

ผลของระดับอุณหภูมิในการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล

Effect of Drying Temperatures on Charcoal Briquettes Drying using a Combined Solar Energy and Far-Infrared Radiation Dryer, and a Far-Infrared Radiation Dryer

พิรพัฒน์ คงภูผา¹ อุดมศักดิ์ ตาเปี้ย² และ ภูมิใจ สอาดโฉม^{3*}

^{1,2}นักศึกษา ³อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 13140

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว รวมทั้งหาปริมาณไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง โดยอบแห้งถ่านอัดแท่งจากกะลามะพร้าวซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 41-43% มาตรฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C จนความชื้นของถ่านอัดแท่งต่ำกว่า 8% มาตรฐานเปียก ผลการทดลอง พบว่า ระดับอุณหภูมิอบแห้งและวิธีการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่า แต่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 6,667.05 แคลอรีต่อกรัม

Abstract

This research aims to study the effect of drying temperature on the changes in the moisture content of charcoal briquettes undergoing drying of solar energy and far-infrared radiation (Solar+FIR), and far-infrared radiation (FIR). The electricity consumption and the specific energy consumption were also investigated. The coconut shell charcoal briquettes with the initial moisture content of about 41-43% MW were dried at 55, 60 and 65°C until the final moisture content of 8% MW was obtained. Based on the experimental results, it was found that the drying temperatures and the drying methods had effects on the changes in the moisture content of charcoal briquettes. Drying at high temperature could reduce the moisture content of charcoal briquettes faster than that at low temperature. Drying using FIR could reduce the moisture content of charcoal briquettes faster than that using Solar+FIR. Moreover, the electricity consumption and the specific energy consumption decreased with an increase in the drying temperature. Drying using Solar+FIR had lower electricity consumption, but had higher specific energy consumption than drying using FIR. In this study, the charcoal briquettes had the average heating value of about 6,667.05 cal/g.

คำสำคัญ : การอบแห้ง กะลามะพร้าว ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ถ่านอัดแท่ง รังสีอินฟราเรดไกล

Keywords : Drying; Coconut Shell; Solar Collector; Charcoal Briquette; Far-infrared Radiation

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำเนินชีวิตของประชาชน การพัฒนาเศรษฐกิจ และความมั่นคงของประเทศ ประเทศไทยมีความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2556 มีสัดส่วนมูลค่าการนำเข้าพลังงานต่อมูลค่าการใช้พลังงานทั้งหมดอยู่ที่ 66% (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2558) ดังนั้น การลดใช้พลังงานหรือการเปลี่ยนมาใช้พลังงานทดแทนต่าง ๆ เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ

พลังงานชีวมวลเป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ เนื่องจากชีวมวลนั้นเป็นสิ่งมีชีวิตหรือเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากสิ่งมีชีวิตที่สามารถผลิตขึ้นทดแทนได้ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีทั้งพืชและเศษเหลือทิ้งจากเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะนำเศษเหลือทิ้งดังกล่าวมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ชีวมวลมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ไม้ยืนต้น พืชเกษตรกรรมประเภทข้าวโพด มันสำปะหลัง พืชพลังงาน เช่น ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ รวมทั้งขยะสที่ที่เกิดจากการอุปโภคบริโภค และมูลสัตว์ ชีวมวลเหล่านี้สามารถนำมาแปรรูปเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2558)

การผลิตถ่านอัดแท่งเป็นการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงที่กำลังได้รับความนิยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการประกอบอาหารและงานอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตถ่านอัดแท่งเริ่มจากการเผาวัตถุดิบหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่

กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม เศษไม้ ยางพารา ช่อไม้ไผ่ ชี้อย่าง ช้างข้าวโพด และเศษไม้ต่าง ๆ เป็นต้น วัสดุที่นำมาเผานั้นต้องมีความชื้นไม่เกิน 20% โดยน้ำหนัก (จุฬารัตน์ ชาวกำแพง, 2554) จากนั้นนำถ่านและเศษถ่านที่ได้จากการเผาไปบดลดขนาดและผสมผงถ่านกับตัวประสานและน้ำ แล้วอัดผงถ่านให้เป็นแท่ง และนำไปตากแดดหรืออบแห้งโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง (มผช.238/2547) กำหนดให้ถ่านอัดแท่งต้องมีความชื้นไม่เกิน 8% โดยน้ำหนัก และต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547) ทั้งนี้ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่นิยมนำถ่านอัดแท่งมาตากแดดตามธรรมชาติ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำ อย่างไรก็ตาม หากสภาวะอากาศไม่เอื้ออำนวย เช่น มีแสงแดดน้อย และอยู่ในช่วงฤดูฝนจะทำให้ถ่านอัดแท่งแห้งช้า ดังนั้น ผู้ประกอบการบางรายจึงอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนซึ่งสามารถควบคุมสภาวะการอบแห้งได้ เช่น อุณหภูมิ และอัตราการไหลของอากาศ ทำให้ถ่านอัดแท่งสามารถลดความชื้นได้ตามเวลาที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งนั้นมีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการตากแดดตามธรรมชาติ (จักรมาส เลหาวิช, 2558) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำรังสีอินฟราเรดไกลมาใช้ในการอบแห้งถ่านอัดแท่ง (ภูมิใจ สอาดโหม, 2557) เนื่องจากรังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน จากนั้นน้ำในเนื้อวัสดุจึงเคลื่อนที่ไปยังผิววัสดุและระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว รังสีอินฟราเรดไกลยังให้ความร้อนได้รวดเร็ว กระจายความร้อนได้สม่ำเสมอ ติดตั้งง่าย ประหยัดพลังงาน และลดระยะเวลาในการอบแห้ง

(อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และคณะ, 2549)

นอกจากนี้ ยังมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่มีวันหมด และไม่ก่อให้เกิดมลพิษมาใช้ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ปลานิล (อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และคณะ, 2549) พริกชี้ฟ้า (มยุรี แจ้งประจักษ์ และจุมล ขอบขำ, 2550) ใบเตย (อนุสรนา นาดิ และคณะ, 2555) และกุ้ง (ยุทธนา ฐิระวณิชกุล และคณะ, 2558) สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ได้แก่งานวิจัยของภูมิไจ สอาดโฉม (2557) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล รวมทั้งหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง โดยอบแห้งถ่านอัดแท่งที่อุณหภูมิ 60°C จนเหลือความชื้นสุดท้ายต่ำกว่า 8% มาตรฐานเปียก จากผลการทดลอง พบว่า วิธีการอบแห้งและตำแหน่งของถาดภายในห้องอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง และพบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงที่สุด อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าวข้างต้นยังไม่ได้ศึกษาถึงผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง รวมทั้งไม่ได้หาปริมาณไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งต่าง ๆ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลง

ความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว และหาปริมาณไฟฟ้าและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง รวมทั้งหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ นี้ มีประโยชน์ต่อการอบแห้งถ่านอัดแท่งของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

2. วิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

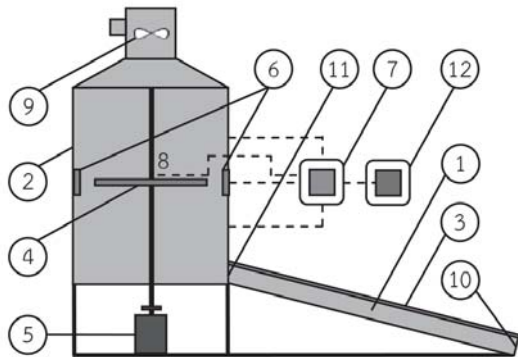
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววีขนาด 2×1 ม. ซึ่งมีพื้นผิวสีดำ (หมายเลข 1) วางเอียงทำมุม 16 องศากับแนวระดับ โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพื่อให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะไหลเข้าสู่ห้องอบแห้ง โดยห้องอบแห้งมีขนาด $1 \times 1 \times 1.2$ ม. (หมายเลข 2) ผนังห้องอบแห้งและตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำจากแผ่นสังกะสี ด้านในของผนังห้องอบแห้งและตัวเก็บรังสีอาทิตย์หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนชนิดแผ่นพอยด์ติดกับโฟมโพลีเอธิลีนหนา 3 มม. ส่วนผนังปิดหน้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำจากกระจกใสหนา 5 มม. (หมายเลข 3) เพื่อช่วยลดการสูญเสียความร้อนออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ในห้องอบแห้งมีถาดขนาด 0.5×0.5 ม. จำนวน 1 ถาด (หมายเลข 4) วางอยู่ตรงกลางห้องอบแห้งซึ่งสามารถวางถ่านอัดแท่งได้ 16 แท่ง (ถ่านอัดแท่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.5 ซม. และมีความยาว

20 ซม.) และถาดสามารถหมุนได้เพื่อให้ถาดอัดแห้งสามารถรับรังสีอินฟราเรดไกลได้อย่างทั่วถึง โดยถาดหมุนด้วยความเร็ว 3.3 รอบต่อนาที ซึ่งถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ยี่ห้อ Hitachi รุ่น CA19-010-50 ขนาด 100 วัตต์ (หมายเลข 5) นอกจากนี้ยังมีหลอดรังสีอินฟราเรดไกลยี่ห้อ Infrapara ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ติดตั้งไว้ที่กลางผนังด้านข้างของห้องอบแห้ง (หมายเลข 6) โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้งที่ 55, 60 และ 65°C ด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดียี่ห้อ Toho รุ่น TTM-004 (หมายเลข 7) มีความถูกต้อง $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ตำแหน่งที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศอยู่ตรงกลางห้องอบแห้ง และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (หมายเลข 8) เป็นตัววัดอุณหภูมิ ทั้งนี้ด้านบนของห้องอบแห้งติดตั้งพัดลมยี่ห้อ Hatari รุ่น HT-VC10M2(G) ขนาด 10 วัตต์ (หมายเลข 9) เพื่อระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้ง และเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งช่องอากาศทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (หมายเลข 10) ไว้ที่ 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที ช่องอากาศทางเข้าห้องอบแห้งมีขนาด 0.09x0.96 ม. (หมายเลข 11) ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งถูกวัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Dai-ichi (หมายเลข 12) และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์วัดด้วยเครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ยี่ห้อ CEM รุ่น DT-1307 ทั้งนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2

เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งด้านบนของห้องอบแห้ง

ติดตั้งพัดลมยี่ห้อ Hatari รุ่น HT-VC10M2(G) ขนาด 10 วัตต์ (หมายเลข 1) เพื่อระบายความชื้นออกจากห้องอบแห้ง และเพื่อควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งช่องอากาศทางเข้าห้องอบแห้งซึ่งมีขนาด 0.09x0.96 ม. (หมายเลข 7) ไว้ที่ 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที ลักษณะและรายละเอียดของเครื่องอบแห้งนี้คล้ายกับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (รูปที่ 1) แต่เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวไม่ได้ติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววี ทั้งนี้เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4

การเปรียบเทียบวิธีการอบแห้งระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวและการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจะทดลองที่อุณหภูมิ 60°C ณ เวลาทดลองเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 5 ทั้งนี้เครื่องอบแห้งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งหลอดรังสีอินฟราเรดไกลขนาด 800 วัตต์ จำนวน 2 หลอดที่ตรงกลางผนังด้านข้างของห้องอบแห้ง (ดูรูปที่ 1 และ 3) เพื่อให้รังสีอินฟราเรดไกลสามารถแผ่รังสีความร้อนไปยังถาดอัดแห้งได้อย่างทั่วถึง ซึ่งแตกต่างจากเครื่องอบแห้งในงานวิจัยของภูมิไฉสอาดโณม (2557) ที่ออกแบบถาดวางถาดอัดแห้งจำนวน 3 ชั้น แต่ละชั้นมีหลอดรังสีอินฟราเรดไกลขนาด 650 วัตต์ จำนวน 1 หลอด โดยติดตั้งไว้ที่ผนังด้านข้างของห้องอบแห้ง

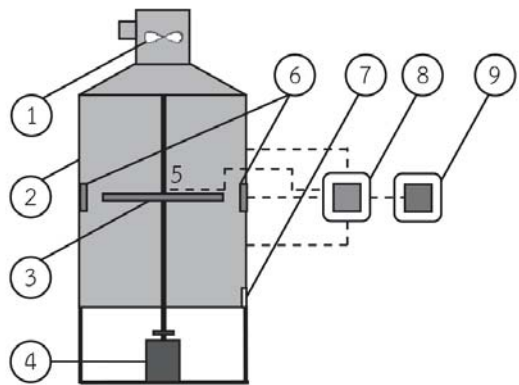


(1) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์แผ่นราบแบบร่องรูปตัววี (2) ห้องอบแห้ง (3) แผ่นกระจกใส (4) ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (5) มอเตอร์ (6) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (7) ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี (8) เทอร์โมคัปเปิล (9) พัดลม (10) ช่องอากาศทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (11) ช่องอากาศทางเข้าห้องอบแห้ง และ (12) มิเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล



รูปที่ 2 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ในวันที่ 12, 13 และ 14 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00-17.00 น.



(1) พัดลม (2) ห้องอบแห้ง (3) ถาดสำหรับวางผลิตภัณฑ์ (4) มอเตอร์ (5) เทอร์โมคัปเปิล (6) หลอดรังสีอินฟราเรดไกล (7) ช่องอากาศทางเข้าห้องอบแห้ง (8) ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี และ (9) มิเตอร์ไฟฟ้า

รูปที่ 3 เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 4 เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวจำนวน 3 เครื่อง ซึ่งใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ในวันที่ 2, 3 และ 4 พฤษภาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00-17.00 น.



รูปที่ 5 เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว และเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ซึ่งใช้ในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ในวันที่ 19, 20 และ 21 สิงหาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00-17.00 น.

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 การเตรียมถาดอัดแห้ง

- 1) นำกะลามะพร้าวไปตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 1 สัปดาห์
- 2) เฝือกะลามะพร้าวแห้งจำนวน 45 กิโลกรัม โดยใช้เตาเผาถ่าน 200 ลิตร เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
- 3) บดถ่านกะลามะพร้าวโดยใช้เครื่องบดย่อยวัสดุขนาด 3 แรงม้า แล้วคัดแยกผงถ่านโดยร่อนผงถ่านผ่านตะแกรงมุ้งลวดขนาดรู 1.5x1.5 มม.
- 4) ผสมผงถ่านกับแป้งมันสำปะหลังและน้ำในอัตราส่วนผสมของผงถ่าน 5 กิโลกรัม แป้งมันสำปะหลัง 250 กรัม และน้ำ 5 ลิตร โดยใช้เครื่องผสมวัสดุขนาด 3 แรงม้า
- 5) อัดส่วนผสมในข้อ 4) โดยใช้เครื่องอัดถ่านแห้งขนาด 3 แรงม้า โดยถ่านอัดแห้งที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกกลวงมีขนาดเส้นผ่าน

ศูนย์กลาง 4.5 ซม. และมีช่องอากาศตรงกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ซม. แล้วตัดถ่านอัดแห้งให้มีความยาว 20 ซม.

2.2.2 การหาอัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งช่องอากาศทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (ดูรูปที่ 1 หมายเลข 10) และอัตราการไหลของอากาศ ณ ตำแหน่งช่องอากาศทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล (ดูรูปที่ 3 หมายเลข 7) หาได้จากสมการ

$$Q_{air} = \rho VA \quad (1)$$

โดยที่ Q_{air} คืออัตราการไหลของอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที) ρ คือความหนาแน่นของอากาศ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) V คือความเร็วเฉลี่ยของอากาศ (เมตรต่อวินาที) และ A คือพื้นที่ของช่องอากาศทางเข้า (ตารางเมตร) ทั้งนี้ความเร็วของอากาศถูกวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วลมยี่ห้อ Testo รุ่น 405-V1 ณ ตำแหน่งบริเวณช่องอากาศทางเข้าจำนวน 5 ตำแหน่ง แล้วนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาความเร็วเฉลี่ยของอากาศ

2.2.3 การอบแห้งถ่านอัดแห้ง

อบแห้งถ่านอัดแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C โดยอบแห้งในช่วงเวลา 10.00-17.00 น. จนถ่านอัดแห้งมีปริมาณความชื้นต่ำกว่า 8% มาตรฐานเปียก

2.2.4 การหาความชื้นของถ่านอัดแท่ง

หาได้จากวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3173 (อัจนรา อัศวจุลกุลชัย และคณะ, 2554) ทั้งนี้ การหามวลแห้งของถ่านอัดแท่งทำได้โดยนำถ่านอัดแท่งไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ $107 \pm 3^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จนมวลคงที่ โดยชั่งมวลก่อนและหลังการอบแห้ง แล้วนำค่ามวลที่ได้ไปคำนวณหาความชื้นของถ่านอัดแท่งที่เวลาใด ๆ ได้จากสมการ

$$M = \frac{W - D}{W} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ M คือความชื้นของถ่านอัดแท่งที่เวลาใดๆ (% มาตรฐานเปียก) W คือมวลของถ่านอัดแท่งที่เวลาใด ๆ (กรัม) และ D คือมวลแห้งของถ่านอัดแท่ง (กรัม)

2.2.5 การหาปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

หาได้จากการวัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้ายี่ห้อ Dai-ichi

2.2.6 การหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

หาได้จากวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 3286 (อัจนรา อัศวจุลกุลชัย และคณะ, 2554)

2.3 การหาความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งสามารถแสดงได้จากความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งหาได้จากสมการ (สุวิทย์ แพงกันยา, 2553)

$$SEC = \frac{E}{m_w} \quad (3)$$

โดยที่ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (จุลต่อกิโลกรัม (น้ำระเหย)) m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผลิตภัณฑ์อบแห้ง (กิโลกรัม) และ E คือ ปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง (จุล) ทั้งนี้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งถูกวัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้า ส่วนปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งหาได้จากสมการ

$$E_{\text{solar}} = m_p c_p (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) \quad (4)$$

โดยที่ E_{solar} คือ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้ง (จุล) m_p คือ อัตราการไหลของอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที) c_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (จุลต่อ(กิโลกรัม×เคลวิน)) t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (วินาที) T_{out} คือ อุณหภูมิอากาศทางออกตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ\text{C}$) และ T_{in} คือ อุณหภูมิอากาศทางเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ($^\circ\text{C}$)

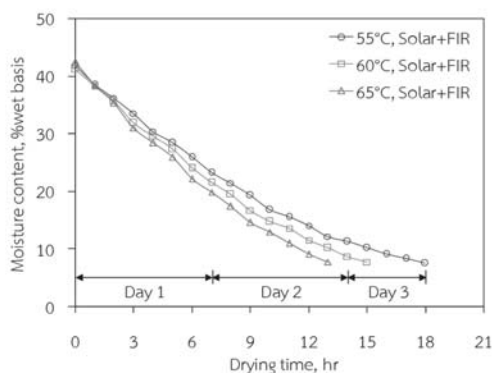
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้ง

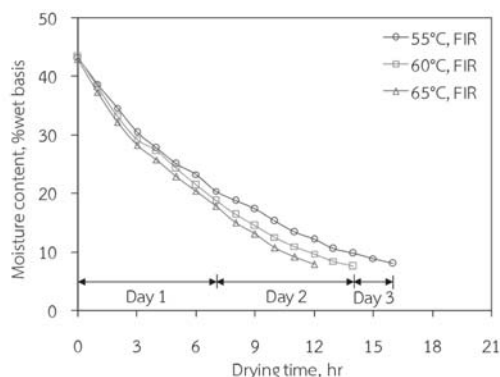
3.1.1 ผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวแสดงดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งพบว่า การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้ง

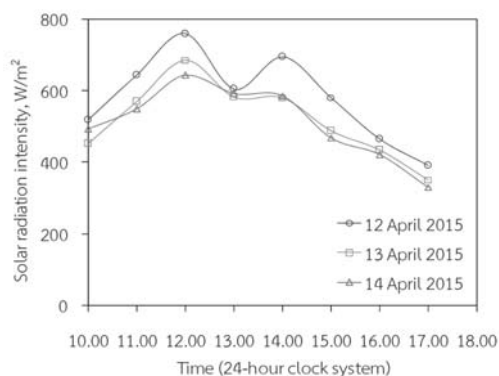
ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง ทำให้ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศร้อนและ ถ่านอัดแท่งมีค่ามากขึ้น อัตราการถ่ายเทความร้อน จากอากาศร้อนไปยังถ่านอัดแท่งจึงมีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้น้ำระเหยออกจากถ่านอัดแท่งเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ ผลการทดลองดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับผลการ ทดลองอบแห้งใบเตย (อนุสรณ์ นาคี และคณะ, 2555) ใบบัวบก (สุวรรณ์ ฐิระวณิชกุล และคณะ, 2556) และปลาบดแผ่น (ภูมิใจ สอาดโหม และคณะ, 2556) โดยที่การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (ดูรูปที่ 6) พบว่า ถ่านอัดแท่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ใช้เวลาอบแห้ง 18, 15 และ 13 ชั่วโมง ตามลำดับ ส่วนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียง อย่างเดียว (ดูรูปที่ 7) พบว่า ถ่านอัดแท่งอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C ใช้เวลาอบแห้ง 16, 14 และ 12 ชั่วโมง ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าความเข้ม รังสีอาทิตย์ในระหว่างการอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง ระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C โดยอบแห้งในวันที่ 12, 13 และ 14 เมษายน 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00–17.00 น.



รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง ระหว่างการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกล เพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C โดยอบแห้งในวันที่ 2, 3 และ 4 พฤษภาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00–17.00 น.



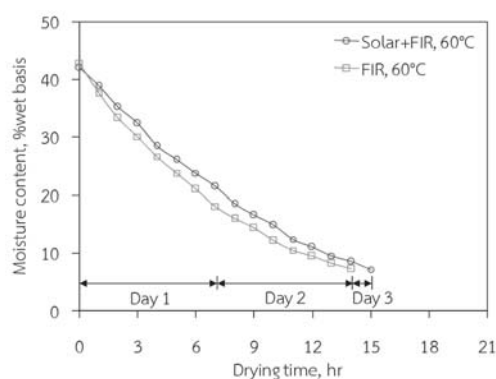
รูปที่ 8 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการอบแห้ง ถ่านอัดแท่งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ รังสีอินฟราเรดไกลในวันที่ 12, 13 และ 14 เมษายน 2558

3.1.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง

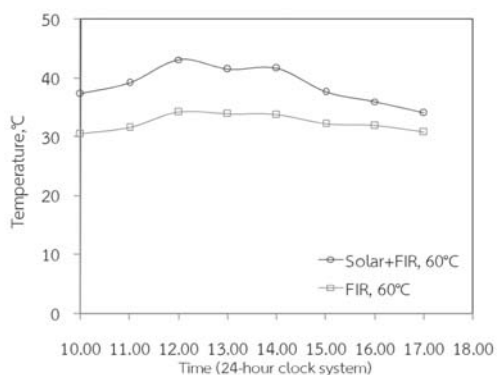
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง ระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม กับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสี อินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60°C

แสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เนื่องจากอุณหภูมิอากาศทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกล เพียงอย่างเดียว (ดูรูปที่ 3 หมายเลข 7) มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (ดูรูปที่ 1 หมายเลข 11) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 10 จึงทำให้ตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดี (PID temperature controller) ในเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว (ดูรูปที่ 3 หมายเลข 8) เปิดให้หลอดรังสีอินฟราเรดไกลทำงานมากกว่าตัวควบคุมอุณหภูมิแบบพีไอดีในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล (ดูรูปที่ 1 หมายเลข 7) ทั้งนี้รังสีอินฟราเรดไกลสามารถทะลุทะลวงเข้าไปในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำในเนื้อวัสดุสั่นและเกิดความร้อน จากนั้นน้ำในเนื้อวัสดุจึงเคลื่อนที่ไปยังผิววัสดุและระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้น การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวจึงสามารถระเหยความชื้นออกจากถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้ง

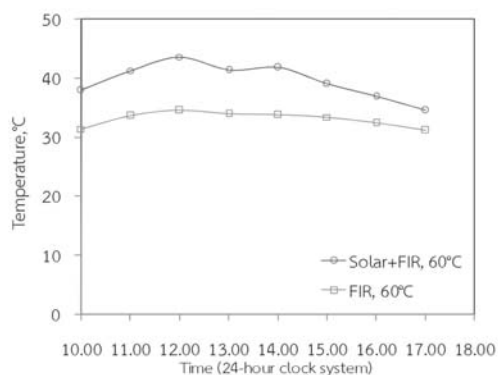
ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล โดยที่อุณหภูมิอบแห้ง 60°C ถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว และถ่านอัดแท่งอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้เวลาอบแห้ง 14 และ 15 ชั่วโมงตามลำดับ (ดูรูปที่ 9) และค่าความชื้นรังสีอาทิตย์ในระหว่างการอบแห้งถ่านอัดแท่งแสดงดังรูปที่ 11



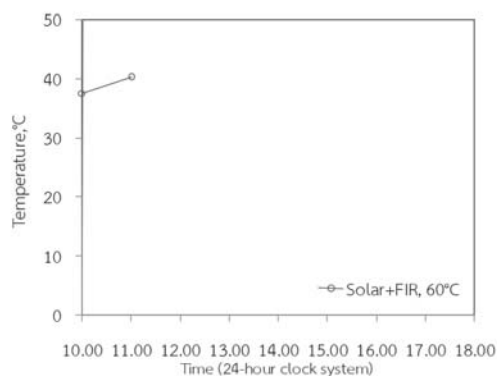
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่งระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 60°C โดยอบแห้งในวันที่ 19, 20 และ 21 สิงหาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00-17.00 น.



(ก)

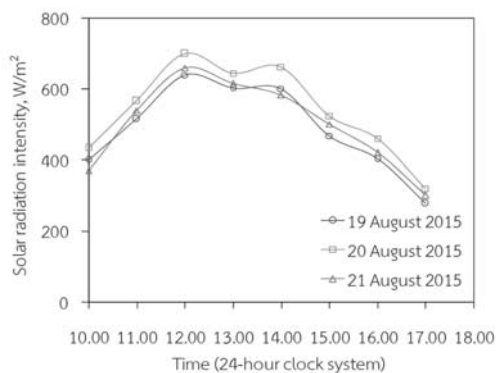


(ข)



(ค)

รูปที่ 10 อุณหภูมิอากาศทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว เมื่อ (ก) อบแห้งในวันที่ 19 สิงหาคม 2558 (ข) อบแห้งในวันที่ 20 สิงหาคม 2558 และ (ค) อบแห้งในวันที่ 21 สิงหาคม 2558



รูปที่ 11 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างการอบแห้ง ถ่านอัดแท่งในวันที่ 19, 20 และ 21 สิงหาคม 2558

3.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

3.2.1 ผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมี

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 16.0, 14.5 และ 14.2 กิโลวัตต์×ชั่วโมง ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 16.7, 16.3 และ 16.1 กิโลวัตต์×ชั่วโมง ตามลำดับ

3.2.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียง

อย่างเดียว เนื่องจากการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้อากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ร่วมด้วย ทำให้อากาศที่ไหลเข้าห้องอบแห้งมีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้หลอดรังสีอินฟราเรดไกลในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลทำงานน้อยกว่าหลอดรังสีอินฟราเรดไกลในเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 60°C การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง 15.0 และ 16.4 กิโลวัตต์×ชั่วโมง ตามลำดับ

ตารางที่ 1 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์×ชั่วโมง)
การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	55	18	16.0
	60	15	14.5
	65	13	14.2
การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว	55	16	16.7
	60	14	16.3
	65	12	16.1

หมายเหตุ: การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลทดลองในวันที่ 12, 13 และ 14 เมษายน 2558 ส่วนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวทดลองในวันที่ 2, 3 และ 4 พฤษภาคม 2558

ตารางที่ 2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งของวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	เวลาอบแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์×ชั่วโมง)
การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ รังสีอินฟราเรดไกล	60	15	15.0
การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียง อย่างเดียว	60	14	16.4

หมายเหตุ: การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวทดลองในวันที่ 19, 20 และ 21 สิงหาคม 2558

3.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

3.3.1 ผลของระดับอุณหภูมิอบแห้งต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ตารางที่ 3 แสดงความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการระเหยน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง และมีปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ผลการทดลองดังกล่าวนี้ได้สอดคล้องกับผลการทดลองอบแห้งหญ้าปักกิ่ง (ศักชัย จงจำ และ อำไพศักดิ์ ทิบุญมา, 2553) ชนุน (สุภวรรณ ฐิระวิชย์กุล และคณะ, 2555) และพริกไทยดำ (อัจฉรา แซ่ไคว และคณะ, 2556) โดยที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 39.15x10⁶, 36.35x10⁶ และ

32.89x10⁶ จูลต่อกิโลกรัม (น้ำระเหย) ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 28.63x10⁶, 27.68x10⁶ และ 27.47x10⁶ จูลต่อกิโลกรัม (น้ำระเหย) ตามลำดับ

3.3.2 ผลของวิธีการอบแห้งต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งของวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4 พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะน้อยกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล เนื่องจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวทำให้ความชื้นระเหยออกจากถาดแห้งได้อย่างรวดเร็วตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 3.1.2 ส่งผลให้ใช้เวลาอบแห้งน้อยลง และมีปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ทั้งนี้ที่อุณหภูมิ 60°C การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วม

กับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสี พลังงานจำเพาะ 34.09×10^6 และ 28.11×10^6
อินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีความสิ้นเปลือง จุลต่อกิโลกรัม (น้ำระเหย) ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาอบ แห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณ พลังงาน แสงอาทิตย์ (จูล)	ปริมาณ พลังงาน ไฟฟ้า (จูล)	น้ำที่ระเหย ออกจาก ถ่าน (กิโลกรัม)	SEC (จุลต่อ กิโลกรัม (น้ำระเหย))
การอบแห้งด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับ รังสีอินฟราเรดไกล	55	18	20.30×10^6	57.60×10^6	1.99	39.15×10^6
	60	15	16.86×10^6	52.20×10^6	1.90	36.35×10^6
	65	13	14.66×10^6	51.12×10^6	2.00	32.89×10^6
การอบแห้งด้วย รังสีอินฟราเรดไกล เพียงอย่างเดียว	55	16	-	60.12×10^6	2.10	28.63×10^6
	60	14	-	58.68×10^6	2.12	27.68×10^6
	65	12	-	57.96×10^6	2.11	27.47×10^6

- หมายเหตุ:** 1. การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลทดลองในวันที่ 12, 13 และ 14 เมษายน 2558 ส่วนการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวทดลองในวันที่ 2, 3 และ 4 พฤษภาคม 2558
2. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดคำนวณจากผลรวมของปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละชั่วโมง โดยที่ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละชั่วโมงคำนวณจากสมการที่ (4)
3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คำนวณจากสมการที่ (3)

ตารางที่ 4 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งของวิธีการอบแห้งแบบต่าง ๆ

วิธีการอบแห้ง	อุณหภูมิ (°C)	เวลาอบ แห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณ พลังงาน แสงอาทิตย์ (จูล)	ปริมาณ พลังงาน ไฟฟ้า (จูล)	น้ำที่ระเหย ออกจาก ถ่าน (กิโลกรัม)	SEC (จูลต่อ กิโลกรัม (น้ำระเหย))
การอบแห้งด้วยพลังงาน แสงอาทิตย์ร่วมกับรังสี อินฟราเรดไกล	60	15	14.53×10^6	54.00×10^6	2.01	34.09×10^6
การอบแห้งด้วยรังสี อินฟราเรดไกลเพียง อย่างเดียว	60	14	-	59.04×10^6	2.10	28.11×10^6

หมายเหตุ: 1. การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวทดลองในวันที่ 19, 20 และ 21 สิงหาคม 2558

2. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดคำนวณจากผลรวมของปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละชั่วโมง โดยที่ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการอบแห้งในแต่ละชั่วโมงคำนวณจากสมการที่ (4)

3. ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) คำนวณจากสมการที่ (3)

3.4 ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นตัวชี้วัดสมบัติของเชื้อเพลิงอย่างหนึ่ง เชื้อเพลิงที่มีค่าความร้อนสูงถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพดี ดังนั้น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมจึงกำหนดเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547) ว่า ถ่านอัดแท่งต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547)

ผลการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 5 พบว่า ถ่านอัดแท่งที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และถ่านอัดแท่งที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวมีค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 6,667.05 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง

ตารางที่ 5 ผลการหาค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง

วิธีการอบแห้ง	ค่าความร้อนของถ่านอัดแท่ง (แคลอรีต่อกรัม)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	เฉลี่ยทั้งหมด
ถ่านอัดแท่งที่อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล	6,531.20	6,760.89	6,658.83	6,650.31	6,667.05
ถ่านอัดแท่งที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว	6,581.19	6,684.17	6,785.99	6,683.78	

4. สรุป

การอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวที่อุณหภูมิ 55, 60 และ 65°C สรุปได้ดังนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง พบว่า ระดับอุณหภูมิอบแห้งและวิธีการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของถ่านอัดแท่ง โดยการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ และพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียวสามารถลดความชื้นของถ่านอัดแท่งได้เร็วกว่าการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

4.2 ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว และพบว่า ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น

4.3 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งด้วยพลังงานแสง

อาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดไกลเพียงอย่างเดียว และพบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น

4.4 ถ่านอัดแท่งในงานวิจัยนี้มีค่าความร้อนเฉลี่ยประมาณ 6,667.05 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของถ่านอัดแท่ง (มผช.238/ 2547) ที่กำหนดให้ถ่านอัดแท่งต้องมีค่าความร้อนไม่น้อยกว่า 5,000 แคลอรีต่อกรัม

ทั้งนี้ในงานวิจัยต่อไปควรทดลองหาสมบัติอื่น ๆ ของถ่านอัดแท่ง เช่น ความแข็ง ความหนาแน่น และค่าดัชนีการแตกกร่อนโดยวิธีทิ้งจากที่สูง เนื่องจากถ่านอัดแท่งที่มีคุณภาพดีนั้นต้องมีสมบัติที่ดีในด้านอื่น ๆ ด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีโดยการสนับสนุนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และกลุ่มวิสาหกิจชุมชนถ่านอัดแท่งตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก

6. เอกสารอ้างอิง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. วันที่สืบค้น 8 มิถุนายน 2558. **พลังงานจากชีวมวล**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR5.pdf>

จักรมาส เลหาวิช. วันที่สืบค้น 8 มิถุนายน 2558. **การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.phtnet.org/article/view-article.asp?aID=47>

จุฬารัตน์ ชวากำแพง. 2554. **การศึกษาและพัฒนาถ่านอัดแท่งจากวัสดุเกษตรเพื่ออุตสาหกรรมในครัวเรือน**. การศึกษาอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภูมิใจ สอาดโหม. 2557. **การอบแห้งถ่านอัดแท่งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล**. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยศรีปทุมครั้งที่ 9. วันที่ 16 ธันวาคม 2557. หน้า 752-762. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ภูมิใจ สอาดโหม และคณะ. 2556. **การอบแห้งเนื้อปลาบดแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง**. วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร. 7(2): 74-86.

มยุรี แจ่มประจักษ์ และจุมล ขอบขำ. 2550. **การศึกษาการอบพริกชี้ฟ้าโดยการลดความชื้นโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์อินฟราเรดแลมปี และพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับอินฟราเรดแลมปี**. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยธนบุรี.

ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล และคณะ. วันที่สืบค้น 8 มิถุนายน 2558. **โครงการกระบวนการผลิตอาหารทะเลตากแห้งคุณภาพสูงของชุมชนภาคใต้ตอนล่างด้วยพลังงานความร้อนร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้า**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.pt.tsu.ac.th/rdi/ConAll/POSTER19/P74.pdf>

ศักดิ์ชัย จงจำ และอำไพศักดิ์ ทิบุญมา. 2553. **การอบแห้งพริกปิ้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 12(3): 75-85.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. วันที่สืบค้น 8 มิถุนายน 2558. **สถานการณ์พลังงานปี 2557**. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.eppo.go.th/info/cd-2014/pdf/cha6.pdf>

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (มผช. 238/2547)**. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และคณะ. 2555. **การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน: จลนพลศาสตร์ คุณภาพ และการทดสอบประสาทสัมผัส**. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(1): 117-129.

สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และคณะ. 2556. **การอบแห้งใบบวบกเพื่อผลิตใบบวบกแห้งขงต้มด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด: จลนพลศาสตร์ ความสิ้นเปลืองพลังงาน และคุณภาพ**. วารสารวิจัย มช. 18(2):

311-324.

- สุวิทย์ แพงกันยา. 2553. การอบแห้งลำไยด้วยไมโครเวฟภายใต้ความดันสุญญากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัจฉรา แซ่ไคว่ และคณะ. 2556. ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 18(1): 166-180.
- อัจฉรา อัครจุฑิชัย และคณะ. 2554. การนำเปลือกทุเรียนและเปลือกมังคุดมาใช้

ประโยชน์ในรูปแบบเชื้อเพลิงอัดแท่ง.

การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49. วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2554. หน้า 162-168. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- อนุสร นาคี และคณะ. 2555. จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17(2): 130-138.

อำไพศักดิ์ ธิบุญมา และคณะ. 2549. การศึกษาการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และรังสีอินฟราเรด. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.