http://journal.rmutp.ac.th/

การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำที่เสริมการทำงานด้วยเครื่องอุ่นอากาศเทอร์โมอิเล็กทริค

พชร ว่องไพศาลกิจ กระวี ตรีอำนรรค* และ เทวรัตน์ ตรีอำนรรค

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

รับบทความ 30 มกราคม 2563 แก้ไขบทความ 20 เมษายน 2563 ตอบรับบทความ 5 พฤษภาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริครุ่น TEC12710 เป็นเครื่องปรับสภาวะอากาศที่ทำหน้าที่อุ่นและลดความชื้นอากาศขั้นต้นสำหรับเครื่องอบแห้งพริกขี้หนูแดงด้วยคุณสมบัติการผลิตความร้อนและความเย็นที่เกิดขึ้นทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคจากการใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อนำมาลดความชื้นและอุ่นอากาศก่อนนำไปให้ความร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อให้ได้อุณหภูมิอากาศอบแห้งตามต้องการ ในการทดสอบการทำงานของเครื่องด้วยการอบแห้งพริกขี้หนูแดงสดระหว่างการเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์และการใช้ฮีตเตอร์อย่างเดียว เปรียบเทียบผลกับการตากแห้งพริกขี้หนูแดงด้วยแสงแดดตามธรรมชาติ พบว่าเครื่องปรับสภาวะอากาศสามารถควบแน่นความชื้นในอากาศโดยมีอัตราการควบแน่นสูงที่สุด 0.083 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริค และสามารถอุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ประมาณ 10 องศาเซลเซียสที่ด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริค ในด้านการทดสอบการอบแห้งพริกขี้หนูแดงสดด้วยเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้น พบว่าสามารถลดความชื้นพริกขี้หนูแดงลงได้เหลือเพียงร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก โดยที่สีของพริกขี้หนูแดงเปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ และการใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศกับฮีตเตอร์ไฟฟ้ามีอัตราการอบแห้งและอัตราการระเหยน้ำจำเพาะสูงกว่าการใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว โดยที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าอีกทั้งยังใช้พลังงานน้อยกว่า 14 เมกกะจูล และสามารถอบแห้งได้รวดเร็วกว่าถึง 10 ชั่วโมง

คำสำคัญ : เครื่องอบแห้ง; เทอร์โมอิเล็กทริค; พริก

** ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 6515 7035, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: krawee@sut.ac.th*

http://journal.rmutp.ac.th/

Drying of Chilli with Thermoelectric Air Preheater Assisted Low Temperature Dryer

Patchara Wongpaisarnkit Krawee Treeamnuk* and Tawarat Treeamnuk

Institute of Engineering, Suranaree University of Technology
111 University Avenue, Suranaree, Mueang, Nakhon Ratchasima, 30000

Received 30 January 2020; Revised 20 April 2020; Accepted 5 May 2020

Abstract

This research objective was to apply thermoelectric module model TEC12710 as a preheater and dehumidifier for red chilies dryer. The heat side and cool side of Thermoelectric module affected by supplied electricity were used to produces the low humidity and warm air in preheater before charging to the main electric heater of dryer. Fresh red chilies were selected as a sample in the prototype testing during the use of preheater assisted main heater and using only main heater. The test results are compared with the sample dried under the natural sun drying. The experimental results show that the preheater can condense the moisture in air with the highest MER of 0.083 kg_{water} h^{-1} at cold side of thermoelectric module and can heat the air up in 10°C of temperature with hot side of thermoelectric module. The final moisture content of sample is only 10%wb with the slightly changed in color when compared with the sample from sun drying. The using of preheater with main heater gives a higher specific moisture extraction rate, lower specific energy consumption, 14 MJ energy used and can dry faster than 10 h when compared with the using of only main heater.

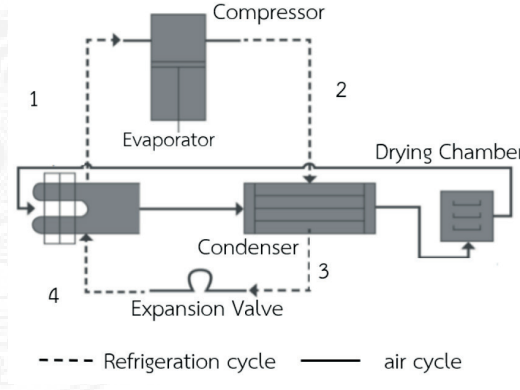
Keywords : Dryer; Thermoelectric Module; Chilli

** Corresponding Author. Tel.: +668 6515 7035, E-mail Address: krawee@sut.ac.th*

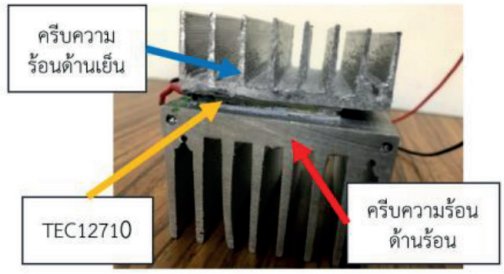
1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเก็บรักษาผลผลิตทางเกษตร โดยที่ยังสามารถคงสารอาหารไว้ได้ [1] โดยอาศัยวิธีการขจัดความชื้นออกจากผลผลิตทางเกษตร เนื่องจากความชื้นเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและจุลินทรีย์ที่ทำลายผลผลิตให้เกิดการเสียหายได้ในภายหลัง การอบแห้งผลผลิตทางเกษตรแบ่งเป็น 2 วิธี [2] ได้แก่การตากแดดตามธรรมชาติ (Natural Sun Drying) และการใช้เครื่องอบแห้งเชิงกล (Mechanical Dryer) ถึงแม้ว่าการตากแห้งด้วยแสงแดดจะมีการลงทุนต่ำ ทำได้ง่าย แต่ต้องอาศัยช่วงเวลาที่มีแดดจัดซึ่งไม่สามารถควบคุมกระบวนการได้ ปัจจุบันการใช้เครื่องอบแห้งได้รับความนิยมมากขึ้นเพราะสามารถอบแห้งได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงสภาพอากาศ นอกจากนี้ถ้าควบคุมการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและไม่สัมผัสกับแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานานจะสามารถรักษาคุณภาพทั้งด้านคุณค่าทางอาหารและสีสันของผลิตผลให้คงเดิมหรือเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ส่งผลต่ออิทธิพลการเลือกซื้อของผู้บริโภค [3] การอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำยังเหมาะสำหรับนำไปอบแห้งผลผลิตบางชนิดที่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ ดังเช่นพืชสมุนไพร หลักการของเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำอาศัยการผลิตอากาศอบแห้งที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำได้โดยการลดความชื้น หรือเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศอบแห้ง ซึ่งปั๊มความร้อนแบบอัดไอสามารถทำได้ทั้งการลดความชื้น และการเพิ่มอุณหภูมิ [4]

ปั๊มความร้อนแบบอัดไอ [5] อาศัยการใช้สารทำความเย็นที่ไหลเวียนภายในระบบช่วยดึงความร้อนออกจากอากาศ ด้วยการเปลี่ยนแปลงความดันของสารทำความเย็น โดยมีอุปกรณ์ในระบบทำหน้าที่เปลี่ยนความดันของสารทำความเย็นดังกล่าว และแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศ ในการประยุกต์ใช้กับเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนเพื่อสร้างสภาวะอากาศให้เหมาะสมกับการอบแห้ง จะบังคับให้อากาศไหลภายในห้องอบแห้งแบบระบบปิด (เส้นเต็มในรูปที่ 1) อากาศจะถูกดูดกลืนความร้อนจนอุณหภูมิลดลง และเกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่ Evaporator หลังจากนั้นอากาศจะถูกบังคับให้ไหลผ่าน Condenser เพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็น (เส้นปะในรูปที่ 1) จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง (Drying Chamber) ต่อไปอย่างเป็นวัฏจักร T. Madhiyanon et al. [6] ได้ทำการอบแห้งมะละกอแช่อิ่มด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนพบว่าสามารถคงคุณภาพด้านสีของมะละกอแช่อิ่มได้ดี จากรายงานของ U. Auprakul et al. [7] ได้ทำการอบแห้งผักตบชวาด้วยเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนใช้เวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งถ้านำไปตากแดดต้องใช้เวลาถึง 4 วัน อีกทั้งยังมีค่าสมรรถนะ (COP) สูงถึง 4.5–5.3 นอกจากนี้ T. Marnoto et al. [8] ได้ทำการสร้างเครื่องอบแห้งปั๊มความร้อนเพื่ออบแห้งพริกขี้หนูแดง สามารถลดปริมาณความชื้นของพริกจากร้อยละ 80 มาตรฐานเปียก ให้มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก โดยใช้ระยะเวลาเพียง 45 ชั่วโมง



รูปที่ 1 แบบจำลองระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนระบบอัดไอ [9]



รูปที่ 2 การติดตั้งครีบความร้อนบนแผ่นเทอร์โม อิเล็กทริค

แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค (Thermoelectric Module หรือ TEC Module) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีขนาดเล็ก (ขนาด 4x4x0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังรูปที่ 2) เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้าจะดูดกลืนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมจนทำให้ด้านเย็นของแผ่นมีอุณหภูมิต่ำลง ในขณะที่ด้านตรงข้ามของแผ่นจะพยายามถ่ายเทความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมจนเกิดเป็นด้านร้อนขึ้น

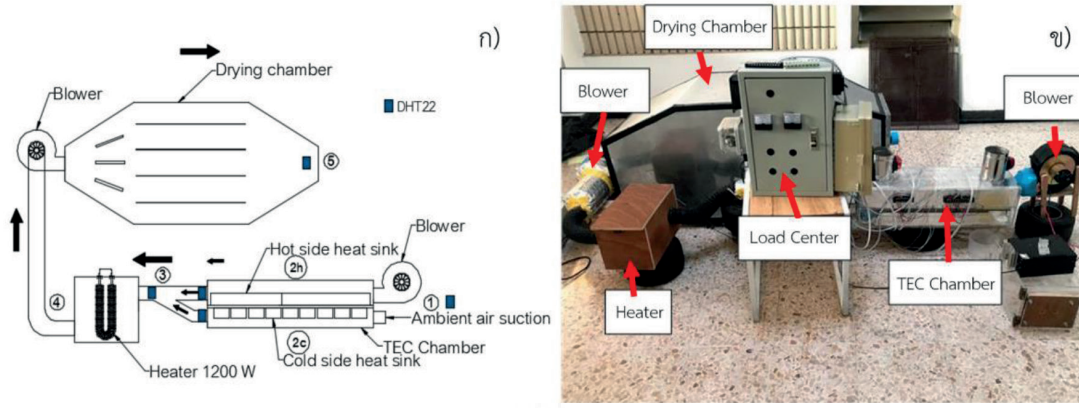
เทอร์โมอิเล็กทริคถูกนำไปประยุกต์ได้หลากหลาย R. He et al. [10] นำเทอร์โมอิเล็กทริครุ่น TEC12706 ไปสร้างกล่องแช่เย็นสำหรับอุปกรณ์ทางการแพทย์สามารถลดอุณหภูมิถึง 19.01 องศาเซลเซียสด้วยการใช้พลังงาน 6 โวลต์ H. Al-Madhhachi et al. [11] ได้นำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริครุ่น GM250-49-45-35 ไปทำการทดสอบพบว่าแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคด้านเย็นมีความสามารถในการลดอุณหภูมิแก่อากาศลงถึง 20 องศาเซลเซียส อีกทั้งยังเกิดการควบแน่นไอน้ำจากอากาศได้ 28.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยติดตั้งครีบความร้อนทั้งสองด้านของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค ทำการระบายความร้อนออกจากแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคทำให้เกิดความเย็นขึ้นอีกด้านของแผ่นซึ่งสามารถเกิดการควบแน่นของน้ำจากอากาศที่ไหลผ่านได้ นอกจากนี้ P. Wongpaisarnkit et al. [12] ได้ทำการทดสอบให้อากาศไหลผ่านแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคที่ติดตั้งครีบความร้อนด้วยอัตราไหลอากาศด้านร้อน 0.0229 กิโลกรัมต่อวินาที และด้านเย็น 0.0089 กิโลกรัมต่อวินาที ทำการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ TEC12710 ขนาด 6 โวลท์ 3.5 แอมป์ พบว่าเกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศที่ด้านเย็นของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค โดยมีอัตราการควบแน่นของความชื้นในอากาศได้ที่ 0.016 กิโลกรัมน้ำต่อชั่วโมง และพบว่าจะต้องระบายความร้อนออกจากด้านร้อนให้รวดเร็วเพียงพอระบบจึงจะทำงานได้ดีและต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริคนี้สามารถสร้างความร้อนและทำความเย็นซึ่งเป็นหน้าที่ที่สำคัญของปั๊มความร้อนระบบอัดไอในเครื่องอบแห้ง

จากหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งอุณหภูมิต่ำแบบปั๊มความร้อนและการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริค ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคด้านเย็นในการควบแน่นไอน้ำในอากาศเพื่อลดความชื้นของอากาศอบแห้งและใช้ความร้อนจากด้านร้อนช่วยในการอุ่นอากาศอบแห้งขั้นต้นให้กับระบบอบแห้งแบบอุณหภูมิต่ำแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้คาดหวังว่าจะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องอบแห้งลงได้ และช่วยทำให้เครื่องอบแห้งแบบใหม่มีขนาดเล็กลง ลดการทำงานที่ซับซ้อนของระบบทำความเย็นแบบอัดไอและไม่ต้องใช้สารทำงานที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่ยังคงได้ผลิตภัณฑ์หลังอบแห้งที่มีคุณภาพดีเช่นเดิม

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 ต้นแบบเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้น

ต้นแบบมีห้องอบแห้งขนาด 216 ลิตร และประยุกต์ใช้แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริคมาใช้ช่วยลดความชื้นในอากาศและช่วยอุ่นอากาศขั้นต้นดังรูปที่ 3

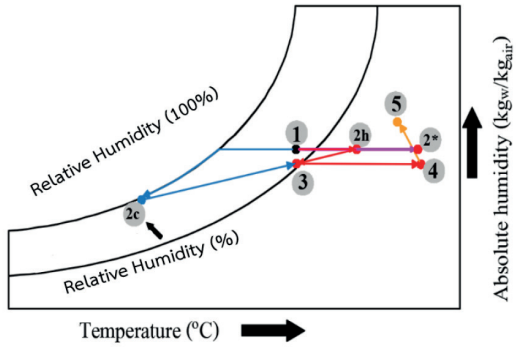


รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งติดตั้งเครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า
ก) ไดอะแกรม ข) ภาพแสดงเครื่องต้นแบบ

ทำการติดตั้งแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริครุ่น TEC12710 (ขนาด 4x4x0.4 ลูกบาศก์เซนติเมตร ผลิตจากบริษัท Hebei I.T. Co.,Ltd, Shanghai) ในเครื่องปรับสภาวะอากาศ (TEC Chamber) ก่อนเข้าห้องอบแห้ง (Drying Chamber) ทั้งหมด 12 ตัว จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่เทอร์โมอิเล็กทริคที่ 6 โวลท์ 3.5 แอมป์ ต่อ 1 ตัว ทำการแบ่งอากาศที่ไหลเข้าเครื่องอุ่นอากาศออกเป็นสองส่วน โดยแยกไหลผ่านด้านร้อนและด้านเย็นของ TEC12710 ที่ติดครีบไว้ทั้งด้านร้อนและด้านเย็น โดยด้านร้อนมีขนาดความกว้าง 6.6 เซนติเมตร ความยาว 6.6 เซนติเมตร และความสูง 4.0 เซนติเมตร ส่วนครีบความร้อนด้านเย็นนั้นมีขนาดความกว้าง 5.3 เซนติเมตร, ความยาว 5.3 เซนติเมตร และความสูง 2.0 เซนติเมตร ครีบความร้อนฝั่งร้อนมีขนาดใหญ่กว่าฝั่งเย็น เนื่องจากต้องการให้ระบายความร้อนออกได้อย่างรวดเร็ว ทำการควบคุมอัตราการไหลผ่านของอากาศด้านร้อนและด้านเย็นให้คงที่ที่ 0.023 กิโลกรัมต่อวินาที และ 0.0058 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ จากนั้นอากาศทั้งสองส่วนจะมาผสมรวมกันด้วยอัตราส่วนผสมอากาศร้อนต่ออากาศเย็น 4:1 [4] ทั้งนี้เพื่อไม่ให้อากาศหลังผสมมีอุณหภูมิต่ำเกินไป หลังจากนั้นอากาศที่ผสมแล้วจะไหลผ่านฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,200 วัตต์ ก่อนเข้าห้องอบแห้ง ควบคุมอุณหภูมิด้วยเทอร์โมสตัตอิเล็กทรอนิกส์ยี่ห้อ Linking รุ่น LT400 สำหรับเปิด-ปิด การทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งคงที่ที่ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ไม่สูงจนเกินไปเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดผลกระทบจากความร้อนต่อคุณภาพของวัสดุทดสอบการอบแห้ง ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นรุ่น DHT 22 ยี่ห้อ Shenzhen ทั้งหมด 5 จุด และทำการบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น UNO R3 ทุก ๆ 5 นาที โดยได้ทำการสร้างเครื่องอบแห้งซึ่งมีรายละเอียดการติดตั้งเครื่องอบแห้งด้วยเทอร์โมอิเล็กทริคแบบไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 3 ก) และภาพถ่ายเครื่องต้นแบบแสดงดังรูปที่ 3 ข)

2.2 คุณสมบัติของอากาศในระบบ

อากาศอบแห้งในเครื่องอบแห้งต้นแบบที่ติดตั้งเครื่องปรับสภาวะของอากาศ มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศตามกระบวนการบนแผนภูมิ Psychrometric Chart (รูปที่ 4) ดังนี้



รูปที่ 4 Psychrometric Chart แสดงสภาวะของอากาศแต่ละตำแหน่งในระบบ

จากรูปที่ 4 และรูปที่ 3 ก อากาศสิ่งแวดล้อมภายนอก (ตำแหน่งที่ 1) ถูกป้อนเข้าสู่ระบบให้ไหลผ่านครีบความร้อนด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริค (ตำแหน่ง 2h) ด้วยเครื่องเป่าลมไฟฟ้าแบบปรับอัตราการไหลอากาศได้ กระบวนการจาก 1 ถึง 2h นี้เป็นการเพิ่มความร้อนแบบอัตราส่วนความชื้นคงที่ ทางด้านล่างอากาศจากสิ่งแวดล้อมจะถูกดูดเข้าสู่ระบบและไหลผ่านครีบความร้อนด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริค (ตำแหน่ง 2c) เนื่องจากเกิดความดันลดในท่อจากผลของอากาศที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในท่อช่วงตำแหน่ง 2h ถึง 3 ประกอบกับมีการติดตั้งเครื่องเป่าลมตัวที่ 2 เพื่อใช้ส่งลมเข้าห้องอบแห้งอีกด้วย ที่ปลายทางเข้ามีการติดแผ่นกั้นเพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าจากตำแหน่ง 1 ถึง 2c ให้มีค่าตามต้องการ กระบวนการจาก 1 จนกระทั่งผ่าน 2c เป็นการลดอุณหภูมิอากาศจนถึงจุดควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้ความชื้นในอากาศเปลี่ยนสถานะเป็นหยดของเหลวและแยกตัวออกจากอากาศ จากนั้นอากาศจากตำแหน่ง 2h และ 2c ไหลเข้าผสมกันที่ตำแหน่ง 3 เกิดเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ ก่อนที่จะไหลผ่านฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพื่ออุ่นอากาศหรือเพิ่มอุณหภูมิแบบความชื้นคงที่ อากาศที่ได้แสดงดังตำแหน่ง 4 ตามค่าอุณหภูมิที่ต้องการ อากาศที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งก่อนจะไหลออกจากระบบที่ตำแหน่ง 5 กระบวนการจาก 4 ถึง 5 จึงเป็นการเพิ่มความชื้นเข้าสู่อากาศที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกคงที่ สำหรับระบบที่ตัดอุปกรณ์ปรับสภาวะอากาศขั้นต้นออกจะเป็นดังกระบวนการ 1 – 2* - 5 บน Psychrometric Chart ซึ่งอากาศที่ 2* มีความชื้นสูงกว่าตำแหน่ง 4 ในรูปที่ 4

2.3 การทดสอบและประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งต้นแบบ

เลือกพริกขี้หนูแดงเป็นวัสดุทดสอบการอบแห้ง เนื่องจากสีเปลี่ยนจากการอบแห้ได้ง่าย บรรจุพริกขี้หนูแดงในห้องอบแห้งครั้งละประมาณ 3.5 กิโลกรัม อัตราการไหลของอากาศอบแห้งในระบบเท่ากับ 0.01 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และอุณหภูมิของห้องอบแห้งเท่ากับ 54 องศาเซลเซียส แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ แบบละ 3 ซ้ำ คือ 1) การทดสอบอบแห้งแบบเปิดการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว และ 2) การทดสอบการอบแห้งแบบใช้อุปกรณ์ปรับสภาวะอากาศขั้นต้นด้วยเทอร์โมอิเล็กทริคร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า ระหว่างการอบแห้งทำการชั่งน้ำหนักของพริกขี้หนูแดงเพื่อบันทึกน้ำหนักที่ลดลงทุก ๆ 60 นาที จนกระทั่งน้ำหนักของพริกขี้หนูแดงมีค่าลดลงน้อยมาก (น้อยกว่า 0.01 กรัมภายใน 4 ชั่วโมง บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของตำแหน่งที่ 1 ถึง 5 ตามรูปที่ 3 และบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบด้วยมิเตอร์กิโลวัตต์ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้นำตัวอย่างพริกขี้หนูแดงไปเข้าตู้อบลมร้อนยี่ห้อ France Etuves รุ่น XU058 จนกระทั่งไม่หลงเหลือความชื้นในตัวอย่างเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งสำหรับใช้ในการคำนวณหาปริมาณความชื้นในแต่ละช่วงเวลาที่ทำการทดสอบอบแห้งตั้งแต่เริ่มต้นอบแห้งจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการดังสมการที่ 1 และ 2 [13]

$$MC_w = \frac{m - m_d}{m} \quad (1)$$

$$MC_d = \frac{m - m_d}{m_d} \quad (2)$$

โดยที่

MC_w = ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก

MC_d = ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง

m = น้ำหนักของวัสดุชื้น, กิโลกรัม

m_d = น้ำหนักของวัสดุแห้ง, กิโลกรัม

ทำการคำนวณค่าสมรรถนะ 2 ช่วง คือช่วงที่ความชื้นของพริกขี้หนูแดงมีค่าเป็นร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก (ปริมาณความชื้นของพริกขี้หนูที่ทำการอบแห้งทางธรรมชาติจนเข้าสู่สมดุล) [14] และช่วงสิ้นสุดการทดลอง ประเมินด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยภายในระยะเวลาการทดลอง อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ อัตราการควบแน่น และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ [4] สามารถแสดงได้ด้วยสมการ (3), (4), (5) และ (6) ดังนี้

$$DR = \frac{m_i - m_f}{t} \quad (3)$$

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

$$MER = \dot{m}_c (H_{in} - H_{out}) \quad (5)$$

$$SEC = \frac{3.6P_e}{m_i - m_f} \quad (6)$$

โดยที่

DR = อัตราการอบแห้ง, กิโลกรัมต่อชั่วโมง

$SMER$ = อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ, กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

MER = อัตราการควบแน่น, กิโลกรัมต่อชั่วโมง

SEC = ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ, เมกกะจูลต่อกิโลกรัม

m_i = น้ำหนักก่อนการอบแห้ง, กิโลกรัม

m_f = น้ำหนักหลังการอบแห้ง, กิโลกรัม

$\dot{m}_c$ = อัตราการไหลอากาศฝั่งเย็น, กิโลกรัมต่อชั่วโมง

H_{in} = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศก่อนผ่านเทอร์โมอิเล็กทริคฝั่งเย็น, กรัมต่อกิโลกรัม

H_{out} = ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศหลังผ่านเทอร์โมอิเล็กทริคฝั่งเย็น, กรัมต่อกิโลกรัม

t = ระยะเวลาในการอบแห้ง, ชั่วโมง

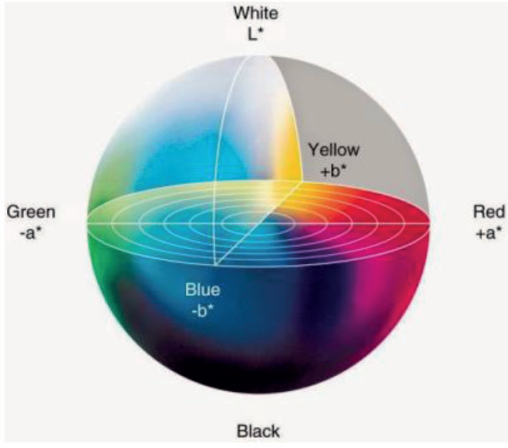
P_e = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้, กิโลวัตต์ชั่วโมง

จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบคุณภาพด้านสีของตัวอย่างพริกขี้หนูแดงที่ได้จากการทดสอบทั้ง 2 แบบกับพริกขี้หนูแดงตากแห้งด้วยแสงแดด ด้วยการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีผลและก้านของพริกขี้หนูแดงตัวอย่าง

2.3 การตรวจสอบคุณภาพหลังการอบแห้ง

ในส่วนของการวัดคุณภาพหลังการอบแห้งของพริกขี้หนูแดงได้ทำการเปรียบเทียบคุณภาพของสีผลของตัวอย่างพริกขี้หนูแดง ก่อนอบแห้งและหลังการอบแห้ง เปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นที่การทดลองเปิด และไม่เปิดเครื่องปรับสภาพอากาศกับการตากแห้งด้วยวิธีทางธรรมชาติ ด้วยเครื่องวัดสียี่ห้อ HunterLab รุ่น Color/Quest XE ดังรูปที่ 5

รูปที่ 5 เครื่องวัดสี



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของตัวแปรของค่าสี (L*, a* และ b*)

ในการวัดสีใช้หลักการของการดูดกลืนแสงของสาร โดยทำการฉายแสงขาว หรือแสงที่อยู่ในช่วงรังสียูวีไปยังโมเลกุลของวัสดุตัวอย่าง ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นคือ อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงจนเกิดการเปลี่ยนสถานะไปสู่ระดับชั้นพลังงานที่สูงขึ้น [15] การวัดค่าสีได้แสดงออกมาในตัวแปรของหน่วยสี ซึ่งได้แบ่งออกเป็น L*, a* และ b* โดยในส่วนของสีของแต่ละค่าตัวแปรหน่วยสีนั้นได้มีสีที่แตกต่างกันออกไปซึ่งมีการถึงแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรดังรูปที่ 6

จากการนำตัวอย่างไปทำการวัดค่าสี ค่าตัวแปรค่าสีที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดสีนั้น สามารถนำไปคำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าความต่างของสีของวัสดุทดสอบที่ต้องการได้ โดยทำการใช้ค่าตัวแปรของสีทั้ง L*, a* และ b* ที่ได้จากการวัดสีระหว่างตัวอย่าง 2 ตัวอย่างที่ต้องการทราบความแตกต่างเพื่อนำมาคำนวณหาค่าความต่างของสี (ΔE) ด้วยสมการที่ (7)

$$\Delta E = \sqrt{\left(L_2^* - L_1^*\right)^2 + \left(a_2^* - a_1^*\right)^2 + \left(b_2^* - b_1^*\right)^2} \quad (7)$$

โดยที่

ΔE = ความต่างของสีระหว่างตัวอย่างที่ทำการเปรียบเทียบ

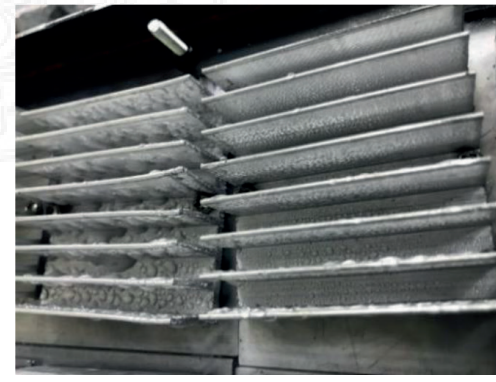
L_1^*, a_1^*, b_1^* = ค่าสีในหน่วย CLELAB ของตัวอย่างวัดสีที่ 1

L_2^*, a_2^*, b_2^* = ค่าสีในหน่วย CLELAB ของตัวอย่างวัดสีที่ 2

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ความสามารถของเครื่องปรับสภาวะอากาศ

ผลของการใช้โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริคในเครื่องปรับสภาวะอากาศ เมื่อตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศตำแหน่งที่ 1–5 จาก Psychrometric Chart พบว่าครีบความร้อนด้านเย็นของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริคสามารถควบแน่นความชื้นออกจากอากาศได้ในอัตรา 0.083 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 1 และเกิดเป็นหยดน้ำเกาะบริเวณครีบความร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริคด้านเย็นดังรูปที่ (7) สำหรับการอุ่นอากาศขั้นต้นด้วยครีบความร้อนด้านร้อนของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริคพบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศได้ประมาณ 10 องศาเซลเซียส และผลการอุ่นอากาศนี้ทำให้ RH ของอากาศก่อนเข้าสู่ฮีตเตอร์มีค่าเท่ากับร้อยละ 48.1 ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศก่อนเข้า (Air Input) และภายหลังผ่านครีบความร้อนด้านเย็นและด้านร้อนแล้วแสดงดัง ตารางที่ 1

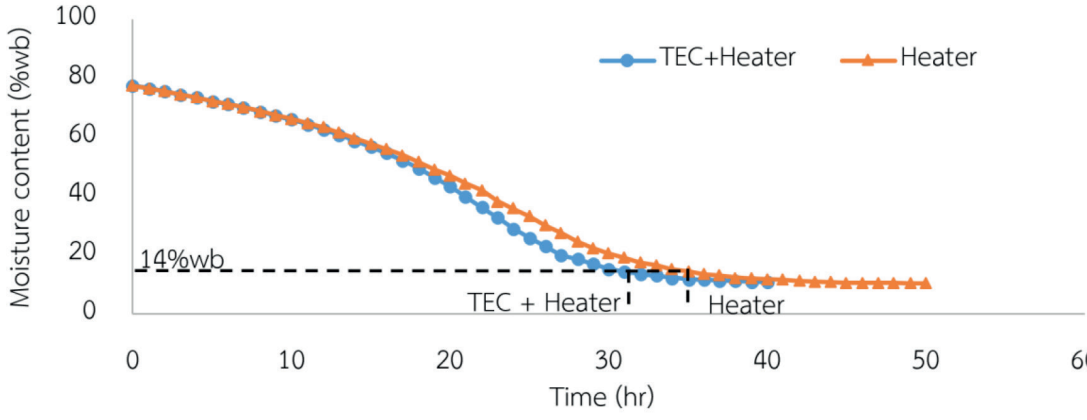


รูปที่ 7 ความชื้นควบแน่นที่เกิดขึ้นบนครีบความร้อนที่ติดกับด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็คทริค

ตารางที่ 1 สภาวะของอากาศเมื่อผ่านตู้เทอร์โมอิเล็กทริค

Air input (Position 1)	Temp (^{O}C)	23.4
	RH (%)	77
	Abs humidity (H_{in}) (g_{water}/kg_{air})	13.988
Passed TEC's cool side (Position2c)	Temp (^{O}C)	23
	RH (%)	57
	Abs humidity (H_{out}) (g_{water}/kg_{air})	10.032
Passed TEC's hot side (Position2h)	Temp (^{O}C)	33.1
	RH (%)	48.1

หมายเหตุ อัตราไหลอากาศด้านร้อน 0.023 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราไหลอากาศด้านเย็น 0.0058 กิโลกรัมต่อวินาที



รูปที่ 8 เปรียบเทียบปริมาณความชื้นของพริกขี้หนูแดงด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบทั้งสองระบบ

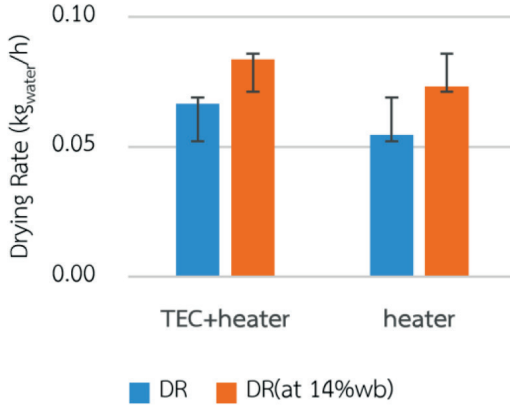
3.2 สมรรถนะของเครื่องอบแห้งต้นแบบ

3.2.1 พฤติกรรมการอบแห้ง

เมื่อทำการหาปริมาณความชื้นของพริกขี้หนูแดงในแต่ละชั่วโมงที่ทำการอบแห้งของทั้ง 2 ระบบมาเทียบกันได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งได้แสดงปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกในแต่ละชั่วโมงของการอบแห้งของทั้งสองระบบ พบว่าค่าปริมาณความชื้นมีแนวโน้มลดลง การอบแห้งที่อุณหภูมิ 54 องศาเซลเซียส สามารถลดความชื้นให้ต่ำกว่าความชื้นของพริกขี้หนูแดงที่ทำการอบแห้งด้วยวิธีทางธรรมชาติที่ร้อยละ 14 ความชื้นมาตรฐานเปียก โดยระบบที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า เริ่มมีอัตราส่วนความชื้นลดลงแตกต่างกับ ระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวอย่างสังเกตเห็นได้ในชั่วโมงที่ 10 ของการอบแห้ง โดยระบบที่มีเครื่องปรับสภาวะอากาศสามารถอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักตัวอย่างคงที่ด้วยเวลา 40 ชั่วโมงซึ่งใช้เวลาต่ำกว่าระบบที่ใช้เพียงฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวถึง 10 ชั่วโมงเนื่องจากระบบดังกล่าวสามารถควบแน่นความชื้นออกทำให้อากาศอบแห้งมีความชื้นต่ำซึ่งมีผลต่อการอบแห้ง นอกจากนี้ในการนำไปใช้งานจริงไม่

จำเป็นต้องอบแห้งจนกระทั่งน้ำหนักคงที่ สามารถหยุดการอบแห้งเมื่อวัสดุอบแห้งมีความชื้นต่ำกว่าสมดุลในสภาวะของสิ่งแวดล้อม (ความชื้นของพริกขี้หนูแดงที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก) เนื่องจากประหยัดพลังงานและประหยัดเวลา

3.2.2 อัตราการอบแห้ง

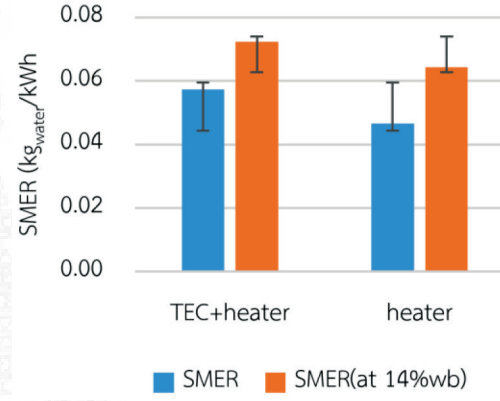


รูปที่ 9 อัตราการอบแห้งของพริกขี้หนูแดง

จากรูปที่ 9 พบว่าระบบที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า มีความสามารถในการลดความชื้นได้ 0.0665 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีค่าอยู่ที่ 0.0546 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เช่นเดียวกันในกรณีที่ทำการสิ้นสุดการอบแห้งที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ความสามารถในการลดความชื้นของระบบเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้ามีค่าเป็น 0.0837 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีค่าอัตราการอบแห้งที่ 0.0733 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.2.3 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ

อัตราการระเหยความชื้นออกจากพริกขี้หนูแดงต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 1 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แสดงดังรูปที่ 10 พบว่าระบบที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้ามีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ 0.0574 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวที่มีค่า 0.0466 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง



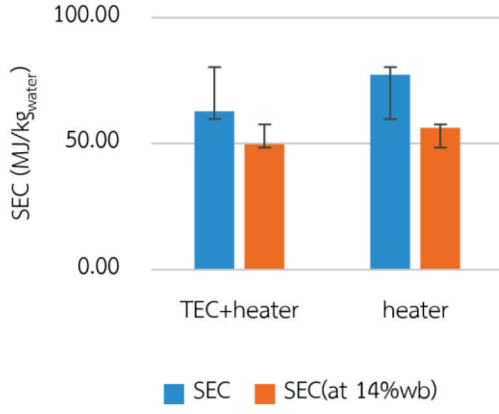
รูปที่ 10 อัตราการระเหยน้ำจำเพาะของพริกขี้หนูแดง

เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่าทำให้ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าและส่งผลต่อค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะอีกทั้งการอุ่นอากาศก่อนด้วยเทอร์โมอิเล็กทริคยังส่งผลให้ลดภาระการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าทำให้ประหยัดพลังงานมากกว่า แม้กระทั่งการสิ้นสุดการทดลองที่ร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของระบบเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งมีค่า 0.0723 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ยังสูงกว่าของระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวโดยมีค่า 0.0644 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

3.2.4 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแสดงถึงพลังงานที่ใช้สำหรับการระเหยความชื้นออกจากพริกขี้หนูแดง 1 กิโลกรัม พบว่าทั้งสองระบบนั้นมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูง (รูปที่ 11) เนื่องจากพริกขี้หนูแดงเป็นผลผลิตที่ลดความชื้นได้ค่อนข้าง

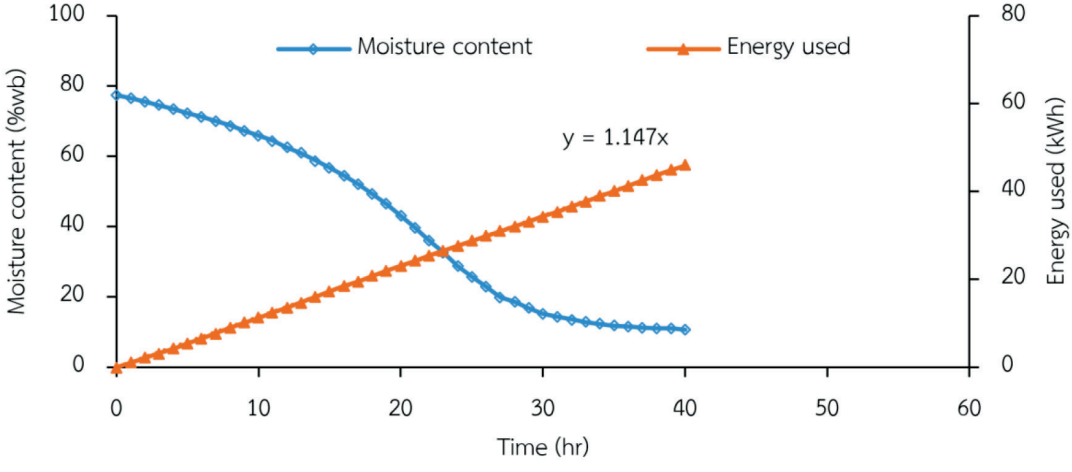
ยากเนื่องจากผิวของพริกขี้หนูแดงมีสารเคลือบอยู่ตามธรรมชาติเพื่อช่วยรักษาความชื้นภายในเอาไว้ อีกทั้งปริมาณความชื้นของพริกขี้หนูแดงสดมีค่าสูงถึงประมาณร้อยละ 80 มาตรฐานเปียก [8] จึงต้องใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องสะสมเป็นเวลานานในการระเหยความชื้นออกจากผลพริกขี้หนูแดง ประกอบกับเครื่องอบแห้งต้นแบบที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบเปิดคือ นำอากาศจากภายนอกเข้ามาอุ่นอากาศใหม่ไม่มีการนำอากาศภายในหมุนเวียนมาใช้ ส่งผลให้ต้องการพลังงานในการอบแห้งสูงตามไปด้วย



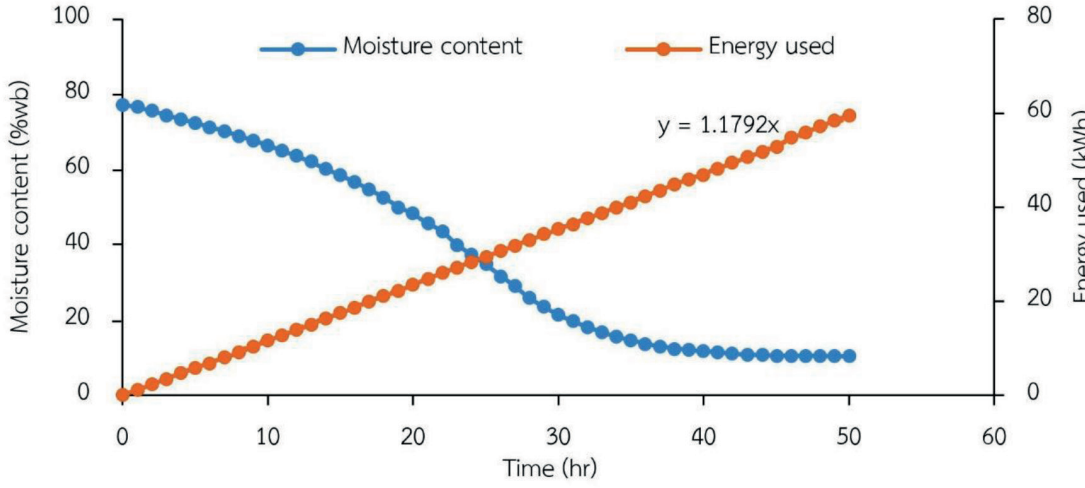
รูปที่ 11 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งพริกขี้หนูแดง

เมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองระบบพบว่าระบบที่มีการเปิดใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 62.89 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าระบบที่ใช้ฮีตเตอร์เพียงอย่างเดียวที่มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 77.47 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม เช่นเดียวกันกับกรณีที่หยุดการอบแห้งที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ระบบที่ใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 49.82 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ที่ 56.24 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ทั้งนี้สอดคล้องกับค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะของการอบแห้งดังที่ได้อภิปรายผลไว้

ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่มีค่าค่อนข้างสูงนั้นสามารถอธิบายด้วยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความชื้นลดลงเปรียบเทียบกับพลังงานสะสมในแต่ละชั่วโมงที่ใช้ในการอบแห้งพริกขี้หนูแดงด้วยเครื่องอบแห้งระบบปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 12 กราฟเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นและพลังงานที่ใช้ในแต่ละชั่วโมงในการอบแห้งสำหรับเครื่องอบแห้งต้นแบบที่เปิดการทำงานของเครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า

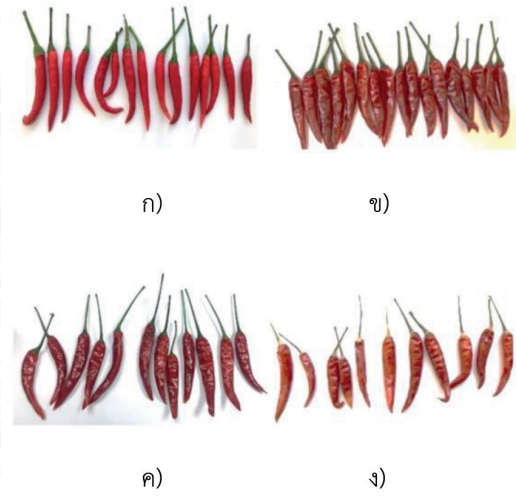


รูปที่ 13 กราฟเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นและพลังงานที่ใช้ในแต่ละชั่วโมงในการอบแห้งสำหรับเครื่องอบแห้งต้นแบบที่เปิดการทำงานของฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

และระบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวซึ่งใช้ระยะเวลานาน (40 และ 50 ชั่วโมง ตามลำดับ) แสดงดังรูปที่ 12 และรูปที่ 13 พลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อชั่วโมงทั้ง 2 ระบบแตกต่างกันโดยระบบที่ติดตั้งเครื่องปรับสภาวะอากาศสูงกว่าเล็กน้อยแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ใช้สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริคต่ำมากเมื่อเทียบกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า แต่สามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ถึง 10 ชั่วโมง ส่งผลให้สามารถประหยัดพลังงานมากกว่าและใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าอีกด้วย

3.3 คุณภาพสีของพริกขี้หนูแดงหลังการอบแห้ง

ตัวอย่างพริกขี้หนูแดงจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งเมื่อเปิดการทำงานของเครื่องปรับสภาวะอากาศร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า (รูปที่ 14 ข) และฮีตเตอร์ไฟฟ้าอย่างเดียว (รูปที่ 14 ค) เปรียบเทียบกับพริกขี้หนูแดงสด (รูปที่ 14 ก) และพริกขี้หนูตากแห้ง (รูปที่ 14 ง) พบว่าพริกขี้หนูแดงที่ผ่านการอบแห้งด้วยด้วยเครื่องอบแห้งทั้งสองแบบ ผลพริกขี้หนูแดงแห้งยังคงมีผิวค่อนข้างแดง ก้านพริกขี้หนูแดงยังคงมีสีเขียวไม่แตกต่างกับก้านของตัวอย่างพริกขี้หนูแดงสด เมื่อเทียบกับพริกขี้หนูแดงตากแห้งด้วยแสงแดดพบว่าเปลี่ยนเป็นสีแดงอ่อนลงเล็กน้อย ส่วนก้านพริกขี้หนูแดงมีสีเขียว



ก) ข)

ค) ง)

รูปที่ 14 ก) พริกขี้หนูแดงสด ข) พริกขี้หนูแดงที่อบแห้งด้วยระบบปรับสภาวะอากาศเบื้องต้นร่วมกับฮีตเตอร์ไฟฟ้า ค) พริกขี้หนูแดงที่อบแห้งโดยการเปิดฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ง) พริกขี้หนูแดงตากแห้งด้วยวิธีทางธรรมชาติ

ตารางที่ 2 ตัวแปรค่าสีของผล/ก้านพริกขี้หนูแดงสดและผ่านการอบแห้งในแต่ละกรรมวิธี

ลำดับที่	วิธีการ/เครื่องมือ	วิเคราะห์สี		
		เครื่อง Hunter Lab Color/Quest XE		
	ตัวอย่าง/รายการทดสอบ	**L***	**a***	**b***
1	ก้านพริก วิธีที่1 TEC	49.52	-1.84	27.98
2	ก้านพริก วิธีที่2 heater	48.37	-0.86	28.6
3	ก้านพริก ตากแดด	49.84	2.86	26.89
4	ก้านพริกสด	32.41	-2.41	22.69
5	ผลพริก วิธีที่1 TEC	33.73	30.39	32.35
6	ผลพริก วิธีที่2 heater	33.97	29.4	30.79
7	ผลพริก ตากแดด	30.66	28.66	29.02
8	ผลพริกสด	27.67	36.16	38.22

หมายเหตุ 1. ค่า L* (+) แสดงถึงความสว่าง
2. ค่า a* (+) แสดงถึงความเป็นสีแดง
3. ค่า a* (-) แสดงถึงความเป็นสีเขียว
4. ค่า b* (+) แสดงถึงความเป็นสีเหลือง
5. ค่า b* (-) แสดงถึงความเป็นสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3 ผลของการเปรียบเทียบค่าสีของผลและก้านของพริกขี้หนูแดงเมื่อนำไปทำให้แห้งด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบ	**delta E**	
	ผลพริกขี้หนูแดง	**ก้านพริกขี้หนูแดง**
พริกสด – ระบบติดตั้งเครื่องปรับสภาวะอากาศ	10.22	17.91
พริกสด – ระบบฮีตเตอร์เพียงอย่างเดียว	11.85	17.08
พริกสด - ตากแห้ง	12.24	18.68

จางลงอย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะเครื่องอบแห้งที่ใช้ทั้งสองแบบเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำเพียง 54 องศาเซลเซียส อีกทั้งเป็นการอบแห้งแบบต่อเนื่องผลผลิตจึงสัมผัสกับอากาศร้อนด้วยเวลาที่น้อยกว่าการตากแห้งที่ใช้เวลานานถึง 5 วัน สีของพริกขี้หนูแดงจึงเปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่า และผลพริกแห้งขี้หนูแดงทั้ง 3 แบบแสดงดังรูปที่ 14 เมื่อนำตัวอย่างพริกขี้หนูแดงจาการทดลองไปทำการวัดค่าสีผลที่ได้แสดงในตารางที่ 2 ผลที่วัดได้นำไปหาค่าความเปลี่ยนแปลงไปของสีพริกขี้หนูแดงด้วยวิธีการอบแห้งพริกขี้หนูแดงแต่ละกรรมวิธีได้ผลดังตารางที่ 3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อนำพริกขี้หนูแดงไปทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งและตากแห้งวิธีทางธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับผลพริกขี้หนูแดงสด พบว่าค่าสีมีการเปลี่ยนแปลง

เล็กน้อย โดยสำหรับผลพริกขี้หนูแดงระบบที่ติดตั้งเครื่องปรับสภาวะอากาศมีการเปลี่ยนไปของสีน้อยที่สุดและผลพริกขี้หนูแดงจากการตากแห้งมีการเปลี่ยนแปลงสูงที่สุด ส่วนการเปลี่ยนแปลงสีของก้านพริกขี้หนูแดงระบบที่ใช้ฮีตเตอร์เพียงอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงสีของก้านพริกขี้หนูแดงน้อยที่สุดและก้านพริกขี้หนูแดงที่นำไปตากแห้งมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุดเช่นกัน

4. สรุป

การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่ติดตั้งเครื่องปรับสภาวะอากาศสามารถลดความชื้นของอากาศก่อนผ่านฮีตเตอร์ไฟฟ้าได้ โดยในการทดสอบพบว่าอากาศที่ถูกแบ่งให้ไหลผ่านด้านร้อนสามารถเพิ่มอุณหภูมิได้ 10 องศาเซลเซียส ส่วนอากาศที่ผ่านด้านเย็นสามารถลดความชื้นด้วยอัตราการควบแน่นสูงสุดที่ 0.083 กิโลกรัมต่อชั่วโมง การทดสอบอบแห้งพริกขี้หนูแดง พบว่าพริกขี้หนูแดงที่ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งสามารถลดอัตราส่วนความชื้นได้ต่ำกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ อีกทั้งการทำงานของเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ระบบนั้นยังใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการตากแห้ง พริกขี้หนูแดงอบแห้งที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงสีแดงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการอบแห้งธรรมชาติที่มีสีค่อนข้างคล้ำ แต่ในการอบแห้งไม่จำเป็นต้องอบแห้งให้มีปริมาณความชื้นต่ำที่สุดโดยสามารถอบแห้งพริกขี้หนูแดงจนปริมาณความชื้นมีค่าร้อยละ 14 มาตรฐานเปียก ซึ่งประหยัดเวลาและพลังงาน โดยการเปรียบเทียบระบบที่ปริมาณความชื้นร้อยละ 14 พบว่าระบบที่ใช้เครื่องปรับสภาวะอากาศเทอร์โมอิเล็กทริคร่วมนั้นใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า มีอัตราการอบแห้งสูงกว่า อัตราการระเหยความชื้นจากพริกขี้หนูแดงสูงกว่า และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าแบบใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนทุนวิจัยและสถานที่ในการทำวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Harmony House Foods, Inc. (2014, June 30). *Do Dehydrated Vegetables Lose Nutritional Value?*. [Online]. Available: http://www.harmonyhousefoods.com/blog-nutritional-value-dehydrated-veggies

[2] S. Janjai, *Solar drying technology*, 1st ed. Nakhon Prathom: Silpakorn University, 2017.

[3] T. Siripunkul, “Consumer needs for instant dehydrated – mixed vegetable products in Mueang District, Chiang Mai Province,” Independent Study, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand, 2007

[4] T. Tipyavimol, “Maintaining quality of instant dried vegetable by heat pump drying technique,” Research report. Nakhon Ratchasima, Suranaree University of Technology, Thailand, 2010

[5] Aemarine. (2012, January 28). Vapor Compression System. [Online]. Available: http://refrigerations.blogspot.com/2012/01/vapor-compression-system.html

[6] T. Madhiyanon, S. Soponronnarit and T. Swasdisevi, “Industrial – Scale heat pump drying,” *Kasetsart J. (Nat. Sci)*, vol. 33, pp. 461-473, 1999.

[7] U.Auprakul, J.Khonrang and P. Duangnakhorn, “Water Hyacinth Drying by Heat Pump,” *The Golden Teak: Science and Technology*, years 2, vol. 1, pp. 35-40, 2015.

[8] T. Marnoto, E. Sulistyowati, Mahereni and M. Syahri, "The Characteristic of Heat Pump Dehumidifier Drier in Drying of Red Chili (*Capsium annum L*)," *International Journal of Science and Engineer*, vol. 3, no. 1, pp. 22-25, 2012.

[9] T. Kivevele and Z. Huan, "A review on opportunities for the development of heat pump drying systems in South Africa," *S Afr J Sci*, vol. 110, no. 5/6, pp. 1-11, 2013.

[10] R. He, H. Zhong, Y. Cai, D. Liu and F. Zhao, "Theoretical and Experimental Investigations of Thermoelectric Refrigeration Box Used for Medical Service," *Procedia Engineering*, vol. 205, pp. 1215-1222, 2017.

[11] H. Al-Madhhachi and G. Min, "Effective use of thermoelectric module for developing efficient thermoelectric water distillation system," *Energy Conversion and Management*, vol. 133, pp. 14-19, 2017.

[12] P. Wongpaisarnkit, K. Treeamnuk and T. Treeamnuk, "Thermal performance evaluation of thermoelectric module," in *Proceeding of 8th International Conference On Advances In Mechanical, Aeronautical and Production Techniques (MAPT2018),* Kuala Lumper, Malaysia, 2018, pp. 25-29.

[13] A. Chakraverty and R. P. Singh, *Postharvest Technology: Cereals, Pulses, Fruits and Vegetables,* Enfield (NH), USA, 2001.

[14] S. Kaleemullah and R. Kailappan, "Moisture Sorption Isotherms of Red Chillies," *Biosystems Engineering*, vol 88, issue 1, pp. 95-104, 2004.

[15] H. Wang, J. Peng, C. Xie, Y. Bao and Y. He, "Fruit Quality Evaluation Using Spectroscopy Technology: A Review," *Sensors*, vol. 15, pp. 11889-11927, 2015.