

การออกแบบและทดสอบตู้อบกกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ Design and Testing of a Passive Solar Dryer for Banana Drying

Received : April 7, 2021
Revised : May 25, 2021
Accepted : June 2, 2021

ยุทธชัย เกี้ยวสันเทียะ, ปร.ด. (Yuttachai Keawsuntia, Ph.D.)^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึง การออกแบบ สร้าง และทดสอบตู้อบกกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานของเกษตรกร ตู้อบกกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นต้องลดความชื้นของกล้วยให้เหลืออยู่ประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

วิธีการวิจัย: ตู้ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมีห้องอบแห้งเป็นห้องสี่เหลี่ยมขนาด 0.8×1×1 เมตร ติดตั้งปล่องระบายอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 1 เมตร เพื่อเพิ่มการไหลเวียนของอากาศภายในห้องอบให้ออกสู่บรรยากาศภายนอก รวมถึงเพิ่มตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) ขนาด 0.8×1.25×0.05 เมตร เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่ไหลผ่านตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ห้องอบ

ผลการวิจัย: จากการทดสอบพบว่า ตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำอุณหภูมิที่บริเวณทางเข้าห้องอบได้ประมาณ 55 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิบรรยากาศมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิภายในห้องอบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 53 องศาเซลเซียส และจากการทดสอบการอบกล้วยที่มีปริมาณความชื้นเริ่มต้น 80 เปอร์เซ็นต์ ครั้งละ 5 กิโลกรัม พบว่าการลดความชื้นให้เหลือ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ 526 วัตต์ต่อตารางเมตร ใช้เวลาในการอบ 36 ชั่วโมง กล้วยที่ผ่านการอบมีน้ำหนักเหลือ 1.565 กิโลกรัม มีปริมาณความชื้น 11.28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการเก็บรักษา อีกทั้งยังสามารถลดเวลาในการอบกล้วยลงได้เมื่อเทียบกับการทำกล้วยตากแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: กล้วยอบ, ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ

¹อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา
(Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima)

*ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: yuttachai_kea@vu.ac.th

Abstract

Objective: This research objective was to study the design, construction and testing of a passive solar dryer for banana drying to suit the use of agriculturists. The solar dryer must decrease the moisture content of the bananas to between approximately 10 and 20 percent.

Methods: The passive solar dryer that was designed and built had a transparent chamber with the dimensions of 0.8 × 1 × 1 m. The chimney was 0.2 meters in diameter, 1 meter in height, and was installed at the top of the drying room to increase air circulation

from the drying room to the outside. The solar collector, which the dimension was $0.8 \times 1.25 \times 0.05$ meters, was installed in front of the drying room to increase the air temperature through the solar collector into the drying room.

Results: The experimental results showed that the solar collector could increase the temperature at the entrance of the drying room to an average of 55 degrees Celsius, when the average ambient temperature was 35 degrees Celsius, and the average temperature inside the drying room was 53 degrees Celsius. Drying test was performed on 5 kg bananas on each testing. The bananas used in the test had 80 percent initial moisture content. To obtain 10 to 20 percent moisture content, the drying time was 36 hours at 526 watts of solar power per square meter. The dried bananas weighed 1.565 kg containing 11.28 percent moisture content, which was suitable for storage. It also saved time in drying bananas compared to traditional bananas drying.

Keywords: dried banana, solar dryer, passive solar dryer

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ผลผลิตทางการเกษตรในบางฤดูกาลมีมากเกินไป ความต้องการของผู้บริโภคและเมื่อจำหน่ายผลผลิตได้ไม่หมดจะทำให้เกิดการเน่าเสียของผลผลิต การยืดเวลาการเก็บรักษาให้นานขึ้นโดยการลดความชื้นหรือการอบแห้งเพื่อลดการเน่าเสียของผลผลิตจึงเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ (วิไล รังสาทอง, 2547) ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณศูนย์สูตรได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563) หรือ 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (จารุวัฒน์ เจริญจิต, 2555) ซึ่งประมาณได้ 510 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน เมื่อคิดชั่วโมงการมีแสง 10 ชั่วโมงต่อวัน (7.00 น. ถึง 17.00 น.) ทำให้มีศักยภาพด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการเลือกใช้เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ ง่ายต่อการบำรุงรักษา มีอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ช่วยลดต้นทุนและลดปริมาณการใช้พลังงานฟอสซิล รวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความปลอดภัยจากฝุ่นควันหรือแมลง (กองถ่ายทอดและ

เผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563)

กล้วย (ศักดิ์ชาย ยอดมีกลิ่น, 2553) เป็นพืชเศรษฐกิจที่ออกผลผลิตตลอดทั้งปี เกษตรกรนิยมนำมาปลูกในบริเวณบ้านเรือน ในสวน ตามคันนา กล้วยมีมากตามจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย กล้วยมีหลายชนิด เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยตานี เป็นต้น ในฤดูฝนจะมีกล้วยออกผลมากเป็นพิเศษ เมื่อผลผลิตมีมากจึงมีการแปรรูปในรูปแบบต่าง ๆ หลากหลายวิธีการ วิธีการแปรรูปของเกษตรกรวิธีหนึ่งคือการทำกล้วยตากซึ่งกล้วยที่ใช้ทำจะเป็นกล้วยสุก ในอดีตได้อาศัยหลักการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อลดความชื้นเมื่อความชื้นลดลง เชื้อราที่เกิดกับกล้วยตากก็จะเกิดช้าลงด้วย ซึ่งเป็นการยืดอายุกล้วยตากให้ยาวนานขึ้น ปัจจุบันกรรมวิธีการทำกล้วยตากชาวบ้านหรือเกษตรกรได้ใช้วิธีตากกล้วยในพื้นที่โล่งเพื่อให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงโดยไม่มีอะไรครอบคลุม ถ้าแสงแดดดีตลอดทั้งวันจะใช้เวลาประมาณ 5 วัน ในกรณีที่ฟ้าครึ้มหรือฝนตกจะทำให้ระยะเวลาการตากยาวขึ้นเป็น 6 ถึง 7 วัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) ข้อดีของกรรมวิธีแบบนี้ คือ

ประหยัดค่าใช้จ่ายแต่ก็ยังมียังมีข้อเสียอีกจำนวนไม่น้อยที่เกิดขึ้นกับกรรมวิธีแบบนี้ เช่น ฝุ่นละออง แผลงวัน เวลาในการตากนาน สิ้นเปลืองแรงงานในการกลับพลิกกล้วย รวมถึงความสกปรกที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำกล้วยตาก

เนื่องจากการทำกล้วยตากแบบดั้งเดิมของเกษตรกรมีข้อเสียหลายอย่าง เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้มีความคิดในการออกแบบและสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟที่มีการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นสำหรับใช้ในครัวเรือน เนื่องจากตู้อบประเภทนี้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างไม่สูงมาก เกษตรกรหรือผู้ใช้งานสามารถดูแลหรือซ่อมแซมได้เองเมื่อตู้อบเกิดความเสียหาย โดยสภาพของตัวเครื่องอบจะปิดมิดชิดเพื่อกันทั้งฝุ่นละอองและแมลงวัน ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นได้อาศัยหลักการของการพาความร้อนแบบอิมersionที่ได้จากตัวรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ โดยอากาศร้อนที่มีอุณหภูมิ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบกล้วย (จันทร์เพ็ญ บุตรใส และเสน่ห์ บัวสนิท, 2555) จะทำหน้าที่ไล่ความชื้นออกจากกล้วย จากเดิมกล้วยมีความชื้นที่ 80 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (ธวัชธนัญชัย มุสิกไชย, 2561) เมื่อผ่านการอบด้วยตู้อบจะต้องทำให้กล้วยมีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนเรื่องกล้วยอบ (สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม, 2558)

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาการออกแบบและทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ รวมถึงศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของกล้วย น้ำหนักที่ลดลงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 กล้วยที่ใช้ในการทดสอบสำหรับงานวิจัยนี้เป็นกล้วยน้ำว้าสุก มีเส้นรอบวงเฉลี่ย 2.5 นิ้ว ยาว 3 ถึง 5 นิ้ว มีความชื้นเริ่มต้น 80 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ทดสอบครั้งละ 5 กิโลกรัม ที่มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน เวลา 9.00 น. ถึง 17.00 น. ของแต่ละวัน

3.2 ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการออกแบบได้มีการกำหนดให้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีความกว้างเท่ากับ 0.8 เมตร และมีความสูงเพื่อให้อากาศไหลเข้าเท่ากับ 0.05 เมตร เพื่อนำไปใช้หาความยาวของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนห้องอบแห้งมีความกว้าง 0.8 เมตร ยาว 1 เมตร และสูง 1 เมตร

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องการออกแบบและทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์นี้ ผู้วิจัยได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ การอบแห้ง ชนิดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ การหาค่าความชื้น การออกแบบตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อสร้างความร้อนให้กับห้องอบแห้ง จากนั้นได้ทำการออกแบบและสร้างตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของกล้วยน้ำว้าที่ลดลงกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้อง

4.1.1 การอบแห้ง (อาทิตย์ พัฒนบุญ และอมรชัย อภรณ์วิชานพ, 2557) เป็นกระบวนการกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ให้ลดลงในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งอาหารหรือผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีค่าความชื้นไม่เท่ากัน การกำจัดความชื้นในผลิตภัณฑ์ ตัวแปรที่ทำให้การอบแห้งนั้นเกิดขึ้นได้เร็วและช้า มีดังนี้

1) ธรรมชาติของอาหาร อาหารที่มีเนื้อโปร่งจะแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเป็นผลให้เกิดการกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำ อาหารประเภทนี้จึงแห้งช้า

2) ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยจะเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในตูอบน้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่ความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณของอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน ไอน้ำจะไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศที่มีไอน้ำอยู่มากจะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อยจึงมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

6) อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ และอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้นการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นได้เต็มที่

กล่าวโดยสรุปคือการอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้น โดยส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ขึ้นเพื่อไล่ความชื้นออกด้วยการระเหยโดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ปกติจะใช้ความชื้น

เป็นตัวบ่งบอกปริมาณของน้ำที่อยู่ในวัสดุ (สมชาติ โสภณธณฤทธิ, 2540) สามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

1) เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ขึ้นโดยมีสมการดังนี้

$$M_w = [(w - d) / w] \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

2) เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) คืออัตราส่วนน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้งโดยมีสมการดังนี้

$$M_d = [(w - d) / d] \times 100 \quad \dots\dots(2)$$

โดยที่ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, w คือน้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์และ d คือน้ำหนักผลิตภัณฑ์แห้ง

การอบแห้งวัสดุสามารถแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ 1) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุซึ่งมีน้ำอยู่จำนวนมากเมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่ และ 2) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวของวัสดุ ในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำและน้ำที่ผิวจึงจะระเหยไปกับอากาศ

4.1.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Bala and Debnath, 2012) เป็นการดัดแปลงมาจากการทำแห้งด้วยการตากแดด การอบแห้งด้วยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นกระบวนการผสมระหว่างการตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับการควบคุมอุณหภูมิและการควบคุมการไหลของกระแสลม การทำเช่นนี้เป็นการปรับปรุง

คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์
แล้วยังเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำแห้ง
อีกด้วย ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์จำแนกออกเป็น
3 แบบ ดังนี้

1) ตู้อบแบบดูดกลืนโดยตรง
(Direct Absorption Dryer) หรือบางครั้งเรียกว่า
กล่องร้อน วัตถุประสงค์ของตู้อบแบบนี้เพื่อเป็น
การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการป้องกันการ
การปนเปื้อนจากแมลง ฝุ่นละออง หรือป้องกันการ
รบกวนจากสัตว์ อาหารที่จะทำการอบแห้ง

จะถูกรวบรวมในตู้อบที่บุด้วยแผ่นวัสดุใส
ดังนั้นอาหารจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่
ผ่านทะลุแผ่นวัสดุใสโดยตรง ความร้อนทำให้
ความชื้นระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ความชื้นภายใน
ตู้อบจะถูกพาออกไปโดยการหมุนเวียนของอากาศ
แล้วพาออกทางช่องลมที่อยู่ทางด้านข้างของตู้อบ
ดังรูปที่ 1 ตู้อบแห้งแบบนี้ใช้อบแห้งผักและผลไม้
เวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นลง คุณภาพของผลิตภัณฑ์
ดีขึ้นในแง่ของความสะอาด อายุการเก็บและการ
คงอยู่ของกลิ่นรส



รูปที่ 1 ตู้อบแบบดูดกลืนโดยตรง
ที่มา: ไพบุลย์ ธรรมรัตนवासิก, (2532)

2) ตู้อบแบบการพาหรือแบบทางอ้อม
(Convection or Indirect Dryer) บางครั้งเรียกว่า
ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาสซีฟ ตู้อบ
แบบนี้มีความซับซ้อนกว่าแบบดูดกลืนโดยตรง
อาหารจะไม่สัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง แต่จะ
สัมผัสกับลมร้อน ส่วนที่ทำให้อากาศร้อนจะเป็น

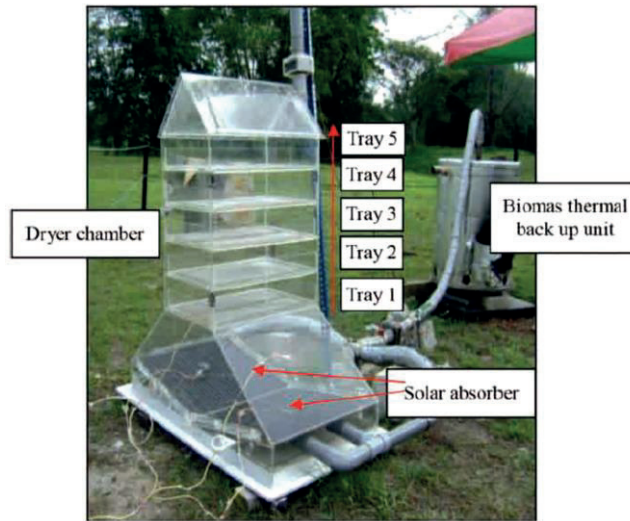
แบบที่ประกอบด้วยสังกะสีแผ่นเรียบหรือลูกฟูก
แผ่นสังกะสีจะรับแสงอาทิตย์โดยตรง นอกจากนี้
อาจมีวัสดุใสปิดอยู่ข้างหน้าและด้านหลังมีฉนวน
เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ดังรูปที่ 2
ลมร้อนที่ได้จะไหลผ่านเข้าไปในตู้อบและทำให้
ความชื้นระเหยไป



รูปที่ 2 ตู้อบแห้งแบบการพาความร้อน
ที่มา: ไพบุลย์ ธรรมรัตนवासิก, (2532)

3) ตู้อบแห้งแบบผสมผสาน
(Combination Dryer) ตู้อบแบบนี้ใช้หลักการคือ
ให้อาหารสัมผัสกับลมร้อนและพลังงานแสงอาทิตย์

โดยตรง โดยลมร้อนได้มาจากส่วนที่ทำให้อากาศ
ร้อนซึ่งได้มาจากแหล่งอื่น ดังแสดงในรูปที่ 3

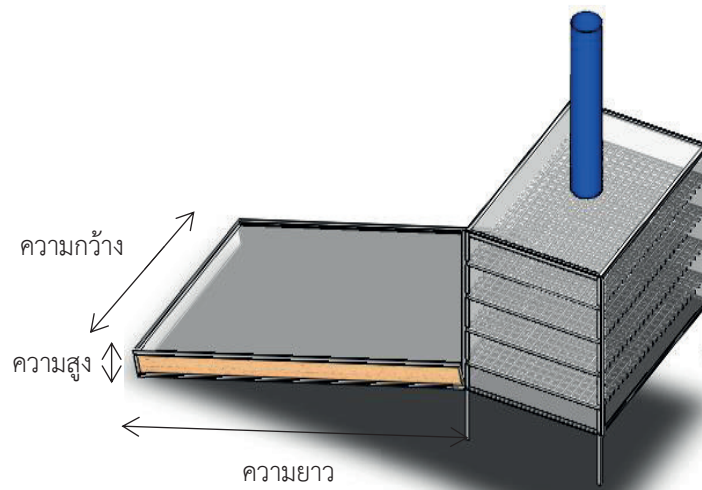


รูปที่ 3 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล
ที่มา: Al-Kayiem, (2015)

4.2 การออกแบบและการคำนวณ

การออกแบบตู้อบกล้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์ ได้มีการกำหนดค่าความร้อนพลังงาน
แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับผิวของแผงรับพลังงาน
แสงอาทิตย์ (Heat flux) คงที่ เท่ากับ 510 W / m^2

ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยพลังงานความร้อนในแต่ละวัน และ
ความกว้างของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า
เท่ากับ 0.8 เมตร เพื่อนำไปหาขนาดความยาวของ
แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาสซีฟ ที่ทำการออกแบบ

1) การคำนวณหาความร้อนที่ผิวของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

$$q_{\text{solar}} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{\text{sky}}^4) \quad \text{.....(3)}$$

โดยที่ q_{solar} คือ พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์เท่ากับ 510 W/m^2 , ϵ คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีมีค่าเท่ากับ 1 เนื่องจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้กำหนดให้เป็นวัตถุดำ, σ คือ ค่าคงที่ของสตีเฟนและโบลซ์แมนมีค่า $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$, T_s คือ อุณหภูมิที่ผิว

ของกระจกใสมีหน่วยเป็นเคลวิน (K) และ T_{sky} คือ อุณหภูมิประสิทธิภาพของท้องฟ้า (Effective Sky Temperature) มีค่าเท่ากับ 230 K เมื่อท้องฟ้าสดใสและมีบรรยากาศเย็น (Ozisik, 1985) เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (3) จะได้อุณหภูมิที่ผิวของกระจกใส T_s เท่ากับ 329 เคลวิน หรือ 56°C

2) การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

$$h_i = \frac{k N_u}{D_h} \quad \text{.....(4)}$$

$$\text{เมื่อ } N_u = 0.023 \left(\frac{V_\infty D_h}{\nu} \right)^{0.8} \text{Pr}^{0.3} \text{ และ } D_h = \frac{4A_c}{P}$$

โดยที่ h_i คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น $\text{W/m}^2 \text{K}$, N_u คือตัวเลขนัสเซล (Nusselt Number), V_∞ คือความเร็วของอากาศมีค่ากับ 1 m/s, Pr คือตัวเลขพรานเทิล (Prandtl Number) เท่ากับ 0.705, k คือสัมประสิทธิ์การนำความร้อนอากาศ มีค่าเท่ากับ 0.02719 W/mK , ν คือค่าความหนืดจลน์ของอากาศมีค่าเท่ากับ $1.594 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, A_c คือพื้นที่หน้าตัดทางเข้า

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ มีความกว้างและความสูงเท่ากับ 0.05 กับ 0.8 เมตร ตามลำดับ และ P คือเส้นรอบรูปบริเวณทางเข้าของอากาศที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อแทนค่าต่าง ๆ สามารถหาค่าเส้นผ่านศูนย์กลางทางชลศาสตร์ (D_h) เท่ากับ 0.094 เมตร และ N_u เท่ากับ 21.51 และได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (h_i) เท่ากับ $6.22 \text{ W/m}^2 \text{K}$ ทั้งนี้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้คิดที่อุณหภูมิบรรยากาศ (T_∞) เท่ากับ 39°C หรือ 312 K

3) การคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนอกแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

$$Nu = \frac{h_o \delta}{k} = 0.15 \text{Ra}^{1/3} \quad \text{.....(5)}$$

$$\text{เมื่อ } \text{Ra} = (\text{Gr})(\text{Pr}) = \left(\frac{g \beta \delta^3 (T_s - T_\infty)}{\nu^2} \right) (\text{Pr})$$

$$\text{และ } \delta = \frac{A}{P} = \frac{(0.8 \times 1.25)}{2(0.8 + 1.25)} = 0.244 \text{ เมตร}$$

โดยที่ h_o คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น W/m^2K , Ra คือตัวเลขเรย์ลี (Rayleigh), A คือพื้นที่ผิวของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมีความกว้างและความยาวเท่ากับ 0.8 เมตร และ 1.25 เมตร ตามลำดับ, δ คือระยะสำคัญ, ν คือค่าความหนืดจลน์ มีค่าเท่ากับ $1.788 \times 10^{-5} m^2/s$, $\beta = 1/T_f$ เมื่อ T_f คืออุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิบรรยากาศ (T_∞)

กับอุณหภูมิบนผิวแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (T_s), Pr เท่ากับ 0.704 และ k เท่ากับ $0.02766 W/mK$ ทั้งนี้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ได้คิดที่อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 320 K เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (5) สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (h_o) ได้เท่ากับ $4.4 W/m^2K$ เมื่อแทนค่า h_o ลงในสมการที่ (6) สามารถหาค่าการสูญเสียความร้อนด้านนอกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้เท่ากับ $77 W/m^2$

$$q_{loss} = h_o (T_s - T_\infty) \quad \dots\dots(6)$$

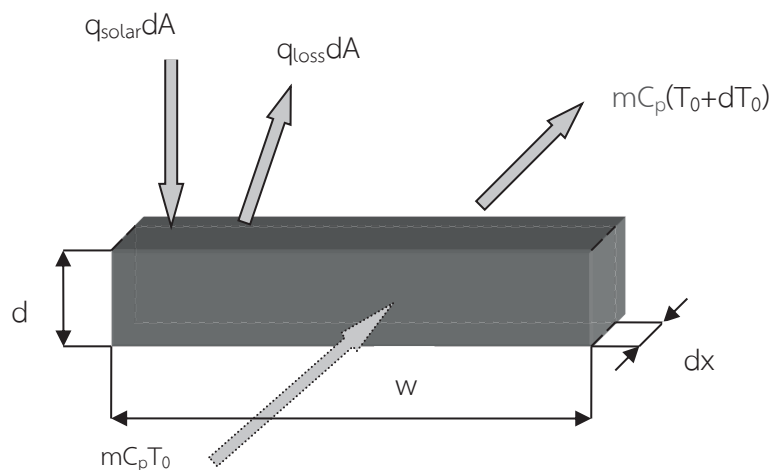
4) การคำนวณหาอุณหภูมิทางออกของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (T_o) จากสมดุลพลังงาน เมื่อตัดชิ้นส่วนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นระยะความยาว dx ดังรูปที่ 5 จะได้พลังงานเข้าเท่ากับพลังงานออก ตามสมการที่ (7)

$$(\dot{m}C_p T_o) + (q_{solar}) = (\dot{m}C_p T_o) + (\dot{m}C_p dT_o) + (q_{loss}) \quad \dots\dots(7)$$

หรือ $(\dot{m}C_p T_o) + (510dA) = (\dot{m}C_p T_o) + (\dot{m}C_p dT_o) + (UdA\Delta T)$

เมื่อ $dA = 0.8dx$, $\Delta T = T_o - T_\infty$, $U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}\right)}$ และ $\dot{m} = \rho_{air} V_\infty A_c$



รูปที่ 5 แสดงการไหลของพลังงานของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

โดยที่ h_o คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายนอกแผงรับรังสีแสงอาทิตย์, h_i คือค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนภายในแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และความหนาแน่นของอากาศ (ρ_{air})

เท่ากับ 1.131 kg/m^3 เมื่อแทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (7) แล้วจัดรูปสมการใหม่จะได้ดังสมการที่ (8)

$$T_o = \left(\frac{1}{2.06} \right) \left[488.34 - (408.2) \exp \left(\frac{-x}{21.98} \right) \right] \dots\dots\dots(8)$$

เมื่อแทนค่า x เท่ากับ 1.25 เมตร จะได้อุณหภูมิบริเวณทางออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 50°C

5) การคำนวณหาความหนาของฉนวนใต้แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ การหาความหนาของฉนวนกันความร้อนสามารถหาได้จากสมการที่ (9)

$$(q_{solar} - q_{loss}) = \frac{(T_s - T_\infty)}{R_{tot}} \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{เมื่อ} \quad R_{tot} = \left(\frac{L}{kA} \right)_{\text{สังกะสี}} - \left(\frac{L}{kA} \right)_{\text{ฉนวนใยแก้ว}}$$

กำหนดให้ค่าการนำความร้อน (k) ของสังกะสีและฉนวนใยแก้ว เท่ากับ 116 และ 0.0398 W/mK ตามลำดับ ส่วนความหนาของสังกะสี (L) เท่ากับ 2.8 mm แทนค่าต่าง ๆ ในสมการที่ (9) สามารถหาความหนาของฉนวนกันความร้อนที่ต้องใช้ควรมีความหนาน้อย 1.6 mm ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ฉนวนที่มีความหนา 25 mm เนื่องจากเป็นความหนามาตรฐานของฉนวนกันความร้อนที่หาซื้อได้ทั่วไป

ดังนั้นในการสร้างตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการทดสอบจึงได้สร้างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีความกว้าง 0.8 เมตร ยาว 1.25 เมตร และมีช่องให้อากาศเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 0.8 เมตร สูง 0.05 เมตร เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ออกจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ 50 องศาเซลเซียส สำหรับนำไปใช้ในการอบกล้วยในห้องอบต่อไป โดยส่วนของห้องอบกล้วยที่สร้างขึ้นมีขนาด $0.8 \times 1 \times 1$ เมตร

4.3 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบมีชิ้นส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ

4.3.1 ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์ กว้าง 0.8 เมตร ยาว 1.25 เมตร และมีช่องให้อากาศเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกว้าง 0.8 เมตร สูง 0.05 เมตร

4.3.2 ห้องอบแห้งขนาด $0.8 \times 1 \times 1$ เมตร

4.3.3 ปล่องลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 เมตร สูง 1 เมตร

สำหรับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ทำการหุ้มฉนวนที่มีความหนา 25 มิลลิเมตร ที่ด้านล่างแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ได้แสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดสอบ

การทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง และความชื้นของกล้วยเมื่อผ่านการอบที่เวลาต่าง ๆ โดยทดสอบในเดือนสิงหาคมและกันยายนที่มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา และได้ทำการวัดค่าต่าง ๆ ดังนี้ 1) ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์แบบตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 2) อุณหภูมิของบรรยากาศ 3) อุณหภูมิภายในแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ 4) อุณหภูมิทางออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ และ 5) อุณหภูมิภายในห้องอบ โดยทิ้งช่วงระยะห่างในการเก็บข้อมูล 1 ชั่วโมงต่อครั้ง การทดสอบได้มีลำดับการทดสอบดังนี้ 1) ทำการตั้งเครื่องอบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

จังหวัดนครราชสีมา 2) ปลอกเปลือกกล้วยน้ำว้าสุกแล้วนำกล้วยน้ำว้าสุกมาใส่ในถาดโดยชั่งน้ำหนักให้ได้ 5 กิโลกรัม ก่อนเข้าตู้อบ ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นทำการปิดตู้อบให้สนิท 3) ทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ได้แก่ ทางเข้าแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ อุณหภูมิบรรยากาศ อุณหภูมิภายในตู้อบ และวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการวัดค่าต่าง ๆ ทุกๆ 1 ชั่วโมง 4) ทำการบันทึกค่าต่างที่วัดได้ในข้อ 3 ลงในตารางบันทึกผลการทดลอง 5) นำกล้วยน้ำว้าสุกออกมาชั่งน้ำหนักทุก ๆ 1 ชั่วโมง เพื่อหาความชื้นที่สูญเสียไป สำหรับการทดสอบในแต่ละวันได้ทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ในช่วงเวลา 9.00 ถึง 17.00 น. โดยรอบของการทดสอบแต่ละครั้งจะสิ้นสุดเมื่อกล้วยน้ำว้ามีความชื้นลดลงเหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก



รูปที่ 7 การวางกล้วยน้ำว้าในห้องอบ

5. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

จากการทดสอบการอบกลัวยน้ำว่าสุก ด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น จำนวน 4 รอบ โดยแต่ละรอบของการทดสอบ กลัวยต้องมี

ความชื้นลดลงเหลือประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก สามารถแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบจำนวน 4 รอบ ได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการอบกลัวยน้ำว่าเฉลี่ยจากจำนวน 4 ครั้ง

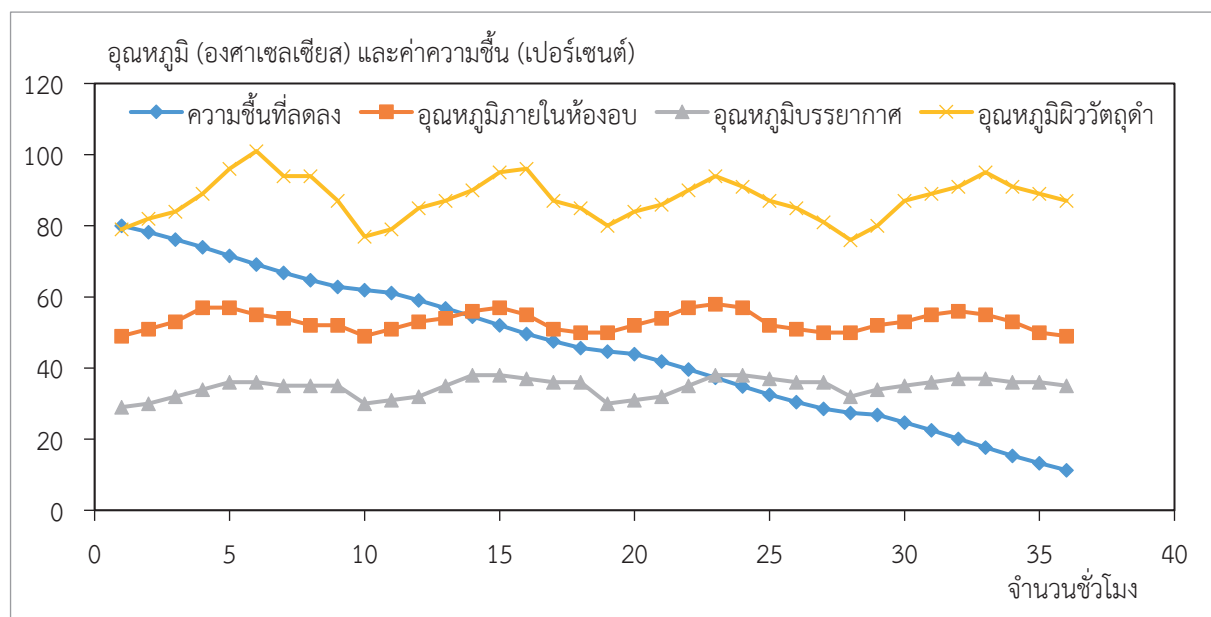
ชั่วโมงที่	Q_{solar} W/m^2	$T_{บรรยากาศ}$ $^{\circ}C$	$T_{ทางเข้า}$ $^{\circ}C$	$T_{วัตถุดำ}$ $^{\circ}C$	$T_{ทางออก}$ $^{\circ}C$	$T_{ภายในตู้}$ $^{\circ}C$	น้ำหนัก กลัวย (กรัม)	ปริมาณ ความชื้น (%)
1	350	29	29	79	50	49	5000	80.00
2	380	30	30	82	53	51	4905	78.26
3	410	32	32	84	54	53	4810	76.18
4	610	34	34	89	59	57	4705	73.95
5	650	36	36	96	58	57	4600	71.59
6	600	36	36	101	58	55	4495	69.16
7	540	35	35	94	56	54	4390	66.80
8	500	35	35	94	54	52	4285	64.72
9	420	35	35	87	54	52	4180	62.84
10	450	30	30	77	51	49	4100	61.93
11	500	31	31	79	54	51	4075	61.11
12	520	32	32	85	55	53	3970	59.02
13	575	35	35	87	57	54	3865	56.80
14	600	38	38	90	58	56	3760	54.44
15	620	38	38	95	62	57	3655	52.01
16	640	37	37	96	60	55	3550	49.65
17	490	36	36	87	54	51	3445	47.56
18	420	36	36	85	52	50	3340	45.69
19	370	30	30	80	52	50	3290	44.67
20	380	31	31	84	54	52	3235	43.95
21	410	32	32	86	56	54	3130	41.87
22	610	35	35	90	59	57	3025	39.65
23	650	38	38	94	60	58	2920	37.29
24	540	38	38	91	59	57	2815	34.86
25	500	37	37	87	54	52	2720	32.50
26	440	36	36	85	52	51	2625	30.41
27	420	36	36	81	52	50	2530	28.54

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการอบกลั่นน้ำว่าเจลลี่จากจำนวน 4 ครั้ง (ต่อ)

ชั่วโมงที่	Q _{solar} W/m ²	T _{บรรยากาศ} °C	T _{ทางเข้า} °C	T _{วัตถุดำ} °C	T _{ทางออก} °C	T _{ภายในตู้} °C	น้ำหนัก กล้วย (กรัม)	ปริมาณ ความชื้น (%)
28	370	32	32	76	52	50	2470	27.35
29	410	34	34	80	54	52	2405	26.80
30	550	35	35	87	54	53	2300	24.72
31	620	36	36	89	56	55	2205	22.50
32	650	37	37	91	57	56	2085	20.13
33	610	37	37	95	57	55	1950	17.70
34	520	36	36	91	54	53	1805	15.34
35	480	36	36	89	51	50	1680	13.26
36	420	35	35	87	51	49	1565	11.28

เมื่อนำค่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และ
ค่าความชื้นของกล้วยน้ำว่าที่ได้จากการทดสอบ

จากตารางที่ 1 เทียบกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้ในการ
ทดสอบ สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ และค่าความชื้นเทียบกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้อบ

จากผลการทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เมื่อกล้วยน้ำว้าสุกมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อุณหภูมิบรรยากาศในแต่ละวันมีค่าประมาณ 30 ถึง 38 องศาเซลเซียส ซึ่งช่วงเช้าและช่วงเย็นอุณหภูมิบรรยากาศอยู่ระหว่าง 30 ถึง 34 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 14.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 35 ถึง 38 องศาเซลเซียส เมื่อตู้อบได้รับความพลังงานจากแสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งมีผิวเป็นวัตถุดำมีค่าประมาณ 80 ถึง 90 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบริเวณทางเข้าตู้อบและในตู้อบมีค่าประมาณ 55 องศาเซลเซียส และ 53 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการออกแบบ สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบริเวณทางออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์และในตู้อบพบว่าชั่วโมงที่ 1 ถึง 9 อุณหภูมิทางออกของตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์และอุณหภูมิในตู้อบมีค่าใกล้เคียงกัน เฉลี่ยเท่ากับ 53 องศาเซลเซียส ชั่วโมงที่ 10 ถึง 18 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 54 องศาเซลเซียส ชั่วโมงที่ 19 ถึง 27 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 53 องศาเซลเซียส ชั่วโมงที่ 28 ถึง 36 อุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 53 องศาเซลเซียส ในส่วนของความชื้น เมื่ออากาศร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ไหลเข้าตู้อบ ความชื้นของกล้วยจะลดลงโดยในชั่วโมงที่ 1 ถึง 9 ลดลงเหลือ 62.84 เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงที่ 10 ถึง 18 ความชื้นลดลงเหลือ 45.69 เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงที่ 19 ถึง 27 ความชื้นลดลงเหลือ 28.52 เปอร์เซ็นต์ ชั่วโมงที่ 28 ถึง 36 ความชื้นลดลงเหลือ 11.28 เปอร์เซ็นต์ รวมใช้เวลาในการอบกล้วยจำนวน 36 ชั่วโมง จึงได้ความชื้นของกล้วยอบที่เหมาะสมตามมาตรฐานการอบกล้วยน้ำว้า ซึ่งสามารถลดเวลาในการอบกล้วยลงได้ประมาณ 2 ถึง 3 วัน เมื่อเทียบกับการทำกล้วยตากแบบดั้งเดิมที่ต้องใช้เวลา 6 ถึง 7 วัน

6. สรุปผลการทดสอบ

จากการออกแบบ สร้าง และทดสอบตู้อบกล้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของกล้วยที่ลดลงกับเวลาสำหรับการอบกล้วย รวมถึงศึกษาอุณหภูมิที่ได้ในห้องอบ เมื่อมีการติดตั้งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาและการทดสอบ พบว่าค่าอุณหภูมิของอากาศบริเวณทางออกแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากการออกแบบมีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิที่ได้จากการทดสอบตู้อบแห้ง ในส่วนของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นเมื่อได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ประมาณ 526 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ สามารถเพิ่มอุณหภูมิอากาศจาก 35 องศาเซลเซียส เป็น 53 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปใช้เป็นอากาศร้อนสำหรับอบกล้วยน้ำว้าในห้องอบ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ในการรับความร้อนจึงทำให้อากาศที่ไหลผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น ในส่วนของอุณหภูมิตรงบริเวณทางออกของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายในห้องอบพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากตะแกรงที่ใช้มีช่องที่ว่างและวางห่างกันในแต่ละชั้น ทำให้อากาศร้อนไหลผ่านกล้วยได้สะดวกเป็นผลให้กล้วยได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง สำหรับการอบกล้วยโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์มีผลต่อระยะเวลาและปริมาณความชื้นของการอบกล้วย โดยการอบกล้วยน้ำว้าจากกล้วยสุกที่มีความชื้นเริ่มต้น 80 เปอร์เซ็นต์ ให้เหลือความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นมาตรฐานเปียก ใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง

7. เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). รูปแบบการพัฒนาและเผยแพร่เทคโนโลยีการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สู่ชุมชนกล้วยตากบางกระทู้ม จังหวัดพิษณุโลก. (น. 11). กระทรวงพลังงาน. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://www.dede.go.th/download/article/article_20160308143303.pdf.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580. (น. 6). กระทรวงพลังงาน. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://www.dede.go.th/download/Plan_62/20201021_TIEB_AEDP2018.pdf.
3. กองถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและการใช้พลังงานแสงอาทิตย์. (น. 21-40). กระทรวงพลังงาน. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2564, จาก http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/คู่มือการผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์_ปก_0.pdf.
4. จารุวัฒน์ เจริญจิต. (2555). เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยรังสีอาทิตย์ และแนวทางการพัฒนา. วารสารวิจัย มข, 17(1), 110-124. สืบค้น 11 ตุลาคม พ.ศ. 2563, จาก <https://resjournal.kku.ac.th>
5. จันทรเพ็ญ บุตรใส และ เสน่ห์ บัวสนธิ. (2555). การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกล้วยอบม้วน (รายงานวิจัย). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ. สืบค้น 11 ตุลาคม พ.ศ. 2563, จาก <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2555/25552391441107.pdf>.
6. ธวัชอรณัญช์ มุสิกะไชย. (2561). แนวทางการอบแห้งกล้วยเล็บมือนางและกล้วยไข่ด้วยพลังงานความร้อนจากก๊าซหุงต้ม. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
7. ไพบุลย์ ธรรมรัตน์วาลิก. (2532). กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ. โอ เอส พริ้นติ้งเฮ้าส์. น. 244-276
8. ศักดิ์ชาย ยอดมิกลิ้น. (2553). การจัดการเทคโนโลยีกระบวนการกล้วยตากในการผลิตระดับชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ.
9. วิไล รังสาดทอง. (2547). เทคโนโลยีการแปรรูปอาหาร. กรุงเทพฯ : กรุงเทพฯ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ.
10. สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2540). การอบแห้งเมล็ดธัญพืช, พิมพ์ครั้งที่ 5, คณะพลังงานและวัสดุสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

11. สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. (2558).
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน กล้วยอบ มผช
112/2558. กระทรวงอุตสาหกรรม
สืบค้น 11 ตุลาคม พ.ศ. 2563, จาก
[http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0112_58\(กล้วยอบ\).pdf](http://tcps.tisi.go.th/pub/tcps0112_58(กล้วยอบ).pdf)
12. อาทิตยา พัฒนิบูลย์ และ อมรชัย อภรณ์วิชา
นพ. (2557). เทคโนโลยีการอบแห้ง.
วารสาร *Technology Production*,
41(234), 64-67. สืบค้น 11 ตุลาคม พ.ศ.
2563, จาก
https://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn234a_p64-67.pdf
13. Bala, B. K., and Debnath, N.(2012). Solar
Drying Technology: Potential and
Developments. *Journal of
Fundamentals of Renewable
Energy and Applications*, 2, 1-5.
DOI:10.4303/jfrea/R120302.
14. Al Kayiem, H. H. (2015). Hybrid
techniques to enhance solar
thermal: the way forward.
*International Journal of Energy
Production and Management*, 1(1),
50-60. DOI: 10.2495/EQ-V1-N1-50-60.
15. Ozisik, M. N. (1985). *Heat Transfer*.
Singapore: McGraw-Hill. p 623.