



การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ

จีระพงศ์ ศรีวิชัย*

อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตตลิ่งชัน

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08-9493-8657 อีเมล: geerapongs@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.02.001

รับเมื่อ 5 พฤศจิกายน 2558 ตอรับเมื่อ 12 กุมภาพันธ์ 2559 เผยแพร่ออนไลน์ 16 กันยายน 2559

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งอาศัยพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ เกณฑ์ที่ใช้ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง คือ อัตราการอบแห้ง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ และอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ จากการอบแห้งกล้วยน้ำว้าที่มีความชื้นเริ่มต้น 137 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นสุดท้ายเป็น 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ถูกอบแห้งภายใต้สภาวะอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55, 60 และ 65°C ที่ความเร็วอากาศเป็น 3 เมตรต่อวินาที ผลการทดลอง พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิการอบแห้ง และมีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงสุด คือ 0.12 กก. ระเหยน้ำต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 และ 60°C มีค่าอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน คือ 0.123 และ 0.116 กก. ระเหยน้ำต่อชั่วโมง และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด คือ 28.86 เมกะจูล ต่อ กก. การระเหยน้ำ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าผลของอัตราความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าต่ำกว่าการใช้แหล่งพลังงานความร้อนรูปแบบอื่นที่ใช้ไฟฟ้า

คำสำคัญ: การอบแห้ง อากาศร้อน ความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ



A Study of Performance of the Induction Heating Dryer

Geerapong Srivichai*

Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Sakonnakhon Campus, Sakon Nakhon, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08-9493-8657, E-mail: geerapongs@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2016.02.001

Received 5 November 2015; Accepted 12 February 2016; Published online: 16 September 2016

© 2016 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

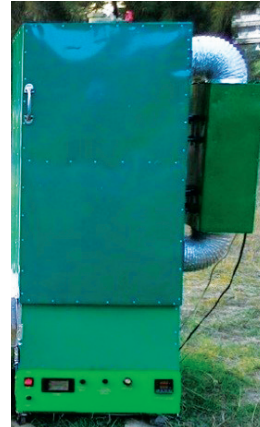
Abstract

This study aimed to evaluate the performance of an induction heating dryer. The drying rate, the specific energy consumption, and the specific rate of evaporation of water were used as the criteria for performance assessment. A banana with initial moisture content of about 137% dry basis was dried down to the final moisture content of 20% dry basis. The drying temperatures of 55, 60 and 65°C were used with an air velocity of 3 m/s. The results revealed that the drying rate increased with the drying temperatures and the highest specific rate of evaporation of water was 0.12 kg water evap./kW-h. In addition, the drying temperature of 65 and 60°C demonstrated a similar drying rate of 0.123 and 0.116 kg water evap./h, respectively. Moreover, the drying at 55°C exhibited the lowest specific energy consumption of 28.86 MJ/kg water evap. The results showed that the proposed method yielded lower specific energy consumption than with other electric dryers.

Keywords: Drying, Hot Air, Induction Heating

1. บทนำ

พลังงานมีความสำคัญต่อประเทศไทย เนื่องจากการใช้พลังงานด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นทุกปี โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรเพื่อแปรรูปและเพิ่มมูลค่าสินค้าเป็นกลุ่มหนึ่งควรส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการทางความร้อนซึ่งมีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ปัจจุบันวิธีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่นิยมการอบแห้งโดยใช้ฮีทเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater) จากการค้นคว้าวิจัยที่เกี่ยวข้องของ [1], [2] ได้ประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดเพื่ออบแห้งวัสดุทางการเกษตรโดยอธิบายหลักการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ว่ารังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางจากแหล่งกำเนิดไปยังวัสดุซึ่งรังสีจะตกกระทบบนวัสดุ บางส่วนสะท้อนกลับและอีกบางส่วนถูกคลื่นด้วยวัสดุจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุ ทำให้วัสดุมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำภายในและภายนอกของวัสดุ และต่อมา [3] ได้ศึกษาอิทธิพลของกำลังอินฟราเรด อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วที่มีผลต่อความเข้มข้นรังสีอินฟราเรดและการถ่ายเทความร้อนโดยพบว่ากำลังอินฟราเรดมีผลต่อค่าทั้งสอง ขณะที่อุณหภูมิอบแห้งและความเร็วอากาศไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ นอกเหนือจากวิธีการอบแห้งข้างต้นแล้ว การให้ความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้น [4], [5] โดยการให้ความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ (Induction Heating) เป็นวิธีการสร้างความร้อนให้กับแผ่นโลหะ ทำโดยให้กระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลผ่านขดลวดส่งผลให้เกิดสนามแม่เหล็กความถี่สูงคล่องผ่านแผ่นโลหะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลวนและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนขึ้นบริเวณแผ่นโลหะโดยตรงสามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็วส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำความร้อนสูง เมื่อเทียบกับฮีทเตอร์อินฟราเรดแล้วมีการสูญเสียที่เกิดจากการแผ่รังสีกระจายในทิศทางที่ลมไม่ผ่านจะสูญเสียความร้อนออกข้างตู้อบเป็นต้น จากวิธีการให้ความร้อนดังกล่าวนี้จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการ



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ

อบแห้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดจะพัฒนาระบบอบแห้งชนิดความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ โดยมุ่งศึกษาสมรรถนะของพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำเพื่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งมุ่งหวังให้ประโยชน์ต่อการนำไปใช้งานอุตสาหกรรมเกษตรต่อไป

2. วิธีการวิจัย

2.1 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ใช้กล้วยน้ำว้า ที่ระยะ 6 มีสีเหลืองทั้งผล (ผลสุก) จาก 8 ระยะ

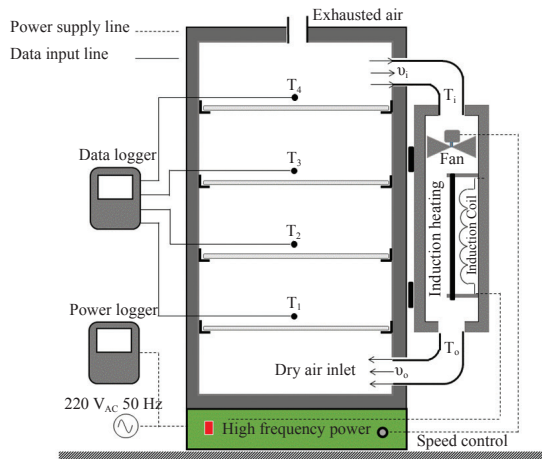
2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ศึกษาอาศัยความร้อนเชิงเหนี่ยวนำในระบบปิดแสดงในรูปที่ 1 โดยอากาศจะถูกทำให้ร้อนขึ้นหลังจากผ่านแหล่งความร้อนเชิงเหนี่ยวนำจากนั้นอากาศร้อนจะถูกพัดด้วยพัดลม (Blower) ส่งต่อเข้าห้องอบแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเครื่องอบแห้งมีรายละเอียดดังนี้ ห้องอบแห้งมีขนาด 600 มม. × 600 มม. × 1000 มม. (ก × ย × ส) มีถาดวางผลิตภัณฑ์ทำจากวัสดุ Stainless Steel หนา 1 มม. เจาะรูให้มีรัศมี 4 มม. เพื่อให้อากาศไหลเวียนสะดวกแล้วพับขึ้นรูปมีขนาด 530 มม. × 570 มม. × 10 มม. (ก × ย × ส) บรรจุกล้วยได้ถึงชั้นละ 1 กก. (น้ำหนักกล้วย) จำนวน 4 ชั้น ถาด ส่วนห้องผลิตอากาศร้อนมีขนาด

350 มม. × 200 มม. × 550 มม. ภายในห้องประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใช้ขดลวดตัวนำทองแดงเบอร์ 30 SWG. มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.314 มม. จำนวน 40 เส้นพันตีเกลียวเข้าด้วยกันเพื่อลดปรากฏการณ์ผิวตัวนำเนื่องจากความถี่ใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางรวมกัน 2.5 มม. หลังจากนั้นนำลวดที่ตีเกลียวแล้วออกแบบการพันเป็นวงขด (Spiral Coil) จำนวน 35 รอบการพัน ถูกวางไว้ด้านล่างของแผ่นโลหะ Carbon Steel ขนาด 200 มม. × 300 มม. × 5 มม. ที่ระยะห่าง 10 มม. โดยขดลวดดังกล่าวถูกนำไปต่อเป็นวงจรไหลลดเรโซแนนซ์แบบอนุกรม ใช้อินเวอร์เตอร์เต็มบริดจ์เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงเพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ได้ถึง 30 kHz [6] จ่ายให้กับขดลวดตัวนำจะเกิดสนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนตามความถี่ไปเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนบริเวณแผ่นโลหะ ในวงจรอินเวอร์เตอร์ถูกควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบปรับเลือนมุมเฟสของสัญญาณ PWM [7]–[9] ให้พิกัดกำลังไฟฟ้าได้ถึง 1.5 kW การพาอากาศร้อนให้กับห้องอบแห้งใช้พัดลมขับอากาศแบบไบพัด (Rotary Fan) ขนาด 180 มม. × 150 มม. × 50 มม. ให้กำลังไฟฟ้า 50 W มีการควบคุมความเร็วรอบของพัดลมเพื่อปรับอัตราการนำพาอากาศร้อนให้หมุนเวียนภายในห้องอบแห้ง ส่วนอุปกรณ์และเครื่องมือวัดใช้เครื่องบันทึกสัญญาณเวลา (Data Logger, Extech Model: SDL200) เครื่องวัดความเร็วลม (Air Flow Anemometer, Model: TW-03) เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล (Digital Table Top Scale, Model: PA-0035) เครื่องวัดสัญญาณทางไฟฟ้า (Oscilloscope: Tektronix TD 2014B) พร้อมโพรบวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้า เครื่องบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้า (Power Logger, Fluke Model : 1735)

2.3 วิธีการทดลอง

ขั้นแรกทดลองการทำงานของเครื่องอบแห้งเบื้องต้น โดยเริ่มจากวัดปริมาณการไหลของอากาศด้านขาออก (v_o) และด้านขาเข้า (v_i) ของห้องผลิตอากาศร้อน หลังจากนั้นจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ



รูปที่ 2 ผังการทดลองของงานวิจัย

นำบันทึกอุณหภูมิของอากาศร้อนด้านขาออก (T_o) และด้านขาเข้า (T_i) ของห้องผลิตอากาศร้อน ดังรูปที่ 2 ขั้นต่อไปทดลองหาความสามารถในการอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยนำมาล้างทำความสะอาดทั้งเปลือกแล้วปอกเปลือก ตัดปลายทั้งสองข้างออกด้านละ 0.5 ซม. ในแต่ละครั้งของการอบแห้งจะใช้กล้วยน้ำว้ามีน้ำหนักรวม 2 กก. โดยวางจัดเรียงบนถาดทั้ง 4 ถาด ให้แต่ละถาดมีน้ำหนักเป็น 0.5 กก. ก่อนนำเข้าห้องอบแห้ง

การวัดและบันทึกผลการทดลองเริ่มจากความเร็วอากาศด้านขาออกของห้องผลิตอากาศร้อนเป็น 3 เมตรต่อวินาที จากนั้นเปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที เพื่ออุ่นอากาศภายในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแต่ละชั้นถาดเฉลี่ย ($T_1 - T_4$) เท่ากับอุณหภูมิปรับตั้งก่อนนำกล้วยน้ำว้าเข้าห้องอบแห้ง โดยทดลองอบแห้งเริ่มตั้งแต่วันที่ 9.00 น. ถึง 17.00 น. ตำแหน่งบันทึกข้อมูลต่างๆ แสดงในรูปที่ 2 ระหว่างทดลองถูกบันทึกอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกสัญญาณเวลาวัดอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแต่ละถาดรวม 4 ตำแหน่ง ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่และความเร็วลมก่อนเข้าห้องอบแห้ง ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกล้วยโดยทุกๆ 1 ชม. จะนำออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาการลดความชื้นแปลค่า



จากเครื่องชั่งดิจิตอลและบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอบแห้งทั้งหมด

3. การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวัดความชื้นของผลิตภัณฑ์ (Moisture Content, MC)

ส่วนใหญ่จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ [10] มี 2 วิธี คือ

1. เปอร์เซนต์มาตรฐานเปียก (Wet Basis) วัดโดยใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ชื้นเป็นหลัก ดังนี้

$$MC (\% \text{ w.b.}) = \frac{m_w}{m_w + m_d} \times 100 \quad (1)$$

2. เปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง (Dry Basis) วัดโดยใช้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่แห้งเป็นหลัก ดังนี้

$$MC (\% \text{ d.b.}) = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ

m_w คือมวลน้ำที่อยู่ภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ (kg)

m_d คือมวลของเนื้อผลิตภัณฑ์แห้ง (kg)

จากสมการความชื้นมาตรฐานเปียกมีค่าไม่เกิน 100% ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งอาจมีค่าเกิน 100 % โดยงานวิจัยนี้จะบอกความชื้นเป็นเปอร์เซนต์มาตรฐานแห้ง

3.2 การประเมินสมรรถนะ

โดยความสามารถในการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแสดงด้วยอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นต่อหน่วยเวลา คำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$DR = \frac{m_i - m_f}{t} \quad (2)$$

เมื่อ

DR คืออัตราการอบแห้ง (kg. water evap./ h)

m_i คือมวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ (kg)

m_f คือมวลของผลิตภัณฑ์หลังเวลาอบแห้ง (kg)

t คือระยะเวลาที่ใช้ในการอบ (hr)

3.3 การใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง [11],[12]

แสดงด้วยความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific Moisture Extraction Rate, SMER) โดยคำนวณได้จากสมการที่ (3) และ (4)

$$SEC = \frac{3.6 P_c}{m_i - m_f} \quad (3)$$

$$SMER = \frac{m_i - m_f}{P_c} \quad (4)$$

เมื่อ

SEC คือความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg. water evap.)

SMER คืออัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (kg. water evap./kW-h)

m_i คือมวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ (kg)

m_f คือมวลของผลิตภัณฑ์หลังเวลาอบแห้ง (kg)

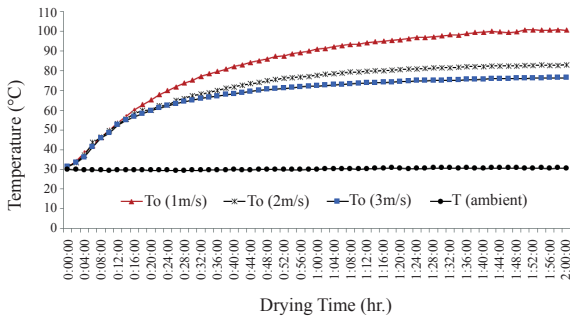
P_c คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (kW-h)

4. ผลการศึกษา

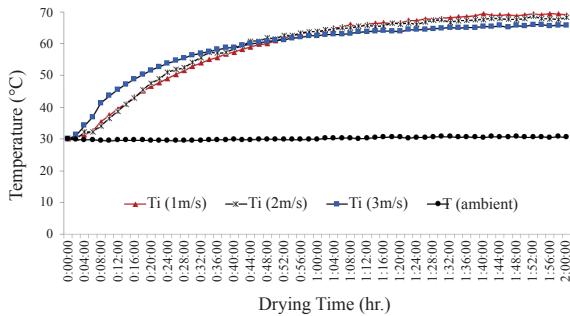
4.1 ผลทดลองการทำงานของเครื่องอบแห้ง

ผลของอุณหภูมิจากการผลิตอากาศร้อนให้กับห้องอบแห้งที่สภาวะห้องเปล่า ถูกแสดงเป็นกราฟในรูปที่ 3 และรูปที่ 4 พบว่า อุณหภูมิอากาศร้อนด้านขาออกเพื่อจ่ายให้กับห้องอบแห้ง ในช่วงแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเข้าสู่สภาวะคงตัว ที่ความเร็วลมของอากาศเป็น 1, 2 และ 3 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

โดยอุณหภูมิสูงสุดเป็น 101.60, 83.00 และ 76.40°C ตามลำดับ และอุณหภูมิกอากาศร้อนด้านขาเข้าห้องผลิตอากาศร้อนเป็น 69.10, 66.90 และ 64.90°C ตามลำดับ ดังนั้นอุณหภูมิแตกต่าง ของห้องผลิตอากาศร้อนเป็น 32.50, 16.10 และ 11.50°C ตามลำดับ



รูปที่ 3 อุณหภูมิด้านขาออกของห้องผลิตอากาศร้อน ที่ความเร็วลมของอากาศต่างๆ

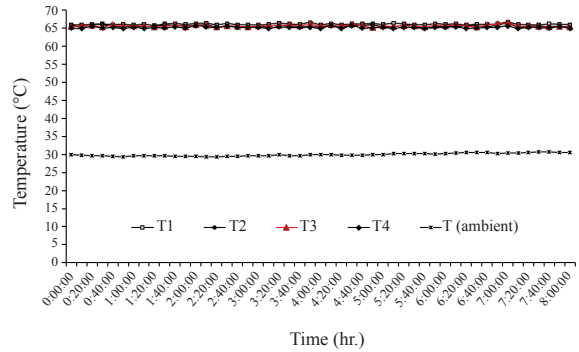


รูปที่ 4 อุณหภูมิด้านขาเข้าของห้องผลิตอากาศร้อน ที่ความเร็วลมของอากาศต่างๆ

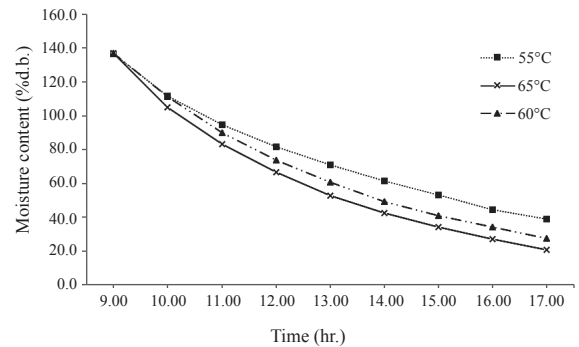
ผลของอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแต่ละชั้นภาค ที่อุณหภูมิ 65°C แสดงในรูปที่ 5 พบว่าการกระจายอุณหภูมิ ภายในห้องอบแห้งค่อนข้างคงที่ โดยผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้นล่างสุด (T1) และชั้นบนสุด (T4) มีค่าประมาณ 1°C

4.2 ความสามารถการอบแห้ง

ผลทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าซึ่งแสดงน้ำหนักก่อน และหลังการอบแห้งทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยน้ำหนักของเนื้อ กล้วยแห้งมีค่าเป็น 0.85 กก. ถูกควบคุมอุณหภูมิในห้อง อบแห้งเป็น 55, 60 และ 65°C ตามลำดับ ที่ความเร็วอากาศ ด้านขาเข้า 3 เมตรต่อวินาทีเมื่อนำข้อมูลมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับระยะเวลาอบแห้ง



รูปที่ 5 อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งแต่ละชั้นภาค



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานแห้งกับ ระยะเวลาการอบแห้ง

เป็นความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.) ดังรูปที่ 6 พบว่า พฤติกรรมการอบแห้งส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของการอบแห้ง ลดลงโดยอุณหภูมิลบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อ การอบแห้งกล้วยน้ำว้า จะเห็นว่าการอบแห้งที่อุณหภูมि เป็น 65°C ส่งผลให้ความชื้นในกล้วยน้ำว้าลดลงเร็วที่สุด โดยมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยทุกชั้นภาคเป็น 21 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานแห้ง [13] เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าลดลงทำให้มีความสามารถ ในการดูดซับความชื้นได้มากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหาก อุณหภูมิต่ำกว่าจะทำให้อากาศมีความสามารถในการ รับความชื้นจากผลิตภัณฑ์ไปน้อยกว่า การอบแห้ง จึงเกิดขึ้นได้ช้า

4.3 ประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

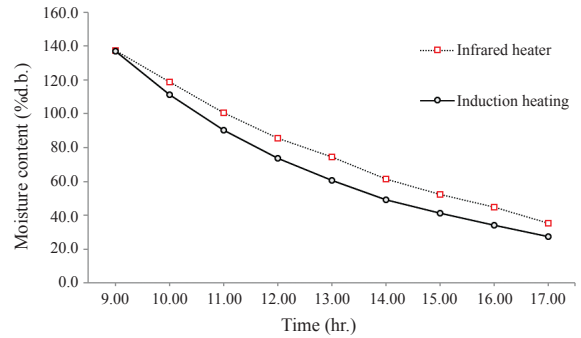
ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1 พบว่าภายใต้อุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นหรืออบแห้งได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในการอบแห้งสูงขึ้นตามไปด้วย กลัวยที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งจากตารางที่ 2 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°C ลักษณะสีของกลัวยทั้ง 4 ถาด จะมีสีเหลืองอมน้ำตาลมากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55 และ 60°C

ตารางที่ 1 สรุปผลการอบแห้งกลัวยน้ำว้าโดยเครื่องอบแห้ง พลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ

Detail	Drying Temperatures (°C)		
	55	60	65
Drying Time (hr)	8	8	8
Moisture Before Drying (% d.b.)	136.40	137.00	137.10
Moisture After Drying (% d.b.)	38.80	27.60	20.60
Mass Before Drying (kg)	2.009	2.014	2.015
Mass After Drying (kg)	1.185	1.084	1.025
Water Evaporated From the Material (kg)	0.823	0.930	0.989
Drying Rate, DR (kg. water evap./ h)	0.102	0.116	0.123
Specific Energy Consumption, SEC (MJ/kg water evap.)	28.86	31.35	34.94
Specific Moisture Extraction Rate, SMER (kg water evap./kW-h)	0.12	0.11	0.10
Energy is used for evaporation water (MJ)	23.78	29.16	34.58
Electrical Energy (kW-h)	6.60	8.10	9.60

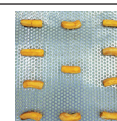


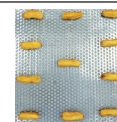


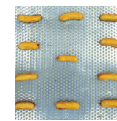
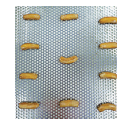

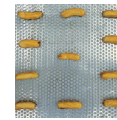
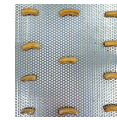
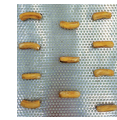
4.4 ผลทดลองเปรียบเทียบการผลิตอากาศร้อนด้วยความร้อนเชิงเหนี่ยวนำกับความร้อนจากฮีเตอร์อินฟราเรด (Infrared Heater)

ภายใต้การอบแห้งให้อุณหภูมิคงที่ 60°C ความเร็วอากาศเท่ากับ 3 เมตรต่อวินาที ใช้กลัวยน้ำว้าน้ำหนักเริ่มต้น 2 กก. แสดงน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งทุกๆ 1 ชั่วโมง โดยน้ำหนักของเนื้อกลัวยแห้งมีค่าเป็น 0.85 กก. จากนั้นนำข้อมูลมาหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาอบแห้งเป็นความชื้นมาตรฐานแห้งแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความชื้นของกลัวยน้ำว้าผ่านการอบแห้งด้วยความร้อนเชิงเหนี่ยวนำกับความร้อนฮีเตอร์อินฟราเรด

ตารางที่ 2 กลัวยน้ำว้าผ่านการอบด้วยเครื่องอบแห้ง

	Drying Temperatures (°C)		
	55	60	65
Tray 4			
Tray 3			
Tray 2			
Tray 1			

พบว่าความร้อนจากฮีเตอร์อินฟราเรดมีความชื้นสุดท้ายเป็น 35.3 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง เมื่อเทียบกับความร้อนเชิงเหนี่ยวนำจะให้ความชื้นสุดท้ายเป็น 27.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการให้ความร้อนเชิงเหนี่ยวนำจะมีค่าอัตราการอบแห้งสูงกว่าหรืออบแห้งได้เร็วขึ้นแต่จะให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ต่ำกว่าความร้อนจากฮีเตอร์อินฟราเรด

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบการอบแห้งด้วยความร้อนเชิงเหนี่ยวนำกับความร้อนจากฮีทเตอร์อินฟราเรด

Detail	Infer. Heater	Induct. Heating
Drying Time (hr)	8	8
Moisture Before Drying (% d.b.)	137.20	137.00
Moisture After Drying (% d.b.)	35.30	27.60
Mass Before Drying (kg)	2.015	2.014
Mass After Drying (kg)	1.150	1.084
Water Evaporated From the Material (kg)	0.865	0.930
Drying Rate, DR (kg. water evap./ h)	0.108	0.116
Specific Energy Consumption, SEC (MJ/kg water evap.)	33.96	31.35
Specific Moisture Extraction Rate, SMER (kg water evap./kW-h)	0.10	0.11
Energy is used for evaporation water (MJ)	29.37	29.16
Electrical Energy (kW-h)	8.16	8.10

5. สรุป

การทดลองนี้แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งอาศัยพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ โดยศึกษาทดลองการทำงานของเครื่องอบแห้งพบว่าตัวเครื่องอบแห้งสามารถทำอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้สูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมเป็น 40.4°C โดยเฉลี่ยการทดลอง เมื่อทำการอบแห้งกล้วยน้ำว้า ที่อุณหภูมิ 65°C ให้ความเร็วอากาศด้านขาเข้าของห้องผลิตอากาศร้อนเป็น 3 เมตรต่อวินาที พบว่าสามารถลดความชื้นจาก 137 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายเป็น 20.6 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ภายในระยะเวลา 8 ชม. พิจารณาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65°C และ 60°C มีค่าอัตราการอบแห้งใกล้เคียงกัน คือ 0.123 และ 0.116 กก. ระเหยน้ำต่อชั่วโมง และการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยที่สุด คือ 28.86 เมกะจูล ต่อ กก. การระเหยน้ำเมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งจากผลการทดลองกับผลการอบแห้งจากฮีทเตอร์อินฟราเรดที่สภาวะเงื่อนไขเดียวกัน พบว่าการอบแห้งของงานวิจัยนี้ให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งจากฮีทเตอร์อินฟราเรด นั่นคือ มีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่า แต่จะให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่น้อยกว่า ทั้งนี้เป็นผลมาจากข้อดีของความร้อนเชิงเหนี่ยวนำนั่นเอง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขต สกลนคร ที่อนุญาตให้ใช้อุปกรณ์เครื่องมือและสถานที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมไฟฟ้า สำหรับทดลองงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. U. Hebbar, K. H. Vishwanathan, and M. N. Ramesh, "Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables," *Journal of Food Engineering*, vol. 65, pp. 557–563, 2004.
- [2] T. Thawatchai and P. Wera, "Performance evaluation of drying using infrared radiation for agricultural products," in *Proceedings 13th TSAE National Conference*, pp. 611–617, 2012.
- [3] P. Nuthong, "Continuous whole longan drying by infrared and hot air," Doctor's of engineering in energy engineering thesis, Chiang Mai University, 2011 (in Thai).
- [4] Application Notes AN9012, "Induction heating system topology review," Fairchild Semiconductor, 2000.
- [5] E. J. Davies and P. Simpson, *Induction handbook*. UK: McGraw-Hill, 1979.
- [6] S. K. Young, B. Y. Sang, and S. H. Dong, "Half-Bridge series resonant inverter for induction heating applications with load adaptive PFM control strategy," in *Proceedings IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 1999, pp.575–581.
- [7] H. Kifune, Y. Hatanaka, and M. Nakaoka, "Cost effective phase shifted pulse modulation soft switching high frequency inverter for induction heating applications," *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol.151, no. 1, pp.19–25, 2004.



- [8] S. V. Molly, M. Theodoridis, and A. J. Forsyth, "High frequency voltage-fed inverter with phase-shift control for induction heating," *IEEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 151, pp.12-18, 2004.
- [9] K. Yuki, H. Eiji, T. Toshihiko, and N. Mutsuo, "Basic study of a phase-shifted soft switching high-frequency inverter with boost PFC converter for induction heating," *Journal of Power Electronics*, vol.8, no. 2, pp.192-199, 2008.
- [10] J. Jaruwat, C. Yafad, D. Supat, and C. Suriya, "A solar dryer and moisture condensing cabinet with thermosiphon heat flow," *Khon kaen University Engineering Journal*, vol. 38, no. 1, pp. 35-42, 2011 (in Thai).
- [11] S. Eleeyah, S. Fameera, and H. Radchadaporn, "Moisture diffusivity coefficient specific energy consumption and specific moisture extraction rate of betel nut drying using combined thermal energy," *Burapha Science Journal*, vol.17, no. 1, pp.142-149, 2012.
- [12] T. Supawan, L. Sakena, and T. Yutthana, "Combined infrared/microwave and hot air drying for jackfruit: kinetics, quality and sensory analysis," *Burapha Science Journal*, vol. 17, no. 1, pp.117-129, 2012.
- [13] *Standard For Dried Bananas*, Thai Industrial Standards Institute, 1985.