การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยรางพาราโบลิก

Enhancement of thermal efficiency in solar dryer with solar parabolic trough concentrator

วิจิตรา ภูมิสวัสดิ์[1*]

Wijittra Poomsawat[1*]

ABSTRACT

In order to improve the thermal efficiency of cabinet solar dryer, the solar parabolic trough concentrator was build and conducts. Cassava leaves was selected as a drying material in this work. The results indicated that the average of solar radiation intensity during the experiment was at 707 W/m^2. An ambient temperature, concrete floor, surface collector tubes was increase with solar radiation. The maximum temperature of surface collector tubes was at 200 °C. Consequently, the average temperature in drying chamber with the solar parabolic trough concentrator was 50 °C which higher than that drying chamber without the parabolic trough as presented the average temperature of 40 °C. The cabinet sun drying with parabolic trough show highest efficiency as 16.4% and 10.7% for cabinet sun drying without parabolic trough and 7.4% for conventional sun drying, respectively. Moreover, the drying time of the cabinet solar dryer with solar parabolic trough concentrator was significant lower than the cabinet solar dryer without parabolic trough and the conventional sun drying.

Keywords: solar dryer, parabolic trough concentrator

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างและทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง การอบแห้งใช้ใบมันสำปะหลังสดในการทดลอง ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงที่มีการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ย 707 W/m^2 อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิลานตาก, อุณหภูมิผิวท่อทองแดง จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิผิวท่อทองแดงที่ใช้ในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิสูงสุด 200 °C ทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งแบบมีรางพาราโบลิกเพิ่มขึ้นเป็น 50 °C เมื่อเทียบกับแบบไม่มีรางพาราโบลิก ที่มีอุณหภูมิ 40 °C ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 16.4% รองลงมาคือ เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้รางพาราโบลิก คือ 10.7% และประสิทธิภาพของการตากแห้งบนลานตากโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าน้อยที่สุด 7.4% ตามลำดับ และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อใช้รางรูปพาราโบลิก

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รางรวมแสงรูปพาราโบลิก

[1*]ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakornpathom 73140, Thailand.

[*]Corresponding author: fengwth@ku.ac.th

คำนำ

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับลดความชื้นหรืออบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมีความเหมาะสมมากสำหรับประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนบริเวณเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างคงที่และมีค่าเฉลี่ยทั้งปีประมาณ 17 MJ/m^2/day (Soponronnarit *et al.*,1997) การใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงบนลานคอนกรีตในการตากแห้งผลผลิตทางการเกษตรเป็นวิธีที่นิยม เนื่องจากใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน และลงทุนน้อยมาก แต่มักจะมีปัญหาเรื่องความสะอาดของผลิตภัณฑ์ เช่น ฝุ่นละออง, แมลง และเชื้อราที่เกิดขึ้นจากความชื้นที่สะสมในผลิตภัณฑ์ในฤดูฝน เป็นต้น ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาระบบการอบแห้งเป็นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น

การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้น มีการศึกษา และพัฒนามาโดยตลอดใน หลายทศวรรษที่ผ่านมา โดยทั่วไปจะเป็นการศึกษา และปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ จากปัจจัยหลักที่มีผลต่อการอบแห้ง คือ อุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง (Soponronnarit *et al.*,1997 และ Vazquez *et al.*,1997) เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการอบอบแห้ง และวัตถุประสงค์ของการวิจัยเหล่านี้ส่วนใหญ่ เพื่อเพิ่มการกระจายตัวของความชื้นและอุณหภูมิห้องอบแห้งให้สูงขึ้น

ชวลิตและคณะ (2550) ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน จากการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ความเร็วลมในห้องอบแห้ง และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทดลองคือ 45 °C ความเร็วลมที่เหมาะสมที่สุด คือ 7 m/s เนื่องจากได้อัตราการอบแห้งเร็วที่สุดและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่าไม่ต่างกันสภาวะอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

ธีรเดชและคณะ (2553) ศึกษาการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้า โดยออกแบบเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักและพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสริมซึ่งประกอบด้วยตู้อบชนิดโปร่งแสง แผงรับ รังสีอาทิตย์มีขนาด 4.08 m^2 และขดลวดไฟฟ้าสำหรับทำความร้อนขนาด 800 W จำนวน 2 ชุด กำหนดอุณหภูมิในห้องอบแห้ง 40, 50 และ 60 °C พบว่าการอบแห้งแบบใช้พลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้ามีประสิทธิภาพในการอบแห้ง สูงที่สุดที่ 5.54%

พูลทวี และ อำไพศักดิ์ (2551) ศึกษาเทคนิคการเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคที่ศึกษาได้แก่ สารดูดความชื้น ปล่องความร้อน และลูกหมุนดูดอากาศ ซึ่งในการศึกษาได้เปรียบเทียบสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ธรรมดาและการตากแดดโดยตรง สารดูดความชื้นที่ใช้ศึกษา คือ ซิลิกาเจล โดยมีผ้าชุบน้ำเป็นตัวอย่างในการทดลอง สำหรับพารามิเตอร์ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการศึกษาเปรียบเทียบ คือ อัตราการอบแห้ง ผลจากการทดลอง พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้สารดูดความชื้น หรือปล่องความร้อน หรือลูกหมุนดูด อากาศช่วย จะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมดา และ การตากแห้งจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

จารุวัฒน์ และคณะ (2254) ออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะของตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน สาหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรแบบ Passive ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นกระจกเอียงทำมุมกับพื้นระดับ 12 องศา เพื่อให้สามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุด และแผ่นอะครีลิคใส ตัวเครื่องอบแห้งมีขนาด 83 x 77 x 100 m ผลจากการศึกษาพบว่า การอบแห้งด้วยตู้อบแห้งรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน ใช้ระยะเวลาการอบแห้งสั้น, อัตราการอบแห้งสูง เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว จากผลการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งพริกขี้หนูสด 5 kg ที่มีถาดวางวัสดุ ทั้งหมด 5 ชั้น พริกขี้หนูสดมีความชื้นเฉลี่ย 300% (d.b.) มีความชื้นสุดท้ายประมาณ 26% (d.b.) ภายในเวลา 18 ชั่วโมงโดยไม่มีการสลับถาด

เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 52% (d.b.) ในเวลาที่เท่ากัน เมื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นของแต่ละชั้นพบว่าผลของการแยกชั้นของอุณหภูมิในห้องอบแห้ง ชั้นบนสุดหรือชั้นที่ 5 มีอัตราการอบแห้งสูงที่สุด และใช้เวลาการอบแห้งน้อยที่สุด ตามมาด้วยชั้น 4, 3 , 2 และ1 ตามลำดับ

การใช้เทคโนโลยีการเพิ่มความเข้มของแสง (Concentrated Solar) รูปแบบของรางพาราโบลิก (Parabolic Trough) อบแห้งเป็นเทคนิคที่น่าสนใจในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้ง (Tao Liu *et al.*,2014, Stiling *et al.*,2012 และ Kalogirou 2004) สำหรับประเทศไทยมีการใช้เทคนิคนี้น้อยมาก ส่วนใหญ่เป็นการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับแพล่งพลังงานไฟฟ้าหรือการกักเก็บความร้อนโดยใช้สารทำงานหรือวัสดุกักเก็บความร้อนดังที่กล่าวไว้ข้างต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการการออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง และเป็นแนวทางหรือเทคนิคในการปรับปรุงกระบวนการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการลดความชื้นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในประเทศไทย

อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้ทำการการออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อีก 2 วิธีคือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้รางพาราโบลิก และ การตากแห้งบนลานตาก รายละเอียดของอุปกรณ์และวิธีวิจัยดังต่อไปนี้

ห้องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีรางพาราโบลิกและไม่มีรางพาราโบลิกมีปริมาตร 0.9×1.2×2.4 m^3 โดยมีชั้นวางวัสดุที่ใช้อบแห้ง 3 ชั้น

แผ่นสแตนเลสโค้งรูปพาราโบลา มีระยะห่างจากผิวโค้งและจุดโฟกัส 0.7 m และขนาดหน้าตัดของจานมีขนาด 1×4 m^2

พัดลมระบายอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm จำนวน 4 อัน

ตู้อบแห้ง (Drying Oven)

เครื่องชั่งน้ำหนักแบบDigital: Precisa รุ่น 6200 CSCS ค่าความละเอียด ± 0.01 g

เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger: hP 34970) ความละเอียด ± 0.1°C

เทอร์โมคับเปิลชนิด K เพื่อวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง อุณหภูมิผิวท่อทองแดง อุณหภูมิลานตาก และอุณหภูมิแวดล้อม

อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รวม Gebrauchsanweisung รุ่น Clima วัดค่าได้ในช่วง 0-1300 W/m^2

เครื่องวัดความเร็วลม (Vane anemometer: Digicon รุ่น BA-42) ความละเอียด ± 0.01 m/s

สถานที่ทำการทดลองคือบริเวณลานจอดรถหน้าตึกวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ทำการทดลองระหว่างวันที่ 15 – 29 ตุลาคม 2553 ช่วงเวลา 9.00 น. ถึง 16.00 น. เลือกทำการทดลองในวันที่มีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังมีรายละเอียดวิธีการวิจัยต่อไปนี้

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก ดังแสดงใน Figure 1 ประกอบด้วยตู้อบและอุปกรณ์เพิ่มความเข้มของแสงจำนวน 2 ชุด โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมโค้งเป็นวัสดุรวมแสงไปยังตำแหน่งจุดโฟกัส ซึ่งเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 20 mm หนา 1.5 mm เพื่อใช้เพิ่มอุณหภูมิในตู้อบขนาด 0.5×0.5×0.7 m (0.125 m^3) ทำด้วยกระจกใสหนา 3 mm ติดพัดลมดูดอากาศจำนวน 2 ตัว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 cm ใช้ไฟฟ้า AC ขนาด 1 W ดูดอากาศร้อนผ่านอุปกรณ์ความเข้มของแสงอาทิตย์เข้ามาในตู้อบแห้ง ความเร็วอากาศในเครื่องอบแห้งโดยเฉลี่ย 0.5 m/s ภายในตู้อบมีชั้นวางใบมันสำปะหลังสดทำจากตาข่ายสแตนเลสจำนวน 3 ชั้น มีช่องระบายอากาศรูปสี่เหลี่ยม 2 ช่อง ขนาด กว้าง×ยาว 0.07×0.5 m (0.035 m^2)

ขั้นตอนการทดลอง มีดังนี้ นำใบมันสำปะหลังสดที่เก็บเกี่ยวจากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดสุพรรณบุรีจัดเรียงบนตระแกรงโดยความหนาของชั้นใบมันสำปะหลังสดมีความหนาประมาณ 15-20 mm โดยแต่ละชั้นจะมีการสุ่มตัวอย่างที่เพื่อวัดหาค่าความชื้นทั้งหมด 5 ตัวอย่างๆละ 30-50 g จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลมวลใบมันสำปะหลังเริ่มต้นซึ่งในแต่ละครั้งของการทดลองใช้ใบมันสำปะหลังสด 4 kg นำมาวางบนตระแกรงตู้อบแห้ง โดยทำการอบแห้งตั้งแต่เวลา 9.00 - 16.00 น. ในช่วงเวลาของการอบแห้งจะนำตัวอย่าง ออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งความชื้นของใบมันสำปะหลังมีค่าประมาณ 12% w.b. จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลมวลใบมันสำปะหลังหลังจากกระบวนการอบแห้ง ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมงในระหว่างการอบแห้งซึ่งมีดังนี้ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิผิวท่อวัสดุรวมแสงรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศช่องทางเข้า-ออกตู้อบ ความเร็วลมที่ช่องทางเข้าตัวเก็บรังสี ความเร็วลมช่องทางเข้า-ออก ตู้อบ ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของห้องอบแห้ง บันทึกด้วยการทดลอง 3 ครั้งและรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่มีรางพาราโบลิก

ขั้นตอนการทดลองทำซ้ำดังรายละเอียดในหัวข้อ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก โดยใช้เครื่องอบแห้งเครื่องเดียวกันแต่ไม่มีรางพาราโบลิก

การตากแห้งโดยตรงบนลานตากพื้นคอนกรีต

การอบแห้งด้วยวิธีนี้ใบมันสำปะหลังสดถูกลดความชื้นโดยรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง โดยนำใบมันสำปะหลังสดจัดเรียงบนตระแกรงโดยความหนาของชั้นใบมันสำปะหลังสดมีความหนาประมาณ 15-20 mm โดยแต่ละชั้นจะมีการสุ่มตัวอย่างที่เพื่อวัดหาค่าความชื้นทั้งหมด 5 ตัวอย่างๆละ 30-50 g จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลมวลใบมันสำปะหลังเริ่มต้นซึ่งในแต่ละครั้งของการทดลองใช้ใบมันสำปะหลังสด 4 kg นำตระแกรงวางบนพื้นคอนกรีต โดยทำการตากแห้งตั้งแต่เวลา 9.00 - 16.00 น. ในช่วงเวลาของการอบแห้งจะนำตัวอย่าง ออกมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าความชื้นทุกๆ 2 ชั่วโมง จนกระทั่งความชื้นของใบมันสำปะหลัง 12% w.b. จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลมวลใบมันสำปะหลังหลังจากกระบวนการอบแห้ง ข้อมูลที่ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ ชั่วโมงในระหว่างการอบแห้งมีดังนี้ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม อุณหภูมิบนลานตาก ความเร็วลมเหนือพื้นคอนกรีต และ ความเข้มรังสีอาทิตย์ บันทึกการทดลอง 3 ครั้งและรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย

การคำนวณผลจากการทดลอง

การหาค่าความชื้นในการทดลองนี้ใช้วิธีตามมาตรฐาน AOAC (1990) โดยตู้อบลมร้อน ซึ่งมีวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้ นำถ้วยอบตัวอย่างพร้อมฝาที่สะอาดและแห้งนำไปอบพร้อมฝาอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมงแล้วนำออกมาทิ้งให้เย็นนานไม่เกินสองชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนัก นำตัวอย่างบรรจุลงถ้วยอบแล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 18 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำถ้วยอบมาใส่ในโถดูดความชื้นแล้วปล่อยให้เย็นนานไม่เกินสองชั่วโมงนำไปชั่งน้ำหนักและบันทึกค่า และค่าความชื้นใช้สมการดังต่อไปนี้

$$w = \frac{m_b - m_c}{m_b - m_a} \times 100 \qquad (1)$$

เมื่อ w คือ ปริมาณความชื้นของตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้แต่ละถ้วย (%)

m_a คือ น้าหนักของถ้วยอบ (g)

m_b คือ น้าหนักของตัวอย่างก่อนอบและถ้วยอบ (g)

m_c คือ น้าหนักของตัวอย่างหลังอบและถ้วยอบ (g)

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งจากอัตราการอบแห้ง (Drying rate) และพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งโดยใช้สมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ความชื้นของใบมันสำปะหลังแบบมาตรฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์ชื้น ดังสมการต่อไปนี้

$$M_w = \frac{m_i - d}{m_i} \times 100 \ \ (\%) \qquad (2)$$

ความชื้นของใบมันสำปะหลังแบบมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนมวลของมวลของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลผลิตภัณฑ์แห้ง

$$M_d = \frac{m_i - d}{d} \times 100 \ (\%) \qquad (3)$$

เมื่อ

M_w = ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)

M_d = ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%),

m_i = มวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใด ๆ (kg)

d = มวลผลิตภัณฑ์แห้ง (kg)

ประสิทธิภาพการอบแห้งคำนวณจากอัตราการอบแห้งต่ออัตราการให้พลังงานในการอบใบมันสำปะหลัง และพลังงานที่ให้แก่ใบมันสำปะหลังคือพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ดังสมการดังนี้

$$\eta = \frac{m^{\cdot} \times h_{fg}}{G_T A} \times 100 \ \ (\%) \qquad (4)$$

$$m^{\cdot} = \frac{m_i - m_f}{t} \qquad (5)$$

เมื่อ

η= ประสิทธิภาพการอบแห้ง (%)

$m^{\cdot}$ = อัตราการระเหยของน้ำ (kg/s)

h_{fg}= ความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ/kg)

A = พื้นที่รับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง (m^2)

G_T = ค่ารังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นราบ (kW/m^2)

m_i = มวลใบมันสำปะหลังเริ่มต้น (kg)

m_f = มวลใบมันสำปะหลังที่ความชื้น 12% w.b. (kg)

t = เวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งจนกระทั่งความชื้น 12% w.b. (h)

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิในการอบแห้งแบบต่าง ๆ

Figure 2 และ Figure 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงที่มีการทดลอง ตั้งแต่เวลา 9.00-16.00 น. มีค่าโดยเฉลี่ย 707 W/m^2 อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิลานตาก, อุณหภูมิผิวท่อทองแดง จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ซึ่งเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 09.00 น. และมีค่ามากที่สุด ระหว่าง 11.00 ถึง 12.00 น. และเริ่มลดลงที่เวลา 13.00 น. จนกระทั่งถึงเวลา 16.00 น.

ผลการทดลองการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก พบว่าอุณหภูมิผิวท่อทองแดงที่เป็นจุดรวมแสงจากรางพาราโบลิกเพิ่มขึ้นตามความเข้มรังสีอาทิตย์ และมีค่ามากที่สุดที่เวลา 12.00 น. และเริ่มลดลงที่เวลา 13.00 น. จนกระทั่งถึงเวลา 16.00 น. อุณหภูมิเพิ่มขึ้นในช่วง 09.00 ถึง 12.00 น.จากอุณหภูมิเริ่มต้น 70 องศาเซลเซียสถึง 200 °C และลดลงในช่วงเวลา 13.00 ถึง 16.00 น. จากอุณหภูมิ 200 -150 °C ซึ่งอุณหภูมิบนผิวท่อตลอดทั้งวันเฉลี่ย 150 °C อุณหภูมิในห้องอบแห้งตลอดทั้งวันเฉลี่ย 52 °C ซึ่งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่มีรางพาราโบลิก ซึ่งมีอุณหภูมิในห้องอบแห้งตลอดทั้งวันเฉลี่ย 43 °C และอุณหภูมิบนลานตากตลอดทั้งวันเฉลี่ย 36 °C ดังแสดงใน Figure 4 จากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิกสามารถเพิ่มอุณหภูมิในห้องอบแห้งได้โดยเฉลี่ย 10 °C และอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก มีอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิบนลานตากโดยเฉลี่ย 15 °C ที่สภาวะแวดล้อมเดียวกัน

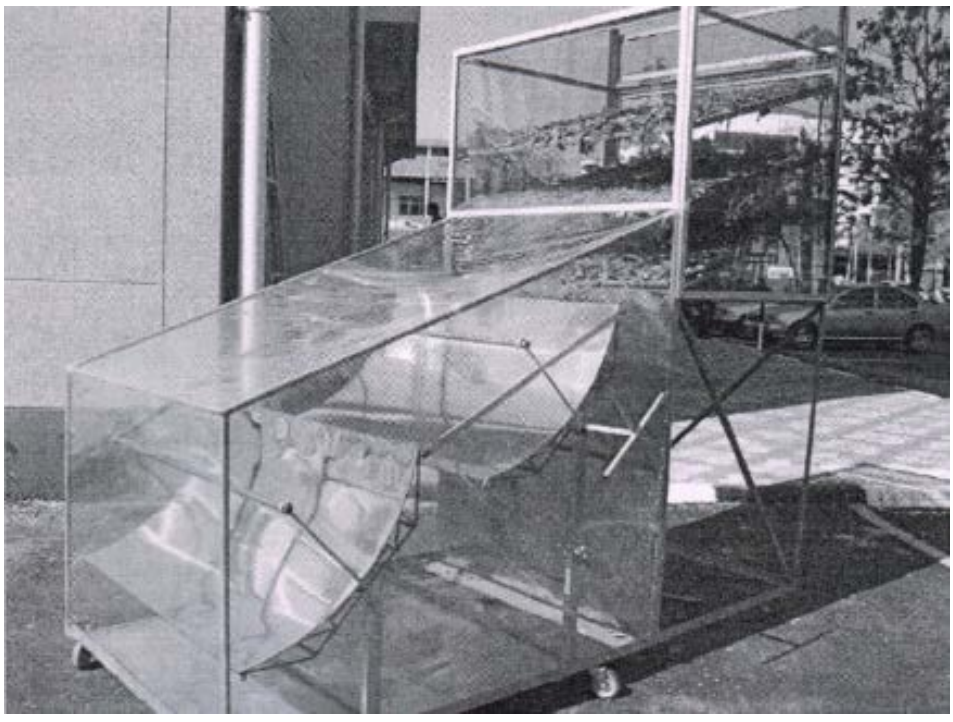

Figure 1 The cabinet sun dryer with solar parabolic trough concentrator

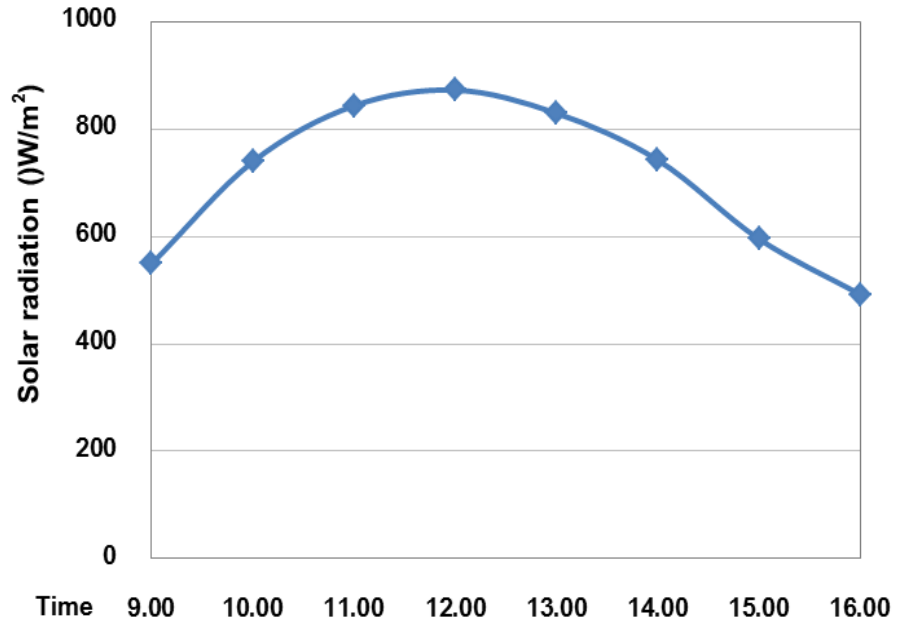

Figure 2 The average of solar radiation at various time

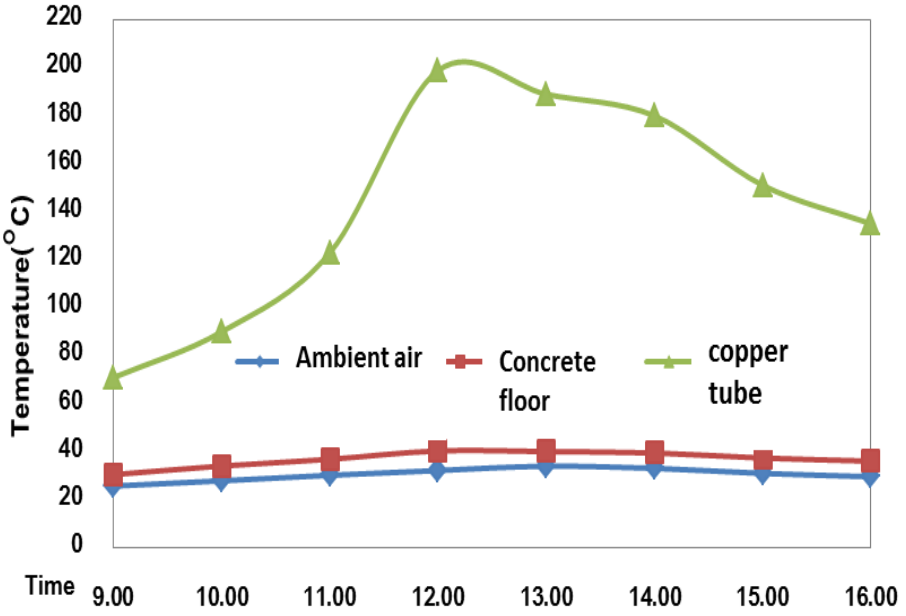

Figure 3 The ambient air temperature, concrete Floor temperature and copper tube temperature in cabinet sun dryer with solar parabolic trough concentrator

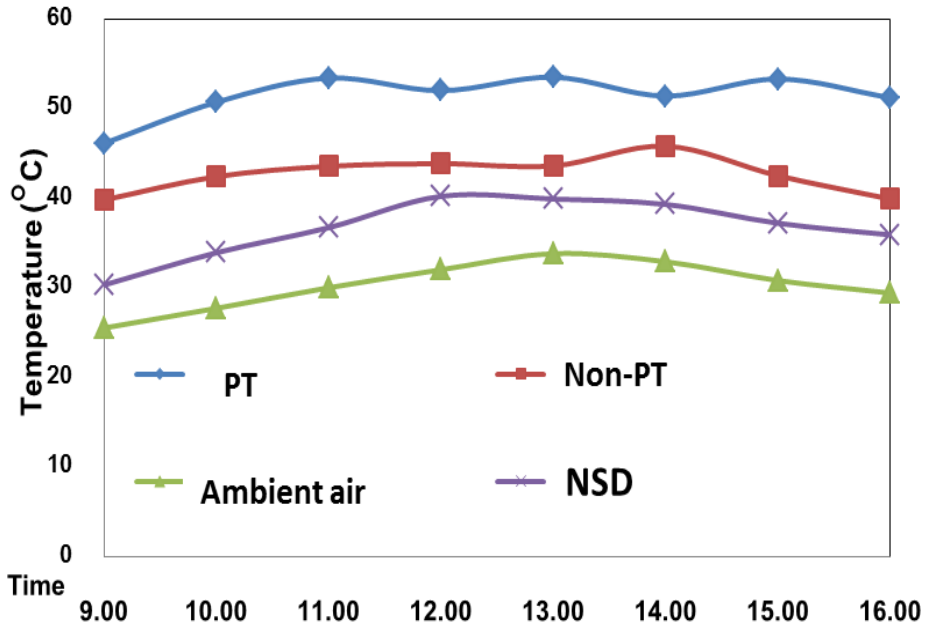

Figure 4 The temperature of drying air in cabinet sun dryer with solar parabolic trough concentrator (PT), conventional cabinet sun dryer (Non-PT) and natural sun drying (NSD)

Table 1 Drying time of different drying method

	Cabinet sun drying with solar parabolic trough concentrator	conventional cabinet sun drying	Natural sun drying
Drying time (hours)	9	13	20

อัตราการลดความชื้นเฉลี่ย

ความชื้นของใบมันสำปะหลังลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้นในการอบแห้งยิ่งไปกว่านั้นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก มีอัตราการลดลงของความชื้นมากที่สุด พบว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ย มีค่า 0.36 kg/h สำหรับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยไม่ใช้รางพาราโบลิก 0.23 kg/h และ 0.16 kg/h สำหรับการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ตามลำดับ หมายความว่าเมื่อต้องการอบแห้งผลิตภัณฑ์ที่ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้าย ของผลิตภัณฑ์เท่ากัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีโดยใช้รางพาราโบลิก จะใช้เวลาในการลดความชื้นน้อยที่สุด โดยผลการทดลองพบว่า เวลาในการลดความชื้น 9 ชั่วโมง สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีโดยใช้รางพาราโบลิก 13 ชั่วโมง สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีโดยไม่ใช้รางพาราโบลิกและ 20 ชั่วโมง สำหรับการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 1 จากผลการทดลองนี้พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก สามารถลดเวลาในการอบแห้งมากกว่า 2 เท่าของการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิก มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ

16.4% รองลงมาคือ เครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีโดยไม่ใช้รางพาราโบลิก คือ 10.7% และประสิทธิภาพของการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าน้อยที่สุด 7.4% ตามลำดับ ดังแสดงใน Figure 5 หมายความว่าการเพิ่มอุณหภูมิอากาศในห้องอบแห้งแบบใช้รางพาราโบลิกมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 6% เมื่อเทียบกับแบบไม่ใช้รางพาราโบลิก และมากกว่าการตากแห้งบนลานทั่วไป 10% สาเหตุหลักเนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนในห้องอบแห้งแบบใช้รางพาราโบลิก เกิดขึ้นเนื่องจากสองปัจจัยหลักคือ ความร้อนที่ถ่ายเทในห้องอบแห้งด้วยการพาความร้อนจากผิวท่อที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มของแสงโดยรางรูปพาราโบลิก และความร้อนที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ส่วนการอบแห้งแบบที่เหลือเป็นแบบ Open sun drying ซึ่งอาศัยการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ด้วยความยาวคลื่นต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ, พื้นผิว และสีของวัตถุนั้น โดยทั่วไปการอบแห้งด้วยวิธีที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง กลไกการลดความชื้นจะอาศัยการสูญเสียความชื้นพื้นผิววัสดุด้วยการพาตามธรรมชาติเป็นหลัก ถึงแม้ว่าบางส่วนเกิดขึ้นโดยการนำความร้อนของตัววัสดุเองและทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังชั้นวัสดุที่ลึกขึ้นไปจนความชื้นถูกแพร่มายังผิววัสดุและระเหยออกไป โดยทั่วไปการแผ่รังสีความร้อนในความยาวคลื่นช่วงยาว จะมีการสะท้อนออกไปยังบรรยากาศจากลานตากเมื่อใช้การอบแห้งบนลานตาก ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพด้อยกว่า เมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งแบบ cabinet sun drying เพราะเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์จะมีการการกักรังสีความร้อนในความยาวคลื่นช่วงยาว โดยกระจกที่มีการปกปิดเหนือชั้นวัสดุ ทำให้การแผ่รังสีรังสีความร้อนในความยาวคลื่นช่วงยาว มีการสะท้อนกลับไปบนผิวหน้าวัสดุ จึงทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งสูงขึ้น (Sharma *et al.*,2009) ส่วนการใช้ใช้รางพาราโบลิกจะเป็นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในห้องอบแห้งจากรางพาราโบลิก ด้วยการพาความร้อนจากผิวท่อทองแดงที่ถูกทำให้ร้อนโดยอุปกรณ์เพิ่มความเข้มของแสงอาทิตย์เข้าไปในห้องอบแห้ง

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้าง และทดสอบสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางพาราโบลิกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้ง ผลการทดลองพบว่า ผลการทดลองพบว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงที่มีการทดลองมีค่าโดยเฉลี่ย 707 W/m^2 อุณหภูมิอากาศ, อุณหภูมิลานตาก, อุณหภูมิผิวท่อทองแดง จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิผิวท่อทองแดงที่ใช้ในเครื่องอบแห้งมีอุณหภูมิ 200 °C ทำให้อุณหภูมิในห้องอบแห้งแบบมีรางพาราโบลิก เพิ่มขึ้น 10 °C ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีโดยใช้รางพาราโบลิก มีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ 16.4% รองลงมาคือเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์มีโดยไม่ใช้รางพาราโบลิก คือ 10.7% และประสิทธิภาพของการตากแห้งบนลานตากโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงมีค่าน้อยที่สุด 7.4 % ตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการถ่ายเทความร้อนในห้องอบแห้งแบบใช้รางพาราโบลิก เกิดขึ้นเนื่องจากสองปัจจัยหลักคือ ความร้อนที่ถ่ายเทในห้องอบแห้งด้วยการพาความร้อนจากผิวท่อที่ใช้ในการเพิ่มความเข้มของแสงโดยรางรูปพาราโบ และความร้อนที่ได้รับจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งการใช้การตากบนลานจะมีการสูญเสียความร้อนที่แผ่ในความยาวคลื่นช่วงยาว เนื่องจากมีการสะท้อนจากลานตากออกไปยังบรรยากาศ

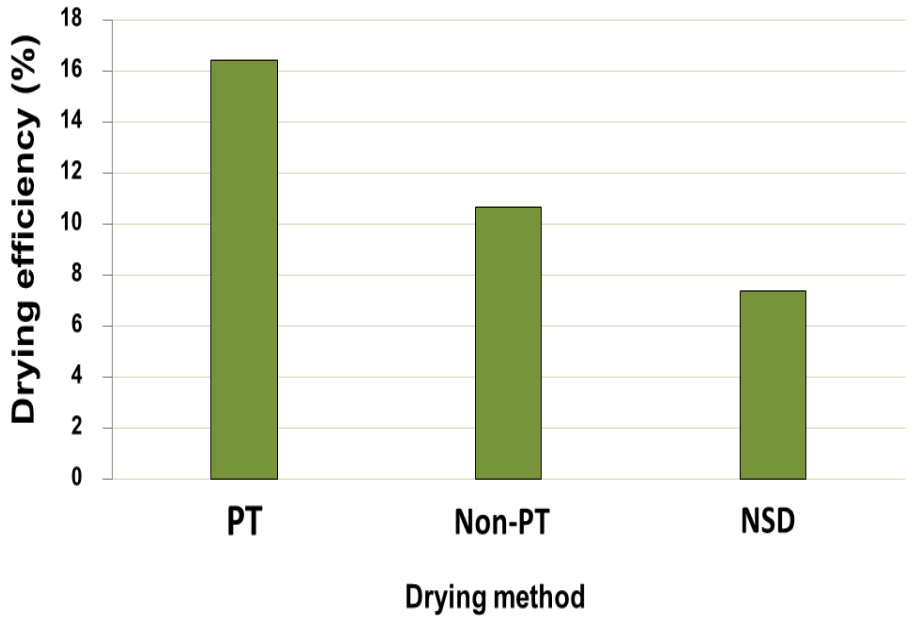

Figure 5 The drying efficiency of cabinet sun drying with solar parabolic trough concentrator (PT), conventional cabinet sun drying (Non-PT) and natural sun drying (NSD)

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ที่ได้มอบทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2551 เพื่อดำเนินงานโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

ชวลิต ระเริงรัมย์ และ ฐากูร เสวิวัฒน์. 2550. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับปั๊มความร้อน" ขอนแก่น: ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พูลทวี ศรพรหม และ อำไพศักดิ์ ทีบุญมา. 2551 การเพิ่มสมรรถนะเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, วารสารวิชาการ ม.อบ. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2

ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แววศักดิ, มารีนา มะหนิ และ ภรพนา บัวเพชร์. 2553. การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของประเทศไทย.วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 12 ฉบับที่ 3.

จารุวัฒน์ เจริญจิต, ยะฝาด ดุสะเหม๊าะ, สุพัฒน์ เดชโสภา และสุริยา ช่วยอินทร์. 2554. ตู้อบแห้งและกลั่นความชื้นรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมไซฟอน. วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 38 ฉบับที่ 1

Association of Official Analytical Chemists. 1990. 15 th Edition: Moisture in Animal Feed. (7.007) Official Methods of Analysis S.

Soponronnarit, S. Nathakaranakule, A. Noosuk, P. and T. Yoovidhya.1997. Strategies for Papaya Glace Drying in Tunnel, Drying Technology An International Journal, Vol. 15, pp.151 – 168

G. Vazquez, F. Chenlo, R. Moreria, and E. Cruz. 1997. Grape drying in a Pilot Plant With a heat Pump, Drying Technology An International Journal, Vol. 15 , pp. 899-920.

A. Soteris. Kalogirou. 2004. Solar thermal collectors and applications, Progress in Energy and Combustion Science Vol. 30, pp.231–295.

A. Sharma, C. R. Che and N. Vu Lan. 2009. Solar- energy drying systems: A review Renewable and Sustainable. Energy Reviews Vol. (13), pp.1185–1210.

S. K. Chin, C. L. Law, C. V. Supramaniam, P. G. Cheng, and A. S. Mujumdar. 2008. Convective Drying of Ganoderma tsugae Murrill and Effect of Temperature on Basidiospores, Drying Technology Vol. (26), pp. 1524-1533.

J. Prasad, V.K. Vijay, G.N. Tiwari, V.P.S. Sorayan, Study on performance evaluation of hybrid drier for turmeric (Curcuma longa L.) drying at village scale, Journal of Food Engineering, Volume 75, Issue 4, August 2006, Pages 497-502.

Received 31 October 2016

Accepted 31 August 2017