



การศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนทิ้งคืนกลับจาก ระบบปรับอากาศ

A Study of Drying of Agricultural Products using Waste Heat Recovery from Air Conditioning System

สิริสวัสดิ์ จิ๊งเจริญนิรชร^{1*}, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์¹, วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง¹, และ ทวีวัฒน์ สุภารส²

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

E-mail: sirisawat74@hotmail.com*

²ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Sirisawat Juengjaroennirachon^{1*}, Panuwat Hoonpong¹, Witoon Chingtuaythong¹, and Taveewat Suparos²

¹Program in Mechanical Technology, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

E-mail: sirisawat74@hotmail.com*

²Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้ความร้อนทิ้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศ ชุดทดลองประกอบไปด้วยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 36,000 BTU/hr ซึ่งใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน และใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ในการศึกษาสร้างตู้อบแห้งจากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm โดยให้มีปริมาตรเท่ากับ $0.8 \times 0.6 \times 0.7 \text{ m}^3$ ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 1.10 kg/s ในการทดลองใช้พริกจินดาจำนวน 10 kg มาทำการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 58 ชั่วโมง เพื่อได้พริกจินดาแห้งจำนวน 2.69 kg ที่ความชื้น 14 %db. โดยในการอบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบที่ $49.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$

คำหลัก: การอบแห้ง, ความร้อนทิ้ง, ระบบปรับอากาศ

Abstract

This research involved the technical feasibility study for drying of agricultural products using waste heat recovery from air conditioning system. The experimental equipment consisted of split type air conditioning system with a capacity of 36,000 BTU/hr, R-22 refrigerants was used in this system as working fluid and air cooled heat exchanger. In experimental study, drying oven was made from 1 mm. thick stainless steel board and had a width of 0.8 m., a length of 0.6 m. and height of 0.7 m. The drying oven inside had 5 trays with 10 cm spacing between each tray and the air flow rate passing through the drying oven was 1.10 kg/s . For drying of chilli with waste heat recovery from air conditioning system, the initial weight of chilli was 10 kg and the final weight was 2.69 kg within



58 hours. The results show that the chilies were dried down to 14 %db. moisture content and the average temperature inside the oven was 49.3 °C.

Keywords: drying, waste heat recovery, air conditioning system

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่คนไทยใช้ในการถนอมอาหาร และยืดอายุในการเก็บรักษาให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานมากขึ้นโดยเฉพาะกับผลผลิตจากการเกษตรเช่น พริก ถั่ว เป็นต้น [1,2] ทัวไปการอบแห้งใช้หลักการในการลดความชื้นของผลผลิตจากการเกษตร ด้วยการระเหยน้ำออกไปเป็นไอน้ำ [3] โดยการลดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (Water Activity: Aw) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ [4,5] และการทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้ผลผลิตจากการเกษตรอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ [6] รวมถึงถ้าผลผลิตจากการเกษตรผ่านการอบแห้งในอุณหภูมิที่เหมาะสม จะสามารถคงคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งช่วยรักษาคุณภาพของสี และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นการอบแห้งผลผลิตจากการเกษตร ยังเพิ่มความสะดวก ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตจากการเกษตรได้อีกด้วย [7,8]

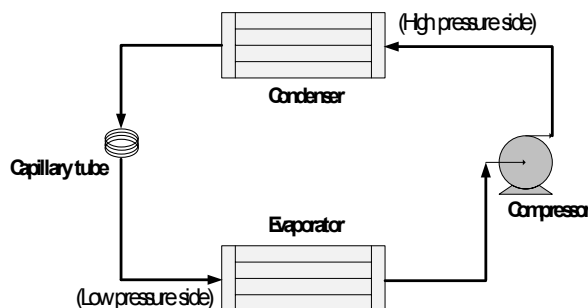
ในขณะที่เวลานี้แนวโน้มในปัจจุบันได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ มากขึ้นทุกขณะ และการผลิตพลังงานไฟฟ้า ต้องใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติในการผลิต เช่น น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันเตา แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดความขาดแคลนได้ในอนาคต พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียกับการทำงานของระบบปรับอากาศนั้นนับได้ว่าเป็นพลังงานที่มีอัตราที่มาก เพราะระบบปรับอากาศเป็นอีกระบบหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งภายในอาคาร บ้านเรือน และสำนักงาน พลังงานที่สูญเสียไปนี้เป็นพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และเมื่อนำหลักการทางด้านวิศวกรรมมาเกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่าเมื่อเปิดระบบปรับอากาศจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ ซึ่งกลายเป็นพลังงานที่สูญเสียทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ และถ้าเอาพลังงานความร้อนทั้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศนำมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบของการอบแห้งก็จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ [9,10]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนทั้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงาน และเป็นการใช้พลังงานให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด อีกทั้งในระยะยาวยังเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อนอีกด้วย

2. ทฤษฎี

2.1 หลักการของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

เมื่อเปิดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นแก๊สจากอีวาพอเรเตอร์แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงไปที่คอนเดนเซอร์ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลวและมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นก่อนที่จะไปลดแรงดันที่แคปิลลารีทิวและสารทำความเย็นก็จะไหลไปยังอีวาพอเรเตอร์ ขณะที่สารทำความเย็นภายในอีวาพอเรเตอร์ ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สจะดูดซับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบอีวาพอเรเตอร์ มีอุณหภูมิลดต่ำลง และจะเกิดน้ำควบแน่นที่อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นสถานะแก๊สที่ออกจากอีวาพอเรเตอร์จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเป็นวัฏจักรต่อไป [11,12] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการทำงานของวัฏจักร
การทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ พิจารณาที่ความเร็รรอบ



ของคอมเพรสเซอร์เต็มพิกัด ซึ่งอัตราส่วนความดันด้านดูดและด้านอัดของคอมเพรสเซอร์นั้น จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลและอุณหภูมิของสารทำความเย็นซึ่งความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ 1

$$W_{com} = \dot{m}_r (h_{com,o} - h_{com,i}) \quad (1)$$

โดยที่ W_{com} คืองานคอมเพรสเซอร์ $\dot{m}_r$ คืออัตราการไหลสารทำความเย็น $h_{com,o}$ คือเอนทัลปีทางออกคอมเพรสเซอร์ $h_{com,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าของคอมเพรสเซอร์

อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าอัตราความร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์ได้จากสมการที่ 2

$$Q_{cond} = \dot{m}_r (h_{cond,i} - h_{cond,o}) \quad (2)$$

โดยที่ Q_{cond} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ $h_{cond,i}$ คือเอนทัลปีทางออกคอนเดนเซอร์ และ $h_{cond,o}$ คือเอนทัลปีทางออกคอนเดนเซอร์

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าอัตราความร้อนที่ระบายออกจากอีวาพอเรเตอร์ได้จากสมการที่ 3

$$Q_{evap} = \dot{m}_r (h_{evap,o} - h_{evap,i}) \quad (3)$$

โดยที่ Q_{evap} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของคของอีวาพอเรเตอร์ $h_{evap,o}$ คือเอนทัลปีทางออกของอีวาพอเรเตอร์ และ $h_{evap,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าของอีวาพอเรเตอร์

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบอัดไอ สามารถพิจารณาได้ในเทอมของสัมประสิทธิ์สมรรถนะของการทำความเย็นได้จากสมการที่ 4

$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_{com}} \quad (4)$$

โดยที่ COP คือสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะการทำความเย็น

2.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือการให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุอบแห้ง เพื่อระเหยน้ำในวัสดุ หรือลดปริมาณความชื้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช้วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ เช่น ทราย หรือ ผ้า แต่เป็นวัสดุที่ไม่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีความชื้น

จำนวนหนึ่งแฝงอยู่ เช่น ผัก , ผลไม้ และ เนื้อสัตว์ต่างๆ [1,2]

2.3 คุณสมบัติของอากาศชื้น

อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งวัสดุทั่วไปโดยผ่านไปที่วัสดุที่ต้องการทำให้แห้ง อากาศนี้ เรียกว่าอากาศชื้น เพราะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำ อากาศแห้งประกอบด้วย ก๊าซไนโตรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ แม้ว่าปริมาณโดยมวลของไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศที่ใช้ในการอบแห้งโดยทั่วๆ ไปจะมีน้อยกว่า 10 % ของมวลทั้งหมดแต่โมเลกุลของไอน้ำเหล่านี้มีผลอย่างมากต่อการอบแห้ง [2]

2.4 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในผลิตภัณฑ์อาหาร และ เมล็ดพืชมีทั้งความชื้นที่เกาะติดที่ผิวของวัสดุ (Unbound moisture) ซึ่งสามารถไล่ความชื้นนี้ออกไปได้หมดโดยการให้ความร้อน ความชื้นอาจเกาะติดอยู่ภายในผนังด้านในท่อเล็กๆ (Capillaries) ที่อยู่ภายในเนื้อวัสดุ (Bound moisture) โดยไม่สามารถไล่ความชื้นภายในเนื้อวัสดุนี้ได้หมด ปริมาณความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้ 2 แบบ

2.4.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และการแสดงปริมาณความชื้นแบบนี้นิยมในทางการค้า ดังแสดงในสมการที่ 5 [2]

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ M_w คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก w คือน้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง

2.4.2 ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และการแสดงปริมาณความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่ดังแสดงในสมการที่ 6 [2]

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (6)$$

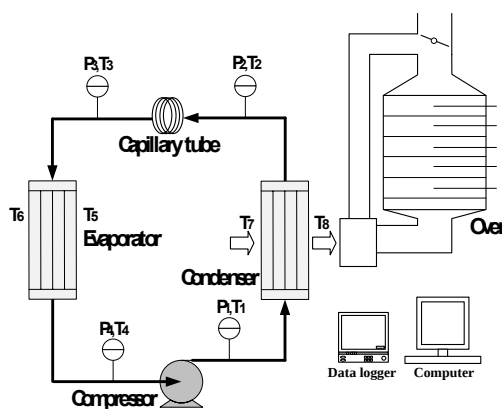
โดยที่ M_d คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก w คือน้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง



3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 36,000 BTU/hr ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน ตู้อบแห้งสร้างจากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm โดยให้มีปริมาตรเท่ากับ $0.8 \times 0.6 \times 0.7 \text{ m}^3$ ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 1.10 kg/s [10] ในการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศ และสารทำความเย็นด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด Type K วัดความดันในระบบโดยใช้บูตรองเกจ และวัดอัตราการไหลของอากาศโดยเอนาโมมิเตอร์ การเก็บข้อมูลในการทดลอง ทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยบันทึกค่าทุก 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2

ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลองคือพริกจินดา โดยอบครั้งละ 10 กิโลกรัม เฉลี่ยถาดละ 2 กิโลกรัม ในขณะที่อบพริกได้มีการสลับถาดเพื่อให้พริกได้รับความร้อนทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 3 การหาน้ำหนักพริกที่อบแห้งโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งอ่านทศนิยม 2 ตำแหน่ง การอบแห้งพริกจินดาความชื้นเริ่มต้นที่ 232% มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 14% มาตรฐานแห้ง โดยสามารถหาน้ำหนักแห้งของพริกตัวอย่างได้จากการนำพริกจินดามานั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง



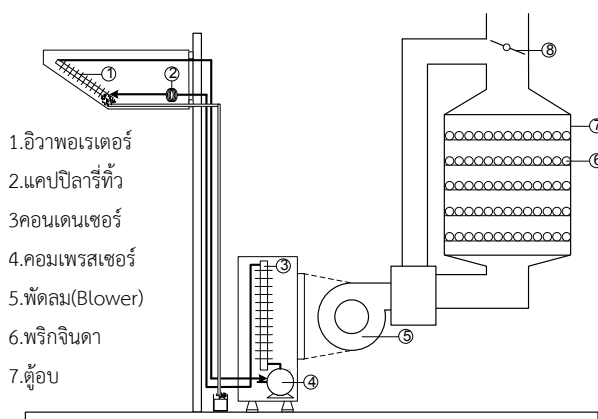
รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดันของระบบปรับอากาศ

โดยที่ $P_1 - P_4$ คือความดันของสารทำความเย็น $T_1 - T_4$ คืออุณหภูมิของสารทำความเย็น $T_5 - T_{13}$ คืออุณหภูมิของอากาศ



รูปที่ 3 แสดงตู้อบและพริกที่กำลังทำการอบแห้ง

การทดลองจะใช้อากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ อากาศที่แลกเปลี่ยนออกมาจะมีอุณหภูมิที่สูง พัดลม(Blower)จะถูกใช้เป็นตัวดูดอากาศที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์ และเป่าอากาศร้อนผ่านท่อเข้าตู้อบ หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านพริกที่นำมาอบแห้ง ทำให้พริกถูกระเหยน้ำออกด้วยความร้อนของอากาศ ในขณะเดียวกันความชื้นของพริกก็จะลดลงด้วย อากาศที่ไหลผ่านพริกจะถ่ายเทมวลน้ำที่ระเหยออกสู่ช่องระบายอากาศ โดยไม่มีการนำอากาศกลับมาหมุนเวียนใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการอบพริกด้วยความร้อนที่คืนกลับจากระบบปรับอากาศ

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองการอบแห้งพริกจินดาด้วยความร้อนที่คืนกลับจากระบบปรับอากาศสามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

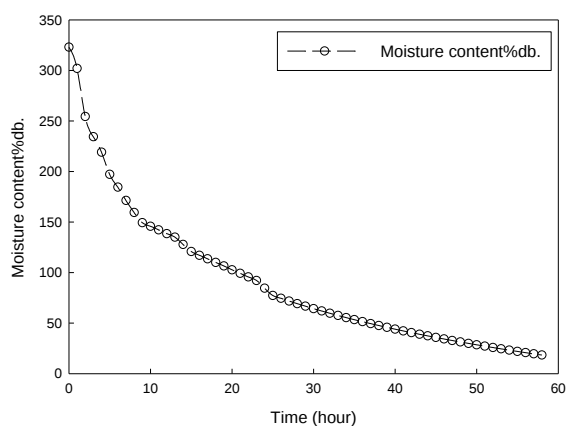
จากรูปที่ 5 เป็นการแสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในพริกเทียบกับเวลา พบว่าในการอบแห้งพริก



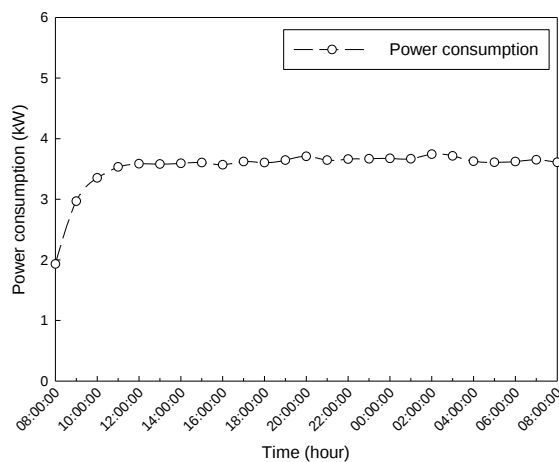
จินดาจำนวน 10 kg ในช่วงแรกความชื้นในพริกลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปมากขึ้นความชื้นในพริกจินดามีการเปลี่ยนแปลงน้อย จากการทดลองการอบพริกด้วยความร้อนทั้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศนั้น อากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์เมื่อไหลผ่านเข้าในตู้อบจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ 49.3°C ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 32°C ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเมื่อนำมาอบพริกเพื่อให้ได้ความชื้น 14% มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 7 จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 58 ชั่วโมง เพื่อได้พริกจินดาแห้งจำนวน 2.69 kg



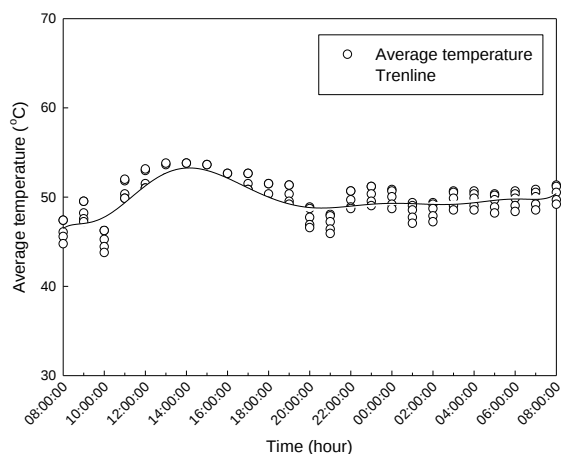
รูปที่ 7 แสดงพริกหลังจากอบแห้ง (14% มาตรฐานแห้ง)



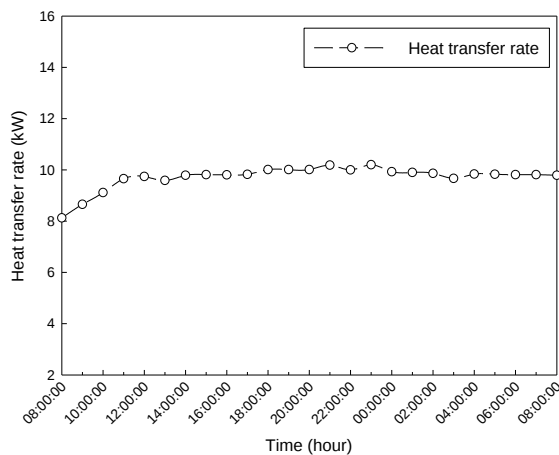
รูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในพริกเทียบกับเวลา



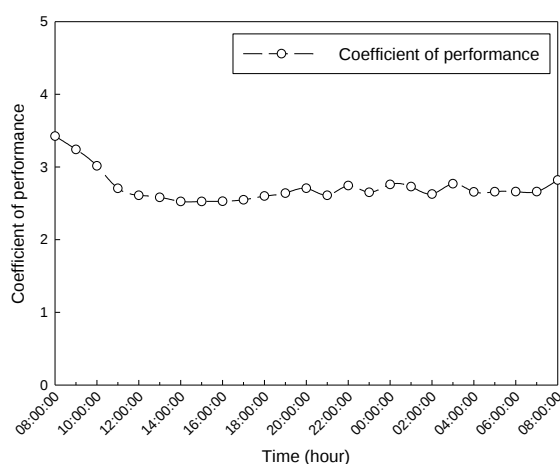
รูปที่ 8 กำลังงานขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา



รูปที่ 6 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบเทียบกับเวลา



รูปที่ 9 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เทียบกับเวลา



รูปที่ 10 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศ
เทียบกับเวลา

จากรูปที่ 8 เป็นการแสดงกำลังงานขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา จากการทดลองระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาด 36,000 BTU/hr ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานนั้น พบว่าเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน จะใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 3.65 kW และคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นเท่ากับ 9.87 kW ดังแสดงในรูปที่ 9

จากรูปที่ 10 เป็นการแสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการนำความร้อนทิ้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศไปอบแห้ง สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 2.71

5. สรุป

จากการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนทิ้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศ ในการทดลองใช้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาด 36,000 BTU/hr ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน และใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จากการทดลองพบว่าอากาศที่แลกเปลี่ยน ความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์เมื่อไหลผ่านเข้าไปในตู้อบจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ 49.3 °C และเมื่อใช้ฟริกจินดาจำนวน 10 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 232% มาตรฐานแห้ง จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 58 ชั่วโมง เพื่อได้ฟริกจินดาแห้ง

จำนวน 2.69 kg ที่ความชื้น 14% มาตรฐานแห้ง ซึ่งจากการทดลองนั้นมีความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ความร้อนทิ้งคืนกลับจากระบบปรับอากาศมาอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรประเภทพริก เนื่องจากอากาศที่ถ่ายเทออกมาจากคอนเดนเซอร์นั้นมีอุณหภูมิที่สูงเพียงพอที่จะนำไปอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร อีกทั้งระบบปรับอากาศยังสามารถทำงานได้ปกติ โดยที่ระบบปรับอากาศใช้กำลังงานในการขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 3.65 kW ส่วนคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นเท่ากับ 9.87 kW และมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเท่ากับ 2.71

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุนสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่สนับสนุน และอำนวยความสะดวกในงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในงานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา, การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ที่อปปจำกัด, 2555
- [2] สมชาติ โสภณธฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, กรุงเทพฯ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2540
- [3] นิธิยา รัตนพานนท์, หลักการแปรรูปอาหารเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์, 2544
- [4] สุดิธา อินทผล, อุพิทย์ สุวคันธกุล และโอภาส สุขหวาน, การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา., ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 ม.ค.-มิ.ย. 2551
- [5] ฤทธิชัย อัครราชันย์, ภาณุภณ แสงเจริญรัตน์, สุนทร สืบคำ, เจริญมณี มั่งมูล และดวงกมล จนใจ, จลนพลศาสตร์



การอบแห้งด้วยลมร้อนของเปลือกทับทิม, วารสาร
สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, ปีที่17, ฉบับที่
1 ม.ค.-ธ.ค. 2554

วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 18-20
ตุลาคม 2549 จังหวัดนครราชสีมา

- [6] ทิพาพร อยู่วิทยา, การใช้ความร้อนเพื่อฆ่าเชื้ออาหาร,
ข้อมูลจาก<http://www.kmutt.ac.th/foodeng/download/-pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 16 มีนาคม 2559)
- [7] นายณัฐพล รุ่งประแสง, การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วย
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบ
ลิคร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบเปลี่ยนเฟส,
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547
- [8] มานนท์ สังข์กลั่นหอม, เครื่องอบแห้งผักและผลไม้โดย
รางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลีคร่วมกับกระจก
สะท้อนแสงและระบบกักเก็บพลังงานแบบเปลี่ยนเฟส,
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
เทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าธนบุรี, 2548
- [9] ศันสนีย์ แสนศิริพันธ์, การพัฒนาเครื่องอบแห้งสตรอเบอ
รี่โดยใช้ความร้อนทั้งจากคอนเดนเซอร์และพลังงาน
แสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546
- [10] สิริสวัสดิ์ จิงเจริญนิษฐ, การวิเคราะห์สมรรถนะระบบ
อบแห้งโดยใช้ความร้อนทั้งคืนกลับจากระบบปรับ
อากาศ, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรอุตสาหกรรม
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2550
- [11] W. F. Stoecker and J. W. Jones, Refrigeration &
Air Conditioning, 2nd International edition.
McGraw-Hill, Singapore, 1982
- [12] Whitman, William C., William M. Johnson and A.
Tomzyk. "Refrigeration & Air Conditioning
Technology". 4th edition. Albany Thomson
Learning, 2000.
- [13] ไพบรจน์ ศิริรัตน์, สิทธิสันต์ กังประเสริฐกุล, กำพล
ประทีปชัยกูร และพีระพงศ์ ทิมสกุล, สมรรถนะของ
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิด
อุโมงค์ในการอบพริกชี้หนู, การประชุมวิชาการเครือข่าย