สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งสับปะรดภูแลด้วยเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต้นแบบ

Optimal drying condition for 'Phulae' pineapple using the prototype of microwave assisted hot air dryer

ณัฐพล ภูมิสะอาด [1]*, ละมุล วิเศษ[2], พันธ์สิริ สุทธิลักษณ์[3] และสุทธิวัลย์ สีทา[3]

[1] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร [2] หน่วยวิจัยเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวและเครื่องจักรกลเกษตร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150
[3] สำนักวิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ตำบลท่าสุด อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57100
*ติดต่อ: nattapol.p@msu.ac.th, Tel and Fax 043-754316

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสำหรับใช้ปรับปรุงกระบวนการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูแล เครื่องประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ มี ความกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 เซนติเมตร จำนวน 3 ห้อง เชื่อมต่อกันตามแนวนอน และใช้ไมโครเวฟกำเนิดจาก แมกนิตรอนที่มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อห้อง มีพัดลมขนาด 1.5 กิโลวัตต์ และฮีทเตอร์ 9 กิโลวัตต์ ในการอุ่นลมร้อน ศึกษาหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสม จนกระทั่งปริมาณความชื้นต่ำกว่า 12 เปอร์เซ็นต์หรือมีค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (a_w) เท่ากับ 0.6 ในการทดลองใช้สับปะรดภูแลที่ปอกเปลือกและเลาะตาแล้ว หั่นตามแนวขวางมีความหนาประมาณ 0.8 เซนติเมตร นำมาวางเรียงในชั้นใส่ตัวอย่าง ซึ่งจุได้ประมาณ 5 กิโลกรัมน้ำหนักผลสดต่อห้อง สภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด คือ ใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีช่วงการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นลดอุณหภูมิลมร้อนลงเป็น 45 องศาเซลเซียส อบต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดแมกนิตรอนและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบแห้งต่อจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า aw น้อยกว่า 0.6 หรือมีค่าความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 7 ชั่วโมง

คำหลัก: สับปะรดภูแล; ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน; แมกนิตรอน

Abstract

This research is to design and construct a microwave assisted hot air dryer for improving the drying process of 'Phulae' pineapple. The dryer consists of three chambers with a dimension of 60 (L) x 60 (W) x 60 (H) cm which is horizontal connected and two of 1000 W magnetrons were used to generate microwave in each chamber. The fan of 1.5 kW and electrical heater of 9 kW were used for the circulating and heating air. The drying conditions were performed to find the optimal condition until the dehydrated product was less than 12% moisture content and 0.6 aw. 'Phulae' pineapple was peeled, cut into approximately 0.80 cm thick and laid on the stainless steel rack (approximately 5 kg fresh per chamber). The optimal drying condition was started from combination of 4 hours microwave (4 min on

- 2 min off magnetron) with 2 hours of 70°C hot air followed by 45°C for 2 hours. After drying time reached 4 hours, magnetrons were turned off and only 60°C hot air was continued for drying until the a_w of sample was about 0.6 or %moisture content less than 12. Total drying time achieved within about 7 hours.

Keywords: Phulae pineapple; microwave hot air combination; magnetron

1. บทนำ

สับปะรดพันธุ์ภูแล เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญ และนับเป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ของจังหวัดเชียงราย (Geographical Indication: GI) [1] จัดเป็นสับปะรดในกลุ่ม Queen เช่นเดียวกับพันธุ์ภูเก็ต ปัจจุบันมีการนำสับปะรดพันธ์ภูแลมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ไอศกรีมสับปะรด สับปะรดอบแห้ง เป็นต้น เพื่อลดปัญหาผลผลิตล้นตลาดในบางฤดูกาล และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปสับปะรดพันธุ์ภูแลผลสดมีราคากิโลกรัมละ 20-35 บาท หากนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้งจะมีราคาเพิ่มถึง 600 - 900 บาท โดยการแปรรูปจากวัตถุดิบ 5 กิโลกรัม จะได้สับปะรดภูแลอบแห้ง ประมาณ 1 กิโลกรัม อย่างไรก็ตามในบางฤดูกาลผลผลิตมีมากเกินความต้องการของตลาด ส่งผลราคาลดลงเป็นกิโลกรัมละ 10-15 บาท ทั้งยังเกิดปัญหาการกระจายผลผลิตไม่ทัน ทำให้เกิดการเน่าเสีย เกษตรกรจึงจำเป็นต้องนำมาแปรรูปเพื่อลดการสูญเสียและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสับปะรดผลสด โดยส่วนใหญ่นิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สับปะรดภูแลอบแห้ง เนื่องจากมีลักษณะปรากฏที่โดดเด่นและมีเอกลักษณ์ จึงเหมาะแก่การซื้อเป็นของฝาก ปัจจุบันการแปรรูปสับปะรดภูแลอบแห้งยังเป็นการผลิตในระดับครัวเรือน โดยการตากแดดหรือใช้โรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีข้อจำกัด เช่น ความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ ความเข้มของแสง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เป็นต้น หรือการใช้เครื่องอบลมร้อน ซึ่งต้องใช้อุณหภูมิต่ำ ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส [2] ในการอบแห้งเพื่อให้สีของสับปะรดดูน่ารับประทาน ส่งผลให้ทำให้ต้องใช้ระยะเวลานานในการทำแห้งไม่ต่ำกว่า 48 ชั่วโมง และต้นทุนสำหรับเครื่องอบแห้งลมร้อนค่อนข้างสูงอีกด้วย

ในปัจจุบันมีการพัฒนาการอบแห้งโดยการนำเทคนิคไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมาใช้ในการแปรรูปผลิตผลเกษตรที่หลากหลาย เพื่อลดระยะเวลาการอบแห้งและคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เช่น แอปเปิล ฟักทอง มันฝรั่ง แมคคาเดเมีย และลำไย เป็นต้น [3][4][5][6][7] ซึ่งปัจจัยที่จะส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง เช่น ความชื้นและลักษณะทางกายภาพของวัตถุดิบ อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม การกระจายตัวของความร้อน เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต้นแบบสำหรับใช้ปรับปรุงกระบวนการแปรรูปสับปะรดพันธุ์ภูแล และได้ทดสอบหาสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งที่เหมาะสม

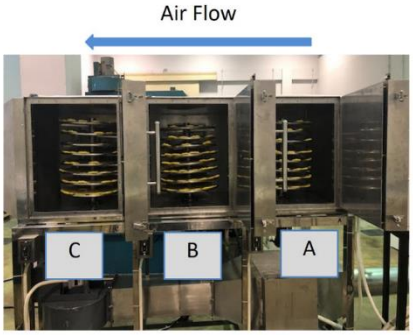
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วยห้องอบทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์โดยใช้ สแตนเลสเป็นผนังและมีการหุ้มฉนวนที่ผนัง มีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 60 x 60 x 60 เซนติเมตร จำนวน 3 ห้อง เชื่อมต่อกันตามแนวนอน (รูปที่ 1) มีตะแกรงกันการกระจายของคลื่นในแต่ละห้อง และใช้ไมโครเวฟกำเนิดจากแมกนิตรอนที่มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ตัวต่อห้อง ภายในห้องอบมีชั้นสำหรับใส่

ตัวอย่างลักษณะเป็นจานหมุน จำนวน 8 ชั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 เซนติเมตร โครงสร้างชั้นวางตัวอย่างทำจากสแตนเลส โดยออกแบบให้ใช้งานกับไมโครเวฟได้ สามารถหมุน และถอดประกอบได้ดังแสดงใน รูปที่ 2 โดยสามารถใส่ตัวอย่างสับปะรดสดเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลกรัมต่อห้อง เท่ากับปริมาณวัตถุดิบรวม 15 กิโลกรัมต่อการอบแห้ง 1 ครั้ง

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสับปะรดพันธุ์ภูแลด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



รูปที่ 2 ห้องอบแห้งและการใส่ผลิตภัณฑ์ในห้องอบแห้ง

2.2. วิธีการทดลอง

สับปะรดภูแลที่เก็บเกี่ยวจากจังหวัดเชียงราย นำมาปอกเปลือก นำตาออก แล้วหั่นเป็นแว่นกลม ให้มีความหนาประมาณ 0.8 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6-8 เซนติเมตร แล้วนำมาวางใส่ถาดโดยไม่ซ้อนกัน ทำให้สามารถวางผลิตภัณฑ์ได้ประมาณชั้นละ 600-800 กรัม หรือห้องละประมาณ 5 kg/ห้องอบแห้ง หรือ 15 kg/กะ

ในการทดลองอบแห้ง ความเร็วรอบของถาดหมุนควบคุมที่ 5 รอบต่อนาที ความเร็วของลมร้อนที่ผ่านห้องอบแห้ง 5 เมตรต่อวินาที ในการศึกษาวิจัยนี้จะได้ทำการทดลองจำนวน 3 การทดลอง เพื่อหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมที่สุด โดยมีรายละเอียดของการเปิดปิดแมกนิตรอน อุณหภูมิลมร้อน และระยะเวลาการอบแห้งดังแสดงในตารางที่ 1 โดยการปรับเปลี่ยนสภาวะการอบแห้งจะใช้ผลการทดลองที่ผ่านมาเป็นข้อมูลในการเปลี่ยนสภาวะการอบแห้งในการทดลองถัดมา โดยสามารถสรุปเงื่อนไขการทดลองได้ดังแสดงใน ตารางที่ 1

2.3 การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าอันได้แก่ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในอุปกรณ์ทางไฟฟ้า และระยะเวลาในการทำงาน ถูกนำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ โดยแยกเป็นการใช้พลังงานของพัดลม ฮีตเตอร์ไฟฟ้า และไมโครเวฟ เพื่อหาพลังงานที่ใช้รวมในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

การทดลองที่	การเปิด-ปิดแมกนิตรอน (นาที)	กำลังไมโครเวฟ (W)	อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้ในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้ง (องศาเซลเซียส)								
			ชม.ที่ 1	ชม. ที่ 2	ชม. ที่ 3	ชม. ที่ 4	ชม. ที่ 5	ชม. ที่ 6	ชม. ที่ 7	ชม. ที่ 8	ชม. ที่ 9
1	4 - 2	1,333	60	60	60	60	60	60	60		
2	2 - 2	1,000	60	60	60	60	60	60	60	60	60
3	4 - 2	1,333	70	70	45	45	60	60	60	-	-

หมายเหตุ

ในช่องตารางสีทึบ ▒ หมายถึง มีการใช้ไมโครเวฟ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองที่ 1

จากผลการทดลองเบื้องต้นในเครื่องอบแห้งระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้สับปะรด 2 kg/กะ พบว่าใช้กำลังไมโครเวฟ 400 W อุณหภูมิลมร้อน 60 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 6 ชั่วโมง จากข้อมูลขั้นต้นดังกล่าว จึงได้กำหนดเงื่อนไขการทำงานของเครื่องอบแห้งต้นแบบการทดลองที่ 1 โดยใช้อุณหภูมิลมร้อน 60°C และกำลังงานของไมโครเวฟในแต่ละห้องประมาณ 1,333 W (วงรอบการทำงานโดยเปิด 4 นาที ปิด 2 นาที) พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นสับปะรดจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 83 % ฐานเปียก ให้เหลือความชื้นเฉลี่ยต่ำกว่า 18 % ฐานเปียก ซึ่งเมื่อนำไปวัด a_w พบว่าต่ำกว่า 0.75 อย่างไรก็ตามพบว่าผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีรอยไหม้เป็นสีดำบางส่วนของชิ้นสับปะรด โดยเฉพาะบริเวณแกนกลางของชิ้นสับปะรด ดังแสดงในรูปที่ 3 ทั้งนี้เป็นผลจากอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงเกินไป

รูปที่ 3 ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งตามการทดลองที่ 1

3.2 ผลการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองที่ 1 เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิหลังการอบแห้งไม่ให้สูงเกินไป จึงได้ทดลองลดกำลังไมโครเวฟแต่ละห้องเหลือ 1000 W (วงรอบการทำงานโดยเปิด 2 นาที ปิด 2 นาที) อุณหภูมิลมร้อน 60°C โดยเปิดไมโครเวฟในช่วง 6 ชั่วโมงแรก และ หลังจากนั้นใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียวจนครบอีก 3 ชั่วโมง พบว่าสามารถอบแห้งได้ เหลือความชื้นต่ำกว่า 18% ฐานเปียก ได้ โดยคุณภาพทางกายภาพของสับปะรดหลังการอบแห้งอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม การใช้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานถึง 9 ชั่วโมง อาจไม่เหมาะสมในการทำงานในสถานประกอบการ

3.3 ผลการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 3 มีเป้าหมายที่ต้องการลดระยะเวลาในการอบแห้งให้ลดลงน้อยกว่า 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงออกแบบการทดลองให้ใช้กำลังไมโครเวฟ ในแต่ละห้องประมาณ 1,333 W (วงรอบการทำงานโดยเปิด 4 นาที ปิด 2 นาที) ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิลงเป็น 45 °C อีก 2 ชั่วโมง จากนั้นปิดแมกนิตรอนแล้วใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ การลดอุณหภูมิของลมร้อนลงเมื่อเข้าสู่ชั่วโมงที่ 3 ของการอบแห้งเพื่อลดการเกิดรอยไหม้บนผิวของตัวอย่าง ซึ่งรอยไหม้อาจเกิดจากการสะสมความร้อนภายในชิ้นสับปะรด และการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟไม่สม่ำเสมอ เมื่ออบแห้งต่อไปจนครบ 4 ชั่วโมง จึงปิดไมโครเวฟ แล้วใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว ได้ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นดังแสดงในตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าสับปะรดในแต่ละห้องแห้งไม่พร้อมกัน ดังนั้นจึงต้องนำผลิตภัณฑ์ห้อง B ออกจากเครื่องอบแห้งในชั่วโมงที่ 6 ตามด้วยห้อง A และห้อง C ในชั่วโมงที่ 7 จากการออกแบบเครื่องอบแห้งที่แบ่งห้องอบแห้งออกเป็น 3 ห้อง ตามทิศทางการไหลของอากาศทำให้ ห้อง B ได้รับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟจากห้องที่ A และ C ทำให้สับปะรดแห้งก่อนห้องอื่น ๆ และเมื่อพิจารณาความชื้นสุดท้ายในห้อง A และ C พบว่าห้อง C มีความชื้นที่ต่ำกว่าห้อง A ทั้งเนื่องจากอากาศที่เข้าสู่ห้อง C มีอุณหภูมิที่สูงกว่าห้อง A เนื่องจากมีการอุ่นอากาศด้วยไมโครเวฟ จากห้อง A และ B

ตารางที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ภูแลในระหว่างการอบแห้ง

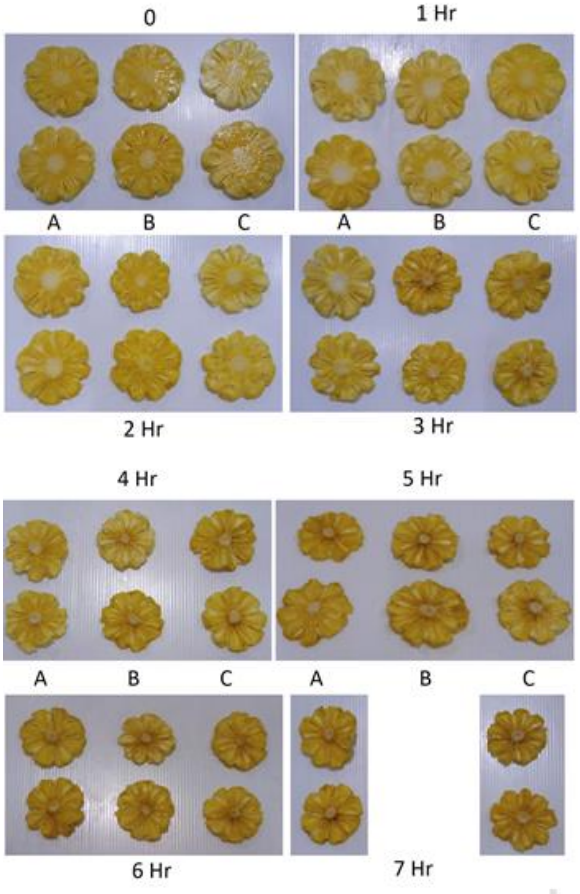
ระยะเวลา (ชั่วโมงที่)	ปริมาณความชื้น (% ฐานเปียก)		
	ห้อง A	ห้อง B	ห้อง C
0	83.79±0.55	83.79±0.55	83.79±0.55
1	80.91±0.50	78.87±0.42	76.27±1.27
2	60.55±0.28	48.13±1.10	62.60 ±1.83
3	61.85±1.16	29.20±0.72	48.85±0.69
4	33.19±0.50	15.65±0.31	22.43±0.61
5	25.29±1.14	12.65±0.25	17.94±0.07
6	23.39±1.34	12.89±0.09	14.30±0.24
7	15.85±0.26	-	12.84±0.22

ตารางที่ -3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระของตัวอย่างสับปะรดพันธุ์ภูแลในระหว่างการอบแห้ง

ระยะเวลา (ชั่วโมงที่)	ปริมาณน้ำอิสระ (a_w)		
	ห้อง A	ห้อง B	ห้อง C
0	0.99±0.01	0.99±0.01	0.99±0.01
1	0.99±0.00	0.99±0.00	0.98±0.00
2	0.96±0.00	0.93±0.00	0.96±0.00
3	0.96±0.00	0.79±0.01	0.93±0.01
4	0.82±0.01	0.54±0.00	0.68±0.00
5	0.74±0.00	0.47±0.00	0.60±0.00
6	0.69±0.01	0.47±0.00	0.50±0.00
7	0.56±0.01	-	0.49±0.00

ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำอิสระระหว่างการอบแห้ง เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำอิสระที่มีความเหมาะสมในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ต้องมีค่าน้อยกว่า 0.6 สับปะรดอบแห้งต้องอบแห้งไม่น้อยกว่า 7 ชั่วโมงจึงจะมีค่าต่ำกว่า 0.6 อย่างไรก็ตามในห้องที่ 2 มีปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 ตั้งแต่ชั่วโมงที่ 4 ผลของปริมาณน้ำอิสระนี้ สอดคล้องกับผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้น ซึ่งเมื่อความชื้นลดลงปริมาณน้ำอิสระก็จะลดลง

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของสับปะรดระหว่างการอบแห้งดังรูป พบว่าสับปะรดมีการหดตัวสีของสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงเหลืองเข้ม แต่ไม่พบการไหม้บนผลิตภัณฑ์ คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้



รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์ระหว่างการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองที่ 3

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง

การทดลองที่	พลังงานที่ใช้ (kWh)			
	พัดลม	ฮีตเตอร์	ไมโครเวฟ	รวม
1	2.63	54.61	9.33	66.57
2	3.75	78.01	8.00	89.76
3	2.63	42.91	5.33	50.86

3.3 การวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละอุปกรณ์

เมื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 60-85 % ถูกใช้ในการอุ่นอากาศมากที่สุด การใช้กำลังไมโครเวฟที่สูงมีส่วนช่วยลดพลังงานโดยรวมลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าการใช้กำลังงานไมโครเวฟที่ต่ำ อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิลมร้อนที่สูงในช่วงแรกของการอบแห้ง รวมถึงการใช้ลมร้อนเป่าผลิตภัณฑ์เพียงอย่างเดียวในช่วงท้ายของการอบแห้งสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ ดังเงื่อนไขการทดลองที่ 3 ซึ่งใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด

4. สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบหาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งสับปะรดภูแล ด้วยเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนต้นแบบ กำลังการผลิต 15 kg/batch โดยพิจารณาจากระยะเวลาในการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง พบว่า สภาวะการอบแห้งที่ดีที่สุด คือ ใช้ไมโครเวฟเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยมีช่วงการเปิด-ปิดแมกนิตรอน 4 และ 2 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในช่วง 2 ชั่วโมงแรกของการอบแห้ง จากนั้นลดอุณหภูมิลมร้อนลงเป็น 45 องศาเซลเซียส อบต่อเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงปิดแมกนิตรอนและเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเป็น 60 องศาเซลเซียส อบแห้งต่อจนกระทั่งผลิตภัณฑ์มีค่า a_w น้อยกว่า 0.6 หรือมีค่าความชื้นน้อยกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมด 7 ชั่วโมง

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ชุดโครงการ “การพัฒนาอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อม” ปีงบประมาณ 2560

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักบริหารการค้าสินค้าทั่วไป กลุ่มสินค้าเกษตร. 2554. สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด. เว็บไซต์ http://www.dft.go.th/Portals/0/Content Management/Document_Mod684/สับปะรดและผลิตภัณฑ์สับปะรด%20%2054w9i,kl4@25550524-0950052675.pdf เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2559.

[2] แปรรูปสับปะรดภูแลเพิ่มรายได้. 2016. http://prokaset.com/แปรรูปสับปะรดภูแลเพิ่มรายได้.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 มิถุนายน 2561

[3] Silva F.A. et al., 2006. Microwave assisted drying of macadamia nuts. *Journal of Food Engineering*, 77: 550–558.

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

[5] Pereira, N.R., Marsaioli, J. A. and Ahrne, L. M. 2007. Effect of microwave power, air velocity and temperature on the final drying of osmotically dehydrated bananas. *Journal of Food Engineering*, 81: 79-87.

[6] Varith, J., Dijkanarukkul, P., Achariyaviriya, A. and Achariyaviriya, S. 2007. Combined

microwave-hot air drying of Thermodynamic model of meat drying by infrared thermography. *Journal of Food Engineering*, 128:103-110.

[7] Li, Z., Raghavan, G.S.V. and Orsat, V. 2010. Temperature and power control in microwave drying. *Journal of Food Engineering,* 97: 478–483