การอบแห้งกล้วยด้วยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

Banana Drying with Microwave and Hot Air combined System

จัดทำโดย

นายชนัตพล จินตปัญญา รหัส 50360722

นายชัยยุทธ ปานหอม รหัส 50360777

นายสถาวร รัตนพันธ์ รหัส 50364300

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 1551620
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 147 ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ โครงงาน : การอบแห้งกล้วยด้วยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายชนัตพล จินตปัญญา รหัส 50360722

: นายชัยยุทธ ปานหอม รหัส 50360777

: นายสถาวร รัตนพันธ์ รหัส 50364300

ที่ปรึกษาโครงงาน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล

สาขาวิชา : วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล

ภาควิชา : วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์)

ชื่อหัวข้อ โครงงาน	: การอบแห้งกล้วยด้วยใช้ระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน
ผู้ดำเนินโครงงาน	: นายชนัตพล จินตปัญญา รหัส 50360722
	: นายชัยยุทธ ปานหอม รหัส 50360777
	: นายสถาวร รัตนพันธ์ รหัส 50364300
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล
สาขาวิชา	: วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2553

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่ออบแห้งกล้วยน้ำว้าทั้งเปลือกซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นช่วง 65-85 เปอร์เซ็นต์ นำไปอบแห้งโดยใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนซึ่งมีการใช้กำลังงานไมโครเวฟ 5 ระดับ คือ 200, 300, 450, 600, 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อนอยู่ที่ 75 องศาเซลเซียส และความเร็วของลมร้อน คือ 1 เมตรต่อวินาที หลังการอบแห้งจนกล้วยน้ำว้ามีเปอร์เซ็นต์ความชื้นในช่วง 14 -15 เปอร์เซ็นต์ พบว่าการใช้กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ ได้ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าที่ดี เนื้อภายในของกล้วยน้ำว้าไม่มีรอยแตกและใช้เวลาอบแห้ง 32 นาที ในขณะที่ 200 วัตต์ ใช้เวลาเป็น 2 เท่าของกำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ และมีลักษณะเปลือกกล้วยไม่แตก ลักษณะกล้วยจะเหี่ยวส่วนกล้วยที่กำลังงานไมโครเวฟสูงกว่า 300 วัตต์ จะมีกำลังงานไมโครเวฟที่ 450, 600, 800 วัตต์ โดยที่กำลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์ใช้เวลาอบน้อยกว่ากำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์เล็กน้อย มีลักษณะ คือ เปลือกกล้วยแตกสภาพผิวกล้วยมีรอยแตกขนาด กว้าง 0.5 เซนติเมตร ยาว 2.5 เซนติเมตร ส่วนที่กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์ ใช้เวลาในการอบเป็น 2 ใน 3 ของกำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ โดยเปลือกกล้วยมีลักษณะมีรอยแตกคล้ายกับที่กำลังงานไมโครเวฟ 450วัตต์ สภาพผิวกล้วยมีรอยแตกขนาดเป็น 2 เท่า ของกำลังงานไมโครเวฟที่ 450 วัตต์ และที่กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์ใช้เวลาในการอบเป็น 1 ใน 3 ของกำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ เปลือกกล้วยมีรอยแตกและสภาพผิวกล้วยเริ่มไหม้เป็นจุดดำๆ

Project title	: Banana Drying with Microwave and Hot Air combined System		
Name	: Mr.Chantpon	Chintapanya	ID. 50360722
	: Mr.Chaiyut	Panhom	ID. 50360777
	: Mr.Sataworn	Rattanapan	ID. 50364300
Project advisor	: Asst. Prof. Dr.Patomsok Wilaipon		
Major	: Mechanical Engineering		
Department	: Mechanical Engineering		
Academic year	: 2010		

Abstract

A hybrid system of microwave and hot-air oven was designed and constructed. It was aimed to be utilized to dry unpeeled banana with initial moisture of about 65-85 percent. The effects of five levels of microwave power viz. 200, 300, 450, 600 and 800 watt on the drying time were studied. The hot air temperature and wind speed were constant at 75°C and 1 m/s, respectively. The final moisture range of the banana was set to be 14-15 percent on wet basis.

It was found that at 300-watt microwave power, the acceptable quality product could be produced with the drying time of about 32 minutes. In addition, there was no crack at the inside of the banana. With regard to 200-watt microwave power, the drying time was about 2 times as compared to the 300-watt one. Almost the same quality dry banana could be produced from these two cases. On the other hand, for the cases of 450, 600 and 800 watt of microwave power, the drying time were shorter than the previous group but the crack on outside and inside of the banana was reported. The drying time of 450, 600 and 800 watt ones were about three quarter, two-third and one-third of the 300-watt drying time. The crack on the banana produced from 450-watt was approximately 0.5-cm width and 2.5-cm long. Besides, some brown spots on the inside of the banana from burning were also found for the case of 800-watt microwave power.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีเพราะได้รับความช่วยเหลือในด้านคำแนะนำในการทำโครงงานจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมศก วิไลพล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ปองพันธ์ โอทกานนท์ ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษาในทางที่เป็นประโยชน์ในด้านเครื่องมือวัดต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยอบรมสั่งสอน ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดการศึกษา กราบขอบพระคุณคณาจารย์และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้มอบความรู้ให้ผู้จัดทำตลอดมา

ขอขอบพระคุณ

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินโครงงาน	4
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน	5
1.8 อุปกรณ์ที่ใช้	5
1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 กล้วยน้ำว้า	6
2.2 การทำแห้งอาหาร	6
2.2.1 ความหมาย	6
2.2.2 กราฟการทำแห้ง	8
2.2.3 กราฟอัตราการทำแห้ง	9
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง	11
2.4 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ	11
2.5 ความชื้น	12
2.5.1 ความชื้นสมดุล	13
2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ	13

หน้า

2.5.3 การคำนวณหาน้ำหนักอาหารหลังลดความชื้น 13

2.6 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน 13

2.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ 14

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง 19

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง 19

3.1.1 เตาอบไมโครเวฟ 19

3.1.2 ฮีตเตอร์ 20

3.1.3 Load Cell 20

3.1.4 เครื่องขยายสัญญาณและแสดงค่าน้ำหนัก 21

3.1.5 ตัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น 21

3.1.6 พัดลมหางกระรอก 22

3.2 วิธีการทดลอง 22

3.2.1 ศึกษาลักษณะของกล้วยก่อนจะแปรรูป 22

3.2.2 ขั้นตอนของการอบกล้วย 23

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 24

4.1 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน 24

4.2 การวิเคราะห์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับลมร้อน 26

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 28

5.1 สรุปผลการทดลอง 28

5.2 ข้อเสนอแนะ 28

เอกสารอ้างอิง 29

ภาคผนวก ก รูปเครื่องมือ กล้วยสด และกล้วยอบแห้ง 31

ภาคผนวก ข ตารางผลการทดลอง 38

ประวัติผู้จัดทำ 45

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

กล้วยน้ำว้า ผลไม้ไทยที่มีมาแต่รู้โบราณคนไทยรู้จักกล้วยน้ำว้าดีพอๆ กับกล้วยไข่หรือกล้วยหอม ยิ่งถ้าเป็นคุณค่าสารอาหารที่ได้รับแล้ว นับว่า กล้วยเป็นแหล่งพลังงานสำรองชั้นดี ในกล้วย 1 ผล สามารถให้พลังงานได้ร่วม 100 แคลอรี มีน้ำตาลธรรมชาติอยู่ 3 ชนิด ทั้ง ซูโครส ฟรุกโทส และกลูโคส รวมไปถึงเส้นใยและกากอาหาร ดังนั้น ถ้าหากหิว ก็สามารถทานกล้วยรองท้องได้ (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของกล้วยที่กิน เช่น กล้วยไข่ อาจทานได้มากกว่า 3 ผล ต่อ 1 ครั้ง กล้วยน้ำว้า 1-2 ผล กล้วยหอม 1-1 ครึ่ง ผล) และในกล้วยเอง ยังอุดมไปด้วย วิตามินบี 6 ที่ช่วยกระตุ้นระบบภูมิต้านทาน แถมยังมีแร่ธาตุอย่างแมกนีเซียมและโพแทสเซียม ที่ช่วยป้องกันโรคความดันอีกด้วย เมื่อปลูกกล้วยกินกันมากขึ้น ผลผลิตกล้วยที่ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการอาจจะเหลือทิ้ง ดังนั้นเพื่อไม่ให้ไร้ประโยชน์ จึงควรนำมาแปรรูป เพื่อให้เก็บได้นานขึ้น อีกทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตด้วย โดยแบ่งการแปรรูปออกเป็น 2 ประเภท คือ

1). การแปรรูปจากกล้วยดิบ สามารถนำมาทำเป็นกล้วยอบเนย กล้วยฉาบ หรือ "กล้วยกรอบแก้ว" โดยใช้กล้วยดิบ เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยหักมุก นำมาฝานบางๆ ตามยาว หรือตามขวาง อาจจะผึ่งลมสักครู่ หรือฝานลงกระทะทันทีก็ได้และทอดในกระทะที่ใส่น้ำมันท่วม เมื่อชิ้นกล้วยสุกจะลอย ก็ตักขึ้นและซับน้ำมันด้วยกระดาษฟาง จากนั้นอาจนำไปคลุกเนย เรียกว่า กล้วยอบเนย หรือฉาบให้หวานด้วยการนำไปคลุกกับน้ำตาลที่เคี่ยวจนแห้งในกระทะเรียกว่า กล้วยฉาบ หรือนำไปคลุกในน้ำเชื่อม แล้วเอาลงทอดอีกครั้งอย่างรวดเร็ว เรียกว่า กล้วยกรอบแก้วและยังนำมาทำเป็น แป้งกล้วย นำกล้วยดิบมานึ่งให้สุก ปอกเปลือก หั่น และอบให้แห้งแล้วบดให้ละเอียดเป็นแป้ง ใช้ทำขนมกล้วย บัวลอย หรือผสมกับแป้งเด็กใช้ทำคุกกี้ได้ ทำให้มีกลิ่นหอมของกล้วย

2).การแปรรูปจากกล้วยสุก สามารถนำมาทำเป็นน้ำผลไม้ นำเนื้อกล้วยที่สุกมาหมักใส่เอนไซม์เพกทิโนไลติก(pectinolytic) ความเข้มข้น 0.01 เปอร์เซ็นต์ เพื่อย่อย และบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสนาน 1 ชั่วโมง จะได้น้ำกล้วยที่ใสแล้วกล้วยก็ยังหมักเป็นเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ ประเทศในทวีปแอฟริกา นิยมนำกล้วยมาทำเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ต่ำ ในประเทศยูกันดา เรียกเครื่องดื่มชนิดนี้ว่า วาราคิ (Waragi) ประเทศฝรั่งเศสนำเนื้อกล้วยสุกบดเหลวผสมกับน้ำ และทำให้ร้อน 65 - 70 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ต่อมาใส่เอนไซม์เพกทิเนส (pectinase) ทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง นำส่วนที่เป็นกากมาบดและหมัก ที่อุณหภูมิ25องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ หรือไนโตรเจน จะทำให้ได้สุราผลไม้ที่ทำจากกล้วยสุก ส่วนที่ได้รับ

ความนิยมในประเทศไทยคือ กล้วยตาก นำกล้วยที่สุกงอมมาปอกเปลือก และนำไปตากแดด 1 - 2 แดด จากนั้นมาคลึงเพื่อให้กล้วยนุ่ม แล้วนำไปตากอีก 5 - 6 แดด หรือจนกว่ากล้วยจะแห้งตามต้องการ ระวังอย่าให้แมลงวันตอม ส่วนการตากอาจใช้แสงอาทิตย์ หรือเตาอบขนาดใหญ่ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือไฟฟ้า แล้วยังสามารถทำเป็นกล้วยกวน นำกล้วยสุกงอมมาบดแล้ว เคล้ากับน้ำตาลและกะทิ นำไปกวนในกระทะที่ไม่เป็นสนิม กวนที่ไฟอ่อน เมื่อสุกจะเหนียวแล้วนำไป ปั้นเป็นก้อนกลมหรือสี่เหลี่ยมแล้วห่อด้วยกระดาษแก้ว ถ้าทำให้แข็งหน่อยก็เป็นทอฟฟี่ได้อีกด้วย แล้วก็ยังสามารถทำเป็นข้าวเกรียบกล้วยใช้กล้วยสุกผสมกับแป้งและเกลือ อาจเติมน้ำตาลเล็กน้อยนวดทำเป็นยาวๆ นึ่งให้สุก เมื่อสุก ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น ฝานเป็นชิ้นบางๆ ตากแดดให้แห้ง แล้วนำมาทอดรับประทานเป็นอาหารว่าง ข้าวเกรียบกล้วยนี้หากใช้กล้วยที่มีกลิ่นจะทำให้หอม

นอกเหนือจากการนำมาแปรรูป ก็จะนำมาทำเป็นอาหารสัตว์ อย่างไรก็ตามกล้วยนั้นไม่สามารถที่จะคงคุณค่าทางอาหารได้เหมือนเดิมตลอดดังนั้นเราจึงต้องใช้กระบวนการถนอมอาหารมาช่วย ซึ่งหนึ่งในหลายๆวิธี ผู้ศึกษาจึงมีแนวคิดนำเทคโนโลยีไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับการอบแห้งกล้วยร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเนื่องจากไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงผ่านอาหาร ซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพและสามารถทำให้ร้อนถึงภายในเนื้อของกล้วย ซึ่งเป็นผลให้การแพร่ความชื้นภายในเนื้อกล้วยถ่ายเทมายังผิวได้มากขึ้นซึ่งเป็นผลให้อัตราการอบแห้งลดลง แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเนื้อกล้วย เพื่อที่จะช่วยลดความชื้นของกล้วยและทำให้กล้วยสามารถคงคุณค่าทางอาหารได้นานขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานและสร้างเตาอบลมร้อนและคลื่นไมโครเวฟเพื่อประยุกต์ในการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร

1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของกำลังงานไฟฟ้าและเวลาที่มีผลกระทบต่อการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 ได้เครื่องอบแห้งกล้วยด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อน

1.3.2 สามารถลดเวลาในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร คือ กล้วยน้ำว้า

1.3.3 สามารถรู้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งของกล้วยน้ำว้า

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 ลมร้อนที่ผลิตได้มาจากการทำความร้อนจากฮีตเตอร์

1.4.2 อุณหภูมิของลมร้อนไม่เกิน 75 องศาเซลเซียส

1.4.3 ขนาดเตาอบลมร้อนใช้กับวัตถุดิบไม่เกิน 1 กิโลกรัม

1.4.4 วัตถุดิบเป็นกล้วยน้ำว้าทั้งเปลือกปริมาณ 1 กิโลกรัม

1.4.5 ความเร็วลมของลมร้อน 1.0 เมตรต่อวินาที

1.4.6 ขนาดเตาอบลมร้อน 20 ลิตร ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz

1.4.7 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยน้ำว้าหลังอบประมาณ 14 – 15 เปอร์เซ็นต์

1.4.8 ฮีตเตอร์ขนาด 300 วัตต์

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูล

1.5.1.1 ข้อมูลงานวิจัยการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.1.2 ข้อมูลเครื่องอบไมโครเวฟที่ใช้ในครัวเรือน

1.5.2 ทำการออกแบบเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟและลมร้อน

1.5.2.1 เขียนแบบโครงสร้างของเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟและลมร้อน

1.5.2.2 ออกแบบและเลือกวัสดุที่ใช้ทำเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟและลมร้อน

1.5.3 ทำการสร้างเครื่องอบแห้งระบบไมโครเวฟและลมร้อน

1.5.4 ทดสอบการใช้งานและเก็บข้อมูล

1.5.5 เริ่มทดลองและทำการเก็บข้อมูล โดยเลือกกำลังไฟฟ้า 200 , 300 , 450 , 600 , 800 วัตต์

1.5.6 นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์หากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการอบแห้งกล้วย

1.5.7 สรุปผลการวิเคราะห์และประเมินผล

1.5.8 ทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และนำเสนอผลงาน

1.6 แผนการดำเนินโครงงาน

กิจกรรม	2553					2554		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและสืบค้นข้อมูล								
2. ออกแบบเครื่องอบลมร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ								
3. หาวัสดุและอุปกรณ์ในการทำโครงงาน								
4. สั่งซื้อวัสดุและอุปกรณ์								
5. สร้างตู้อบลมร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ								
6. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลในการทดลอง								
7. วิเคราะห์ และ สรุป ผลการทดลอง								
8. จัดทำรูปเล่ม								
9. สอบปลายภาค								

1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้

1.8.1 เตาอบไมโครเวฟ

1.8.2 ฮีตเตอร์

1.8.3 ตัวขยายสัญญาณและจอแสดงค่า

1.8.4 โหลดเซลล์

1.8.5 ตัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

1.8.6 พัดลมหางกระรอก

1.9 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.9.1 ฮีตเตอร์ 300 วัตต์	ราคา	700	บาท
1.9.2 ท่อสังกะสี	ราคา	1,600	บาท
1.9.3 โครงสร้างเหล็ก	ราคา	800	บาท
	รวม	3,100	บาท

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า (ชื่อวิทยาศาสตร์: Musa Sapientum Linn.) เป็นกล้วยพันธุ์หนึ่ง ที่พัฒนามาจากลูกผสมระหว่างกล้วยป่ากับกล้วยตานี บริโภคกันอย่างแพร่หลาย ปลูกง่าย รสชาติดี อร่อยด้วย กล้วยน้ำว้ามีชื่อพื้นเมืองอื่นเช่น กล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยใต้ หรือ กล้วยอ่อง

ลักษณะทั่วไปของกล้วยน้ำว้า ลำต้นสูงไม่เกิน 3.5 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อน มีประดำบ้างเล็กน้อย ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว ดอก ก้านช่อดอกไม่มีขน ปลีรูปไข่ค่อนข้างป้อง ปลายป้าน ด้านนอกสีแดงอมม่วงมีนวลหนา ด้านในมีสีแดงเข้มผล เครือหนึ่งมีประมาณ 7 - 10 หวี หวีหนึ่ง มี 10 - 16 ผล ก้านผลยาว เปลือกหนา สุกมีสีเหลือง เนื้อสีขาว รสหวาน ไส้กลางมีสีเหลือง ชมพูหรือขาว ทำให้แบ่งออกเป็นกล้วยน้ำว้าเหลือง กล้วยน้ำว้าแดง และกล้วยน้ำว้าขาว

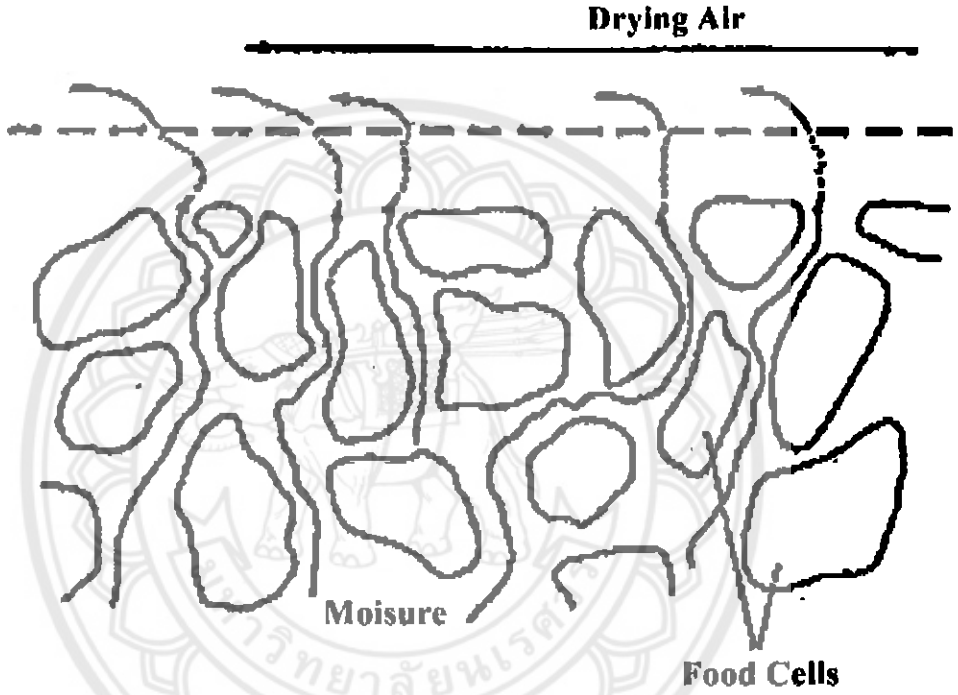
คุณค่าทางอาหารและยา กล้วยน้ำว้าเมื่อเทียบกับกล้วยหอมและกล้วยไข่แล้ว กล้วยน้ำว้าจะให้พลังงานมากที่สุด โดยในกล้วยน้ำว้าห่ามและสุกมีธาตุเหล็กในปริมาณสูง ช่วยสร้างเม็ดเลือดแดง ป้องกันโรคโลหิตจาง มีแคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินซีช่วยบำรุงกระดูก ฟัน และเหงือกให้แข็งแรง ช่วยบำรุงให้ผิวพรรณดี มีเบตาแคโรทีน ไนอาซีนและใยอาหาร ช่วยให้ระบบขับถ่ายคล่องขึ้น กินกล้วยน้ำว้าสุก จะช่วยระบายท้องและสามารถรักษาโรคเลือดออกตามไรฟันในเด็กเล็กได้ ช่วยลดอาการเจ็บคอ เจ็บหน้าอกที่มีอาการไอแห้งร่วมด้วย โดยกินวันละ 4 - 6 ลูก แบ่งกินกี่ครั้ง ก็ได้ กินกล้วยก่อนแปรงฟันทุกวันจะทำให้ไม่มีกลิ่นปาก และผิวพรรณดี เห็นผลได้ใน 1 สัปดาห์ กล้วยน้ำว้าดิบและห่ามมีสารแทนนินเพคตินมีฤทธิ์ฝาดสมาน รักษา อาการท้องเสียที่ไม่รุนแรงได้ โดยกินครั้งละครึ่งผล หรือ 1 ผล อาการท้องเสียจะทุเลาลง นอกจากนี้จากการศึกษาวิจัยยังพบว่า มีผลในการรักษาโรคกระเพาะได้อีกด้วย(สถานีย่อย:พรรณพฤกษา,2548)

2.2 การทำแห้งอาหาร

2.2.1 ความหมาย

การทำแห้ง คือ การกำจัดน้ำออกจากอาหารเพื่อระงับหรือชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ชะลอการเกิดปฏิกิริยาต่างๆที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของอาหารเพื่อเก็บรักษาถนอมผลิตภัณฑ์

ยืดอายุการเก็บรักษาโดยการลดความชื้นของอาหารลงจนถึงระดับที่สามารถป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือปฏิกิริยาอื่นๆได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเก็บรักษากลิ่นรสและคุณค่าทางอาหาร(รุ่งนภา, 2535) กลไกการทำแห้งของอาหารคือ เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศจะถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ดังรูป 2.1



รูป 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นออกจากชิ้นอาหารระหว่างการทำแห้ง

ที่มา : (วิไล,2543)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอน้ำที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูง และค่อยๆลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันไอน้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1) การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปปิลารี่

2) การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ

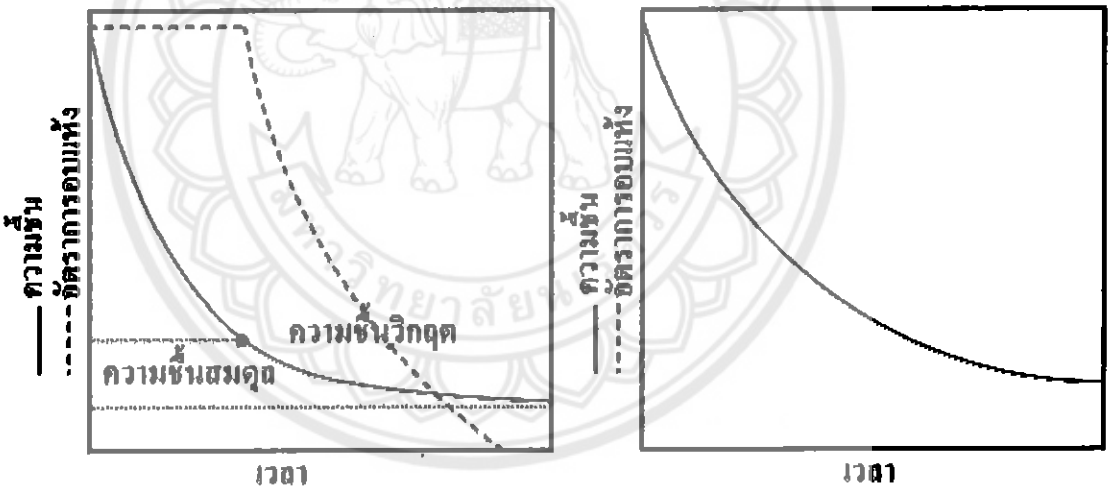
3) การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

4) การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

การทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหารเพื่อทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วระเหยออกจากอาหาร การใช้เครื่องอบแห้งจะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารของอาหารได้อย่างรวดเร็ว โดยการให้กระแส ลมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหาร การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อน ถ้าใช้กำลังงานจากแสงแดดจะเรียกว่า การตากแห้ง แต่ถ้าใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซหรือไอน้ำจะเรียกว่า การอบแห้ง การทำแห้งมีประโยชน์หลายด้าน เช่น ป้องกันการเน่าเสียเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมีและเอนไซม์ เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องแช่ตู้เย็น ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลน นอกฤดูกาลหรือแหล่งห่างไกล ลดขนาดและน้ำหนักอาหาร ทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่งได้ ผลิตภัณฑ์ใหม่ และความสะดวกในการใช้ (สุคนธ์ชื่น, 2539)

2.2.2 กราฟการทำแห้ง

เมื่อนำปริมาณความชื้นของกล้วยกับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาเขียนกราฟโดยให้แกนนอนเป็นเวลาในการอบแห้งปริมาณความชื้นเป็นแกนตั้งจะได้กราฟเรียกว่า กราฟการทำแห้ง



รูป 2.2 การอบแห้งที่มีช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง และการอบแห้งที่มีช่วงอัตราลดลงอย่างเดียว
ที่มา: (วิไล,2543)

เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้นๆ ตอนเริ่มการอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก แล้วจึงเริ่มการทำให้แห้งโดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยความเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็นช่วงอัตราเร็วของการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) เมื่อทำการอบแห้งต่อไปน้ำอิสระในอาหารจะเหลือน้อยลงทำให้เคลื่อนที่ออกมาที่ผิวหน้าของอาหารได้น้อยลง ทำให้อัตราการ

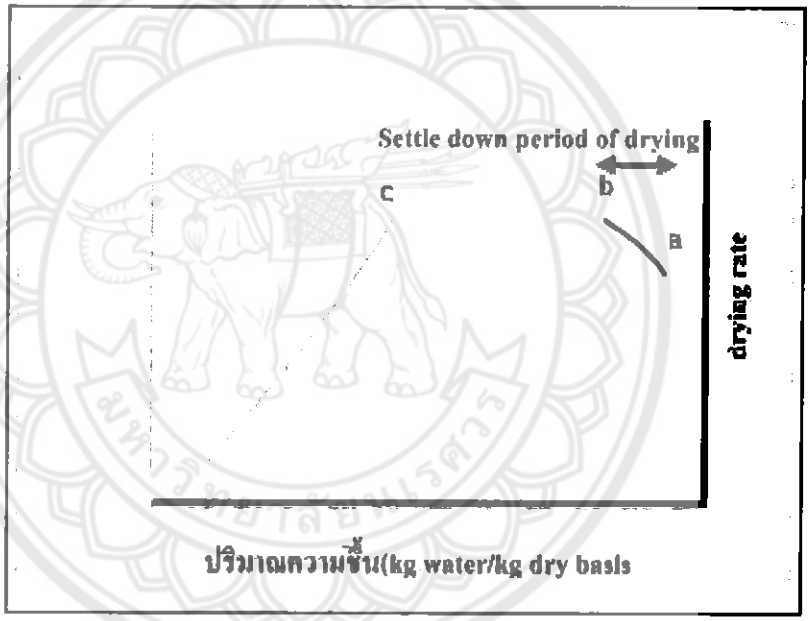
ระเหยของน้ำต่ำลง และอัตราการระเหยก็จะลดลงจนใกล้ศูนย์ซึ่งเป็นช่วงอัตราลดลง (falling-rate period) ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำแห้ง(วิไล, 2543)

2.2.3 กราฟอัตราการทำแห้ง

เราจะสามารถจำแนกได้เป็น 3 ช่วง

คาบการทำแห้งตอนต้น (Settle down period of drying)

จาก a ไป b ในช่วงนี้ความชื้นที่ผิวหน้าจะค่อยๆถูกอากาศแห้งดึงออกไปอย่างช้าๆเนื่องจากผลของแรงตึงผิว และลักษณะเนื้อสัมผัสของชิ้นอาหาร เมื่อเป่าอากาศแห้งเข้าไปสักพัก อัตราการทำแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ

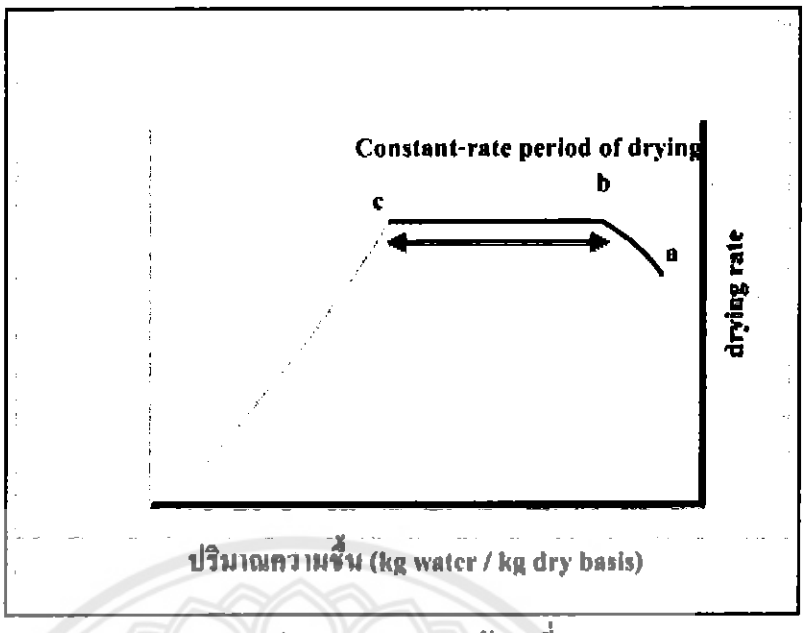


รูป 2.3 คาบการทำแห้งตอนต้น

ที่มา: (มณฑล สุกใส,2548)

คาบการทำแห้งคงที่ (Constant-rate period of drying)

จาก b ไป c ระยะนี้ น้ำที่ผิวหน้าส่วนที่เป็นน้ำอิสระ จะถูกดึงออกไปก่อน ซึ่งน้ำอิสระนี้จะถูกอากาศแห้ง ดึงออกไปเรื่อยๆ จนกระทั่ง น้ำอิสระหมดไปก็จะเข้าสู่คาบถัดไป เป็นที่น่าสังเกตว่า ในท้ายที่สุดของคาบการทำแห้งคงที่ เมื่อเข้าสู่จุดค่าความชื้นวิกฤตของการทำแห้ง อากาศที่ใช้ทำแห้งจะมีอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวหน้าของชิ้นอาหาร ซึ่งในส่วนนี้จะเริ่มส่งผลทำให้อัตราการทำแห้งลดลงในท้ายที่สุด

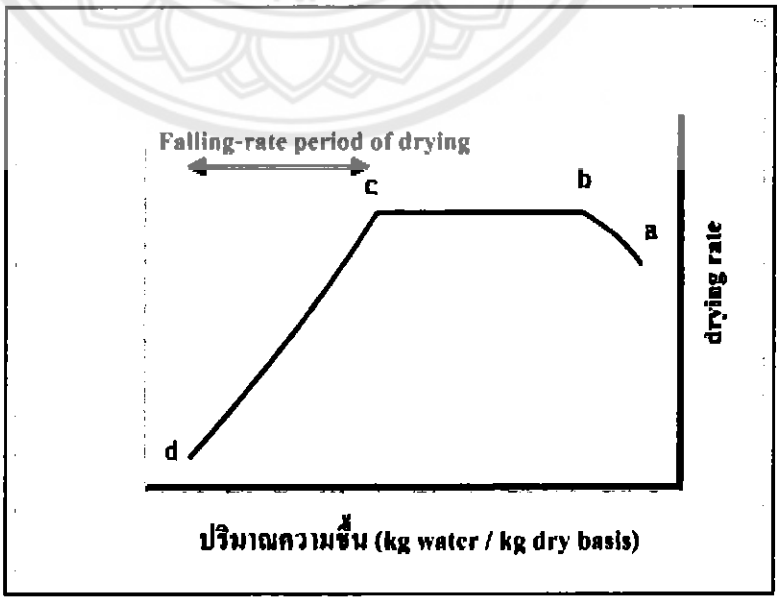


รูป 2.4 คาบการทำแห้งคงที่

ที่มา: (มณฑล สุกใส,2548)

คาบการทำแห้งลดลง (Falling-rate period of drying)

เมื่อการทำแห้งเลยจุด c ไปแล้ว อัตราการทำแห้งจะเริ่มลดลง อุณหภูมิของชิ้นอาหารก็จะไม่เกินอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ในอาหารที่เป็น non-hygroscopic อาจจะมีช่วงคาบการทำแห้งคงที่อีกรอบก็ได้ เนื่องจากระดับความเข้มข้นของสารบางชนิดในตัวชิ้นอาหาร เช่น ความเข้มข้นของน้ำตาลเกลือ เป็นต้น และคาบการทำแห้งลดลงจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนถึงจุดยุติ ที่การทำแห้งไม่เกิดขึ้นอีกต่อไปอันเนื่องมาจากอากาศที่ใช้ทำแห้งอิ่มตัวไปด้วยน้ำ(มณฑลสุกใส,2548)



รูป 2.5 คาบการทำแห้งลดลง

ที่มา: (มณฑล สุกใส,2548)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้งอาหาร มีดังนี้

1) ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีลักษณะเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนที่ของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบเร็วกว่าการแพร่ในอาหารที่มีลักษณะเนื้อแน่น จึงแห้งเร็วกว่า อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้การทำแห้งช้า และอาหารที่มีการลวก นวด คลึง จะทำให้เซลล์แตกและแห้งได้เร็วขึ้น

2) ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น อาหารที่มีรูปร่างเหมือนกันถ้ามีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ด้วย ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆ ที่พื้นที่ผิวต่อหน่วยน้ำหนักมีมากกว่า

3) ตำแหน่งของอาหารในเครื่องอบแห้ง อาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างจะไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อนหรืออาจได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่น้อย

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศร้อนเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้กระจายของน้ำในอาหารดีขึ้นด้วย

7) ความเร็วของอากาศร้อนอากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกดังนั้น เมื่อความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้นการเคลื่อนย้ายไอน้ำก็จะเกิดขึ้นเนื่องจากเกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเครื่องอบแห้งอากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดี การเคลื่อนย้ายไอน้ำเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตร/นาที (http://www.gpo.or.th/rdi/html/preserve_food.html,2554)

2.4 ผลของการอบแห้งที่มีต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ

การอบแห้งมีผลต่ออาหารอบแห้งในด้านต่างๆ ดังนี้

1) คุณค่าอาหาร การอบแห้งจะระเหยความชื้นหรือน้ำออกจากอาหาร และเพิ่มความเข้มข้นขององค์ประกอบของอาหาร เช่น แป้ง ไขมันโปรตีน การถนอมอาหารโดยวิธีอบแห้งจะทำให้คุณภาพลดลงโดยเฉพาะวิตามินที่ละลายน้ำจะสูญเสียไปกับน้ำจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และถ้ามีการการอบแห้งโดยวิธีการตากแดดจะต่างจากการใช้เครื่องอบแห้งคือ ไม่สามารถควบคุมความชื้นอากาศแสงแดด อุณหภูมิได้

2) โปรตีน จะเสียคุณค่าไปมากหรือน้อยเพียงขึ้นกับวิธีการอบแห้งอาหาร ถ้าใช้เวลานานเกินไป โปรตีนจะเปลี่ยนสภาพและคุณค่าทางโภชนาการจะลดลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำทำให้อาหารแห้งโปรตีนจะใช้ทำประโยชน์มากกว่าแต่จะขึ้นอยู่กับชนิดของโปรตีนด้วย

3) คาร์โบไฮเดรต การเปลี่ยนสีของผลไม้ตากแห้งเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ (Nonenzymaticbrowning reaction) เกิดโดยกรดอะมิโนในผลไม้รวมกับน้ำตาลรีดิวซ์ (reducing sugar)ทำให้เกิดสีน้ำตาลสามารถป้องกันโดยการใช้สารเคมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) หรือโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์

4) ไขมัน อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะทำให้อาหารที่อบแห้งเหม็นหืน ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิต่ำหรือใช้สารกันหืน(antioxidants) ป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น BHT (Butylated hydroxyl toluene)

5) เอนไซม์จะหยุดกิจกรรมเมื่อใช้ความร้อนถึง 100 องศาเซลเซียส เวลา 1 นาที แต่ถ้าใช้ความร้อนในการอบแห้งปฏิกิริยาของเอนไซม์จะทนทานดังนั้นการอบแห้งจึงต้องลวกน้ำร้อนหรือใช้สารเคมีเพื่อหยุดยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ก่อนที่จะนำไปอบ

6) จุลินทรีย์ เป็นสาเหตุของการทำให้อาหารเสียหายหรือเน่า การลดความชื้นในอาหารให้เหลือน้อยที่สุดก็จะทำให้อาหารไม่เสียหายและเก็บไว้ได้นาน ถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ เชื้อราจะเจริญได้ ส่วนแบคทีเรียและยีสต์จะเจริญเติบโตได้ดีถ้าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสูงกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ การอบแห้งนิยมใส่เกลือแกงลงในอาหารที่จะอบแห้งเพื่อควบคุมจุลินทรีย์เมื่ออบแห้งแล้วต้องเก็บใส่หีบห่อให้ดีไม่เก็บในที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูงเพราะเชื้อจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตเร็ว

7) เม็ดสีในอาหาร อาหารอบแห้งจะมีคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีเปลี่ยนไปสีของอาหารจะเปลี่ยนไปเม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) จะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารเคมีบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถันจะฟอกสีอาหารให้จางลง ดังนั้นพวกผักและผลไม่จึงมีการfixed สีก่อนอบแห้งโดยการลวกน้ำร้อนหรือแช่สารเคมี เช่น สารละลายด่างอ่อนจะทำให้สีผักผลไม้ไม่ซีดจางลงหรือเป็นสีน้ำตาล แต่อาจจะทำให้อาหารแข็งกระด้างขึ้น (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายเทคโนโลยีอาหาร)

2.5 ความชื้น

ความชื้นคือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร การบอกค่าความชื้นจะบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนน้ำหนักน้ำที่มีในอาหาร กับน้ำหนักอาหาร วิธีหาความชื้นตามมาตรฐานของ AOAC (สมาคมทางวิชาการที่ก่อตั้งขึ้นเพื่อเป็นแกนกลางในการสนับสนุน ประสานงาน และพัฒนา เพื่อยกระดับคุณภาพและ

มาตรฐานด้านวิทยาการในการวิเคราะห์,2548) ทำได้โดยชั่งน้ำหนักอาหาร แล้วนำไปอบ 100 องศาเซลเซียส ไล่น้ำออกจากอาหารจนน้ำหนักคงที่ คำนวณเปอร์เซ็นต์ความชื้นตาม

2.5.1 ความชื้นสมดุล

อาหารที่มีคุณสมบัติในการดูดและคายความชื้นให้กับบรรยากาศเมื่อนำอาหารวางสัมผัสกับอากาศ ถ้าความชื้นในอาหารมีแรงดันไอน้ำสูงกว่าอากาศ อาหารจะถ่ายเทความชื้นภายในตัวมันให้กับอากาศ ในทางตรงข้าม ถ้าอากาศมีแรงดันไอน้ำจะสูงกว่าอาหาร ความชื้นจากอากาศก็จะถ่ายเทให้กับอาหาร การถ่ายเทความชื้นจะดำเนินไปเรื่อยๆจนกระทั่งความดันไอน้ำทั้งสองมีค่าเท่ากัน ความชื้นที่อาหารมีอยู่ขณะนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล ส่วนอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (http://www.dld.go.th/ncna_nak/index/moisture.html,2554)

2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศมีความชื้นอยู่เช่นเดียวกัน เราบอกความชื้นของอากาศเป็นความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำในบรรยากาศกับความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถรับความชื้นจากอาหารได้มาก จึงนิยมใช้หลักการนี้ในการอบแห้งอาหาร โดยการอุ่นอากาศให้ร้อน หรือติดตั้งระบบดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำหรืออากาศแห้ง(สำนักชลประทานที่ 14,2536)

2.5.3 การคำนวณหาน้ำหนักอาหารหลังลดความชื้น

<u>ตัวอย่าง</u> พริกแดงเมล็ดเล็กความชื้น 69 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 กิโลกรัม นำมาอบแห้งให้เหลือความชื้น 12 เปอร์เซ็นต์ จะมีน้ำหนักเท่าไร

น้ำหนักหลังอบ = น้ำหนักก่อนอบ * (100 – ความชื้นก่อนอบ / 100 – ความชื้นหลังอบ)

น้ำหนักหลังอบ = 1 * (100 - 69 / 100 – 12)

น้ำหนักหลังอบ = 0.35 กิโลกรัม

2.6 เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน

เครื่องอบแห้งถูกพัฒนาขึ้นมาใช้เนื่องจากการตากแห้งมีข้อด้อยหลายด้าน เช่น กำลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิที่ไม่สูงนักและกระแสลมธรรมชาติไม่แรงพอ ทำให้ใช้เวลานาน ใช้พื้นที่มากและมักทำในที่เปิดโล่ง ซึ่งทำให้มีโอกาสปนเปื้อน (Potter and Hotchkiss,1995) เครื่องอบแห้งแบบลมร้อนเป็นวิธีการอบแห้งแบบดั้งเดิมสำหรับการเก็บรักษาอาหารและมีความสำคัญมากในกระบวนการผลิตอาหาร การอบแห้งแบบลมร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในเวลาเดียวกันรวมทั้งเป็นการดำเนินการทำให้ ค่ากัมมันตภาพน้ำต่ำลงโดยการกำจัดน้ำโดยการระเหยไปยังไอน้ำที่ไม่อิ่มตัว (Khraisheh et al., 1997) วัตถุประสงค์หลักของการอบแห้งของผลิตภัณฑ์อาหาร คือการ

กำจัดน้ำออกจากของแข็งเพื่อให้ถึงระดับที่ไม่ให้เกิดสปอร์ของจุลินทรีย์ ดังนั้นเหตุผลหลักที่เป็นที่นิยมของการอบแห้งอาหารการเก็บรักษาอาหารที่ยาวนานขึ้นรวมถึงปริมาตรที่ลดลงของผลิตภัณฑ์การอบแห้งแบบลมร้อนผลิตภัณฑ์จะแห้งที่อุณหภูมิสูงและเวลาในการอบแห้งนานข้อเสียของการอบแห้งแบบลมร้อน คือ ความเสียหายของผลิตภัณฑ์ที่ (Prabhanjan et al., 1995) ได้จากการอบแห้งที่เกิดจากการอบแห้งแบบลมร้อน คืออุณหภูมิและเวลาในการอบแห้ง การอบแห้งแบบลมร้อนใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ยาวนานเป็นสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงซึ่งได้แก่ สี กลิ่น คุณค่าทางอาหาร ความหนาแน่น และการคืนรูป การแข็งตัวของเปลือกก็เป็นปัญหาพื้นฐานของการอบแห้งผักและผลไม้ ซึ่งเกิดจากการอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยเกิดขึ้นเพราะในกระบวนการอบแห้งอัตราการระเหยของน้ำมีค่าสูงกว่าการเคลื่อนที่ของน้ำบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ทำให้ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง ข้อเสียอื่นๆของการอบแห้งแบบลมร้อนคือ ประสิทธิภาพในการใช้กำลังงานต่ำทำให้สิ้นเปลืองกำลังงาน ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าหาวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆเพื่อให้ได้กระบวนการผลิตและผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อนซึ่งการอบแห้งแบบลมร้อนสามารถแก้ไขปัญหาของการอบแห้งแบบลมร้อนได้ (Yongsawatdigul and Gunasekaran, 1996)

2.7 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ

การให้ความร้อนโดยใช้เครื่องไมโครเวฟเกิดจากการเปลี่ยนรูปของกำลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นกำลังงานความร้อนโดยอาศัยโมเลกุลที่มีขั้วของวัตถุดิบนั้น มีลักษณะพิเศษที่สำคัญ คือเป็นการให้ความร้อนแบบ (Mullin, 1995) คือ การที่วัตถุดิบสามารถดูดซับกำลังงานไมโครเวฟได้โดยตรงและเข้าสู่ภายในวัตถุดิบและเปลี่ยนเป็นความร้อนได้ ซึ่งแตกต่างจากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อาศัยการพาความร้อนต่อด้วยการนำความร้อนโดยความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าของวัตถุดิบเข้าไปในวัตถุ ในการให้ความร้อนแบบไมโครเวฟ ความร้อนจะเกิดขึ้นในวัตถุดิบตลอดเวลาทำให้มีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนที่ความร้อนจะแพร่จากผิวหน้าเข้าสู่วัตถุดิบ (Gowen *et al.*, 2006) การอบแห้งด้วยไมโครเวฟเกิดจากความดันที่แตกต่างกันระหว่างภายในกับบริเวณผิวหน้าของวัตถุดิบทำให้เป็นแรงผลักดันทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำออกจากวัตถุดิบข้อดีของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้กำลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟช่วยในการกำจัดความชื้นของผลิตภัณฑ์โดยไม่เกิดปัญหาผิวหน้าของผลิตภัณฑ์แห้ง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนลดเวลาในการอบแห้งของวัตถุดิบที่เป็นพืชลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนโดยคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไว้ได้ดี การอบแห้งด้วยไมโครเวฟใช้พื้นที่ในกระบวนการผลิตน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนเนื่องจากการเพิ่มอัตราการผลิตสามารถทำได้โดยการ

ออกแบบเครื่องมือให้ใช้วัตถุดิบที่มากและหนาแน่นขึ้นในพื้นที่น้อยได้โดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ในการอบให้มากขึ้นได้ ในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟต้นทุนการผลิตจะต่ำเพราะในการอบแห้งจะไม่มีการสูญเสียกำลังงานความร้อนให้แก่ผนังของเครื่องไมโครเวฟและสิ่งแวดล้อม ความร้อนที่เกิดจากไมโครเวฟเกิดขึ้นในผลิตภัณฑ์ไม่ได้เกิดขึ้นจากผนังหรือเกิดจากอากาศรอบผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีการสูญเสียกำลังงานต่ำมากส่งผลให้กระบวนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอุณหภูมิรอบๆผลิตภัณฑ์ไม่สูง อีกทั้งยังสามารถควบคุมการเปิดและปิดได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำในการให้ความร้อน ข้อดีอื่นๆของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟคือการยับยั้งอุณหภูมิบริเวณผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ไม่ให้สูงยับยั้งการหายใจของผลิตภัณฑ์ มีอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ต่ำเมื่อใช้ร่วมกับเทคนิคสูญญากาศลดการสูญเสียความสามารถในการละลายน้ำของสารประกอบและประหยัดกำลังงานการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อผลิตภัณฑ์มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ จึงควรใช้การอบแห้งด้วยไมโครเวฟในช่วง falling rate หรือในผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นต่ำจนเสร็จสิ้นการอบแห้ง (Maskan,2000) การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟกับการอบแห้งด้วยวิธีอื่นเช่น Freeze drying, radio frequency drying การอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีอัตราการอบแห้งที่เร็วกว่าผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นสูง มีสี กลิ่นที่ดี คงคุณค่าทางอาหาร มีความคงทนต่อเชื้อจุลินทรีย์ มีการยับยั้งเอนไซม์ต่างๆ มีการคืนรูปที่ดี ผลิตภัณฑ์ที่ได้กรอบและดูสดมากกว่าการอบแห้งแบบอื่นๆ (Vadivambal R. and Jayas D.S, 2007)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการอบแห้งมีการศึกษาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2540 – 2552 ได้มีการศึกษาการอบแห้งของผักและผลไม้ มีการศึกษาการอบกล้วยและลำไย รวมทั้งเครื่องเทศ โดยมีการนำไมโครเวฟมาช่วยในการอบแห้ง อาทิ เช่น การอบแห้งกล้วย ด้วยระบบไมโครเวฟ ซึ่งออกแบบโดยให้ใช้ตัวแปรอิสระ คือ อุณหภูมิของอากาศ(25,30, 40, 50, 55 องศาเซลเซียส) และอัตราการไหลของอากาศแห้ง (0.8, 0.95, 1.3, 1.65,1.8 m^3/min) โดยใช้กล้วยที่สุกโดยทั่ว 3kg ซึ่งอบแห้งให้ได้น้ำหนัก 0.16-0.23 kg โดยในการอบแห้งจะใช้เวลาการอบ 200 – 290 นาที ไมโครเวฟใช้พลังงานพลังงานเฉลี่ย 350 ± 50 W / kg หลังจากการทำลองพบว่า ผิวของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับดี โดยยอมรับได้ที่แตกต่างกัน 5.46 – 7.23 โดยใช้สเกลระดับความยอมรับ 1- 9 โดยทำการอบทั้งหมด การอบทดลอง จากการทดสอบ ก็ยังพบว่าผลิตภัณฑ์มีอัตราการยอมรับสูงกว่า 7 คือ จะใช้อัตราการไหลของอากาศแห้งในช่วง 1.10 - 1.65 m^3/min และที่อุณหภูมิอบแห้งสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส (Wander A. Sousa1, Antonio Marsaioli Jr.1 and Maria I. Rodrigues ,2004)

และเริ่มมีการดัดแปลงระบบไมโครเวฟเพื่อช่วยในการอบแห้งและมีการนำสายพานลำเลียงมาช่วยในการอบแห้ง เช่น การอบกล้วยน้ำว้าด้วยเตาอบไมโครเวฟดัดแปลง โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้ม

และระยะเวลาให้พลังงานไมโครเวฟ อิทธิพลอัตราการหมุนเวียนอากาศกลับ อิทธิพลของระยะเวลาการอบ-พักเป็นช่วงๆ และยังศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคโดยการชิมผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ได้จากการอบ-พักเป็นช่วงๆ (โสภา แดนสี, คำนึง วาทโยธา ,2546) และในการศึกษาการอบกล้วยน้ำว้าในตู้ไมโครเวฟดัดแปลงซึ่งจำลองรูปแบบการทำงานของเครื่องอบไมโครเวฟร่วมกับสายพานลำเลียง ภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และระดับพลังงานไมโครเวฟ 3 ระดับ (0.24, 0.40 และ 0.56 W/g) ป้อนพลังงานไมโครเวฟเข้าตู้อบเป็นเวลา 0.5 นาที แล้วหยุด 5 นาที สลับกันไปจนการอบเสร็จสิ้นลง พบว่าเวลาและพลังงานที่ใช้อบลดลงอย่างมากเมื่อใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้ระดับพลังงานไมโครเวฟต่ำทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ดีกว่า และการใช้พลังงานไมโครเวฟที่ 0.24 W/g กล้วยอบมีอุณหภูมิภายในเฉลี่ยไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส เวลาและพลังงานในการอบเป็น 60% และ 47 % ของการอบด้วยอากาศร้อนเพียงอย่างเดียว พร้อมกันนี้สีของผลิตภัณฑ์กล้วยอบยังมีช่วงสีเดียวกันกับผลิตภัณฑ์กล้วยอบที่ได้จากการอบด้วยเครื่องพลังงานแสง อาทิตย์อีกด้วย (คำนึง วาทโยธา ,2545)

นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งที่ใช้ปัจจัยอื่นนอกเหนือจากระบบไมโครเวฟ เช่น การอบแห้งของกล้วยที่อุณหภูมิการอบแห้งสูง อาจก่อให้เกิดการไล่ความชื้นในตัวอย่างและก็ทำให้สินค้ากรอบ ในการศึกษานี้มีคุณลักษณะที่ดีได้แก่ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ สี การหดตัวและลักษณะกล้วยอบแห้งที่อุณหภูมิสูง (110-140 องศาเซลเซียส) ในถาดอบ ได้สำรวจชิ้นกล้วยจากความชื้นเริ่มต้นของเนื้อหา 250 – 300 เปอร์เซ็นต์ ที่ความชื้นเนื้อหาสุดท้ายต้องจาก 4 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์อัตราการอบแห้ง ความร้อนและช่วงอัตราสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของกล้วย พบว่ามีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลงของความชื้นจนความชื้นแพร่กระจายลดลง โดยสังเกตจาก SEM micrographs การอบแห้งอุณหภูมิยังมีผลต่อสีการหดตัวและเนื้อสัมผัสของกล้วย(Somkiat Prachayawarakorn,Warunee Tia, Napaporn Plyto ,Somchart, Soponronnarit)

การอบแห้งผลไม้นั้นนอกจากกล้วยแล้วยังนิยมอบแห้งลำไยซึ่งถือว่าเป็นผลไม้ทางเศรษฐกิจของประเทศไทยเหมือนกับกล้วยเพื่อสามารถเก็บไว้ได้เป็นเวลานาน เช่น การอบแห้งลำไยโดยนำไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับร่วมกับการอบแห้งด้วยลมร้อน เนื่องจากไมโครเวฟสามารถทะลุทะลวงผ่านอาหารซึ่งเป็นวัสดุชีวะภาพและสามารถทำให้ร้อนถึงภายในเนื้อของลำไย ซึ่งเป็นผลให้การแพร่ความชื้นภายในเนื้อลำไยถ่ายเทมายังผิวได้มากขึ้นดี ซึ่งเป็นผลให้อัตราการอบแห้งลดลงแต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม อาจมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเนื้อลำไยจึงมีการค้นคว้าทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลระดับพลังงานของกลื่นไมโครเวฟที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นของเนื้อลำไยเพื่อหาแนวทางการอบแห้งให้เหมาะสม (ไพรัชต์ ดิฐคณารักษ์กุล ,อารีย์ อัจฉริยวิริยะ ,2547) อีกการศึกษาชิ้นนี้ คือ การศึกษาคุณลักษณะในการอบแห้งลำไย โดยหาค่าคงที่ในการอบแห้งลำไยที่อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ต่าง ๆ กัน เพื่อหาแนวทางการอบแห้ง ลำไยที่เหมาะสม ซึ่งพิจารณาจาก

เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และคุณภาพของลำไยที่ได้ภายหลังจากการอบแห้ง โดยการอบแห้งนั้นเป็นการอบแห้งลำไยพันธุ์สีคอ โดยจะอบจนกระทั่งเหลือความชื้นประมาณ 30% มาตรฐานเปียก ส่วนลำไยที่ใช้จะมี 5 ตัวอย่างด้วยกันคือ ลำไยปกติ, ลำไยเจาะรู, ลำไยดว้านเมล็ด, ลำไยต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปอบแห้ง และลำไยอบไมโครเวฟทุก ๆ ครั้งที่มีการชั่งน้ำหนัก ซึ่งในการอบแห้งในโครงการนี้จะใช้ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้เป็นอุปกรณ์หลักในการอบแห้ง โดยในการอบจะอบที่ 1. อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20%RH, 30%RH 2. อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20%RH , 30%RH, 40%RH และ 3. อุณหภูมิ 85องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20%RH, 30%RH, 40%RH โดยในการอบแต่ละครั้งจะมีการตรวจสอบคุณภาพของลำไยที่อบอยู่ตลอด (นายชูชาติ สุรวุฒิ,นายพิสิฐ มงคลแสงสุรีย์, 2540)

นอกจากการอบแห้งผลไม้แล้วยังนิยมอบแห้งผักและเครื่องเทศ เช่น การอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยลมร้อน ไมโครเวฟ การอบแห้งแบบสองขั้นตอน และแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยตอนต้นทำการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อนและวิธีไมโครเวฟเพื่อหาอุณหภูมิ อัตราการไหลของลมร้อนทางเข้าและกำลังไฟของคลื่นไมโครเวฟที่เหมาะสมได้ข้อมูลอุณหภูมิที่ทางเข้าและอัตราการไหลเชิงมวลของลมร้อนเหมาะสมคือ 90 องศาเซลเซียส และ 100 g/s ตามลำดับ และกำลังไฟของคลื่นไมโครเวฟ 528 W จากนั้น นำข้อมูลที่ได้มาทดสอบด้วยวิธีการอบแห้งสองขั้นตอนและแบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (ชมพูนุช กูลเกตุวงศ์ ,ดิษพร ตุงโสธานนท์ ,2552) และการอบแห้งเครื่องต้มยำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนและเครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศเพื่อทำให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานซึ่งการทำเครื่องต้มยำแห้งโดยทั่วไปมักมีปริมาณจุลินทรีย์ที่เกินมาตรฐาน ดังนั้นจึงได้ศึกษาถึงวิธีการอบแห้งของพริก ข่า ตะไคร้และใบมะกรูดเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งและยังลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค โดยในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนอบแห้งได้นำเครื่องต้มยำแต่ละชนิดมาลวกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น0.1%ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที ทำให้เย็นลงในสารละลาย โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.1 % เป็นเวลา 20 นาที เครื่องต้มยำที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างแล้วมาทำการอบโดยเปรียบเทียบวิธีการอบ 2 วิธีคือการใช้เครื่องอบแห้งแบบสูญญากาศและเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนมีกรรมวิธีการอบแห้งแบบสูญญากาศใช้สภาวะที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ความดัน 7 กิโลปาสกาลเป็นเวลา 140, 145, 142 และ 145 นาทีและมีความชื้น7.67%,7.48 %,7.84 %และ 7.76 % สำหรับการอบพริก ข่า ตะไคร้และใบมะกรูดตามลำดับ สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมโดยการอบด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนคือที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาอบแตกต่างกันคือ 10, 12, 9 และ 12 ชั่วโมงและมีความชื้น 7.68 %,7.95 %,7.28 %และ7.19 % สำหรับการอบพริก ข่า ตะไคร้และใบมะกรูดตามลำดับ ผลิตภัณฑ์เครื่องต้มยำอบแห้งที่ได้นำมาทดสอบหาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์พบว่าปริมาณจุลินทรีย์ลดลงจาก 106 CFU/g เหลือ 102 CFU/g (สุชาดา ไชยสวัสดิ์ , สุรชัย แก้วบุญเรือง)รวมทั้ง

ศึกษาผลกระทบการอบแห้งกล้วยด้วยคลื่นไมโครเวฟและลมร้อนแห้ง ซึ่งจะให้ความสำคัญไปที่ผลที่เกิดขึ้นจากพลังงานไมโครเวฟ อุณหภูมิของอากาศ ความเร็วอากาศในขณะเคลื่อนที่ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสีที่ได้ ความพรุนของผลิตภัณฑ์ กระบวนการอบแห้งนั้นได้ถูกแบ่งออกเป็น3ช่วง

ช่วงที่1ใช้ (760 W; 2 kg.moisture/kg.dry matter)
ช่วงที่2ใช้ (380 W; 0.67 kg.moisture/kg.dry matter)
ช่วงที่3ใช้ (0 W, 76 W, 150 W หรือ 230 Wจนถึงที่ความชื้น 0.17 kg.water/kg. dry matter)

สามสภาวะในการทดสอบ: 50 องศาเซลเซียส และ 3.3 m/s; 70 องศาเซลเซียส และ 3.3 m/s , 70 องศาเซลเซียส และ 5.7 m/s.

ผลที่ได้คือการเพิ่มพลังงานไมโครเวฟในช่วงที่3เพิ่มอัตราการอบแห้ง จะทำช่วยลดเวลาในการอบแห้งลง อย่างไรก็ตามพลังงานไมโครเวฟที่สูงกว่าเป็นเหตุให้อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งจะทำให้ผิวผลิตภัณฑ์ไหม้รวมทั้งการไหลของอากาศจะช่วยให้ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์เย็นลงและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการช่วยลดการไหม้ (Nadia R. Pereira , Antonio Marsaioli Jr, Lilia M. Ahrne)

บทที่ 3
อุปกรณ์การทดลองและวิธีการทดลอง

ในการอบแห้งกล้วยโดยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน คณะผู้จัดทำได้ทำการสร้างเครื่องอบแห้งโดยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีการทดลองดังนี้

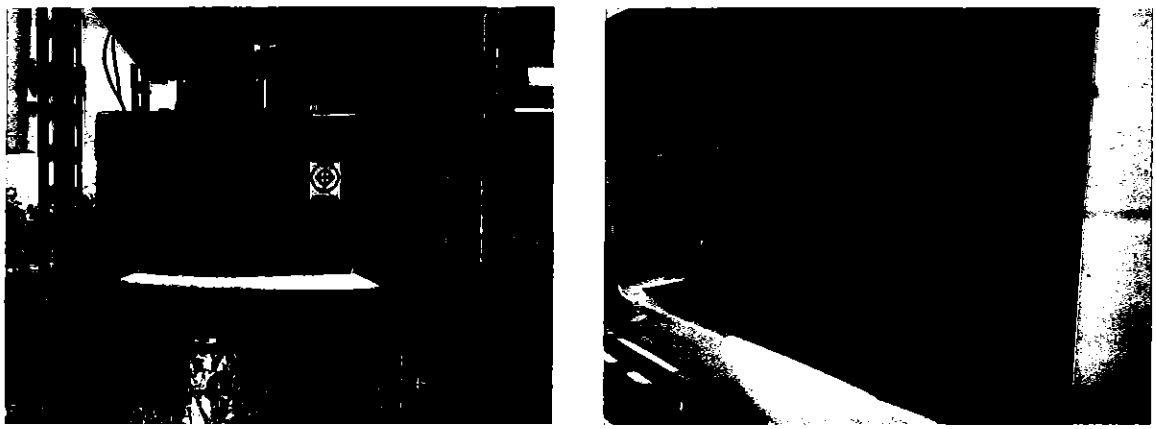
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

เครื่องอบแห้งโดยระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนประกอบด้วย

1. เตาอบไมโครเวฟ
2. ฮีตเตอร์
3. โหลดเซลล์
4. ตัวขยายสัญญาณและจอแสดงค่า
5. ตัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น
6. พัดลมทางกระรอก

3.1.1 เตาอบไมโครเวฟ

เตาอบไมโครเวฟเป็นเตาอบที่ใช้ในครัวเรือน โดยมีความจุ 20 ลิตร ทำการเจาะบริเวณด้านข้างและด้านล่างเพื่อเป็นช่องเพื่อต่อท่อให้ลมร้อนเข้าและออก ซึ่งขนาดของท่อมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 นิ้ว โดยใช้ตะแกรงเหล็กปิดเพื่อกันไม่ให้คลื่นของไมโครเวฟรั่วออกมาตามท่อส่งลมร้อน



รูป เตาไมโครเวฟ

3.1.2 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์ เป็นฮีตเตอร์แบบครีบ เพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีขึ้น ลักษณะเป็นตัวยู ความยาว 13 เซนติเมตร ขนาดของความสูงของครีบ 1 เซนติเมตร และความกว้างระหว่างตัวยู 5 เซนติเมตร ขนาดกำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์ 300 Watt

รูป ฮีตเตอร์

3.1.3 Load Cell

Load Cell มีลักษณะการทำงานคล้ายกับตาชั่งสปริง แต่เป็นการนำค่าการโก่งตัวของวัสดุมาแปลงเป็นค่ากระแสไฟฟ้า แล้วส่งกระแสไฟฟ้าไปยังเครื่องแปลงสัญญาณ ซึ่งจะยึดด้านหนึ่งของ Load Cell แล้วจะใช้แรงกดอีกด้านของตัว Load Cell

รูป Load Cell

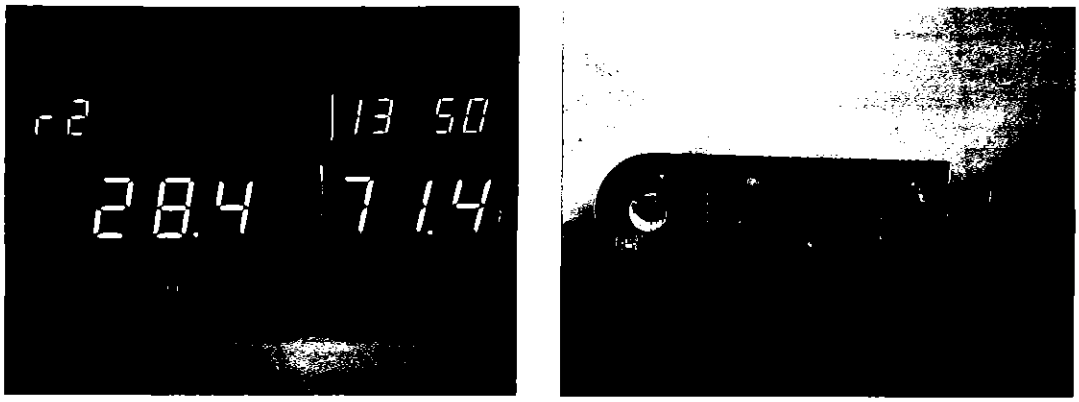
3.1.4 เครื่องขยายสัญญาณและแสดงค่าน้ำหนัก

เครื่องขยายสัญญาณจะทำการขยายสัญญาณที่รับจาก Load Cell ที่ส่งออกมาเพื่อขยายให้มีค่าที่สูงขึ้นและทำการแปลงค่าจาก สัญญาณอนาล็อก ให้เป็น สัญญาณดิจิตอล แล้วทำการแสดงผลของน้ำหนักในหน้าจอดิจิตอล จะแสดงเป็นหน่วยของ มิลลิกรัม

รูป เครื่องขยายสัญญาณ

3.1.5 ตัวเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

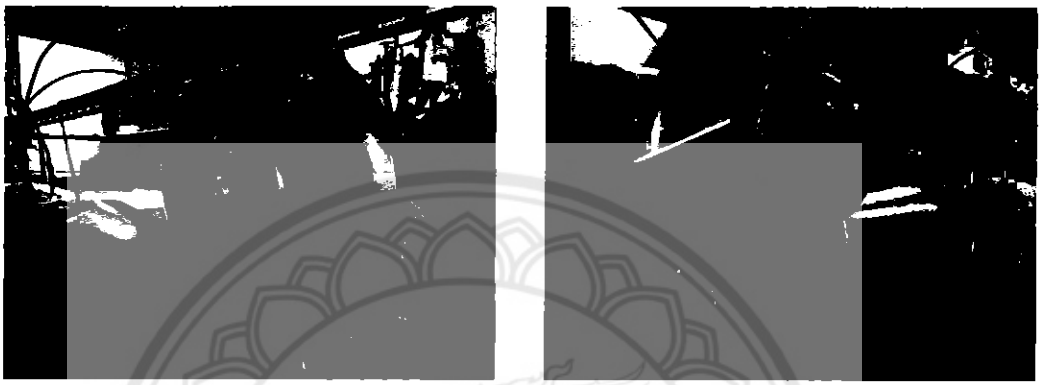
ตัววัดอุณหภูมิและความชื้นจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหัววัดอุณหภูมิและความชื้น และบอร์ดแสดงค่าของอุณหภูมิและความชื้น ตัวหัววัดจะทำการติดตั้งบริเวณหลังฮีตเตอร์ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยตัวฮีตเตอร์จะทำการต่อเข้าตัวรีเลย์ซึ่งอยู่ภายในบอร์ดแสดงค่า ซึ่งรีเลย์เป็นตัวเปิด-ปิดฮีตเตอร์ให้ทำความร้อน และส่วนหัววัดอีกตัวจะไว้บริเวณท่อลมออกจากเตาอบไมโครเวฟ เพื่อทำการตรวจเช็คอุณหภูมิหลังออกจากเตา



รูป บอร์ดแสดงค่าและหัวเซ็นเซอร์

3.1.6 พัดลมหางกระรอก

พัดลมหางกระรอก AC ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ที่ 50 Hz เป็นพัดลมที่ใช้หลักการเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งพัดลมสามารถทำความเร็วลมได้สูงสุด 10 m/s จึงต้องติดตัวควบคุม เพื่อให้พัดลมพัดด้วยความเร็วลม 0.5 m/s



รูปพัดลมหางกระรอก

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ศึกษาลักษณะของกล้วยก่อนจะแปรรูป

เตรียมกล้วยน้ำว้าโดยที่น้ำหนักไม่เกิน 1 กิโลกรัม เพื่อหาน้ำหนักก่อนที่จะแปรรูป โดยชั่งตาชั่งดิจิตอล และใช้เปอร์เซ็นต์ความชื้น เพื่อหาน้ำหนักของน้ำที่หายไป โดยใช้ตามสูตร

เปอร์เซ็นต์ความชื้น = (น้ำหนักอาหารหลังอบ / น้ำหนักอาหารก่อนอบ) * 100

<u>ตัวอย่าง</u> การหาน้ำหนักหลังอบ เช่น ก่อนแปรรูปกล้วยหนัก 0.89 กิโลกรัม มีเปอร์เซ็นต์ความชื้น 75 เปอร์เซ็นต์ ต้องการเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังแปรรูปที่ 14 เปอร์เซ็นต์ จะได้น้ำหนักหลังอบ เป็น

น้ำหนักหลังอบ = 0.89*(100 – 75) / (100 – 14)

= 0.89*(25/86)

= 0.2587 กิโลกรัม

น้ำหนักหลังอบของกล้วยหลังการแปรรูปคือ 0.2587 กิโลกรัม

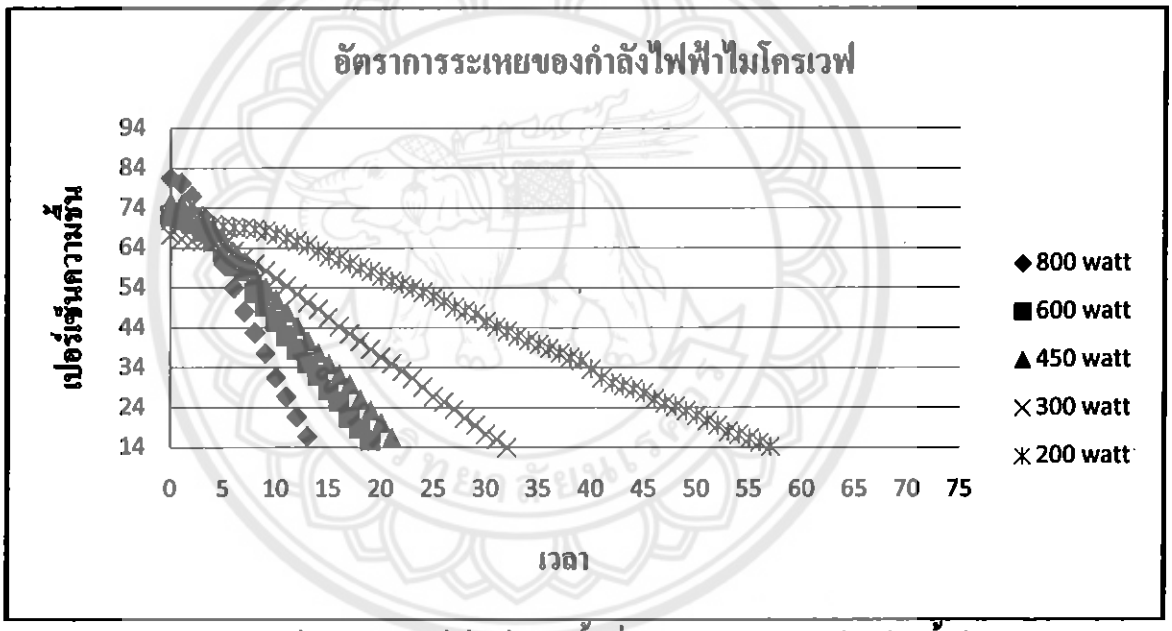
3.2.2 ขั้นตอนของการอบกล้วย

1. นำกล้วยน้ำว้าที่ทำการชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว มาติดตั้งกับโหลดเซลล์แล้วทำการเซตค่าน้ำหนักให้เป็น 0 เพื่อหาน้ำหนักของน้ำที่หายไป
2. เปิดพัดลมหางกระรอก แล้วตั้งให้ทำงานที่ความเร็วลม 1.0 m/s
3. เปิดฮีตเตอร์ให้ทำงานที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ
4. โดยจะทำการอบกล้วยด้วยระบบไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 200 , 300 , 450 , 600 , 800 วัตต์
5. ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักที่หายไปขณะทำการอบ

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

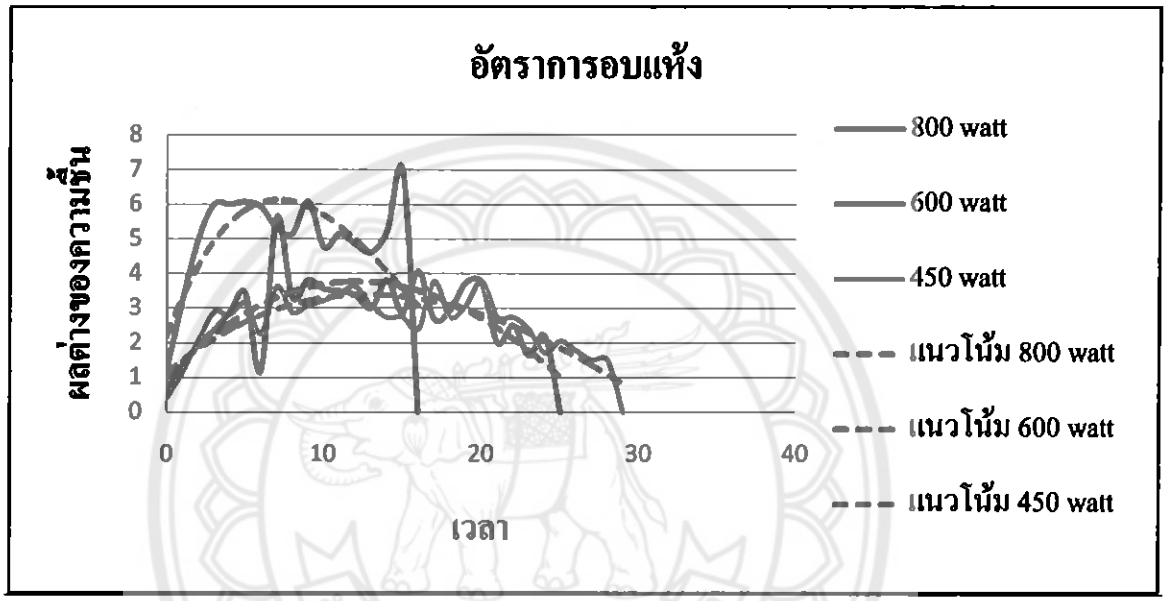
การหาเวลาการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อให้กล้วยน้ำว้าหลังอบแห้งมีปริมาณความชื้นไม่เกิน 14-15 เปอร์เซ็นต์ความชื้น ตามมาตรฐานเกรดสินค้าของ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2548) โดยการหาความชื้นของกล้วยน้ำว้าทุก 1 นาที จนความชื้นของกล้วยน้ำว้าอยู่ที่ 14-15 เปอร์เซ็นต์ความชื้นได้ผล เมื่อนำความชื้นในแต่ละช่วงเวลาของการอบกับเวลาในการอบแห้งของหน่วยทดลองทั้งหน่วยมาเขียนกราฟการทำแห้ง จะได้กราฟรูป 4.1 ดังนี้



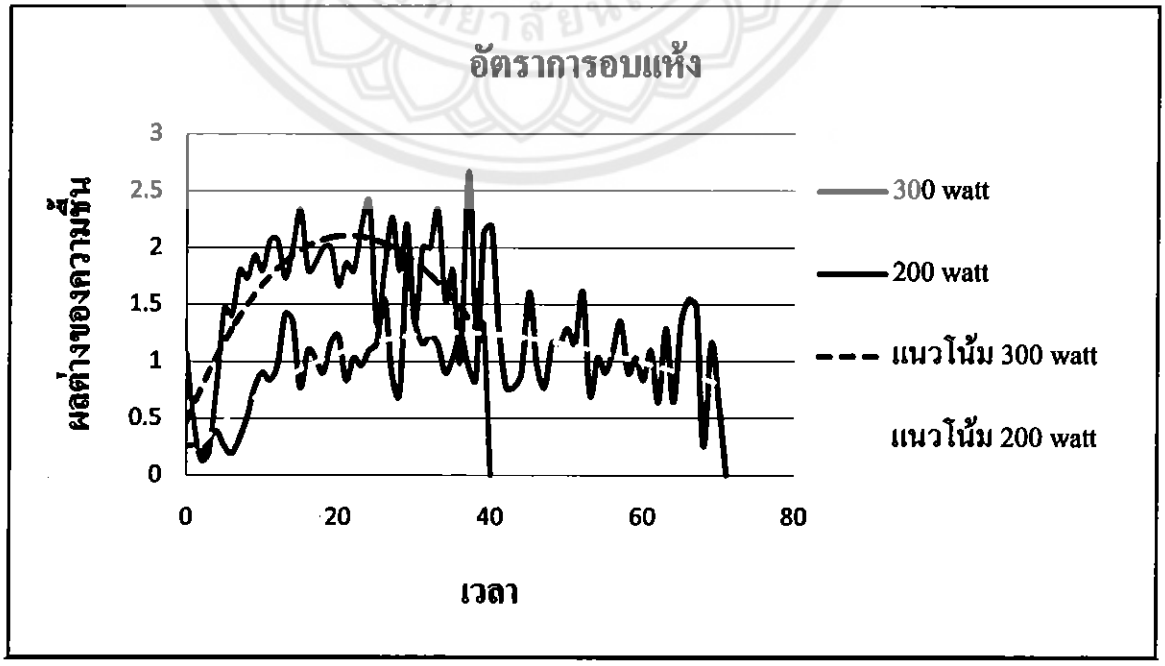
รูป 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เหลือกับเวลาอบแห้งกล้วยน้ำว้า (นาที) ของ 5 หน่วยทดลองของกล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากรูป 4.1 พบว่าลักษณะกราฟการทำแห้งของทุกสภาวะการอบแห้งมีลักษณะคล้ายกัน คือในช่วงแรกเส้นกราฟจะมีลักษณะเอียงเล็กน้อยโดยจะมีความชันน้อย ส่วนช่วงที่สองเส้นกราฟมีลักษณะเอียงลาดลงแต่มีความชันมากกว่าในช่วงแรกอย่างเห็นได้ชัด ในระหว่างการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของกล้วยน้ำว้า ไอน้ำบริเวณผิวของกล้วยจะถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนผ่าน ความชื้นที่ผิวหน้าของกล้วยจะค่อยๆถูกอากาศแห้งดึงความชื้นออกไปอย่างช้าๆ เมื่อเป่าอากาศแห้งเข้าไปสักพัก อัตราการทำแห้งจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เรียกช่วงนี้ว่าเป็นคาบการทำแห้งตอนต้น(Settle down period of drying) ส่วนช่วงที่สองเมื่อได้รับความร้อนจากงานไมโครเวฟและ

ลมร้อน จะทำให้ไอน้ำภายในมีความดันไอสูง และค่อยๆลดต่ำลงเมื่อเข้าใกล้ผิวของกล้วยน้ำว้า แตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันไอน้ำออกจากกล้วยน้ำว้า น้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของกล้วยน้ำว้าออกมาด้วยความเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้า ผิวหน้าจึงเปียกอยู่ เรียกช่วงนี้ว่าเป็น คาบการทำแห้งคงที่ (constant rate period) ซึ่งเป็นช่วงที่ความชื้นของกล้วยน้ำว้าลดต่ำลงอย่างรวดเร็วลักษณะเส้นกราฟการอบแห้งในช่วงนี้จะมีลักษณะเอียงลาดลงโดยมีความชันมาก (วิไล, 2543)



รูป 4.2 กราฟแนวโน้มอัตราการอบแห้งของกำลังงานไมโครเวฟสูง



รูป 4.2 กราฟแนวโน้มอัตราการอบแห้งของกำลังงานไมโครเวฟต่ำ

สภาวะซึ่งใช้ระดับกำลังงานของไมโครเวฟ คือ 800 วัตต์ มีเส้นกราฟการอบแห้งระหว่างความชื้นกับเวลาชันมากที่สุด แสดงว่ามีอัตราการอบแห้งมากที่สุด และเมื่อมีอัตราการทำแห้งสูงจะใช้เวลาในการอบแห้งให้ได้เปอร์เซ็นต์ความชื้น 14-15 เปอร์เซ็นต์น้อยที่สุด เช่นเดียวกับ สภาวะที่ใช้ระดับกำลังงานของไมโครเวฟ คือ 200 วัตต์ มีเส้นกราฟการอบแห้งระหว่างความชื้นกับเวลาชันน้อยที่สุด แสดงว่า สภาวะนี้มีอัตราการอบแห้งที่ต่ำที่สุด ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งให้ได้เปอร์เซ็นต์ความชื้น 14-15 เปอร์เซ็นต์ ช้าที่สุด

ตาราง 4.1 เวลาในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่มีปริมาณความชื้นที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 14-15 เปอร์เซ็นต์

สภาวะ	เวลาในการอบแห้ง (นาที)
กำลังงานไมโครเวฟ 200 วัตต์	57
กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์	32
กำลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์	22
กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์	19
กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์	14

จากตาราง 4.1 พบว่า ที่ระดับกำลังงานของไมโครเวฟ อุณหภูมิและความเร็วของลมร้อนสูงขึ้น ทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งให้ได้เปอร์เซ็นต์ความชื้น 14-15 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นระดับกำลังงานของไมโครเวฟที่ 800 วัตต์ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าระดับกำลังงานของไมโครเวฟที่ 200 , 300 , 450 , 600 วัตต์

4.2 การ วิเคราะห์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

จากการทดลอง กำลังงานไมโครเวฟมีผลต่อ ลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยเมื่อทดลองกำลังงานไมโครเวฟที่ 200 , 300 , 450 , 600 , 800 วัตต์ ทำให้ความความแข็งของกล้วยเพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบแห้งที่กำลังงานไมโครเวฟสูงกว่า น้ำอิสระในกล้วยน้ำว้าจะเปลี่ยนเป็นไอ น้ำระเหยออกมาจากกล้วยน้ำว้าอย่างรวดเร็ว และยังมีลมร้อนที่ช่วยนำน้ำที่ระเหยจากกล้วยน้ำว้าออกไปด้วย จึงทำให้เหลือน้ำอิสระในกล้วยน้ำว้าแห้งน้อยลง และกล้วยน้ำว้าจะหดตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าที่ได้มีความแข็งเพิ่มขึ้น

ช่วงเวลาในการวิเคราะห์อยู่ในช่วงเวลาที่ 15-35 นาทีซึ่งจะพบว่า กำลังงานไมโครเวฟที่อบแห้งจนเปอร์เซ็นต์ความชื้น14-15เปอร์เซ็นต์ คือ กำลังงานไมโครเวฟ 600 , 450 , 300 วัตต์ และส่วนที่อยู่นอกช่วงเวลาคือ กำลังงานไมโครเวฟ 800 และ 200 วัตต์ คุณภาพของกล้วยน้ำว้าที่กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์ ลักษณะของกล้วยน้ำว้ามีรอยแตกขนานใหญ่บริเวณเนื้อของกล้วยน้ำว้าและตามรอยที่แตกของกล้วยน้ำว้ามีรอยไหม้สีดำและใช้ระยะเวลาในการอบน้อยที่สุด(ภาคผนวก ก-11) และที่กำลังงานไมโครเวฟ 200 วัตต์ ลักษณะของกล้วยน้ำว้าแห้งเนื้อของกล้วยน้ำว้าไม่มีรอยแตกไหม้ แต่ใช้ระยาวเวลาในการอบแห้งนานที่สุด(ภาคผนวก ก-7)

<u>ช่วงเวลาที่วิเคราะห์</u>

กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์ ลักษณะของกล้วยน้ำว้ามีรอยแตกยาว 5 เซนติเมตร กว้าง 1 เซนติเมตร บริเวณเนื้อกล้วย จำนวนการแตก 75 เปอร์เซ็นต์ของกล้วยทั้งหมด (ภาคผนวก ก-10)

กำลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์ ลักษณะของกล้วยน้ำว้ามีรอยแตกยาว 2.5 เซนติเมตร กว้าง 0.5 เซนติเมตร บริเวณเนื้อกล้วย จำนวนการแตก 75 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนกล้วยทั้งหมด(ภาคผนวก ก-9)

กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ ลักษณะของกล้วยน้ำว้าไม่มีรอยแตกบริเวณเนื้อกล้วยเลย(ภาคผนวก ก-8) และทั้งสามกำลังงานไมโครเวฟไม่มีรอยของการไหม้เลย

เนื่องจากการทำงานของไมโครเวฟที่กำลังงานของไมโครเวฟที่ 100 วัตต์ ไมโครเวฟทำงานน้อยมาก แต่มีลมร้อนเข้าเตาอบก็เปรียบเสมือนว่าการทำงานของวัตต์ 100 วัตต์ให้เป็นการทำงานของลมร้อนอย่างเดียว เพราะเวลาที่ไมโครเวฟที่กำลังงานที่ 100 วัตต์ มีการทำงานของหลอดแมกนีตรอนน้อยมากจึงเปรียบเสมือนเตาไมโครเวฟไม่มีการทำงาน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเมื่อใช้กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ส่วนใช้กำลังงานไมโครเวฟ 200 วัตต์ จะใช้เวลาในการอบแห้งมากที่สุด

5.1.2 สภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับกำลังงานไมโครเวฟต่ำได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพทางกายภาพที่ดีกว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ระดับกำลังงานไมโครเวฟสูง

5.1.3 เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ร่วมกับคุณภาพทางกายภาพ จะพบว่าสภาวะการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่อุณหภูมิลมร้อน 75 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที จะได้สภาวะที่ดีที่สุดเมื่อใช้กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์ เนื่องจากใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และได้ผลิตภัณฑ์กล้วยน้ำว้าอบแห้งมีคุณภาพดีที่สุด ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น 14-15 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาการใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนอบแห้งกล้วยน้ำว้าแบบปลอกเปลือกโดยใช้วิธีการเดียวกัน

5.2.2 ในการศึกษาการใช้เครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อที่จะเพิ่งความละเอียดของกำลังงานไมโครเวฟควรที่จะใช้เครื่องไมโครเวฟที่มีความละเอียดของกำลังงานไมโครเวฟที่มากขึ้นกว่านี้

5.2.3 ในอนาคตเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถดัดแปลงมาใช้ในครัวเรือนได้เนื่องจากราคาไม่สูงมาก อีกทั้งยังสามารถอบแห้งผักผลไม้ชนิดอื่นนอกจากกล้วยน้ำว้า

5.2.4 เพื่อให้สามารถพัฒนาไปสู่อุตสาหกรรมได้ น่าจะมีการศึกษาความคุ้มทุนทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

กุลยา จันทร์อรุณ. 2540. กรรมวิธีการผลิตผักและผลไม้อบแห้ง.รายงานวิจัย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม พิษณุโลก.

ชนันท์ ราษฎร์นิยม. 2545. "การผลิตน้ำลำไยผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟม – แมท" . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รุ่งนภา พงษ์สวัสดิ์มานิต. 2535. การทำแห้งอาหาร. หน้า 222-223. ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ: ไอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์.

สุคนธ์ชื่น ศรีงาม. 2539. กระบวนการทำแห้งอาหาร ในวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, หน้า 164-172. คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. การอบแห้งผลไม้ ในการอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. หน้า 254. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2548. สถานการกล้วย "มาตรฐานเกรดสินค้า" กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

วีรชัย มาศฉมาดล. 2538. อาหารก็เป็นยาได้ "ผลไม้". นานมีบุคส์จำกัด: กรุงเทพฯ.

อรุณี อภิชาติสรางกูร. 2551. รายงานฉบับสมบูรณ์น้ำผักและผลไม้ผงคุณภาพสูงเพื่อเสริมสุขภาพ. หน่วยวิจัยผลิตภัณฑ์อาหารจากธรรมชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วิไล รังสาดทอง. 2543. เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สถาบันเทคโนโลยีพระจุลจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.

Alibus, I., 2007. Microwave, air and combined microwave-air-drying parameters of pumpkin slices. LWT-Food Science and Technology, 40: 1445-1451.

Drouzas, A.E. and Schubert, H. 1996. Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits.Journal of Food Engineering, 28: 203-209.

Yongsawatdigaul, J. and Gunasekaran, S. 1996b. Microwave vacuum drying of cranberries,part II: Quality evaluation. Journal of Food Processing and Presevation, 20: 145-156.

Bondaruk, j., Markowski, M. and Blaszczak, W. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. Journal of Food Engineering, 81: 306-312

Cui, Z., Xu, S. and Sun, D. 2003. Dehydration of garlic slice by combined microwave-vacuum and air drying. Drying Technology, 21: 1173-1184.

Gowen, A., Abu-Ghannam, N., Frias, J. and Oliveira, J. 2006. Optimisation of dehydration and rehydration properties of cooked chick-peas (Cicer arietinum L.) undergoingmicrowave-hot air combination drying. Trends in Food Sciene and Technology, 17:177-183.

Khraisheh, MA.M., Cooper, T.J.R. and Magee, T.R.A. 1997. Microwave and air drying. Fundamental considerations and assumption for the simplified thermal calculations ofvolumetric power absorption. Journal of Food Engineering, 33: 207-219.

Sumnu, G., Turabi, E. and Oztop, M. 2005. Drying of carrots in microwave and halogen lampmicrawave combination ovens. LWT-Food Science and Technology, 38: 549-553.

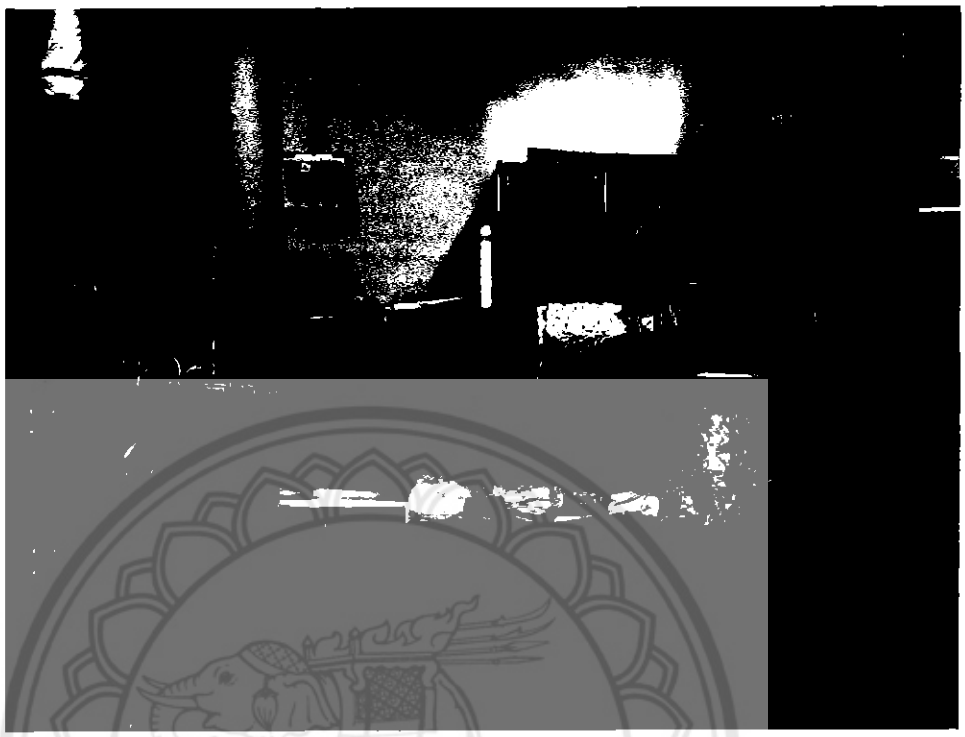
Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S. 2007. Combined microwave-hot air drying of peeled longan. Journal of Food Engineering, 81: 459-468.

Wang, Z., Sun, J.,Chen, F.,Liao, X. and Hu, X. 2007. Mathematical modelling on thin layer microwave drying of apple pomace with and without hot air pre-drying. Journal of Food Engineering, 80: 536-544.

Wikipedia1. 2008. Gallic acid. [online]. Availble http://en.wikipedia.org/wiki/Gallic_acid (15 August 2008)

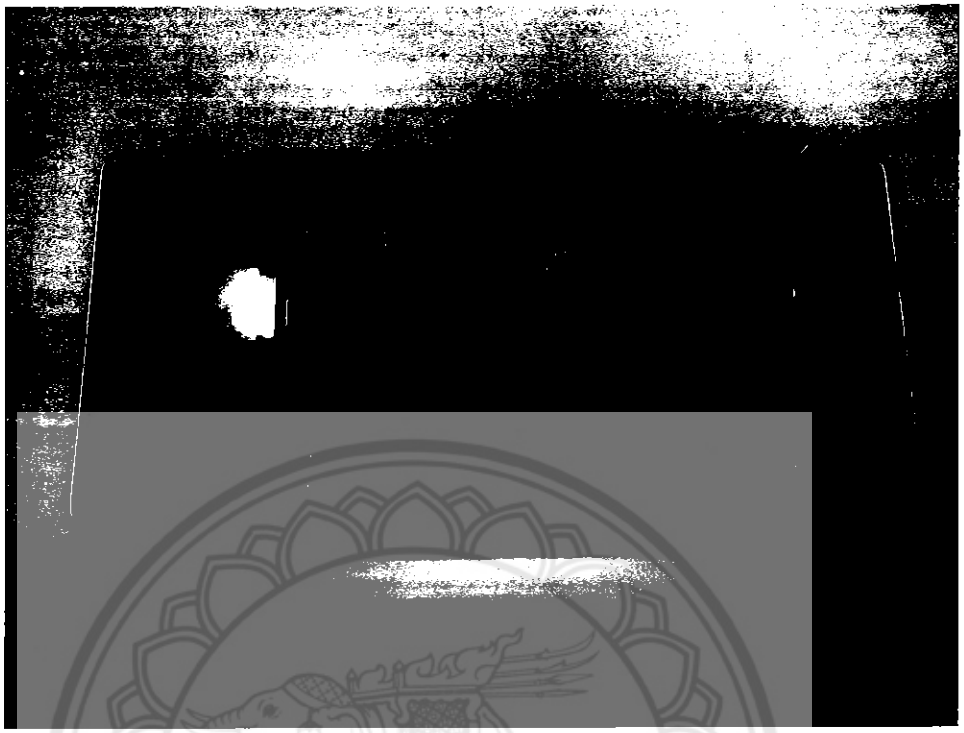
Wikipedia2. 2008. Ellagic acid. [online]. Availble http://en.wikipedia.org/wiki/Ellagic_acid (15 August 2008)

ภาคผนวก ก
รูปเครื่องมือ กล้วยสด และกล้วยอบแห้ง



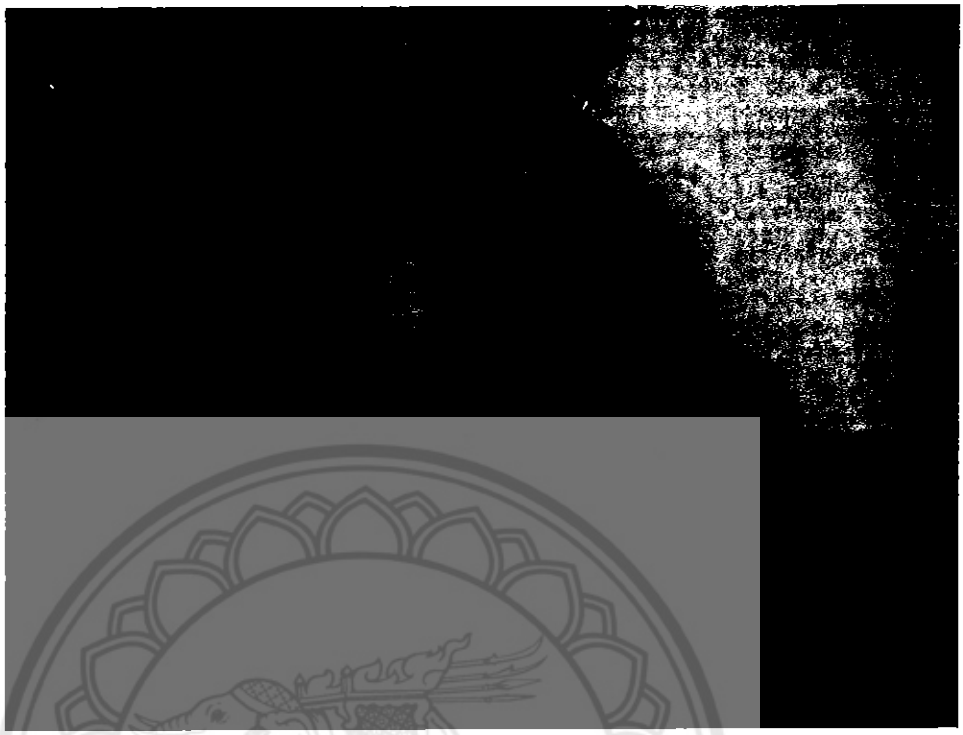
รูปภาคผนวก ก-1 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

รูปภาคผนวก ก-2 เครื่องวัดรังสีไมโครเวฟ



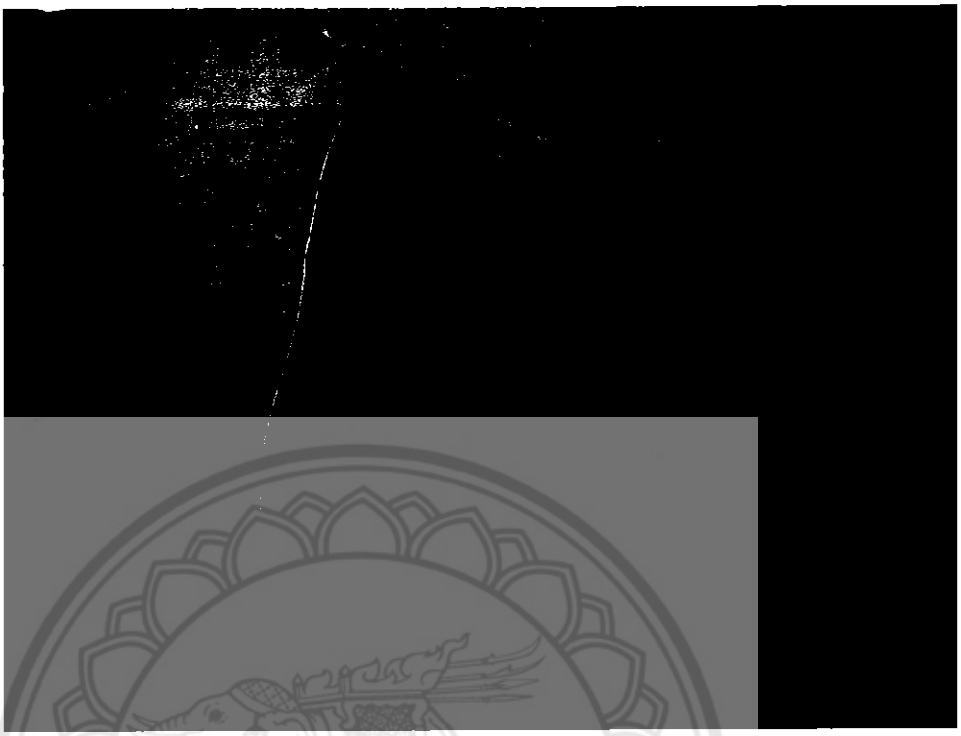
รูปภาคผนวก ก-3 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

รูปภาคผนวก ก-4 เครื่องวัดความเร็วลม

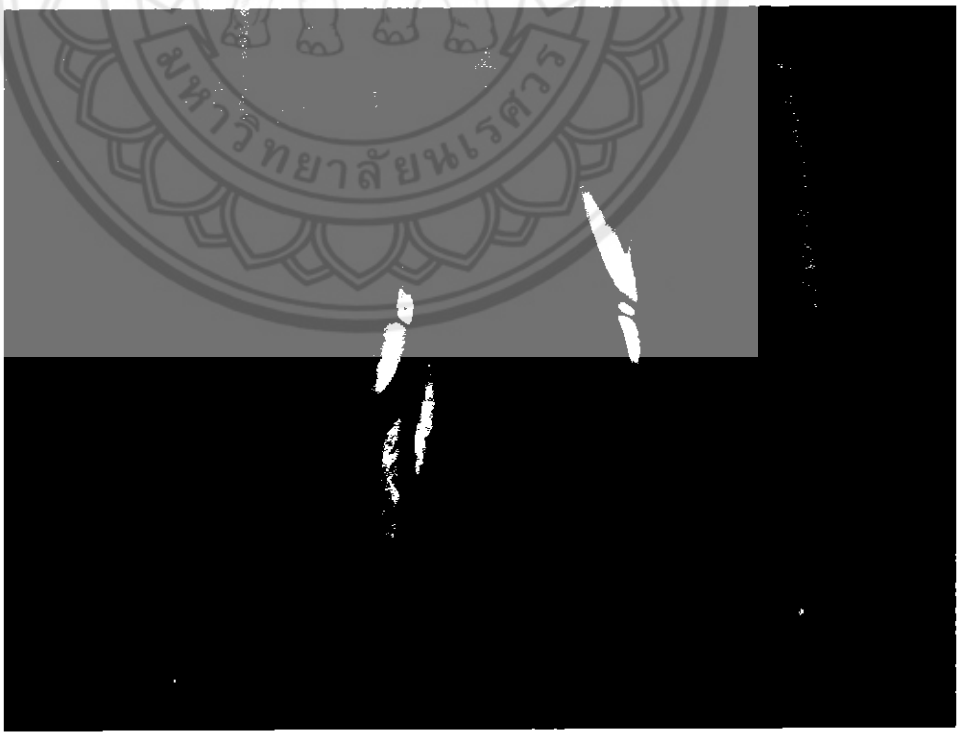


รูปภาคผนวก ก-5 กล้วยน้ำว้าก่อนการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

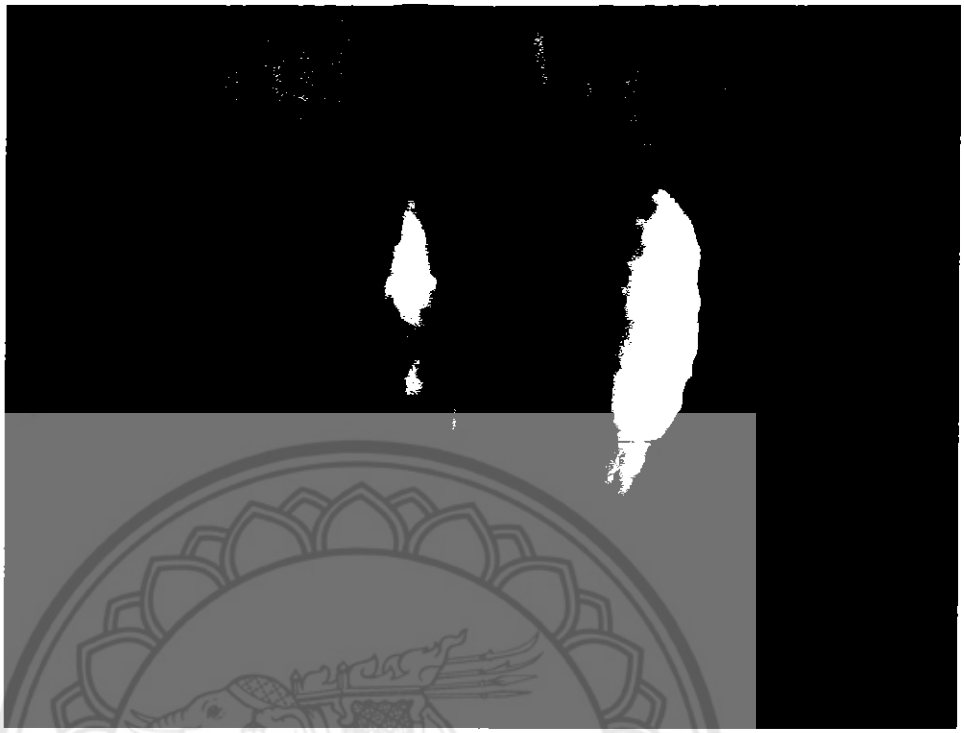
รูปภาคผนวก ก-6 การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



รูปภาคผนวก ก-7 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 200 วัตต์



รูปภาคผนวก ก-8 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์



รูปภาคผนวก ก-9 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์

รูปภาคผนวก ก-10 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์

รูปภาคผนวก ก-11 กล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์

รูปภาคผนวก ก-12 เนื้อกล้วยน้ำว้าอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ที่ความชื้น 0 %

ภาคผนวก ข

ตารางผลการทดลอง

800 watt			
เวลา(นาที)	มวลกล้วย(กรัม)	มวลน้ำ(กรัม)	%ความชื้น(wb)
0	130	106	81.53846154
1	128.4	104.4	80.30769231
2	124.2	100.2	77.07692308
3	117.7	93.7	72.07692308
4	109.9	85.9	66.07692308
5	102.1	78.1	60.07692308
6	94.2	70.2	54
7	86.5	62.5	48.07692308
8	79.6	55.6	42.76923077
9	72.9	48.9	37.61538462
10	65	41	31.53846154
11	58.8	34.8	26.76923077
12	52.1	28.1	21.61538462
13	45.8	21.8	16.76923077
14	39.8	15.8	12.15384615
15	33	9	6.923076923
16	24	0	0

ตารางภาคผนวก ข-1 แสดงค่าความชื้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังงานไมโครเวฟ 800 วัตต์

600 watt			
เวลา(นาที)	มวลกล้วย(กรัม)	มวลน้ำ(กรัม)	%ความชื้น(wb)
0	160	115.5	72.1875
1	159	114.5	71.5625
2	156.8	112.3	70.1875
3	153.7	109.2	68.25
4	149.9	105.4	65.875
5	145.3	100.8	63
6	139.8	95.3	59.5625
7	137.9	93.4	58.375
8	128.9	84.4	52.75
9	123.6	79.1	49.4375
10	117.5	73	45.625
11	111.8	67.3	42.0625
12	106.2	61.7	38.5625
13	100.8	56.3	35.1875
14	96	51.5	32.1875
15	89.9	45.4	28.375
16	85.3	40.8	25.5
17	78.8	34.3	21.4375
18	74.5	30	18.75
19	69.8	25.3	15.8125
20	63.8	19.3	12.0625
21	57.8	13.3	8.3125
22	54.6	10.1	6.3125
23	50.6	6.1	3.8125
24	48	3.5	2.1875
25	44.5	0	0

ตารางภาคผนวก ข-2 แสดงค่าความชื้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังงานไมโครเวฟ 600 วัตต์

450 watt			
เวลา(นาที)	มวลกล้วย(กรัม)	มวลน้ำ(กรัม)	%ความชื้น(wb)
0	146	110	75.34246575
1	145.4	109.4	74.93150685
2	143.7	107.7	73.76712329
3	140.7	104.7	71.71232877
4	136.5	100.5	68.83561644
5	132.4	96.4	66.02739726
6	127.8	91.8	62.87671233
7	124.5	88.5	60.61643836
8	119.2	83.2	56.98630137
9	115	79	54.10958904
10	110.5	74.5	51.02739726
11	105.8	69.8	47.80821918
12	100.8	64.8	44.38356164
13	95.5	59.5	40.75342466
14	91	55	37.67123288
15	87	51	34.93150685
16	83	47	32.19178082
17	79.5	43.5	29.79452055
18	74	38	26.02739726
19	70	34	23.28767123
20	65.5	29.5	20.20547945
21	60	24	16.43835616
22	56	20	13.69863014
23	52	16	10.95890411
24	48.5	12.5	8.561643836
25	46	10	6.849315068
26	43	7	4.794520548
27	40.4	4.4	3.01369863
28	38.2	2.2	1.506849315
29	36	0	0

ตารางภาคผนวก ข-3 แสดงค่าความชื้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังงานไมโครเวฟ 450 วัตต์

300 watt			
เวลา(นาที)	มวลกล้วย(กรัม)	มวลน้ำ(กรัม)	%ความชื้น(wb)
0	150	101	67.33333333
1	148.4	99.4	66.26666667
2	147.7	98.7	65.8
3	147.5	98.5	65.66666667
4	147.2	98.2	65.46666667
5	146	97	64.66666667
6	143.8	94.8	63.2
7	141.7	92.7	61.8
8	139	90	60
9	136.4	87.4	58.26666667
10	133.5	84.5	56.33333333
11	130.8	81.8	54.53333333
12	127.7	78.7	52.46666667
13	124.6	75.6	50.4
14	122	73	48.66666667
15	119	70	46.66666667
16	115.5	66.5	44.33333333
17	112.8	63.8	42.53333333
18	110	61	40.66666667
19	107	58	38.66666667
20	104	55	36.66666667
21	101.5	52.5	35
22	98.7	49.7	33.13333333
23	96	47	31.33333333
24	92.7	43.7	29.13333333
25	89.1	40.1	26.73333333
26	87.1	38.1	25.4
27	84.4	35.4	23.6
28	81	32	21.33333333
29	78.3	29.3	19.53333333
30	75	26	17.33333333
31	73	24	16
32	70	21	14
33	67	18	12
34	63.5	14.5	9.666666667
35	61.2	12.2	8.133333333
36	58.5	9.5	6.333333333
37	57	8	5.333333333
38	53	4	2.666666667
39	51	2	1.333333333
40	49	0	0

ตารางภาคผนวก ข-4 แสดงค่าความชื้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังงานไมโครเวฟ 300 วัตต์

200 watt			
เวลา(นาที)	มวลกล้วย(กรัม	มวลน้ำ(กรัม)	%ความชื้น(wb)
0	155.2	110	70.87628866
1	154.8	109.6	70.6185567
2	154.4	109.2	70.36082474
3	154.1	108.9	70.16752577
4	153.6	108.4	69.84536082
5	153	107.8	69.45876289
6	152.6	107.4	69.20103093
7	152.3	107.1	69.00773196
8	151.8	106.6	68.68556701
9	151	105.8	68.17010309
10	149.8	104.6	67.39690722
11	148.4	103.2	66.49484536
12	147.1	101.9	65.65721649
13	145.6	100.4	64.69072165
14	143.4	98.2	63.27319588
15	141.3	96.1	61.92010309
16	140.1	94.9	61.14690722
17	138.4	93.2	60.05154639
18	136.8	91.6	59.02061856
19	135.4	90.2	58.1185567
20	133.6	88.4	56.95876289
21	131.7	86.5	55.73453608
22	130.4	85.2	54.89690722
23	128.8	83.6	53.86597938
24	127.3	82.1	52.89948454
25	125.6	80.4	51.80412371
26	123.8	78.6	50.6443299
27	121.4	76.2	49.09793814
28	120	74.8	48.19587629
29	118.9	73.7	47.4871134
30	116	70.8	45.6185567
31	113.9	68.7	44.26546392
32	112.1	66.9	43.1056701
33	110.2	65	41.8814433
34	108.4	63.2	40.72164948
35	107	61.8	39.81958763
36	105.4	60.2	38.78865979
37	103.5	58.3	37.56443299
38	102	56.8	36.59793814
39	100.7	55.5	35.76030928
40	97.4	52.2	33.63402062
41	94	48.8	31.44329897
42	92	46.8	30.15463918
43	90.8	45.6	29.3814433

44	89.6	44.4	28.60824742
45	88.2	43	27.70618557
46	85.7	40.5	26.09536082
47	84.2	39	25.12886598
48	83	37.8	24.3556701
49	81.2	36	23.19587629
50	79.4	34.2	22.03608247
51	77.4	32.2	20.74742268
52	75.6	30.4	19.58762887
53	73.1	27.9	17.97680412
54	72	26.8	17.26804124
55	70.4	25.2	16.2371134
56	69	23.8	15.33505155
57	67.3	22.1	14.23969072
58	65.2	20	12.88659794
59	63.8	18.6	11.98453608
60	62.2	17	10.95360825
61	60.9	15.7	10.11597938
62	59.2	14	9.020618557
63	58.2	13	8.37628866
64	56.2	11	7.087628866
65	55.2	10	6.443298969
66	53.1	7.9	5.090206186
67	50.7	5.5	3.543814433
68	48.4	3.2	2.06185567
69	48	2.8	1.804123711
70	46.2	1	0.644329897
71	45.2	0	0

ตารางภาคผนวก ข-5 แสดงค่าความชื้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่กำลังงานไมโครเวฟ 200 วัตต์

ประวัติผู้จัดทำ

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย ชนัตพล จินตปัญญา

วัน เดือน ปี เกิด : 9 มกราคม พ.ศ. 2532

ที่อยู่ปัจจุบัน : 266 ถนนศรีธรรมไตรปิฎก ตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก 65000

ประวัติการศึกษา

2553 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2549 : มัธยมศึกษา โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย จังหวัดพิษณุโลก

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย ชัยยุทธ ปานหอม

วัน เดือน ปี เกิด : 18 พฤษภาคม พ.ศ. 2531

ที่อยู่ปัจจุบัน : 99/2038 ตำบลสะเดียง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ 67000

ประวัติการศึกษา

2553 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2549 : มัธยมศึกษา โรงเรียนเพชรพิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์

ชื่อ – ชื่อสกุล : นาย สถาวร รัตนพันธ์

วัน เดือน ปี เกิด : 11 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2532

ที่อยู่ปัจจุบัน : 68 หมู่ 4 ตำบลทุ่งเสลี่ยม อำเภอทุ่งเสลี่ยม จังหวัดสุโขทัย 64150

ประวัติการศึกษา

2553 : วศ.บ.(วิศวกรรมเครื่องกล) มหาวิทยาลัยนเรศวร

2549 : มัธยมศึกษา โรงเรียนสวรรค์อนันต์วิทยา จังหวัดสุโขทัย