ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249165

รหัสโครงการ SUT7-703-53-12-05

รายงานการวิจัย

การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

(Maintaining Quality of Instant Dried Vegetable by Heat Pump Drying Technique)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

b00251317

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249165

รหัสโครงการ SUT7-703-53-12-05

รายงานการวิจัย

การคงคุณภาพผักอบแห้งกึ่งสำเร็จรูป ด้วยเทคนิคการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

(Maintaining Quality of Instant Dried Vegetable by Heat Pump Drying Technique)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร. เทวรัตน์ ทิพยวิมล

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.วีรชัย อาจหาญ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2555

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2553 ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีรชัย อาจหาญ หัวหน้าศูนย์ความเป็นเลิศด้านชีวมวลที่อำนวยความสะดวกเรื่องการใช้สถานที่ในการทำวิจัยและขอขอบคุณคุณจรูญศักดิ์ สมพงศ์ วิศวกรประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องการจัดหาเครื่องมือวัด

บทคัดย่อ

249165

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนสำหรับใช้ในการอบแห้งผักกึ่งสำเร็จรูป เครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นประกอบด้วยห้องอบแห้งขนาดปริมาตรภายใน 70 x 70 x 85 cm^3 ชั้นถาดบรรจุถาดซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิมเจาะรูขนาด 50 x 60 cm^2 จำนวน 10 ถาด ระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอขนาด 13900 BTU/h อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ 0.51 m^3/s อัตราส่วนอากาศข้ามเครื่องทำระเหย 80 เปอร์เซ็นต์ ทำการทดสอบอบแห้งแครอท หอมสับ และข้าวโพดหวานที่อุณหภูมิอบแห้ง 45 50 และ 55 °C พบว่าวัสดุต่างชนิดกันมีอัตราการอบแห้งที่แตกต่างกันโดยแครอทมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าหอมสับและข้าวโพดหวานเมื่อทำการอบแห้งที่สภาวะเดียวกัน เมื่อพิจารณาด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งด้านสีพบว่าผลิตภัณฑ์แครอทอบแห้งที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงของสีที่แตกต่างจากสีของแครอทสด (ΔE) อยู่ในช่วง 12.08-12.38 และอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งเมื่อทำการคืนตัวในน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C พบว่ามีอัตราส่วนการคืนตัว 4.14-4.61 และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุด 3.37 MJ/kg_{water} ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 50 °C สำหรับการอบแห้งหอมสับพบว่าคุณภาพด้านสีของหอมสับมีการเปลี่ยนแปลงสีแตกต่างจากหอมสับสดอยู่ในช่วง 5.58-7.34 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งเมื่อทำการคืนตัวด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 90 °C พบว่ามีอัตราส่วนการคืนตัว 5.04-5.13 โดยอุณหภูมิของการอบแห้งไม่ส่งผลต่ออัตราส่วนการคืนตัวของหอมสับที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดคือ 7.26 MJ/kg_{water} ที่อุณหภูมิการอบแห้ง 50 °C ซึ่งสรุปได้ว่าการอบแห้งแครอทและหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้นนี้ด้วยอุณหภูมิลมร้อนในการอบแห้ง 50 °C มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งอยู่ในระดับคุณภาพที่ดีไม่แตกต่างจากการอบแห้งด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่าแต่ใช้เวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าพร้อมทั้งประหยัดพลังงานมากกว่าอีกด้วย ส่วนการอบแห้งข้าวโพดหวานนั้นได้ทำการอบแห้งเฉพาะที่อุณหภูมิ 50 °C โดยทำการแบ่งตัวอย่างออกเป็นสองแบบคือข้าวโพดดิบ และข้าวโพดที่ผ่านการนึ่งสุก ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าข้าวโพดนึ่งสุกมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าข้าวโพดดิบ แต่มีลักษณะของเมล็ดที่หดตัวมากกว่าข้าวโพดดิบ ส่วนคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ข้าวโพดนึ่งสุกจะมีลักษณะสีเหลืองที่เข้มขึ้นกว่าสีของข้าวโพดดิบที่มีลักษะของสีขาวนวล

Abstract

249165

The objective of this research was to design, development, and evaluate performance of a heat pump dryer for instant dried vegetable. The dryer consist of a drying chamber of 70 x 70 x 85 cm^3 which containing of 10 stainless steel trays, each area of 50 x 60 cm^2 and a compression heat pump system of 13900 BTU/h. The volume flow of drying air of 0.51 m^3/s with bypassing air of 80 percent. Carrot, spring onion, and sweet corn were used to drying materials at drying air temperature of 45, 50, and 55 °C. It was found that carrot has highest drying rate and sweet corn has the lowest. The color differences of dried carrot from fresh were 12.08-12.38 and at the confidential level of 95 percent there were not differences in the total color difference between all drying air temperatures. The rehydration ratios of dried carrot in hot water, temperature of 90 °C, were 4.14-4.61. The lowest of specific energy consumption was 3.37 MJ/kg_{water} at drying temperature of 50 °C. For drying spring onion, it was found that the color differences of dried spring onion from fresh were 5.58-7.34 and at the confidential level of 95 percent there were not differences in the total color difference between all drying air temperatures. The rehydration ratios of dried spring onion in hot water, temperature of 90 °C, were 5.04-5.13 and all drying air temperature, there are not difference in rehydration ratio at the confidential level of 95 percent. The lowest of specific energy consumption was 7.26 MJ/kg_{water} at drying temperature of 50 °C. The optimum drying condition of the dryer were drying air temperature of 50 °C, air flow rate 0.51 $m^{3/}s$, and bypass air 80 percent because the products has quality like drying by lower temperature but it lower consume time and energy. For drying two groups of sweet corn, fresh kernel and boiled kernel, at drying air temperature of 50 °C. It was found that boiled kernel has higher drying rate than fresh kernel but it more shrink kernel. The colors of boiled kernel product have more yellowness than fresh kernel product.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช
คำอธิบายสัญลักษณ์ ..... ฌ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร
2.1 สถานการณ์ความต้องการผักอบแห้ง 3
2.2 ทฤษฎีการอบแห้ง 4
2.3 ความชื้นวัสดุ 8
2.4 การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน 9
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 18
3.2 วิธีการ 19
บทที่ 4 ผลการดำเนินการ
4.1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 33
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 35
4.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ 50
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินการและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการดำเนินการ 53
5.2 ข้อเสนอแนะ 54
เอกสารอ้างอิง 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก การคำนวณความดันลดในระบบ 57

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 63

ภาคผนวก ค แบบเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 74

ภาคผนวก ง เอกสารเผยแพร่งานวิจัย 79

ประวัติผู้วิจัย 85

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ผลการอบแห้งแครอท 38
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์สีของแครอท 39
ตารางที่ 4.3 ผลการอบแห้งหอมสับ 43
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์สีของหอมสับ 44
ตารางที่ 4.5 ผลการอบแห้งข้าวโพดหวาน 48
ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์สีของข้าวโพดหวาน 49
ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 52
ตารางผนวกที่ ข1 ผลการอบแห้งแครอทอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 °C 64
ตารางผนวกที่ ข2 ผลการอบแห้งแครอทอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C 65
ตารางผนวกที่ ข3 ผลการอบแห้งแครอทอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55 °C 66
ตารางผนวกที่ ข4 ผลการอบแห้งหอมสับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 45 °C 67
ตารางผนวกที่ ข5 ผลการอบแห้งหอมสับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C 68
ตารางผนวกที่ ข6 ผลการอบแห้งหอมสับอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55 °C 69
ตารางผนวกที่ ข7 ผลการอบแห้งข้าวโพดหวานนึ่งสุกอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C 70
ตารางผนวกที่ ข8 ผลการอบแห้งข้าวโพดหวานดิบอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C 71
ตารางผนวกที่ ข9 ผลการทดลองการคืนตัวของแครอท 72
ตารางผนวกที่ ข10 ผลการทดลองการคืนตัวของหอมสับ 73

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การลดลงของความชื้นวัสดุ 5
ภาพที่ 2.2 หลักการทำงานทั่วไปของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 10
ภาพที่ 2.3 ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 11
ภาพที่ 2.4 องค์ประกอบของเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 16
ภาพที่ 3.1 กระบวนการบนไซโครเมตริกซ์ เพื่อใช้ในการออกแบบระบบการอบแห้งแบบปั๊มความร้อน 23
ภาพที่ 3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบปั๊มความร้อนแบบอัดไอบน p-h ไดอะแกรม 25
ภาพที่ 3.3 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนที่สร้างขึ้น 27
ภาพที่ 3.4 เครื่องหาความชื้นแบบอินฟราเรด 28
ภาพที่ 3.5 ลักษณะการจัดเรียงแครอทและถุงผ้าตาข่าย 29
ภาพที่ 3.6 ลักษณะการจัดเรียงหอมสับและถุงผ้าตาข่าย 30
ภาพที่ 3.7 ลักษณะการจัดเรียงข้าวโพดหวานนึ่งสุกและถุงผ้าตาข่าย 31
ภาพที่ 4.1 เครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อนและส่วนประกอบ 33
ภาพที่ 4.2 ลักษณะการติดตั้งเครื่องควบแน่นตัวนอกและเครื่องอัดไอ 34
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 35
ภาพที่ 4.4 อัตราการอบแห้งแครอทด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 36
ภาพที่ 4.5 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งแครอท 36
ภาพที่ 4.6 ลักษณะของแครอทก่อนและหลังอบแห้ง 37
ภาพที่ 4.7 พฤติกรรมการคืนตัวของแครอทอบแห้งที่ได้จากอุณหภูมิการอบแห้งต่างๆ 40
ภาพที่ 4.8 เปรียบเทียบลักษณะของแครอท 40
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 41
ภาพที่ 4.10 อัตราการอบแห้งหอมสับด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 42
ภาพที่ 4.11 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของการอบแห้งหอมสับ 42
ภาพที่ 4.12 ลักษณะของหอมสับก่อนและหลังการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งระบบปั๊มความร้อน 43
ภาพที่ 4.13 พฤติกรรมการคืนตัวของหอมสับอบแห้งที่ได้จากการอบแห้งอุณหภูมิต่างๆ 45
ภาพที่ 4.14 ลักษณะของหอมสับหลังการอบแห้งและหลังการคืนตัวเทียบกับหอมสับสด 46
ภาพที่ 4.15 พฤติกรรมการอบแห้งข้าวโพดดิบและข้าวโพดข้าวโพดนึ่งสุก 47

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.16 ลักษณะของข้าวโพดดิบและข้าวโพดนึ่งสุกก่อนการอบแห้ง 47
ภาพที่ 4.17 ลักษณะของข้าวโพดหลังการอบแห้ง 49
ภาพผนวกที่ ก1 แสดงตำแหน่งท่อลมในตำแหน่งที่นำมาคิดความดันลด 58
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟความดันสูญเสียของอากาศไหลผ่าน fin-coil 61

คำอธิบายสัญลักษณ์

m_w	คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ (kg)
m_{wc}	คือ มวลของน้ำควบแน่นที่เครื่องทำระเหย (kg)
m_d	คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)
m_i	คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุ (kg)
m_f	คือ น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (kg)
$\dot{m}_a$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศอบแห้ง/อากาศผสม (kg/s)
$\dot{m}_{bp}$	คือ อัตราการไหลของอากาศ bypass (kg/s)
$\dot{m}_{ae}$	คือ อัตราการไหลอากาศผ่านเครื่องทำระเหย (kg/s)
M_{di}	คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)
M_{df}	คือ ความชื้นสุดท้ายของวัสดุมาตรฐานแห้ง (เศษส่วน)
M_w	คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (wb, อัตราส่วน)
M_d	คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (db, อัตราส่วน)
h_{fg}	คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำ (kJ/kg)
c_a	คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg ^{O}C)
T_{ai}	คือ อุณหภูมิอากาศก่อนอบแห้ง (^{O}C)
T_{af}	คือ อุณหภูมิของอากาศหลังอบแห้ง (^{O}C)
T_{ei}	คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำระเหย (^{O}C)
T_{eo}	คือ อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องทำระเหย (^{O}C)
T_{ci}	คือ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องควบแน่น (^{O}C)
T_{co}	คือ อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องควบแน่น (^{O}C)
t	คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (s)
Q_e	คือ อัตราการทำความเย็นของเครื่องทำระเหย (kW)
Q_{cin}	คือ อัตราการทำความร้อนของเครื่องควบแน่นตัวใน (kW)
Q_{cex}	คือ อัตราการทำความร้อนของเครื่องควบแน่นตัวนอก (kW)
W_c	คือ กำลังของเครื่องอัดไอ (kW)
W_f	คือ กำลังของพัดลม (kW)
DR	คือ อัตราการอบแห้ง, kg/h หรือ %db/h
SMER	คือ อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ, kg/kWh

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

SEC	คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, MJ/kg
MER	คือ อัตราควบแน่นน้ำ, kg/h
COP	คือ coefficient of performance
Pe	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, kWh
RR	คือ อัตราส่วนการคืนตัว
ΔP	คือ ความดันลดในระบบ (Pa)
η_f	คือ ประสิทธิภาพของพัดลม
η_m	คือ ประสิทธิภาพมอเตอร์