Agricultural Sci. J. 41 : 1 (Suppl.) : 528-531 (2010) ว. วิทย. กษ. 41 : 1 (พิเศษ) : 528-531 (2553)

การอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนร่วมกับอินฟราเรดไกล

Herb Drying Using Hot Air Combined with Far Infrared

กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์[1], วทัญญู รอดประพัฒน์[1], ศรีมา แจ้คำ, สุชาติ พินงรัมย์[2] และ คมเพชร พร้อมสุข[2]
Kittisak Witinantakit[1], Wathanyoo Rordprapat[1], Srima Jaekhum[1], Suchat Prinongrum[2] and Komphet Promsuk[2]

Abstract

The aim of this research is to study herb drying by hot air combined with far infrared radiation. The dryer is equipped with a 0.25-hp fan motor, a 1-kW heater and an infrared plate. Ginger and galangal with initial moisture contents of 521-600% dry basis (d.b.) and 323-393% d.b., respectively were dried to the final moisture content of 10% d.b. The drying temperature and the setting temperature of far-infrared plate were in the range of 45-65°C and fixed hot air velocity of 1.7 m/s. The experimental results showed that drying period could be shorten by increasing drying temperature and the setting temperature of far-infrared. To reduce moisture of the herbs to a certain value, hot air drying required longer time than combined infrared and hot air drying. The optimum temperatures of hot air and far infrared plate for drying ginger was 65°C and 55°C, respectively and temperatures of hot air and far infrared plate for drying galangal was 65°C. It took 70 minutes and 45 minutes for drying ginger and galangal, respectively. At such conditions, colors of dried ginger and galangal were similar to the fresh samples and their water activities were in the range of 0.51-0.64 and 0.51-0.63, respectively.

Key word: ginger, galangal, infrared, quality

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการอบแห้งสมุนไพรแบบลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เครื่องอบแห้งประกอบด้วยมอเตอร์ขับพัดลม 0.25 แรงม้า และอุปกรณ์ให้ความร้อนและแท่งรังสีอินฟราเรดขนาด 1 กิโลวัตต์ โดยอบแห้งขิงและข่าจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 521-600 และ 323-393 มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ที่อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 45-65 องศาเซลเซียส และความเร็วลมร้อน 1.7 เมตรต่อวินาที จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่สูงขึ้นสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ และการอบแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาเงื่อนไขที่ดีที่สุด พบว่า การอบแห้งขิงที่อุณหภูมิลมร้อน 65 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรด 55 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 70 นาที และการอบแห้งข่าที่อุณหภูมิลมร้อน 65 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรด 65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้ง 45 นาที การอบแห้งทั้งสองสภาวะมีคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับขิงและข่าสดมากที่สุด ส่วนปริมาณน้ำอิสระของขิงและข่าแห้งมีค่าประมาณ 0.51-0.64 และ 0.51-0.63 ตามลำดับ

คำสำคัญ ขิง, ข่า, คุณภาพ, อินฟราเรด

คำนำ

การอบแห้งโดยทั่วไปใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งซึ่งสามารถอบแห้งได้เร็วกว่าวิธีการตากแดด และผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งมีความสะอาดไม่มีฝุ่นละอองปนเปื้อน การใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากรังสีอินฟราเรดสามารถทะลุทะลวงเข้าไปภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายใน ส่งผลให้ความชื้นภายในเนื้อผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ออกมาที่ผิวได้เร็วยิ่งขึ้น (Sandu, 1986) และสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ (ศรีมา และคณะ, 2547; Afzal and Abe, 1997) อีกทั้งการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีไม่มากนัก (Tan, et al., 2001) ในปัจจุบันสมุนไพรไทยได้รับความนิยมจากผู้บริโภคค่อนข้างมากเนื่องจากมี

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน, 2สาขาวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยวและแปรสภาพ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี 20110
[1] Department of Energy Technology, 2Post Harvest and Processing Engineering, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok, Chonburi, 20110

สรรพคุณรักษาโรคได้อีกทั้งยังเป็นยาอายุวัฒนะด้วย เช่น ขิง (ginger) และข่า (galangal) นับเป็นพืชสมุนไพรที่น่าสนใจเพราะมีประโยชน์ค่อนข้างมาก มีสรรพคุณด้านการรักษาโรคต่างๆ ได้ เช่น ท้องอืด ท้องเฟ้อ คลื่นไส้ อาเจียน เป็นต้น จึงเป็นสมุนไพรที่ตลาดมีความต้องการค่อนข้างมาก การแปรรูปสมุนไพรนอกจากช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแล้วยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าทางการเกษตรอีกด้วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งสมุนไพรที่อบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิลมร้อนและอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุแตกต่างกัน และคุณภาพของสมุนไพรที่ศึกษา ได้แก่ สี และปริมาณน้ำอิสระ และเปรียบเทียบคุณภาพของขิงและข่าแห้งกับวิธีการตากแดด

อุปกรณ์และวิธีการ

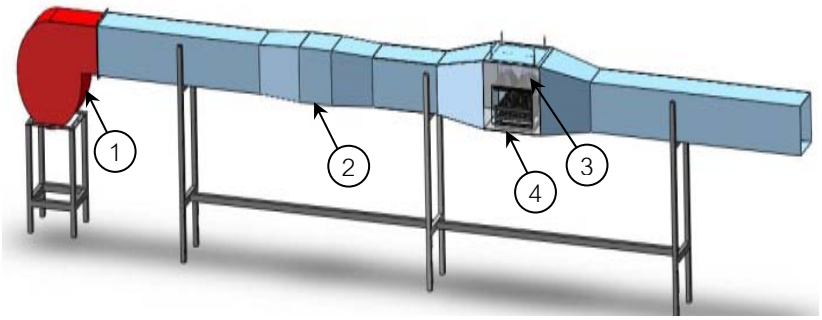

Figure 1 Schematic diagram of hot air dryer (1) Blower (2) heater (3) Infrared heater (4) Drying chamber

เครื่องอบแห้งลมร้อน ที่ใช้ในการทดลอง (Figure 1) ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักคือ 1) พัดลม (Blower) ขนาด 0.25 แรงม้า 2) อุปกรณ์ให้ความร้อน (heater) ขนาด 1 กิโลวัตต์ 3) แท่งอินฟราเรด (Infrared heater) ขนาด 1 กิโลวัตต์ ควบคุมอุณหภูมิด้วยเครื่องควบคุมแบบ PID มีค่าความถูกต้อง ±0.1°ซ

วัสดุ ขิงและข่าที่ใช้ในการทดลอง คือพันธุ์ขิงเล็ก และพันธุ์ข่าหยวก มีอายุเก็บเกี่ยวประมาณ 1 ปี

การเตรียมวัสดุ ขูดผิวขิงและข่า แล้วนำมาหั่นให้มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x3x0.2 เซนติเมตร

การอบแห้ง เดินเครื่องอบแห้งที่ความเร็วลมร้อน 1.7 เมตรต่อวินาที และระยะห่างระหว่างแท่งรังสีอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ 15 เซนติเมตร โดยตั้งอุณหภูมิลมร้อน 45, 55 และ 65°ซ และอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 45, 55 และ 65°ซ จากนั้นนำวัสดุใส่ถาดประมาณ 100 กรัม แล้วนำเข้าห้องอบแห้งพร้อมทั้งเสียบสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับผลิตภัณฑ์เพื่อวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายสายอีกด้านหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger รุ่น Testto 177 T4 ความละเอียด ±0.2% ของค่าที่อ่านได้) บันทึกข้อมูลอุณหภูมิทุกๆ 1 นาที และชั่งน้ำหนักขณะอบแห้งโดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล Mettler Toledo รุ่น PL 3002 (อ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม) จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ต้องการ นำไปทดสอบคุณภาพด้านสี และปริมารณน้ำอิสระต่อไป

การทดสอบคุณภาพด้านสี ทดสอบจำนวน 12 ครั้ง โดยใช้เครื่องวัดสี Konica Minolta รุ่น CM–3500d ความละเอียด ±0.01 แสดงค่าที่วัดได้เป็นสีเขียวหรือแดง (a) ค่าสีน้ำเงินหรือเหลือง (b) และค่าความสว่าง (L)

การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ ทดสอบจำนวน 5 ครั้ง โดยใช้เครื่องมือวัดปริมาณน้ำอิสระ Aqua lab รุ่น Model series 3 TE ความละเอียด ±0.01

ผล

ผลของตัวกลางต่ออัตราการอบแห้งของขิงและข่า การอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อนสูงสามารถลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิต่ำ (Figure 1) และรังสีอินฟราเรดช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งให้สูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว (Figure 2)

คุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำอิสระของขิงและข่าแห้ง สีของขิงและข่าอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับขิงและข่าสดมากกว่าวิธีการตากแดด การอบแห้งขิงและข่าที่อุณหภูมิลมร้อนสูงขึ้นมีแนวโน้มให้ค่าความสว่างมากขึ้น ขณะที่อุณหภูมิลมร้อน 55°ซ ให้ค่าความเป็นสีเหลืองของขิงมากที่สุด ส่วนปริมาณน้ำอิสระของขิงและข่าอบแห้งมีค่าได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน (Table 1)

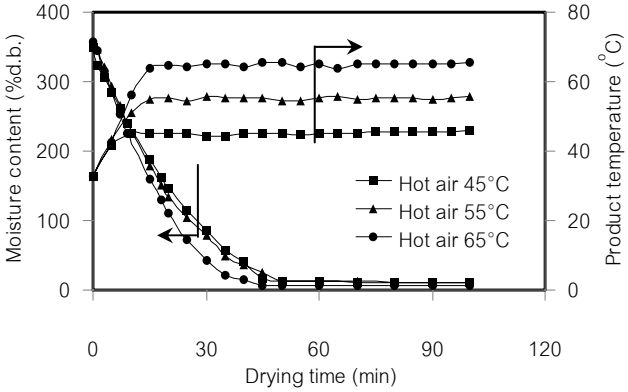

Figure 2 Moisture and product temperature change of galangal at infrared setting temperature of 65°C

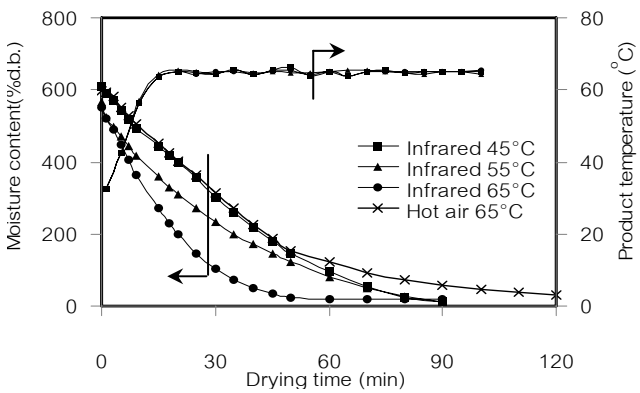

Figure 3 Moisture and product temperature change of ginger at hot air temperature of 65°C

Table1 Value of Color and water activity of dried ginger and galangal

Infrared set. temp. (°C)	Hot air temp. (°C)	Ginger					Galangal				
		M_f (%d.b.)	Color values L	a	b	Water activity	M_f (%d.b.)	Color values L	a	b	Water activity
Fresh		600	71.63±3.86 ab	2.05±1.12 a	20.42±2.87 b	N/A	420	80.0 ± 4.21 a	2.52±0.23 ab	22.85±1.70 b	N/A
Sun drying		6.67	56.06±4.33 d	-0.86±1.60 b	-2.07±1.04 e	0.64±0.06 d	6.78	59.64±5.58 d	0.65±1.62 c	-1.58±0.63 e	0.63±0.06 a
	45	4.43	68.29±2.54 c	2.63±0.40 a	13.74±1.48 d	0.57±0.14 ab	7.11	75.24± 6.14 bc	2.09±0.41 b	12.18±1.66 d	0.60±0.08 ab
45	55	4.74	70.58±2.10 c	2.50±0.47 a	14.53±0.89 cd	0.53±0.02 b	5.51	78.74± 5.68 ab	2.14±0.25 b	14.76±1.33 c	0.54±0.05 ab
	65	4.13	69.72±1.72 c	2.68±0.91 a	14.92±2.40 cd	0.53±0.07 b	6.16	73.90± 4.72 c	2.55±0.40 ab	22.51±2.17 b	0.51±0.08 b
	45	4.26	69.20±2.30 bc	1.89±0.82 a	22.32±1.89 b	0.54±0.07 b	6.45	75.45± 3.0 bc	2.21±0.47 ab	15.31±2.57 c	0.58±0.06 ab
55	55	4.43	71.54±5.86 ab	2.25±1.32 a	24.05±1.72 a	0.55±0.04 ab	7.40	80.0 ± 5.30 a	2.68±0.51 ab	23.25±3.07 ab	0.54±0.04 ab
	65	4.57	70.78±1.94 abc	1.90±0.90 a	23.96±2.40 a	0.53±0.04 b	8.02	80.41±5.62 a	2.70±0.44 a	23.54±1.50 ab	0.60±0.04 ab
	45	6.19	72.65±2.69 a	2.43±0.34 a	14.64±1.13 cd	0.52±0.03 c	7.63	78.64±5.23 b	2.5±0.45 ab	22.37±3.30 b	0.57±0.08 ab
65	55	6.87	72.79±2.68 a	2.35±0.54 a	15.18±1.26 cd	0.53±0.06 c	8.06	81.46±4.50 a	2.51±0.23 ab	23.95±1.70 ab	0.53±0.09 ab
	65	6.14	71.11±2.55 abc	2.72±0.92 a	15.45±1.89 c	0.51±0.07 c	7.65	81.11±5.02 a	2.43±0.30 ab	24.60±2.07 a	0.52±0.04 b

a,b,c,d,e Means in the same column with different superscripts are significantly different ($p<0.05$)

วิจารณ์

การอบแห้งขิงและข่าที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุและอุณหภูมิลมร้อนแตกต่างกัน พบว่าอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิลมร้อน 65°ซ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิลมร้อน 55 และ 45°ซ (Figure 2) เนื่องจากอุณหภูมิลมร้อน 65°ซ มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวัสดุและอุณหภูมิลมร้อนมากกว่า ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสูงกว่า ในช่วงเริ่มต้นของการอบแห้งเป็นการอบแห้งคงที่ เนื่องจากบริเวณผิวนอกของวัสดุมีความชื้นอยู่เป็นจำนวนมาก การถ่ายเทมวลระหว่างขิงกับลมร้อนเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เมื่อน้ำที่ผิวของวัสดุลดน้อยลงการถ่ายเทความชื้นภายในเนื้อวัสดุมายังผิวช้ากว่าการระเหยของน้ำจากผิวไปยังลมร้อน ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง สำหรับอุณหภูมิในเนื้อวัสดุช่วงแรกอุณหภูมิในเนื้อวัสดุจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อนส่วนหนึ่งถูกใช้ไปในการระเหยน้ำที่ผิววัสดุ เมื่อความชื้นของวัสดุลดลงถึงระดับหนึ่งความร้อนส่วนใหญ่จึงถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่วัสดุ ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของลมร้อน อัตราการอบแห้งขิงมีแนวโน้มคล้ายกับการอบแห้งข่า แต่การอบแห้งข่าใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งขิง เนื่องจากข่ามีความชื้นเริ่มต้นน้อยกว่าขิง โดยการอบแห้งข่าที่อุณหภูมิลมร้อน 65°ซ และอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 65°ซ ใช้เวลาน้อยที่สุด ขณะที่อุณหภูมิลมร้อน 45°ซ และอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรด 45°ซ ใช้เวลาการอบแห้งนานที่สุด

เมื่อพิจารณาผลของรังสีอินฟราเรดต่ออัตราการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว (Afzal and Abe, 1997; Tan, et al., 2001) แสดงว่ารังสี

อินฟราเรดช่วยให้การถ่ายเทความร้อนและมวลสารมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำจากวัสดุสู่บรรยากาศมีค่ามากตามไปด้วย (Figure 3) ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำสูงขึ้นตามไปด้วยและอิทธิพลของอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดมีผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าลมร้อน แต่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ จะมีผลต่ออัตราการอบแห้งน้อยลงเมื่อลมร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้น การอบแห้งวัสดุที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 65°ซ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ณ อุณหภูมิลมร้อนค่าเดียวกัน ขณะที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ แต่อุณหภูมิของวัสดุจะเพิ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลของลมร้อนโดยอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกจนมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของลมร้อน อิทธิพลของอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุให้ผลการทดลองที่คล้ายกันในการอบแห้งขิงและข่า

จากการวิเคราะห์คุณภาพของขิงและข่าแห้ง พบว่า อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุและอุณหภูมิลมร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองมากกว่าความสว่างและค่าสีแดง การอบแห้งขิงที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรด 55°ซ และอุณหภูมิลมร้อน 45, 55 และ 65°ซ มีสีใกล้เคียงกับขิงสดมากกว่าเงื่อนไขอื่น แต่ที่อุณหภูมิลมร้อน 65°ซ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าดังนั้นอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 55°ซ และอุณหภูมิลมร้อน 65°ซ เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขิง โดยมีค่า L, a และ b เท่ากับ 70.78, 1.90 และ 23.96 ตามลำดับ สำหรับคุณภาพข่า พบว่า อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 65°ซ และอุณหภูมิลมร้อน 55°ซ มีคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับข่าสดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่น ๆ โดยมีค่า L, a และ b เท่ากับ 81.46, 2.51 และ 23.95 ตามลำดับ โดยขิงและข่าแห้งมีค่าปริมาณน้ำอิสระประมาณ 0.51-0.57 และ 0.51-0.60 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าขิงและข่าที่อบแห้งด้วยวิธีการตากแดด

สรุป

การอบแห้งขิงและข่าด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 521-600 และ 323-393 มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ ให้เหลือความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า การอบแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งสมุนไพรด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว และอิทธิพลของอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดมีผลต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าลมร้อน ซึ่งอัตราการอบแห้งขิงและข่าที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 65°ซ อุณหภูมิลมร้อน 65°ซ มีค่าสูงที่สุด โดยใช้เวลาในการอบแห้งเพียง 45 นาที แต่เมื่อพิจารณาด้านคุณภาพแล้ว พบว่า เงื่อนไขการอบแห้งขิงที่อุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 55°ซ และอุณหภูมิลมร้อน 65°ซ ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 65 นาที มีคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับขิงสดมากกว่าการตากแดด ส่วนปริมาณน้ำอิสระมีค่าประมาณ 0.53±0.04 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนการอบแห้งข่า พบว่า มีอัตราการอบแห้งคล้ายกับการอบแห้งขิง และที่เงื่อนไขอุณหภูมิควบคุมรังสีอินฟราเรดที่เนื้อวัสดุ 65°ซ และอุณหภูมิลมร้อน 65°ซ ใช้เวลาในการอบแห้ง 45 นาที มีคุณภาพด้านสีใกล้เคียงกับข่าสดมากกว่าการตากแดด ส่วนปริมาณน้ำอิสระมีค่าประมาณ 0.52±0.04 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้การสนับสนุนการวิจัยจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

ศรีมา แจ้คำ, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และอดิศักดิ์ นาถกรณกุล. 2547. การอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อมร่วมกับอินฟราเรดไกล. การประชุมวิชาการครั้งที่ 5. สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 26-27 เมษายน 2547. กรุงเทพฯ. หน้า 22-28.

Afzal, T.M. and T., Abe. 1997. Some Fundamental Attributes of Far Infrared Radiation Drying of Potato. Drying Technology. 17(1-2): 137-155.

Sandu, C. 1986. Infrared Radiative Drying in Food Engineering. A Process Analysis. Biotechnology Progress. 2: 109-119.

Tan, S.L. Chou, S.K. Mujumdar, A.S. and K.J., Chua. 2001. Convective and Intermittent Radiative Drying of Model Foods : Effect on Drying Kinetics and Colour Change. In ACD 2001. August 20-22. Malaysia. pp. 537-546.