2.1 แสดงสเปกตรัมของคลื่นไมโครเวฟ
(ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/varticle/38525>)

คลื่นไมโครเวฟถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้สำหรับเรดาร์ในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง[1] เนื่องจากมันจะสะท้อนได้ดีที่ผิวของโลหะ ประกอบกับคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่ในอากาศด้วยความเร็วเท่ากับแสง ดังนั้นเรดาร์จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมากในการตรวจจับเครื่องบินของฝ่ายศัตรู สำหรับการนำคลื่นไมโครเวฟไปใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารเพื่อการทำให้สุก หรือการทำแห้งนั้น สามารถทำได้เนื่องจากเมื่อคลื่นไมโครเวฟเคลื่อนที่เข้าไปในวัสดุต่างๆที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีความเป็นขั้ว หรือโมเลกุลที่ประจุบวกและประจุลบมีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โมเลกุลเหล่านั้นจะมีการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงกระทำจากสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ การที่คลื่นไมโครเวฟเป็นคลื่นที่มีความถี่สูง ซึ่งความถี่ของคลื่นไมโครเวฟสำหรับใช้ในกระบวนการให้ความร้อนอาหารจะเท่ากับ 2.45 GHz ดังนั้นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟจะมีการสลับขั้ว 2,450 ล้านครั้งต่อวินาที เมื่อโมเลกุลของน้ำซึ่งเป็นโมเลกุลมีขั้วที่มีจำนวนมากที่สุดในอาหารอยู่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ มันจะพยายามหมุนตามการสลับขั้วของสนามไฟฟ้า ก็จะทำให้เกิดการชนกันระหว่างโมเลกุลหรือเกิดแรงเสียดทานภายในโมเลกุลของน้ำนั่นเอง การชนกันดังกล่าวจะทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปรากฏการณ์การเกิดความร้อนดังกล่าวเหมือนกันกับการเกิดความร้อนเมื่อนำเอากิ่งไม้แห้งสองอันมาถูกัน รูปที่ 2 แสดงการตอบสนองของโมเลกุลน้ำเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟ



รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองการดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเกิดเป็นความร้อนขึ้นของวัสดุไดอิเล็กตริก
(ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/varticle/38525>)

กระบวนการที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในวัสดุเมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟเรียกว่า Dielectric heating[2] ซึ่งทำให้พลังงานของคลื่นไมโครเวฟซึ่งอยู่ในรูปของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้มีการนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาใช้มากมายเช่น การอบแห้ง การฆ่าเชื้อโรค การvulcanization การเร่งปฏิกิริยาเคมี การกำจัดสารพิษ และการกำเนิดพลาสมา[2,3,4] เป็นต้น

ในขบวนการอบแห้งอาหารนั้น จะใช้คุณสมบัติของคลื่นไมโครเวฟที่จะตอบสนองต่อโมเลกุลชนิดต่างๆไม่เท่ากัน โดยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเชิงไดอิเล็กตริกของมัน[2] คลื่นไมโครเวฟจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำได้ดีที่สุดเนื่องจากความถี่ของการหมุนของโมเลกุลของน้ำซึ่งมีความเป็นเชิงขั้ว (Dipole) สูงกับความถี่ของคลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2.45 GHzเกิดการกำทอน (Resonance)

กัน ทำให้น้ำสามารถดูดพลังงานของคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดโดยพลังงานของคลื่นไมโครเวฟ มีผลกระทบต่อวัสดุอื่นๆน้อยมาก น้ำจะถูกทำให้ร้อนขึ้นอย่างรวดเร็วจนระเหยออกไปหมด ดังนั้น พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจึงใช้ในการระเหยของความชื้นในอาหารโดยที่ความร้อนดังกล่าวจะไม่ทำให้โครงสร้างและรสชาติของอาหารเกิดการเสียหาย ถ้าหากมีการควบคุมที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้การอบแห้งโดยคลื่นไมโครเวฟมีความเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งอาหาร [4]

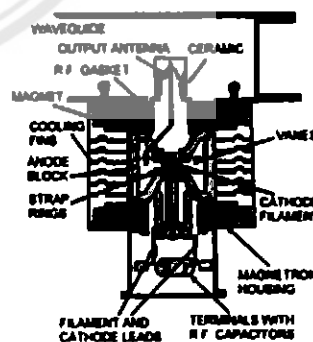
ในการอบปลาแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ได้ปลาแห้งที่มีคุณภาพเป็นที่ต้องการของตลาด นั้นจะต้องทราบเงื่อนไขที่เหมาะสมของการอบ เช่น กำลังของคลื่นไมโครเวฟ การถ่ายเทความร้อนและความชื้นในเตาอบและในตัวปลาเป็นต้น คลื่นไมโครเวฟที่ใช้ในการให้ความร้อนกับอาหารสามารถผลิตได้ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า แมกนีตรอน (Magnetron) ซึ่งจะเป็นส่วนประกอบสำคัญของเตาไมโครเวฟ

2.1.2 แมกนีตรอน (Magnetron)

แมกนีตรอนเป็นอุปกรณ์ที่ให้กำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่มีความถี่ 2.45 GHz มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยไส้หลอด (Filament) คาโทด (Cathode) ซึ่งเป็นขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดและถูกบรรจุอยู่ในช่องสุญญากาศซึ่งส่วนของผนังรอบๆจะทำหน้าที่เป็นขั้วแอโนด (Anode) คลื่นไมโครเวฟที่ถูกกำเนิดขึ้นจะถูกส่งออกมาภายนอกโดยAntenna ในการทำงานของแมกนีตรอนนั้นแมกนีตรอนจะถูกจ่ายด้วยไฟฟ้ากระแสสลับแรงดันต่ำประมาณ 3-4 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ ที่ไส้หลอด ซึ่งจะทำให้ไส้หลอดร้อนและปล่อยอิเล็กตรอนออกมา และเมื่อจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมากกว่า 4,000 โวลต์ไปที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของไส้หลอดซึ่งทำหน้าที่เป็นคาโทดเทียบกับขั้วแอโนด ก็จะทำให้อิเล็กตรอนถูกบังคับให้เคลื่อนที่ภายใต้อิทธิพลของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งจะทำให้แมกนีตรอนสามารถปล่อยคลื่นไมโครเวฟออกมาได้ โดยที่ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟจะถูกกำหนดด้วยโครงสร้างภายในช่องสุญญากาศระหว่างขั้วคาโทดกับขั้วแอโนดให้เท่ากับ 2.45 GHz



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 แสดง (ก) แมกนีตรอน และ (ข) โครงสร้างของแมกนีตรอน
(ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/varticle/38525>)

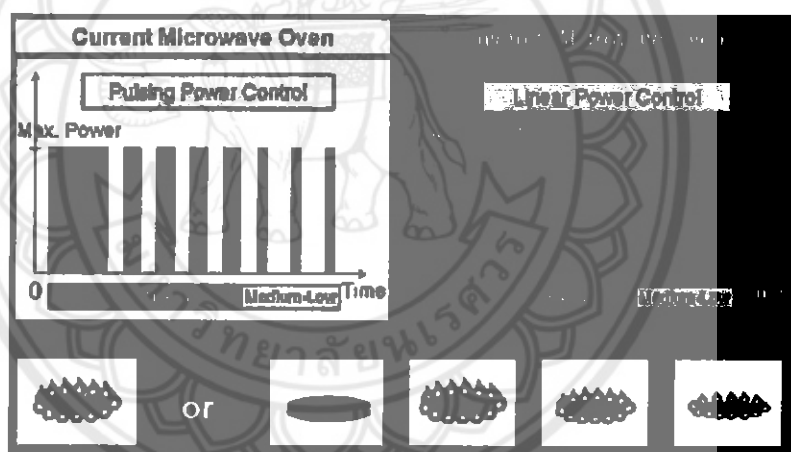
2.2 ความแตกต่างระหว่างเตาไมโครเวฟ ธรรมดา และ อินเวอร์เตอร์

2.2.1 เตาอบไมโครเวฟธรรมดา

โดยปกติทั่วไปไมโครเวฟจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้าในการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อการทำงานของแมกนีตรอน ในการแปลงแรงดันไฟฟ้าก็จะมี การสูญเสียพลังงาน และ หม้อแปลงไม่สามารถที่จะปรับลดดันไฟฟ้าได้ในการ Run ระบบ จะทำได้ก็แค่เพียงเปิด - ปิด การทำงานของหม้อแปลงได้เพียงอย่างเดียว

2.2.2 เตาอบไมโครเวฟอินเวอร์เตอร์

ในเตาไมโครเวฟระบบอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงไฟฟ้าจะถูกแทนที่ด้วยแผงวงจรซึ่งสามารถแปลงไฟฟ้ากระแสสลับที่เข้ามาในความถี่ 60 Hz มาเป็น 20 - 45 KHz ได้ ขนาดของหม้อแปลงจะมีขนาดเล็กลงแต่สามารถแปลงแรงดันของกระแสไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง โดยความกว้างของคลื่นความถี่ที่ต่างกัน ของพลังงานที่ออกมาสามารถควบคุมได้ในการปรุงอาหารและการละลายน้ำแข็งได้ เทคโนโลยีดั้งเดิมที่ใช้เพียงระดับพลังงานเดียวซึ่งถูกควบคุมโดย switching pulses ในทางตรงกันข้ามเทคโนโลยีอินเวอร์เตอร์สามารถควบคุมพลังงานที่ออกมาได้โดยตรง [5]



รูปที่ 2.4 แสดงความแตกต่างระหว่างการควบคุมพลังงาน
(ที่มา: <http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/>)

2.3 ความรู้พื้นฐานการอบแห้ง

การอบแห้ง เป็นกระบวนการกำจัดความชื้น หรือน้ำ ในผลิตภัณฑ์ ให้ลดลงในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งอาหารหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีค่าไม่เท่ากัน การกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้หลายวิธี คือ

1. การใช้กระแสน้ำร้อนสัมผัสกับอาหาร วิธีการเช่น ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบลมร้อน
2. การพ่นอาหารหรือผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวเข้าไปในห้องที่มีลมร้อน เช่น การอบแห้งแบบพ่นฝอย
3. การให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์เข้มข้นสัมผัสกับลูกกลิ้งร้อน เช่น เครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้ง

4. การให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์แข็งด้วยความเย็นอย่างรวดเร็วและระเหิดน้ำออก ภายในสภาวะสุญญากาศ เช่น เครื่องอบแห้งแบบเยือกแข็ง

5. การใช้คลื่นไมโครเวฟทำให้น้ำระเหย เช่น เครื่องอบแห้งแบบไมโครเวฟ ซึ่งการอบแห้งแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับสภาวะอื่น ๆ เช่น เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศ เพื่อลดอุณหภูมิการอบแห้งลง

6. การให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์หมุนอยู่ในห้องหมุน (Drum) ซึ่งภายในมีอุณหภูมิสูง เครื่องอบแห้งแบบนี้ เช่น เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer)

7. การให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์กระจายหรือลอยตัวอยู่ในกระแสลมร้อนในแนวตั้งฉากกับพื้น เครื่องอบแห้งแบบนี้ เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไชเบด

8. การให้อาหารหรือผลิตภัณฑ์กระจายหมุนวนในกระแสลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบนี้ เช่น เครื่องอบแห้งแบบเวอร์เท็กซ์ ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้ร่วมกับไมโครเวฟ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งให้มีค่าสูงขึ้นและลดระยะการอบลง

เนื่องจากวัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้น การเลือกวิธีการ หรือเครื่องอบแห้งแบบใดให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้น จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานการอบแห้งก่อน [6]

2.4 อัตราการทำแห้ง (drying rate)

อัตราการทำแห้ง (drying rate) คือ อัตราการระเหิดน้ำออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา ระหว่างการทำแห้ง (dehydration) สมการของอัตราการแห้ง สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$R = \frac{1}{A} \frac{dm}{dt}$$

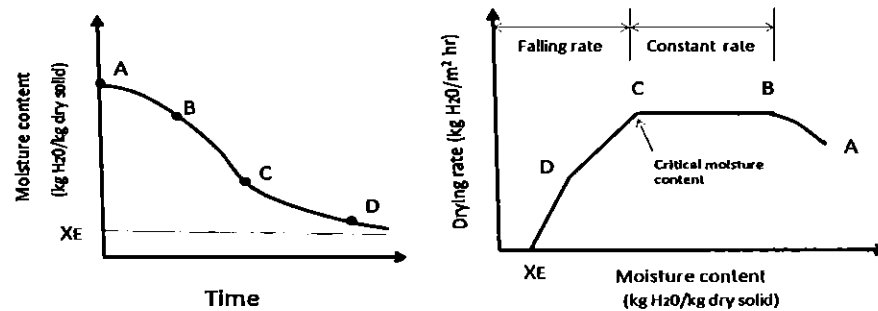
เมื่อ

R = อัตราการแห้งหรืออัตราการระเหย , $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$

A = พื้นที่ผิว ที่เกิดการระเหย (m^2)

$\frac{dm}{dt}$ = มวลของน้ำที่ระเหยต่อหนึ่งหน่วยเวลา , kg/hr

อัตราการทำแห้งของอาหาร ขึ้นอยู่กับสภาพธรรมชาติของอาหารเริ่มต้นก่อนการทำแห้ง และสภาวะแวดล้อมระหว่างการทำแห้ง เช่น ชนิดของเครื่องทำแห้ง (drier) อุณหภูมิ เวลา ความชื้นสัมพัทธ์ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (heat transfer coefficient) เป็นต้น อัตราการแห้ง (drying rate) และความชื้นในสารนั้น (moisture content) แบ่งออกเป็น 3 ช่วงคือ



รูปที่ 2.5 กราฟอัตราการแห้งของอาหาร

(ที่มา : <http://www.foodnetworksolution.com>)

1. ช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้น (Initial Adjustment Period -AB) เป็นช่วงเริ่มต้นที่อาหารที่ใช้ในการอบแห้ง มีความชื้นเริ่มต้น (A) ของอาหารยังสูงอยู่ ผิวของอาหารจะมีลักษณะเปียกชื้นมาก เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางลมร้อนกับอาหาร ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวอาหาร มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิกละเปาะเปียก (wet bulb temperature) ของกระแสลมร้อนที่ใช้เป็นตัวกลาง อัตราการแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงช่วงอัตราแห้งคงที่ (constant rate)

2. ช่วงอัตราการแห้งคงที่ (Constant Rate Period-BC) เป็นช่วงที่น้ำภายในวัสดุเคลื่อนที่มาที่ผิวหน้า พลังงานความร้อนที่วัสดุได้รับจะใช้ในการระเหยน้ำออกจากของวัสดุ อย่างต่อเนื่อง ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุ จะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง จุดสุดท้ายของช่วงการอบแห้งความเร็วคงที่ อัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง ความชื้นของวัสดุ ณ เวลานั้น เรียกว่า ความชื้นวิกฤต (critical moisture content)

การคำนวณอัตราการอบแห้งในช่วงนี้ สามารถเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$R_c = \frac{h_v}{\lambda} (T_v - T_i)$$

เมื่อ

R_c = อัตราการอบแห้งในช่วงความเร็วคงที่

h_v = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient, $\text{w/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

T_v = อุณหภูมิของลมร้อน, $^\circ\text{C}$

T_i = อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุ เท่ากับ $T_{w,} \text{ } ^\circ\text{C}$

3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Period CD และ DE) เป็นช่วงที่ความชื้นในอาหารเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าอาหารอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของอาหารเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของอาหารสูงขึ้นเรื่อยๆ อัตราการอบแห้งจะลดลง ความชื้นจะลดลงเรื่อยๆจนถึงค่าความชื้นสมดุล (equilibrium moisture content, XE) ซึ่งเป็นความชื้นที่ต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ที่ความชื้นนี้ อัตราการแห้งเป็นศูนย์ น้ำในอาหารไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก

2.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง

อัตราเร็วของการทำแห้งอาหาร ขึ้นอยู่กับ

1. ลักษณะธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีความพรุน (porosity) มาก จะมีอัตราการอบแห้งเร็วเนื่องจากน้ำในอาหารสามารถเคลื่อนจากภายในออกมาภายนอกได้ง่าย นอกจากนี้อาหารที่มีพื้นที่ผิวมากอัตราการอบแห้งสามารถเกิดได้เร็วเช่นกัน ทั้งนี้ก็เนื่องจากพื้นที่การระเหยของน้ำในวัสดุเพิ่มขึ้นมากนั่นเอง

2. ขนาด รูปร่าง ปริมาตร และพื้นที่ผิวของอาหาร เป็นสมบัติทางกายภาพของอาหาร ที่มีผลต่อการทำแห้ง อาหารที่มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก จะมีพื้นที่ระเหยน้ำมาก จะมีอัตราการทำแห้งเร็วขึ้น ดังนั้นการอาหารที่มีความหนามากอัตราการอบแห้งจะช้ากว่าอาหารที่หนาน้อยกว่าเนื่องจาก อัตราการทำแห้งจะเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาของอาหาร

3. ปริมาณของอาหารที่นำมาอบแห้ง อาหารที่นำมาอบแห้งในปริมาณมากๆ จะมีอัตราการอบแห้งที่ช้าเนื่องจาก อากาศร้อนไม่สามารถสัมผัสกับอาหารที่นำมาอบแห้งได้อย่างทั่วถึงจึงไม่สามารถถ่ายเทความร้อนให้กับอาหารได้ จึงทำให้อัตราอบแห้งช้าลง

4. ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ของอากาศเป็นสิ่งสำคัญมาก การระเหยน้ำออกจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของอากาศและความเร็วลม

5. ความดัน เกี่ยวเนื่องกับการระเหยของน้ำ เนื่องจากในที่มีความดันต่ำๆ ลงมา น้ำก็จะเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำลง ดังนั้นการทำแห้งภายใต้ความดันต่ำๆ จะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น [7]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 2002 พรณจิรา วงศ์สวัสดิ์ และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง กระบวนการการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ ซึ่งเป็นการศึกษากระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผง โดยแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ขั้นตอน คือการหาสภาวะในการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและเครื่องอบแห้งไมโครเวฟระบบสุญญากาศ และการเพิ่มความสามารถในการละลายของน้ำผักผลไม้ ซึ่งในการทดลองใช้น้ำผักผลไม้ที่มีอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างน้ำส้ม น้ำแครอท และน้ำมะนาวเท่ากับ 49 : 34 : 17 และที่ระดับปริมาณของแข็งที่ละลายได้เท่ากับ 16 องศาบริกซ์เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น จากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย โดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 องศาเซลเซียสและปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนัก จะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติทางกายภาพเคมีและประสาทสัมผัสดีที่สุด ในขณะที่การอบแห้งน้ำผักผลไม้รวมด้วยเครื่องไมโครเวฟระบบสุญญากาศที่ความดัน 160 ทอร์ กำลังไฟ 210 วัตต์ โดยใช้ปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 พบว่าการใช้ปริมาณ มอลโตเด็กซ์ทรินร้อยละ 16 โดยน้ำหนักจะให้ผลิตภัณฑ์ผงที่มีคุณสมบัติเคมีและประสาทสัมผัสดีที่สุดเช่นเดียวกัน ผลที่ได้เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำผักผลไม้รวมผงที่ได้จากการอบแห้งทั้ง 2 วิธี พบว่า กรรมวิธีการอบแห้งมีผลต่อความหนาแน่นปรากฏปริมาณความชื้น ปริมาณวิตามินซีและสีของน้ำผักผลไม้รวมผงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับขั้นตอนการเพิ่มความสามารถในการ

ละลายของน้ำผักผลไม้รวมพบว่าการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นกระจายโม่โดยใช้สารละลายโปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก และเทคนิคการรวมกลุ่มอนุภาคผงโดยใช้เอธิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีค่าการละลายและค่าการกระจายตัวสูงขึ้นในขณะที่มีความหนาแน่นปรากฏลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 [10]

ในปี ค.ศ. 2005 ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์ และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาระบบให้ความร้อนเพื่อการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งได้พัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งปลาด้วยคลื่นไมโครเวฟซึ่งเป็นพลังงานทางเลือกที่มีประสิทธิภาพในด้านการให้ความร้อนแก่วัสดุ โดยหลักการการเกิดอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับโมเลกุลของน้ำในเนื้อปลา(dielectric heating) ที่ต้องการอบโดยตรง(selective heating)โดยได้ทำการพัฒนาในส่วนชุดวงจรความถี่สูงแรงสูงเพื่อควบคุมแมกนีตรอนให้จ่ายกำลังคลื่นไมโครเวฟตามที่ต้องการ รวมถึงการพัฒนาท่อนำคลื่น(waveguide) ระบบแมชชิง(matching) เตาอบ(cavity) และ เครื่องต้นแบบ ผลที่ได้จะนำไปประยุกต์ใช้ในการอบวัสดุที่มีมูลค่าสูงในแง่เศรษฐกิจ เช่น ยา สมุนไพร หรือยางพารา ต่อไป [9]

ในปี ค.ศ. 2007 İlknur Alibas. ได้ทำการศึกษาเรื่อง Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices โดยมีสามวิธีการคือ 1 ไมโครเวฟ 2 อากาศแห้ง 3 ไมโครเวฟร่วมกับอากาศ ในการทำให้แห้ง นอกจากการอบแห้งผลไม้แล้วยังมีการอบขึ้นฟักทองซึ่งมีน้ำหนัก 50 กรัม ที่มีความชื้น 9.31 water/g dry solids การอบดำเนินต่อไปจนความชื้นลดลง 1 ขึ้นต่อ 0.1 g water/g dry solid พลังงานที่ถูกปล่อยออกไปจากไมโครเวฟมี 2 ลำดับ คือ 160 W และ 350 W จะถูกนำไปใช้ในการอบแห้ง ไมโครเวฟจะรักษาความแห้งในอากาศไว้ที่ 50 และ 75 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วลม 1 m/s การรวมกันของไมโครเวฟและอากาศแห้งที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ด้วยกันโดยมีสี่ระดับที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการอบแห้งจะใช้เวลา 125-195 , 45-90 และ 31-51 min ของไมโครเวฟ , อากาศแห้ง และไมโครเวฟ-อากาศแห้งรวมกันตามลำดับ ขึ้นอยู่กับระดับการอบ การใช้พลังงานเป็น 0.23-0.34, 0.61-0.78 และ 0.29-0.42 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงตามลำดับ ในการศึกษาครั้งนี้ค่าที่วัดได้เมื่อเทียบกับค่าที่คาดการณ์ได้จากสมการแบบกึ่งทดลอง ระยะเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้ง พลังงานที่ได้รับเมื่อไมโครเวฟและอากาศแห้งถูกนำมาใช้ร่วมกันในระดับที่เหมาะสมในการใช้งานคือ 350 W ที่ 50 องศาเซลเซียส [12]

ในปี ค.ศ. 2010 Zhen-hua Duan และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating โดยการศึกษาผลกระทบของความร้อนที่อากาศร้อนกับไมโครเวฟ ลักษณะการอบและคุณภาพของเนื้อปลานิล โดยการทดลองได้แบ่งระดับพลังงานของไมโครเวฟไว้ 3 ระดับ 200, 400 และ 600 W หลังจากที่ใช้อากาศร้อนอบแห้งที่อุณหภูมิต่างกัน 2 ระดับคือ 40 และ 50 องศาเซลเซียสและความเร็วลมคงที่ 1.5 m/s มีตัวชี้วัดคุณภาพเช่นการหดตัวและคุณสมบัติการฟื้นตัว ผลของการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของพลังงานไมโครเวฟส่งผลในการลดลงของความชื้นสุดท้ายในช่วงเวลาเดียวกัน อากาศที่มีความร้อนสูงมีผลทำให้อัตราการคายน้ำเพิ่มสูงขึ้น การหดตัวต่ออัตราส่วนการคืนตัวเพิ่มมากขึ้น พลังงานไมโครเวฟและอุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้น อัตราการคืนตัวลดลง [8]

และในปีเดียวกัน Zhenfeng Li. ได้ทำการศึกษาเรื่อง Drying rate control in the middle stage of microwave drying ซึ่งมีการอบแห้งผลไม้หลายชนิด เช่น การอบแห้งของแอปเปิ้ล โดยใช้ไมโครเวฟที่อุณหภูมิคงที่ตามเส้นกราฟทั่วไป ระยะกลางของกระบวนการอบแห้งแสดงการระเหยความชื้นได้เร็วขึ้นและเร่งอัตราการอบแห้ง ในขณะที่อุณหภูมิจะหายไป สีผิวจะเสื่อมสภาพและ Charring มักเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ เพื่อปรับปรุงผลกระทบของการอบแห้ง กราฟการอบแห้งถูกควบคุมและการเปลี่ยนแปลงในการศึกษานี้ กราฟการอบแห้งเป็นเส้นตรงโดยอัตโนมัติที่อุณหภูมิการอบแห้งในช่วงกลางที่แตกต่างกัน กระบวนการควบคุมการอบแห้งจึงนำไปสู่รายละเอียดของอุณหภูมิที่เหมาะสม เพื่อให้ง่ายต่อวิธีการการอบแห้งแอปเปิ้ลจะถูกทำให้แห้งและรายละเอียดอุณหภูมิที่ได้รับในขณะที่กราฟการอบแห้งถูกตรวจสอบแต่ไม่มีการควบคุม มันก็พิสูจน์ได้ว่าช่วยลดอัตราการอบแห้งในขั้นตอนกลางสามารถปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในแง่ของสี กลิ่น รสและลักษณะโดยรวมในขณะที่เวลาการอบแห้งและการใช้พลังงานยังเป็นที่ยอมรับ [11]

ในปี ค.ศ. 2011 นันทวัน เทิดไทย. และคณะ ได้ทำการศึกษาเรื่อง ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบคุณภาพของฟักทองอบแห้งที่ผ่านจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียส การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ 8 W/g และ 9.6 W/g ที่สถานะสุญญากาศ (13.3 kPa) พบว่าการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อน สามารถลดเวลาการอบแห้ง จากเวลาการอบแห้งที่สั้นลงทำให้ค่าความสว่าง (L^* -value) และ ค่าความเป็นสีเหลือง (positive b^* -value) ของฟักทองอบแห้งที่ได้จากการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูงกว่าฟักทองจากการอบแห้งด้วยลมร้อน ($p < 0.05$) โดยการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟที่สถานะสุญญากาศทำให้การเปลี่ยนแปลงสีของฟักทองอบแห้งเมื่อเทียบกับฟักทองก่อนการอบแห้งน้อยที่สุด ($p < 0.05$) นอกจากนี้การใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ยังสามารถรักษาปริมาณเบต้าแคโรทีนได้มากกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าโครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับ ลมร้อน มีความเป็นรูพรุนชัดเจน ขณะที่โครงสร้างของฟักทองอบแห้งด้วยลมร้อนมีลักษณะอัดแน่น ทำให้อัตราการคั่วตัวของฟักทองอบแห้งด้วยการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสูงกว่าการใช้ลมร้อนอย่างเดียว ($p < 0.05$) [13]

บทที่ 3

อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในการจัดทำเครื่องอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน คณะผู้จัดทำได้ทำรูปแบบการทดลองของเครื่องและวิธีการทดลองไว้ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งโดยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนประกอบด้วยดังนี้

1. เตาอบไมโครเวฟ
2. ฮีตเตอร์
3. เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมจอแสดงผล
4. พัดลมระบายอากาศ
5. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
6. ตัวควบคุมอุณหภูมิ

3.1.1 เตาอบไมโครเวฟ (Microwave Oven)

เตาอบไมโครเวฟเป็นเตาอบที่ใช้ในครัวเรือนรุ่น Panasonic NN-SM332M โดยมีความจุอยู่ที่ 25 ลิตร ใช้ไฟ 800 วัตต์ โดยทำการเจาะด้านข้างและด้านหลังเพื่อเป็นทางเข้าและออกของลมร้อน ซึ่งท่อมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว



รูปที่ 3.1 เตาอบไมโครเวฟ

3.1.2 ฮีตเตอร์ (Heater)

ฮีตเตอร์ เป็นฮีตเตอร์ครีบบนตัว “U” มีขนาด 500 วัตต์ โดยหาขนาดของฮีตเตอร์หาจากสมการ เมื่อ $\dot{m} = \rho v A$

$\dot{m}$ คือ มวลของอัตราอากาศเข้า มีหน่วย กิโลกรัมต่อวินาที

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ มีหน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร $\rho = 1.24$

v คือ ความเร็วของอากาศเข้า มีหน่วย เมตรต่อวินาที $v = 1$

A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ มีหน่วย ตารางเมตร $A = 8.12 \times 10^{-3}$

จะได้เป็น $1.24 \times 8.12 \times 10^{-3} \times 1 = 0.01$ กิโลกรัมต่อวินาที

จะได้ขนาดฮีตเตอร์เท่ากับ $\dot{m} C_p (T_o - T_i)$

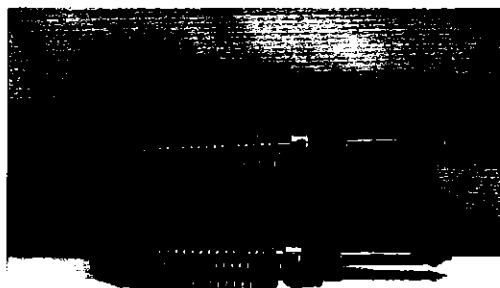
$\dot{m}$ คือ มวลของอัตราอากาศเข้า มีหน่วย กิโลกรัมต่อวินาที

C_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ มีค่าเท่ากับ 1.005 กิโลจูลต่อกิโลกรัม - เคลวิน

T_o คือ อุณหภูมิอากาศที่ผ่านฮีตเตอร์ มีหน่วย องศาเซลเซียส

T_i คือ อุณหภูมิอากาศที่อุณหภูมิห้อง มีหน่วย องศาเซลเซียส

ดังนั้น ขนาดของฮีตเตอร์ = $0.01 \times 1.005 \times (75 - 27) = 0.4824 \approx 0.5$ กิโลวัตต์



รูปที่ 3.2 อีตเตอร์

3.1.3 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมหน้าจอแสดงผล (Digiweigh Scales)

เครื่องชั่งดิจิตอลรุ่น T-SERIES สามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้ถึง 15 กิโลกรัม มีความละเอียดอยู่ที่ 0.1 กรัม ถูกใช้ในการชั่งน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ในระหว่างที่ทำการอบแห้ง



รูปที่ 3.3 เครื่องชั่งดิจิตอลพร้อมหน้าจอแสดงผล

3.1.4 พัดลมระบายอากาศ (Blower)

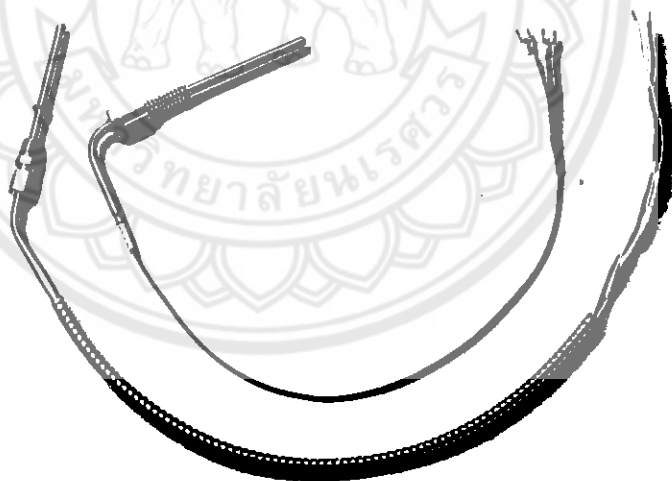
พัดลมที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบพัดลมรุ่น Sirocco รุ่น sc-124 ใช้ไฟกระแสสลับขับเคลื่อนมอเตอร์กำลัง 100 วัตต์ โดยมีปริมาณลม 6 CMM Static Pressure 25 mm wg. ถูกใช้ในการเป่าลมเข้าสู่เตาอบไมโครเวฟ มีการควบคุมความเร็วลมให้อยู่ที่ 1 เมตรต่อวินาที 2 เมตรต่อวินาทีและ 3 เมตรต่อวินาที โดยใช้วิธีการอุดทางออกของพัดลม



รูปที่ 3.4 พัฒนาระบายอากาศ

3.1.5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

เซ็นวัดอุณหภูมิ คือตัววัดอุณหภูมิจะทำการติดตั้งบริเวณหลังฮีตเตอร์ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยตัวฮีตเตอร์จะทำการต่อเข้าตัวรีเลย์ซึ่งอยู่ในบอร์ดแสดงค่า ซึ่งตัวรีเลย์เป็นตัวเปิด-ปิดฮีตเตอร์ให้ทำความร้อน



รูปที่ 3.5 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.1.6 ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Controller)

ตัวควบคุมอุณหภูมิ เป็นตัวที่ใช้กำหนดและควบคุมอุณหภูมิของลมร้อนภายในท่อโดยเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และสั่งเปิด-ปิดการทำงานของฮีตเตอร์ให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ



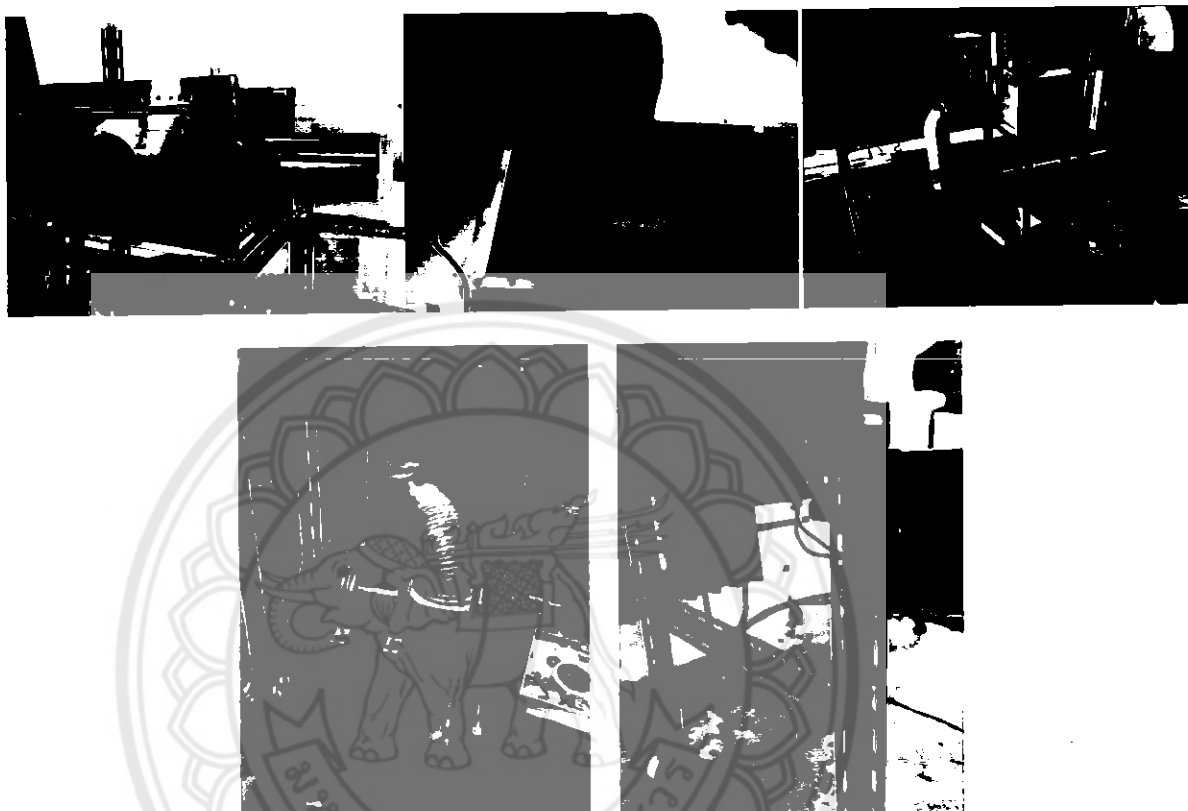
รูปที่ 3.6 ตัวควบคุมอุณหภูมิ

3.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องอบแห้ง

- 3.2.1 นำเตาอบไมโครเวฟมาทำการเจาะรูขนาด 4 นิ้ว ที่ด้านข้างซ้ายและด้านหลัง
- 3.2.2 นำเหล็กฉากมารูมาวัดและตัดทำโครงสร้าง ทำฐานยึดไมโครเวฟและพัดลมของเครื่องอบแห้ง
- 3.2.3 นำเตาไมโครเวฟที่เจาะรูแล้วมายึดกับโครงแล้วยึดให้แน่น แล้วใช้แผ่นเพลทที่ต่อท่อขนาด 4 นิ้วมาติดกับตัวห้องอบของเตาไมโครเวฟและทำการยึดด้วยน็อตทาสีลิโคเลนตามรอยรั้ว
- 3.2.4 ด้านปลายท่อ 4 นิ้ว ใช้ตาข่ายสแตนเลสมาครอบที่ปลายท่อเพื่อป้องกันคลื่นไมโครเวฟรั่วไหล
- 3.2.5 นำฮีตเตอร์มาติดตั้งที่ท่อสังกะสี โดยจะติดให้ขวางทิศทางการไหลของลมต่อสายไฟสายให้เรียบร้อย
- 3.2.6 นำเอาท่อสังกะสีที่สั่งทำตามขนาดมาสวมครบท่อ 4 นิ้วและยึดด้วยเข็มขัดรัดท่อให้แน่น
- 3.2.7 นำพัดลมมาติดตั้งที่โครงสร้างโดยการติดตั้งจะต้องติดให้ไม่ต่ำมากเพราะถ้าต่ำมากจะดูดอากาศที่สกปรกเข้าไปในเตาอบ
- 3.2.8 ใช้ท่ออ่อนมาสวมกับท่อสังกะสีแล้วยึดให้แน่น และปลายอีกด้านก็ยึดกับทางออกของพัดลมยึดให้แน่น
- 3.2.9 นำตัวควบคุมอุณหภูมิมาติดตั้งกับโครงสร้างทำการต่อสายไฟเลี้ยงตัวควบคุมอุณหภูมิต่อสายที่ใช้ควบคุมฮีตเตอร์และสายของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเก็บสายไฟให้เรียบร้อยไม่เกะกะ
- 3.2.10 เจาะรูที่ท่อสังกะสีเพื่อทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและยึดให้แน่นโดยที่ไม่ให้ปลายเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิโดนผนังท่อสังกะสี

3.2.11 หุ้มฉนวนที่ท่อส่งกะสีให้มิดชิด

3.2.12 ทำการวัดค่าความเร็วลมและทำการปรับให้ได้ความเร็วลม 1 , 2 , 3 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างเครื่องอบแห้ง

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ศึกษาลักษณะของผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรก่อนจะแปรรูป

นำผลผลิตทางการเกษตรมาชั่งเครื่องชั่งดิจิตอลเพื่อดูน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ และหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้จากสูตร เปอร์เซ็นต์ความชื้น = $\frac{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์} - \text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง}}{\text{น้ำหนักผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้ง}} \times 100$

$$\text{ค่าความชื้นเริ่มต้นของกล้วยน้ำว้าฝานบาง} = \frac{100 - 33}{100} \times 100 = 67 \text{ เปอร์เซ็นต์}$$

3.3.2 ขั้นตอนการอบแห้ง

1. นำกล้วยที่ผ่านมาซึ่งน้ำหนักแล้ววางที่จานหมุนในเตาไมโครเวฟ
2. เปิดพัดลมระบายอากาศโดยตั้งความเร็วลมอยู่ที่ 1 เมตรต่อวินาที , 2 เมตรต่อวินาที และ 3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ
3. เปิดฮีตเตอร์ให้ทำงานอยู่ที่อุณหภูมิ 60 , 70 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเป็นตัวควบคุม
4. ทำการอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูง (800 วัตต์ , High) , ปานกลาง (453.33 วัตต์ , Medium) และ ละลายน้ำแข็ง (373.33 วัตต์ , Defrost) ตามลำดับ
5. ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักที่หายไปขณะทำการอบโดยการจับเวลาและนำออกมาชั่งน้ำหนักทุกๆ 0.5 นาที ในกรณีของระดับพลังงานสูง , ทุกๆ 1 นาที ในกรณีของระดับพลังงานปานกลางและละลายน้ำแข็งและทุกๆ 10 นาทีในกรณีของการอบแห้งโดยลมร้อนเพียงอย่างเดียว
6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนเป็นกราฟและทำการวิเคราะห์ในเงื่อนไขต่างๆ

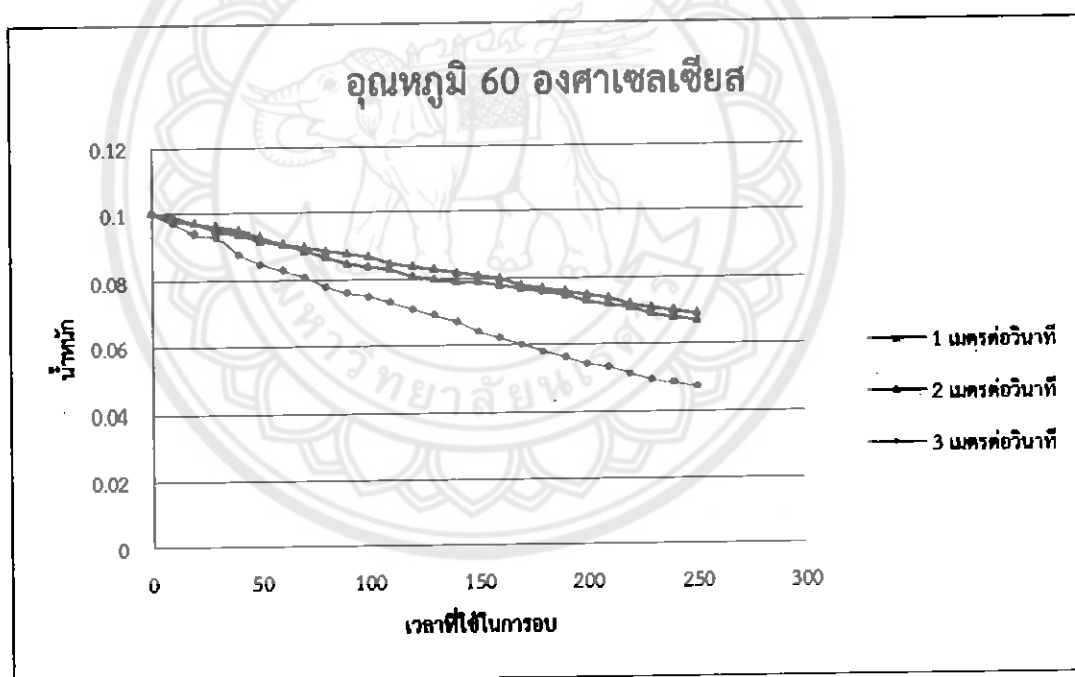


บทที่ 4

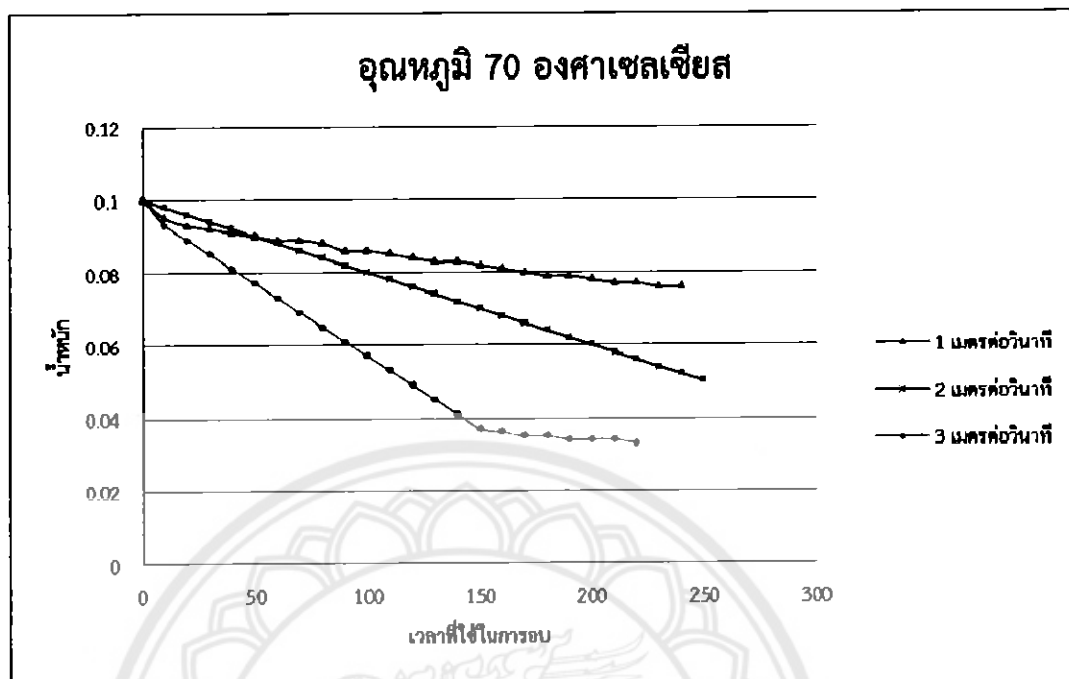
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าฝานบางด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

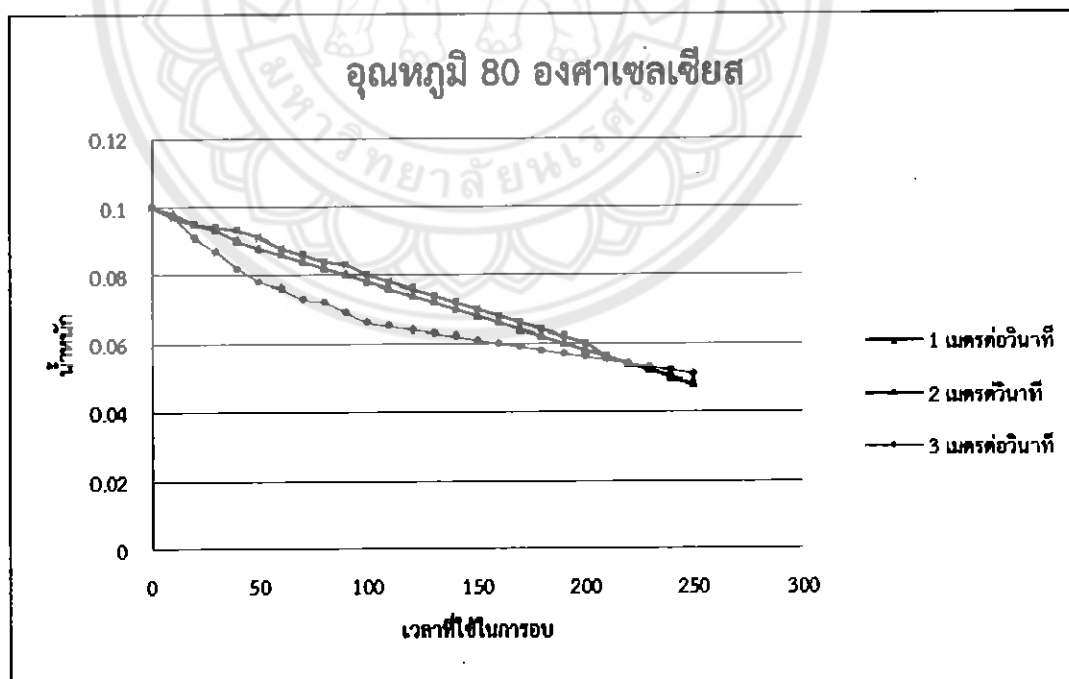
การหาเวลาในการอบกล้วยน้ำว้าฝานบางให้มีความชื้นอยู่ที่ 33 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้เวลาในการอบแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับระดับพลังงาน, อุณหภูมิของลมร้อนและความเร็วลม ที่ใช้ในการทดลอง โดยเวลาที่ทำการทดลองได้ทำการจดบันทึกและเขียนเป็นกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยน้ำว้าฝานบางกับเวลาในการอบ (นาทีก) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

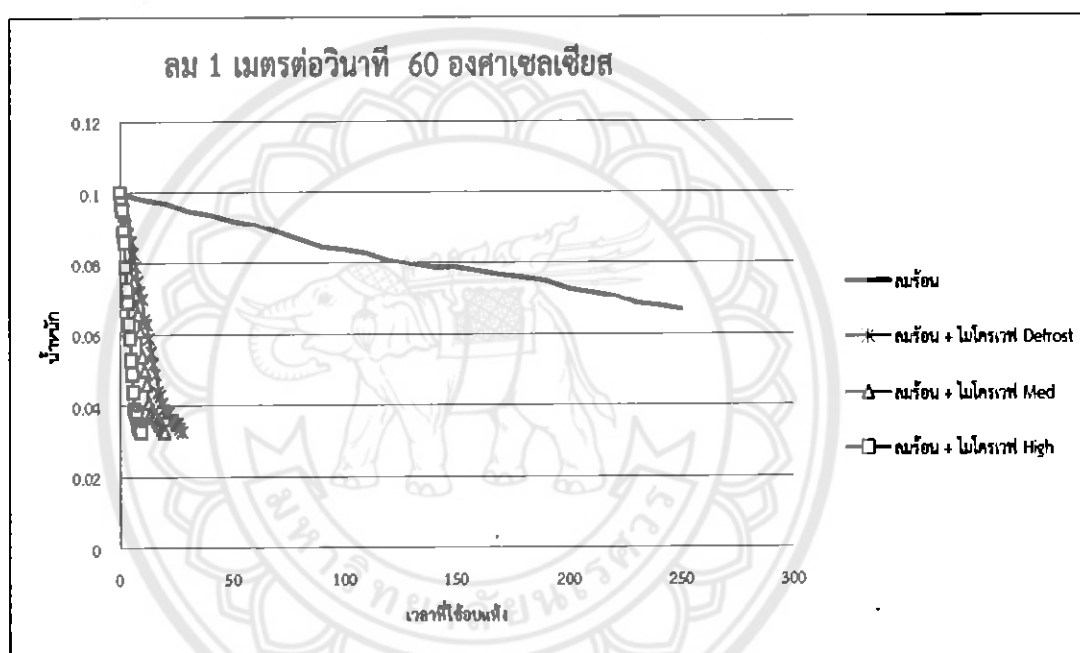


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาท) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

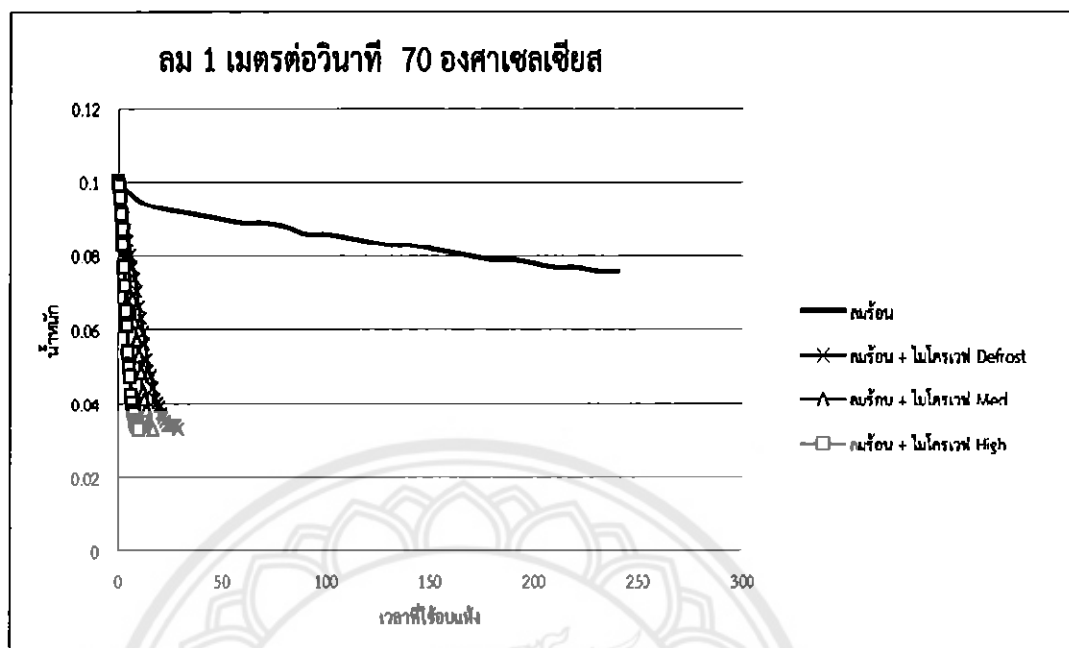


รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาท) ด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

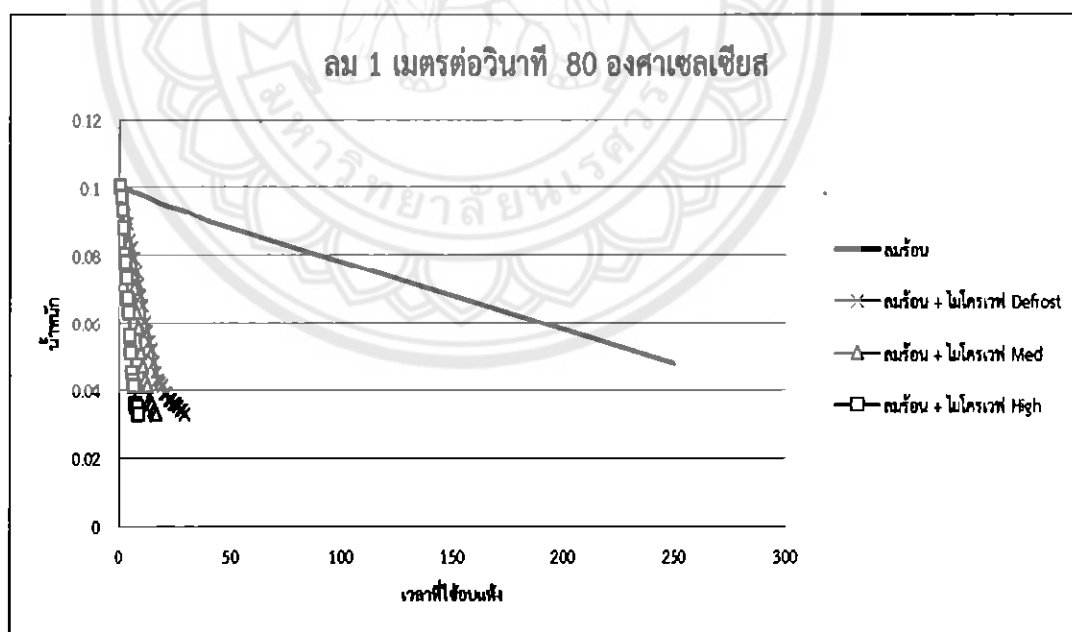
จากรูป 4.1 – 4.3 ในการอบด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียสเส้นกราฟของความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที และ 2 เมตรต่อวินาที มีค่าการระเหยของน้ำในกล้วยที่ใกล้เคียงกันแต่จะช้ากว่าความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที ในช่วง อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาทีจะมีการระเหยของน้ำในกล้วยช้ากว่าความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาทีและ 3 เมตรต่อวินาที แต่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีจะมีการลดลงที่รวดเร็วในช่วงเวลา 10 – 150 นาทีและลดลงอย่างช้าๆ ในช่วง 150 – 230 และในอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาทีจะมีการระเหยของน้ำในกล้วยไม่คงที่



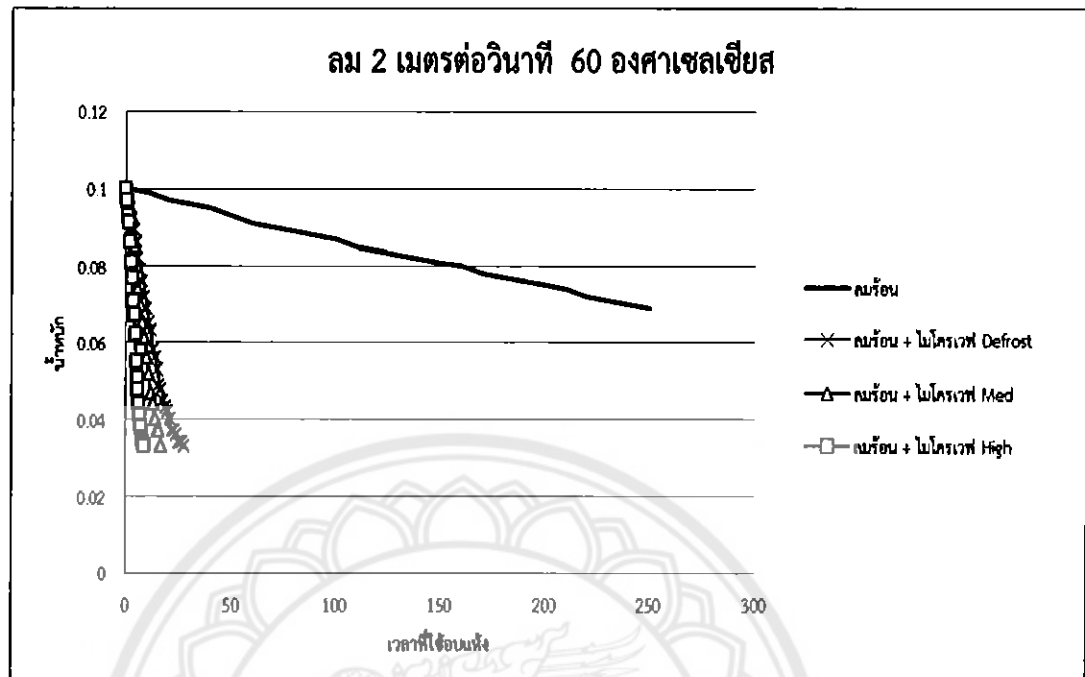
รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



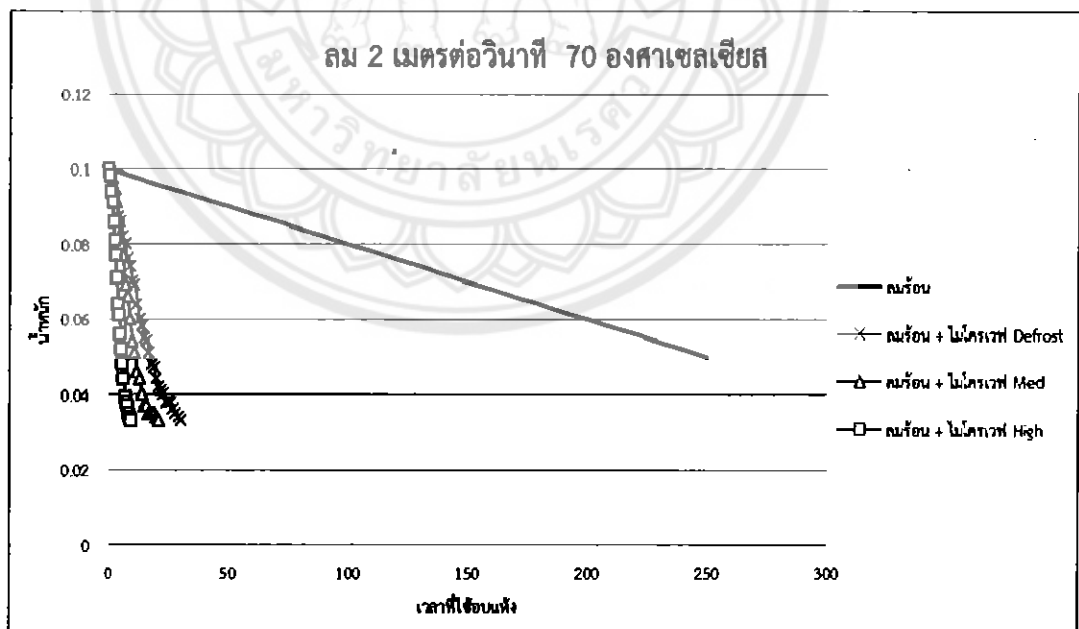
รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



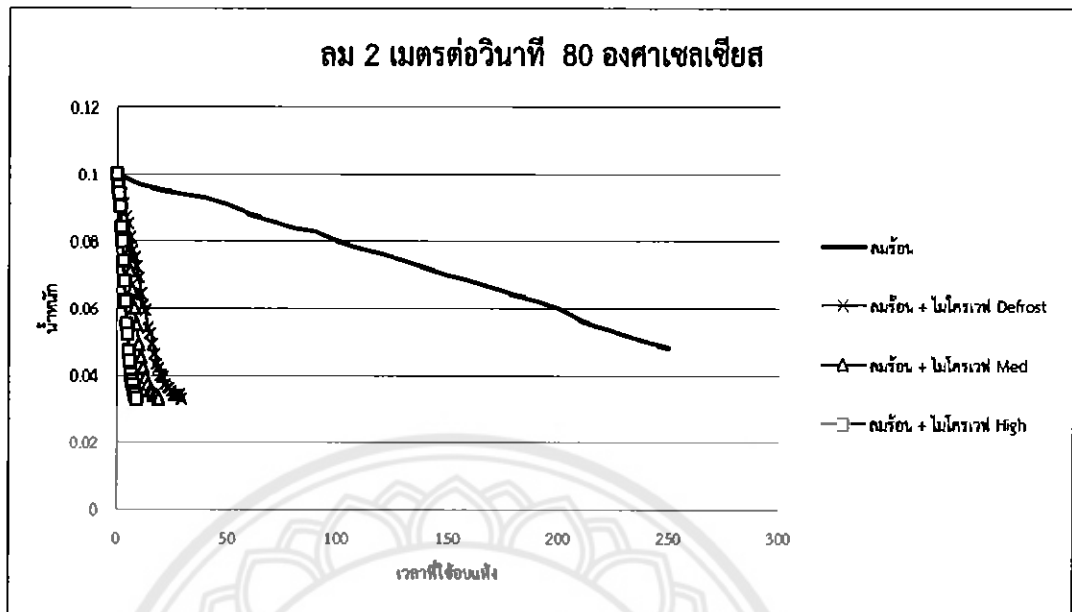
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



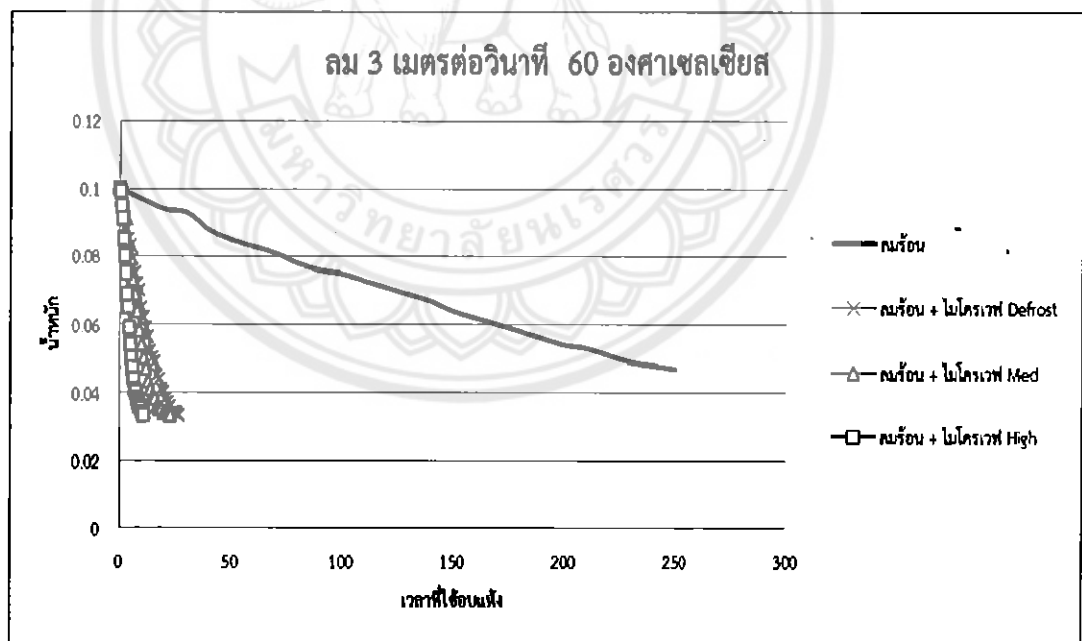
รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



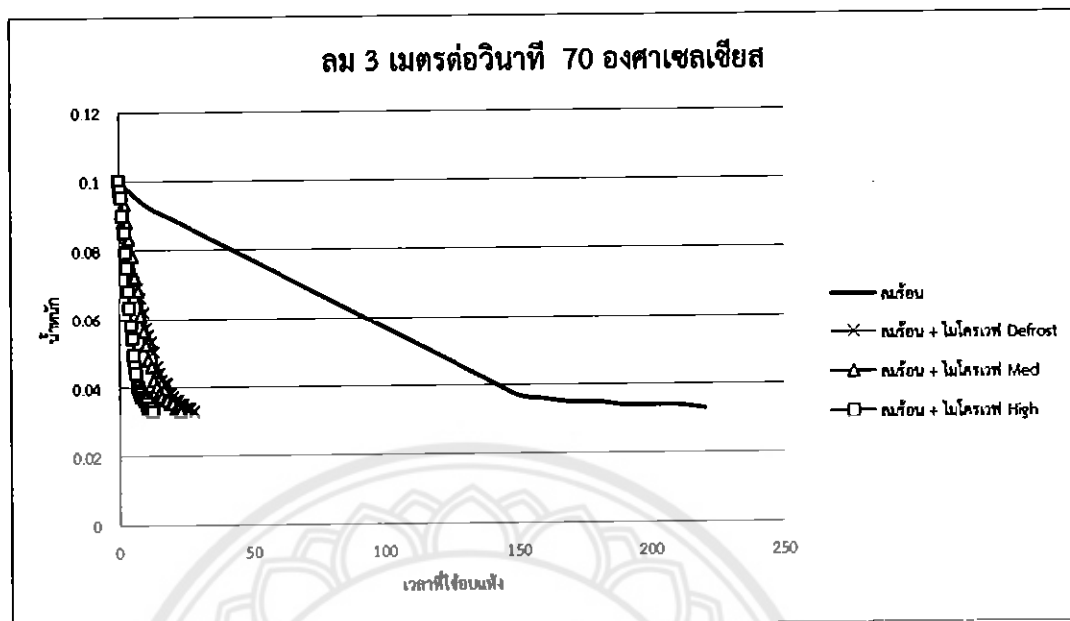
รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาที) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



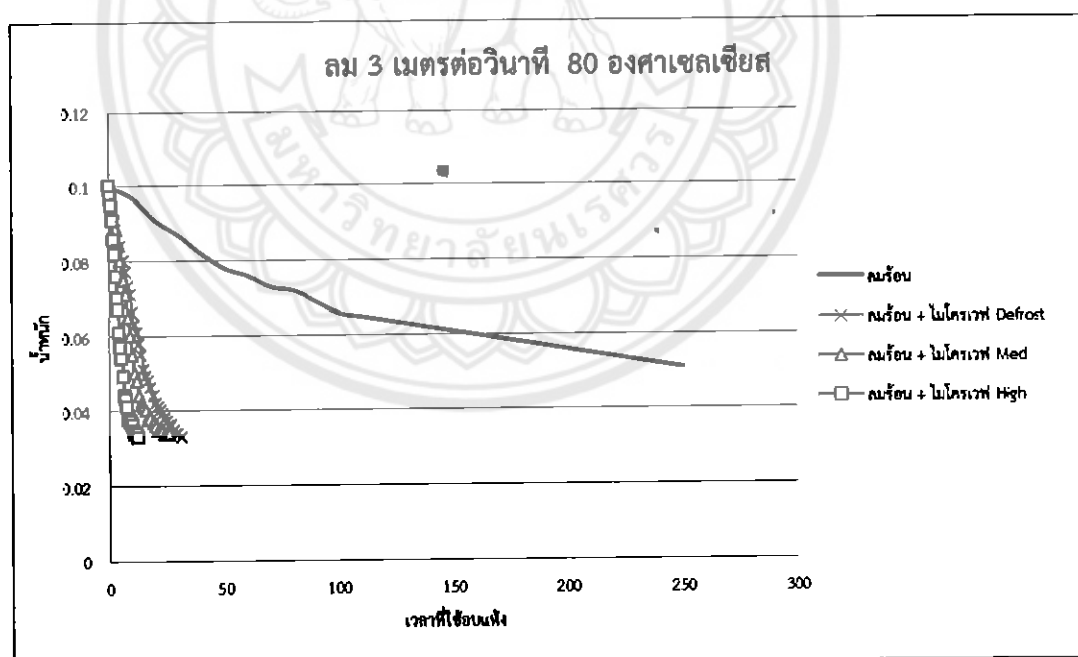
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาทีก) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาทีก) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

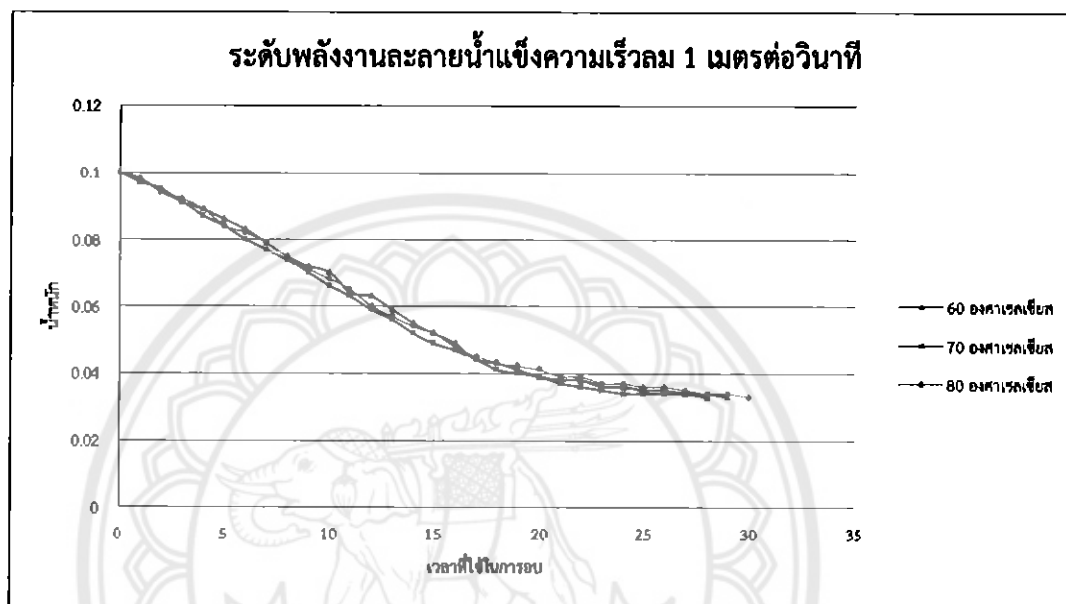


รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาทีก) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

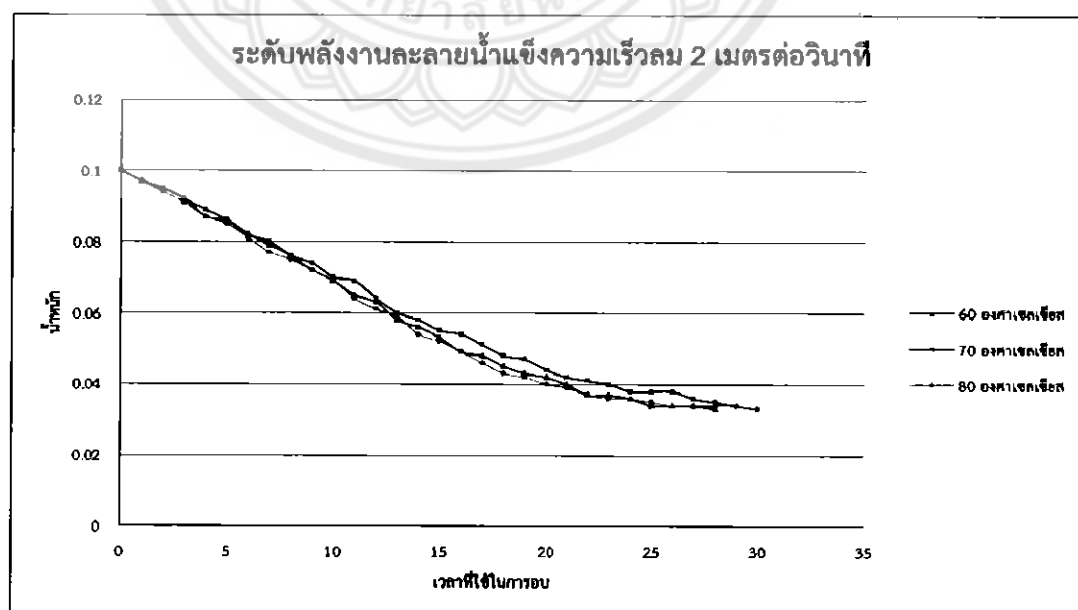


รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ (นาทีก) ด้วยเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

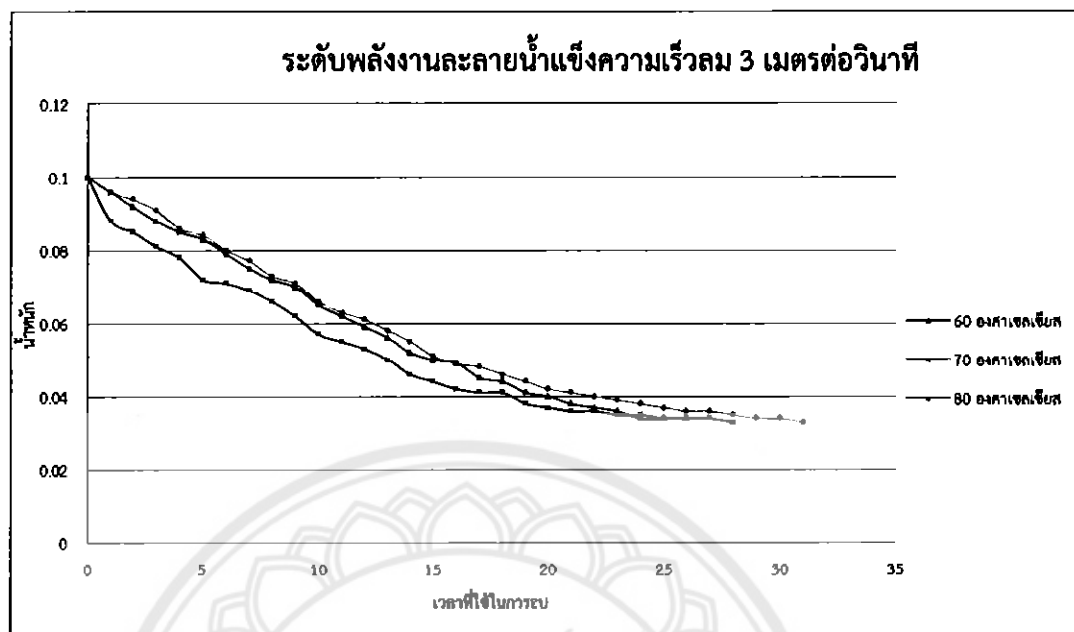
จากรูป 4.4 – 4.12 พบว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 1 – 3 เมตรต่อวินาที เมื่อผ่านไป 4 ชั่วโมง จะเหลือความชื้นอยู่ในช่วงประมาณ 33 – 76 เปอร์เซ็นต์ แต่จากการการอบด้วยไมโครเวฟที่มีกำลัง 373.33 – 800 วัตต์ พบว่ายังระดับพลังงานสูงขึ้นระยะเวลาในการอบจะสั้นลงโดยใช้เวลาในการอบอยู่ที่ 9 – 31 นาที



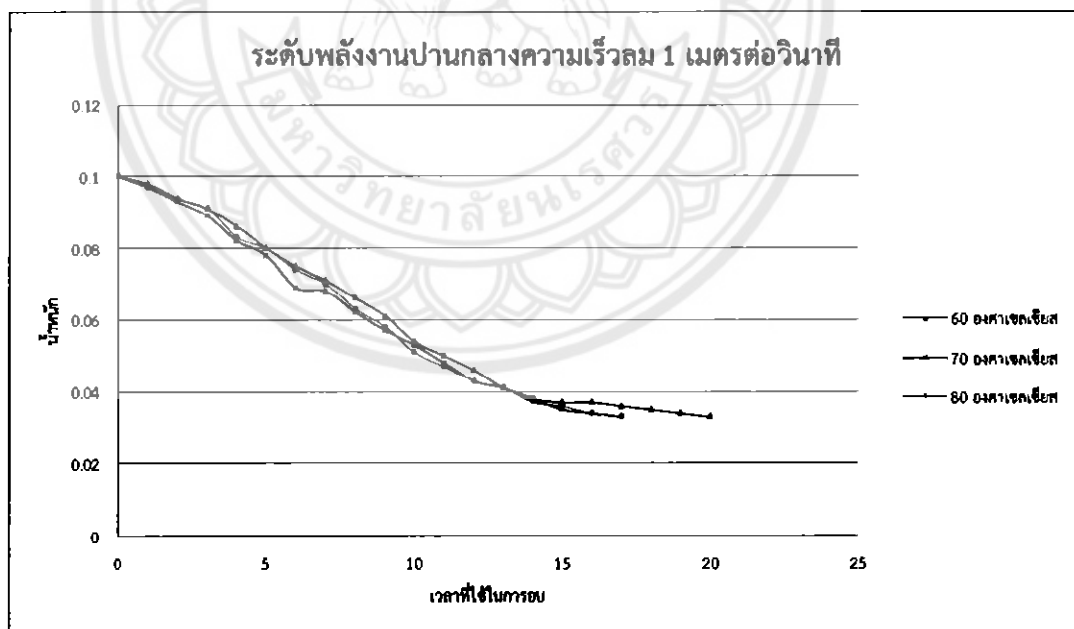
รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที



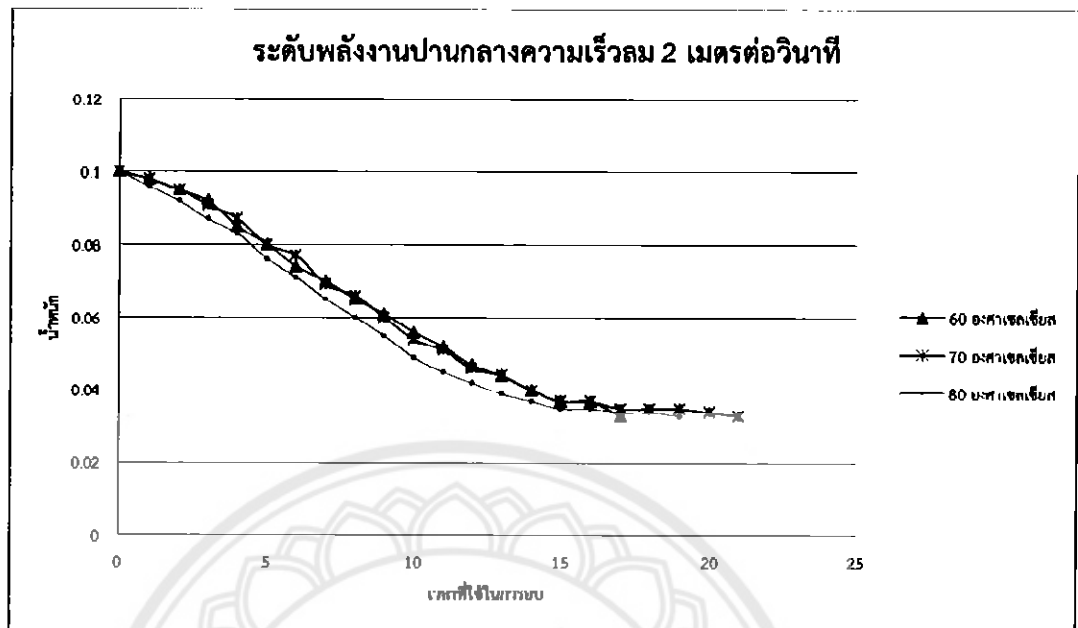
รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที



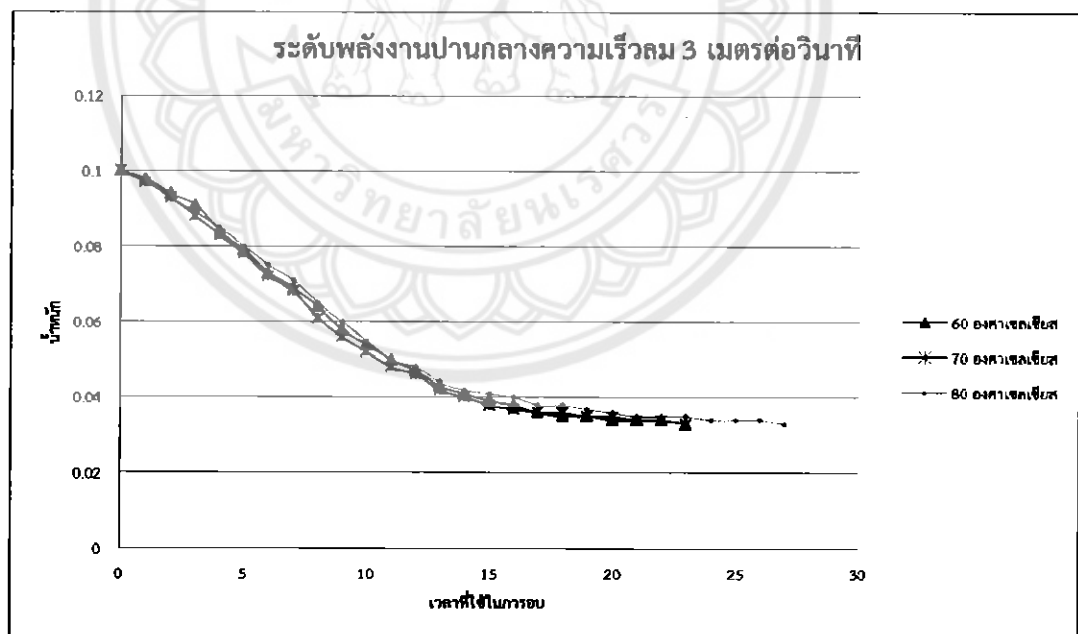
รูปที่ 4.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที



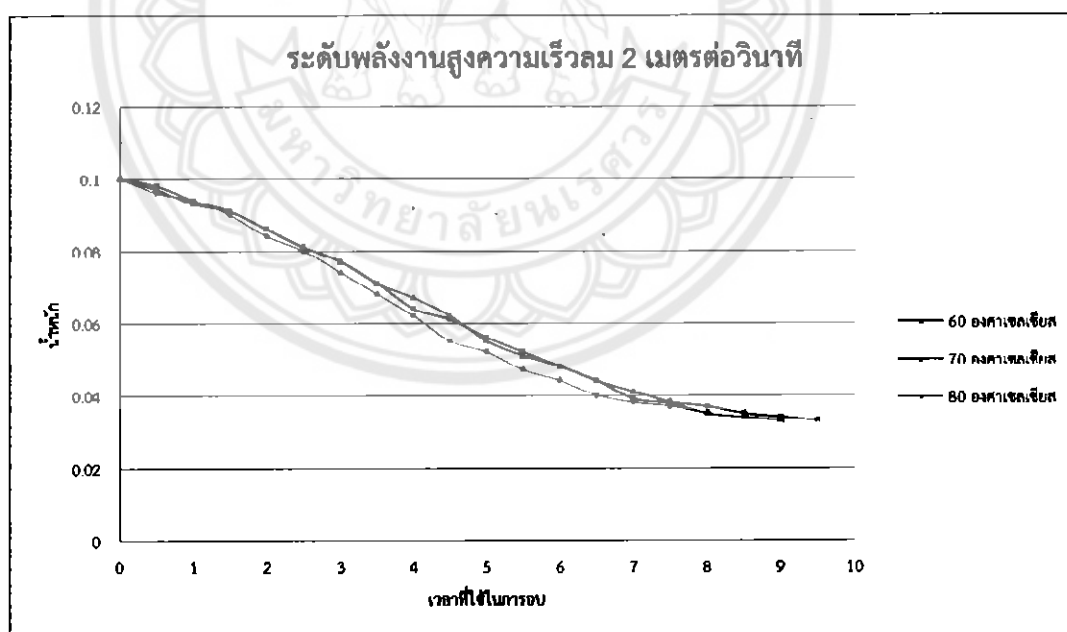
รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการรอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที



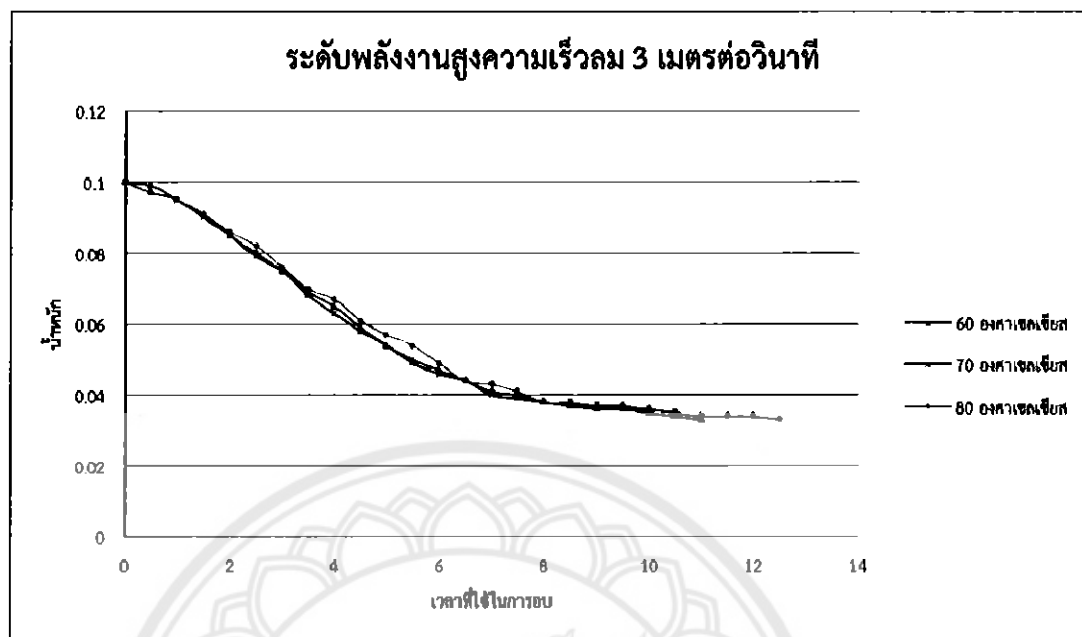
รูปที่ 4.18 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการรอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการรอบ ที่ระดับพลังงานสูง
ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที

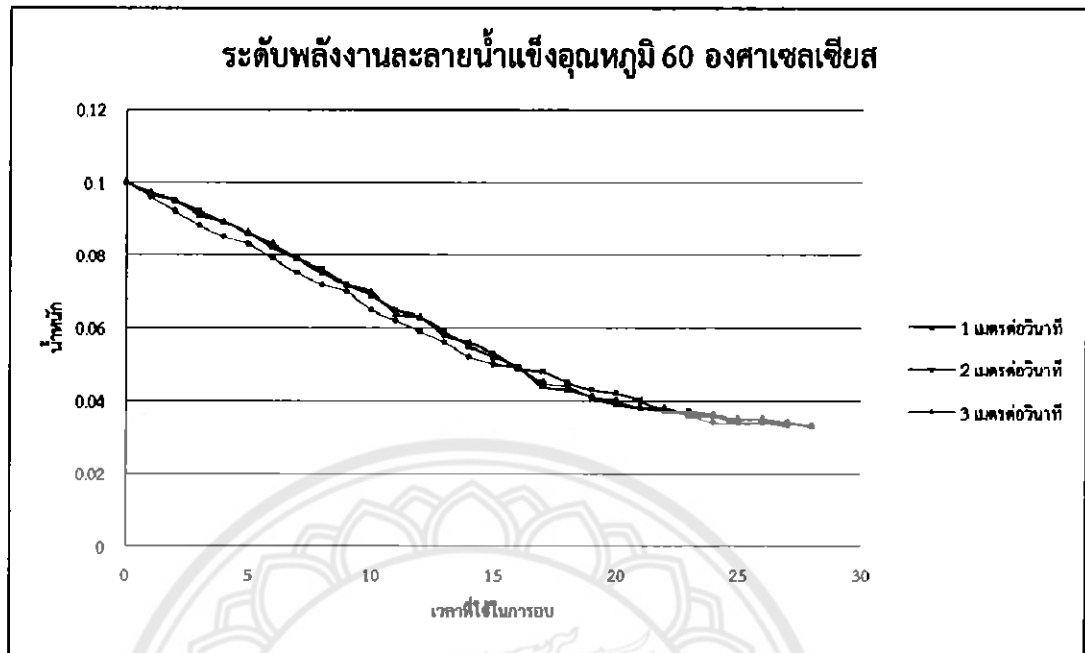


รูปที่ 4.20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการรอบ ที่ระดับพลังงานสูง
ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที

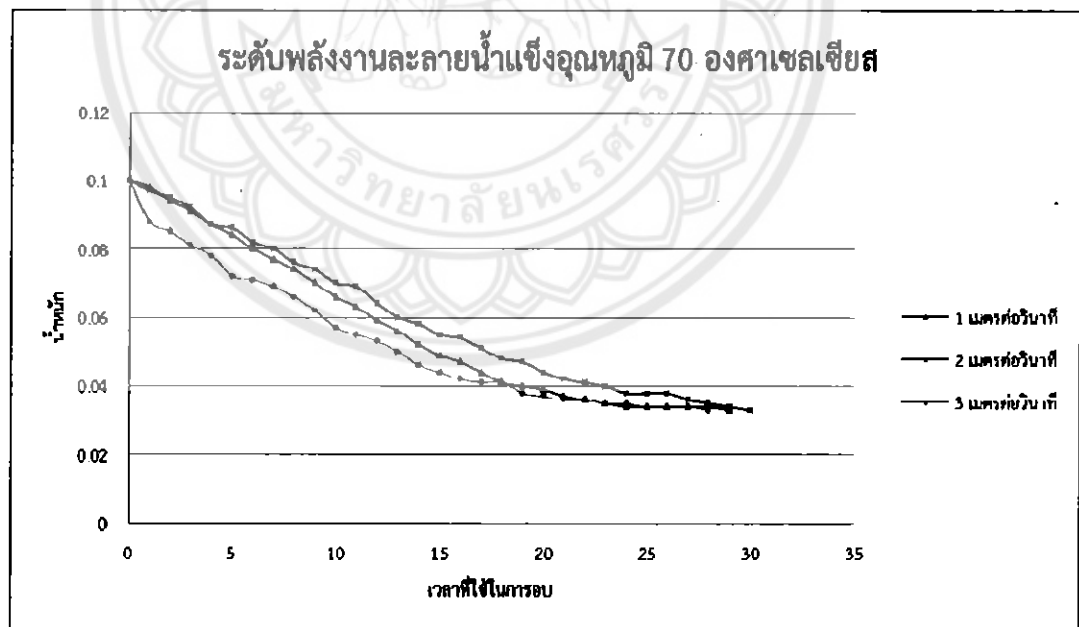


รูปที่ 4.21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนึ่ของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง
ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที

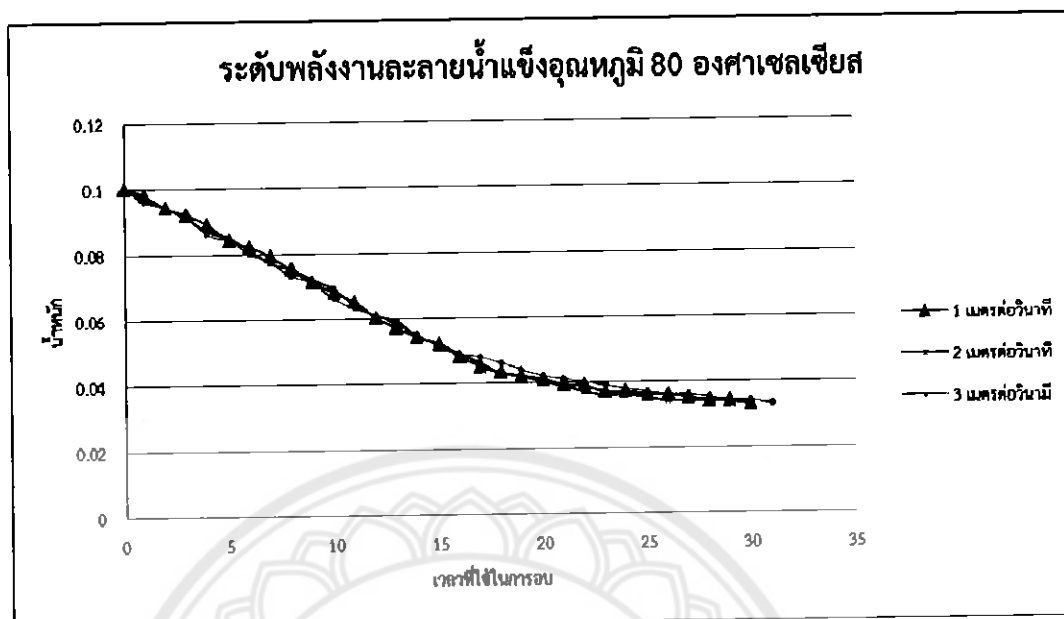
จากรูปที่ 4.13 – 4.21 เป็นการแสดงเวลาในการอบกล้วยน้ำว้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่ความเร็วลม 1 , 2 , และ 3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 60 – 80 องศาเซลเซียส ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง (373.33 วัตต์) ระดับพลังงานปานกลาง (453.33 วัตต์) และระดับพลังงานสูง (800 วัตต์) ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง (รูปที่ 4.13 – 4.15) จะใช้เวลาในการอบที่ 28 – 30 นาที, 28 – 30 นาที, และ 27 – 31 นาที ของความเร็วลม 1-3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ที่ระดับพลังงานปานกลาง (รูปที่ 4.16 – 4.18) จะใช้เวลาในการอบที่ 17 – 20 นาที, 17 – 21 นาที และ 23 – 27 นาที ของความเร็วลม 1-3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ ที่ระดับพลังงานสูง (รูปที่ 4.19 – 4.21) จะใช้เวลาในการอบที่ 9 – 10 นาที, 9 – 9.5 นาที และ 11 – 12.5 นาที ของความเร็วลม 1 – 3 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ



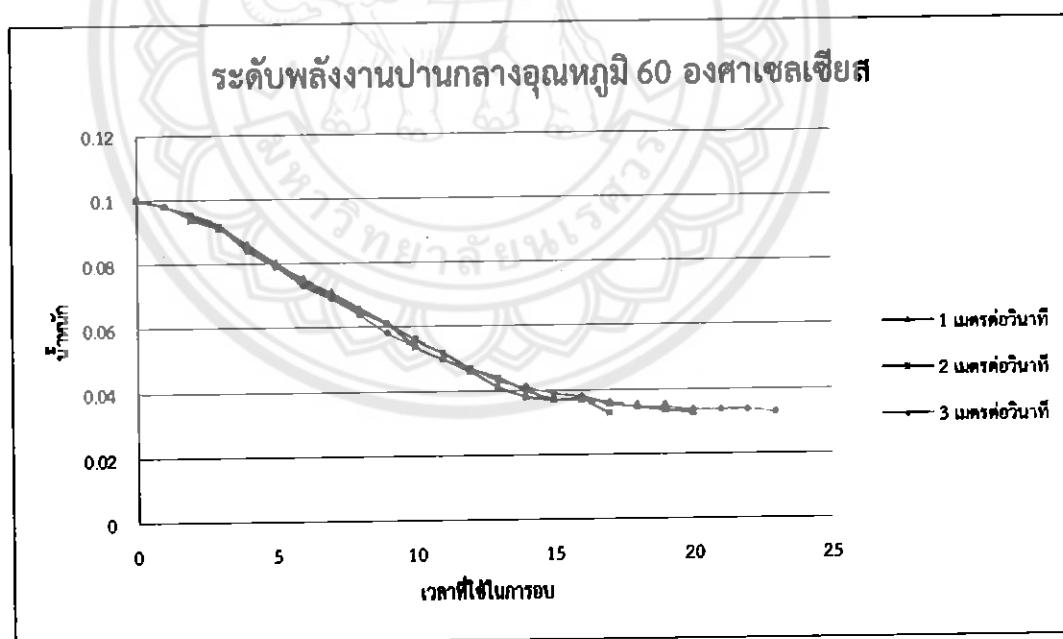
รูปที่ 4.22 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



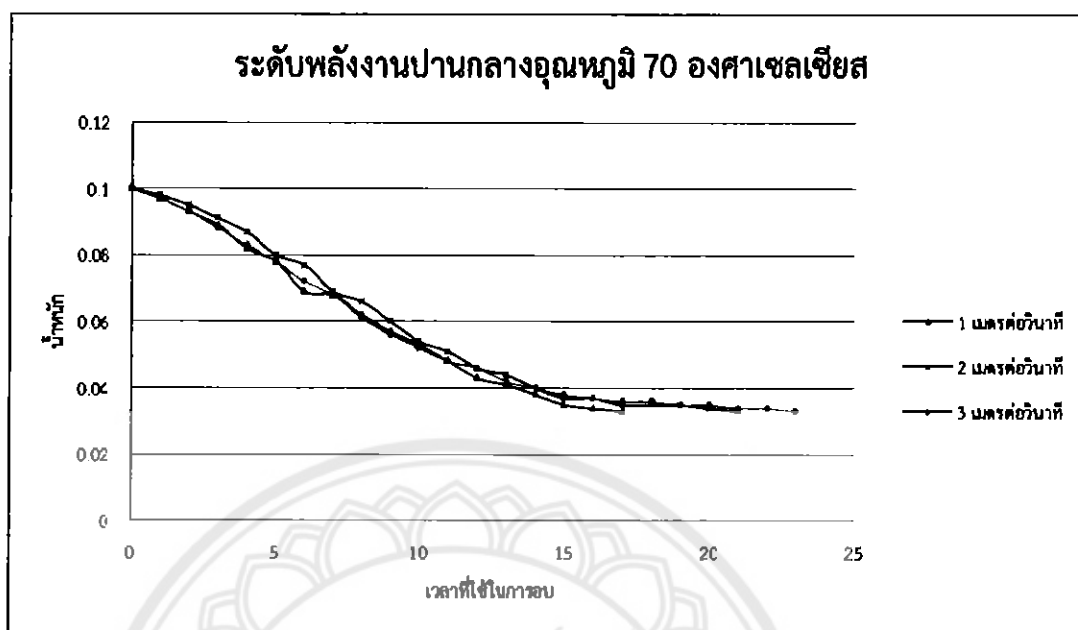
รูปที่ 4.23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



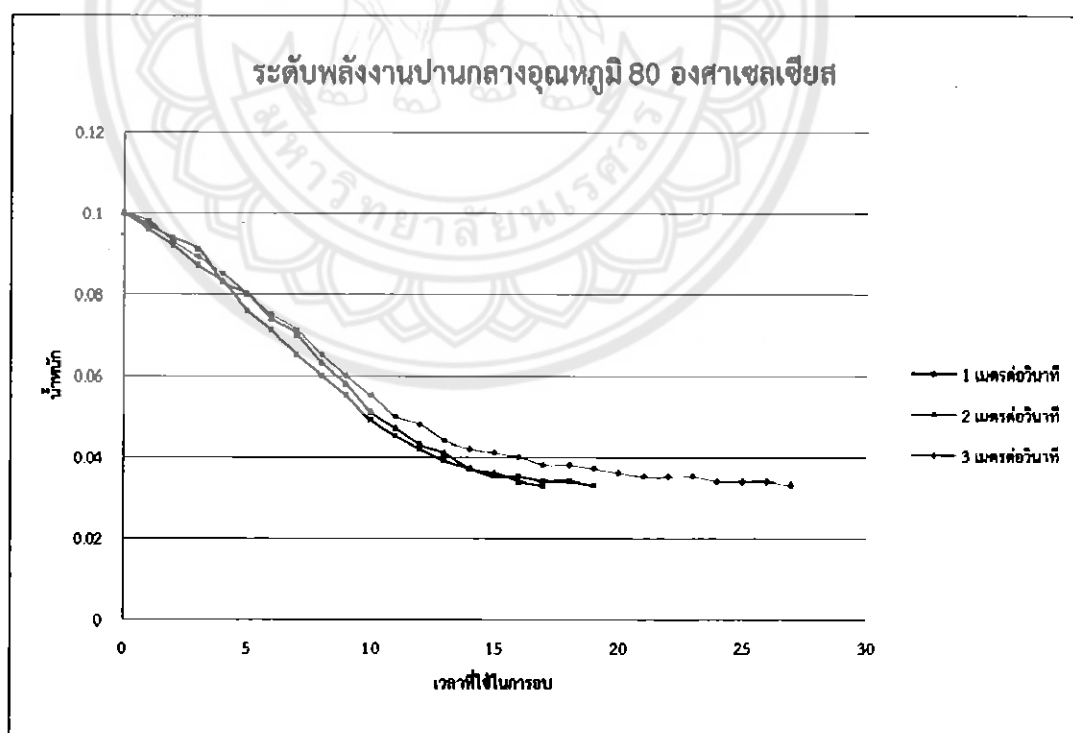
รูปที่ 4.24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



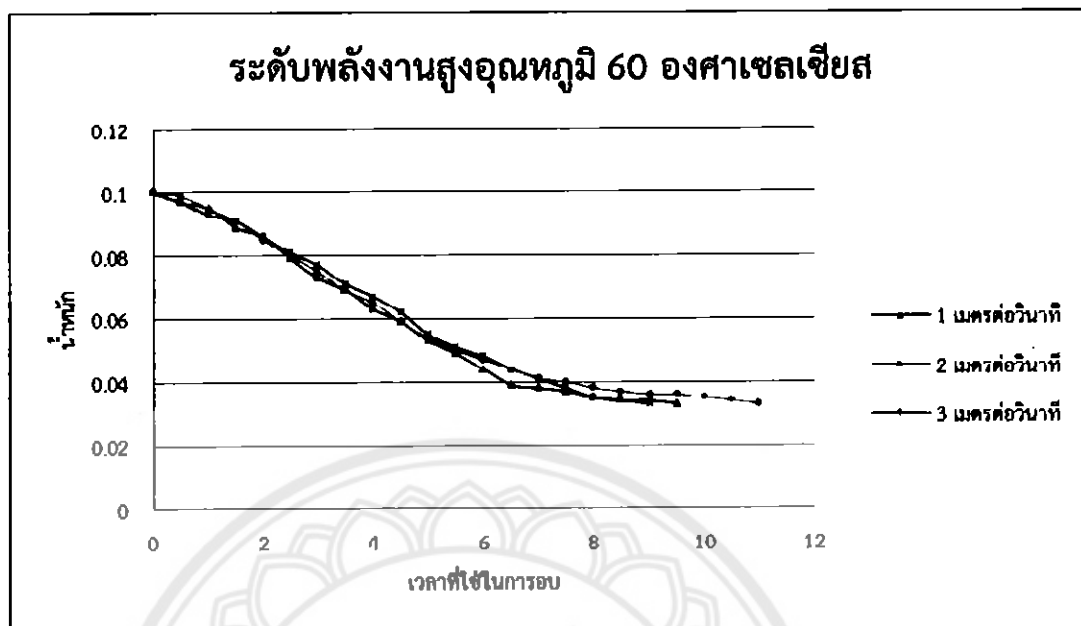
รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



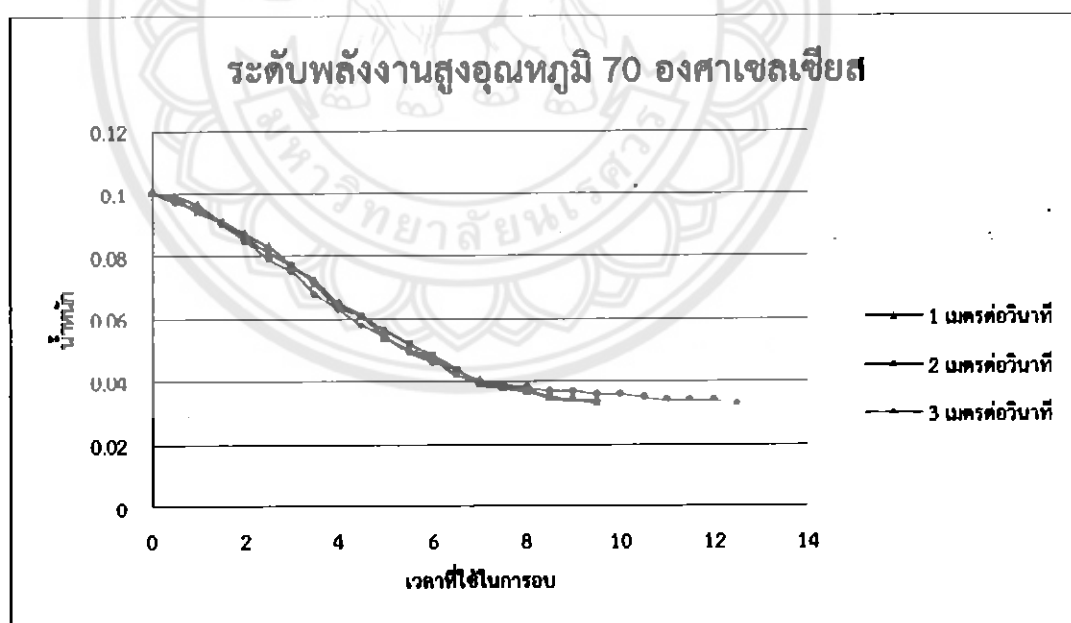
รูปที่ 4.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



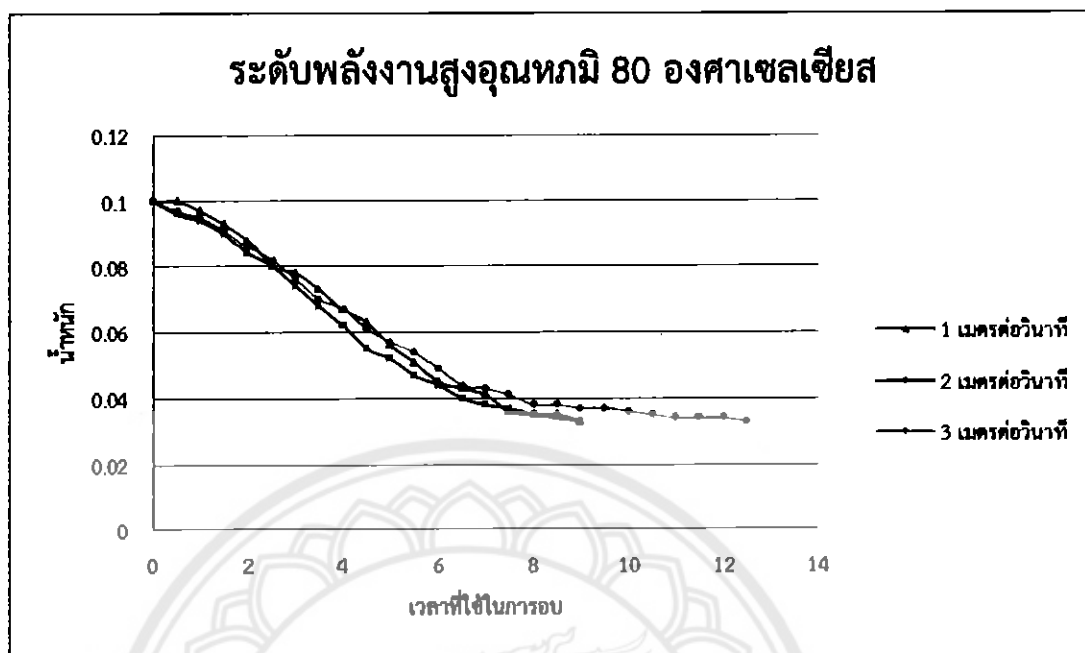
รูปที่ 4.27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานปานกลาง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.28 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.30 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำผั่งของกล้วยกับเวลาในการอบ ที่ระดับพลังงานสูง ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.22 – 4.30 เป็นการแสดงเวลาในการอบกล้วยน้ำว้าด้วยลมร้อนร่วมกับไมโครเวฟ ที่อุณหภูมิ 60 , 70 , และ 80 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่ความเร็วลม 1 – 3 ต่อวินาที ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง (373.33 วัตต์) ระดับพลังงานปานกลาง (453.33 วัตต์) และระดับพลังงานสูง (800 วัตต์) ที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง (รูปที่ 4.22 – 4.24) จะใช้เวลาในการอบที่ 27 – 28 นาที, 28 – 30 นาที, และ 30 – 31 นาที ของอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่ระดับพลังงานปานกลาง (รูปที่ 4.25 – 4.27) จะใช้เวลาในการอบที่ 17 – 23 นาที, 17 – 23 นาที และ 17 – 27 นาที ของอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่ระดับพลังงานสูง (รูปที่ 4.28 – 4.30) จะใช้เวลาในการอบที่ 9 – 11 นาที, 9.5 – 12.5 นาที และ 9 – 12.5 นาที ของอุณหภูมิ 60-80 องศาเซลเซียสตามลำดับ

4.2 การวิเคราะห์ คุณภาพ ของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากการทดลองพบว่าถ้ายิ่งระดับพลังงานของไมโครเวฟสูงขึ้น การอบจะใช้เวลาสั้นลง แต่จากการทดลองยังพบอีกว่าถ้าใช้ระดับพลังงานสูงในการอบ กล้วยน้ำว้าผานบางที่ผ่านการอดด้วยระดับพลังงานสูงสุดจะไหม้ ก่อนที่น้ำในกล้วยจะระเหยออกหมด ดังนั้นระดับพลังงานที่เหมาะสมใน

การอบ คือ ระดับพลังงานปานกลาง รองลงมาคือ ระดับพลังงานระลายน้ำแข็ง

ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ในการอบนั้นไม่มีผลต่อการอบเท่าไรนัก เพราะเนื่องจากความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของลมร้อนมาก ดังนั้นจะเลือกใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิได้ทั้ง 3 ลำดับ ทั้ง 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการทดลองการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยทำการทดลองจะใช้ความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที 2 เมตรต่อวินาที 3 เมตรต่อวินาที และใช้อุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส 80 องศาเซลเซียส โดยใช้ไมโครเวฟที่มีระดับพลังงานสูง ระดับพลังงานปานกลาง ระดับพลังงานการละลายน้ำแข็งเป็นตัวกำหนดในการทดลอง จากการทดลองการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูง โดยใช้ความเร็วลมร้อน 1 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเพียง 9 นาที ส่วนการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ระดับพลังงานการละลายน้ำแข็ง โดยใช้ความเร็วลมร้อน 3 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการอบแห้ง 31 นาทีซึ่งเพิ่มขึ้น 70.97 เปอร์เซ็นต์

5.1.2 สภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานการละลายน้ำแข็ง จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพที่ดีกว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานสูงของไมโครเวฟ ในขณะที่การใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟที่ระดับพลังงานปานกลาง จะได้คุณภาพของกล้วยที่ดีที่สุด รองลงมาคือระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง

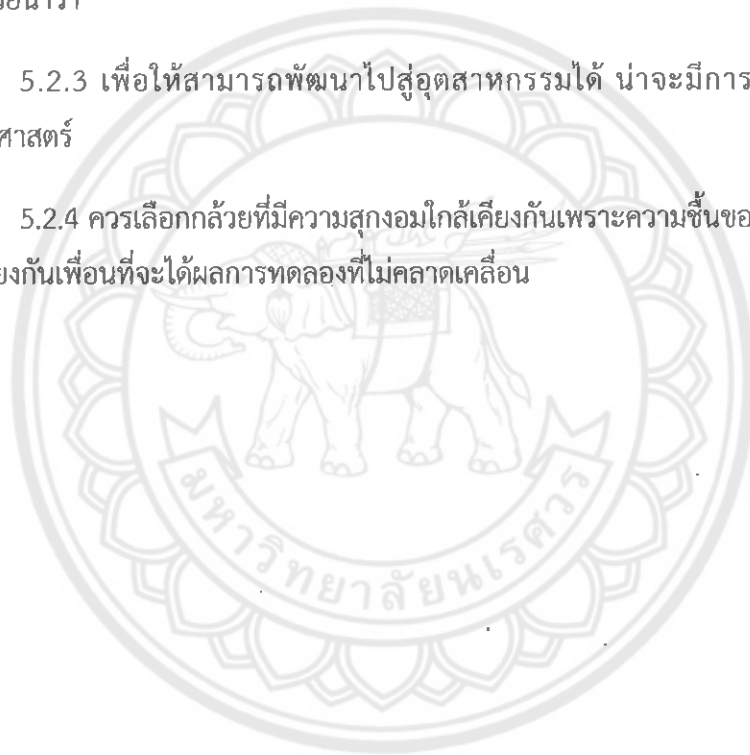
5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาการใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้ง ในขั้นแรกควรศึกษา วงจรการทำงานของเครื่องไมโครเวฟแบบอินเวอร์เตอร์และไมโครเวฟแบบธรรมดา เพื่อที่จะได้รู้ถึง ประสิทธิภาพและความสามารถในการทำงานของเครื่องไมโครเวฟทั้ง 2 ชนิด

5.2.2 ในอนาคตเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถดัดแปลงมาใช้ ในครัวเรือนได้เนื่องจากราคาไม่สูงมาก อีกทั้งยังสามารถอบแห้ง ผัก ผลไม้ ชนิดอื่นได้ นอกจากการ อบกล้วยน้ำว้า

5.2.3 เพื่อให้สามารถพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมได้ น่าจะมีการศึกษาความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์

5.2.4 ควรเลือกกล้วยที่มีความสุกงอมใกล้เคียงกันเพราะความชื้นของกล้วยจะมีความ ใกล้เคียงกันเพื่อนที่จะได้ผลการทดลองที่ไม่คลาดเคลื่อน



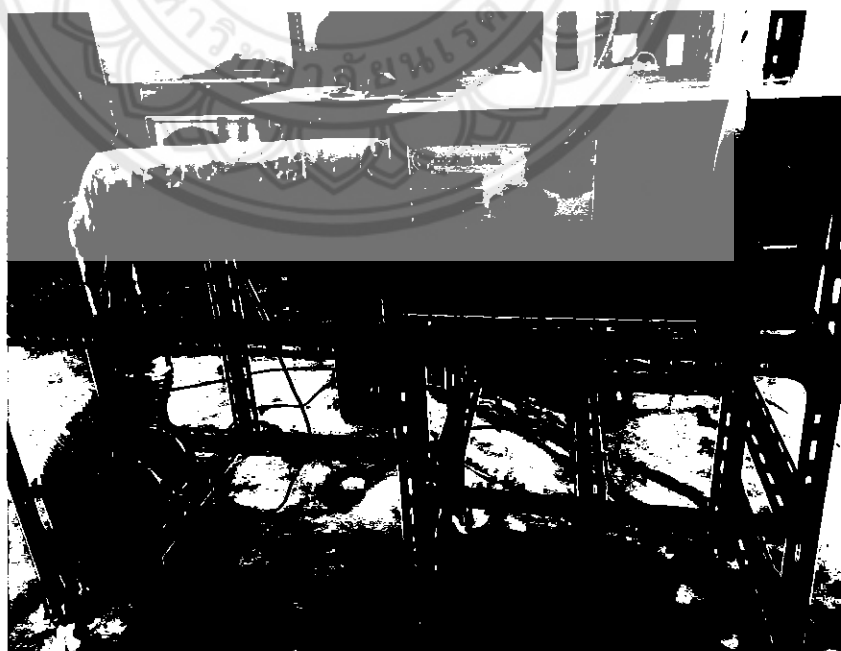
เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Reynolds, 1989, The history of the microwave oven, Microwave World, Vol. 10.
- [2] R.V. Decareau, 1985, Microwave in the food processing industry, Academic Press Inc.
- [3] G. Roussy and J.A. Pearce, 1995, Foundations and Industrial Applications of Microwaves and Radio Frequency Fields, John Wiley & Sons.
- [4] John M, 1984, Osepchuk, A History of Microwave Heating Application, IEEE transactions on microwave theory and technique, vol MTT-32, No.9.
- [5] Panasonic Services Company, Technical Guide Microwave Ovens with Inverters, http://www.portaldoeletrodomestico.com.br/es/cursos/horno_microondas/inverter.pdf. สืบค้นเมื่อ 25 ก.ย. 2555
- [6] ทนงค์ศักดิ์ วัฒนา, 2554, แนวทางเลือกเทคโนโลยีการอบแห้งในอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีการอบแห้งเพื่อลดต้นทุนการผลิต, อินดัสเทรียล เทคโนโลยี รีวิว ปีที่ 17, ฉบับที่ 217 (ก.พ. 2554), หน้า 132-138.
- [7] อัตราการแห้ง (Drying rate). <http://www.foodnetworksolution.com>. สืบค้นเมื่อ 27 ก.ย. 2555
- [8] Zhen-hua Duan, Li-na Jiang, Ju-lan Wang, Xiao-yang Yu, Tao Wang, 2010, Drying and quality characteristics of tilapia fish fillets dried with hot air-microwave heating, Food and Bioproducts Processing, Vol.89, Pages 472-476.
- [9] ยุทธพงศ์ เพียรโรจน์, พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี, หมุดต่อเล็บ หนีสอ, 2548, การพัฒนาระบบการให้ความร้อนเพื่อการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1.
- [10] พรรณจิรา วงศ์สวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์, สุเทพ อภินันท์จารุพงศ์, 2545, กระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผงโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจายและไมโครเวฟสุญญากาศ, วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ปีที่ 23, ฉบับที่ 3, หน้า 257-276.
- [11] Zhenfeng Li, G.S.V. Raghavan, Ning Wang, Clement Vigneault, 2010, Drying rate control in the middle stage of microwave drying, Journal of Food Engineering 104.
- [12] Alibas I., 2007, Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters, LWT 40, 1445-1451.
- [13] นันทวัน เทอดไทย, สุพิชา กระจ่างเมธิกุล, 2554, ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับการอบแห้งแบบลมร้อนต่อคุณภาพของฟักทองอบแห้ง, เรื่องได้จากการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, หน้า 133-140.





รูปภาคผนวก ก-1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (ระบบ Inverter)



รูปภาคผนวก ก-2 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (แบบธรรมดา)



รูปภาคผนวก ก-4 เครื่องวัดความเร็วลม



รูปภาคผนวก ก-5 ท่อสังกะสี



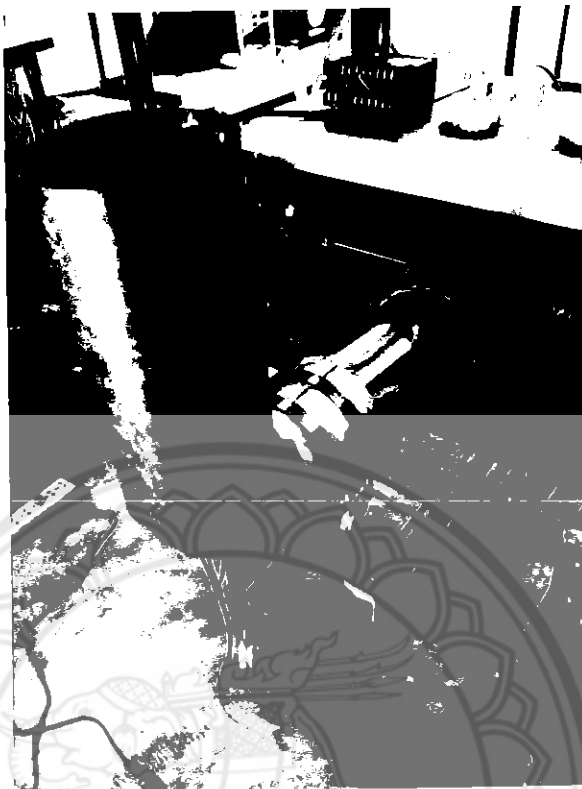
รูปภาคผนวก ก-6 เครื่องวัดรังสีไมโครเวฟ



ภาคผนวก ก-7 แผนกำหนดความเร็วลม



ภาคผนวก ก-8 พัฒนาระบายอากาศ



ภาคผนวก ก-9 ท่อระบายลมด้านหลัง



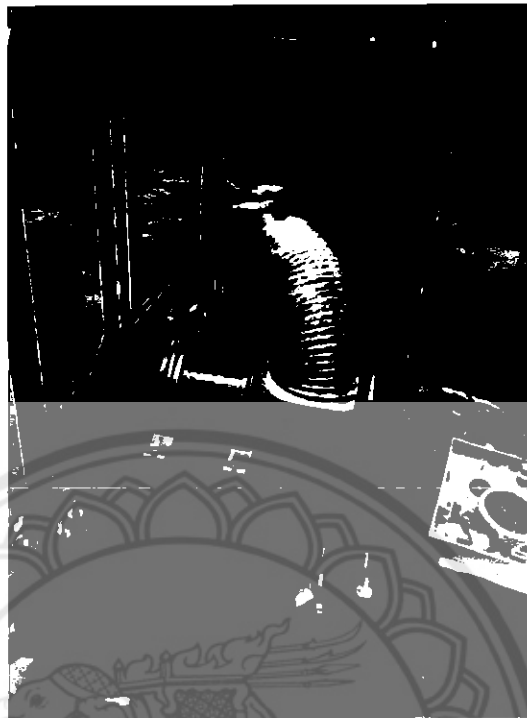
ภาคผนวก ก-10 ตัวควบคุมอุณหภูมิ



รูปภาคผนวก ก-11 ทาซิลิโคลนกันคลื่นไมโครเวฟรั่ว



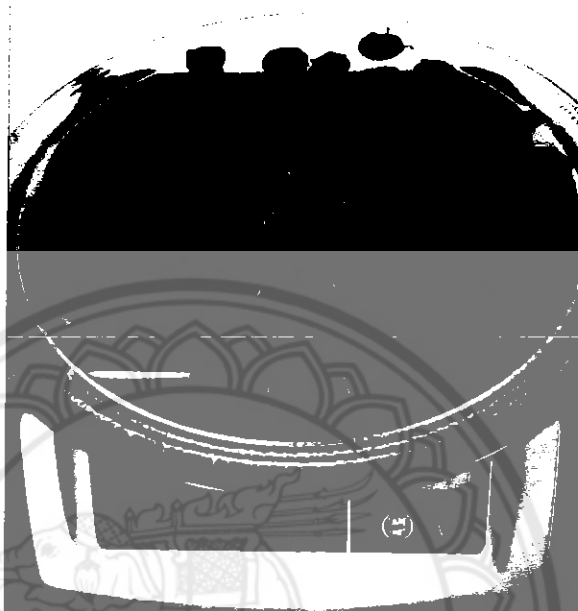
รูปภาคผนวก ก-12 ขั้นตอนการประกอบท่อลม



รูปภาคผนวก ก-13 ขั้นตอนการต่อพัฒนาระบบอากาศยานเข้ากับเครื่องไมโครเวฟ



รูปภาคผนวก ก-14 ขั้นตอนการติดตั้งฮีตเตอร์



รูปภาคผนวก ก-9 กล้วยที่ผ่านการอบแห้งในเครื่องอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง



รูปภาคผนวก ก-10 กล้วยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



ตารางภาคผนวก ข-1 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.884	0.098
20	0.883	0.097
30	0.881	0.095
40	0.880	0.094
50	0.878	0.092
60	0.877	0.091
70	0.875	0.089
80	0.873	0.087
90	0.871	0.085
100	0.870	0.084
110	0.869	0.083
120	0.867	0.081
130	0.866	0.080
140	0.865	0.079
150	0.865	0.079
160	0.864	0.078
170	0.863	0.077
180	0.862	0.076
190	0.861	0.075
200	0.859	0.073
210	0.858	0.072
220	0.857	0.071
230	0.855	0.069
240	0.854	0.068
250	0.853	0.067

ตารางภาคผนวก ข-2 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.881	0.095
20	0.879	0.093
30	0.878	0.092
40	0.877	0.091
50	0.876	0.090
60	0.875	0.089
70	0.875	0.089
80	0.874	0.088
90	0.872	0.086
100	0.872	0.086
110	0.871	0.085
120	0.870	0.084
130	0.869	0.083
140	0.869	0.083
150	0.868	0.082
160	0.867	0.081
170	0.866	0.080
180	0.865	0.079
190	0.865	0.079
200	0.864	0.078
210	0.863	0.077
220	0.863	0.077
230	0.862	0.076
240	0.862	0.076

ตารางภาคผนวก ข-3 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.884	0.098
20	0.881	0.095
30	0.879	0.093
40	0.876	0.090
50	0.874	0.088
60	0.872	0.086
70	0.870	0.084
80	0.868	0.082
90	0.866	0.080
100	0.864	0.078
110	0.862	0.076
120	0.860	0.074
130	0.858	0.072
140	0.856	0.070
150	0.854	0.068
160	0.852	0.066
170	0.850	0.064
180	0.848	0.062
190	0.846	0.060
200	0.844	0.058
210	0.842	0.056
220	0.840	0.054
230	0.838	0.052
240	0.836	0.050
250	0.834	0.048

ตารางภาคผนวก ข-4 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานระลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.881	0.095
3	0.877	0.091
4	0.875	0.089
5	0.872	0.086
6	0.869	0.083
7	0.865	0.079
8	0.861	0.075
9	0.858	0.072
10	0.856	0.070
11	0.850	0.064
12	0.849	0.063
13	0.845	0.059
14	0.841	0.055
15	0.838	0.052
16	0.835	0.049
17	0.830	0.044
18	0.829	0.043
19	0.827	0.041
20	0.825	0.039
21	0.824	0.038
22	0.824	0.038
23	0.822	0.036
24	0.822	0.036
25	0.821	0.035
26	0.821	0.035
27	0.820	0.034
28	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-5 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.872	0.086
5	0.866	0.080
6	0.861	0.075
7	0.857	0.071
8	0.852	0.066
9	0.847	0.061
10	0.840	0.054
11	0.836	0.050
12	0.832	0.046
13	0.827	0.041
14	0.824	0.038
15	0.823	0.037
16	0.823	0.037
17	0.822	0.036
18	0.821	0.035
19	0.820	0.034
20	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-6 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.883	0.097
1.0	0.881	0.095
1.5	0.875	0.089
2.0	0.872	0.086
2.5	0.865	0.079
3.0	0.859	0.073
3.5	0.855	0.069
4.0	0.849	0.063
4.5	0.845	0.059
5.0	0.839	0.053
5.5	0.835	0.049
6.0	0.830	0.044
6.5	0.825	0.039
7.0	0.824	0.038
7.5	0.823	0.037
8.0	0.821	0.035
8.5	0.820	0.034
9.0	0.820	0.034
9.5	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-7 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.873	0.087
5	0.870	0.084
6	0.866	0.080
7	0.863	0.077
8	0.860	0.074
9	0.856	0.070
10	0.852	0.066
11	0.849	0.063
12	0.845	0.059
13	0.842	0.056
14	0.838	0.052
15	0.835	0.049
16	0.833	0.047
17	0.830	0.044
18	0.827	0.041
19	0.826	0.040
20	0.825	0.039
21	0.823	0.037
22	0.822	0.036
23	0.821	0.035
24	0.820	0.034
25	0.820	0.034
26	0.820	0.034
27	0.820	0.034
28	0.820	0.034
29	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-8 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.879	0.093
3	0.875	0.089
4	0.868	0.082
5	0.864	0.078
6	0.855	0.069
7	0.854	0.068
8	0.848	0.062
9	0.843	0.057
10	0.839	0.053
11	0.834	0.048
12	0.829	0.043
13	0.827	0.041
14	0.824	0.038
15	0.821	0.035
16	0.820	0.034
17	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-9 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.885	0.099
1.0	0.882	0.096
1.5	0.877	0.091
2.0	0.873	0.087
2.5	0.869	0.083
3.0	0.863	0.077
3.5	0.858	0.072
4.0	0.851	0.065
4.5	0.847	0.061
5.0	0.840	0.054
5.5	0.836	0.050
6.0	0.833	0.047
6.5	0.828	0.042
7.0	0.826	0.040
7.5	0.824	0.038
8.0	0.823	0.037
8.5	0.821	0.035
9.0	0.820	0.034
9.5	0.820	0.034
10.0	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-10 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.880	0.094
3	0.878	0.092
4	0.875	0.089
5	0.870	0.084
6	0.868	0.082
7	0.865	0.079
8	0.861	0.075
9	0.857	0.071
10	0.854	0.068
11	0.851	0.065
12	0.846	0.060
13	0.843	0.057
14	0.840	0.054
15	0.838	0.052
16	0.834	0.048
17	0.831	0.045
18	0.829	0.043
19	0.828	0.042
20	0.827	0.041
21	0.825	0.039
22	0.825	0.039
23	0.823	0.037
24	0.823	0.037
25	0.822	0.036
26	0.822	0.036
27	0.821	0.035
28	0.820	0.034
29	0.820	0.034
30	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-11 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.869	0.083
5	0.866	0.080
6	0.860	0.074
7	0.856	0.070
8	0.849	0.063
9	0.844	0.058
10	0.837	0.051
11	0.833	0.047
12	0.829	0.043
13	0.827	0.041
14	0.823	0.037
15	0.822	0.036
16	0.820	0.034
17	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-12 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.886	0.100
1.0	0.883	0.097
1.5	0.879	0.093
2.0	0.874	0.088
2.5	0.866	0.080
3.0	0.864	0.078
3.5	0.859	0.073
4.0	0.853	0.067
4.5	0.849	0.063
5.0	0.842	0.056
5.5	0.837	0.051
6.0	0.831	0.045
6.5	0.829	0.043
7.0	0.827	0.041
7.5	0.822	0.036
8.0	0.821	0.035
8.5	0.821	0.035
9.0	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-13 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.885	0.099
20	0.883	0.097
30	0.882	0.096
40	0.881	0.095
50	0.879	0.093
60	0.877	0.091
70	0.876	0.090
80	0.875	0.089
90	0.874	0.088
100	0.873	0.087
110	0.871	0.085
120	0.870	0.084
130	0.869	0.083
140	0.868	0.082
150	0.867	0.081
160	0.866	0.080
170	0.864	0.078
180	0.863	0.077
190	0.862	0.076
200	0.861	0.075
210	0.860	0.074
220	0.858	0.072
230	0.857	0.071
240	0.856	0.070
250	0.855	0.069

ตารางภาคผนวก ข-14 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.884	0.098
20	0.882	0.096
30	0.880	0.094
40	0.878	0.092
50	0.876	0.090
60	0.874	0.088
70	0.872	0.086
80	0.870	0.084
90	0.868	0.082
100	0.866	0.080
110	0.864	0.078
120	0.862	0.076
130	0.860	0.074
140	0.858	0.072
150	0.856	0.070
160	0.854	0.068
170	0.852	0.066
180	0.850	0.064
190	0.848	0.062
200	0.846	0.060
210	0.844	0.058
220	0.842	0.056
230	0.840	0.054
240	0.838	0.052
250	0.836	0.050

ตารางภาคผนวก ข-15 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อน ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.883	0.097
20	0.881	0.095
30	0.880	0.094
40	0.879	0.093
50	0.877	0.091
60	0.874	0.088
70	0.872	0.086
80	0.870	0.084
90	0.869	0.083
100	0.866	0.080
110	0.864	0.078
120	0.862	0.076
130	0.860	0.074
140	0.858	0.072
150	0.856	0.070
160	0.854	0.068
170	0.852	0.066
180	0.850	0.064
190	0.848	0.062
200	0.846	0.060
210	0.842	0.056
220	0.840	0.054
230	0.838	0.052
240	0.836	0.050
250	0.834	0.048

ตารางภาคผนวก ข-16 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.881	0.095
3	0.878	0.092
4	0.875	0.089
5	0.872	0.086
6	0.868	0.082
7	0.865	0.079
8	0.862	0.076
9	0.858	0.072
10	0.855	0.069
11	0.851	0.065
12	0.849	0.063
13	0.844	0.058
14	0.842	0.056
15	0.839	0.053
16	0.835	0.049
17	0.834	0.048
18	0.831	0.045
19	0.829	0.043
20	0.828	0.042
21	0.826	0.040
22	0.823	0.037
23	0.823	0.037
24	0.822	0.036
25	0.820	0.034
26	0.820	0.034
27	0.820	0.034
28	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-17 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.881	0.095
3	0.878	0.092
4	0.871	0.085
5	0.866	0.080
6	0.860	0.074
7	0.856	0.070
8	0.851	0.065
9	0.847	0.061
10	0.842	0.056
11	0.838	0.052
12	0.833	0.047
13	0.830	0.044
14	0.826	0.040
15	0.823	0.037
16	0.823	0.037
17	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-18 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.883	0.097
1.0	0.879	0.093
1.5	0.877	0.091
2.0	0.872	0.086
2.5	0.867	0.081
3.0	0.863	0.077
3.5	0.857	0.071
4.0	0.853	0.067
4.5	0.848	0.062
5.0	0.841	0.055
5.5	0.837	0.051
6.0	0.834	0.048
6.5	0.830	0.044
7.0	0.827	0.041
7.5	0.824	0.038
8.0	0.821	0.035
8.5	0.820	0.034
9.0	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-19 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.881	0.095
3	0.878	0.092
4	0.873	0.087
5	0.872	0.086
6	0.868	0.082
7	0.866	0.080
8	0.862	0.076
9	0.860	0.074
10	0.856	0.070
11	0.855	0.069
12	0.85	0.064
13	0.846	0.060
14	0.844	0.058
15	0.841	0.055
16	0.840	0.054
17	0.837	0.051
18	0.834	0.048
19	0.833	0.047
20	0.830	0.044
21	0.828	0.042
22	0.827	0.041
23	0.826	0.040
24	0.824	0.038
25	0.824	0.038
26	0.824	0.038
27	0.822	0.036
28	0.821	0.035
29	0.820	0.034
30	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-20 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาท)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.881	0.095
3	0.877	0.091
4	0.873	0.087
5	0.866	0.080
6	0.863	0.077
7	0.855	0.069
8	0.852	0.066
9	0.846	0.060
10	0.840	0.054
11	0.837	0.051
12	0.832	0.046
13	0.830	0.044
14	0.826	0.040
15	0.823	0.037
16	0.823	0.037
17	0.821	0.035
18	0.821	0.035
19	0.821	0.035
20	0.820	0.034
21	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-21 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.884	0.098
1.0	0.880	0.094
1.5	0.877	0.091
2.0	0.872	0.086
2.5	0.867	0.081
3.0	0.863	0.077
3.5	0.857	0.071
4.0	0.850	0.064
4.5	0.847	0.061
5.0	0.842	0.056
5.5	0.838	0.052
6.0	0.834	0.048
6.5	0.830	0.044
7.0	0.825	0.039
7.5	0.824	0.038
8.0	0.823	0.037
8.5	0.821	0.035
9.0	0.820	0.034
9.5	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-22 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.873	0.087
5	0.871	0.085
6	0.867	0.081
7	0.863	0.077
8	0.861	0.075
9	0.858	0.072
10	0.855	0.069
11	0.850	0.064
12	0.847	0.061
13	0.845	0.059
14	0.840	0.054
15	0.838	0.052
16	0.835	0.049
17	0.832	0.046
18	0.829	0.043
19	0.828	0.042
20	0.826	0.040
21	0.825	0.039
22	0.823	0.037
23	0.822	0.036
24	0.822	0.036
25	0.821	0.035
26	0.820	0.034
27	0.820	0.034
28	0.820	0.034
29	0.820	0.034
30	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-23 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.882	0.096
2	0.878	0.092
3	0.873	0.087
4	0.869	0.083
5	0.862	0.076
6	0.857	0.071
7	0.851	0.065
8	0.846	0.060
9	0.841	0.055
10	0.835	0.049
11	0.831	0.045
12	0.828	0.042
13	0.825	0.039
14	0.823	0.037
15	0.821	0.035
16	0.821	0.035
17	0.820	0.034
18	0.820	0.034
19	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-24 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 2 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.882	0.096
1.0	0.880	0.094
1.5	0.876	0.090
2.0	0.870	0.084
2.5	0.866	0.080
3.0	0.860	0.074
3.5	0.854	0.068
4.0	0.848	0.062
4.5	0.841	0.055
5.0	0.838	0.052
5.5	0.833	0.047
6.0	0.830	0.044
6.5	0.826	0.040
7.0	0.824	0.038
7.5	0.823	0.037
8.0	0.821	0.035
8.5	0.820	0.034
9.0	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-25 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.883	0.097
20	0.880	0.094
30	0.879	0.093
40	0.874	0.088
50	0.871	0.085
60	0.869	0.083
70	0.867	0.081
80	0.864	0.078
90	0.862	0.076
100	0.861	0.075
110	0.859	0.073
120	0.857	0.071
130	0.855	0.069
140	0.853	0.067
150	0.850	0.064
160	0.848	0.062
170	0.846	0.060
180	0.844	0.058
190	0.842	0.056
200	0.840	0.054
210	0.839	0.053
220	0.837	0.051
230	0.835	0.049
240	0.834	0.048
250	0.833	0.047

ตารางภาคผนวก ข-26 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.879	0.093
20	0.875	0.089
30	0.871	0.085
40	0.867	0.081
50	0.863	0.077
60	0.859	0.073
70	0.855	0.069
80	0.851	0.065
90	0.847	0.061
100	0.843	0.057
110	0.839	0.053
120	0.835	0.049
130	0.831	0.045
140	0.827	0.041
150	0.823	0.037
160	0.822	0.036
170	0.821	0.035
180	0.821	0.035
190	0.820	0.034
200	0.820	0.034
210	0.820	0.034
220	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-27 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยลมร้อนที่ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
10	0.883	0.097
20	0.877	0.091
30	0.873	0.087
40	0.868	0.082
50	0.864	0.078
60	0.862	0.076
70	0.859	0.073
80	0.858	0.072
90	0.855	0.069
100	0.852	0.066
110	0.851	0.065
120	0.850	0.064
130	0.849	0.063
140	0.848	0.062
150	0.847	0.061
160	0.846	0.060
170	0.845	0.059
180	0.844	0.058
190	0.843	0.057
200	0.842	0.056
210	0.841	0.055
220	0.840	0.054
230	0.839	0.053
240	0.838	0.052
250	0.837	0.051

ตารางภาคผนวก ข-28 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักกล้วย
0	0.886	0.100
1	0.882	0.096
2	0.878	0.092
3	0.874	0.088
4	0.871	0.085
5	0.869	0.083
6	0.865	0.079
7	0.861	0.075
8	0.858	0.072
9	0.856	0.070
10	0.851	0.065
11	0.848	0.062
12	0.845	0.059
13	0.842	0.056
14	0.838	0.052
15	0.836	0.050
16	0.835	0.049
17	0.831	0.045
18	0.830	0.044
19	0.827	0.041
20	0.826	0.040
21	0.824	0.038
22	0.823	0.037
23	0.822	0.036
24	0.820	0.034
25	0.820	0.034
26	0.820	0.034
27	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-29 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.870	0.084
5	0.865	0.079
6	0.859	0.073
7	0.855	0.069
8	0.850	0.064
9	0.844	0.058
10	0.840	0.054
11	0.836	0.050
12	0.833	0.047
13	0.829	0.043
14	0.827	0.041
15	0.825	0.039
16	0.824	0.038
17	0.822	0.036
18	0.821	0.035
19	0.821	0.035
20	0.820	0.034
21	0.820	0.034
22	0.820	0.034
23	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-30 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทึ)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.885	0.099
1.0	0.881	0.095
1.5	0.877	0.091
2.0	0.871	0.085
2.5	0.866	0.080
3.0	0.861	0.075
3.5	0.855	0.069
4.0	0.851	0.065
4.5	0.845	0.059
5.0	0.840	0.054
5.5	0.836	0.050
6.0	0.833	0.047
6.5	0.830	0.044
7.0	0.827	0.041
7.5	0.826	0.040
8.0	0.824	0.038
8.5	0.823	0.037
9.0	0.822	0.036
9.5	0.822	0.036
10.0	0.821	0.035
10.5	0.820	0.034
11.0	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-31 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.874	0.088
2	0.871	0.085
3	0.867	0.081
4	0.864	0.078
5	0.858	0.072
6	0.857	0.071
7	0.855	0.069
8	0.852	0.066
9	0.848	0.062
10	0.843	0.057
11	0.841	0.055
12	0.839	0.053
13	0.836	0.050
14	0.832	0.046
15	0.830	0.044
16	0.828	0.042
17	0.827	0.041
18	0.827	0.041
19	0.824	0.038
20	0.823	0.037
21	0.822	0.036
22	0.822	0.036
23	0.821	0.035
24	0.821	0.035
25	0.820	0.034
26	0.820	0.034
27	0.820	0.034
28	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-32 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.883	0.097
2	0.879	0.093
3	0.874	0.088
4	0.869	0.083
5	0.864	0.078
6	0.858	0.072
7	0.854	0.068
8	0.847	0.061
9	0.842	0.056
10	0.838	0.052
11	0.834	0.048
12	0.832	0.046
13	0.828	0.042
14	0.826	0.040
15	0.824	0.038
16	0.823	0.037
17	0.822	0.036
18	0.822	0.036
19	0.821	0.035
20	0.821	0.035
21	0.820	0.034
22	0.820	0.034
23	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-33 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที)	น้ำหนัก(กรัม)	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.883	0.097
1.0	0.881	0.095
1.5	0.876	0.090
2.0	0.871	0.085
2.5	0.865	0.079
3.0	0.861	0.075
3.5	0.854	0.068
4.0	0.849	0.063
4.5	0.844	0.058
5.0	0.84	0.054
5.5	0.835	0.049
6.0	0.832	0.046
6.5	0.83	0.044
7.0	0.826	0.040
7.5	0.825	0.039
8.0	0.824	0.038
8.5	0.823	0.037
9.0	0.823	0.037
9.5	0.822	0.036
10.0	0.822	0.036
10.5	0.821	0.035
11.0	0.820	0.034
11.5	0.820	0.034
12.0	0.820	0.034
12.5	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-34 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานละลายน้ำแข็ง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.882	0.096
2	0.880	0.094
3	0.877	0.091
4	0.872	0.086
5	0.870	0.084
6	0.866	0.080
7	0.863	0.077
8	0.859	0.073
9	0.857	0.071
10	0.852	0.066
11	0.849	0.063
12	0.847	0.061
13	0.844	0.058
14	0.841	0.055
15	0.837	0.051
16	0.835	0.049
17	0.834	0.048
18	0.832	0.046
19	0.830	0.044
20	0.828	0.042
21	0.827	0.041
22	0.826	0.040
23	0.825	0.039
24	0.824	0.038
25	0.823	0.037
26	0.822	0.036
27	0.822	0.036
28	0.821	0.035
29	0.820	0.034
30	0.820	0.034
31	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-35 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานปานกลาง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาทื)	น้ำหนัก	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
1	0.884	0.098
2	0.879	0.093
3	0.875	0.089
4	0.871	0.085
5	0.866	0.080
6	0.861	0.075
7	0.857	0.071
8	0.851	0.065
9	0.846	0.060
10	0.841	0.055
11	0.836	0.050
12	0.834	0.048
13	0.830	0.044
14	0.828	0.042
15	0.827	0.041
16	0.826	0.040
17	0.824	0.038
18	0.824	0.038
19	0.823	0.037
20	0.822	0.036
21	0.821	0.035
22	0.821	0.035
23	0.821	0.035
24	0.820	0.034
25	0.820	0.034
26	0.820	0.034
27	0.819	0.033

ตารางภาคผนวก ข-36 แสดงน้ำหนักของกล้วยจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับ
ลมร้อนที่ระดับพลังงานสูง ความเร็วลม 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เวลา(นาที่)	น้ำหนัก	น้ำหนักคงเหลือ(กรัม)
0	0.886	0.100
0.5	0.883	0.097
1.0	0.881	0.095
1.5	0.877	0.091
2.0	0.872	0.086
2.5	0.868	0.082
3.0	0.862	0.076
3.5	0.856	0.070
4.0	0.853	0.067
4.5	0.847	0.061
5.0	0.843	0.057
5.5	0.840	0.054
6.0	0.835	0.049
6.5	0.830	0.044
7.0	0.829	0.043
7.5	0.827	0.041
8.0	0.824	0.038
8.5	0.824	0.038
9.0	0.823	0.037
9.5	0.823	0.037
10.0	0.822	0.036
10.5	0.821	0.035
11.0	0.820	0.034
11.5	0.820	0.034
12.0	0.820	0.034
12.5	0.819	0.033



Panasonic ไมโครเวฟ MANUAL รุ่น NN-SM332M

- ปรับระดับความร้อนได้ 5 ระดับ
- ระบบละลายอาหารแช่แข็งแบบเทอร์โบละลายน้ำแข็งได้เร็วขึ้น
- ตั้งเวลาในการปรุงได้ 30 นาที
- ขนาดจานหมุน 288 mm
- กำลังไฟฟ้า (วัตต์):ไมโครเวฟ 800 วัตต์
- ขนาดภายในเตาอบ (สูง*กว้าง*ลึก) (มม.):349 x 315 x 227
- ขนาดเครื่อง (สูง*กว้าง*ลึก) (มม.):405 x 485 x 292
- น้ำหนักสุทธิ (กก.):12
- น้ำหนักสุทธิรวมกล่อง (กก.):14.5
- ความจุ (ลิตร):25



เครื่องชั่งตั้งโต๊ะ (TSCALE รุ่น T-SERIES)

- พิกัดกำลัง 15 kg ละเอียด 1 g (0.001 kg)
- เหมาะสำหรับชั่งงานไปรษณีย์ สินค้าทั่วไป ในโรงงานอุตสาหกรรม

รายละเอียดทั้งหมด :

เครื่องชั่งตั้งโต๊ะ

- พิกัดกำลัง 15 kg x 1 g
- เหมาะสำหรับชั่งงานไปรษณีย์ หรือสินค้าทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมหรือการผลิตอื่นๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการใช้งานหน้าร้าน ชั่งให้ลูกค้าดู
- จานสแตนเลส ขนาด 190 x 230 mm
- 24 mm Red LED display
- หักน้ำหนักภาชนะ, ชั่งน้ำหนัก และ นับจำนวนอย่างง่าย
- พลังงาน : ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V., 50/60 Hz, Rechargeable battery
- ผลิตภัณฑ์ของประเทศไทย
- รับประกันคุณภาพ 1 ปีเต็ม

Blower Sirocco รุ่น SC-124

มอเตอร์ 100W 2P 1Phase

ปริมาณลม: 6CMM

Static Pressure: 25 mm wg.

คุณสมบัติ

- Blower Sirocco เหมาะสำหรับงานระบายอากาศทุกชนิด ด้วยคุณภาพที่ดี และเสียงเงียบ
ง่ายสำหรับการปรับทิศทางของปล่องทางออก, สามารถใช้กับโรงงานอุตสาหกรรมทุกชนิด
งานระบายอากาศสำหรับเตาอาหารต่าง ๆ, งานเป่าแห้ง, งานระบายอากาศในห้องครัว,
งานระบายอากาศสำหรับห้องแล็บหรือห้องที่มีสารเคมีต่าง ๆ
- Blower สามารถปรับทิศทางของปล่องทางออกให้เป็นได้ทั้งแบบหมุนตามเข็มนาฬิกา
และหมุนทวนเข็มนาฬิกา
- ปล่องทางออกของ Blower สามารถออกแบบให้เป็นได้ทั้งลักษณะวงกลมและสี่เหลี่ยม
เพื่อให้เหมาะกับการใช้งานของลูกค้า
- Blower สามารถใช้ได้ในพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง
- สำหรับ Blower ขนาดใหญ่ จะผลิตด้วยระบบทอดสายพาน
- ตัวโครงของ Blower ผลิตด้วย Carbon Steel
- ใบพัดผลิตด้วย galvanized steel with forward curved blades
- Blower ทุกตัว ผลิตด้วยเครื่อง CNC ที่ได้มาตรฐาน

MTB Series Standard PID Temperature Controller

Features

Power supply:90~260VAC

Input:Universal input(TC,RTD,Analog)

Display:Dual line four digits LED display

Output:Relay/SSR/4-20mA/Thyristor zero trigger optional(Specify when order)

Auto-Tuning:Auto tuning function available to secure precision control

Accuracy:0.5%F.S+/-1 digit

Available

size: 48mm*48mm,48mm*96mm(Horizontal),72mm*72mm,96mm*96mm,96mm*48mm(Vertical)

Control:P,PID,PI,PD, ON/OFF(P=0)

Decimal points:Available when input is RTD

Mounting:Panel Mount

Control: Heating or cooling
Heating and cooling