

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งขิงชนิดใช้ปั๊มความร้อนด้วยตัวกลางแตกต่างกัน

Design and Construction of Ginger Heat pump Dryer with Different Media

วิทวัส ทิพย์แสนพรหม^{1*} ณัฐพล ภูมิสะอาด¹ สุรัตน์ อัดถจรรย์กุล¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

โทร 0-4375-4316 โทรสาร 0-4375-4316 *อีเมลล์ tsp_witt@hotmail.com

Wittawat Tipsaenprom^{1*}, Nattapol Poomsa-ad¹, Surat Atthajariyakul¹

¹ Faculty of Engineering, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham 44150, Thailand,

Tel: 0-4375-4316, Fax: 0-4375-4316, *E-mail: tsp_witt@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบเครื่องอบแห้งขิงชนิดปั๊มความร้อน โดยทำการออกแบบ สร้างและประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยทำการทดลองอบแห้งขิง แบบระบบปิด ที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 °C โดยใช้อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วลมในห้องอบแห้ง 0.4 เมตรต่อวินาที สัดส่วน By pass 30% การอบแห้งขิงความชื้นเริ่มต้น 769 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง จากการทดลอง ค่าสมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน ที่อุณหภูมิ 60 °C โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง มีค่า 3.58 อัตราการอบแห้งเท่ากับ 0.189 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง อัตราการควบแน่นน้ำจากเครื่องทำระเหย 0.199 กิโลกรัมน้ำควบแน่นต่อชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งประมาณ 4 ชั่วโมง 30 นาที ความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบเท่ากับ 31.85 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย หรือ SMER เท่ากับ 0.113 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ คุณภาพด้านสีของขิงอบแห้งพบว่า ที่อุณหภูมิสูงขิงที่อบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน จะคงสีเหลืองของขิงได้ดีกว่า การใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง

Abstract

The objectives of this research were to design and investigate the performance of heat pump dryer. In this study, ginger was dried in closed loop system with drying media temperature at 50 ,60 and 70 °C by using hot air ,CO₂ and N₂ as drying media. Drying media velocity in drying chamber was 0.4 m/s with by pass ratio 30%. In the experiment, ginger was dried

from initial moisture content 769 %db to final moisture content 30 %db. From the experimental results, the performance of heat pump (COP_{hp}) for air as media at 60 °C was 3.58. While drying rate was 0.189 kg water/h, moisture extraction rate from evaporator was 0.199 kg water/h and drying time was 4 hour 30 minute. The energy consumption was 31.85 MJ/kW-h or SMER (Specific moisture extraction rate) was 0.113 kg water evap/kW-h. It was found that the drying rate increases with the drying media temperature. In the aspect of color quality, it was found that at high temperature ginger dried with CO₂ and N₂ could be maintained the yellow color better than that dried with hot air.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการเพาะปลูกพืชกันมาก มีผลผลิตทางการเกษตรหลายชนิด ซึ่ง เป็นสมุนไพรที่คนไทยนำมาปรุงเป็นอาหาร ได้สารพัด ช่วยทำให้อาหารหอมหวานชวนให้น่ารับประทานและยังช่วยดับกลิ่นคาวในอาหาร จึงเป็นชนชาติเก่าแก่ที่มีการใช้ประโยชน์จากขิงมายาวนาน แพทย์จีนโบราณจัดขิงเป็นพืชรส เผ็ดอุ่น มีฤทธิ์แก้หวัดเย็น ขับเหงื่อ บำรุงกระเพาะ แก้อาการคลื่นไส้อาเจียน แก้ปวด ลดคลอเลสเทอรอลที่สะสมในตับและเส้นเลือด ชาวบ้านทั่วไปจะรู้ว่า ถ้าต้มขิงกับน้ำตาลอ่อนจะช่วยแก้หวัด ถ้าใช้ขิงสดปิดที่ขมับทั้งสองข้างจะช่วยแก้ปวดหัว และถ้าเอาขิงสดอมไว้ใต้ลิ้นจะช่วยแก้อาการกระวนกระวาย แก้คลื่นไส้อาเจียนได้ดี [7], [8] ขิงนอกจากจะนำมาประกอบอาหารได้ทันทีแล้ว ยังสามารถแปรรูปให้เป็นผลิตภัณฑ์ได้อีกเช่น การนำขิงมาขงเป็นชาขิง โดยการนำขิงไปตากให้แห้งแล้วบดให้ละเอียดนำไปผสมกับน้ำอุ่นจะได้ผลิตภัณฑ์พร้อมดื่ม ปัจจุบันขิงเป็นสมุนไพรชนิดหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัย และใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ซึ่งในบางฤดูกาลของ

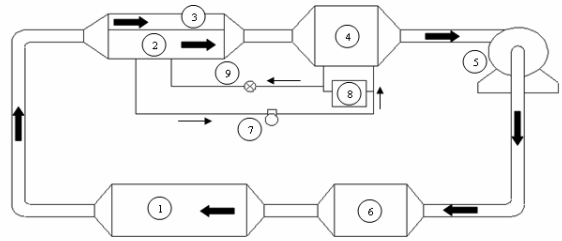
การเก็บเกี่ยว มีปริมาณมากเกินความต้องการของผู้บริโภคทำให้ราคาของผลผลิตถูกลง และเมื่อจำหน่ายผลผลิตได้ไม่หมดในเวลาอันควรจะเกิดการเน่าเสียของผลผลิต ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียทางเศรษฐกิจ แต่ถ้าสามารถยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาให้นานขึ้น จะช่วยลดการสูญเสียในส่วนนี้ลงได้ ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในอดีตจนถึงปัจจุบัน คือ การนำผลผลิตทางการเกษตรไปตากแดดแต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือความไม่แน่นอนของสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะในฤดูฝนที่สภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยและอาจเกิดการปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์จากฝุ่นละอองและจุลินทรีย์ การทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อน ซึ่งสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งลง แต่เมื่อใช้อุณหภูมิของอากาศร้อนสูงๆ จะทำให้คุณภาพหลังการอบแห้งบางประการของผลิตภัณฑ์สูญเสียไปด้วยเหตุนี้จึงมีการนำเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนมาใช้เป็นตัวกลางอบแห้ง[2] แทนอากาศร้อนในการอบแห้ง ซึ่งเมื่อใช้ก๊าซทั้งสองเป็นตัวกลางอบแห้งแบบระบบปิด จะไม่มีก๊าซออกซิเจนในระบบทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้คุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกับธรรมชาติ และเมื่อเทียบกับการอบแห้งโดยทั่วไป เครื่องอบแห้งชนิดใช้ปั๊มความร้อนจะใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่า [5], [6] จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาการอบแห้งชนิดใช้ปั๊มความร้อนซึ่งใช้ตัวกลางในการอบแห้ง คือ อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนและเปรียบเทียบคุณภาพสีของขิงหลังการอบแห้ง

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงลักษณะของระบบอบแห้งชนิดใช้ปั๊มความร้อนแบบระบบปิด[5], [6] ที่มีการดึงความชื้นออกจากระบบก่อนทำการอบแห้งซึ่ง ประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก คือ ห้องอบแห้งแบบงวด ขนาด $0.5 \times 0.5 \times 1.0 \text{ m}^3$ เครื่องทำระเหยขนาด 1.5 ตันความเย็น เพื่อลดอุณหภูมิและความชื้นหลังการอบแห้ง By pass air ใช้สำหรับให้ตัวกลางอบแห้งบางส่วนไหลข้ามเครื่องทำระเหย เครื่องควบแน่นตัวในทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับตัวกลางอบแห้ง พัดลมชนิดแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลังขนาด 746 W ควบคุมอัตราการไหลของตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งโดยการปรับความเร็วรอบของพัดลม ติดตั้งขดลวดความร้อนขนาด 3 kW เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในกรณีที่ต้องการอุณหภูมิของตัวกลางอบแห้งหลังจากเครื่องควบแน่นตัวในมีอุณหภูมิไม่ถึงที่กำหนดไว้ ส่วนวงจรของสารทำความเย็นประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ เครื่องทำระเหย วาล์วลดความดัน เครื่องควบแน่นตัวใน และเครื่องควบแน่นตัวนอก เหตุที่ติดตั้งเครื่องควบแน่นตัวนอกเพื่อช่วยระบายความร้อนส่วนเกินในระบบอบแห้งจากเครื่องควบแน่นตัวใน

โดยในการทดลองได้วัดอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Chromel alumel type T (วัดได้ละเอียด $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$) ต่อเข้ากับเครื่องวัดอุณหภูมิ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 ถึง $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ความแม่นยำ $\pm 0.2 \text{ }^\circ\text{C}$ บันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง(ทุก 1 นาที) และการชั่งน้ำหนักวัสดุในตู้อบแห้ง โดยใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอล อ่านค่าความถูกต้องละเอียด 0.01 g รับน้ำหนักได้สูงสุด 4 กิโลกรัมบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง(ทุก 2 นาที)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของระบบอบแห้งชนิดใช้ปั๊มความร้อน 1) ห้องอบแห้ง 2) เครื่องทำระเหย 3) By pass air 4) เครื่องควบแน่นตัวใน 5) พัดลม 6) ขดลวดความร้อน 7) คอมเพรสเซอร์ 8) เครื่องควบแน่นตัวนอก 9) วาล์วลดความดัน

หลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งคือ ตัวกลางอบแห้งไหลผ่านขดลวดให้ความร้อน เข้าสู่ห้องอบแห้ง ตัวกลางอบแห้งหลังจากออกจากห้องอบแห้งมีความชื้นสูง ส่วนหนึ่งไหลผ่านชุดทำระเหยเพื่ออุณหภูมิและลดความชื้น และอีกส่วนไหลไปยังท่อ By pass จากนั้นเกิดการรวมกันของกระแสตัวกลางอบแห้ง ไหลผ่านชุดควบแน่นตัวในเพื่อรับความร้อน ตัวกลางอบแห้งจากชุดควบแน่นถูกไล่เลียงโดยชุดพัดลมเข้าสู่ชุดขดลวดความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ และไปยังห้องอบแห้งหมุนเวียนไปตลอด

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ขิงที่ใช้ทำการศึกษานี้จะใช้ขิงสดที่ขายตามท้องตลาด โดยหั่นขิงสดเป็นชิ้นบางๆ ความหนาประมาณ 3 cm จากนั้นตัดตัวอย่างให้มีขนาด $2 \times 2 \text{ cm}^2$ ก่อนทำการอบแห้งหาค่าความชื้นเริ่มต้นของตัวอย่างด้วยการนำเข้าสู่ตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $103 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2.3 กระบวนการอบแห้ง

ทำการทดลองเป็นแบบระบบปิด โดยอบแห้งขิงหนัก 1 กิโลกรัมที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ $70 \text{ }^\circ\text{C}$ โดยใช้อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วของตัวกลางอบแห้งในห้องอบแห้ง 0.4 เมตรต่อวินาที สัดส่วน By pass ratio 30% การอบแห้งขิงความชื้นเริ่มต้น 769 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง หลังจากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งไปทดสอบคุณภาพด้านสี

2.4 การทดสอบคุณภาพด้านสี

คุณภาพด้านสีของขิงหลังอบแห้งทำการวัดโดยเครื่องวัดสี Hunter Lab ซึ่งแสดงในเทอมของตัวแปร L, a, และ b โดยค่า L (Lightness Parameter) แสดงค่าความสว่าง ค่า a (Redness Parameter) แสดงค่าสีแดงและสีเขียว ค่า b (Yellowness Parameter) แสดงค่าสีเหลืองและสีน้ำเงิน โดยเครื่องวัดสีจะปรับความถูกต้องก่อนการวัดด้วยแผ่นสีมาตรฐานและแผ่นสีขาวมาตรฐานก่อนทำการทดลองทุกครั้ง

2.5 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

อัตราการอบแห้ง(kg water evap./h)

$$Drying\ rate = \frac{E_w}{t} \quad (1)$$

อัตราการควบแน่นน้ำจากเครื่องทำระเหย(kg water condensate./h)

$$MER = \frac{C_w}{t} \quad (2)$$

อัตราการไหลจำเพาะของตัวกลาง(kg dry air/h-kg dry ginger glaze)

$$\dot{m}_a = \frac{m_a \times 3600}{d} \quad (3)$$

ความสิ้นเปลืองพลังงาน(MJ/kg water evap.)

$$Energy\ consumption = \frac{P_u}{E_w} \quad (4)$$

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ(kg water evap./kW-h)

$$SMER = \frac{E_w}{P_u} \quad (5)$$

เมื่อ E_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ (kg water evap.)

C_w คือ ปริมาณน้ำควบแน่นจากเครื่องทำระเหย
(kg water condensate.)

P_u คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (MJ)

t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวลรวมของตัวกลาง (kg/s)

d คือ มวลแห้ง (kg dry ginger glaze)

2.6 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำความเย็น

$$COP_{re} = \frac{Q_e}{W_c} \quad (6)$$

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน

$$COP_{hp} = \frac{Q_c}{W_c} = COP_{re} + 1 \quad (7)$$

เมื่อ Q_e คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เครื่องทำระเหย (kW)

Q_c คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่เครื่องควบแน่น (kW)

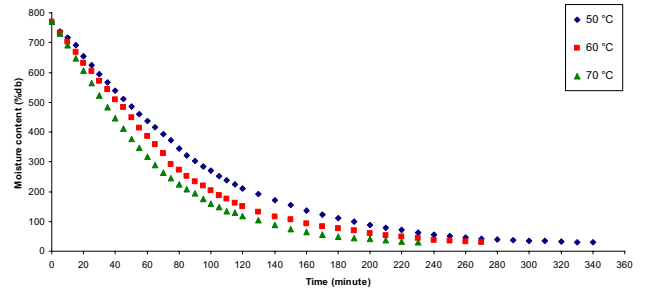
W_c คือ กำลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ (kW)

3. ผลและวิจารณ์

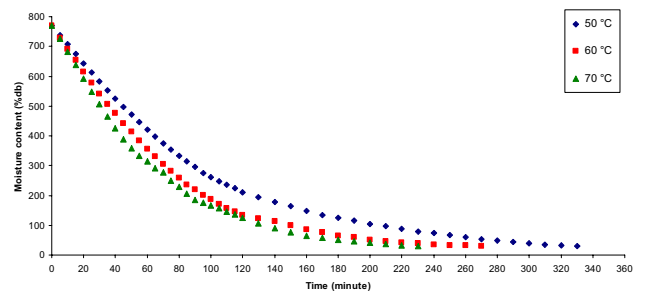
3.1 ผลของอุณหภูมิตัวกลางอบแห้งต่ออัตราการลดความชื้น

ผลการอบแห้งซึ่งที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 °C โดยใช้อากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง จากความชื้นเริ่มต้น 769 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 2 - 4 ซึ่งแสดงเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงความชื้นของ

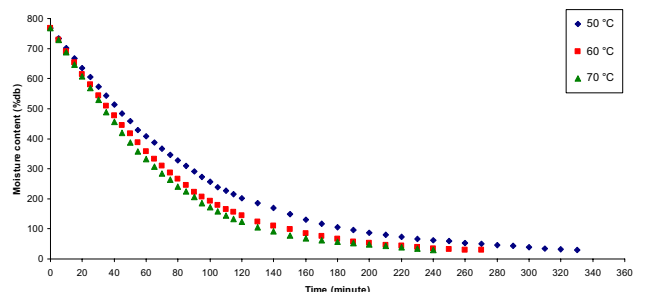
ซึ่งที่อบแห้ง จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของอากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง ซึ่ง โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวกลางอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งซึ่งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อธิบายได้ว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โมเลกุลของน้ำในซิงได้รับความร้อนเพิ่มมากขึ้นก็จะมีพลังงานในการเคลื่อนที่มากพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ จึงทำให้น้ำเคลื่อนตัวเร็วขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง

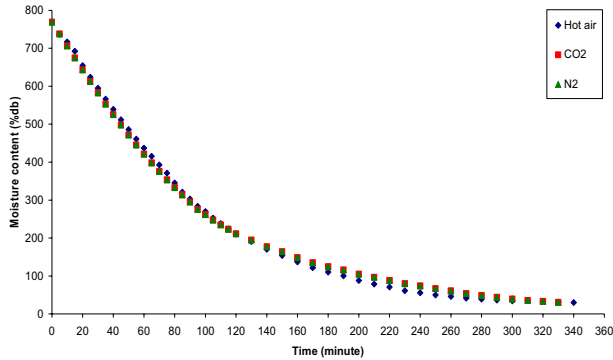


รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางในการอบแห้ง



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้โดยตัวกลางต่างกันที่อุณหภูมิต่างกัน เดียวกัน ดังรูปที่ 5 พบว่าอัตราการอบแห้งโดยตัวกลางทั้งสามชนิดแตกต่างกันเล็กน้อย เพราะช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวและเนื้อ

วัสดุด้วย อุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่ออัตราการการแพร่ความชื้น ทำให้ อัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันโดยใช้ตัวกลางต่างกัน จึงไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ที่ อุณหภูมิอบแห้ง 50 °C โดยใช้ตัวกลางอบแห้งแตกต่างกัน

3.2 คุณภาพด้านสี

สีของซิงหลังการอบแห้งซึ่งจะพิจารณาเฉพาะความเป็นสีเหลือง(b) ข้อมูลที่ได้จากการวัดสีทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ผลการวัดสีแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะอยู่ในรูปของค่าเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างกันโดยใช้ Duncan's Test มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ p=0.05

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลืองของซิงอบแห้ง ที่ความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

| | 50 °C | 60 °C | 70 °C |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Hot air | 21.919a ± 0.74 | 20.162a ± 1.11 | 19.356a ± 0.45 |
| CO ₂ | 24.382b ± 1.45 | 24.285b ± 0.64 | 23.259b ± 1.72 |
| N | 24.194b ± 1.10 | 24.646b ± 0.64 | 24.500c ± 0.74 |

ผลการวิเคราะห์ค่าความเป็นสีเหลือง จากตารางที่ 1 จะเห็นว่า การอบแห้งซิงอุณหภูมิ 50 °C และ 60 °C มีนัยสำคัญทางสถิติคือ การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนแตกต่างกับการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ขณะที่การอบแห้งโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไม่แตกต่างกัน ส่วนที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 °C การใช้ตัวกลางอบแห้งทั้งสามตัวกลางความเป็นสีเหลืองจะแตกต่างกัน จะเห็นว่าซิงที่อบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน จะคงสีเหลืองได้ดีกว่ากรณีอบด้วยอากาศร้อน อาจเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนมีคุณสมบัติช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เนื่องจากไม่มีก๊าซออกซิเจนในระบบ ทำให้คุณภาพสีของซิงหลังอบแห้งไม่เกิดการหมองคล้ำ

3.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการอบแห้งซิงชนิดบีบีความชื้นโดยใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางอบแห้ง

| DESCRIPTION | 50 °C | 60 °C | 70 °C |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Drying time | 5.33 | 4.5 | 4 |
| Drying rate | 0.160 | 0.189 | 0.213 |
| MER | 0.172 | 0.199 | 0.244 |
| Specific air flow rate | 3443.48 | 3431.54 | 3443.48 |
| Energy consumption | 37.65 | 31.85 | 28.29 |
| SMER | 0.096 | 0.113 | 0.127 |
| COP _{hp} | 3.07 | 3.58 | 3.83 |

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการอบแห้งซิงชนิดบีบีความชื้นโดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวกลางอบแห้ง

| DESCRIPTION | 50 °C | 60 °C | 70 °C |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Drying time | 5.5 | 4.33 | 3.83 |
| Drying rate | 0.1562 | 0.1966 | 0.2243 |
| MER | 0.2114 | 0.1805 | 0.2457 |
| Specific air flow rate | 6122.66 | 6182.13 | 6134.25 |
| Energy consumption | 38.54 | 30.63 | 26.97 |
| SMER | 0.1264 | 0.1264 | 0.1334 |
| COP _{hp} | 4.18 | 4.87 | 5.25 |

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพการอบแห้งซิงชนิดบีบีความชื้นโดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้ง

| DESCRIPTION | 50 °C | 60 °C | 70 °C |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Drying time | 5.5 | 4.5 | 4 |
| Drying rate | 0.1551 | 0.1890 | 0.2228 |
| MER | 0.2072 | 0.1967 | 0.2883 |
| Specific air flow rate | 3899.22 | 3910.39 | 3753.00 |
| Energy consumption | 38.82 | 31.85 | 26.98 |
| SMER | 0.0927 | 0.1130 | 0.1334 |
| COP _{hp} | 3.82 | 3.55 | 4.42 |

จากผลการทดลองการอบแห้งซิงชนิดบีบีความชื้นด้วยตัวกลางแตกต่างกัน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านประสิทธิภาพการอบแห้งซิงที่ความชื้นเริ่มต้น 769 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง โดยใช้ซิงหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 °C พบว่า ค่า MER มีค่ามากกว่า Drying rate เนื่องจากมีการรั่วไหลเข้าและออกจากระบบทำให้อัตราการควบแน่นของน้ำเพิ่มมากขึ้นและเมื่อรวมกับน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์จะมีน้ำที่ซิงได้มากกว่าน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์จริง ส่วนค่าความสิ้นเปลืองพลังงานและ Drying rate ที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ค่า COP_{hp} ของการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้งมีค่าใกล้เคียงกันแต่ค่า COP_{hp} ของการใช้ก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยเพราะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและความชื้นสูงกว่า

6. สรุป

จากการทดลองเป็นแบบระบบปิด โดยอบแห้งซิงหนัก 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 50 ,60 และ 70 °C โดยใช้อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วของตัวกลางอบแห้งในห้องอบแห้ง 0.4 เมตรต่อวินาที สัดส่วน By pass 30% การอบแห้งซิงหนักเริ่มต้น 769 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้าย 30 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ซึ่งสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้งซิงหนักด้วยอากาศร้อน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิของตัวกลางอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งซิงหนักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกันอัตราการอบแห้งโดยตัวกลางทั้งสามชนิดแตกต่างกันเล็กน้อย เมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง ซิงหนักด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน จะคงสีเหลืองได้ดีกว่ากรณีอบด้วยอากาศร้อน

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chou, S.K., Hawlader, M.N.A., Ho, J.C., Wijesundera, N.E. and Rajasekar S., 1993, Heat pump in the drying of food products, International Journal of Energy Research, Vol. 14, pp. 397-406.
- [2] Hawlader, M.N.A., Perera Conrad O., and Min Tian , 2005. Properties of modified atmosphere heat pump dried foods. Journal of Food Engineering.
- [3] Prasertsan, S., & Saen-saby, P., 1998. Heat pump drying of agricultural materials. Drying Technology-An International Journal, Vol. 16, No. 1&2, pp. 235-250.
- [4] Zuhail Oktay, Arif Hepbasli, 2003. Performance evaluation of a heat pump assisted mechanical opener drying. Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 1193-1207.
- [5] ประทาน รักปรางค์, 2539. การอบแห้งผลไม้โดยใช้บีมความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] ฐานิตย์ เมธิยานนท์, 2541. การอบแห้งโดยใช้บีมความร้อนในระดับอุตสาหกรรม, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต , คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [7] <http://www.healthnet.in.th/text/forum2/ginger/index.html>
- [8] <http://www.medplant.mahidol.ac.th/pubhealth/zinoff.html>