

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้ตัวกลางที่แตกต่างกัน

นัฐราช แสนมีมา^{1*}, คณินนิตย์ จัปปใจเหมาะ¹ ละมุล วิเศษ¹ และ ณัฐพล ภูมิสะอาด¹

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

*ติดต่อ: nattarat.s@msu.ac.th, 043-754316

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนโดยใช้ตัวกลางในการอบแห้งคือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอากาศ วัสดุที่ใช้ทดสอบคือ ขมิ้นชัน การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งพิจารณาจาก อัตราการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เครื่องอบแห้งประกอบด้วยห้องอบมีขนาด $0.6 \times 0.6 \times 0.8 \text{ m}^3$ คอมเพรสเซอร์ขนาด 3 แรงม้า โดยมีเงื่อนไขในการทดลองคือ ความเร็วของตัวกลางในห้องอบแห้ง 0.5 m/s สัดส่วน By pass air 30% การอบแห้งใช้อุณหภูมิ 45 50 และ 55°C ขมิ้นชันความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400-550 %db ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 10 %db จากผลการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้งและที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันอัตราการอบแห้งของตัวกลางทั้งสามแตกต่างกันเล็กน้อยซึ่งอยู่ในช่วง 0.05 ถึง 0.12 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ มีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้ง มีค่าอยู่ในช่วง 0.022 ถึง 0.046 กิโลกรัมน้ำระเหยต่อกิโลวัตต์ ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 55°C ก๊าซไนโตรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ ที่มากที่สุดคือ $0.046 \text{ kg water evap./h}$ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.78 ถึง 1.63 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45°C โดยใช้ อากาศร้อน มีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุดเป็น $1.63 \text{ MJ / kg water evap}$

คำหลัก: ขมิ้นชัน, ปั๊มความร้อน, คาร์บอนไดออกไซด์, ไนโตรเจน

Abstract

This research aims to evaluate the performance of the heat pump dryer using carbon dioxide, nitrogen and air as the medium. The turmeric was used for testing. The drying rate, specific moisture evaporation rate and specific energy consumption were criteria for assessing the dryer performance. The dryer consist of drying chamber with the size of $0.6 \times 0.6 \times 0.8 \text{ m}^3$ and compressor of 3 hp. The drying conditions were drying at media velocity speed of 0.5 m/s , by pass ratio of 30% and drying temperatures of 45, 50 and 55°C . The turmeric with initial moisture content of about 400- 550 %db was dried down to 10 %db. The result showed that the drying rate increased with drying temperature At the same drying temperature, the drying rate of three media was slightly different in the range of 0.05-0.12 kg water evap/h. Specific moisture extraction rate was increased with increasing of drying temperature which was in the range of 0.022-0.046 kg water evap./kW-h. In addition, Besides, the drying temperature of 55°C with nitrogen and carbon dioxide produced the highest specific moisture evaporation rate at $0.046 \text{ kg water evap./h}$. The result found that specific energy consumption was decreased when the drying

temperature increased which was in the range of 0.78-1.63 MJ/ kg water evap. Moreover, the drying temperature of 45 ° C with air had the lowest specific energy consumption at 1.63 MJ / kg water evap

Keywords: Turmeric, Heat pump, Carbon dioxide, Nitrogen

1. บทนำ

ในกระบวนการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร นั้น การอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแปรรูป โดยมีน้ำออกและให้ความร้อนแก่ผลผลิต ทำการระเหย น้ำที่มีอยู่ในผลผลิตให้ระเหยกลายเป็นไอ ออกไป ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งขึ้นอยู่กับ ปริมาณความชื้นในผลผลิต ความดันและอุณหภูมิ ที่ใช้ในการระเหยนํ้ากลายเป็นไอ ในกระบวนการอบแห้ง จะต้องใช้พลังงานความร้อนมากและในปัจจุบันราคาค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องหาแนวทางต่างๆ เพื่อพัฒนาวิธีการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานให้สูงขึ้น

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถดำเนินการอบแห้งวัสดุแบบระบบปิด สามารถอบแห้งวัสดุได้ที่อุณหภูมิความร้อน 40-55°C ด้วยความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อนที่ต่ำ[1][2]ไม่ต้องการระบายลมร้อนหลังการอบแห้งบางส่วนหรือทั้งหมดออกสู่ภายนอกอีกทั้งยังใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ[3][4][5][6]

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนและศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งขมิ้นชัน โดยใช้ตัวกลางที่แตกต่างกัน

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์

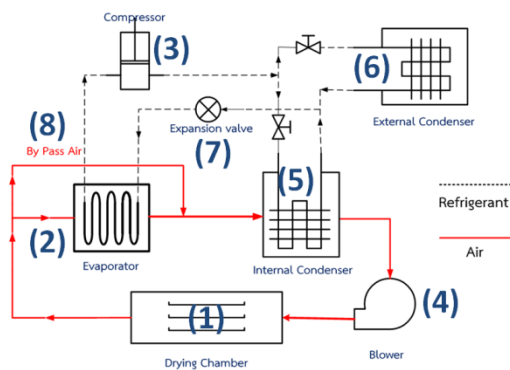
เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนใช้ระบบปรับอากาศของรถยนต์มาประยุกต์เป็นแหล่งความร้อน

แสดงดังรูปที่ 1 มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนี้



รูปที่ 1.เครื่องอบแห้งชนิดใช้ปั๊มความร้อน

หลักการระบบเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน ในระบบปิด อากาศ ถูกทำให้ร้อนขึ้นหลังจากผ่าน เครื่องควบแน่น (condenser) แล้วอากาศร้อนจะถูกดูดผ่านพัดลม (blower) เพื่อส่งต่อเข้าห้องอบแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ลมร้อนที่ไหลออกจากห้องอบแห้งมีอุณหภูมิลดลง แต่ความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าอากาศที่ออกจากห้องอบแห้งจะนำกลับมาใช้ใหม่โดยแบ่งอากาศออกเป็นสองส่วน (by pass air) อากาศส่วนแรกจะไหลเข้าเครื่องทำระเหยเพื่อลดปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศและอากาศส่วนที่สองจะไหลข้ามเครื่องระเหยไปผสมกับอากาศที่ออกจากเครื่องทำระเหยเพื่ออุ่นอากาศที่เครื่องควบแน่นหลังจากนั้นก็ผสมกับอากาศทั้งสองนี้ส่วนก่อนส่งไปเพิ่มอุณหภูมิโดยการไหลผ่านเครื่องควบแน่นก่อนส่งเข้าห้องอบแห้งซึ่งอากาศจะหมุนเวียนอยู่ในระบบ



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

2.2 วิธีการทดลอง

ขมิ้นชันจากตลาดในจังหวัดมหาสารคาม แยกเอาที่มีตำหนิออก จากนั้นนำมาหั่นยาวประมาณ 2-3 cm หน้าประมาณ 0.2 cm หาคความชื้นเริ่มต้นโดยการนำไปชั่งน้ำหนักแล้วจึงนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [7] ทำการสุ่มตัวอย่างซึ่งค่าที่ได้เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งมี 3 ระดับคือ 45 , 50 และ 55 ° C ทำการบันทึก น้ำหนักขมิ้นชันด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก (OHAUS รุ่น Exploer) ความละเอียด ± 0.001 g บันทึกอุณหภูมิด้วยเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ DAQSTATION ค่าความละเอียด $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ ต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิกระเปาะเปียกตำแหน่งต่างๆ ภายในห้องอบแห้งทุกๆ 5 นาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และหลังจากนั้นบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 – 10 นาที จนสิ้นสุดการทดลอง

วัดความเร็วลมของอากาศด้วยเครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ Testo รุ่น 474 ค่าความละเอียด

± 0.01 m/s วัดกำลังงานไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้วย Clip-on-meter

2.3 การประเมินสมรรถนะ

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน[8]จะพิจารณาจากความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถแสดงได้ด้วย

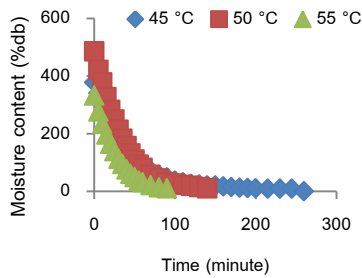
อัตราการอบแห้งวัสดุ (Drying rate, kg water evap./h)

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

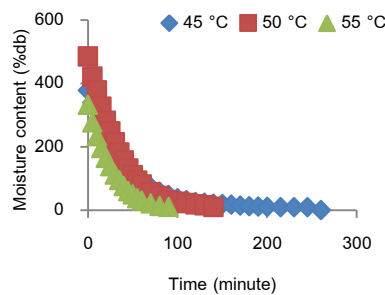
ในด้านการใช้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน สามารถแสดงได้ด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (specific moisture extraction rate, SMER) ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังต่อไปนี้

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

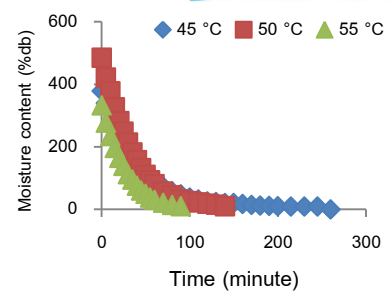
$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}} \quad (3)$$



(a)



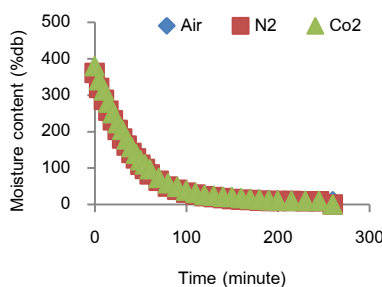
(b)



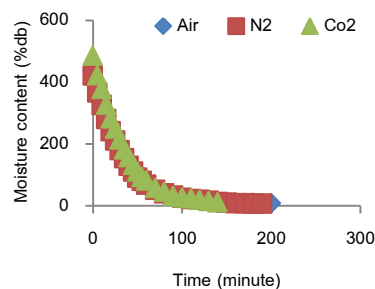
(c)

รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับเวลาในการอบแห้งขมิ้นชันที่ตัวกลางแตกต่างกัน

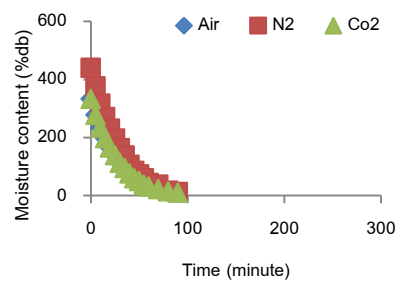
a) อากาศ b) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ c) แก๊สไนโตรเจน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับเวลาในการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

a) อุณหภูมิ 45 °C b) อุณหภูมิ 50 °C c) อุณหภูมิ 55 °C

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ความชื้น (Moisture content)

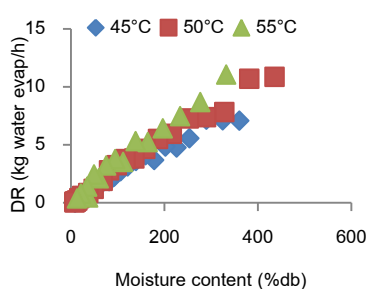
ผลการทดลองอบขมิ้นชันหนักประมาณ 240 กรัม จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400 - 550 % db ถึง 10% db ที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C โดยใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอากาศ เป็นตัวกลางการอบแห้ง ความเร็วลมของตัวกลางการอบแห้ง 0.5 เมตรต่อวินาที ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาดังแสดงในรูปที่3 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้ความชื้นในขมิ้นชันจะลดลงอย่างรวดเร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิ 55 °C ทำให้ความชื้นของขมิ้นชันจะลดลงเร็วที่สุดและการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิ 45 °C ความชื้นจะลดลงช้าที่สุด สำหรับอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งที่มีผลต่อระยะเวลาในการ

อบแห้ง จนถึงความชื้นร้อยละ 10 มาตรฐานแห่งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 °C ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุดโดยใช้เวลาอบแห้ง 100 นาที ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 °C จะใช้เวลาในการอบแห้งช้าที่สุด โดยใช้เวลา 260 นาที เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะมีผลต่างระหว่างอุณหภูมิในการอบแห้งกับผลิตภัณฑ์มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ให้ความร้อนสามารถถ่ายเทจากตัวกลางไปยังผลิตภัณฑ์ได้มากกว่าจึงสามารถระเหยน้ำได้ดีกว่า ส่งผลให้การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้ระยะเวลาน้อยกว่าที่อุณหภูมิต่ำนอกจากนี้ยังพบว่า การอบแห้งขมิ้นชันโดยใช้อุณหภูมิเดียวกันตัวกลางแตกต่างกัน ความชื้นและเวลาในการอบแห้ง แตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากทำให้ ค่าความร้อนจำเพาะ (Cp) ของตัวกลางในการอบแห้งทั้งสาม มีค่าที่ใกล้เคียง

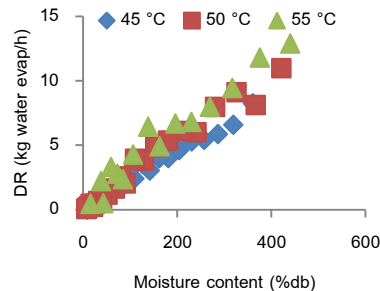
กัน โดยก๊าซไนโตรเจนอากาศร้อน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีค่าความร้อนจำเพาะ 1.04 1.00 และ 0.85 kJ/kg °C ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กลยุทธ์ดีจิ่งและคณะ[9] ซึ่งศึกษาผลของการอบแห้งใบมะกรูดโดยใช้อากาศก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลางอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 °C พบว่าที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกันของทั้งสามตัวกลางความชื้นและเวลาในการอบแห้งความชื้นและเวลาในการอบแห้งแตกต่างกันเล็กน้อย

3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

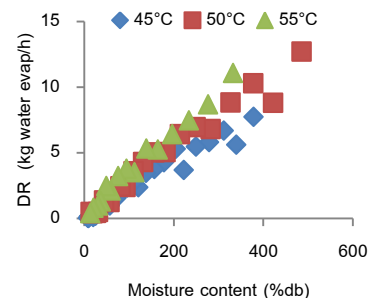
ผลการทดสอบอบแห้งขมิ้นชัน อัตราการอบแห้งกับความชื้นในการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิ 45 50 และ 55 °C โดยใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนโตรเจน และอากาศเป็นตัวกลางการอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 5-6 พบว่า การอบแห้งขมิ้นชันทุกเงื่อนไขการทดลองจะอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (falling rate period) การอบแห้งในสภาวะนี้ไม่ได้เกิดที่บริเวณผิววัสดุเท่านั้นแต่น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่อย่างช้าๆ เนื่องจากมีความต้านทานการถ่ายเทมวลเมื่อน้ำเคลื่อนที่มาถึง



(a)



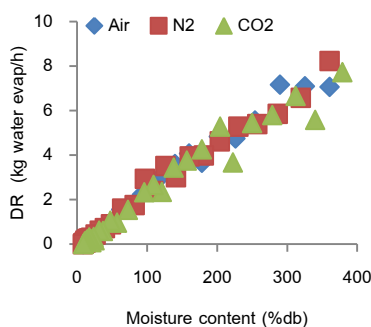
(b)



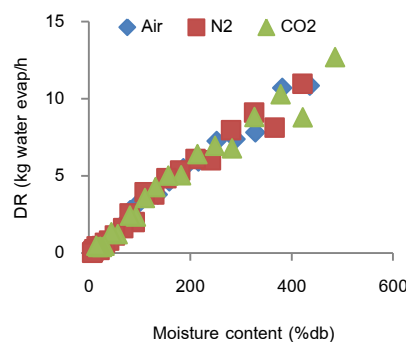
(c)

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และความชื้นในการอบแห้งขมิ้นชันที่ตัวกลางแตกต่างกัน

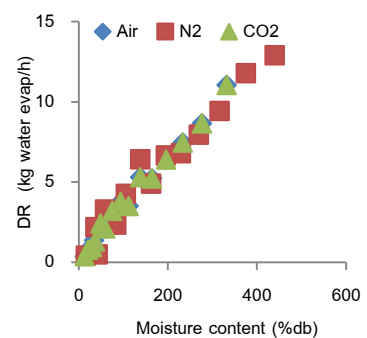
a) อากาศ b) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ c) ไนโตรเจน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้ง และความชื้นในการอบแห้งขมิ้นชันที่อุณหภูมิกันแตกต่างกัน

a) อุณหภูมิ 45°C b) อุณหภูมิ 50°C c) อุณหภูมิ 55°C

บริเวณผิววัสดุจึงเกิดการพาความร้อนขึ้นจากผิววัสดุไปยังอากาศการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารไปยังผิวหน้าอาหารช้ากว่าอัตราการระเหยน้ำจากผิวหน้าของอาหารไปสู่อากาศทำให้อัตราการระเหยน้ำต่อเวลาลดลงการแพร่ของน้ำภายในวัสดุเป็นปัจจัยที่ควบคุมการอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

3.3 ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแสดงด้วยค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนนี้มีการใช้พลังงาน 3 ส่วนคือพลังงานที่จ่ายให้พัดลม (Blower) พลังงานที่จ่ายให้พัดลมระบายความร้อนและพลังงานที่จ่ายให้เครื่องอัดไอความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจาก ตารางที่ 1 พิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณน้ำที่ระเหยจาก

วัสดุพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 ° C มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือ 50 และ 55 ° C ตามลำดับเนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์มีปริมาณน้อยความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงได้ช้าซึ่งใช้เวลานานถึง 3 ชั่วโมงดังนั้นการอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 ° C จึงใช้พลังงานตลอดการทดลองจะมากกว่าการอบแห้งที่ 50 และ 55 ° C เมื่อคิดในส่วนกลับคือค่า SMER ที่พิจารณาจากปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุต่อปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้พบว่าจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง จากผลการทดลองสอดคล้องกับกลยุทธ์ที่ดีจริง ทำการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนอบแห้งใบมะกรูดใช้เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนภายใต้ระบบปิดที่อุณหภูมิอบแห้ง 40 50 และ 60 ° C ความเร็วของตัวกลางในห้องอบแห้ง 0.5 เมตรต่อวินาทีจากการศึกษาพบว่า

ตารางที่ 1 สมรรถนะเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนในการอบแห้งขมิ้นชัน

ตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้ง	อากาศ			ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์			ก๊าซไนโตรเจน		
อุณหภูมิในการอบแห้ง (°C)	45	50	55	45	50	55	45	50	55
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	240	240	240	240	240	240	240	240	240
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	52.79	46.22	50.10	50.70	50.53	52.69	51.55	47.39	47.65
ความชื้นเริ่มต้น (% db.)	405	477	401	425	546	401	414	464	484
ความชื้นสุดท้าย ((% db.)	9.98	10.02	9.36	9.96	10.73	9.79	9.45	10.26	10.43
เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	3.25	2.33	1.67	3.17	2.23	1.55	3	2.25	1.58
พลังงานที่ใช้ในการระเหยน้ำ (kWh)	0.44	0.46	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46	0.46
อัตราการอบแห้งเฉลี่ย (DR _{avg} , kg water evap./h)	0.05	0.08	0.11	0.06	0.08	0.12	0.06	0.08	0.12
อัตราการระเหยน้ำจำเพาะเฉลี่ย (SMER _{avg} , kg water evap/kW-h)	0.022	0.032	0.043	0.023	0.026	0.046	0.023	0.026	0.046
ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย (SEC _{avg} , MJ/kg water evap)	1.63	1.13	0.83	1.58	1.37	0.78	1.58	1.37	0.78

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) โดยพบว่า ค่า SEC มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ทำแห้งเพิ่มขึ้น และค่า SMER ของการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60 °C มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิทำแห้ง 45 °C และ 50 °C ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ตัวกลางอบแห้งพบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิเดียวกันความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะมีค่าไม่แตกต่างกันเนื่องจากเวลาและการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งแต่ละตัวกลางไม่แตกต่างกัน

4. สรุปผลการทดลอง

ประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 400-550% dry basis โดยใช้ไขมันชั้น 240 กรัม อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 10 % dry basis อุณหภูมิอบแห้ง 45 °C และ 55 °C ภายใต้ระบบปิดโดยใช้ อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาทีที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1. อุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการอบแห้งเมื่ออุณหภูมิของตัวกลางอบแห้งเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ ความชื้นไขมันชั้นลดลงอย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าและมีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น

2. อุณหภูมิอบแห้งมีอิทธิพลต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้นและทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะเพิ่มขึ้น

3. การอบแห้งด้วยตัวกลางแตกต่างกันทำให้ความชื้นและเวลา ในการอบแห้งและอัตราการอบแห้งแตกต่างกันเล็กน้อย

4. การอบแห้งด้วยตัวกลางแตกต่างกันทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะไม่แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือเพื่อใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vázquez G., Chemo F., Moreria R., and Cruz E. (1997). Grape Drying in a Pilot Plant With a Heat Pump, *Drying Technology-An International Journal*, vol. 15 (3&4), pp. 899-920.
- [2] Prasertsan S., and Saen-saby P. (1998). Heat pump drying of agricultural materials, *Drying Technology-An International Journal*, vol. 16 (1&2), pp. 235-250.
- [3] Teeboonma U., Tiansuwan J. and Soponronnarit S. (2003). Optimization of heat pump fruit dryers, *Journal of Food Engineering*, vol. 59 (4), pp. 369-377.
- [4] Perera C. O. and Rahman M. S. (1997). Heat pump dehumidifier drying of food, *Trends in Food Science & Technology*, vol. 8, pp. 75-79.
- [5] อานนท์ สาดช้าง ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และอารีย์ อัจฉริยวิริยะ (2549). การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบใช้ปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการถ่ายทอดพลังงานความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อน ครั้งที่ 5, 6-7 เมษายน โรงแรมโลตัสปางสวนแก้ว อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่. หน้า 154-169
- [6] ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และ เรวัณ คำวัน (2550). อิทธิพลของอัตราการไหลของลมร้อนที่มีผลต่อสมรรถนะของเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนสำหรับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21, ตุลาคม 2550 จังหวัดชลบุรี หน้า 318-324

[7] AOAC. (1995). Official Method of Analysis, 16th ed, The Association of Official Analytical Chemists.

[8] ฐานิตย์เมธิยานนท์ (2541). การอบแห้งโดยใช้
ป้่มความร้อนในระดับอุตสาหกรรม.วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตกรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2541

[9] กลยุทธ์จีรังณัฐพลภูมิสะอาดและละมุลวิเศษ
(2553). การอบแห้งใบมะกรูดด้วยเครื่องอบแห้ง
แบบป้่มความร้อนภายใต้อากาศก๊าซ

คาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน. วารสาร
วิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่41 ฉบับที่1 (พิเศษ)

มกราคม-เมษายน2553.หน้า 520-523