SWU Engineering Journal (2017) 12(1), 1-10
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 12 ฉบับที่ 1 เดือนมกราคม – มิถุนายน พ.ศ.2560

การศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล

A Study on Performance of a Solar Biomass Hybrid Dryer for Agricultural Product

สุรชัย ณรัฐ จันทร์ศรี
สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ
167 ตำบลนาฝาย อำเภอเมือง จังหวัดชัยภูมิ 36000
E-mail: k_aew474@yahoo.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่มี ตู้อบแห้ง แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งออกแบบและสร้างขึ้นได้นำไปทดสอบการอบพริกที่มีความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 664 มาตรฐานแห้ง จำนวน 2 kg ให้เหลือความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13.5 มาตรฐานแห้ง ภายใต้อุณหภูมิ 80°C ผลจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.27 m/s เป็นความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการรักษาอุณหภูมิที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ได้เฉลี่ยมากกว่า 50°C นานถึง 6 ชั่วโมง และการอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.63 m/s เหมาะสมต่อการทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50°C ภายใน 2 ชั่วโมง ด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน เมื่อทดสอบอบพริกจำนวน 2 kg เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า เครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ 1.25 MJ/kg_{water} และ 1.44 kg/kg_{water} ตามลำดับ พริกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้มีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานพริกแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 57.90

คำสำคัญ: เครื่องอบแห้ง เชื้อเพลิงชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ สมรรถนะการอบแห้ง

ABSTRACT

The performance of a solar biomass hybrid dryer for agricultural product was investigated. The dryer consisting of a drying oven, a solar collector and a biomass gas stove heat exchanger was designed and fabricated for drying 2 kg of chilies to contain moisture less than 13.5 % dry-basis (d.b.) at 80°C. Test results indicated that the wind speed of 7.27 m/s was suitable for flowing hot air which was exchanged from the solar collector for maintaining temperature in the drying oven of more than 50°C with time of 6 hr, approximately. Moreover, the wind speed of 7.63 m/s was suitable for flowing hot air exchanging from the biomass gas stove heat exchanger to increase the drying temperature in the oven more than 50°C in 2 hr. Finally, 2 kg of chilies containing the initial moisture content of 644 % d.b. were dried for 15 hr. The result showed that the specific energy consumption and the specific fuel consumption of this dryer are 1.25 MJ/kg_{water} and 1.44 kg/kg_{water}, respectively. Dried chilies contained the final moisture lower the dried chili standard 57.90 %, approximately.

Keyword: Biomass, Dryer, Dryer Performance, Solar Energy

1. บทนำ

การถนอมอาหารโดยวิธีการทำแห้งเป็นที่นิยมมาช้านานทั้งในระดับครัวเรือนและระดับอุตสาหกรรม การตากแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง (Natural solar drying) เป็นการตากแห้งแบบดั้งเดิม ความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่วางไว้กลางแจ้งสามารถลดลงได้เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์และกระแสลม [1,2] แม้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการตากแห้งในลักษณะนี้จะมีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย แต่พบว่าหลังการอบแห้งผลิตภัณฑ์มีสารปนเปื้อนค่อนข้างสูง และถ้าผลิตภัณฑ์ที่ตากไม่แห้งพอ หรือตากในช่วงอากาศมีความชื้นสูง ผลิตภัณฑ์ก็ประสบปัญหาเกี่ยวกับเชื้อราทำให้ไม่สามารถเก็บผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน และสร้างความเสียหายให้กับผู้ผลิตเป็นอย่างมาก การทำแห้งด้วยวิธีการข้างต้นจึงได้รับพัฒนามาเป็นการอบแห้งด้วยลมร้อน (Hot air drying) โดยผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทำให้แห้งต้องนำมาใส่ตู้อบแห้งแทนการวางไว้กับพื้น แล้วให้ลมร้อนไหลผ่านตู้อบแห้ง ความชื้นของผลิตภัณฑ์ในตู้อบแห้งจะระเหยออกมาพร้อมกับลมร้อน โดยลมร้อนจะถูกระบายออกทางช่องระบายลมทั้งในรูปแบบที่เป็นการอบแห้งที่มีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection drying หรือ Passive drying) และการอบแห้งที่มีการพาความร้อนแบบบังคับ (Forced convection drying หรือ Active drying) [2, 3] เช่น เครื่องอบแห้งแบบแยกส่วนของสกนธ์ และคณะ [4] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ของสุขฤดี [5] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมโดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อนของพิภพ และ สำเริง [6] และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกของรวิภา [7] แม้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทำแห้งด้วยเครื่องอบแห้งประเภทนี้จะมีคุณภาพ และปลอดภัยตามหลักเกณฑ์การผลิตอาหาร แต่เครื่องอบแห้งประเภทนี้เหมาะสำหรับการอบแห้งผลิตภัณฑ์ในช่วงที่มีแสงอาทิตย์สม่ำเสมอเท่านั้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาอบแห้งในช่วงที่แสงแดดไม่เพียงพอ จึงได้นำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบผสมผสาน (Hybrid drying) มาทดแทนการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว การอบแห้งแบบผสมผสานมีลักษณะเหมือนกับการอบแห้งด้วยลมร้อนทุกประการ แต่ลมร้อนที่ไหลผ่านตู้อบแห้งจะได้รับความร้อนจากทั้งพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานในรูปอื่นๆ เช่น พลังงานชีวมวล และพลังงานไฟฟ้า หรือได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนที่ไม่เหมือนกันตั้งแต่ 2 แหล่งขึ้นไป นอกจากเครื่องอบแห้งแบบผสมผสานจะช่วยแก้ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังสามารถช่วยให้ผลิตผลิตภัณฑ์ในระยะที่จำกัดได้ [8] เช่น การอบแห้งพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟาเรด/ไมโครเวฟและลมร้อนของสุภวรรณ และคณะ [9] เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าของธีรเดชและคณะ [10] และของ มัณฑทนา และ นัทธิ์ธนนท์ [11]

การอบแห้งแบบผสมผสานส่วนมากจะเป็นการอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับไฟฟ้า เนื่องจากผู้วิจัยสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ง่ายกว่าการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล แต่ก็มียังมีนักวิจัยอีกกลุ่มได้เล็งเห็นความสำคัญของการนำชีวมวลแข็งมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบผสมผสานที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานชนิดตู้ของกำพล และคณะ [12] แต่เครื่องอบแห้งดังกล่าวมีขนาดใหญ่เหมาะกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงให้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานในระดับครัวเรือนมากขึ้น โดยได้นำเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนมาประยุกต์ใช้เพื่อให้ความร้อนในช่วงที่พื้นที่มีแสงแดดไม่สม่ำเสมอ พร้อมกับศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งที่ได้สร้างขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัสดุอบแห้ง

จังหวัดชัยภูมิเป็นจังหวัดที่มีการปลูกพริกเพื่อส่งออกจำหน่ายทั้งในประเทศและต่างประเทศมากเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศไทย ทั้งในรูปพริกสดและพริกแห้ง [13] แต่พบว่าคุณภาพพริกที่ส่งจำหน่ายมีคุณภาพไม่ดีพอ จังหวัดชัยภูมิจึงได้บรรจุสินค้าทางเกษตรในกลุ่มพริกในยุทธศาสตร์เพื่อการพัฒนา พ.ศ.

2557 - 2560 โดยมุ่งให้เพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าเกษตรและผลิตภัณฑ์ [14] ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกพริกเป็นวัสดุอบแห้ง

2.2 การหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริก

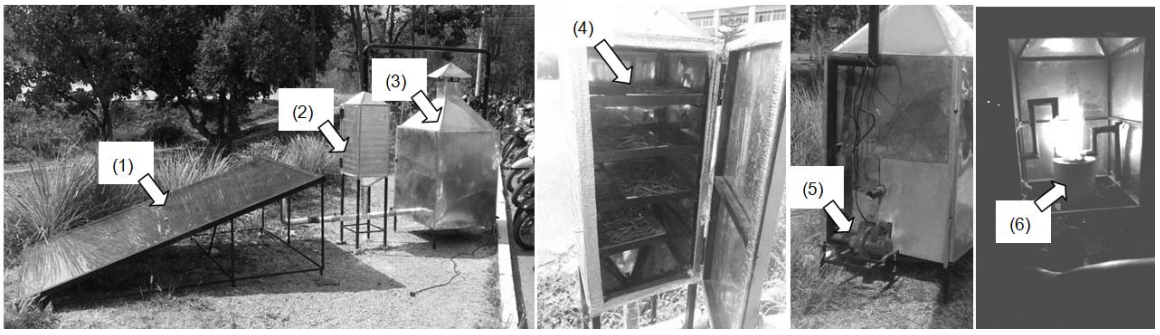
มาตรฐานผลิตภัณฑ์พริกแห้งที่จำหน่ายในท้องตลาดตามประกาศของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ [15] ต้องมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13.5 มาตรฐานแห้ง พริกสดได้นำมาทดสอบเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาเหมาะสมก่อนนำไปออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง โดยอบด้วยตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60, 70, 80, 90 และ 100°C แล้วหาอัตราร้อยละความชื้นของพริกเทียบกับมาตรฐานแห้งของวัสดุดังแสดงในสมการที่ 1 [16]

$$W_s = \frac{W}{m} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ W_s คือ อัตราร้อยละความชื้นแบบมาตรฐานแห้ง
W คือ น้ำหนักของน้ำในวัสดุอบแห้ง (kg)
M คือ น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง (kg)

2.3 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริกสดจำนวน 2 กิโลกรัม โดยใช้อุณหภูมิและระยะเวลาที่ได้จากการศึกษาในหัวข้อ 2.2 ประกอบด้วย ตู้อบแห้ง แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบด้วย (1) แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ (2) ตู้อบ (3) ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน (4) ชั้นวางวัสดุอบ (5) เครื่องเป่าลม และ (6) เตาชีวมวลในระดับครัวเรือน

ตู้อบแบ่งออกเป็น 4 ชั้น (รูปที่ 1) แต่ละชั้นถูกวางสลับกัน เชื่อมต่อเข้ากับแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ทำมาจากแผ่นสังกะสีผิวเรียบพ่นสีดำปิดด้วยแผ่นกระจกซึ่งเว้นช่องว่างสำหรับให้ลมไหลผ่าน พร้อมหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน [17, 18] วางทำมุมกับดวงอาทิตย์มากกว่าละติจูดในพื้นที่ที่ทำการทดสอบ 15° [19] กับแนวระดับในทิศเหนือใต้ [20] ซึ่งขนาดของพื้นที่ของการรับรังสีจากดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสมการที่ 2 [21]

$$A = \frac{mc_p\Delta T}{I_T\eta} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่รับแสงของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (m^2)
m คือ อัตราการไหลของมวลอากาศ (kg/s)
c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (J/kg·K)
ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิอากาศขาออกและอุณหภูมิอากาศขาเข้าแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ (°C)
I_T คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)
η คือ ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ (%)

ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนจากงานวิจัยของศักดิ์ชาย [22] จากการทดสอบประสิทธิภาพความร้อนด้วยวิธีการต้มน้ำโดย

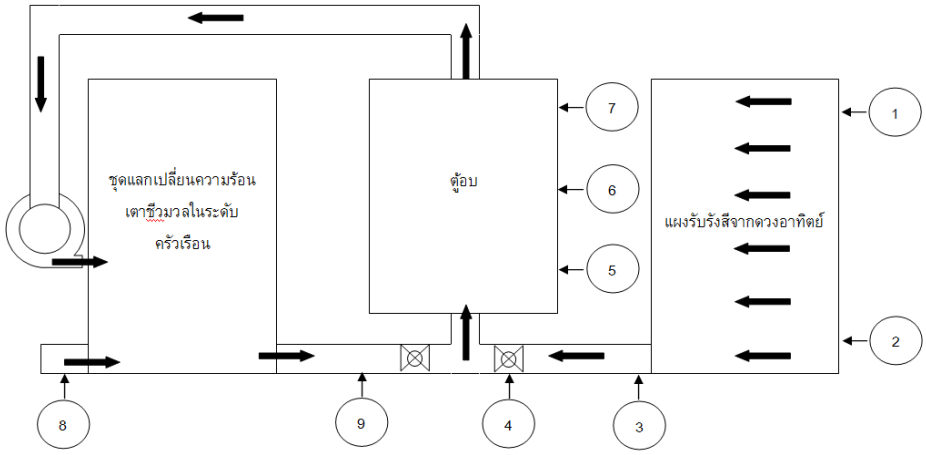
ไม่มีการเป่าลมเข้าสู่ห้องเผาไหม้ [23] และ ใช้เศษไม้ยูคาลิปตัสมีความชื้นอยู่ประมาณร้อยละ 25 มาตรฐานแห้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 cm ซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือทิ้งจากร้านค้าปลีกไม้ยูคาลิปตัสในจังหวัดชัยภูมิเป็นเชื้อเพลิง [24] พบว่า ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนมีประสิทธิภาพอยู่ที่ร้อยละ 74.43 มีอัตราการเผาไหม้เชื้อเพลิงอยู่ที่ 1.37 มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) อยู่ที่ 0.11 kg/kg_{water} และมีการใช้พลังงานสำหรับต้มน้ำอยู่ที่ 18.75 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ใช้หลักการพาความร้อนแบบบังคับ และออกแบบให้มีการนำอากาศที่ไหลออกจากตู้อบแห้งป้อนเข้าสู่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนด้วย

2.4 การทดสอบเครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลได้หาความเร็วลมที่เหมาะต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ (ตำแหน่งที่ 4) และที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน (ตำแหน่งที่ 8) ดังแสดงในรูปที่ 2 และวัดอุณหภูมิอากาศที่ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ทั้งหมด 9 ตำแหน่ง

การวัดอุณหภูมิของอากาศจากแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์สู่ตู้อบแห้ง เริ่มจากวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าตำแหน่งที่ 1 และ 2 จากนั้นวัดอุณหภูมิของอากาศที่ได้แลกเปลี่ยนความร้อนจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ 3 แล้ววัดอุณหภูมิของอากาศที่ตำแหน่งที่ 4 ก่อนที่อากาศจะเข้าสู่ตู้อบแห้งและวัดอุณหภูมิของอากาศในตู้อบแห้งตำแหน่งที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการตรวจสอบความเร็วลม และอุณหภูมิทั้งสิ้น 12 ชั่วโมง

สำหรับการวัดอุณหภูมิของอากาศจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนสู่ตู้อบแห้งกระทำเช่นเดียวกัน แต่จะวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าตำแหน่งที่ 8 วัดอุณหภูมิของอากาศที่ได้แลกเปลี่ยนความร้อนจากชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนในตำแหน่งที่ 9 และวัดอุณหภูมิของอากาศในตู้อบแห้งตำแหน่งที่ 5, 6 และ 7 ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการตรวจสอบความเร็วลม อุณหภูมิ และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 6 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ

เมื่อได้ความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้ในการอบแห้งเครื่องแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ผู้วิจัยทดลองทดสอบอบแห้งพริก โดยเริ่มจากนำพริกแบ่งใส่ถาดจำนวนถาดละ 0.5 kg การอบแห้งจะเริ่มใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในช่วงกลางวันและมีการใช้พลังงานจากชีวมวลในช่วงกลางคืนในขณะอบแห้งพริกจะมีการสลับถาด และกลับพริกทุกๆ ชั่วโมงเป็นเวลา 15 ชั่วโมง และนำพริกแห้งส่งตรวจความชื้นและสีที่ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรม เกษตรเพื่อการส่งออก คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ พร้อมหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific

energy consumption: SEC) [25] และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption: SFC) [23] ดังแสดงในสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ เพื่อเป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงของกระบวนการอบแห้งพริก ทำให้ทราบถึงพลังงานและเชื้อเพลิงที่ใช้ในการระเหยออกจากพริกตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการอบแห้ง และปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากพริก (kg_{water}) คำนวณได้จากความแตกต่างระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของพริกดังสมการที่ 5

$$SEC = E/M_{water} \quad (3)$$

เมื่อ E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เครื่องเป่าลม (MJ)

M_{water} คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากพริก (kg_{water})

$$SFC = \frac{M_F(1-X)-1.5M_C}{M_{water}} \quad (4)$$

เมื่อ M_C คือ น้ำหนักของถ่านที่เหลือจากการเผา (kg)

M_F คือ น้ำหนักเริ่มต้น (kg)

M_{water} คือปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากพริก (kg_{water})

X คือ ค่าความชื้นของไม้ (%)

$$M_{water} = (X_i-X_o)t \quad (5)$$

เมื่อ t คือ เวลาที่ใช้ในการลดความชื้น (h)

X_i คือ ความชื้นเริ่มต้นของพริก (kg)

X_o คือ ความชื้นสุดท้ายของพริก (kg)

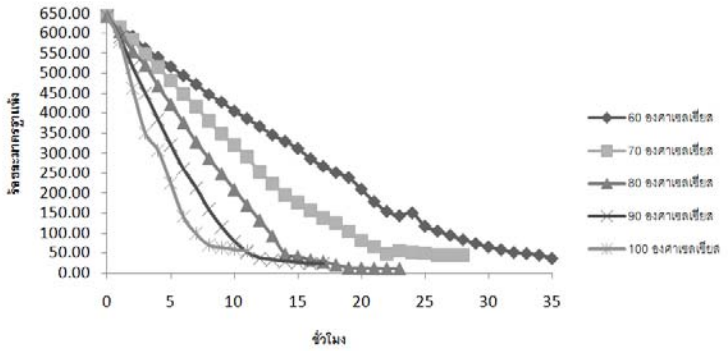
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริก

ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่ได้ทดสอบเป็นค่าความชื้นที่นำมากำหนดให้เป็นค่าความชื้นของการอบพริกของงานวิจัยชิ้นนี้ โดยนำพริกสดที่มีความชื้นร้อยละ 644 มาตรฐานแห้งเป็นวัตถุดิบมาอบด้วยตู้อบแห้งไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งมีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 พริกอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 และ 70°C มีค่าความชื้นเหลืออยู่สูงกว่าค่าความชื้นมาตรฐานอยู่ประมาณร้อยละ 73 และการอบด้วยอุณหภูมิทั้งสองใช้เวลาประมาณ 35 และ 28 ชั่วโมงตามลำดับ และเมื่ออบพริกที่อุณหภูมิ 80°C พบว่า ความชื้นที่ได้จากการอบพริกมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของมาตรฐานแห้งซึ่งอยู่ในค่าที่ต้องการ ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้งทั้งสิ้น 23 ชั่วโมง แต่เมื่อนำพริกอบที่อุณหภูมิ 90 และ 100°C เป็นเวลา 11 และ 17 ชั่วโมงตามลำดับ พบว่า พริกแห้งที่ได้บางส่วนไหม้เกรียม ทั้งที่ความชื้นยังไม่ลดลงได้ถึงเกณฑ์ จากการทดลองจึงสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่ 80°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบพริก และเวลาที่เหมาะสมต่อการอบพริกแห้งไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิและเวลาที่ได้จากการทดสอบการอบพริกนี้เป็นค่าที่นำมาใช้ในการออกแบบเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรครั้งนี้

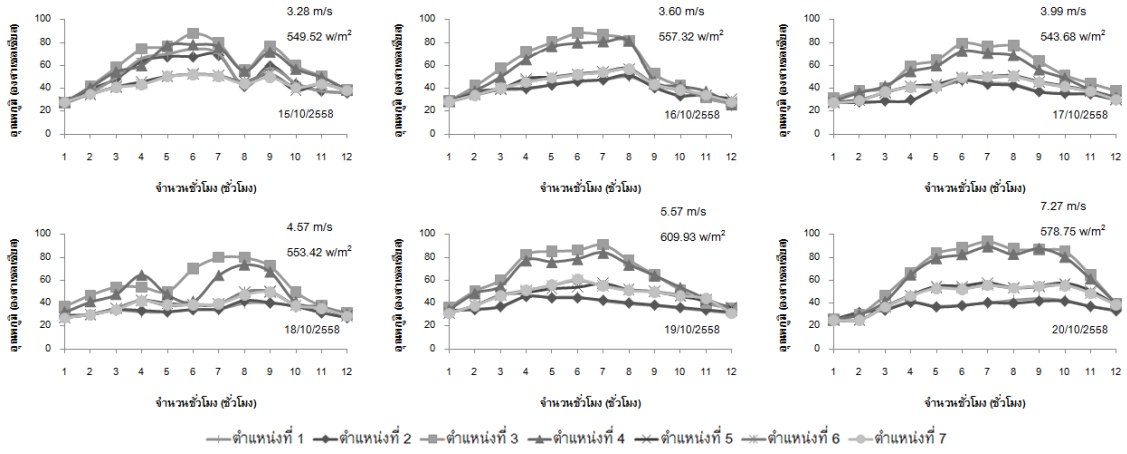
3.2 ความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการอบแห้งพริก

การทดสอบความเร็วลมที่เหมาะสมต่อการอบพริกแห้งได้ดำเนินการ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ ตั้งแต่วันที่ 15-26 ตุลาคม 2558 ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 534-610 w/m^2 อากาศจากภายนอกมีอุณหภูมิประมาณ 30°C ไหลผ่านแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ด้วยการดูดด้วยเครื่องเป่าลมที่ปรับความเร็วลมได้ขนาด 600 W มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นไม่น้อยกว่า 70°C เป็นเวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง ซึ่งอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิที่ใช้นำมาออกแบบอยู่ประมาณร้อยละ 12.5 ซึ่งมีสาเหตุมาจากสภาพอากาศที่ทำการทดลองในแต่วันแต่เมื่ออากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนที่แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ขนาด 1 x 3.65 m^2 ไหลเข้าสู่ตู้อบแห้ง อากาศมีอุณหภูมิลดลงถึงประมาณร้อยละ 30 ดังแสดงในรูปที่ 4 เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะในระหว่างที่อากาศที่ไหลออกจากแผงรังสีดวงอาทิตย์เกิด



รูปที่ 3 ความชื้นของพริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ

การสูญเสียความร้อนระหว่างไหลในท่อก่อนเข้าสู่ความร้อน จากการทดสอบประสิทธิภาพแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 3.28-7.27 m/s พบว่าแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพอยู่ในช่วงร้อยละ 36.88-83.35 [21]

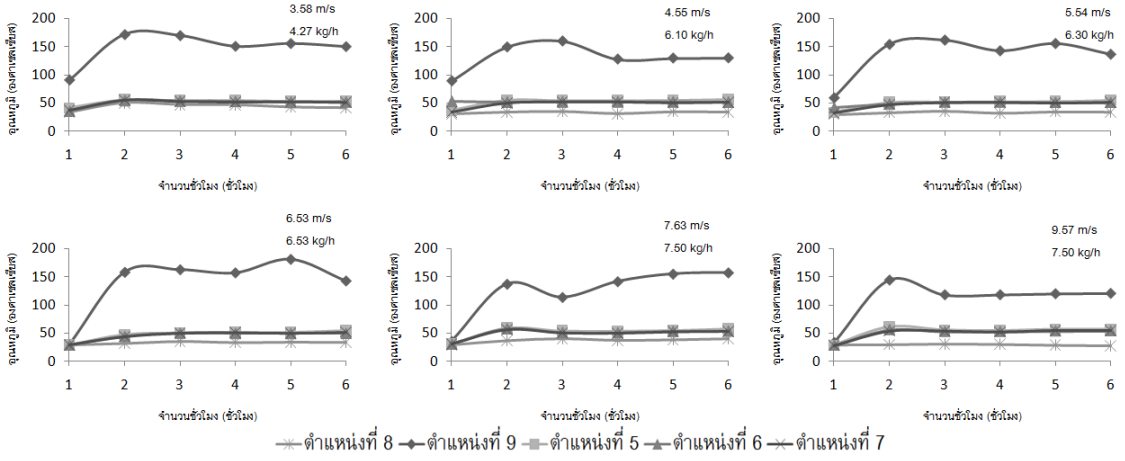


รูปที่ 4 ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์และการแปรค่าอุณหภูมิของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์และตู้อบแห้งที่ความเร็วลมต่างๆ

แม้ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์จริงมีค่าต่ำกว่าการออกแบบ แต่พบว่าความเร็วลมที่ 7.27 m/s ทำให้แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุดถึงร้อยละ 83.35 ซึ่งค่าต่ำกว่าการออกแบบอยู่ประมาณร้อยละ 16.65 นอกจากนั้นที่ความเร็วนี้ยังสามารถทำให้อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่ามากกว่า 53˚C เป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง ดังนั้นความเร็วลมนี้จึงเหมาะสมต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์

เมื่อให้อากาศจากภายนอกที่อุณหภูมิประมาณ 30˚C ไหลผ่านชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนโดยใช้เครื่องเป่าลม เช่นเดียวกับการศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ อากาศที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนมีอุณหภูมิสูงขึ้นไม่น้อยกว่า 120˚C แต่เมื่ออากาศร้อนที่ไหลเข้าสู่ตู้อบแห้ง อากาศร้อนมีอุณหภูมิลดลงประมาณร้อยละ 58.0 ดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นเพื่อป้องการสูญเสียความร้อนของอากาศระหว่างไหล

ในท่อก่อนเข้าสู่ตู้อบแห้งจึงควรเพิ่มความหนาของฉนวนกันความร้อนเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากการทดสอบประสิทธิภาพชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนที่ความเร็วลม 3.58 – 9.57 m/s มีการใช้เชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 4.27-7.50 kg/hr ที่ความเร็วลม 7.63 และ 9.57 m/s อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งมีค่าความร้อนสูงถึง 57°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิในตู้อบแห้งที่สูงที่สุดที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนทำได้ และผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วลมทั้งสองมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงที่เท่ากันอยู่ที่ประมาณ 7.50 kg/hr เพื่อให้เป็นการประหยัดพลังงาน ดังนั้นความเร็วลมที่ 7.63 m/s จึงเหมาะสมต่อการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรด้วยพลังงานจากชีวมวล



รูปที่ 5 การสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและการแปรค่าอุณหภูมิของชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนและตู้อบแห้งที่ความเร็วลมต่างๆ

การอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลใช้ความเร็วลมไม่ต่ำกว่า 7 m/s จึงทำให้ตู้อบแห้งมีความร้อนสูงสุดและรักษาความร้อนในตู้อบแห้งได้นานที่สุด

3.3 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง

การทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นได้ดำเนินการ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ วันที่ 14 พฤศจิกายน 2558 ซึ่งดังกล่าวมีความเข้มรังสีอาทิตย์ประมาณ 600 w/m^2 โดยนำพริกน้ำหนัก 2 kg อบแห้งเป็นเวลา 15 ชั่วโมง ช่วงแรกเป็นการอบแห้งพริกด้วยลมร้อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยแผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ความเร็วลม 7.27 m/s เป็นเวลา 9 ชั่วโมง (8.00-17.00 น.) และช่วงที่ 2 เป็นการอบแห้งพริกด้วยลมร้อนที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือนที่ความเร็วลม 7.63 m/s เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (17.00-23.00 น.) พริกที่ผ่านการอบแห้งมีน้ำหนักคงเหลือ 0.6 kg จากผลการทดสอบพบว่าเครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 1.25 MJ/kg$_{water}$ และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ 1.44 kg/kg$_{water}$

3.4 ความชื้นและสีพริก

พริกแห้งที่ผ่านการอบด้วยเครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวลมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 5.47 ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานพริกแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 57.90 และพริกแห้งมีสีดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าความชื้นของพริก

ตัวอย่างพริก	ค่าความชื้น (%)
ถาดที่ 1	5.68
ถาดที่ 2	6.11
ถาดที่ 3	5.18
ถาดที่ 4	4.92
เฉลี่ย	5.47

ตารางที่ 2 ค่าสีของพริก

ตัวอย่างพริก	สี		
	L*	a*	b*
ถาดที่ 1	34.07	26.25	15.06
ถาดที่ 2	31.50	29.11	16.34
ถาดที่ 3	29.55	21.06	11.58
ถาดที่ 4	26.26	21.99	12.58
เฉลี่ย	30.23	24.06	13.89

เมื่อ L* คือ ค่าความสว่างของพริก (0-100)

a* คือ ค่าแสดงความเป็นสีแดง (+) และสีเขียว (-)

b* คือ ค่าแสดงความเป็นสีเหลือง (+) และสีน้ำเงิน (-)

เมื่อเปรียบเทียบกับการตากแห้งพริกแบบปกติกับการอบแห้งพริกด้วยเครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ พบว่า การทำพริกแห้งทั้งสองแบบใช้เวลาต่างกัน 165 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 90 ของเวลาที่ใช้ในการตากแห้งพริก และเมื่อเปรียบเทียบการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมโดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อนของพิภพ และ สำเริง [6] ซึ่งใช้พริกเป็นวัสดุอบแห้งเช่นเดียวกัน พบว่า เครื่องอบแห้งที่ออกแบบและสร้างพิภพ และ สำเริง ใช้เวลาในการอบพริกให้มีค่าความชื้นเท่ากับเครื่องอบแห้งที่ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างขึ้นมากกว่าประมาณ 9 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 37.5 ของเวลาที่ใช้ในการตากแห้งพริก นอกจากนั้นในการอบแห้งพริกด้วยเครื่องนี้ไม่ต้องคอยระวังฝนและน้ำค้างที่จะทำให้พริกที่กำลังตากเกิดเชื้อราขึ้น และสามารถผลิตพริกแห้งในระยะเวลาที่จำกัดได้จึงถือได้ว่าเป็นข้อได้เปรียบของการใช้เครื่องอบพริกเครื่องนี้

4. สรุป

เครื่องอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงชีวมวล ประกอบด้วย ตู้อบแห้ง แผงรับรังสีดวงอาทิตย์ และชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน ภายใต้การอบแห้งด้วยความเร็วลม 7.27 m/s แผงรับรังสีจากดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่ออกแบบได้ร้อยละ 16.65 และสามารถรักษาอุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้จากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยมากกว่า 50°C ที่นานถึง 6 ชั่วโมง และด้วยความเร็วลม 7.63 m/s สามารถทำให้อุณหภูมิของตู้อบแห้งสูงกว่า 50°C ภายใน 2 ชั่วโมงเมื่อใช้ความร้อนที่ได้ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนจากเตาชีวมวลในระดับครัวเรือน เมื่อทดสอบอบพริกจำนวน 2 kg เป็นเวลา 15 ชั่วโมง พบว่า เครื่องอบแห้งมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะอยู่ที่ 1.25 MJ/kg_{water} และความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะอยู่ที่ 1.44 kg/kg_{water} พริกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งนี้มีความชื้นต่ำกว่ามาตรฐานพริกแห้งอยู่ประมาณร้อยละ 57.90

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณเครือข่ายวิจัยอุดมศึกษาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) ประจำปีงบประมาณ 2557 ที่สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2559, ตุลาคม. 24). *ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: www2.dede.go.th/center10/13.pdf.

[2] ณรงค์ ศรีจันทร์, อนุวัฒน์ อานัน และ อัมรินทร์ สีสนิท. *การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งด้วยระบบน้ำร้อนแสงอาทิตย์*. ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, (2556).

[3] อนิรุทธิ์ ต่ายขาว และสมบัติ ทีฆทรัพย์. “เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดพาความร้อนแบบธรรมชาติและชนิดพาความร้อนแบบบังคับ”. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย*. ปีที่ 7 (ฉบับที่ 1): 23-31, 2557.

[4] สกล คลองบุญจิต. “เตาอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกส่วนไล่ความชื้นด้วยลมร้อน”. *เกษตรกรรมธรรมชาติ*. ปีที่ 13 (ฉบับที่ 10): 37-42, 2553.

[5] สุขฤดี สุขใจ. (2559, ตุลาคม. 24). *เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.clinictech.most.go.th.

[6] พิภพ แซ่ตั้ง และสำเริง กระฉอดนอก. (2559, ตุลาคม. 26). *การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมโดยใช้หินภูเขาไฟเป็นตัวสะสมความร้อน*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://research.kpru.ac.th.

[7] รวิภา ยงประยูร. “การพัฒนากระบวนการผลิตเห็ดอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจกโดยการมีส่วนร่วมของวิสาหกิจชุมชน กลุ่มอาชีพเพาะเห็ดบ้านทุ่งบ่อแป้น ตำบลปงยางดก อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง”. *วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต*. ปีที่ 3 (ฉบับที่ 2): 133-140, 2558.

[8] อิสราภรณ์ โล่ห์นารายณ์. *เครื่องอบแห้งระบบไฮบริด*. สถานที่พิมพ์: สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, (2556).

[9] สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. “การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรดไมโครเวฟ และลมร้อน: จลนพลศาสตร์ คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส”. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. ปีที่ 17 (ฉบับที่ 1): 117-129, (2555).

[10] ธีรเดช ใหญ่บก, สุวิทย์ เพชรห้วยลึก, จอมภพ แววศักดิ์, มารีนา มะหนิ และภรพนา บัวเพชร. “การพัฒนากระบวนการอบแห้งปลาด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานร่วมแสงอาทิตย์-ไฟฟ้าภายใต้สภาพภูมิอากาศภาคใต้ของแระเทศไทย”. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ*. ปีที่ 12 (ฉบับที่ 3): 109-118, 2552.

[11] มัณฑนา รังสิโยภาส และ นัทธิ์ธนนท์ พงษ์พานิช. “การศึกษาการอบแห้งแบบผสมผสานพลังงานแสงอาทิตย์แบบแอ็คทีฟสำหรับกล้วยสไลซ์”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 27*. 16-18/10/2556. พัทยา จังหวัดชลบุรี, (2556).

[12] กำพล ประทีปชัยกูร, ไพโรจน์ คีรีรัตน์ และพีระพงศ์ ทีฆสกุล. (2559, ตุลาคม. 14). *โครงการส่งเสริมและเผยแพร่การใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.me.psu.ac.th.

[13] สำราญ สมพงษ์. (2559, ตุลาคม. 14). *เกษตรกรปลูกพริกเจ๋ง ! ไม่ต้องก่อม็อบ สกว. หนุนออกจากวังวนอุบาทว์เดิม ๆ*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.komchadluek.net.

[14] สำนักงานจังหวัดชัยภูมิ (2559, ตุลาคม. 14). *ยุทธศาสตร์การพัฒนาจังหวัดชัยภูมิ*. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.chaiyaphum.go.th.

[15] ประกาศกระทรวงเกษตรและสหกรณ์. “กำหนดมาตรฐานสินค้าเกษตร: พริกแห้ง ตามพระราชบัญญัติมาตรฐานสินค้าเกษตร พ.ศ. 2551”. *ราชกิจจานุเบกษา*. เล่มที่ 127 (ตอนพิเศษ 150 ง): หน้า 16, 2553.

[16] ศุภฤกษ์ ชามงคลประดิษฐ์, เทิดทวี อ้วนสี, นิพนธ์ มหาพรหม และนันทวัฒน์ พลายเมือง. “การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งพริกแบบต่อเนื่องโดยใช้กระบวนการอบแห้งตามเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*. 17-19/10/2550. ชลบุรี, (2550).

[17] D. E. Ogheneruona and M. O. L. Yusuf, “Design and fabrication of a direct natural convection solar dryer for tapioca,” *Leonardo electronic journal of practices and technologies*, vol. 18, pp. 95-104, 2011.

[18] E. C. Okoraigwe, M. N. Eke and H. U. Ugwu, “Design and evaluation of combined solar and biomass dryer for small and medium enterprises for developing countries,” *International journal of physical science*, vol. 8 (25), pp. 1341-1349, 2013.

[19] A. Zomirodian and M. Zamanian, “Designing and evaluating an innovative solar air collector with transpired absorber and cover,” *ISRN renewable energy*, pp. 1-5, 2012.

[20] A. A. Hassanain, “Simple solar drying system for banana fruit,” *World journal of agricultural sciences*, vol. 5 (4), pp. 446-455, 2009.

[21] ธีระศักดิ์ หุดากร. “การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีสำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์”. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23*. 4-7/11/2552. เชียงใหม่, (2552).

[22] ศักดิ์ชาย เพ็ชรตรา. *การพัฒนารูปแบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีด้ายพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแบบมีส่วนร่วม กรณี: การถ่ายทอดการสร้างและใช้เตาชีวมวลในระดับครัวเรือนของชุมชนโคกสูง จังหวัดชัยภูมิ*. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ, (2557).

[23] S. A. Ayo, “Design, construction and testing of an improved wood stove,” *AU J.T.,* vol. 13(1), pp. 12-18, 2009.

[24] สมมาส แก้วล้วน, ดำรงศักดิ์ จันโทสี, สุรชัย จันทร์ศรี, เวคิน ปิยรัตน์. “การทดสอบสมรรถนะเตาชีวมวลขนาด 20 kW”. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*. ปีที่ 8 (ฉบับที่ 1): 24-33, 2556.

[25] ฉัตรชัย นิมมล. “ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หออบแห้งชนิดท่อเกลียว”. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*. ปีที่ 17 (ฉบับที่ 1): 97-109, 2555.