

การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบแห้งลำไยโดยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ An Improvement of a Longan Dryer Performance by Installing Solar Collectors

ฉันทนา พันธุ์เหล็ก¹ ศิรินุช ชินदारุคส์² จอมภพ แววงศ์³

^{1,2}ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ จังหวัดพิจิตร 65000

โทร 0-5526-1024 โทรสาร 0-5526-1025 E-mail: chantana_pl@hotmail.com

³ศูนย์วิจัยและสาธิตระบบพลังงานทดแทน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ จังหวัดพัทลุง 93110

Chantana Punlek¹ Sirinuch Chindaruksa² and Jompob Waewsak³

^{1,2}Physics Department, Faculty of Science, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

Tel: 0-5526-1024 Fax: 0-5526-1025 E-mail: chantana_pl@hotmail.com

³Renewable Energy System Research and Demonstration Center (RESRDeC)

Physics Department, Faculty of Science, Thaksin University, Phattalung 93110, Thailand

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วย โดยทำการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 5 m² เพื่อใช้อุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และทดลองอบแห้งตะไคร้หลังจากปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง โดยมีการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80% จากผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ระยะเวลาอบแห้ง 7 ชั่วโมง สามารถลดความชื้นจากเริ่มต้น 310%db เหลือ 12%db ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 810 W/m² และสามารถเพิ่มอุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องอบแห้งได้เฉลี่ยประมาณ 20°C จากอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย 28°C ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 40% การใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลสามารถประหยัดพลังงานชีวมวลได้ 23% ของพลังงานที่ใช้ก่อนมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ประสิทธิภาพของระบบอบแห้งหลังการปรับปรุงสมรรถนะมีค่าเป็น 12% โดยเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 19%

Abstract

The performance of a biomass longan dryer was improved by applying solar energy. Corrugated plate solar collectors size of 5 m² was installed to preheat inlet air before loaded through a heat exchanger. The performance of a solar-biomass longan dryer was investigated by drying the lemon grasses at drying conditions of 80% air recycling and drying air temperature of 70 °C. Experimental results showed that the drying time with the initial moisture content of 310%db down to the final moisture content of 12%db was about 7 hours under the average solar radiation intensity of 850 W/m². Furthermore, corrugated plate solar collectors could increase the drying air temperature by 20°C, from the average ambient temperature of 28°C. An

average solar collector efficiency was about 40% and the biomass energy consumption saving was about 23%. The efficiency of an improved biomass longan dryer was about 12%, higher than that of a conventional dryer by about 19%.

1. บทนำ

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งของเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเก็บรักษาคุณภาพผลิตภัณฑ์ ลดความเสียหาย ยืดอายุการเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตร และยังเป็น การเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจอีกทางหนึ่งด้วย [1] ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่นิยมแปรรูปด้วยวิธีอบแห้งเป็นผลไม้ส่วนใหญ่ ลำไยเป็นผลไม้เศรษฐกิจชนิดหนึ่งที่นิยมแปรรูปด้วยการอบแห้งเพื่อลดความเสียหายเนื่องจากผลผลิตล้นตลาด ทำให้ราคาตกต่ำ โดยมีเครื่องอบแห้งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องอบแห้งเชื้อเพลิงจากแก๊สสูง ต้ม น้ำมัน และไฟฟ้า เนื่องจากหาได้ง่าย สะดวกต่อการใช้งาน แต่เชื้อเพลิงที่นิยมใช้เป็นพลังงานสิ้นเปลืองและมีราคาเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้ต้นทุนการผลิตสูงตามไปด้วย และจากการใช้เครื่องอบแห้งเพื่ออบแห้งลำไยเพียงอย่างเดียวมีระยะเวลาที่สามารถอบลำไยได้ประมาณ 60 วันในหนึ่งปีซึ่งเป็นช่วงฤดูเก็บเกี่ยวลำไยเท่านั้น ส่งผลให้จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งลำไยมีระยะเวลานาน จากปัญหาทั้งทางด้านพลังงานและระยะเวลาการใช้เครื่องอบแห้งจึงได้เกิดแนวความคิดใหม่ในการพัฒนาเครื่องอบแห้งลำไยโดยอาศัยพลังงานทดแทน เช่น พลังงานชีวมวล เพื่อลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองในรูปแบบเดิม และศึกษาความเหมาะสมในการใช้เครื่องอบแห้งลำไยเพื่ออบแห้งผลผลิตทางการเกษตรอื่น ๆ นอกฤดูการเก็บเกี่ยวลำไยซึ่งเป็นการส่งเสริมเพื่อให้เกิดการใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอดปี งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค้นคว้าใช้เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลในการอบแห้งตะไคร้ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งที่ได้มีการศึกษาทดลองมาแล้วซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งตะไคร้มีค่าประมาณ 70°C อัตราส่วนการนำ

อากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ในสัดส่วน 80% ของอากาศอบแห้งทั้งหมด และได้ทำการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งจากการใช้พลังงานชีวมวลเพียงอย่างเดียวมาเป็นแบบที่มีการใช้พลังงานชีวมวลร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ จากการศึกษาของงานวิจัยที่มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบแก๊สซิฟิเคชันเพื่ออบแห้งกระเทียมพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 10% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานจากโปรโตเซอร์แก๊สเพียงอย่างเดียว [2] และการใช้พลังงานอาทิตย์ร่วมกับแก๊สสูงต้ม เพื่ออบแห้งกล้วย [3] ปลายหมีก [4] และสับปะรด [5] พบว่าสามารถประหยัดพลังงานในการอบแห้งลงได้ และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งอีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์สำหรับอุ่นอากาศแวดล้อมก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อให้มีการประหยัดพลังงานชีวมวลในการทำอากาศร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการอบแห้ง

2. วัสดุและอุปกรณ์

เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนี้เป็นเครื่องต้นแบบที่ได้ทำการศึกษาและพัฒนาร่วมกันระหว่างมหาวิทยาลัยแม่โจ้กับกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [6] ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งแบบสลับลมร้อน ขนาดความจุลำไย 300 กิโลกรัม มีระบบนำอากาศร้อนจากการอบแห้งกลับมาใช้ใหม่ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนได้แก่

1. ห้องเผาไหม้ ภายในประกอบด้วย ห้องเผาไหม้ และ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ shell and tube โดยแลกเปลี่ยนความร้อนแบบอากาศกับอากาศที่บริเวณผิวท่อภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ห้องเผาไหม้มีลักษณะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 cm ยาว 120 cm

2. ห้องอบแห้ง เป็นห้องอบแห้ง 2 ชั้น ขนาด 40X120X120 cm มีระบบสลับลมโดยใช้แดมเปอร์ (damper) ซึ่งติดตั้งที่ท่ออากาศขาเข้าห้องอบแห้งทำหน้าที่บังคับลมร้อนให้เข้าห้องอบแห้งด้านบนหรือด้านล่าง

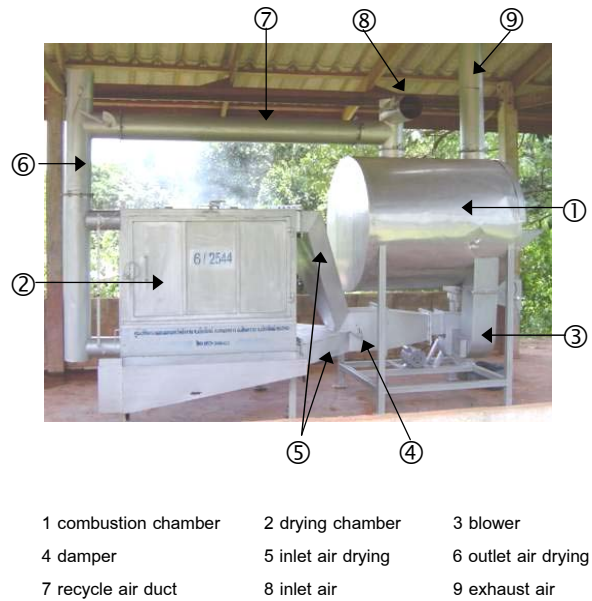
เครื่องอบแห้งมีรายละเอียดและลักษณะแสดงดังรูปที่ 1

3. วิธีการดำเนินงานวิจัยและผลการทดลอง

สำหรับการทดลองใช้ผลิตภัณฑ์ในการอบแห้ง คือ ตะไคร้ โดยจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งแบบชั้นหนาซึ่งแบ่งเป็น 3 ชั้นตอน ดังนี้

1. การทดลองอบแห้งก่อนมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง โดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการอบแห้งตะไคร้ด้วยเครื่องอบแห้งลำไยที่ได้มีการศึกษาทดลองมาแล้ว ได้แก่ ความหนาชั้นผลิตภัณฑ์ 30 cm และสัดส่วนการนำอากาศร้อนกลับมาใช้ใหม่ 80% ของอากาศอบแห้งทั้งหมด

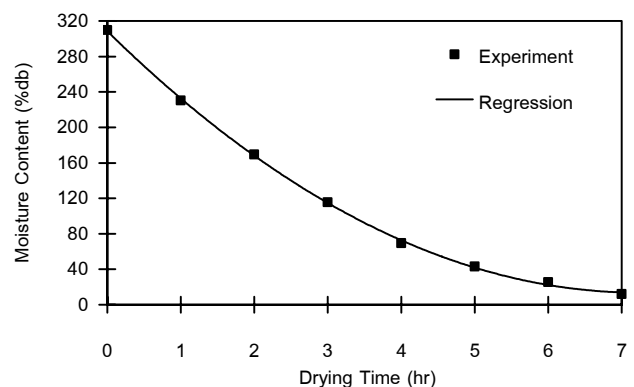
2. การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งลำไย โดยทำการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานชีวมวลในการอุ่นอากาศแวดล้อมก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวล

3. การทดลองอบแห้งหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งและทำการศึกษาเปรียบเทียบความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชีวมวลในการอบแห้งและประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

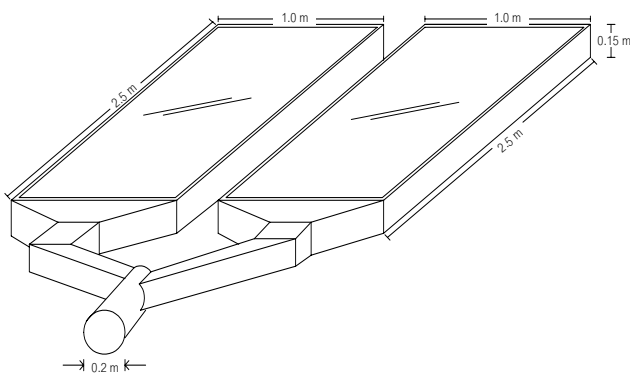
ในการอบแห้งจะพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ และระยะเวลาอบแห้ง โดยมีรายละเอียดของผลการทดลองและการวิเคราะห์ดังนี้ ในการอบแห้งก่อนมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ซึ่งทำการทดลองอบแห้งตะไคร้ที่อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย 70°C อบแห้งตะไคร้จำนวน 78 kg ที่ความชื้นเริ่มต้น 310%db ใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง ลดความชื้นลงเหลือ 12%db ได้ตะไคร้แห้งจำนวน 19 kg การทดลองของปริมาณความชื้นของตะไคร้ในช่วงเวลาการอบแห้งแสดงดังกราฟรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของตะไคร้

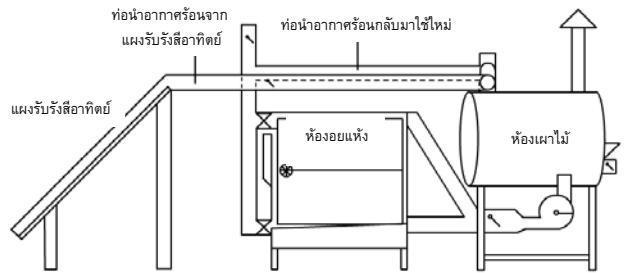
การอบแห้งตะไคร้ก่อนมีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง ใช้พลังงานจาก 2 แหล่งคือ พลังงานชีวมวลจากไม้ฟืน และพลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจากไม้ฟืน 3.9 kg/hr และจากพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 4.43 kWh เมื่อคิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนรวมมีค่าเท่ากับ 427.9 MJ คิดเป็นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่อปริมาณน้ำที่ระเหยเท่ากับ 7.25 MJ/kg H₂O_{evap}

ขั้นตอนของการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งลำไย ได้ทำการออกแบบ สร้าง และติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ทำ การออกแบบเป็นแบบแผ่นลอนเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลในการอบแห้ง โดยใช้รังสีอาทิตย์ในการอุ่นอากาศแวดล้อมในช่วงเวลา กลางวัน และใช้เป็นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแทน อากาศอุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งในการออกแบบได้พิจารณาให้แผงรับรังสี อาทิตย์มีประสิทธิภาพ 60% [7] และได้ออกแบบให้แผงรับรังสีอาทิตย์ เป็นแบบมีชั้นอากาศหนึ่งอยู่ด้านบนและชั้นอากาศไหลอยู่ด้านล่าง ส่วน ของตัวรับรังสีอาทิตย์ทำจากสังกะสีแบบลอนคลื่นทาสีดำด้าน จากการ คำนวณได้พื้นที่แผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 5 m² โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนๆ ละ 2.5 m² ต่อกันแบบขนานมีท่อดึงอากาศออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ รวมกันที่จุดเดียวโดยมีลักษณะและรายละเอียด ดังรูปที่ 3



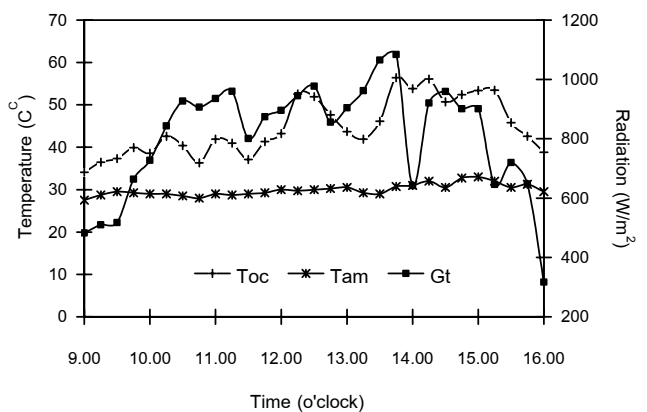
รูปที่ 3 แผงรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นลอน

ในการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์เข้ากับเครื่องอบแห้งลำไย อากาศ แวดล้อมจะไหลผ่านตัวรับรังสีอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของอากาศมีค่า สูงขึ้นและไหลออกจากช่องอากาศขาออกของแผงรับรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ เป็นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งลักษณะการติดตั้ง แผงรับรังสีอาทิตย์เข้ากับเครื่องอบแห้งมีลักษณะดังรูปที่ 4



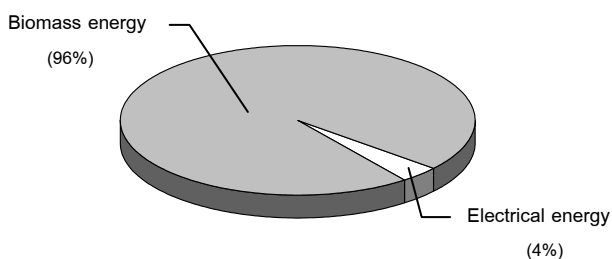
รูปที่ 4 การติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์กับเครื่องอบแห้งพลังงานชีวมวล

ผลการทดลองหลังจากที่มีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งลำไยแล้วพบว่า เมื่ออบแห้งตะไคร้จำนวน 80 kg อุณหภูมิอากาศ สำหรับการอบแห้งตะไคร้มีค่าเฉลี่ยประมาณ 70 °C ระยะเวลาในการอบแห้ง 7 ชั่วโมง ได้ตะไคร้แห้งจำนวน 18.5 kg ในการนำอากาศร้อน จากแผงรับรังสีอาทิตย์มาใช้แทนอากาศแวดล้อมก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง นั้นอุณหภูมิของอากาศจะแปรผันตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใน การทดลองที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย (G_t) 810 w/m² สามารถเพิ่ม อุณหภูมิก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจากอุณหภูมิแวดล้อม เฉลี่ย (T_{am}) 28°C เป็นอุณหภูมิออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ (T_{oc}) มี ค่าเฉลี่ย 45°C ที่ประสิทธิภาพแผงรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยประมาณ 40% ซึ่งการแปรผันของอุณหภูมิกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์แสดงกราฟ รูปที่ 5 การทดลองอบแห้งตะไคร้หลังมีการปรับปรุงสมรรถนะของ เครื่องอบแห้งลำไยมีสัดส่วนการใช้พลังงานดังนี้ 1) การใช้พลังงาน แสงอาทิตย์ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่า เท่ากับ 102.06 MJ 2) อัตราการสิ้นเปลืองไม้ฟืนในการอบแห้งเท่ากับ 3 kg/h และ 3) พลังงานไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์มีค่าเท่ากับ 3.84 kWh

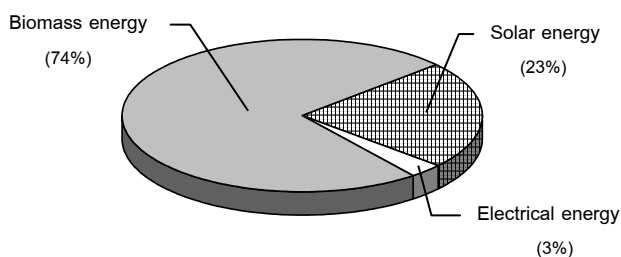


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศขา ออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์

การใช้พลังงานในการอบแห้งทั้งหมดคิดเป็นพลังงานความร้อนรวมเท่ากับ 442.93 MJ หรือคิดเป็นพลังงานรวมต่อปริมาณน้ำที่ระเหยเท่ากับ 7.20 MJ/kg H₂O_{evap} เมื่อพิจารณาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งโดยเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานชีวมวลอย่างเดียวในการอบแห้งก่อนและหลังปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพบว่ามีการสิ้นเปลืองพลังงานชีวมวลจำเพาะเท่ากับ 6.99 MJ/kg H₂O_{evap} และ 5.29 MJ/kg H₂O_{evap} ตามลำดับ หรือคิดเป็นสัดส่วนการประหยัดพลังงานได้เท่ากับ 23.1% โดยมีสัดส่วนในการใช้พลังงานอบแห้งก่อนและหลังมีปรับปรุงเครื่องอบแห้งแสดงดังกราฟรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งตะไคร้ก่อนมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง



รูปที่ 7 สัดส่วนการใช้พลังงานในการอบแห้งตะไคร้หลังมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง

การพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งก่อนและหลังการปรับปรุงเครื่องอบแห้งโดยการติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ จะพิจารณาจากสมการ [8]

$$\eta = \frac{W \cdot h_{fg}}{Q_B + Q_E + Q_S}$$

เมื่อ η = ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง
 W = ปริมาณน้ำที่ระเหย (kg)
 h_{fg} = สัมประสิทธิ์การระเหยของน้ำ (MJ/kg)

Q_B = พลังงานชีวมวลที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)
 Q_E = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)
 Q_S = พลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)

โดยพบว่าก่อนการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้งประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีค่าเท่ากับ 12% โดยสัดส่วนการใช้พลังงานมาจาก พลังงานไฟฟ้า และพลังงานชีวมวล ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งหลังมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้งแล้วเพิ่มขึ้นเป็น 19% โดยสัดส่วนการใช้พลังงานชีวมวลลดลงเมื่อมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมด้วย

5. สรุปผลการทดลอง

ในการปรับปรุงเครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลโดยทำการออกแบบและติดตั้งแผงรับรังสีอาทิตย์ขนาด 5 m² เพื่อใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และทำการทดลองอบแห้งตะไคร้และเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงานทั้งก่อนและหลังมีการปรับปรุงเครื่องอบแห้ง ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุดประมาณ 40% ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย 810 W/m² โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิจาก 28°C เป็น 45°C และในการอบแห้งใบมะกรูดใช้พลังงานเท่ากับ 7.20 MJ/kg H₂O_{evap} โดยสามารถประหยัดพลังงานชีวมวลได้ประมาณ 23.1% เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง หลังจากการปรับปรุงสมรรถนะเครื่องอบแห้งแล้วพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้นจาก 12% เป็น 19%

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ ดุษฎี มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องอบแห้งลำไยพลังงานชีวมวลเพื่อใช้สำหรับการศึกษาวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- สมชาติ โสภณธนฤทธิ์. (2537). การอบแห้งเมล็ดพืช. กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- จงจิตร หิรัญลาภ และคณะ. (2541). การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งกระเทียมโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากชีวภาพ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. หน้า 23-32.
- ณัฐวุฒิ ดุษฎี. (2534). การพัฒนาระบบอบแห้งผลไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเสริม. วิทยานิพนธ์ วท.ม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ศิริหนู จินตารักษ์. (2538). การพัฒนาการอบแห้งปลาหมึกด้วยเครื่องอบแห้งแบบโมดูล. วิทยานิพนธ์ "ฉบับวิจัยและพัฒนา". หน้า 11-20

- 5 Benon Bena and .J.Fuller. (2002). Natural convection solar dryer with biomass back-up heater. Solar energy. Vol.72 P.75-83.
- 6 ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ. 2547. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาทดสอบเตาอบแห้งลำไย. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- 7 ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2531). อนุกรมพลังงานนอกแบบและ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เล่มที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรังสี. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- 8 W.F. STOKER. (1989). Design of thermal system. Third Edition. Singapore: McGraw -Hill.