

การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

Curcumin Drying by Heat Pump Dryer

นัตตราช แสนมีมา^{1*}, ณัฐพล ภูมิสะอาด², ละมุล วิเศษ²

Nattarat Seanmeema^{1*}, Nattapol Poomsa-ad², Lamul Wiset²

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในระดับห้องปฏิบัติการที่ใช้ระบบปรับอากาศของรถยนต์มาประยุกต์เป็นแหล่งความร้อน ห้องอบมีขนาด 0.6 x 0.6 x 0.8 ลูกบาศก์เมตร ใช้มอเตอร์ 3 แรงม้า เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งได้แก่ คือ อัตราการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากการทดสอบอบแห้งขมิ้นชันความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 525 - 565 มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง การอบแห้งใช้อุณหภูมิอากาศ 45 50 และ 55 °C ที่ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด 360 นาที และมีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงสุด คือ 0.014 kg water evap./kW-h สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 50 °C มีค่าอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน คือ 0.57 และ 0.55 kg water evap./h ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเป็น 2.257 MJ / kg water evap.

คำสำคัญ: อัตราการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

Abstract

This study aimed to evaluate the performance of a heat pump dryer in a laboratory using the air conditioning system of the vehicle applied as a heat source with a drying chamber of 0.6 x 0.6 x 0.8 m³ using motor 3 hp. The drying rate, the specific energy consumption and the specific rate of evaporation of water were used as criteria for performance assessment. The curcumin with the initial moisture content of about 525-565 % dry basis was dried down to the final moisture content of 10 % dry basis. The drying temperatures of 45, 50 and 55 °C were used with the air velocity of 0.5 m/s. Results found that the drying rate increased with the drying temperature. The drying at 55 °C took the fastest drying time for 360 min with the highest specific rate of evaporation of water of 0.014 kg water evap./kW-h. In addition, the drying temperature of 55 and 50 °C had the similar drying rate of 0.57 and 0.55 kg water evap. / h, respectively. Moreover, the drying at 45 °C had the lowest specific energy consumption of 2.257 MJ / kg water evap.

Keywords: Drying rate, specific moisture extraction rate, specific energy consumption

¹ นิสิตปริญญาโท,

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์,

³ อาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

¹ Master degree student,

² Asst.Prof.,

³ Lecturer, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

บทนำ

ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรนั้น การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูป โดยมีน้ำออกและให้ความร้อนแก่ผลผลิต ทำการระเหยน้ำที่มีอยู่ในผลผลิตให้ระเหยกลายเป็นไอ ออกไป ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในผลผลิต ความดันและอุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยน้ำกลายเป็นไอ ในกระบวนการอบแห้ง จะต้องใช้พลังงานความร้อนมากและในปัจจุบันราคาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางต่างๆ เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานให้สูงขึ้นโดยยังรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการอบแห้ง

จากการศึกษาของ ศิวะ และคณะ¹ เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของเครื่องอบแห้ง ลมร้อนที่ได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถดำเนินการอบแห้งวัสดุแบบระบบปิด สามารถอบแห้งวัสดุได้ที่อุณหภูมิความร้อน 40-55°C ด้วยความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่ต่ำ ไม่ต้องมีการระบายลมร้อนหลังการอบแห้งบางส่วนหรือทั้งหมดออกสู่ภายนอก ทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีทั้งสีและกลิ่น อีกทั้งยังใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในระดับห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งขมิ้นชัน

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ใช้ระบบปรับอากาศของรถยนต์มาประยุกต์เป็นแหล่งความร้อน ดังแสดงใน Figure 1 และ 2 โดยมีหลักการ คือ ระบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ในระบบปิด อากาศ ถูกทำให้ร้อนขึ้นหลังจากผ่านเครื่องควบแน่น (condenser) แล้วอากาศร้อนจะถูกดูดผ่านพัดลม (blower) เพื่อส่งต่อเข้าห้องอบแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ลมร้อนที่ไหลออกจากห้องอบแห้งมีอุณหภูมิลดลงแต่ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งจะนำกลับมาใช้ใหม่ โดยแบ่งอากาศออกเป็นสองส่วน (30% by pass air) อากาศส่วนแรกจะไหลเข้าเครื่องทำระเหยเพื่อลดปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ และอากาศส่วนที่สองจะไหลข้ามเครื่องระเหยไปผสมกับอากาศที่ออกจากเครื่องทำระเหยเพื่ออุ่นอากาศที่เครื่องควบแน่นหลังจากนั้นก็ผสมกับอากาศทั้งสองนี้ส่วนก่อนส่งไปเพิ่มอุณหภูมิโดยการไหลผ่านเครื่องควบแน่นก่อนส่งเข้าห้องอบแห้งซึ่งอากาศจะหมุนเวียนอยู่ในระบบ 2



Figure 1 Heat pump dryer

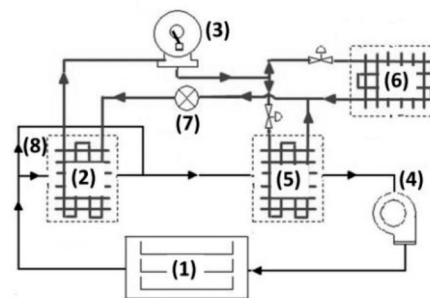


Figure 2 Diagram Heat pump drying system

- 1) Drying Chamber 2) Evaporator 3) Compressor 4) Blower
- 5) Internal condenser 6) External condenser 7) Expression valve
- 8) By pass air

การทดลอง

ขมิ้นชันจากตลาดในจังหวัดมหาสารคาม แยกเอาที่มีตำหนิออก จากนั้นนำมาหั่นตามขวางให้มีขนาดหนา 0.2 เซนติเมตร ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อหาความชื้นเริ่มต้น โดยใช้ตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง³ ซึ่งค่าที่ได้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง (% dry basis)⁴ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง มี 3 ระดับ คือ 45 50 และ 55 °C ทำการบันทึกน้ำหนักขมิ้นชันด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก (OHAUS รุ่น Explorer) ความละเอียด ± 0.001 กรัม เครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ DAQSTATION ค่าความละเอียด ±0.01°C ต่อกับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียกตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องอบแห้งทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากนั้นบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 – 10 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง ในวัดความเร็วลมของอากาศด้วยเครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ Testo รุ่น 474 ค่าความละเอียด ±0.01 เมตรต่อวินาที บันทึกปริมาณไฟฟ้ารวมซึ่งจ่ายให้กับเครื่องอัดไอและพัดลม ด้วยกิโลวัตต์ฮาวล์มิเตอร์วัดกำลังงานไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วย Clip-on-meter

การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนจะพิจารณาจาก⁵⁻⁶ ความสามารถในการอบแห้ง (Capacity of drying) โดยความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วยอัตราการอบแห้งวัสดุ (Drying rate, kg water evap./h)

$$\text{อัตราการอบแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง}} \quad (1)$$

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

$$\text{SEC} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}} \quad (2)$$

$$\text{SMER} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน} \\ = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ}}{\text{พลังงานไฟฟ้ารวม}} \end{aligned} \quad (4)$$

ผลการทดลอง และวิจารณ์

ความชื้น

ผลการทดลองอบขมิ้นชันหนักประมาณ 240 กรัม จากความชื้นเริ่มต้น ประมาณร้อยละ 525 - 565 มาตรฐานแห้ง ถึงร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง ที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางการอบแห้ง ความเร็วลมของตัวกลางการอบแห้ง 0.5 เมตรต่อวินาที ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาแสดงใน Figure 3.

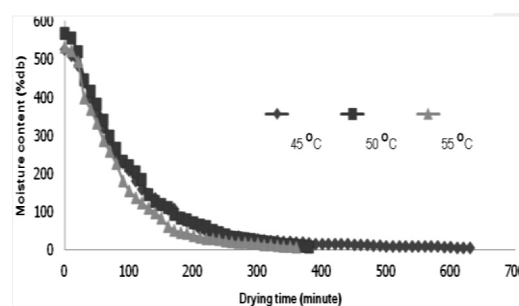


Figure 3 The relationship between moisture content and drying time at various drying temperatures

จาก Figure 3 พบว่าอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งพิจารณาจากรูป การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งสั้น กว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 45°C ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่อุณหภูมิสูงชันได้รับพลังงานความร้อนมากที่สุด ทำให้อัตราการระเหยน้ำที่ออกจากขมิ้นชันสูง

Table 1 Summary of the dried turmeric using air as the media at various drying temperatures.

Detail	drying temperatures (°C)		
	45	50	55
Time required for drying (min)	650	400	360
Moisture before drying (%dry basis)	525.54	567.31	532.04
Moisture after drying (%dry basis)	10.453	10.131	10.402
Mass before drying (g)	240.21	240.23	240.17
Mass after drying (g)	40.40	39.16	40.96
Water evaporated from the material (g)	199.81	201.07	199.31
Specific energy consumption (SEC, MJ/kg water evap.)	2.257	2.540	2.484
Average drying rate (kg water evap./h)	0.31	0.55	0.57
Specific moisture extraction rate (SMER, kg water evap./kW-h)	0.006	0.011	0.014
Energy is used for evaporation water (MJ)	0.451	0.511	0.495
Electrical energy (kW-h)	31.299	19.718	14.927
Energy efficiency (%)	0.40	0.75	0.98

อัตราการอบแห้ง

อัตราการอบแห้งกับเวลาในการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C การทดสอบอบแห้งขมิ้นชันหนักประมาณ 240 กรัม ที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 50 และ 55 °C โดยใช้อากาศร้อนตัวกลางอบแห้ง ความเร็วของตัวกลางอบแห้ง 0.5 เมตรต่อวินาที อัตราสัดส่วนอากาศข้ามส่วนทำระเหย 30 เปอร์เซนต์ การอบแห้งขมิ้นชันเหลือความชื้นสุดท้ายร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง แสดงดัง Figure 4

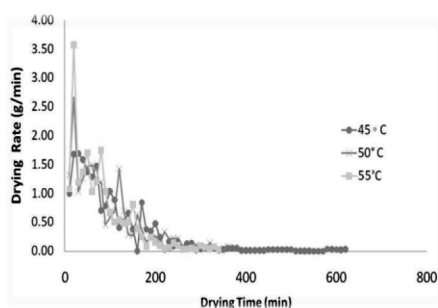


Figure 4 The relationship between drying rate and drying time at various drying temperatures

จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าสูงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C จะมีค่าสูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 45 °C อธิบายได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำในขมิ้นชันได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้น ก็จะมีพลังงานมากพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ ซึ่งทำให้น้ำเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว จึงทำให้อัตราอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว

อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ

จากการทดลองผลที่ได้แสดงในตาราง Table 1 พบว่าที่อุณหภูมิ 55 °C จะมีค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ สูงกว่าการอบแห้งที่ 50 และ 45 °C อธิบายได้จากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับขมิ้นชัน เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการระเหยน้ำได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากการทดลองผลที่ได้แสดงในตาราง Table 1 พบว่าที่อุณหภูมิ 55 °C มีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สูงกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 และ 45 °C อธิบายได้ว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางกับผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีอัตราการระเหยน้ำได้ดีกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้เร็วและใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้น ทำให้ใช้พลังงานประสิทธิภาพมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ

สรุปผล

การทดลองอบแห้งขมิ้นชัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพการอบแห้งที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 525 - 565 มาตรฐานแห้ง โดยใช้ขมิ้นชัน 240 กรัม อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 10 มาตรฐานแห้ง การอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 50 และ 55 °C ภายใต้ระบบปิดโดยใช้ อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด 360 นาที มีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงที่สุด และมีค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากที่สุด 0.98 %
2. การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 50 °C มีค่าอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน คือ 0.57 และ 0.55 kg water evap./h
3. การอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 45°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด 2.257 MJ / kg water evap.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ ต่างๆในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. อานนท์ สาดช้าง คีวะ อัจฉริยวิริยะ และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ.2549.การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้บีมความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเรื่องการถ่ายเทพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน (ครั้งที่ 5) , 6-7เมษายน โรงแรมโลตัส ปางสวนแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. หน้า154-169
2. คีวะ อัจฉริยวิริยะ และ เรวัณ คำวัน. อิทธิพลของอัตราการไหลของลมร้อนที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งบีมความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรีหน้า318-324
3. OAC. 1995. Official Method of Analysis, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists.
4. สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. 2540. การอบแห้งเมล็ดธัญพืช. พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
5. กลยุทธ์ ดีจิริง ณัฐพล ภูมิสะอาดและ ละมุล วิเศษ. การอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้งแบบบีมความร้อนภายใต้สภาพก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน. ว.

วิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 41 ฉบับที่ 1 (พิเศษ) มกราคม-
เมษายน 2553. หน้า 520-523

6. ฐานิตย์ เมธิยานนท์. การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน
ในระดับอุตสาหกรรม.วิทยานิพนธ์วศ.ม. กรุงเทพฯ:
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541.
7. สุณีพร พรหมดวง. การอบแห้งตะไคร้ด้วยปั๊มความร้อน.
วิทยานิพนธ์ วศ.ม.กรุงเทพฯ :มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าธนบุรี, 2546