

การอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน

Solar drying of banana using household solar dryer

สรารวุฒิ แบนเนียร์¹

Sarawut Nabnean

เพ็ญพร นิมนวน²

Phenphorn Nimnuan

อรอนงค์ เสนาจะจิต³

Ornanong Sanorchit

(Received: March 8, 2020; Revised: June 20, 2020; Accepted: June 29, 2020)

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นรูปโค้งแบบพาราโบลาที่ทำจากแผ่นโพลีคาร์บอเนตพร้อมทั้งติดตั้งพัดลมจำนวน 2 ตัว ต่อเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 10 วัตต์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม ซึ่งในขณะทำการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าในอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แปรค่าอยู่ในช่วง 33 ถึง 58 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งกล้วยที่มีความชื้นเริ่มต้น 73 (%wb) จนเหลือความชื้นเพียง 25 (%wb) ภายในระยะเวลาเพียง 4 วัน ในขณะเวลาเดียวกันก็ได้ทำการตากแห้งกล้วยตามธรรมชาติ ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้าย 40 (%wb) โดยใช้ระยะเวลา 7-8 วัน เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ใช้ระยะเวลาคืนทุน 1.2 ปี สำหรับกล้วยอบแห้งที่ได้นั้นมีคุณภาพที่ดีเนื่องจากมีการป้องกันแมลง ฝน และฝุ่นละออง ทำให้กล้วยอบแห้งที่ได้มีคุณภาพดี

¹ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ที่อยู่ 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

ติดต่อ: อีเมล : n_sarawut@hotmail.com

² สาขาวิชาศึกษาทั่วไป (ฟิสิกส์) คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

ที่อยู่ 96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

ติดต่อ: อีเมล : phenphorn.nim@rmutr.ac.th

³ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ที่อยู่ 321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมือง จังหวัดลพบุรี 15000

ติดต่อ: อีเมล : ornanong.s847@gmail.com



คำสำคัญ : เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, ความชื้นมาตรฐานเปียก, โพลีคาร์บอเนต

Abstract

This article presents experiment of drying of banana using a household solar dryer. This new type of solar dryer consists of a parabolic roof structure covered with polycarbonate plates. Two DC fans driven by a 10-W solar cell module ventilate the dryer. This dryer has a loading capacity of 10 kg of banana in each experimental run. The drying air temperature varied from 33°C to 58°C during drying of banana. The drying time in the solar dryer was 4 days to dry banana from an initial moisture content of 73 (wet basis moisture content, %wb) to final value of 25 (%wb), whereas, it required 7-8 days of natural sun drying under similar conditions to reach a moisture content of 40 (%wb). The pay-back period of the dryer is estimated to be 1.2 years. The banana dried in the solar dryer was completely protected from insects, rain and dust, and the dried banana was a high quality of a products.

Keywords : Solar dryer, Wet basis moisture content, Polycarbonate

1. บทนำ

ในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทยประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งในแต่ละปีจะมีผลผลิตทางการเกษตรออกมามากสู่ท้องตลาดเป็นจำนวนมาก มีทั้งผลิตผลสดและผลิตผลที่ผ่านกระบวนการแปรรูป โดยเฉพาะอย่างยิ่งผลิตผลที่ผ่านกระบวนการแปรรูปส่วนใหญ่จะมาจากการที่มีผลิตผลจำนวนมากออกสู่ท้องตลาด ทำให้ราคาสินค้านั้นตกต่ำจึงทำให้ต้องแปรรูปเพื่อยืดอายุของผลิตผลให้สามารถเก็บได้นานขึ้น และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของผลิตผลนั้นอีกด้วย การแปรรูปของเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้วิธีการตากแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันมายาวนาน ยกตัวอย่างเช่น ข้าว มันสำปะหลัง ลำไย ถั่วลิสง พริก และพืชสมุนไพรต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเนื้อสัตว์อีกด้วย เช่น ปลา หมูเค็มเคียว เป็นต้น วิธีการตากแห้งตามธรรมชาตินั้นทำได้ง่ายและมีต้นทุนต่ำก็จริง แต่การควบคุมคุณภาพของผลิตผลที่ต่าง ๆ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากการตากแห้งตามธรรมชาตินั้นมีทั้งมลภาวะ ควัน ฝุ่นละออง สัตว์และแมลงที่มารบกวน อีกทั้งอาจเกิดการเปียกเนื่องจากฝนได้อีกด้วย สิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นจะมาเกาะบริเวณผิวของผลิตผลเป็นสาเหตุทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นเชื้อราที่มีอันตรายต่อร่างกายเป็นอย่างยิ่ง เช่น อะฟลาทอกซิน (Aflatoxins) เป็นสารพิษชนิดหนึ่งที่เกิดจากเชื้อราก่อให้เกิดมะเร็ง (Fasoyiro et al., 2016; Olagunju et al., 2018) ถือว่ามีอันตรายอย่างมาก ผู้บริโภคส่วนใหญ่ในปัจจุบันที่เข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้หันมาบริโภคอาหารที่มีความสะอาด ปลอดภัยต่อร่างกายและถูกสุขลักษณะเป็นสำคัญ ดังนั้นจึงมีกลุ่มเกษตรกรบางกลุ่มนำเครื่องจักรสำหรับการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรมาใช้ โดยเฉพาะเครื่องอบแห้งแบบแก๊ส หรือเครื่องอบแห้งแบบไฟฟ้าให้ความร้อน เป็นต้น เพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพของ

ผลิตผลที่นำมาแปรรูปได้ แต่เครื่องจักรดังกล่าวมีต้นทุนสูงและยังมีต้นทุนทางด้านพลังงานอีกด้วย ดังนั้น จึงมีนักวิจัยได้คิดค้นเครื่องอบแห้งชนิดต่าง ๆ ทั้งในระดับอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ให้สามารถลดการใช้พลังงานได้ เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (Eltawil et al., 2018; Fudholi et al., 2014; Janjai, 2012; Nabnean et al., 2016; Prakash et al., 2016) ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้กันเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และได้ใช้ในเฉพาะบางกลุ่มที่เข้าถึงเทคโนโลยีนี้เท่านั้น

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นซึ่งได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างมากกว่าประเทศอื่น ๆ และต่อเนื่องตลอดทั้งปี (Janjai et al., 2005) ดังนั้น จึงมีความเหมาะสมที่จะใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำมาใช้ทางด้านความร้อนกับเทคโนโลยีการอบแห้ง และทำการปรับให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่และผลิตผลทางการเกษตรที่จะทำการแปรรูป ซึ่งในเขตพื้นที่จังหวัดลพบุรีตั้งอยู่ในบริเวณภาคกลางของประเทศไทยมีการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรกันเป็นจำนวนมาก ทั้งผลไม้ และสมุนไพรต่าง ๆ เป็นต้น ดังนั้น สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี จังหวัดลพบุรี จึงได้ทำการออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือนเป็นขนาดเบื้องต้นสำหรับอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร เพื่อให้เป็นทางเลือกของกลุ่มเกษตรกรและประชาชน ได้เกิดการเรียนรู้เกี่ยวกับเทคโนโลยีของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตร ทำให้เกิดความชำนาญ และสามารถขยายผลในการใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ต่อไปในอนาคต เพื่อรองรับกับความต้องการของตลาด และปริมาณผลผลิตที่มากขึ้น และยังเป็นต้นแบบในการเรียนรู้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์อีกด้วย

2. ทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อทำให้ความชื้นจากวัสดุ นั้น ๆ ออกมาโดยกระบวนการระเหย โดยอาศัยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝง และเกิดการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลจากวัสดุสู่อากาศพร้อมกัน ทำให้ความชื้นภายในวัสดุลดลง พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งนั้นมีหลายวิธี เช่น การใช้ความร้อนจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis, wb) คืออัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ชื้น (เสริม จันทรฉาย, 2560) ดังสมการที่ (1)

$$M_w = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis, db) คืออัตราส่วนของน้ำหนักของน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อน้ำหนักของผลิตภัณฑ์แห้ง (เสริม จันทรฉาย, 2560) ดังสมการที่ (2)

$$M_d = \frac{(m_i - m_f)}{m_f} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)
 M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)
 m_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)
 m_f คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์แห้ง (กิโลกรัม)

การอบแห้งวัสดุทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1) ช่วงอัตราอบแห้งคงที่ ปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤติ ที่ผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ การถ่ายเทความร้อนและมวลของวัสดุจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุ ช่วงนี้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุอบแห้งและอัตราการอบแห้งจะมีค่าคงที่

2) ช่วงอัตราอบแห้งลดลง ปริมาณความชื้นภายในวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤติ เมื่อความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังวัสดุ น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในวัสดุมาที่ผิวของวัสดุในลักษณะของเหลวหรือไอน้ำ และน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยไปกับอากาศ

พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์จะเท่ากับพลังงานความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (ธีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์ และ วชิรินทร์ ดงบัง, 2551) ดังสมการที่ (3)

$$m_i C_{p,c} (T_{a,i} - T_b) + m_w h_{fg} = \dot{m}_a [C_{p,a} (T_{a,i} - T_{a,o}) + (\varpi_{a,o} - \varpi_{a,i}) h_{fg}] \times t \quad (3)$$

โดยที่ $C_{p,c}$ คือ ความร้อนจำเพาะของผลิตภัณฑ์ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส)
 $C_{p,a}$ คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม-องศาเซลเซียส)
 $T_{a,i}$ คือ อุณหภูมิของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง (องศาเซลเซียส)
 $T_{a,o}$ คือ อุณหภูมิของอากาศขาออกจากเครื่องอบแห้ง (องศาเซลเซียส)
 T_b คือ อุณหภูมิของกล้วยก่อนอบแห้งมีค่าเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
 h_{fg} คือ ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำของกล้วย (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
 $\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศในเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อวินาที)
 $\varpi_{a,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาเข้าเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน)
 $\varpi_{a,o}$ คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศขาออกจากเครื่องอบแห้ง (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม-วัน)
 t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (วินาที)



2.2 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายรูปแบบ เช่น การผลิตไฟฟ้า การผลิตน้ำร้อน การกลั่นน้ำ การอบแห้ง เป็นต้น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มี 2 แบบ คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลเวียนอากาศตามธรรมชาติ (natural convection) และแบบบังคับ (force convection) ซึ่งจะใช้พัดลมในการระบายอากาศเป็นหลัก และนอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกได้อีก 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีอาทิตย์โดยตรง และแบบรับรังสีอาทิตย์ทางอ้อม การใช้งานนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ในแต่ละชนิด เช่น การอบแห้งสมุนไพร อาจใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบทางอ้อม เนื่องจากจะทำให้สีไม่คล้ำ และสารสำคัญยังคงเหลือมากกว่าการตากแห้งที่รับรังสีอาทิตย์โดยตรง เป็นต้น

การคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากสัดส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง และพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบ ดังสมการต่อไปนี้ (Duffie and Beckman, 1991)

$$\eta = \frac{m \cdot h_{fg}}{A \cdot I_t} \times 100 \quad (4)$$

โดยที่ m คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากกล้วยต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)
 A คือ พื้นที่รับรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง (ตารางเมตร)
 I_t คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบพื้นราบ (เมกะจูลต่อตารางเมตร-วัน)

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

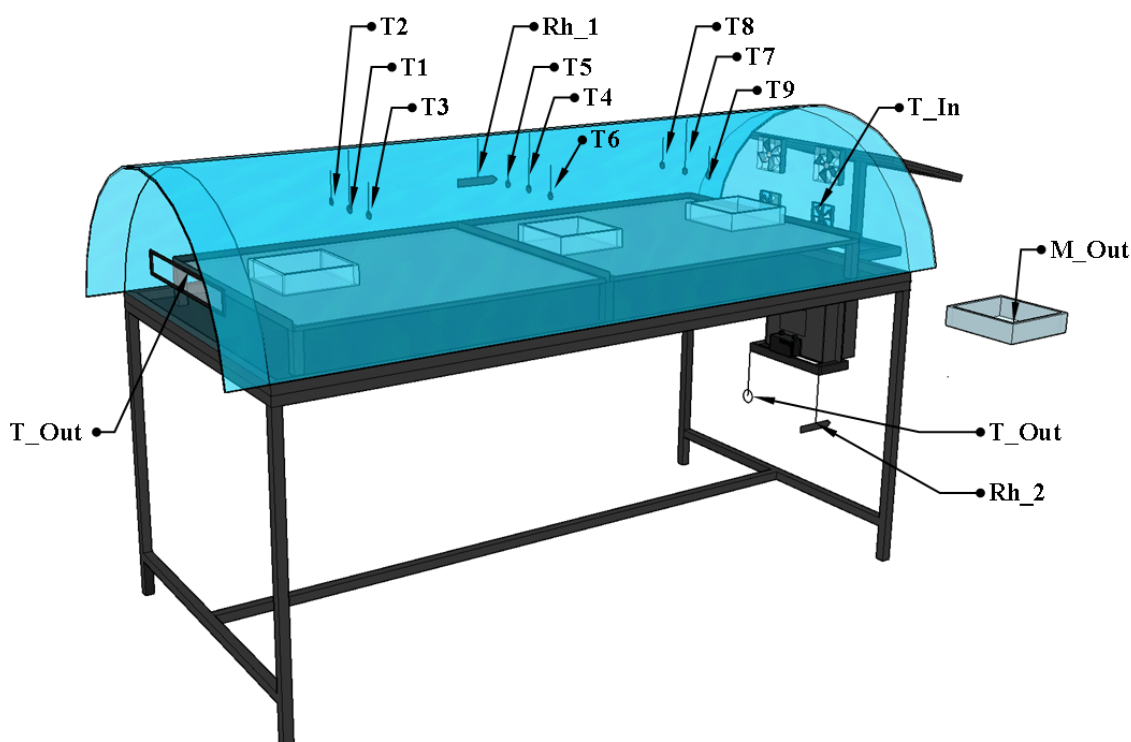
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน เป็นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบการไหลแบบบังคับ และรับรังสีอาทิตย์โดยตรง มีลักษณะเป็นกรีนเฮาส์ทรงพาราโบลาที่หุ้มด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตชนิดใส คลุมแผ่นสังกะสีที่ทำด้วยสีกาขนาด 0.9×1.9 ตารางเมตร ภายในประกอบด้วยตะแกรงสำหรับวางผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ถาด โดยที่ตะแกรงทำด้วยมุ้งลวดซึ่งทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี ด้านหน้าของเครื่องอบแห้งมีช่องระบายความชื้นของผลิตภัณฑ์ ส่วนด้านหลังทำการติดตั้งพัดลมจำนวน 2 ตัว โดยต่อเข้ากับแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้สำหรับระบายอากาศขึ้นออกจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ ได้ทำการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยใช้กล้วยน้ำว้าที่ผ่านการปอกเปลือกแล้วจำนวน 10 กิโลกรัม โดยเริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8:00 จนถึง 18:00 น. หลังจากเวลา 18:00 น. ทำการเก็บใส่กล่องภาชนะเพื่อป้องกันความชื้นในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นนำกล้วยเข้าเครื่องอบแห้งในช่วงเช้าของวันถัดไปจนกว่ามวลกล้วยจะไม่ลดลงจึงหยุดทำการทดลอง ในระหว่างวันที่ทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและมวลของกล้วย โดยอุปกรณ์สำหรับวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (pyranometer) ยี่ห้อ Kipp & Zonen รุ่น CMP 22 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิเป็นแบบสายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค (thermocouples type K) และอุปกรณ์วัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (relative humidity) ยี่ห้อ Elektronik รุ่น EE23 อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกบันทึกลงเครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ยี่ห้อ HIOMI รุ่น LR8432-20 ทุกๆ 10 นาที ตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และตำแหน่งมวลตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 2 หลังจากนั้นเมื่อได้กล้วยแห้งจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ขั้นตอนถัดไปจะนำมวลกล้วยแห้งที่ได้ใส่ตู้อบและตั้งอุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ตามมาตรฐาน AOAC, (Association of Official Analytical Chemists, 1970)) หรือจนกว่ามวลจะไม่ลดลง



ภาพที่ 2 ตำแหน่งการวัดของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และมวลตัวอย่างภายในเครื่องอบแห้ง เทียบกับแวดล้อม

3.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

การศึกษาระยะเวลาคຸ້ມทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับผลิตผลที่นำมาแปรรูปเป็นหลัก ยิ่งเป็นผลิตผลที่สามารถเพิ่มมูลค่าได้สูงจากการแปรรูปก็จะทำให้ระยะเวลาคຸ້ມทุนสั้นลง สำหรับการทดลองนี้ได้ทำการอบแห้งกล้วย การคำนวณหาระยะเวลาคຸ້ມทุนจะใช้วิธีการของ Audsley และ Wheeler (1978) (Audsley and Wheeler, 1978) ดังสมการที่ (5)

$$C_{\text{annual}} = [C_T + \sum_{i=1}^N (C_{\text{ma int},i} + C_{\text{op},i}) \omega^i] \left[\frac{\omega - 1}{\omega(\omega^N - 1)} \right] \quad (5)$$

โดยที่ C_{annual} คือ ต้นทุนรายปี (บาท)

C_T คือ ต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ (บาท)

$C_{\text{ma int},i}$ คือ ค่าบำรุงรักษาปีที่ i (บาท)

$C_{\text{op},i}$ คือ ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งของปีที่ i (บาท)

N คือ อายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง (ปี)



สำหรับ ω คำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$\omega = \frac{(100 + i_{in})}{(100 + i_f)} \quad (6)$$

โดยที่ i_{in} คือ อัตราดอกเบี้ย (%)
 i_f คือ อัตราเงินเฟ้อ (%)

กรณีของค่าใช้จ่ายในการใช้งานเครื่องอบแห้ง (C_{op}) คำนวณจากสมการที่ (7)

$$C_{op} = C_{electric} + C_{gas} + C_{labour,op} \quad (7)$$

โดยที่ $C_{electric}$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้ง (บาท)
 C_{gas} คือ ค่าแก๊ส LPG สำหรับอบแห้งในช่วงที่ฝนตกหรือแสงแดดไม่เพียงพอ (บาท)
 $C_{labour,op}$ คือ ค่าแรงงานสำหรับการอบแห้ง (บาท)

การคำนวณต้นทุนการอบแห้ง (Audsley and Wheeler, 1978) ดังสมการที่ (8)

$$Z = \frac{C_{annual}}{M_{dry}} \quad (8)$$

โดยที่ Z คือ ต้นทุนการอบแห้ง (บาทต่อกิโลกรัม)
 M_{dry} คือ ปริมาณกล้วยที่ผลิตได้ต่อปี (กิโลกรัม)

การคำนวณระยะเวลาคู้ทุน (P) โดยการนำต้นทุนของเครื่องอบแห้ง (C_T) หารด้วยผลกำไรรายปี (Audsley and Wheeler, 1978) ดังสมการที่ (9)

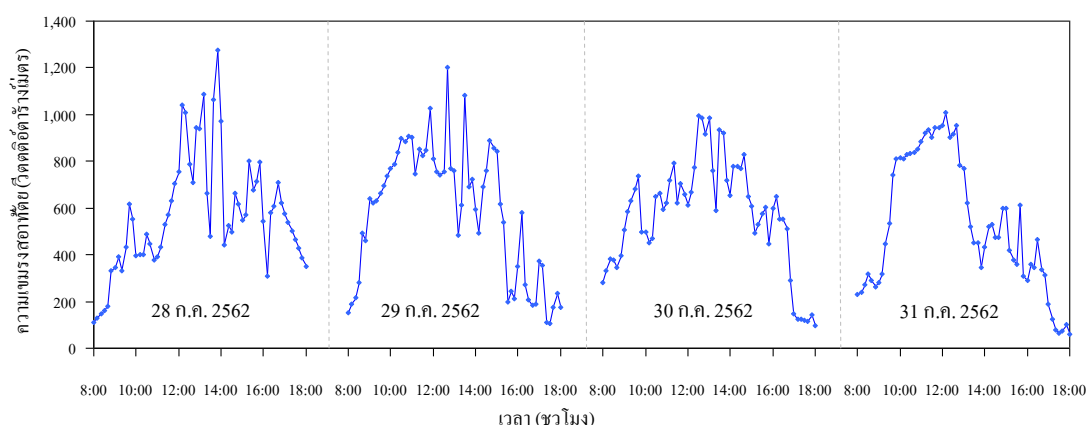
$$P = \frac{C_T}{M_{dry} P_d - M_f P_f - M_f P_{dh} - M_{dry} Z} \quad (9)$$

โดยที่ M_f คือ ปริมาณกล้วยสดที่ใช้ผลิตกล้วยอบแห้งต่อปี (กิโลกรัม)
 P_d คือ ราคาขายกล้วยแห้ง (บาทต่อกิโลกรัม)
 P_f คือ ราคาขายกล้วยสด (บาทต่อกิโลกรัม)
 P_{dh} คือ ค่าใช้จ่ายสำหรับกระบวนการอบแห้งกล้วย (บาทต่อกิโลกรัม)

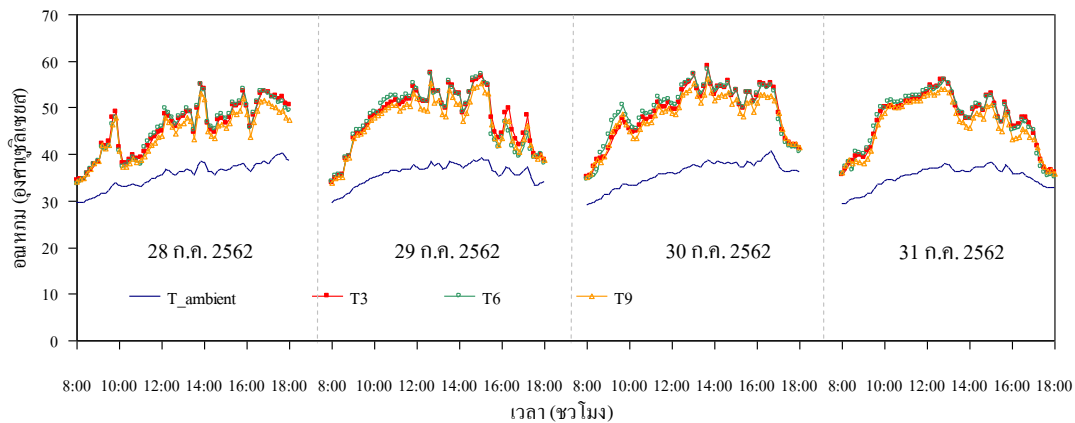
4. ผลและการอภิปรายผล

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือน หรือขนาดเล็ก โดยทำการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าแบบเต็มพื้นที่ตากสามารถอบแห้งกล้วยน้ำว้าได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม โดยทำการอบแห้งจำนวน 8 ครั้ง ในช่วงเดือนเมษายน จนถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ท้องฟ้าแจ่มใสมีแดดดีเกือบตลอดทั้งวัน ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 8:00 - 18:00 น. ในขณะที่ทำการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการชั่งมวลเพื่อศึกษาอัตราการลดลงของมวลกล้วยที่อบแห้งภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการวางมวลตัวอย่างไว้ภายในเครื่องอบแห้งบริเวณด้านหน้า กลาง และด้านหลังของเครื่องอบแห้ง ในขณะเดียวกันก็ได้ทำการเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติที่วางไว้บริเวณแวดล้อมภายนอก นอกจากนี้ยังได้ทำการบันทึกข้อมูลของความชื้นรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งไว้ภายนอกตามธรรมชาติ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ภายในเครื่องอบแห้งเทียบกับแวดล้อม เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง และการแปรค่าของผลที่ได้จากการวัดทั้งภายในเครื่องอบแห้งและภายนอก

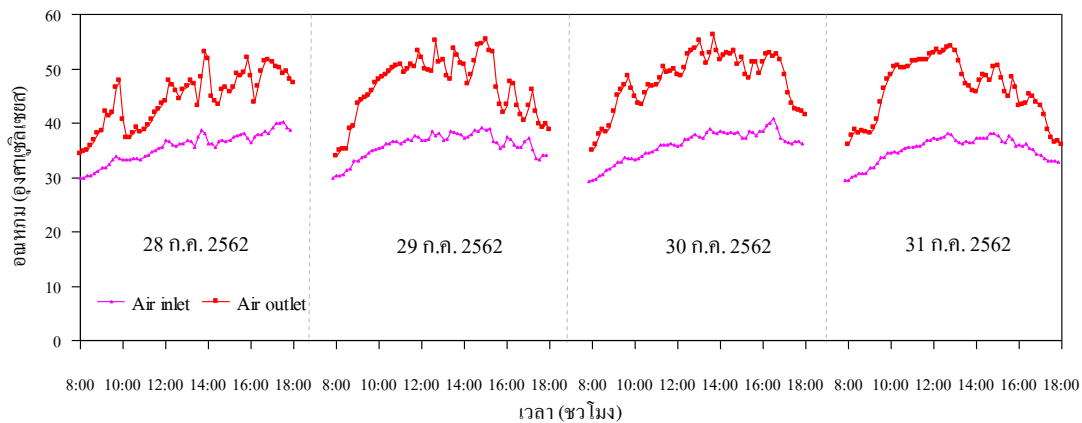
สำหรับการทดลองอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้เสนอผลการทดลองในช่วงวันที่ 28-31 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 โดยทำการทดลองอบแห้งกล้วยแบบเต็มพื้นที่ภายในเครื่องอบแห้ง ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีลักษณะของท้องฟ้าแจ่มใส และมีเมฆบางส่วนตลอดระยะเวลาของการทดลองโดยมีค่าความชื้นรังสีอาทิตย์อยู่ในช่วง 112 - 1,273 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าความชื้นรังสีอาทิตย์สูงสุดอยู่ในวันแรกของการทดลอง ดังรูปที่ 3 สำหรับอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งอยู่ในช่วง 33 ถึง 58 องศาเซลเซียส และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งต่ำสุดอยู่ที่ 12% ทำให้มวลกล้วยภายในเครื่องอบแห้งสามารถคายความชื้นได้ดี และสามารถลดความชื้นจาก 73 (%wb) จนเหลือเพียง 25 (%wb) ได้ภายในระยะเวลา 4 วัน ในขณะเดียวกันเมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติจะใช้เวลาถึง 7 - 8 วัน ซึ่งเหลือความชื้นสุดท้าย 40 (%wb) (ดังภาพที่ 3 - 7)



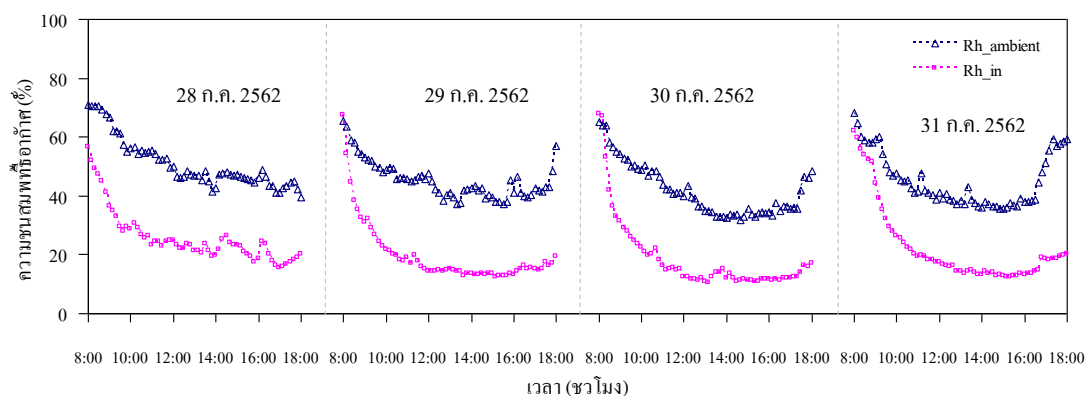
ภาพที่ 3 การแปรค่าของความชื้นรังสีอาทิตย์ในช่วงเวลาทำการทดลอง (28 - 31 ก.ค. 2562)



ภาพที่ 4 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งที่ตำแหน่งต่างๆ เทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมในช่วงเวลาทำการทดลอง (28 - 31 ก.ค. 2562)

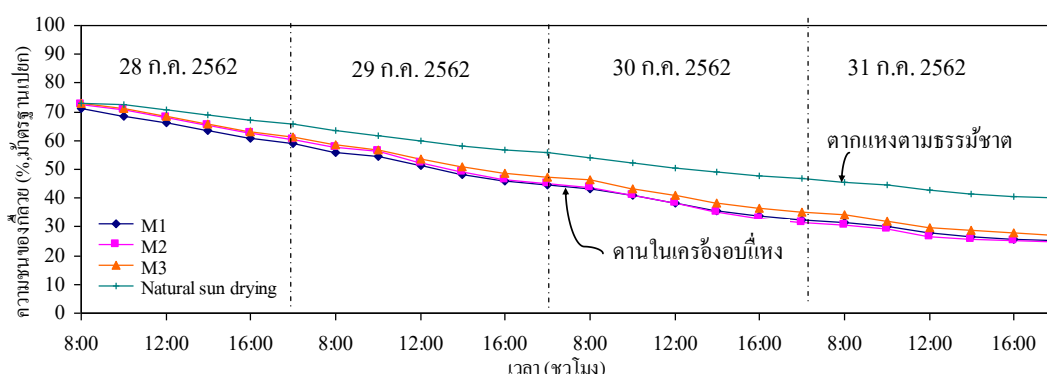


ภาพที่ 5 การแปรค่าของอุณหภูมิอากาศขาเข้าและขาออกจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงเวลาทำการทดลอง (28 - 31 ก.ค. 2562)



ภาพที่ 6 การแปรค่าของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับแวดล้อม

ในช่วงเวลาทำการทดลอง (28 - 31 ก.ค. 2562)



ภาพที่ 7 การแปรค่าความชื้นของกล้วยภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติในช่วงเวลาทำการทดลอง (28 - 31 ก.ค. 2562)

สำหรับการทดลองในครั้งนี้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติได้ถึงครึ่งหนึ่ง และประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอบแห้งกล้วยมีค่าเท่ากับ 13% นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณระยะเวลาคุ่มทุนสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าซึ่งมีระยะเวลา 1.2 ปี โดยคิดจากต้นทุนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ราคา 12,000 บาท และมีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทดสอบปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ของกล้วยแห้งที่อบแห้งภายในเครื่องอบแห้ง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.53 ซึ่งมีค่าต่ำกว่า 0.6 ซึ่งทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ (Erickson, 1982) สามารถเก็บได้ระยะเวลานานกว่าการตากแห้งตามธรรมชาติ และกล้วยอบแห้งที่ได้มีความสะอาดไม่มีการปนเปื้อนฝุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ ทำให้มีคุณภาพดี

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบแห้งกล้วยน้ำว้าด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือนในครั้งนี้สามารถอบแห้งกล้วยได้ครั้งละ 10 กิโลกรัม แบบเต็มพื้นที่ เครื่องอบแห้งมีประสิทธิภาพ 13% สำหรับการอบแห้งกล้วย สามารถใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเพียง 4 วัน เมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติที่ใช้ระยะเวลา 7 - 8 วัน นอกจากนี้กล้วยอบแห้งที่ได้ยังมีความสะอาดปราศจากฝุ่นละออง และแมลงต่าง ๆ ที่มารบกวน ทำให้กล้วยอบแห้งมีคุณภาพ และยังสามารถเก็บได้ระยะเวลานานขึ้นเนื่องจากผลของค่าปริมาณน้ำอิสระที่ได้เพียง 0.53 ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดครัวเรือนนี้ยังมีความเหมาะสมกับคนไทย สามารถใช้งานได้ง่าย ไม่ซับซ้อน คล้ายกับการตากแห้งโดยทั่วไปที่คนไทยส่วนใหญ่มีความคุ้นชิน และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้ยังมีระยะคุ้มทุนที่สั้นกว่าเครื่องอบแห้งที่ใช้ไฟฟ้า และแก๊ส เนื่องจากไม่มีต้นทุนทางด้านพลังงาน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเพียง 1.2 ปี



6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์และนักศึกษา สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ธีระพัฒน์ กุวรรณรัตน์, วชิรินทร์ ดงบัง (2551). สมรรถนะของอุปกรณ์อบแห้งกุ้งโดยใช้พลังงาน แสงอาทิตย์, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, โรงแรมโรสการ์เด็นริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน จังหวัดนครปฐม
- เสริม จันทร์ฉาย (2560). เทคโนโลยีอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, นครปฐม: ตำราประกอบการสอน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
- Association of Official Analytical Chemists, (1970). Handbook of the AOAC/Association of Official Analytical Chemists. (3 rd ed.). Washington, DC.(s.n.).
- Audsley, E., & Wheeler, J. (1978). The annual cost of machinery calculated using actual cash flows. Journal of Agricultural Engineering Research, 23(2), pp.189-201.
- Duffie, J.A., Beckman, W.A. (1991). Solar engineering of thermal processes. John Wiley and Sons, New York.
- Eltawil, M.A., Azam, M.M., Alghannam, A.O. (2018). Solar PV powered mixed-mode tunnel dryer for drying potato chips. Renewable Energy, vol. 116, pp. 594-605.
- Erickson L.E. (1982). Recent developments in intermediate moisture foods. Journal of Food Protection, vol. 45(5), pp.484-491.
- Fasoyiro, S., Hovingh, R., Gourama, H., Cutter, C. (2016). Change in water activity and fungal counts of maize-pigeon pea flour during storage utilizing various packaging materials. Procedia Engineering, vol. 159, pp.72-76.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M.H., Ruslan, M.H., Gabbasa, M., Kazem, H.A. (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili. Solar Energy, vol. 99. pp.47-54.
- Janjai, S. (2012). A greenhouse type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination. International Journal Energy and Environment, vol. 3, pp. 383-98.
- Janjai, S., Lakanaboonsong, J., Nunez, M., Thongsathitya, A. (2005). Development of a method for generating operational solar radiation maps from satellite data for satellite data for a tropical environment. Solar Energy, vol. 78, pp.739-751.



- Nabnean, S., Janjai, S., Thepa, S., Sudaprasert, K., Songprakorp, R., Bala, B.K. (2016). Experimental performance of a new design of solar dryer for drying osmotically dehydrated cherry tomatoes. *Renewable Energy*, vol. 94, pp. 147-156.
- Olagunju, O., Mchunu, N., Durand, N., Alter, P., Montet, D., Ijabadeniyi, O. (2018). Effect of milling, fermentation or roasting on water activity, fungal growth, and aflatoxin contamination of Bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) Verdc). *LWT – Food Science and Technology*, vol. 98, pp.533-539.
- Prakash, O., Kumar, A., Laguri, V. (2016). Performance of modified greenhouse dryer with thermal energy storage. *Energy Reports*, vol. 2, pp. 155-162.