

ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

จารุวัฒน์ เจริญจิต^{*1)} ยะผาด ดุสะเหมาะ²⁾ สุพัฒน์ เดชโสภา²⁾ และสุริยา ช่วยอินทร์²⁾

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะของตู้อบแห้งและกลั่นความชื้น รังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร เครื่องอบแห้งดังกล่าวเป็นเครื่องอบแห้งแบบ Passive ทำงานในระบบปิด ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นกระจกเอียงทำมุมกับพื้นระดับ 12 องศา เพื่อให้สามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุด และแผ่นอะคริลิกใส ตัวเครื่องอบแห้งมีขนาด 83 x 77 x 100 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องอบแห้ง ประกอบด้วยถาด 5 ชั้น มีรางรองรับความชื้นที่ควมแน่นบริเวณกระจกด้านบน และด้านหน้า ระบายออกภายนอกตู้อบ สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะการอบแห้ง คือ ระยะเวลาการอบแห้ง และอัตราการอบแห้ง ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ในช่วงเวลา 09.00-15.00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน ผลจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้น รังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น , อัตราการอบแห้งสูง เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งนี้สามารถอบแห้งพริกชี้หูสด 5 กิโลกรัม ที่มีความชื้นเฉลี่ย 5 ชั้น 300 % (d.b.) จนเหลือประมาณ 26 % (d.b.) ภายในเวลา 3 วัน (18 ชั่วโมง) โดยไม่มีการสลับถาดทั้ง 5 เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติเหลือประมาณ 52 % (d.b.) เมื่อวิเคราะห์จากรายละเอียดของความชื้นแต่ละชั้นพบว่า ผลของการแยกชั้นของอุณหภูมิในตู้ส่งผลให้ ชั้นบนสุดหรือชั้นที่ 5 มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด และระยะเวลาการอบแห้งสั้นที่สุด ตามมาด้วยชั้น 4, 3 , 2 และ 1 ตามลำดับ ดังนั้นตู้อบแห้งนี้สามารถอบแห้งพริกชี้หูสดเพิ่มเป็น 8-10 กิโลกรัม ให้แห้งภายในเวลา 3 วัน (18 ชั่วโมง) ขึ้นกับรังสีอาทิตย์ โดยการหมุนวนเอาถาดบนสุดออก เลื่อนถาดถัดลงมาขึ้นแทน และใส่ถาดล่างใหม่ทุกวัน ตามลำดับ คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีสีสม่ำเสมอทุกถาดและไม่ได้รับความเสียหายจากการเปียกฝน หรือการรบกวนของสัตว์ และแมลงต่างๆ

คำสำคัญ: ตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์ การลดความชื้น

^{*1)} อาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000, Email:j.jaruwat@gmail.com

²⁾ นักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา 90000

* Corresponding Author

A Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow

Jaruwat Jareanjit ^{*1)} Yafad Dusamoh ²⁾ Supat Detsopha ²⁾ and Suriya Chuyin ²⁾

Abstract

In this work, a Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow was designed, constructed and performance tested for drying the agricultural production. The cabinet dryer is constructed as a passive type close system covered with a glass with a horizontal angle of 12° and a transparent acrylic sheet to receive maximum solar energy. A dimension of the dryer cabinet was 83 cm x 77 cm x 100 cm containing 5 trays each placed in a horizontal shelf. Shelf 5 was in the top position. The gutters were placed to receive the condensed moisture from the front and the top pieces of glass and vented outside the cabinet. The parameters used to compare the performance of the dryer cabinet were drying duration and drying rates. The data were collected 6 hours a day from 9 am to 3 pm. The result from the research indicates that the Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow yielded the products in a shorter drying duration with a higher drying rate compared to a natural drying method of the sunlight. The result also reveals that the drying cabinet was used to reduce average 300% (d.b.) moisture of 5 kg of peppers in all 5 trays to average 26% (d.b.) in 3 days (18 hrs.) in spite of the fact that all 5 trays were still placed in the same shelf compared to that of 52% dried by the sunlight in the same duration. When the moisture of the peppers in each tray was analyzed, the result shows that the peppers on the fifth shelf, the topmost one, were the driest products with the shortest duration following by the peppers on Shelf 4, Shelf 3, Shelf 2 and Shelf 1 respectively. Thus, the Solar Dryer & Moisture Condensing Cabinet with Thermosyphon Heat Flow can be used to dry 8-10 kg of peppers in 3 days (18 hrs.) depending on solar radiation. Thus, on the first day the tray of peppers on Shelf 5 could be removed and the trays on the lower shelves were moved up. As such Shelf 1 was replaced with a new tray of peppers. The quality of the products were also in an acceptable criterion. The dried peppers in 5 trays were of a similar colour. They were neither damaged by rain nor eaten by rodents and insects.

Keywords: Solar Drying Cabinet, Solar energy, Moisture reduction

^{*1)} Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla, 90000, Email: j.jaruwat@gmail.com

²⁾ Student, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkla, 90000.

* Corresponding Author

1. บทนำ

ปัญหาด้านพลังงาน เป็นปัญหาที่มีความสำคัญสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีปริมาณความต้องการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งพลังงานเหล่านี้มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจ และการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ โดยกลุ่มอุตสาหกรรมการอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตร เพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ และเพิ่มมูลค่าสินค้า ซึ่งกระบวนการดังกล่าว มีการใช้พลังงานค่อนข้างสูง ดังนั้นการหาแนวทางการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ในการอบแห้งจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ วิธีการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำ ร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด และการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน นอกจากนี้ การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นเทคนิคหนึ่งที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ได้ กล่าว (Chu *et al.*, 2003) ซึ่งปัจจุบันเทคนิคดังกล่าวถูกใช้ผสมผสาน เช่น นำเทคนิคลมร้อนทำงานร่วมกับรังสีอินฟราเรด (อำไพศักดิ์ และคณะ, 2550) และสามารถใช้รังสีอาทิตย์สำหรับการผลิตลมร้อนในการอบแห้งแบบ Passive, Active และ Hybrid หลายรูปแบบ (Fudholi *et al.*, 2010) โดยในส่วนนี้ได้มีการปรับปรุงวัสดุให้ประหยัดและเบา (ชนก และคณะ, 2551) และเทคนิคการกักเก็บความร้อนแบบเปลี่ยนเฟส (ณัฐพล และคณะ, 2549) เพื่อเพิ่มสมรรถนะ และลดต้นทุนของระบบมากขึ้น แต่ระบบดังกล่าว ต้องมีการหมุนเวียนอากาศ โดยพัดลมขนาดเล็ก และต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม ใช้พลังงาน และมีความซับซ้อนของระบบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการผสมผสานเทคนิคการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์แบบ Passive ทำงานในระบบปิด โดยอาศัยหลักการของ แรงลอยตัวโดยอิสระหรือเทอร์โมไซฟอนของอากาศ สำหรับหมุนเวียนของอากาศร้อนภายในระบบ ในการอบไล่ความชื้น ร่วมกับหลักการกลั่นน้ำ หรือเอทานอลด้วยรังสีอาทิตย์แบบอ่าง (Basin Type) (Namprakai, P, *et al.*, 1996; Toure S, *et al.*, 1999) สำหรับควบแน่นความชื้นออกจากระบบ โดยเลือกใช้พริกขี้หนูเป็นตัวอย่างในการทดลอง ทั้งนี้ใน

เบื้องต้นจะทำการทดลองเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ เพื่อศึกษาสมรรถนะตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน สำหรับการทำให้พริกขี้หนูแห้ง โดยไม่มีการใช้พลังงานจากภายนอก

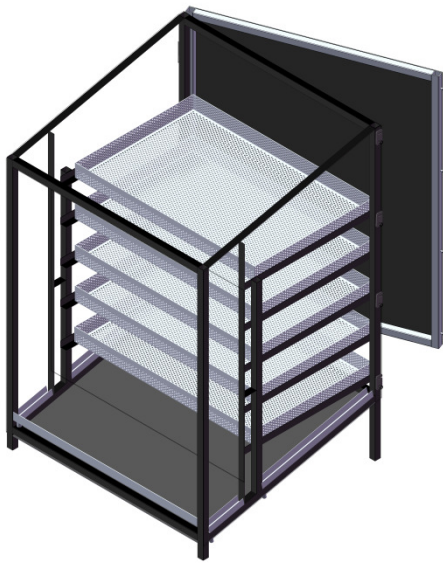
2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 ชุดทดสอบ



รูปที่ 1 ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

ตู้อบที่ใช้ในการศึกษาดังรูปที่ 1 อาศัยคุณสมบัติของกระจก ที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ ผ่านลงมายังตู้อบได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากตู้อบเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ภายในตู้กระจก จนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้อากาศมีความหนาแน่นน้อยลงหรือน้ำหนักเบาขึ้น และลอยตัวขึ้นไปบริเวณส่วนบนของตู้อบผ่านวัสดุที่ต้องการอบแห้งพาความชื้นไปควบแน่นที่บริเวณผิวกระจกด้านบน และด้านหน้า ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศต่ำลง มีความหนาแน่นมากขึ้นเคลื่อนที่ลง มาทดแทน อากาศร้อนที่เคลื่อนที่ขึ้นไปส่วนบนของตู้อบ ตามหลักการพาความร้อนตามธรรมชาติในลักษณะเช่นนี้ ประกอบกับรูปทรงสี่เหลี่ยมด้านขนาน ของตู้อบทำให้เกิดการไหลเวียนขึ้นของอากาศในตู้ ในขณะที่น้ำที่ควบแน่นจะถูก ระบายออกจากตู้อบผ่านทางท่อทางออกตลอดเวลา



ภาพที่ 2 แสดงรายละเอียดของตู้อบ

ลักษณะของตู้อบ มีรูปทรงสี่เหลี่ยม มีรายละเอียดดังนี้ ขนาดห้องอบแห้งเท่ากับ 83 cm x 77 cm x 100 cm (กว้าง x ยาว x สูง) ภายในมีแผ่นอะคริลิกใสขนาดความหนา 2 mm ขนาดความกว้าง 84 cm x 70 cm จำนวน 1 แผ่น ใช้เป็นแผ่นกั้นระหว่างห้องอบฟริกซ์หนูกับบริเวณระบายความร้อนด้านหน้าของตู้อบฟริกซ์ ที่ทำจากกระจกใสหนา 5 mm มีขนาดความกว้าง 79 cm x 95 cm โดยมีแผ่นอะคริลิกใสหนา 2 mm กว้าง 77 cm x 100 cm ทรงสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนทำมุม 12 องศา จำนวน 2 แผ่น ติดตั้งตรงบริเวณด้านข้างซ้าย-ขวา ของตู้อบ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใสหนา 5 mm กว้าง 72 cm x 82.5 cm วางทำมุม 12 องศา เป็นส่วนที่ใช้รับรังสีอาทิตย์ ในตู้อบติดตั้งตะแกรงใส่ฟริกซ์หนูทำจากวัสดุ Stainless Steel ความหนา 1 mm เจาะรูขนาด 5 mm เพื่อให้อากาศไหลเวียนได้สะดวก มาพับขึ้นรูปให้มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 50 cm x 75 cm x 5 cm ตะแกรงนี้สามารถบรรจุฟริกซ์หนูได้สูงสุดชั้นละ 1 kg (น้ำหนักฟริกซ์หนูสด) จำนวน 5 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 2

2.2 วิธีการทดลอง

ในการทดลอง ได้เลือกฟริกซ์หนูเป็นตัวอย่งในการอบแห้ง ซึ่งมุ่งเน้นศึกษาและอบแห้งฟริกซ์หนูให้เหลือความชื้นสุดท้าย ประมาณ 26 % (d. b.) งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ส่วนเพื่อเปรียบเทียบ

สมรรถนะตู้อบแห้งและกลั่น กับการตากแห้งตามธรรมชาติ โดยมีเงื่อนไขการทดสอบคือ อบแห้งฟริกซ์หนูสด จำนวน 5 kg ในช่วงเวลา 09.00-15.00 น. เป็นเวลา 6 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 3 วัน ที่สภาวะเดียวกัน สำหรับการบันทึกข้อมูลต่างๆ ระหว่างทำการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้อุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ วัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ต่อเข้ากับมัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Fluke 78 สำหรับเก็บข้อมูลของอุณหภูมิ ทุก 10 นาที การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของผลิตภัณฑ์อ่านค่าจากเครื่องชั่งดิจิทัล ยี่ห้อ Adventurer ชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 3 kg ที่มีค่าความละเอียด 0.01 g เก็บข้อมูลของน้ำหนัก ทุก 120 นาที สำหรับเงื่อนไขเริ่มต้นต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ที่นำมาทดลอง คือ ฟริกซ์หนูมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 300% (d. b.) โดยจัดเตรียมบรรจุบนตะแกรงใส่ฟริกซ์หนู จำนวนชั้นละ 1 kg จำนวน 5 ชั้น และในการทดลองแต่ละครั้งใช้ฟริกซ์หนูเท่ากับ 5 kg (Moisture Content/Time)

2.3 การวัดความชื้นของผลผลิต

การวัดความชื้นของผลผลิต(Moisture Content) นั้น ส่วนใหญ่จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ มี 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (Wet Basis) เป็นการวัดโดยใช้น้ำหนักของผลผลิต ที่ชื้นเป็นหลักดังนี้

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

2. คิดเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง (Dry Basis) เป็นการวัดโดยใช้น้ำหนักของผลผลิตแห้งเป็นหลักดังนี้

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

เมื่อ W_w = น้ำหนักของน้ำที่อยู่ภายในเนื้อของวัสดุ

W_d = น้ำหนักของเนื้อวัสดุแห้ง

จากสมการ ความชื้นมาตรฐานเปียก มีค่าไม่เกิน 100 % ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้ง อาจมีค่าเกิน 100 % โดยงานวิจัยนี้จะบอกความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

โดยที่อัตราการอบแห้ง พิจารณาจากความชื้นของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา

$$(\text{Drying Rate, DR}) = \frac{dW}{dt} \quad (3)$$

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

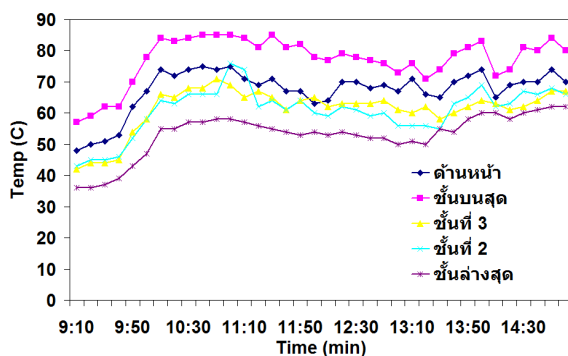
ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองและวิเคราะห์การอบแห้งพริกชี้หนู ด้วยตู้อบรังสีอาทิตย์ และกรณีตากแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้



ภาพที่ 3 แสดงตะแกรงสแตนเลสที่ใช้ในการบรรจุและตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

3.1 อุณหภูมิตู้อบแห้ง และกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

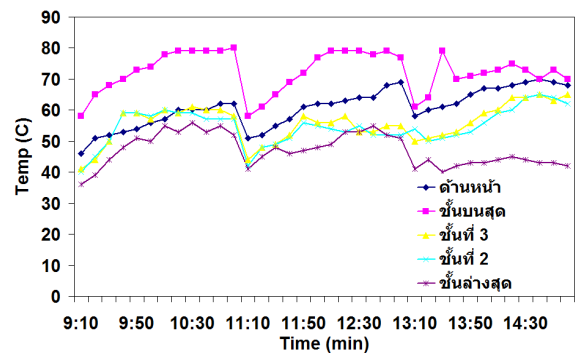
การศึกษาในส่วนนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ที่มีต่อพฤติกรรมของการอบแห้งพริกชี้หนูซึ่งมีรายละเอียดของผลการศึกษาดังนี้



รูปที่ 4 อุณหภูมิภายในตู้อบเปล่าที่ตำแหน่งต่าง ๆ

รูปที่ 3 แสดงการจัดวางตะแกรงอบและตำแหน่งวัดอุณหภูมิต่าง ๆ ภายในตู้อบรังสีอาทิตย์ รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิภายในตู้อบที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในตู้การอบรังสี

อาทิตย์ ที่ยังไม่มีวัตถุใดภายในตู้ โดยอาศัยหลักการหมุนเวียนของอากาศร้อนตามธรรมชาติ จากรูปพบว่าอุณหภูมิในตู้อบมีการแยกชั้นตามที่ตั้งสมมุติฐาน โดยชั้นบนสุดมีอุณหภูมิสูงที่สุด และลดลง ในตำแหน่งวัดต่ำลงมา โดยอุณหภูมิชั้นบนต่างจากชั้นล่างสุด ประมาณ 20-25 °C โดยอุณหภูมิสูงสุดภายในตู้อบแต่ละชั้นเฉลี่ยอยู่ที่ 70 °C แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ โดยอุณหภูมิบริเวณด้านหน้าตู้อบที่ทำด้วยกระจกมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านบนพิจารณาว่ามีการระบายความร้อน ที่กระจก ทำให้เกิดมีการหมุนเวียนภายในอากาศ จึงทำการทดสอบการอบแห้งพริกชี้หนูสดในการทดลองถัดมา และทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ ในตู้อบเมื่อทำการอบพริกชี้หนูสด จำนวน 5 kg



รูปที่ 5 อุณหภูมิภายในตู้อบพริกชี้หนูสดที่ตำแหน่งต่าง ๆ

รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิภายในตู้อบที่ตำแหน่งต่าง ๆ กรณี ที่มีวัตถุใดภายในตู้ ในสภาวะสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิเฉลี่ย 29.6 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 78 % จากรูปพบว่าอุณหภูมิในตู้อบมีการแยกชั้น แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์ ส่งผลให้อัตราการระเหยน้ำจากเนื้อพริกสูงขึ้น แปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวมา จึงสามารถลดความชื้นได้เร็วขึ้น เมื่อทำการอบพริกในชั้นบนสุด

3.2 การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน

การศึกษาในส่วนการอบแห้งพริกชี้หนู ด้วยตู้อบรังสีอาทิตย์ดังกล่าว ได้ศึกษาถึงผลที่มีผลต่อพฤติกรรมของการอบแห้ง เทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ ผลจากการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งแสดงน้ำหนักก่อนและ หลังการอบแห้งทุก ๆ 2 ชั่วโมง โดยน้ำหนักของเนื้อวัสดุแห้ง ของพริกชี้หนูแห้งมีค่าเท่ากับ

1218 g เมื่อนำข้อมูลมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา เป็น % (w. b.) และ % (d. b.) ตามลำดับ จากการทดลองสรุปได้ว่า การอบแห้งด้วยตู้อบรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน แสดงปริมาณความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ ที่เวลาเท่ากัน จึงมีแนวโน้มที่จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่า โดยมีความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยทุกชั้นประมาณ 26 % (d. b.) และ 51 % (d. b.) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6 เนื่องจากอุณหภูมิในตู้อบสูงกว่าภายนอก อันเกิดจากสภาวะเรือนกระจกของตู้อบ

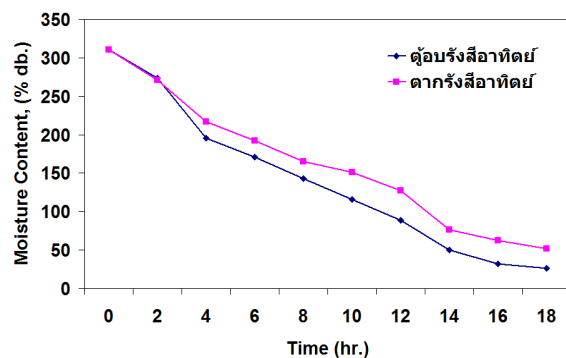
ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบแห้งพริกชี้หนูด้วยตู้อบแห้ง และกลิ่นความชื้น รังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน (ข้อมูล 5 ชั้นเฉลี่ย)

ลำดับที่	W _i (กรัม)	W _d (กรัม)	W _w (กรัม)	MC (% d.b.)	MC (% w.b.)
ก่อนอบ	5000.00	1218.93	3781.07	310.19	75.62
ครั้งที่ 1	4523.62	1218.93	3339.87	274.00	73.26
ครั้งที่ 2	3599.94	1218.93	2381.01	195.33	66.14
ครั้งที่ 3	3302.32	1218.93	2083.39	170.91	63.08
ครั้งที่ 4	2962.31	1218.93	1743.38	143.02	58.85
ครั้งที่ 5	2631.00	1218.93	1412.07	115.84	53.67
ครั้งที่ 6	2257.92	1218.93	1078.99	88.51	46.95
ครั้งที่ 7	1831.01	1218.93	612.08	50.21	33.42
ครั้งที่ 8	1611.93	1218.93	393.00	32.24	24.38
ครั้งที่ 9	1539.26	1218.93	320.33	26.27	20.81

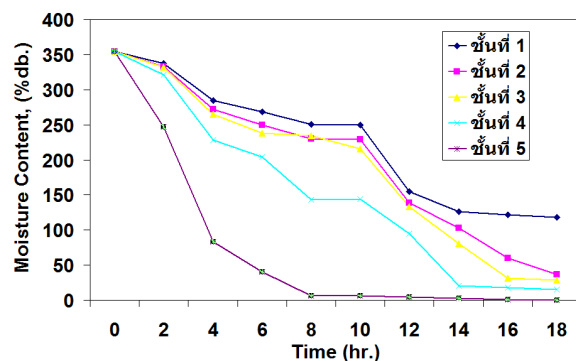
ตารางที่ 2 ผลการทดลองการอบแห้งพริกชี้หนูด้วยการตากแห้งตามธรรมชาติ

ลำดับที่	W _i (กรัม)	W _d (กรัม)	W _w (กรัม)	MC (% d.b.)	MC (% w.b.)
ก่อนอบ	5000.00	1218.93	3781.07	310.19	75.62
ครั้งที่ 1	4558.80	1218.93	3304.69	271.11	73.05
ครั้งที่ 2	3965.26	1218.93	2746.33	225.30	69.25
ครั้งที่ 3	3558.74	1218.93	2339.81	191.95	65.74
ครั้งที่ 4	3227.46	1218.93	2008.53	164.77	62.23
ครั้งที่ 5	3057.67	1218.93	1838.74	150.84	60.13
ครั้งที่ 6	2771.65	1218.93	1552.72	127.38	56.02
ครั้งที่ 7	2149.02	1218.93	930.09	76.30	43.27
ครั้งที่ 8	1975.94	1218.93	757.01	62.10	38.31
ครั้งที่ 9	1848.12	1218.93	629.19	51.61	34.04

นอกจากนี้ไอน้ำที่ระเหยออก จากเนื้อพริก สามารถควบแน่นที่บริเวณกระจกส่วนบน และด้านหน้าของตู้อบ ไหลระบายออกจากตู้ได้ตลอดเวลา โดยอาศัยหลักการของเครื่องกลั่นน้ำรังสีอาทิตย์ โดยไม่มีอากาศภายนอกเข้ามาในตู้อบ ทำให้อากาศในตู้อบแห้งหรือมีความชื้นลดลงด้วยเหตุนี้ทำให้น้ำภายในเนื้อพริกสามารถระเหยได้เร็วขึ้น นอกจากนี้การหมุนเวียนตามธรรมชาติโดยปราศจากการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เป็นการประหยัดพลังงานเช่นกัน



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา การอบแห้งพริกชี้หนูด้วยตู้อบแห้งและกลิ่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน เทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ



รูปที่ 7 รายละเอียดความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับเวลา ในแต่ละชั้นในตู้อบแห้งและกลิ่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ทั้ง 5 ชั้น

ซึ่งสรุปผลการทดลองได้ว่า การอบแห้งพริกชี้หนูด้วยตู้อบรังสีอาทิตย์ จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ เนื่องจากพฤติกรรมการระเหยของความชื้นอาศัยปัจจัยของอุณหภูมิ และความชื้นของตัวกลาง ดังนั้นการอบในตู้อบส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวของเนื้อพริกสูง จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากเนื้อพริก

ไปสู่อากาศมากกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ อีกทั้งการควบแน่นของไอน้ำที่กลั่นตัวออกจากระบบอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความชื้นของตัวกลางในตู้อบลดลง และมีค่าต่ำกว่าเนื้อพริก ส่งผลให้อัตราการระเหยของความชื้นที่ผิวพริกสูงกว่าการอบแห้งในตัวกลางที่มีความชื้นสูงจากหลักการเทอร์โมไซฟอน ส่งผลให้มีการแยกชั้นของอุณหภูมิจึงให้อัตราส่วนความชื้นกับเวลาในตู้อบแต่ละชั้นสามารถแสดงรายละเอียด ในรูปที่ 7

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการอบแห้งพริกชี้หนูด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้น รังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน (ข้อมูล 5 ชั้น)

ชั่วโมงที่	ตำแหน่ง	Wt (กรัม)	Wd (กรัม)	Ww (กรัม)	MC (% d.b)	MC(% w.b)
0	ชั้นที่ 5	1000.00	220.15	779.85	354.23	77.98
	ชั้นที่ 4	1000.00	220.15	779.85	354.23	77.98
	ชั้นที่ 3	1000.00	220.15	779.85	354.23	77.98
	ชั้นที่ 2	1000.00	220.15	779.85	354.23	77.98
	ชั้นที่ 1	1000.00	220.15	779.85	354.23	77.98
6	ชั้นที่ 5	308.91	220.15	88.76	40.31	28.73
	ชั้นที่ 4	689.36	220.15	449.21	204.04	67.11
	ชั้นที่ 3	743.51	220.15	523.36	237.72	70.39
	ชั้นที่ 2	770.36	220.15	550.21	249.92	71.42
	ชั้นที่ 1	811.18	220.15	591.08	268.42	72.86
12	ชั้นที่ 5	230.01	220.15	9.86	4.47	4.28
	ชั้นที่ 4	428.96	220.15	208.81	94.84	48.67
	ชั้นที่ 3	512.98	220.15	292.83	133.01	57.08
	ชั้นที่ 2	525.18	220.15	305.03	138.55	58.08
	ชั้นที่ 1	560.79	220.15	340.64	154.73	60.74
18	ชั้นที่ 5	220.54	220.15	0.39	0.17	0.17
	ชั้นที่ 4	254.38	220.15	34.23	15.54	13.45
	ชั้นที่ 3	283.37	220.15	63.22	28.71	22.31
	ชั้นที่ 2	300.45	220.15	80.30	36.47	26.72
	ชั้นที่ 1	480.52	220.15	260.37	118.26	54.18

ทั้งนี้เกิดจากอากาศจะเป็นตัวกลางที่ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์แยกชั้น ซึ่งพิจารณาในรายละเอียดของชั้นอบแห้งแต่ละชั้น ทำให้แต่ละชั้นใช้เวลาการอบไม่เท่ากัน โดยชั้นบนสุด (ชั้นที่ 5) จะใช้เวลาที่น้อยที่สุด โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามากคือชั้นที่ 5, 4, 3, 2, 1 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณารูปที่ 7 ร่วมกับข้อมูลจากตารางที่ 3 พบว่าสามารถจัดลำดับการทำงานให้เป็นแบบต่อเนื่องได้ โดยสามารถเอาพริกชั้นบนสุดออกก่อนและทำการเลื่อนถาดถาดลงมา ขึ้นไปแทนตามลำดับ ทำให้สามารถนำพริกสดเพิ่มไปในชั้นล่างสุดได้ทันที

แบบต่อเนื่อง จึงทำให้สามารถเพิ่มปริมาณการอบพริกชี้หนูจาก 5 kg เป็น 8-10 kg ในเวลา 3 วัน หรือ 18 ชั่วโมงเท่าเดิม



รูปที่ 8 พริกชี้หนูที่ผ่านการอบด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ในแต่ละชั้นทุกๆ 6 ชั่วโมง

3.3 การเปรียบเทียบการอบแห้งพริกชี้หนูด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้น รังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน กับการตากแห้งตามธรรมชาติ

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. กลไกการถ่ายเทความร้อน และอบแห้งด้วยตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์ที่ทดสอบ พบว่ากระบวนการจะเริ่มจากความร้อนถ่ายเทจากอากาศร้อนในตู้อบ ด้วยการพาความร้อนไปยังผิวของเนื้อพริก หลังจากนั้นจะเกิดการนำความร้อนจากผิวไปสู่เนื้อพริกด้านใน ซึ่งนอกจากจะเป็นตัวกลางการถ่ายเทความร้อนแล้ว ยังเป็นตัวกลางการถ่ายเทมวลด้วย โดยจะทำหน้าที่ลดความชื้นที่ผิวของเนื้อพริก
2. ระยะเวลาการอบแห้ง อัตราการอบแห้ง พบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์ จะใช้ระยะเวลาการอบแห้งที่สั้น หรืออัตราการอบแห้งสูงกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว นอกจากนั้น การที่ระบบเป็นระบบปิด และมีกระจกสำหรับให้อิหร่านควบแน่น เป็นหยดน้ำระบายออกจากตู้ตลอดเวลา เป็นการลดความชื้นใน

อากาศร้อน ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทมวลระหว่างผิวของเนื้อพริกกับอากาศมากขึ้นด้วย

3. การถ่ายเทความร้อน และอัตราการอบแห้งด้วยตู้อบรังสีอาทิตย์ที่ทดสอบ เป็นระบบที่ต้องเปิดประตูตู้อบทุก 2 ชั่วโมง เพื่อนำพริกออกมาชั่งน้ำหนัก ทำให้อุณหภูมิและความชื้นจากภายนอกเข้าสู่ตู้อบทุก 2 ชั่วโมง ซึ่งการทำงานจริงนั้น ระบบเป็นระบบปิด และมีกระจกสำหรับให้อิออน้ำควบแน่น เป็นหยดน้ำระบายออกจากตู้ตลอดเวลา เป็นการลดความชื้นในอากาศร้อน อย่างต่อเนื่องจึงคาดการณ์ว่าระบบจะมีสมรรถนะสูงขึ้นตามลำดับ

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งพริกขี้หนูด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน เทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ จากการศึกษาที่สภาวะเดียวกันพบว่า คุณภาพของพริกที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองเทคนิคอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับสมรรถนะโดยรวมของการอบแห้งทั้งสองเทคนิค พบว่า การอบแห้งพริกขี้หนูด้วยตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งด้วยการตากแห้งตามธรรมชาติ คือ ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น อัตราการอบแห้งสูง และสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้ 1 เท่าเมื่อมีการหมุนเวียนเอาตะแกรงพริกชั้นบนสุดออก และเลื่อนตะแกรงชั้นถัดลงมาขึ้นแทน พร้อมทั้งเติมพริกที่ชั้นล่างทดแทนได้ต่อเนื่อง อีกทั้งเป็นระบบปิดไม่มีอิทธิพลจากอุณหภูมิ และความชื้นในบรรยากาศภายนอก แต่แปรผันตามค่ารังสีอาทิตย์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- ชนก ศรีทัศน์ อาทิตย์ สารสมบุญรณ์ เสริม จันทร์ฉาย. (2008). *การศึกษาสมรรถนะการอบแห้งในสภาวะเรือนกระจกที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนต*. The 1st Thailand Renewable Energy Community Configuration Conference (TREC). School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok. 15-16 December. (In Thai)., 47-55.
- ณัฐพล รุ่งประแสง พิชัย นามประกาย และ นริส ประทินทอง. (2006). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขนาดที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้รางพาราโบลาโคจรรวมแสงร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานแบบเปลี่ยนเฟสในประเทศไทย. *KKU Engineering Journal*. Vol. 33 No .5, 495 – 510.
- อำเภอศักดิ์ ทีบุญมา และ ธนภัทร สุวรรณบุญ. (2007). การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งด้วยลมร้อนและลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด. *KKU Engineering Journal*. Vol. 34 No .2, 189 – 201.
- Chu, K.J. and Chou, S.K. (2003). Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*. Vol. 14, 519-528.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, H.M., Alghoul, M.A. and Sulaiman, M.Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol. 14, 1–30.
- Namprakai, P., Hirunlabh, J. and Kiatsiriroat, T. (1996). Ethylalcohol distillation in basin solar still. *Renewable Energy*, Vol.11, 169-175.
- Toure S, Salami H, Pierre M. (1999). Theoretical and experimental studies of a solar still type suitable for alcoholic distillation. *Renew Energy*. Vol.16 (1–4), 739–742.