การอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

Drying of Agricultural Products using Waste Heat Recovery from Split Type Air Conditioning System

สิริสวัสดิ์ จึงเจริญนิรชร[1*] และ ทวีวัฒน์ สุภารส[2]

Sirisawat Juengjaroennirachon[1*] and Taveewat Suparos[2]

[1]แขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

[2]ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

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

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

*Email: sirisawat74@hotmail.com

Received: October 17, 2018; Revised: March 28, 2019; Accepted: April 04, 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ชุดทดลองประกอบไปด้วยระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 10.55 kW (36,000 Btu/hr) คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานในระบบปรับอากาศ ในการศึกษาสร้างตู้อบแห้งให้มีปริมาตรเท่ากับ 0.8 X 0.6 X 0.7 m^3 จากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 0.95 kg/s ในการทดลองใช้กล้วยน้ำว้าจำนวน 10 kg มาทำการอบแห้ง จากการทดลองพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 48 ชั่วโมง และได้กล้วยน้ำว้าจำนวน 4.35 kg ที่ความชื้น 50% มาตรฐานแห้ง โดยในการอบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบที่ 49.85 °C

คำสำคัญ : การอบแห้ง, พลังงานความร้อนเหลือทิ้ง, ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

Abstract

This research for drying of agricultural products using waste heat recovery from split type air conditioning system. The experimental equipment consisted of split type air conditioning system with a capacity of 10.55 kW (36,000 BTU/hr), air cooled condenser and R-22 refrigerant was used in the system. In experimental study, drying oven was made from 1 mm. thick stainless steel board to get a volume of 0.8x0.6x0.7 m^3. There were 5 trays in oven with 10 cm spacing between each tray and the air flow rate passing through the drying oven was 0.95 kg/s. For drying of banana with waste heat recovery from split type air conditioning system, the initial weight of banana was 10 kg and the final weight was 4.35 kg

within 48 hours. The results show that the banana were dried down to 50 %db. moisture content and the average temperature inside the oven was 49.85 °C.

Keywords : Drying, Waste heat recovery, Split type air conditioning system

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่คนไทยใช้ในการถนอมอาหาร และยืดอายุในการเก็บรักษาให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานมากขึ้นโดยเฉพาะกับผลผลิตจากการเกษตรเช่น พริก กล้วย เป็นต้น [1,2] การอบแห้งโดยทั่วไปใช้หลักการลดความชื้นของผลผลิตจากการเกษตร ด้วยการระเหยน้ำออกไปเป็นไอน้ำ [3] โดยการลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water Activity: Aw) ซึ่งมีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้ผลผลิตจากการเกษตรอยู่ในระดับที่เชื้อจุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญได้ [3,4] รวมถึงหากผลผลิตจากการเกษตรได้มีการผ่านการอบแห้งในอุณหภูมิที่เหมาะสม จะสามรถคงคุณค่าทางอาหาร อีกทั้งยังช่วยรักษาคุณภาพของสี และรูปร่างของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นการอบแห้งผลผลิตจากการเกษตร ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา และเพิ่มมูลค่าให้แก่ผลผลิตจากการเกษตรได้อีกด้วย [5]

ในขณะเดียวกันเมื่อนำหลักการทางด้านวิศวกรรมมาเกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า เมื่อเปิดระบบปรับอากาศจะมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ ซึ่งกลายเป็นพลังงานที่สูญเสียทิ้งโดยเปล่าประโยชน์และถ้าเอาความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศนำมาประยุกต์ใช้ในรูปของการอบแห้งก็จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ [6,7] เพราะระบบปรับอากาศเป็นอีกระบบหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งภายในอาคาร ที่อยู่อาศัย และสำนักงาน พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียกับการทำงานของระบบปรับอากาศนั้นนับได้ว่าเป็นพลังงานที่มีอัตราที่มาก พลังงานที่สูญเสียไปนี้เป็นพลังงานที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

2. วัตถุประสงค์

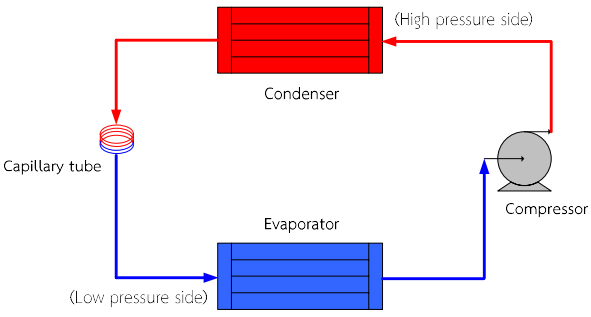
2.1 เพื่อออกแบบและสร้างตู้อบแห้งโดยใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

2.2 เพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร

3. ทฤษฎีและหลักการ

3.1 หลักการของระบบทำความเย็นแบบอัดไอ

เมื่อเปิดระบบปรับอากาศคอมเพรสเซอร์จะดูดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นแก๊สจากอิวาพอเรเตอร์แล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงไปที่คอนเดนเซอร์ เพื่อควบแน่นเป็นของเหลวและมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นก่อนที่จะไปลดแรงดันที่แคปปิลารี่ทิ้วและสารทำความเย็นก็จะไหลไปยังอิวาพอเรเตอร์ ขณะที่สารทำความเย็นภายในอิวาพอเรเตอร์ ระเหยตัวเปลี่ยนสถานะเป็นแก๊สจะดูดรับปริมาณความร้อนจากอากาศโดยรอบ ทำให้อากาศโดยรอบอิวาพอเรเตอร์ มีอุณหภูมิลดต่ำลง และจะเกิดน้ำควบแน่นที่อิวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นสถานะแก๊สที่ออกจากอิวาพอเรเตอร์จะถูกคอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัดสารทำความเย็นให้มีอุณหภูมิสูงและแรงดันสูงเป็นวัฏจักรต่อไป [8,9] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ พิจารณาที่ความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์เต็มพิกัด ซึ่งอัตราส่วนความดันด้านดูดและด้านอัดของคอมเพรสเซอร์นั้น จะสัมพันธ์กับอัตราการไหลและอุณหภูมิของสารทำความเย็นซึ่งความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (1)

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

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

อัตราการถ่ายเทความร้อนของอิวาพอเรเตอร์จากการทดลองสามารถคำนวณหาค่าอัตราความร้อนที่ระบายออกจากอิวาพอเรเตอร์ได้จากสมการที่ (3)

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

โดยที่ Q_{evap} คืออัตราการถ่ายเทความร้อนของอิวาพอเรเตอร์ $h_{evap,o}$ คือเอนทัลปีทางออกของอิวาพอเรเตอร์ และ $h_{evap,i}$ คือเอนทัลปีทางเข้าของอิวาพอเรเตอร์

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบอัดไอสามารถพิจารณาได้ในเทอมของสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะการทำความเย็นได้จากสมการที่ (4)

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

โดยที่ COP คือสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะการทำความเย็น

3.2 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือการให้พลังงานความร้อนแก่วัสดุอบแห้ง เพื่อระเหยน้ำในวัสดุ หรือลดปริมาณความชื้น ในที่นี้จะกล่าวถึงการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารเท่านั้น ซึ่งผลิตภัณฑ์อาหารส่วนมากจะไม่ใช่วัสดุที่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ได้ เช่น ทราย หรือ ผ้า แต่เป็นวัสดุที่ไม่สามารถทำให้แห้งจนความชื้นมีค่าเป็นศูนย์ แต่จะมีความชื้นจำนวนหนึ่งแฝงอยู่ เช่น ผัก ผลไม้ และ เนื้อสัตว์ต่างๆ [1,2]

3.3 คุณสมบัติของอากาศชื้น

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

3.4 ความชื้นในวัสดุ

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

3.4.1 ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุชื้น ซึ่งเมื่อคูณด้วย 100 จะมีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และการแสดงความชื้นแบบนี้นิยมในทางการค้า ดังแสดงในสมการที่ (5) [1]

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

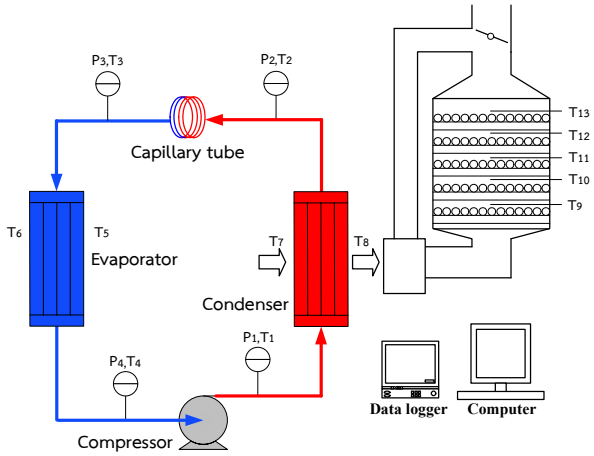
โดยที่ M_w คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก w คือน้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง

3.4.2 ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คือ อัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในวัสดุต่อน้ำหนักวัสดุแห้ง สามารถหาค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ และการแสดงความชื้นแบบนี้ส่วนใหญ่ใช้ทางด้านงานวิจัย เพราะสามารถคำนวณค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในขบวนการอบแห้งได้ง่ายขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของวัสดุคงที่ดังแสดงในสมการที่ (6) [1]

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

โดยที่ M_d คือเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง w คือ น้ำหนักเริ่มต้นของวัสดุชื้น และ d คือน้ำหนักของวัสดุแห้ง

4. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดันของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

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

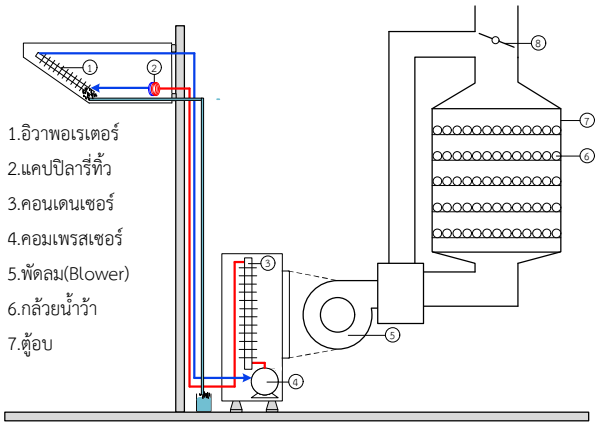
ระบบทำความเย็นแบบอัดไอขนาด 10.55 kW (36,000 BTU/hr) คอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงาน สร้างตู้อบแห้งให้มีปริมาตรเท่ากับ 0.8 X 0.6 X 0.7 m^3 จากแผ่นสแตนเลสที่มีความหนา 1 mm ในตู้อบแห้งมีถาดจำนวน 5 ถาด ซึ่งถาดแต่ละชั้นห่างกัน 10 cm และอัตราการไหลของอากาศผ่านตู้อบแห้ง 0.95 kg/s [7] ในการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศ และสารทำความเย็นด้วยเทอร์โมคับเปิ้ลชนิด Type K วัดความดันในระบบโดยใช้บูดองเกจ และวัดอัตราการไหลของอากาศโดยเอนาโมมิเตอร์ การเก็บข้อมูลในการทดลอง ทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่างๆ โดยบันทึกค่าทุก 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2

ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลองคือกล้วยน้ำว้า โดยอบครั้งละ 10 กิโลกรัม เฉลี่ยถาดละ 2 กิโลกรัม ในขณะอบกล้วยได้มีการสลับถาดเพื่อให้กล้วยได้รับความร้อนทั่วถึง ดังแสดงในรูปที่ 3 การหาน้ำหนักกล้วยที่อบแห้งโดยการชั่งด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลซึ่งอ่านทศนิยม 2 ตำแหน่ง การอบแห้งกล้วยน้ำว้าความชื้นเริ่มต้นที่ 250% มาตรฐานแห้ง อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 50% มาตรฐานแห้ง โดยสามารถหาน้ำหนักแห้งและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกล้วยตัวอย่าง ได้จากการนำกล้วยน้ำว้ามาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ นำเข้าตู้อบทดสอบที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง [5,7]

รูปที่ 3 ตู้อบและกล้วยที่กำลังทำการอบแห้ง

ในการอบแห้งจะใช้อากาศที่ถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ อากาศที่ถ่ายเทออกมาจะมีอุณหภูมิที่สูง พัดลม(Blower) จะถูกใช้เป็นตัวดูดอากาศที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์ และเป่าอากาศร้อนผ่านท่อเข้าตู้อบ หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านกล้วยที่นำมาอบแห้ง ทำให้กล้วยถูกระเหยน้ำออกด้วยความร้อนของอากาศ ในขณะเดียวกันความชื้นของกล้วยก็จะลดลงด้วย อากาศที่ไหลผ่านกล้วยจะ

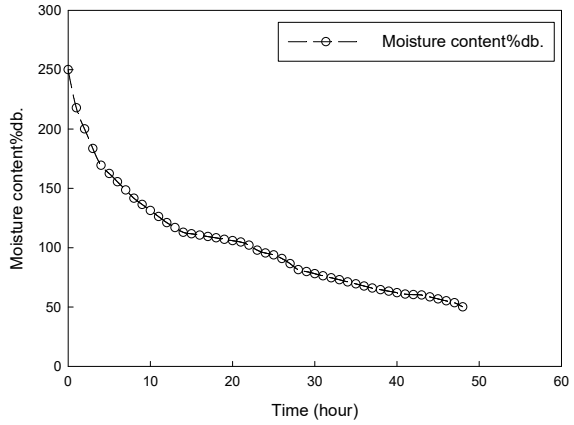
ถ่ายเทมวลน้ำที่ระเหยออกสู่ช่องระบายอากาศ โดยไม่มีการนำอากาศกลับมาหมุนเวียนใหม่ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การอบกล้วยด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

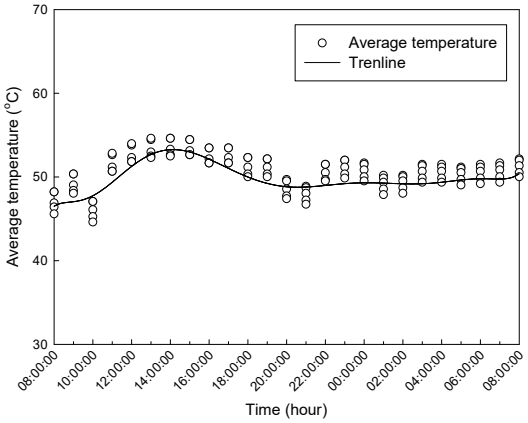
5. ผลการทดลอง

จากการทดลองการอบกล้วยด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้



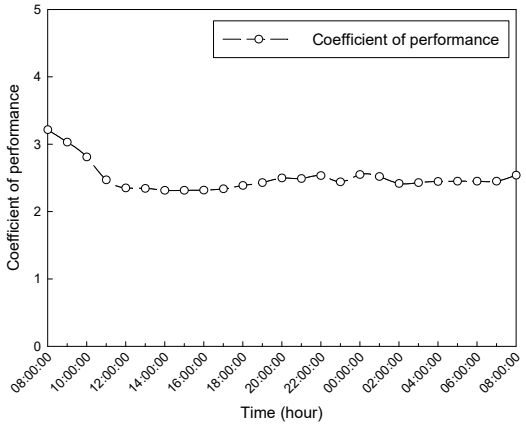
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในกล้วยเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นมาตรฐานแห้งในกล้วยเทียบกับเวลา พบว่าในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าจำนวน10 kg ในช่วงแรกความชื้นในกล้วยลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อเวลาผ่านไปความชื้นในกล้วยมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ในส่วนอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์เมื่อไหลผ่านเข้าในตู้อบจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบประมาณ49.85 °C ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย 33.94 °C ดังแสดงใน รูปที่ 6 และเมื่อนำกล้วยมาอบเพื่อให้ได้ความชื้น 50% มาตรฐานแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 7 จะใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 48 ชั่วโมง และได้กล้วยน้ำว้าจำนวน 4.35 kg



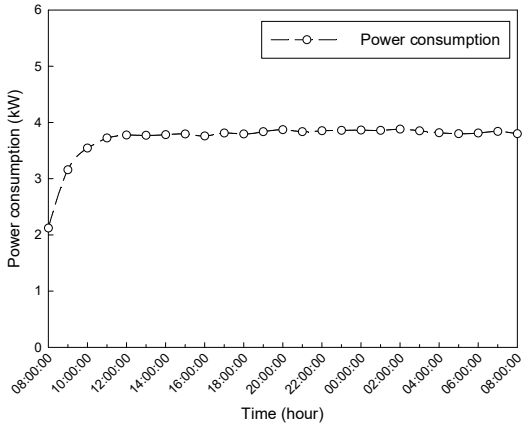
รูปที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบเทียบกับเวลา

รูปที่ 7 กล้วยหลังจากอบแห้ง (50% มาตรฐานแห้ง)

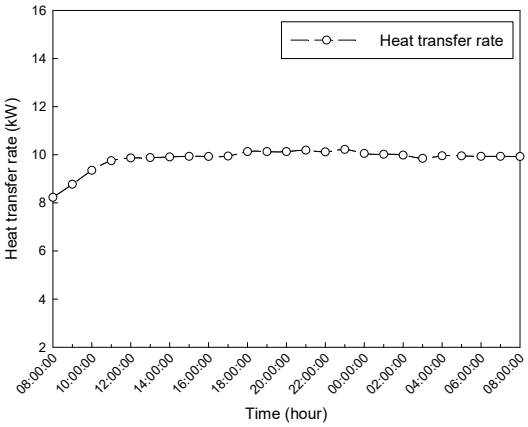


รูปที่ 8 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 8 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเทียบกับเวลา จากการทดลองพบว่าเมื่อมีการนำความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศไปอบแห้ง สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศมีค่าเท่ากับ 2.65



รูปที่ 9 กำลังงานขับคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา



รูปที่ 10 อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์เทียบกับเวลา

จากรูปที่ 9 แสดงกำลังงานขับคอมเพรสเซอร์เทียบกับเวลา จากการทดลองระบบปรับอากาศแบบอัดไอขนาด 10.55 kW (36,000 BTU/hr) ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานนั้น พบว่าเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน จะใช้กำลังงานในการขับคอมเพรสเซอร์เท่ากับ 3.71 kW และคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 9.84 kW ดังแสดงในรูปที่ 10

6. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สารทำความเย็น R-22 เป็นสารทำงานในระบบปรับอากาศ จากการทดลองพบว่าในการอบแห้งกล้วยน้ำว้าจำนวน 10 kg ความชื้นเริ่มต้นที่ 250% มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 48 ชั่วโมง และได้กล้วยจำนวน 4.35 kg ที่ความชื้น 50% มาตรฐานแห้ง [5,7] ในส่วนของอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนออกมาจากคอนเดนเซอร์ เมื่อไหลเข้าภายในตู้อบแห้งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 49.85 °C ซึ่งจากการทดลองในช่วงที่เปิดระบบปรับอากาศนั้น มีความเป็นไปได้ในการใช้ความร้อนเหลือทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร อีกทั้งระบบปรับอากาศยังสามารถทำงานได้ปกติ โดยที่ระบบปรับอากาศมีค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะระบบปรับอากาศเท่ากับ 2.65 ส่วนคอมเพรสเซอร์ใช้กำลังงานในการขับเท่ากับ 3.71 kW และคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 9.84 kW

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรีที่สนับสนุน และอำนวยความสะดวกในงานวิจัย ขอขอบคุณภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ ในงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Soponronnarit, *Drying of seeds and foods. (7th edition)*. Bangkok: King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 1997 (in Thai)

[2] S. Devahastin, *Drying of Foods and Bio materisls*.Bangkok: TopPublisher, 2012 (in Thai)

[3] T. Yoovidhya, *Thermal Sterilization of Foods.* King Mongkut's University of Technology Thonburi. 2015 (in Thai)

[4] R. Wangrak, R. Yamsuan, W. Kaewyot, D. Amornl erdpison, C. Rardniyom and R. Assawarachan, " Mathematic Models of Dried Pomegranate Peels during Hot Air Drying" in Proceeding of *15th TSAE National Conference and the 7th TSAE International ConferenceTSAE 2014, Phra Nakhon Si Ayutthaya Thailand*, April. 2-4, 2014, pp.542-548 (in Thai)

[5] N. Roonprasang, "Drying of Banana Using Solar Dryer Combined with Parabolic Trough and Phase Change Energy Storage System," M.S. Thesis, Department of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2004 (in Thai).

[6] S. Sansiribhan, "Development of Dryer Using Combined Condenser Heat Waste and Solar Energy," M.S. Thesis, Department of Energy Technology, School of Energy, Environment and Material, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2003 (in Thai).

[7] S. Juengjaroennirachon, "Performance Analysis of Drying System using Waste Heat Recovery from Air Conditioning System," M.S. Thesis, Department of Mechanical Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, 2007 (in Thai).

[8] W. F. Stoecker, and J. W. Jones, *Refrigeration & Air Conditioning*, (2nd *edition*). McGraw-Hill, Singapore, 1982.

[9] W. William, C. William, M. Johnson and A. Tomzyk, *Refrigeration & Air Conditioning Technology*. (4th edition). Albany Thomson Learning, 2000.