สมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์ในการอบพริกขี้หนู

Performance of Solar Tunnel Dryer Combined with Heat Source from Wood Burning in Drying Chilli

ไพโรจน์ คีรีรัตน์ สิทธิสันต์ กังประเสริฐกุล กำพล ประทีปชัยกูร และพีระพงศ์ ทีฆสกุล*
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทร 0774-287-035 โทรสาร 074-212-893 *อีเมล์ perapong.t@psu.ac.th

Pairoj Kirirat, Sittisan Kungprasertkul, Gumpon Prateepchaikul, Perapong Tekasakul*
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
Tel: 074-287-035 Fax: 074-212-893 *Email: perapong.t@psu.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์ ซึ่งใช้อิฐเป็นตัวเก็บกักความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืน เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อบแห้งผลิตผลทางการเกษตรโดยอาศัยพลังงานหมุนเวียนทั้งหมด สามารถใช้ได้ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง จากการทดลองอบพริกขี้หนู พบว่าเมื่อใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวพริกจะแห้งอย่างทั่วถึงภายใน 15 ชั่วโมง (2)วัน โดยอุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบมีค่าประมาณ 44-59°C เมื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับความร้อนจากการเผาไม้ฟืน พบว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ 9 ชั่วโมง และความร้อนจากไม้ฟืนอีก 12 ชั่วโมง ทำให้พริกที่ตำแหน่งด้านหน้าของเครื่องซึ่งอยู่ใกล้เตาเผาแห้งอย่างทั่วถึง แต่พริกที่อยู่ใกล้ทางระบายอากาศออกจากตู้อบยังไม่แห้งสนิททั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ต่ำกว่า ดังนั้นจำเป็นต้องมีการสลับถาดเพื่อให้พริกแห้งอย่างทั่วถึงในเวลาใกล้เคียงกัน ในกรณีนี้อุณหภูมิเฉลี่ยในตู้อบมีค่าประมาณ 44-59°C สำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และ 44-45°C สำหรับการใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน เครื่องอบนี้เหมาะสำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ต้องการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทั่วไปอุณหภูมิไม่เกิน 60°C และสามารถใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์โดยใช้พลังงานความร้อนจากการเผาไม้ฟืนและมีการสะสมในอิฐซึ่งจะค่อย ๆ ถ่ายเทความร้อนสู่ตู้อบทำให้อุณหภูมิไม่สูงเกินไป การเผาไม้ฟืนครั้งละประมาณ 30 กก สามารถควบคุมอุณหภูมิในตู้อบได้มากกว่า 12 ชั่วโมง

Abstract

A Solar tunnel dryer combined with heat source from wood burning has been designed for drying of agricultural products using solely renewable energy. Construction bricks are used as thermal storage that slowly dissipates heat into the chamber when operated in the wood burning mode. Experimental results from drying chilli using only solar energy indicate that the chilli is dried uniformly in 15 hours or 2 days. Average temperature in the dryer is 44–59°C. When the solar energy is used with the heat from wood burning, it is found that the samples located near the top of the burner dry fastest. They are totally dried after exposed to 9 hours of solar energy and 12 hours of heat from wood burning. The samples near the air exit of the chamber are still not dried, however. Shuffling of the product trays is then necessary in keeping the product dry rather uniformly. Average temperatures are 44–59°C for the solar energy mode and 44–45°C for the wood burning mode.

1. บทนำ

การถนอมอาหารด้วยการตากแห้ง เป็นวิธีการถนอมอาหารที่มีมาตั้งแต่สมัยโบราณและเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งการตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนมากนำมาใช้กับผลผลิตทางการเกษตร ในการตากแห้งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จะใช้วิธีการผึ่งแดด โดยการนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ต้องการตากแห้งใส่ภาชนะ หรือในบางครั้งอาจตากบนพื้น ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากอาจมีสิ่งสกปรกเจือปน เช่น ฝุ่นละออง กรวด ทราย และแมลงต่าง ๆ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ประชากรส่วนใหญ่ภายในประเทศเป็นเกษตรกร และการทำแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรนั้นมีความจำเป็นในการถนอมอาหารเพื่อให้สามารถเก็บได้นาน กาอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นวิธีที่น่าสนใจเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายของพลังงาน แต่บางครั้งสภาวะอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น แสงแดดไม่เพียงพอ ฝนตก ทำให้ไม่สามารถทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่อไปได้ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบ และสร้างเครื่องอบแห้งชนิดผสมผสานโดยใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ สำรองขึ้น ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอุโมงค์ที่ใช้ความร้อนจากการเผาไหม้ไม้ฟืนผสมผสานโดยใช้อิฐเป็นตัวเก็บกักความร้อน เพื่อให้สามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้ครั้งละมาก ๆ และสามารถใช้งานได้ในทุกสภาวะอากาศ โดยในเวลาที่มีแสงแดดจะใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ส่วนในเวลาที่แสงแดดไม่เพียงพอเช่นตอนกลางคืนหรือตอนฝนตก จะใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่หาได้ง่ายตามท้องถิ่น

2. หลักการของการอบแห้ง

การอบแห้งหรือตากแห้งก็คือ การลดปริมาณความชื้น (moisture content) ของผลิตภัณฑ์ เพื่อป้องกันการเน่าเสียในช่วงเวลาหนึ่ง กระบวนการอบแห้งประกอบด้วย 2 กระบวนการที่สำคัญ คือ การถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์ และถ่ายเทความชื้นออกจากภายในผลิตภัณฑ์มาที่ผิว และออกสู่อากาศภายนอก

วัสดุซึ่งมีความชื้นอยู่ภายในเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อน จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุนั้นๆ และวัสดุอบแห้งดังกล่าวจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความชื้นจะระเหยกลายเป็นไอออกไปจากวัสดุสู่บรรยากาศรอบข้าง ถ้ากำหนดให้อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศที่ไหลผ่านวัสดุอบแห้งมีค่าคงที่ และอากาศที่ถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุเป็นแบบการพาความร้อน ขั้นตอนการลดลงของความชื้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะ คือ

ระยะเริ่มต้นของการอบแห้ง (Initial period) ระยะช่วงนี้อุณหภูมิที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะเข้าสู่สภาวะสมดุลทางความร้อน (dynamic equilibrium) และมีการระเหยของความชื้นเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุ อัตราการแห้งตัวของวัสดุจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

ระยะอัตราการระเหยของไอน้ำคงที่ (Constant-rate period) ระยะนี้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุอบแห้งจะมีค่าคงที่ และความชื้นที่บริเวณพื้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัว การกระจายความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุมีค่าสม่ำเสมอ โดยที่อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในวัสดุอบแห้งมายังพื้นผิววัสดุ มีค่าเท่ากับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิววัสดุ อัตราการอบแห้งในระยะนี้จะมีค่าคงที่และขึ้นอยู่กับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวของวัสดุ

ระยะอัตราการระเหยของไอลดลง (Falling-rate period) ระยะนี้จะเริ่มจากเมื่อความชื้นบนพื้นผิวไม่อิ่มตัว อัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในของวัสดุอบแห้ง ไปยังบริเวณพื้นผิวมีค่าน้อยกว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่พื้นผิวของวัสดุอบแห้ง จุดที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยที่คงที่มาเป็นช่วงที่มีอัตราการระเหยลดลงเรียกว่า *จุดความชื้นวิกฤต* (Critical moisture content) การระเหยของไอน้ำจะสิ้นสุดลง เมื่อถึงจุดที่เรียกว่า *ความชื้นสมดุล* (Equilibrium moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่ความชื้นของวัสดุที่ยังคงมีอยู่ภายในเนื้อวัสดุแต่ไม่มีการสูญเสียให้กับอากาศภายนอก

3. ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ให้พลังงานในรูปของรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในแต่ละปีพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มาถึงนอกบรรยากาศโลกมีค่ามากถึง 1.36 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ณ ความสูง 160 กิโลเมตรจากผิวโลก ส่วนหนึ่งของพลังงานเหล่านี้จะสูญเสียก่อนเข้าสู่บรรยากาศ เนื่องจากการดูดซับของชั้นบรรยากาศ การระเหยหรือการสะท้อนกลับ ความเข้มสูงสุดที่สามารถผ่านเข้าสู่ชั้นบรรยากาศได้ มีค่าประมาณ 1.2 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร ณ บริเวณเส้นศูนย์สูตร ณ เวลาเที่ยงวัน ซึ่งเทียบเท่ากับ 6-8 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน พลังงานแสงอาทิตย์มีให้ใช้มากมายไม่หมดสิ้น การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีอยู่ 2 รูปแบบ คือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยอ้อม ในการใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนั้นมีข้อจำกัดคือ สามารถใช้ได้ในกรณีที่มีแสงแดดเพียงพอเท่านั้น ตัวอย่างการใช้พลังงานแสงในรูปนี้ คือการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร การทำน้ำร้อน การกลั่นน้ำ และสกัดสารธรรมชาติ เป็นต้น ส่วนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยทางอ้อมนั้นพลังงานแสงอาทิตย์จะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าก่อนโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีใช้บ้างในประเทศไทย โดยส่วนใหญ่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรแต่ยังไม่แพร่หลายนักเนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูง เหมาะสำหรับเกษตรกรที่รวมกันเป็นกลุ่ม

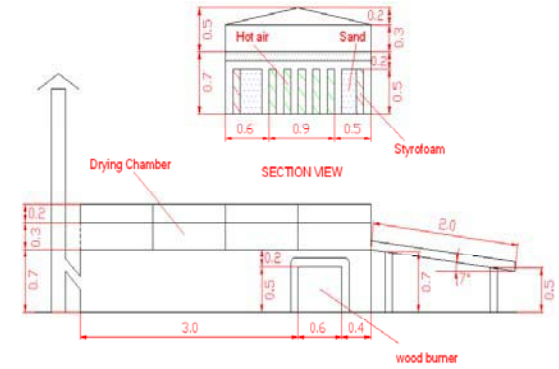
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีมากมายหลายชนิดทั้งชนิดที่อากาศไหลตามธรรมชาติและไหลด้วยแรงขับเคลื่อน เช่นพัดลม นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ยังมีทั้งแบบใสที่รับแสงอาทิตย์โดยตรง หรือแบบทึบที่ใช้แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้อากาศที่ไปอบแห้งวัสดุ หรือแบบผสมก็ได้ [1-3] รูปแบบของเครื่องอบแห้งมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่ที่นิยมแพร่หลายมีอยู่ 2 ชนิด คือแบบตู้และแบบอุโมงค์ เครื่องอบแห้งแบบตู้จะใช้พื้นที่น้อยกว่าและมักเป็นแบบทึบ ส่วนเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์จะใช้พื้นที่มากกว่า และมักเป็นแบบใสรับรังสีแสงอาทิตย์โดยตรง [4-7]

เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวจะมีข้อจำกัด คือไม่สามารถใช้งานได้ในเวลาที่แสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีระบบเสริมโดยใช้เชื้อเพลิงอื่นมาผสมผสานใช้ในเวลาที่พลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ตัวอย่างของเชื้อเพลิงเสริมที่มีศักยภาพในภาคใต้ คือฟืนจากไม้ยางพารา หรือใช้ก๊าซหุงต้มก็ได้ ต้นทุนของก๊าซหุงต้มจะสูงกว่าฟืน แต่มีข้อได้เปรียบคือ สามารถควบคุมอุณหภูมิในระบบอบแห้งได้ง่ายกว่า Bena and Fuller [8] ได้ออกแบบเครื่องอบแห้งแบบตู้ซึ่งใช้ความร้อนจากการเผาไม้ฟืนเป็นพลังงานสำรอง โดยใช้อิฐเป็นตัวกักเก็บความร้อน พบ

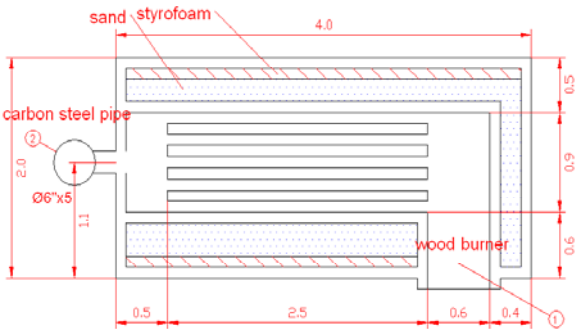
ว่าสามารถใช้อบผลิตภัณฑ์ได้ตลอดทั้งคืน Kirirat, et al. [9] ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งชนิดตู้ซึ่งใช้อิฐเป็นตัวกักเก็บความร้อนจากการเผาไม้ฟืนในการอบสมุนไพรทองพันชั่ง พบว่าสมุนไพรมีการแห้งตัวอย่างสม่ำเสมอ และสามารถรักษาอุณหภูมิในตู้อบให้สูงกว่า 50°C เป็นเวลามากกว่า 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มีค่า 10.5% ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากการใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนมีค่าต่ำกว่า 1% เนื่องจากเป็นช่วงที่ผลิตภัณฑ์ใกล้แห้งแล้ว

4. เครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์

เครื่องอบแห้งชนิดอุโมงค์นี้ จะใช้หลักการในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นแบบรับความร้อนชนิดผสม ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักผสมผสานกับความร้อนจากการเผาไม้ฟืน มีชุดรับรังสีและห้องอบต่อเนื่องกัน ชุดรับรังสีแสงอาทิตย์มีขนาด 2 m x 2 m ด้านบนปิดด้วยกระจกหนา 6 mm พื้นด้านล่างทำด้วยสังกะสีทาสีดำ มีช่องว่างให้อากาศร้อนไหลผ่านเข้าสู่ห้องอบทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่อากาศที่ไหลเข้าห้องอบ ในห้องอบแห้งนี้มีพื้นที่วางผลิตภัณฑ์ขนาด 2 m x 4 m มีความสูง 50 cm ด้านบนปิดด้วยกระจกหนา 6 mm สามารถบรรจุถาดใส่ผลิตภัณฑ์ ได้ทั้งหมด 8 ถาด ถาดแต่ละใบมีขนาด 1 m x 1 m มีตาข่ายปิดด้านหน้าช่องอากาศเข้า สำหรับป้องกันแมลง เตาเผาฟืน มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง = 0.6 m x 1.5 m x สูง 0.5 m วางใต้ตู้อบแห้ง ใช้อิฐแดงก่อสร้าง 2,500 ก้อน เป็นชุดเก็บกักความร้อน ควันที่เกิดจากการเผาไม้ฟืนจะถูกระบายออกทางปล่องระบายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 inch สูง 5 m



(ก)



(ข)

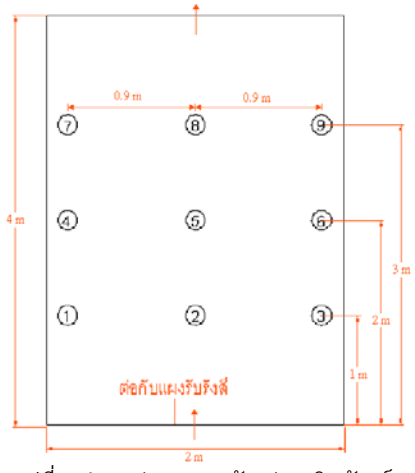
รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์ (ก) ภาพรวม (ข) ระบบกักเก็บความร้อน

อากาศจะถูกนำเข้าสู่เครื่องอบแห้งทางด้านหน้าผ่านตาข่ายพลาสติกที่มีไว้เพื่อป้องกันแมลง หรือสิ่งสกปรกอื่น ๆ เข้าสู่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ทำจากแผ่นเหล็กทาสีดำ ก่อนไหลเข้าเครื่องอบแห้ง หลังจากที่อากาศไหลผ่านชุดรับรังสีแล้วอุณหภูมิจะสูงขึ้น อุณหภูมิของอากาศในช่วงรับรังสีความร้อนขึ้นอยู่กับการออกแบบแผ่นรับรังสี วัสดุที่ใช้คลุมและดูดซับแสงอาทิตย์ การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เอง และอัตราการไหลของอากาศ โดยทั่วไปอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรมีค่าประมาณ 60°C หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านห้องอบและดูดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง อากาศและความชื้นจะถูกระบายออกอีกด้านหนึ่ง ในกรณีที่ใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนทำได้โดยการเผาฟืนในเตาเผา ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะไหลผ่านก้อนอิฐที่ทำหน้าที่เป็นตัวกักเก็บความร้อน ความร้อนจากตัวกักเก็บนี้จะถูกถ่ายเทให้กับผลิตภัณฑ์โดยการนำความร้อนสู่ผลิตภัณฑ์โดยตรง และการพาความร้อนจากพื้นผิวห้องอบสู่อากาศที่ไหลเข้ามา ก๊าซร้อนจากการเผาไหม้จะถูกระบายออกทางท่อระบาย

5. การทดลอง

ในการทดสอบจะอบแห้งผลิตภัณฑ์ คือพริกขี้หนู โดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวเป็นเวลา 2 วัน และใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน โดยมีตัวแปรที่จะศึกษาคือ ค่าความชื้นผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม ความเข้มแสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง

การวัดค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ทำโดยการชั่งน้ำหนักของตัวอย่างพริก 9 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 2 ก่อนการทดลองและทุก ๆ ชั่วโมงขณะทำการทดลอง โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอล (UWE รุ่น DB-600) เพื่อคำนวณค่าความชื้นเริ่มต้นและค่าความชื้นขณะใด ๆ อุณหภูมิอากาศในห้องอบจะทำการวัด 5 ตำแหน่ง (2, 4, 5, 6, 8) โดยใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K และหาค่าเฉลี่ย ความเร็วลมทำการวัด ณ ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสี โดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (Testo รุ่น 405-V1) ส่วนความเข้มแสงอาทิตย์วัดโดยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Kipp & zonen รุ่น CM3) การเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงใช้เครื่องเก็บข้อมูล (DataTaker รุ่น DT605)



รูปที่ 2 ตำแหน่งวางถาดตัวอย่างผลิตภัณฑ์

ในการทดลองที่ใช้ความร้อนจากไม้ฟืนจะทำการเผาไม้ฟืนก่อนการอบจริง 12 ชั่วโมง เพื่อทำการอุ่นระบบ และเก็บชิ้นไม้ฟืนตัวอย่างมาอบแห้งหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพื่อหาค่าความร้อนของไม้ฟืนซึ่งแปรผันตามค่าความชื้น

ความชื้นฐานแห้งของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้จาก

$$MC_{db} = \frac{m_p - m_d}{m_d} \times 100\% \quad (1)$$

โดยที่ m_p มวลของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ ส่วน m_d คือมวลแห้งของผลิตภัณฑ์

การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวสามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ กับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบ โดยประเภทของเครื่องอบแห้งแบบธรรมชาติใช้สมการดังนี้ [9]

$$\eta_{th,solar} = \frac{m_{L,solar} L}{IA} \quad (2)$$

โดยที่ $m_{L,solar}$ คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากตัวผลิตภัณฑ์ (kg) L คือความร้อนแฝงการกลายเป็นไอของน้ำ (kJ/kg) I คือค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (kJ/m^2) และ A คือพื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (m^2)

การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งในกรณีที่ใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืนทำแห้งผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_{th,wood} = \frac{m_{L,wood} L}{m_{wood} HV_{wood}} \quad (3)$$

โดยที่ m_{wood} คือปริมาณเชื้อเพลิงไม้ฟืนที่ใช้ (kg) HV_{wood} คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิงไม้ฟืน (kJ/kg) ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความชื้นของไม้ฟืน [10]

การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืนสามารถคำนวณได้ดังนี้

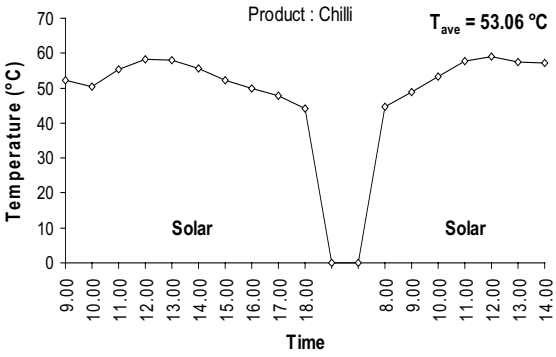
$$\eta_{all} = \frac{m_L L}{IA + HV_{wood} m_{wood}} \quad (4)$$

6. ผลการทดลอง

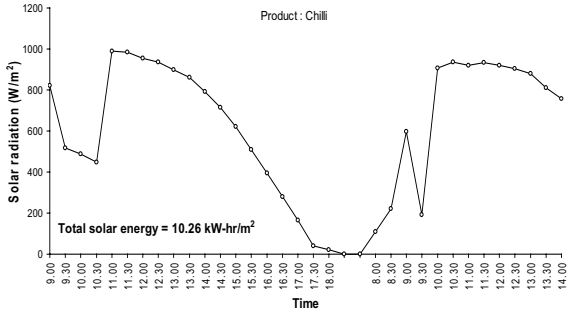
6.1 การทดลองโดยใช้แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

ในการทดลองนี้ใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรคือ พริกขี้หนู จำนวน 20 kg โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 53°C ดังรูปที่ 3 ส่วนความเข้มแสงอาทิตย์ที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 4 ซึ่งมีค่าไม่สม่ำเสมอ โดยในช่วงที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ใช้เครื่องวัดพลังงานสะสมของแสงอาทิตย์ได้ 10.26 kW-hr/m^2 สำหรับพื้นที่ผิวรับรังสีขนาด 12 m^2 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยรวมมีค่าเท่ากับ 443,232 kJ

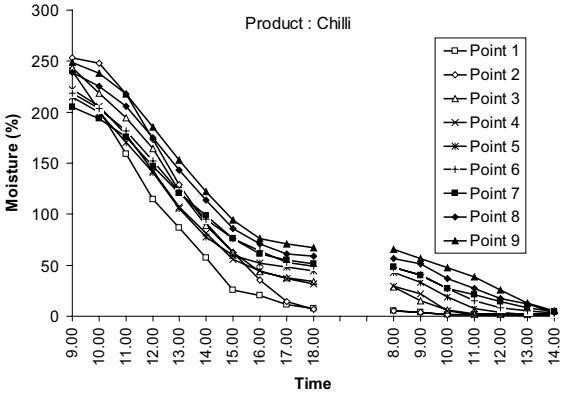
พริกขี้หนูที่ทำการทดสอบมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 200-260% ฐานแห้ง และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 231.8% และมีค่าลดลงตามรูปที่ 5 โดยความชื้นของพริกในแต่ละจุดเทียบกับมวลแห้งเมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง (ระยะเวลาอบ 2 วัน) ณ ตำแหน่งที่ 1-9 มีค่าดังนี้ จุดที่ 1 มีค่า 1.85% จุดที่ 2 มีค่า 1.79% จุดที่ 3 มีค่า 1.89% จุดที่ 4 มีค่า 1.85% จุดที่ 5 มีค่า 1.85% จุดที่ 6 มีค่า 3.39% จุดที่ 7 มีค่า 4.84% จุดที่ 8 มีค่า 3.92% จุดที่ 9 มีค่า 5.45% จะเห็นได้ว่ามวลตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่ 2 มีอัตราการแห้งตัวเร็วที่สุด ส่วนค่าความชื้นของมวลตัวอย่าง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4 ความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 5 ความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวมีค่าเท่ากับ 7.6%

จากการทดลองพบว่า สามารถรักษาอุณหภูมิในการอบแห้งให้อยู่ระหว่าง 44-59°C ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะใช้ในการอบแห้ง ทำให้การอบแห้งผลิตภัณฑ์ในช่วงแรกเป็นไปได้ดี จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขณะที่ทำการทดสอบครั้งนี้ใช้เวลาทั้งหมด 15 ชั่วโมงในการอบแห้งพริกให้มีความชื้นต่ำกว่า 16% ซึ่งเป็นมาตรฐานของ อย. ซึ่งพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ตำแหน่งที่ 1-9 มีค่าความชื้นต่ำกว่า 16% ตามมาตรฐาน อย.

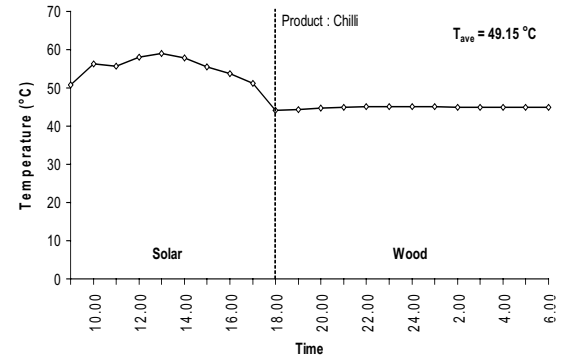
การทดลองโดยใช้แสงอาทิตย์และฟืน

การทดลองนี้ใช้พริกขี้หนู จำนวน 20.1 kg โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนจากการเผาไม้ฟืน โดยใช้ไม้ฟืนทั้งหมด 30 kg และเริ่มเผาไม้ฟืนเวลา 18:00 น. จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในตู้อบเฉลี่ยตลอดการทดลองมีค่า 49.2°C ดังรูปที่ 6 ส่วนความเข้มแสงอาทิตย์ที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดการทดลองเป็นไปดังรูปที่ 7 โดยในช่วงที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ใช้เครื่องวัดพลังงานสะสมของแสงอาทิตย์ได้ 3.58 kW-hr/m^2 สำหรับพื้นที่ผิวรับรังสีขนาด 12 m^2 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยรวมมีค่าเท่ากับ 154,656 kJ

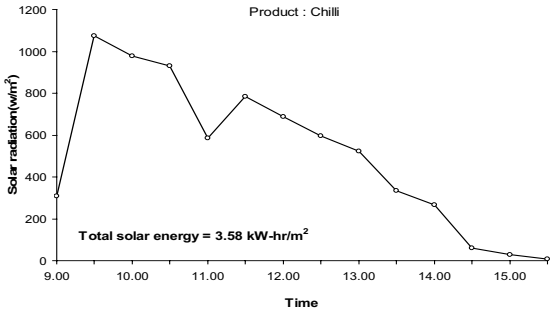
พริกขี้หนูที่ทำการทดสอบมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 200-250% ฐานแห้ง และมีค่าเฉลี่ยประมาณ 220.7% และมีค่าลดลงตามรูปที่ 9 ความชื้นของพริกในแต่ละจุดเทียบกับมวลแห้งเมื่อเวลาผ่านไป 21 ชั่วโมง (ต่อเนื่อง) ณ ตำแหน่งที่ 1-9 มีค่าดังนี้ จุดที่ 1 มีค่า 2.13% จุดที่ 2 มีค่า 1.85% จุดที่ 3 มีค่า 5.26% จุดที่ 4 มีค่า 8.16% จุดที่ 5 มีค่า 13.04% จุดที่ 6 มีค่า 15.38% จุดที่ 7 มีค่า 23.4% จุดที่ 8 มีค่า 26.53% จุดที่ 9 มีค่า 35.85% จะเห็นได้ว่ามวลตัวอย่าง ณ ตำแหน่งที่ 2 มีอัตราการแห้งตัวเร็วที่สุด ส่วนตำแหน่งที่ 7-9 ยังมีความชื้นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนรวมของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืนมีค่าเท่ากับ 6.8%

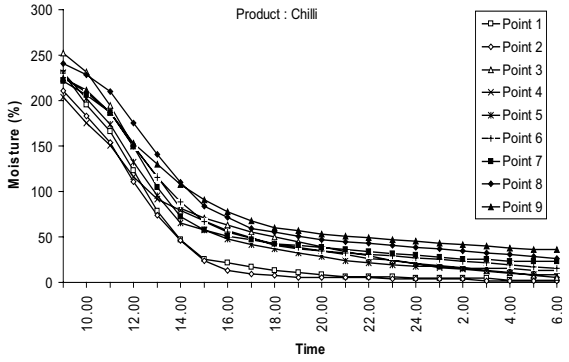
จากการทดลองพบว่า ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งจะอยู่ที่ประมาณ 44-59°C ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะใช้ในการอบแห้ง ทำให้การอบแห้งผลิตภัณฑ์ในช่วงแรกเป็นไปได้ดี และในเวลากลางคืนเครื่องอบแห้งจำเป็นต้องใช้ความร้อนจากการเผาไม้ฟืนในการทำแห้งผลิตภัณฑ์ โดยในการทดลองนี้ใช้ไม้ฟืนทั้งหมด 30 กิโลกรัม ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบแห้งจะอยู่ที่ประมาณ 44-45°C จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เครื่องอบแห้งสามารถรักษาอุณหภูมิภายในตู้ได้นานกว่า 12 ชั่วโมง จากการป้อนฟืนเพียงครั้งเดียว ซึ่งทำให้สะดวกต่อการใช้งาน ในการอบแห้งพริกให้มีความชื้นต่ำกว่า 16% ซึ่งเป็นมาตรฐานของ อย. และพบว่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ตำแหน่งที่ 7-9 ยังคงมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ที่ประมาณ 23–36% ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิทางด้านหลังของตู้อบไม่เพียงพอและอากาศร้อนที่พาเอาความชื้นออกจากพริกรับความชื้นจากถาดด้านหน้ามามาก ทำให้สามารถรับเอาความชื้นจากถาดด้านหลังได้น้อย การแก้ปัญหาทำได้โดยการสลับถาดที่อยู่ด้านหน้ากับถาดที่อยู่ด้านหลัง หรืออาจจะอบต่อเนื่องโดยใส่ผลิตภัณฑ์ใหม่แทนผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้ว



รูปที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อบจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนจากการเผาไม้ฟืน



รูปที่ 7 ความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนจากการเผาไม้ฟืน



รูปที่ 9 ความชื้นของผลิตภัณฑ์จากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และความร้อนจากการเผาไม้ฟืน

7. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองอบแห้งพริกขี้หนูโดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวพบว่าใช้เวลาประมาณ 2 วันที่มีแสงแดด

ค่อนข้างจ้าทำให้พริกแห้งอย่างทั่วถึง สามารถรักษาอุณหภูมิในการอบแห้งให้อยู่ระหว่าง 44-59°C ซึ่งมีค่าสูงพอที่จะใช้ในการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดอุโมงค์โดยใช้อิฐแดงเป็นตัวกักเก็บความร้อน และเมื่อพลังงานจากแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ หรือในช่วงเวลากลางคืน เครื่องอบแห้งจะใช้พลังงานความร้อนจากการเผาเชื้อเพลิงไม้ฟืน โดยเครื่องอบแห้งสามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยภายในตู้อยู่ที่ประมาณ 44–45°C โดยการใช้เชื้อเพลิงไม้ฟืนประมาณ 30 กิโลกรัมต่อครั้ง โดยจะเติมเชื้อเพลิงในเตาเผาทุก ๆ 24 ชั่วโมง และสามารถรักษาอุณหภูมิที่พอเหมาะในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้นานกว่า 12 ชั่วโมง

จากการทดลองพบว่า ผลิตภัณฑ์ในตำแหน่งด้านหลังของห้องอบมีอัตราการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์ช้าที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิทางด้านหลังของตู้อบต่ำกว่า และอากาศร้อนที่พาเอาความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์รับความชื้นจากถาดด้านหน้ามามาก ทำให้สามารถรับเอาความชื้นจากถาดด้านหลังได้น้อย

8. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] Sharma, V.K., Colangelo, A. and Spagna, G., 1995. Experimental investigation of different solar dryers suitable for fruit and vegetable drying. Renew. Energy, Vol. 6, pp. 413-424.

[2] Ekechukwu, O.V., and Norton, B., 1999. Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. Energy Convers. Mgmt., Vol. 40, pp. 615-655.

[3] Chua, K.J., Chou and S.K., 2003. Low-cost drying methods for developing countries. Trends Food Sci. Technol., Vol. 14, pp. 519-528.

[4] Schirmer, P., Janjai, S., Esper, A., Smitabhindu, R. and Mühlbauer, W., 1996. Experimental investigation of the performance of the solar tunnel dryer for drying bananas. Renew. Energy, Vol. 7, pp. 119-129.

[5] Esper, A., and Mühlbauer, W., 1996. Solar tunnel dryer for fruits. Plant. Res. Develop., Vol. 44, pp. 61-80.

[6] Esper, A. and Mühlbauer, W., 1998. Solar drying–An effective means of food preservation. Renew. Energy, Vol. 15, pp. 95-100.

[7] Bala, B.K., Mondol, M.R.A., Biswas, B.K., Das Chowdury, B.L. and Janjai, S., 2003. Solar drying of pineapple using solar tunnel drier. Renew. Energy, Vol. 28, pp. 183-190.

[8] Bena, B., and Fuller R.J., 2002. Natural convection solar dryer with biomass back-up heater. Sol. Energy, Vol. 72, pp. 75-83.

[9] Kirirat, P., Prateepchaikul, G., Navasut, J., Na Nakorn, N. and Tekasakul, P., 2006. Drying of Rhinacanthus nasutus (Linn.) Kurz. using a solar dryer incorporated with a backup thermal energy storage from wood combustion, Songklanakarin J. Sci. Technol., Vol. 28, No. 3, pp. 563-573.

[10] Khullar, C., 1995. Effects of Chemical Additives on the Reduction of Particulate Emissions and Combustion Deposits in Solid Fuel Fired Systems. European - ASEAN Conf. Combust. Solids Treatment Prod., Hua Hin, Thailand, Feb. 16-17, pp. 362-386.