

การศึกษาการอบแห้งแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอ็คทีฟสำหรับกล้วย สไลซ์

Study of Active Hybrid Solar Drying for Banana Slices

มณฑนา รังสิโยภาส¹* และ นัทธีธนนท์ พงษ์พานิช²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 ม. 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

*ผู้ติดต่อ: montana@eng.buu.ac.th, 0-3810-2222, 0-3874-5806

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาถึงเงื่อนไขสภาวะอากาศที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งและประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งกล้วยสไลซ์ โดยแหล่งความร้อนที่ใช้ในการศึกษาการอบแห้งจะเป็นการผสมผสานกันระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานแสงอาทิตย์

ในการศึกษาจะใช้กล้วยน้ำว้าเป็นวัตถุดิบในการอบแห้งมีพัลลคมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้อากาศร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ไหลผ่านขดลวดความร้อนก่อนไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง ในการทดลองจะปรับอัตราการไหลอากาศที่ทางเข้าให้มีความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที ควบคุมอุณหภูมิห้องอบแห้งที่ 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส และที่ความเร็วอากาศทางเข้า 4 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิห้องอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส

การอบจะเริ่มจากความชื้นมาตรฐานแห้งตั้งต้นประมาณ 181.30 %db จนกระทั่งได้กล้วยสไลซ์ที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายประมาณ 4%db ผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้ง 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียสที่ความเร็วอากาศ 3 เมตรต่อวินาที อัตราการอบแห้งมีค่า 0.68, 0.73 และ 0.79 kg_{water}/h ตามลำดับและค่าความต้องการพลังงานจำเพาะ 4.44, 5.23 และ 5.31 kWh/kg_{water} และประสิทธิภาพทางความร้อน 10.95, 9.34 และ 9.24 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากผลทดสอบการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในห้องอบทำให้เวลาในการอบรวมถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาอบลดลงและค่าความต้องการความร้อนจำเพาะสูงขึ้นเมื่อเปลี่ยนมาใช้ความเร็วอากาศเป็น 4 เมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส อัตราการอบแห้ง 0.73 kg_{water}/h และค่าความต้องการพลังงานจำเพาะ 4.23 kWh/kg_{water} และประสิทธิภาพทางความร้อน 10.73 เปอร์เซ็นต์ ผลทดสอบที่ได้เมื่อความเร็วลมที่ทางเข้าเพิ่มขึ้นทำให้เวลาที่ใช้ในการอบและค่าความต้องการความร้อนจำเพาะลดลง รวมถึงทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น

คำหลัก: การอบแห้ง, พลังงานแสงอาทิตย์, กล้วยสไลซ์

ETM-2040

Abstract

This paper concerns the study of the influence of drying conditions on the drying rate and thermal efficiency of the banana slices dryer. The active hybrid solar dryer powered by solar energy integrated with electrical energy was used to conduct experiments.

The ambient air was induced by a fan and passed through the solar collector and the heating elements before entering to the dryer. Drying experiments were carried out by varying air velocity at 3 and 4 m/s as well as drying temperature in various values; 50, 55, 60 degree Celsius. Longitudinal sliced banana with approximated initial moisture content of 181.30 %db were dried continuously in the fixed bed hybrid solar dryer until achieving the final moisture contents of nearly 4 %db. The experimental results for the air velocity at 3 m/s and the drying temperature of 50, 55, and 60 degree Celsius in terms of drying rate were 0.68, 0.73, and 0.79 kg_{water}/h, specific energy consumptions were 4.44, 5.23, and 5.31 kWh/kg_{water}, and the thermal efficiency of dryer were 10.95, 9.34, and 9.24 respectively. From the results, increasing drying temperature caused the reduction of drying time and thermal efficiency whereas the increase of the drying rate and the specific energy consumption. Furthermore, air velocity was increased to 4 m/s at the drying temperature of 50 degree Celsius. The drying rate, the specific energy consumption, and the dryer thermal efficiency were 0.73 kg_{water}/h, 4.23 kWh/kg_{water}, and 10.73 percent respectively. The results have shown that when the air velocity was increased, causing the lower of drying time and the specific energy consumption, and the higher of drying rate and the thermal efficiency of dryer.

Keywords: drying, solar energy, banana slices

ETM-2040

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมกรรมการแปรรูปทางการเกษตร โดยเฉพาะการถนอมอาหารโดยการอบแห้งนั้นมีการใช้พลังงานสูง สำหรับการอบแห้งกล้วยเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านจากการตากแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ต่อมาได้ถูกพัฒนาเป็นการอบแห้งโดยใช้พลังงานความร้อนจากแหล่งพลังงานในรูปแบบต่างๆ รวมถึงพลังงานความร้อนจากแก๊สธรรมชาติเหลวทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งเหลือเพียง 8 ชั่วโมง [1] แต่เมื่อเทียบเป็นปริมาณพลังงานยังถือว่าสิ้นเปลืองและจากแนวโน้มของราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจะทำให้ต้นทุนการแปรรูปสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานเหล่านั้นจึงมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานในการให้ความร้อนในกระบวนการอบแห้ง

การค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง R. Baini and T.A.G. Langrish [2] ได้ทดลองอบแห้งกล้วยที่มีระดับความสุกต่างกันโดยใช้ตู้อบแห้งไอน้ำร้อน [3] เพื่อประเมินผลของการพัฒนาสีของกล้วยที่อบแห้งด้วยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง 50 ถึง 100 °C ซึ่งพบว่าสีของกล้วยจะเปลี่ยนแปลงที่อุณหภูมิสูงกว่า 80 °C กล้วยสุกจัดและสุกปานกลางจะมีสีน้ำตาลเข้มกว่ากล้วยดิบ และยังพบอีกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและความเร็วอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลน้อยมาก A.A. Hassanain [4] ได้ศึกษาการอบแห้งกล้วยด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งระบบแอคทีฟและพาสซีฟและศึกษาผลของการอบแห้งเมื่อห้องอบมีการจัดวางในแนวนอนเปรียบเทียบกับแนวตั้ง การอบใช้กล้วยสไลซ์บาง 0.5 – 1 cm วางแผงรับรังสีอาทิตย์เอียงตามละติจูดที่ตั้ง พบว่าการอบแบบแอคทีฟเร็วกว่าแบบพาสซีฟและการจัดวางห้องอบแนวนอนจะแห้งเร็วกว่าวางแนวตั้ง การอบแห้งเป็นแบบไม่ต่อเนื่องเพราะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงแหล่งเดียวจึงใช้เวลาอบแห้งนานประมาณ 3 ถึง 4 วัน สำหรับการอบแห้งกล้วยในประเทศไทย Somchart Soponronnarit et al. [5] ศึกษาและเปรียบเทียบการอบแห้งกล้วยโดยวิธีการอบแห้งต่างกัน ผลการทดลอง

แสดงให้เห็นว่า ในการอบกล้วย 25 กิโลกรัมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์และให้พาความร้อนโดยธรรมชาติใช้เวลาอบต่อครั้ง 6-7 วัน ประสิทธิภาพการอบแห้งเฉลี่ยของการอบแห้งด้วย LPG แบบพาความร้อนโดยบังคับ การอบแห้งแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์และ LPG การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนโดยธรรมชาติ เป็น 30.0% 16.1% และ 12.5% ตามลำดับ ไพฑูรย์ รูปบุชาและคณะ [6] ได้ศึกษาและสร้างตู้อบกล้วยชนิดขดลวดความร้อนพบว่าอุณหภูมิอบที่ 90 องศาเซลเซียสเป็นการทำงานที่เหมาะสมทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 7.0 กิโลวัตต์ ชั่วโมงและใช้เวลาอบ 10 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจของนักวิจัยในการศึกษาการออกแบบและทดสอบสมรรถนะเครื่องอบแห้งที่ใช้ตัวรับและเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบในการอบแห้งที่อุณหภูมิไม่สูงมากนัก [7-8] และ Hamid Moghadam et al. [9] ได้ศึกษามุมเอียงของแผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่เหมาะสมและได้ข้อสรุปว่าองศาของมุมเอียงที่เหมาะสมที่ให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกับละติจูดที่ตั้ง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาและปัญหาของต้นทุนด้านพลังงานนำมาสู่การศึกษาการอบแห้งกล้วยสไลซ์ที่เลือกใช้แหล่งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากขดลวดความร้อนและการอบแห้งเป็นแบบแอคทีฟเพื่อให้ระยะเวลาการอบแห้งแต่ละครั้งสั้นและอบเสร็จภายในวันเดียวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดเชื้อรา โดยมุ่งเน้นศึกษาปัจจัยและเงื่อนไขสภาวะอากาศที่ให้อบแห้ง ได้แก่ ความเร็วอากาศ และอุณหภูมิในห้องอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ

ในการอบแห้งจะเลือกกล้วยน้ำว้าที่มีระดับความสุกปานกลางปอกเปลือกแล้วแช่ในน้ำปูนใสประมาณ 10 นาทีแล้วนำมาหั่นสไลซ์ตามขวางให้มีขนาดความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร [10]

ETM-2040

2.2 อุปกรณ์

การทดลองจะใช้เครื่องอบแห้งแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์แบบตู้ ถาดอยู่กับที่ซึ่งเหมาะสมผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของแข็งที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันได้ [11]

(1) ห้องอบแห้ง ทำด้วยสังกะสีแผ่นเรียบขนาดกว้าง 1.116 เมตร ยาว 1.116 เมตร สูง 0.94 เมตร หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว ข้างในประกอบด้วยถาดวางกล้วย 7 ถาด

(2) ท่อส่งลมร้อน ทำจากเหล็กแผ่นชุบสังกะสีหุ้มฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว

(3) แผงรับรังสีความร้อนทำด้วยอลูมิเนียมแผ่นสีดำ มีกระจกปิดด้านบนและหุ้มฉนวนด้านข้างและด้านหลัง

(4) ขดลวดความร้อนเลือกใช้ขดลวดความร้อนที่มีพิกัดกำลังไฟฟ้า 9 กิโลวัตต์

(5) พัดลมแบบแรงเหวี่ยงขนาด 186 วัตต์

เครื่องอบแห้งนี้มีส่วนประกอบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการทำงาน อากาศถูกบังคับให้ไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์โดยพัดลม เมื่อผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์จึงได้รับความร้อนส่วนหนึ่งก่อนที่จะไหลผ่านขดลวดความร้อนเพื่อรับความร้อนจนได้อุณหภูมิตามที่ติดตั้งค่าไว้ อากาศร้อนดังกล่าวจะไหลเข้าห้องอบเพื่อระเหยน้ำจากกล้วยสไลซ์ ในแต่ละครั้งของการอบแห้งจะใช้กล้วยน้ำว่าครั้งละ 15 กิโลกรัมโดยวางจัดเรียงบนถาดไม่ให้ซ้อนทับกันก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้ง

2.3 การทดลองอบแห้ง

การทดลองอบแห้งจะทดลองอบแห้งกล้วยสไลซ์ที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งตั้งต้นประมาณ 181.30 %db

จนกระทั่งได้กล้วยสไลซ์ที่มีความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้ายประมาณ 4%db โดยในการอบแห้งจะควบคุมอุณหภูมิในห้องอบแห้งที่ 50 55 และ 60 องศาเซลเซียสสำหรับความเร็วอากาศทางเข้าก่อนเข้าห้องอบ 3 เมตรต่อวินาที และทดสอบเพิ่มโดยการเพิ่มความเร็วอากาศทางเข้าเป็น 4 เมตรต่อวินาที ควบคุมอุณหภูมิห้องอบไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส

2.4 การวัดและเก็บผลการทดลอง

เริ่มจากการปรับความเร็วอากาศให้ได้ตามต้องการ จากนั้นเปิดการทำงานของเครื่องอบแห้งทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีเพื่ออุ่นอากาศภายในห้องอบให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิปรับตั้งก่อนนำผลิตภัณฑ์เข้าห้องอบแห้ง การอบแห้งจะเริ่มตั้งแต่วันที่ 9.00 น. ไปจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นตามต้องการ ทำการวัดคุณสมบัติอากาศโดยติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 และบันทึกผลทุก ๆ ชั่วโมงตลอดการทดลอง ข้อมูลที่รวบรวมได้แก่

อุณหภูมิอากาศโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K บันทึกผลโดยใช้ Data logger (The Agilent รุ่น PH34970A)

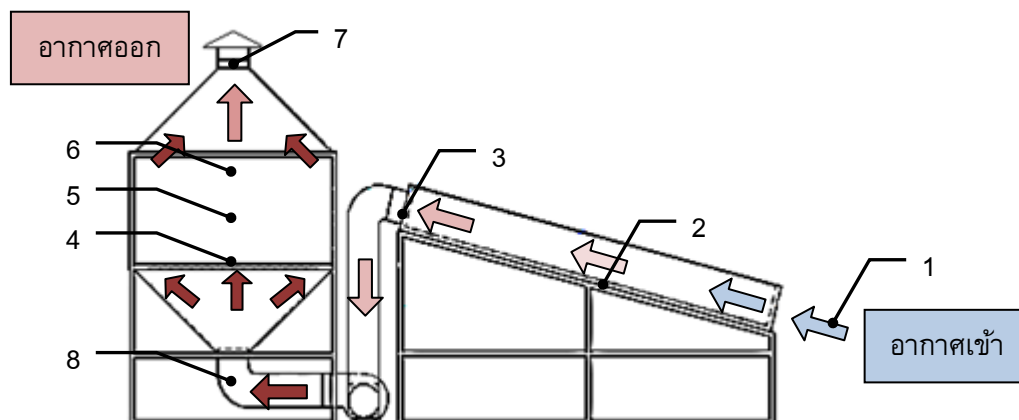
ความเร็วอากาศก่อนเข้าห้องอบโดยใช้เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ Testo 435

ความชื้นของอากาศโดยใช้เครื่องวัดความชื้น Testostor 175

นอกจากนี้จะหามวลของกล้วยสไลซ์โดยใช้เครื่องชั่งดิจิตอล Sartorius และวัดกำลังไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยใช้ power analyzer Ritchtmass RP-3430 ทุกชั่วโมงจนกระทั่งสิ้นสุดการอบแห้ง



ETM-2040



- 1 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ทางเข้าแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ($T_{air,i}$, RH_i)
- 2 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ผิวของแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ (T_c)
- 3 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศที่ทางออกแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ ($T_{air,o}$)
- 4 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งระดับล่างสุด ($T_{d,bottom}$)
- 5 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งระดับกึ่งกลาง ($T_{d,middle}$)
- 6 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งระดับบนสุด ($T_{d,top}$)
- 7 - ตำแหน่งวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ช่องระบายอากาศ (T_{exit} , RH_o)
- 8 - ตำแหน่งวัดความเร็วอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้ง (V)

รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งวัดข้อมูลได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วอากาศ

2.4 การคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูล

ปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์จะอ้างอิงเทียบกับมวลแห้งของผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียกสัดส่วนระหว่างมวลน้ำในผลิตภัณฑ์ต่อมวลแห้งของผลิตภัณฑ์นี้ว่า ความชื้นมาตรฐานแห้งของผลิตภัณฑ์ (Moisture content dry basis, M_d) ดังสมการที่ (1)

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

โดย m_p เป็นมวลของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาใด ๆ (g)
 m_d เป็นมวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (g)

ในการศึกษาการอบแห้ง การหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (Dryer efficiency, η_d) สามารถคำนวณได้จากสัดส่วนของปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ต่อ

ปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง ดังแสดงในสมการที่ (2)

$$\eta_d = \frac{m_w h_{fg}}{GA_c t + E_{heater} + E_{fan}} \quad (2)$$

โดย m_w เป็นมวลน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง (kg)

h_{fg} เป็นปริมาณความร้อนแฝงของการระเหยต่อหน่วยมวล (kJ/kg)

G เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ (W/m^2)

A_c เป็นพื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ (m^2)

t เป็นระยะเวลารับแสงอาทิตย์ (s)

E_{heater} เป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับขด

ลวดความร้อน (kJ)

E_{fan} เป็นปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ให้กับพัดลม (kJ)

ETM-2040

จากสมการที่ (2) ส่วนหนึ่งของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้จากแผงรับรังสีอาทิตย์ สำหรับการประเมินความสามารถในการเก็บพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำได้โดยการคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector efficiency, η_c) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของปริมาณความร้อนที่ทำให้อากาศที่ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นต่อปริมาณรังสีอาทิตย์ที่แผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับ ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-1986 (RA91) [12] สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_c = \frac{\dot{m}_a C_p (T_{a,o} - T_{a,i})}{GA_c} \quad (3)$$

โดย $\dot{m}_a$ เป็นอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

C_p เป็นค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg.°C)

$T_{a,i}$ เป็นอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ (°C)

$T_{a,o}$ เป็นอุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (°C)

ความต้องการพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions, SEC) เป็นดัชนีอีกค่าที่บ่งชี้ถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เพื่อระเหยน้ำหนึ่งหน่วยมวลออกจากผลิตภัณฑ์ จึงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของการอบแห้ง

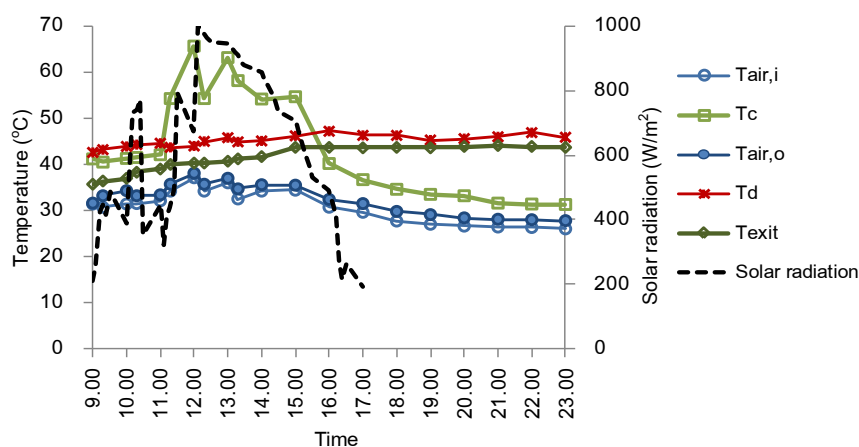
$$SEC = \frac{\text{Energy Consumption(kWh)}}{\text{Evaporated water(kg)}} \quad (4)$$

3. ผลและวิจารณ์

จากการทดลองอบแห้งกล้วยสไลซ์ที่เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมห้องอบแห้งที่อุณหภูมิในห้องอบแห้งและความเร็วอากาศที่ทางเข้าแตกต่างกัน ผลที่ได้ถูกนำมาแสดงในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

3.1 อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งและความเข้มแสงอาทิตย์

อุณหภูมิของแผงรับรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศที่ไหลผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเนื่องจากความเข้มรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งผลของอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ตลอดช่วงเวลาการอบแห้งแสดงดังรูปที่ 3



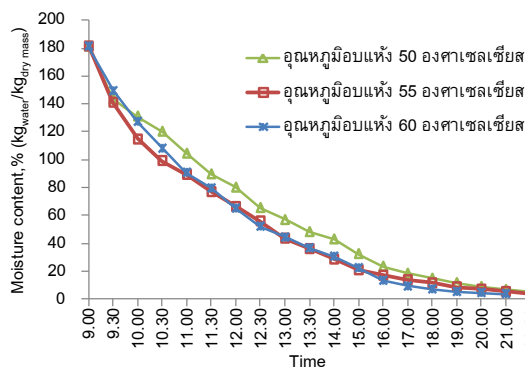
รูปที่ 3 อุณหภูมิตำแหน่ง ณ ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งและความเข้มแสงอาทิตย์ กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 3 เมตรต่อวินาที

ETM-2040

แผงรับรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มข้นมากขึ้นโดยมีค่าสูงสุดในวันที่ทดลองเกือบ 70 องศาเซลเซียส โดยอากาศที่ผ่านแผงรับรังสีอาทิตย์ ที่ความเร็วอากาศทางเข้า 3 เมตรต่อวินาที จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นประมาณ 1.6 องศาเซลเซียส

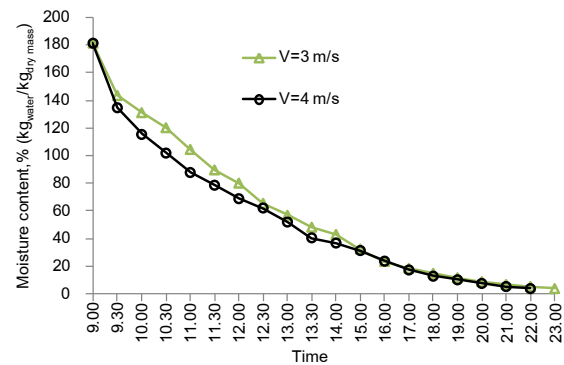
3.2 ผลของอุณหภูมิและความเร็วอากาศต่ออัตราการลดความชื้น

จากการทดลองอบแห้งที่ความเร็วอากาศทางเข้า 3 เมตรต่อวินาที อุณหภูมิอบแห้ง 50, 55 และ 60 องศาเซลเซียส สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบได้ดังรูปที่ 4 พบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสจะส่งผลให้ความชื้นในกล้วยสไลซ์ลดลงช้าที่สุด รองลงมาคือความชื้นในกล้วยสไลซ์ลดลงช้าคืออบแห้งที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส และเร็วที่สุดเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานกับเวลาที่อบแห้งเมื่อความเร็วอากาศ 3 เมตรต่อวินาทีที่อุณหภูมิอบแห้งแตกต่างกัน

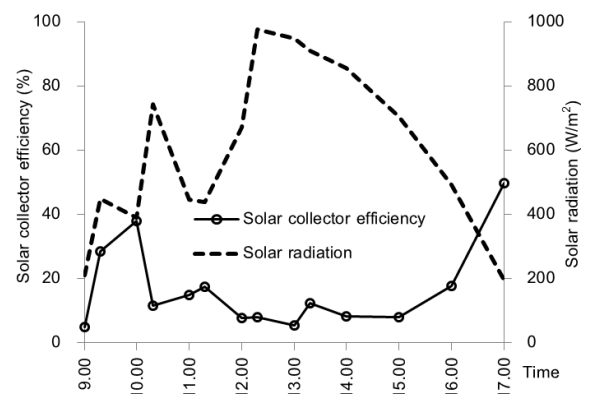
เมื่อทดลองเพิ่มความเร็วของอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งจาก 3 เมตรต่อวินาที เป็น 4 เมตรต่อวินาที ที่อุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากันพบว่า ความชื้นในกล้วยสไลซ์เมื่ออบแห้งโดยใช้อากาศที่ความเร็วอากาศต่ำกว่าจะมีอัตราการลดลงของความชื้นที่ช้ากว่าทำให้ใช้เวลาอบแห้งนานกว่าด้วย ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานกับเวลาที่อบแห้งเมื่ออุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียสที่ความเร็วอากาศแตกต่างกัน

3.3 ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector efficiency)

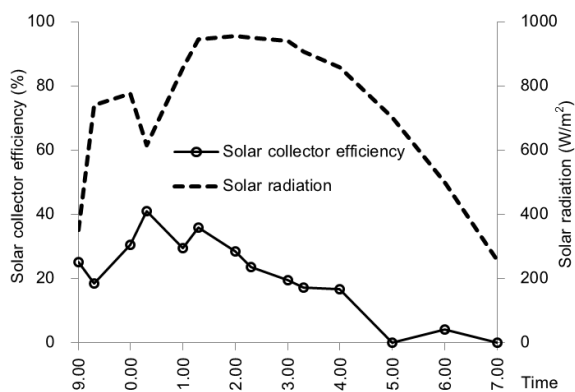
ผลการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ช่วงตามช่วงเวลาของวันแสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นรังสีอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ลดลง ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของการทดลองนี้มีค่าประมาณ 16.56 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและความเข้มข้นรังสี กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 3 เมตรต่อวินาที

สำหรับรูปที่ 7 เป็นผลการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์ในกรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสโดยใช้ความเร็วอากาศ 4 เมตรต่อวินาที พบว่าประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยของการทดลองนี้มีค่าประมาณ 20.67 เปอร์เซ็นต์

ETM-2040



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและความเข้มรังสี กรณีอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 4 เมตรต่อวินาที

3.4 ค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้ง (Dryer efficiency) และ ความต้องการพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumptions, SEC)

เพื่อประเมินการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าและประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งของการอบแห้งกล้วยสไลซ์จากความชื้นมาตรฐานแห้งตั้งต้น 181.30 %db หรือมวลเริ่มต้น 15 กิโลกรัมจนกระทั่งเหลือความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้าย 4%db หรือมวล 5.53 กิโลกรัม แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

	50°C, 3 m/s	55°C, 3 m/s	60°C, 3 m/s	50°C, 4 m/s
Drying time (h)	14	13	12	13
Drying rate (kg _{water} /h)	0.68	0.73	0.79	0.73
Energy Consumption (kWh)	42	49.5	50.28	40.1
SEC (kWh/kg _{water})	4.44	5.23	5.31	4.23
η_d (%)	10.95	9.34	9.24	10.73

ผลที่ได้พบว่าอุณหภูมิอบแห้งที่เพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นหรืออบแห้งได้เร็วขึ้นแต่จะมีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งสูงขึ้นตามไปด้วยส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลดลงดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ

50 องศาเซลเซียสโดยเพิ่มความเร็วอากาศเป็น 4 เมตรต่อวินาที เปรียบเทียบผลที่ได้กับการใช้ความเร็ว 3 เมตรต่อวินาที จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าและความต้องการความร้อนจำเพาะจะลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้น แต่ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งเมื่อความเร็วต่ำจะสูงกว่าเล็กน้อยโดยอาจจะเกิดจากปริมาณความชื้นรังสีอาทิตย์เฉลี่ยในวันที่ทดสอบกับความเร็วอากาศ 4 เมตรต่อวินาทีที่มีค่าสูง

4. สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองอบแห้งกล้วยสไลซ์โดยการผสมพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่ออบแห้งให้ได้มีความชื้นมาตรฐานแห้งสุดท้าย 4% db ที่อุณหภูมิต่างกันที่ความเร็วลมเข้าที่ 3 เมตรต่อวินาที ทดลองเพิ่มที่อุณหภูมิลมร้อน 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ทางเข้าเพิ่มเป็น 4 เมตรต่อวินาที สรุปผลได้ดังนี้

(1) ที่ความเร็วลมเท่ากัน การควบคุมอุณหภูมิลมร้อนที่สูงขึ้นทำให้สามารถอบแห้งกล้วยสไลซ์ได้เร็วขึ้น แต่มีการใช้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงขึ้นด้วย

(2) ในการทดสอบที่ความเร็วลมร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 4 เมตรต่อวินาที จะใช้เวลาการอบแห้งกล้วยสไลซ์เท่ากับการใช้อุณหภูมิลมร้อน 55 องศาเซลเซียส เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าค่า SEC ของการทดลองอย่างหลังใช้พลังงานน้อยกว่าถึง 19.12% เนื่องจากความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิลมร้อนเท่ากันที่ 50 องศาเซลเซียส พบว่าประสิทธิภาพดังกล่าวเพิ่มขึ้นประมาณ 24.82 %

(3) จากการตรวจสอบคุณภาพกล้วยสไลซ์เมื่อผ่านการอบแห้ง พบว่ามีคุณภาพไม่ต่างจากการอบแห้งทั่วไปที่ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ เพียงอย่างเดียวในการอบ สิ่งที่แตกต่างกันคือ การอบแห้งที่ใช้การผสมพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าถึง 3 เท่า

ETM-2040

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากทุนวิจัย
เงินงบประมาณรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา เลขที่ 44/2553

ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้เอื้อเฟื้อข้อมูล
พลังงานแสงอาทิตย์ในจ.ชลบุรีที่เป็นประโยชน์ต่อการ
ดำเนินงานการวิจัย และขอบคุณนายธนากรณ์ เยา
วะเรศ นายศิวารุ มุขระโกษา และนางสาวอนัญญา
คงชื่นใจ ที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

- [1] กรรมมาวิธีการอบแห้ง, Banana Drier 1 (การ
อบแห้งกล้วยน้ำว้า), บริษัท เค.เอ็น.เอส.แมชชีน
จำกัด. Product of Thailand by K.N.S Machine Co,
LTD. 2553 <http://www.toolmartasia.com> . access
on 7/06/2012
- [2] R. Baini, T.A.G. Langrish (2009). Assessment
of colour development in dried bananas –
measurements and implications for modelling,
Journal of Food Engineering, vol. 93, pp.177-182.
- [3] R. Baini, T.A.G. Langrish (2007). Choosing an
appropriate drying model for intermittent and
continuous drying of bananas, Journal of Food
Engineering, vol. 79, pp.330-343.
- [4] A.A. Hassanain (2009). Simple Solar Drying
System for Banana Fruit, World Journal of
Agricultural Sciences, vol. 5 (4), pp.446-455.
- [5] Somchart Soponronnarit, et al. (1997). Banana
Fruit Drying, RERIC International Energy Journal,
vol. 19 (2), pp.55-62.
- [6] ไพฑูรย์ รูปบูชา และคณะ การออกแบบสร้างตู้อบ
กล้วย คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์, 2550.
- [7] I. Montero, et al. (2010). Design, construction
and performance testing of a solar dryer for agro

industrial by-products, Energy Conversion and
Management, vol. 51, pp.1510-1521.

- [8] T. Koyuncu (2006). Performance of various
design of solar air heaters for crop drying
applications, Renewable Energy, vol.31, pp.1073–
1088.
- [9] Hamid Moghadam, et al. (2011). Optimization
of solar flat collector inclination, Desalination, vol.
265, pp.107-111.
- [10] Wakjira M., Adugna D., and Berecha G.
(2011). Determining slice thickness of banana
(Musa spp.) for enclosed solar drying using solar
cabinet dryer under Ethiopian condition, American
Journal of Food Technology, vol. 6 (7), pp. 568-
580.
- [11] สมชาติ โสภณธนฤทธิ์ (2540). การอบแห้งเมล็ด
พืชและอาหารบางประเภท, พิมพ์ครั้งที่ 7, ISBN:
974-8107-74-4, หนังสือในโครงการสร้างตำราสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- [12] ASHRAE Standard, Methods of Testing to
Determine the Thermal Performance of Solar
Collectors, ISSN 1041-2336: ANSI/ASHRAE 93-
1986 (RA91).