การแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน

Drying of Herbal Products Using Solar Dryer with Biomass Backup Heat Exchanger

มชิมนต์ธรณ์ พรหมทอง กานต์ บุญฤทธิ์ ไพโรจน์ คีรีรัตน์ กำพล ประทีปชัยกูร พีระพงศ์ ทีฆสกุล[1]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทรศัพท์ (074) 287-035 โทรสาร (074) 212-893 Email: perapong@ratree.psu.ac.th[1]

Machimontorn Promtong, Kan Bunyarit, Pairoj Kirirat, Gumpon Prateechaikul, Perapong Tekasakul[1]
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkla 90112 Tel (074) 287-035, Fax: (074) 212-893 Email: perapong@ratree.psu.ac.th[1]

บทคัดย่อ

การศึกษาการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพรโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ได้คำนึงถึงระยะเวลาในการอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) คือ 16% ฐานแห้ง เครื่องอบแห้งที่ใช้เป็นเครื่องอบแห้งชนิดตู้ อากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรับรังสีจะไหลเข้าบริเวณด้านล่างของตัวตู้ และไหลผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางบนชั้นทึบซึ่งออกแบบให้เกิดการไหลของอากาศผ่านแต่ละชั้นอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีที่ใช้ไม้ฟืนขณะที่ความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอนั้น จะใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยให้ก๊าซร้อนไหลในท่อเหล็กที่วางไว้ใต้ชั้นวางแต่ละชั้น อุณหภูมิในห้องอบอยู่ในช่วง 45-58 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศในห้องอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.08-0.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีในขณะที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ และควบคุมให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีขณะใช้ไม้ฟืน จากการอบแห้งผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือส้มแขกแห้งล้างน้ำ และเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้ว ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในโครงการ "หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์" ของกลุ่มแม่บ้านเกษตรกร พบว่าเวลาในการอบแห้งให้ได้ค่าความชื้นตามมาตรฐาน อย. คือ 14 และ 16 ชั่วโมงตามลำดับ โดยค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์จะลดลงอย่างรวดเร็วใน 6 ชั่วโมงแรก ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน มีค่าประมาณ 29%

Abstract

Drying of herbal products using solar dryer with biomass backup heat exchanger was studied. This involves drying time of the product to achieve the moisture content level regulated by the Food and Drug Administration (FDA), that is 16% on dry basis. The solar dryer used in this study was the cabinet type. Air is naturally drawn through the solar collector, receives heat, and flows into the cabinet to remove moisture from the products. The cabinet was designed so that unifom air could flow between every shelf. In the case of insufficient sunlight, wood was burned to supply heat via a series of tubes in the heat exchanger located under every shelf. Temperature in the cabinet during drying ranged from 45 to 58ºC, while the air flow rate was in between 0.08 and 1.08 m^3/sec during solar drying, and was controlled to the range of 0.01 to 0.03 m^3/sec during wood burning. Drying time for rewetted Garcinia atroviridis Griff and dehydrated Garcinia atroviridis Griff was found to be 14 and 16 hours, respectively. The moisture content of the products reduced drastically in the first 6 hours of drying. Efficiency of the solar collector in converting solar energy into heat was about 29%.

1. บทนำ

สมุนไพรไทยถูกนำมาใช้ในการรักษาโรคกันแพร่หลาย แต่ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์สมุนไพรหลายชนิดต้องมีการตากแดดให้สมุนไพรแห้งตัวเพื่อสะดวกต่อการบดละเอียดและเก็บรักษาให้เก็บไว้ได้นาน การนำสมุนไพรมาผึ่งแดดก็เป็นวิธีที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้ระยะเวลานานและเสี่ยงต่อสุขอนามัยที่ดี เนื่องจากอาจมีการปนเปื้อนฝุ่นละออง และมีแมลงวันไต่ตอม ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดังกล่าวต่ำ จึงจำเป็นต้องมีการอบแห้งที่ดี และถูกสุขอนามัย การอบแห้งที่ใช้ต้นทุนต่ำสุดคือการอบแห้งด้วยพลังงานอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งที่ใช้พลังงานอาทิตย์มีมากมายหลายชนิด แต่สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการให้ความร้อน และวิธีการนำความร้อนไปใช้ คือระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแอคทีฟ (active solar-energy drying systems) ซึ่งใช้ลักษณะการพาความร้อนแบบบังคับ โดยมีพัดลมดูดหรือผลักอากาศเข้าสู่เครื่องอบ อากาศที่ไหลเข้าเครื่องอบจะได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านชุดรับรังสีความร้อน ซึ่ง

[1]Corresponding author

ประกอบไปด้วยแผ่นกระจกหรือพลาสติกใส ซึ่งอยู่ด้านบนและแผ่นซึ่งทาสีดำวางด้านล่าง และมีอากาศไหลผ่านแผ่นทั้ง 2 นี้ อากาศได้รับความร้อนจะถูกบังคับให้ไหลผ่านผลิตภัณฑ์ ซึ่งวางอยู่ในตู้อบ อากาศที่ไหลผ่านผลิตภัณฑ์แล้วจะถูกระบายออก ข้อดีของระบบนี้ คืออากาศจะมีอุณหภูมิสูงช่วยให้การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความชื้นมีค่าสูงแต่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มสำหรับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนพัดลม ระบบอบแห้งอีกชนิดหนึ่ง คือระบบอบแห้งชนิดพาสซีฟ (passive solar energy drying systems) ในกรณีนี้จะคล้ายกับแบบแรกเพียงแต่การพาความร้อนจะเป็นแบบอิสระโดยไม่มีพัดลมช่วย แต่จะมีปล่องระบายช่วยให้การพาความร้อนดียิ่งขึ้น ข้อดีของระบบนี้ คือไม่สิ้นเปลื้องค่าไฟฟ้า แต่การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายเทความชื้นจะต่ำกว่าชนิดแอคทีฟ [1]

ระบบอบแห้งแต่ละชนิดยังสามารถแยกย่อยได้อีก 3 แบบตามลักษณะการออกแบบของระบบ ดังนี้ แบบรับความร้อนโดยตรง (direct type) ซึ่งความร้อนจากแสงอาทิตย์จะตกกระทบโดยตรงบนผลิตภัณฑ์ที่วางอยู่ในเครื่องอบ แบบรับความร้อนโดยอ้อม (indirect type) ซึ่งความร้อนจะไม่ตกกระทบลงบนผลิตภัณฑ์ แต่จะตกกระทบลงบนชุดรับความร้อนจากนั้นอากาศร้อนจะไหลผ่านผลิตภัณฑ์ในตู้อบ และแบบผสม (Mixed type) เป็นการผสมกันของแบบความร้อนโดยตรงและโดยอ้อม

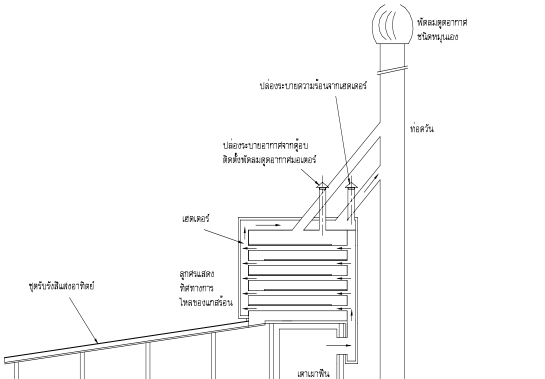
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีใช้มากมายหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ สภาพภูมิศาสตร์ พื้นที่ติดตั้ง รวมทั้งงบประมาณในการก่อสร้าง เป็นต้น เครื่องอบแห้งที่ใช้แพร่หลายชนิดหนึ่งคือเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (solar tunnel dryer) ซึ่งเป็นเครื่องอบแบบผสม และมักออกแบบเป็นชนิดแอคทีฟโดยมีพัดลมเป่าอากาศผ่านแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ เข้าสู่ส่วนอบแห้งซึ่งอยู่ต่อกันกับแผ่นรับรังสี และมีลักษณะเป็นแผ่นชั้นเดียว [2-5] เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์มีข้อดีคือก่อสร้างง่ายแต่ต้องใช้พื้นที่ค่อนข้างมากในการติดตั้ง เครื่องอบแห้งที่ใช้แพร่หลายมากอีกชนิดคือเครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet-type dryer) ซึ่งสามารถออกแบบได้ทั้งแบบแอคทีฟหรือพาสซีฟ และเป็นแบบรับความร้อนโดยตรง แบบรับความร้อนโดยอ้อม หรือแบบผสม [6-9] โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ซึ่งจะใช้เวลานานในการอบแห้งเนื่องจากไม่สามารถอบในเวลากลางคืน หรือในช่วงที่อากาศไม่อำนวย อีกทั้งผลิตภัณฑ์ยังสามารถดูดซับความชื้นจากอากาศกลับเข้าสู่ผลิตภัณฑ์ได้อีกด้วย ดังนั้นการใช้เชื้อเพลิงเสริมจึงมีความจำเป็นหากต้องการอบแห้งอย่างต่อเนื่อง เชื้อเพลิงเสริมที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น หรือความสะดวกในการใช้ ก๊าซหุงต้มมักถูกเลือกให้เป็นเชื้อเพลิงเสริม [2, 4] ทั้งนี้เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้งาน แต่ต้นทุนการผลิตก็จะสูงเช่นเดียวกัน เชื้อเพลิงไม้ฟืนมีต้นทุนที่ถูกกว่าก๊าซมาก แต่ต้องการการควบคุมดูแลอย่างค่อนข้างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิค่อนข้างยาก ต้องอาศัยทักษะ และการออกแบบเตาเผาที่ดี [9]

โครงการนี้ได้ออกแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกับเชื้อเพลิงไม้ฟืนซึ่งใช้พลังงานหมุนเวียนทั้งหมด โดยในช่วงที่มีแสงอาทิตย์เพียงพอจะใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติไม่มีต้นทุนของพลังงาน ส่วนในช่วงไม่มีแสงอาทิตย์จะใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืน โดยเชื้อเพลิงไม้ฟืนสามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น ต้นทุนต่ำ และเป็นพลังงานที่มีการกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สุทธิเป็นศูนย์ (zero total CO_2 emission) หากมีการปลูกต้นไม้ทดแทนในปริมาณเท่ากับที่ใช้

จุดประสงค์ของโครงการนี้คือศึกษาการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพร 2 ชนิดโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืน โดยคำนึงระยะเวลาการทดลองอบแห้งให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นตามข้อกำหนดของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา (อย.) คือ 16% ฐานแห้ง ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดคือ ส้มแขกแห้งล้างน้ำและเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้วโดยทำการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆ ดังนี้ ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง มวลผลิตภัณฑ์และเชื้อเพลิง ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความเร็วของอากาศ ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 2 ชม. ซึ่งจะสามารถบ่งบอกลักษณะการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพร โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานกับพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนได้

2. เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดตู้จะใช้เชื้อเพลิงจากไม้ฟืนเสริมในเวลาที่พลังงานแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ ลักษณะของเครื่องอบแห้งนี้แสดงให้เห็นในรูปที่ 1 มีส่วนประกอบ คือ ชุดแผงรังสีแสงอาทิตย์ ตัวตู้อบแห้ง เตาเผาฟืน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ปล่องระบายความร้อน โดยตู้อบและชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจะต่อเข้ากับปล่องควันที่ติดตั้งพัดลมดูดอากาศชนิดหมุนได้เอง

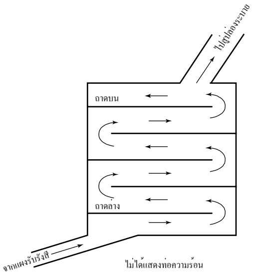


รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานชนิดตู้

ระบบอบแห้งแบบผสมผสานชุดนี้เป็นแบบรับความร้อนโดยอ้อม โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลักผสมผสานกับเชื้อเพลิงไม้ฟืน ในช่วงใช้พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบแผ่นรับรังสีซึ่งวางเอียงทำมุม 7 องศากับพื้นราบเพื่อให้มีประสิทธิภาพการรับรังสีสูงสุดสำหรับพื้นที่จังหวัดสงขลาและเขตชายแดนภาคใต้ และวางเครื่องอบในตำแหน่งที่แผงรับรังสีลาดลงสู่ทิศใต้ แผงรับรังสีนี้ทำจากแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร ทาสีดำด้านเพื่อให้สามารถดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ได้สูงสุด มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 9 ตารางเมตร อากาศที่ไหลผ่านแผงรับรังสีนี้จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น พัดลมดูดอากาศชนิดหมุนได้ด้วย

ตัวเอง ที่ติดอยู่ด้านบนของปล่องควันหมุนดูดอากาศให้ไหลเข้าสู่ช่องว่างด้านล่างของแผ่นรับรังสีแสงอาทิตย์เข้าในตู้อบผ่านชั้นวางผลิตภัณฑ์แต่ละชั้นโดยลักษณะการไหลในตู้อบแสดงให้เห็นในรูปที่ 2 ซึ่งอากาศร้อนจะไปดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์แล้วไหลออกทางปล่องควัน ในตู้อบมีชั้นวางผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 5 ชั้น แต่ละชั้นห่างกัน 15 เซนติเมตร มีพื้นที่วางผลิตภัณฑ์รวมประมาณ 10 ตารางเมตร

สำหรับในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนความร้อนที่ได้จากการเผาไม้ฟืนจะไหลขึ้นด้านบนเข้าในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในตู้อบแห้งโดยอาศัยเฮดเดอร์ 2 ตัว แล้วถ่ายเทความร้อนให้แก่อากาศในตู้อบแห้งที่ไหลผ่านด้านนอกท่อแลกเปลี่ยนความร้อน อากาศร้อนที่ไหลผ่านท่อจะไปดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ที่วางบนชั้นวางในตู้ สุดท้ายความร้อนที่ไหลในท่อกับอากาศร้อนจะไหลออกทางปล่องควัน

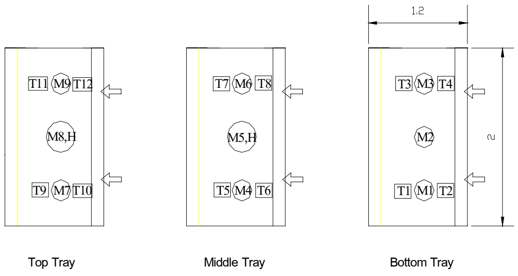


รูปที่ 2 ภาพแสดงทิศทางการไหลของอากาศในตู้อบ

3. อุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง

ในการทดลองนี้จะศึกษาการแห้งตัวของผลิตภัณฑ์สมุนไพร 2 ชนิดคือส้มแขกแห้งล้างน้ำ (rewetted Garcinia atroviridis Griff) และเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้ว (dehydrated Garcinia atroviridis Griff) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ในโครงการ "หนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์" ของกลุ่มแม่บ้านอนุรักษ์สมุนไพรบ้านปาแล ต.ยะต๊ะ อ.รามัน จ.ยะลา ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบไปด้วย

- ชุดอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ สำหรับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ 12 ตำแหน่งในตู้อบแห้งประกอบด้วยชุดสวิทซ์เลือกตำแหน่งการอ่านค่าของอุณหภูมิ สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K และเครื่องอ่านอุณหภูมิยี่ห้อ Tegam รุ่น 820
- เครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับวัดความเข้มของแสงอาทิตย์และค่าพลังงานสะสมที่ตกกระทบบนแผ่นรับรังสี ยี่ห้อ KMUTT สามารถอ่านค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) และพลังงานสะสมต่อหน่วยพื้นที่ (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร)
- เครื่องชั่งดิจิตอลสำหรับชั่งมวลตัวอย่าง เป็นเครื่องชั่งละเอียด ยี่ห้อ Libror รุ่น EB-3200H ชั่งได้สูงสุด 3 กิโลกรัม และชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม
- เครื่องวัดความเร็วลมสำหรับวัดความเร็วของอากาศ ณ ตำแหน่งทางเข้าของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ยี่ห้อ Airflow developments รุ่น TA400T
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์สำหรับการวัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในตู้อบแห้ง ยี่ห้อ Wm รุ่น HTA4200



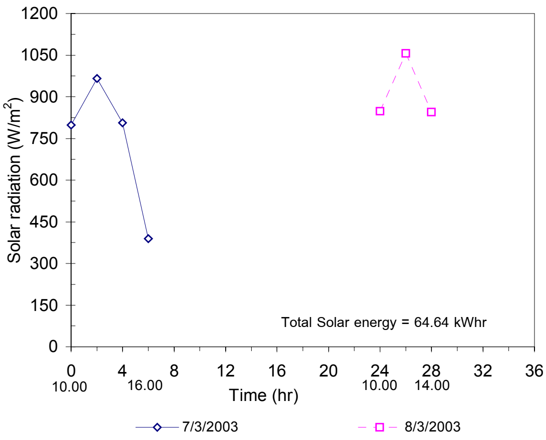
รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ในตู้อบ โดยที่ T คืออุณหภูมิ M คือมวลของผลิตภัณฑ์ และ H คือความชื้นสัมพัทธ์

- ตู้อบไฟฟ้า สำหรับอบแห้งมวลตัวอย่าง ยี่ห้อ Memmert รุ่น 400 อุณหภูมิสูงสุด 200 องศาเซลเซียส
- เครื่องชั่งสำหรับวัดมวลของไม้ฟืนใช้ตาชั่งหน้าปัดกลม ชั่งได้สูงสุด 35 กก

การทดลองเริ่มต้นด้วยการชั่งมวลผลิตภัณฑ์ทั้งหมดและมวลตัวอย่างทั้งหมด 9 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3 ก่อนทำการอบแห้ง อ่านค่าอุณหภูมิในตู้อบจากเทอร์โมมิเตอร์หน้าตู้อบ โดยในช่วงของการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อุณหภูมิในตู้อบอยู่ประมาณในช่วง 45-60 องศาเซลเซียส และช่วงใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ต้องทำการควบคุมอุณหภูมิของเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิจะควบคุมได้มีค่าอุณหภูมิอยู่ในช่วง 50-65 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เข้าอบแห้ง โดยที่กระจายส้มแขกแห้งล้างน้ำและเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้วให้เต็มตะแกรงที่วางในตู้ ทำการบันทึกค่าพลังงานสะสมตอนเริ่มและค่าความเข้มของแสง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของแผงรับรังสี อุณหภูมิภายในตู้อบจำนวน 12 ตำแหน่งและอุณหภูมิบรรยากาศ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศและภายในตู้อบ 2 ตำแหน่ง ความเร็วลมทางเข้า ตามลำดับ และเมื่อเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนก็ต้องเก็บบันทึกค่ามวลไม้ฟืนที่ใช้ด้วย โดยค่าตัวแปรต่างๆ ทำการจดบันทึกค่าทุกๆ 2 ชม.รวมถึงค่ามวลตัวอย่างด้วยและเมื่อทดลองจนค่ามวลตัวอย่างเริ่มคงที่ ซึ่งใช้เวลาทั้งหมด 36 ชม. หลังจากนั้นจะทำการเก็บมวลตัวอย่างมาทำการอบแห้งต่อจนแห้งสนิทในตู้อบไฟฟ้าเพื่อหาค่ามวลแห้งของผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความชื้น (ฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ได้ตัวอย่างไม้ฟืนมาอบแห้งจนแห้งสนิทในตู้อบไฟฟ้าเพื่อหาค่าความชื้นของไม้ฟืนซึ่งจะนำไปหาค่าความร้อนของไม้ซึ่งแปรผันตามค่าความชื้น

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

มวลผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบแห้งทั้งหมดประกอบไปด้วย ส้มแขกแห้งล้างน้ำ 12.7 กิโลกรัม และส้มแขกคั้นน้ำออกแล้ว 12.3 กิโลกรัม รวมทั้งหมด 25.0 กิโลกรัม โดยใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ร่วมกับพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงไม้ฟืน ทำการทดลองวันที่ 7 มีนาคม 2546 ถึง 8 มีนาคม 2546 โดยผลการทดลองมีดังนี้



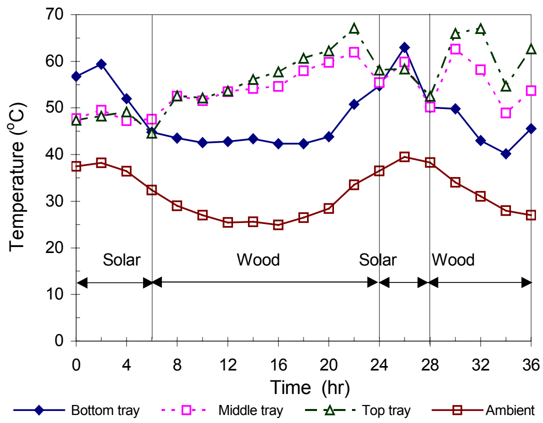
รูปที่ 4 ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ เวลาต่าง ๆ

4.1 ความเข้มของแสงอาทิตย์

รูปที่ 4 แสดงช่วงเวลาที่สามารถใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้โดยในวันแรกที่ทำการทดลองสามารถใช้ได้ในช่วง 10 นาฬิกาถึง 16 นาฬิกา สามารถใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ถึง 6 ชั่วโมง เนื่องจากอากาศปลอดโปร่งและค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมากแล้วทำให้อุณหภูมิในเตาอบแห้งมีค่าสูงและเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ โดยค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ขณะทำการวัดมีค่าสูงสุด 1000 วัตต์ต่อตารางเมตรและในวันที่สองที่ทำการทดลองช่วง 10 นาฬิกาถึง 14 นาฬิกา เนื่องจากในช่วงบ่ายอากาศไม่อำนวยมีเมฆค่อนข้างมาก ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ขณะทำการวัดมีค่าสูงสุด 1050 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าพลังงานรวมทั้งสองวันที่อ่านได้จากเครื่องวัดมีค่า 7.2 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตรเมื่อคูณด้วยพื้นที่รับแสงอาทิตย์จะได้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 64.64 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือ 232.7 เมกกะจูล

4.2 อุณหภูมิในห้องอบและบรรยากาศ

อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นต่าง ๆ ในตู้อบและอุณหภูมิบรรยากาศแสดงในรูปที่ 5 โดยในช่วงชั่วโมงที่ 0-6 ตรงกับเวลาเวลา 10 นาฬิกาถึง 16 นาฬิกาซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถให้อุณหภูมิในตู้อบอยู่ในช่วง 45-58 องศาเซลเซียส เนื่องจากสภาพอากาศที่ปลอดโปร่งโดยอุณหภูมิที่วัดได้บนชั้นถาดล่างจะสูงกว่าบนถาดชั้นกลางและบนถาดชั้นบนซึ่งอุณหภูมิบนถาดชั้นกลางและถาดชั้นบนมีค่าใกล้เคียงกันใน 4 ชั่วโมงแรก แต่ในชั่วโมงที่ 6 อุณหภูมิของอากาศบนถาดชั้นกลางกลับสูงกว่าบนถาดชั้นล่างและถาดชั้นบนเล็กน้อยทั้งนี้เป็นผลจากที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ลดลงทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากแผงรับรังสีแสงอาทิตย์บนถาดชั้นล่างลดลงขณะที่อากาศบนถาดชั้นกลางอุณหภูมิยังสูงอยู่ ในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนอุณหภูมิของอากาศบนถาดชั้นบนจะมีค่าสูงสุดรองลงมาเป็นถาดชั้นกลางและถาดชั้นล่างตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศในช่วงชั่วโมงที่ 6-24 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนนั้นบนถาดชั้นบนจะอยู่ในช่วง 50-68 องศาเซลเซียส บนถาดชั้นกลางอยู่ในช่วง 50-60 องศาเซลเซียส และบนถาดชั้นล่างอยู่ในช่วง 42-50 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากชั้นบนได้รับผลของความร้อนจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนของชั้นล่าง และอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นข้างบน ในการใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงได้ลดพื้นที่ทางเข้าของอากาศให้พื้นที่ทางเข้าจาก 0.24 ตารางเมตรเหลือเพียง 0.03 ตารางเมตรและหยุดพัดลมดูดที่ปล่องควันทำให้อัตราการไหลของอากาศเมื่อเข้าไปในตู้อบแห้งลดลง ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียความร้อนในช่วงชั่วโมงที่ 24-28 ซึ่งใช้พลังงานแสงอาทิตย์ มีผลคล้ายกับชั่วโมงที่ 0-6 ส่วนในชั่วโมงที่ 28-36 ซึ่งใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมีผลเช่นเดียวกับชั่วโมงที่ 6-24 อุณหภูมิบรรยากาศในช่วงกลางวันมีค่าสูงสุดประมาณ 40 องศาเซลเซียส ส่วนลางคืนอุณหภูมิลดลงเหลือ 25 องศาเซลเซียส

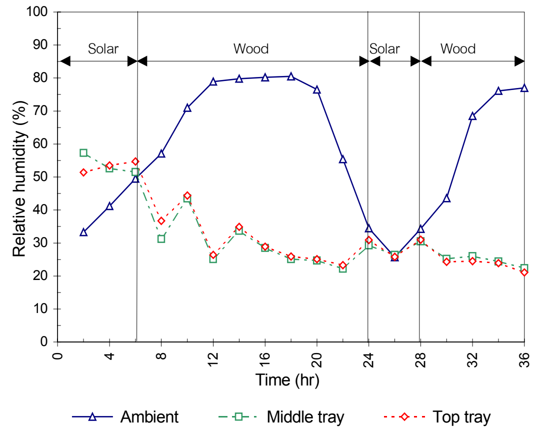


รูปที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ชั้นต่าง ๆ ในตู้อบแห้ง ณ เวลาต่าง ๆ

4.3 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในตู้อบและในบรรยากาศ แสดงในรูปที่ 6 โดยในช่วงชั่วโมงที่ 0-6 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่าถาดชั้นกลางและชั้นบน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 32-50% ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งกึ่งกลางบนถาดชั้นกลางมีค่าอยู่ในช่วง 50-57% กึ่งกลางถาดชั้นบนมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอยู่ในช่วง 50-55% ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเมื่อเข้าในตู้อบแห้งผ่านผลิตภัณฑ์จะดึงน้ำให้ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นเมื่อผ่านผลิตภัณฑ์ที่วางบนถาดชั้นกลางและถาดชั้นบนแต่ในช่วงชั่วโมงที่ 6-24 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าของถาดชั้นบนและถาดชั้นกลางที่เป็นเช่นนั้นเนื่องจากอากาศที่ตำแหน่งทางเข้ามีความชื้นสูงเข้าในตู้อบแห้งซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศทำให้น้ำที่อยู่ในอากาศเกิดการระเหยความชื้นของอากาศจึงลดลง สำหรับในช่วงชั่วโมงที่ 24-28 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าอากาศบนถาดชั้นกลางและชั้นล่างเล็กน้อยที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีค่าความชื้นเหลือไม่มากนัก อีกทั้งท่อแลกเปลี่ยนความร้อนยังร้อนอยู่ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในอากาศเกิดการระเหย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศบนถาดชั้นกลางและชั้นบนจึงต่ำกว่าทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์จะสังเกตได้จากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ของชั่วโมงที่ 26 มีค่าลดลงส่วนในช่วงชั่วโมงที่ 28-36 ซึ่ง

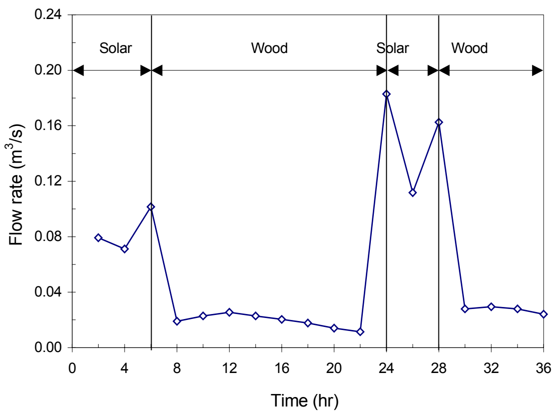
ใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเหมือนกับช่วงชั่วโมงที่ 6-24 คือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าแผงรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่าของถาดชั้นบนและถาดชั้นกลางความชื้นไม้ฟืน



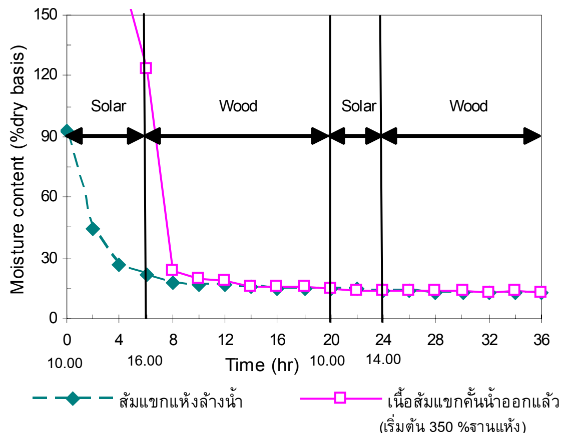
รูปที่ 6 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแต่ละตำแหน่ง ณ เวลาต่างๆ

4.4 อัตราการไหลของอากาศ

อัตราการไหลเฉลี่ยของอากาศเข้าตู้อบแสดงในรูปที่ 7 ช่วงชั่วโมงที่ 0-6 ซึ่งเป็นช่วงใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยมีค่าประมาณ 0.07-0.10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ส่วนในช่วงชั่วโมงที่ 6-24 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนนั้นมีค่าประมาณ 0.01-0.025 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีที่แตกต่างกันมากนักเนื่องมาจากการลดพื้นที่ทางเข้าของอากาศจากเดิมในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์จะปล่อยให้อากาศเข้าได้เต็มที่คือมีพื้นที่หน้าตัดทางเข้าขนาด 0.24 ตารางเมตรแต่ในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนจะลดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าเหลือแค่ 0.03 ตารางเมตรเพื่อให้อากาศไหลเข้าตู้อบน้อยลง ช่วงชั่วโมงที่ 24-28 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีค่าอัตราการไหลของอากาศประมาณ 0.10-0.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในช่วงชั่วโมงที่ 28-36 ซึ่งใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนนั้นมีค่ามีค่าอัตราการไหลของอากาศประมาณ 0.024-0.030 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่ง



รูปที่ 7 อัตราการไหลเฉลี่ยของอากาศ ณ เวลาต่างๆ



รูปที่ 8 ความชื้นของแต่ละผลิตภัณฑ์ ณ เวลาต่างๆ

ค่าอัตราการไหลของอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศขณะทำการทดลองด้วย

4.5 ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์

ค่าความชื้น (ฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้จาก

$$MC_t = \frac{M_t - M_d}{M_d} \times 100\% \tag{1}$$

โดยที่ MC_t คือค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ M_t คือมวลของผลิตภัณฑ์ที่เวลาใดๆ และ M_d คือมวลแห้งของผลิตภัณฑ์

รูปที่ 8 แสดงค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์เฉลี่ยในช่วงเวลาการทดลองโดยเริ่มต้น ส้มแขกแห้งล้างน้ำมีค่าประมาณ 90% ฐานแห้งและเนื้อส้มแขกคั้นน้ำออกแล้วมีค่าประมาณ 350% ฐานแห้ง โดยในช่วงชั่วโมงที่ 0-6 ซึ่งใช้พลังงานสงอาทิตย์ค่าความชื้นจะลดลงมากส่วน ในช่วงชั่วโมงที่ 6-24 จะใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน โดยค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงในอัตราที่น้อยกว่าช่วง 6 ชั่วโมงแรก ส่วนในช่วงชั่วโมงที่ 24-28 ซึ่งกลับมาใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์อีกครั้งนั้นค่าความชื้นของส้มแขกแห้งล้างน้ำกับเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้วเริ่มคงที่ ในช่วงชั่วโมงที่ 28-36 จะใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืนแนวโน้มของค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ยังคงเหมือนชั่วโมง 24-28 โดยค่าความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการทดลองส้มแขกแห้งล้างน้ำมีค่าความชื้นอยู่ที่ 13% ฐานแห้ง เนื้อส้มแขกคั้นน้ำออกแล้วจะมีความชื้นอยู่ที่ 12.7% ฐานแห้ง

4.6 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนและประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉพาะเชื้อเพลิง และประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมสามารถคำนวณได้จาก [9]

$$\eta_{th,solar} = \left(\frac{M_{s,w} L}{W A_s} \right) \times 100\% \tag{2}$$

$$\eta_{th,wood} = \left(\frac{M_{w,w} L}{m_{wood} H} \right) \times 100\% \tag{3}$$

$$\eta_{th,overall} = \left(\frac{M_{t,w} L}{m_{wood} H + W A_s} \right) \times 100\% \tag{4}$$

โดยที่ $\eta_{th,solar}$ คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยการใช้พลังงานแสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ $\eta_{th,wood}$ คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง $\eta_{th,overall}$ คือประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยรวม $M_{s,w}$ คือมวลน้ำที่ระเหยในช่วงใช้แสงอาทิตย์ $M_{w,w}$ คือมวลน้ำที่ระเหยในช่วงใช้ไม้ฟืน $M_{t,w}$ คือมวลน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ทั้งหมด L คือค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ m_{wood} คือมวลไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมด H คือค่าความร้อนของไม้ฟืน A_s คือพื้นที่แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ และ W คือฟลักซ์ของพลังงานความร้อนสะสมจากพลังงานแสงอาทิตย์

โดยจากการทดลองในครั้งนี้ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบรวมมีค่าเท่ากับ 5.9% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้ไม้ฟืนมีค่าเท่ากับ 1.7% ซึ่งมีค่าต่ำทั้งนี้เนื่องจากใช้ไม้ฟืนในการให้พลังงานความร้อนในช่วงที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์เหลือน้อยมากเมื่อเทียบตอนเริ่มต้น ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 15.1% ซึ่งค่าประสิทธิภาพจะสูงกว่านี้หากคิดพลังงานความร้อนที่ใช้อบแห้งเฉพาะ 16 ชั่วโมงแรก ทั้งนี้ระยะเวลาดังกล่าวก็เพียงพอสำหรับการอบแห้งสมุนไพรแล้ว เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนกับ [9] ซึ่งได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบรวม 8.6% ส่วนประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้แสงอาทิตย์และไม้ฟืนมีค่าเท่ากับ 22% และ 6% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเครื่องอบในโครงการนี้มีประสิทธิภาพต่ำกว่า ทั้งนี้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ ค่าความชื้นสุดท้ายที่ต้องการและตัวแปรอื่นๆ เช่น สภาพอากาศ เป็นต้น

ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta_{collector} = \frac{\dot{Q}}{WA_s} \tag{5}$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คือความร้อนที่อากาศได้รับเมื่อไหลผ่านแผงรับรังสี สามารถคำนวณได้จาก

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p\left(T_i - T_o\right) \tag{6}$$

ในที่นี้ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลของอากาศ c_p คือค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ T_i คืออุณหภูมิของอากาศตรงทางเข้า T_o คืออุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศชั้นล่าง โดยค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณมีค่าประมาณ 29.6%

5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ส้มแขกแห้งล้างน้ำและเนื้อส้มแขกคั้นน้ำออกแล้วมวลรวม 25 กก.ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทำการอบแห้งอยู่ในช่วง 45-58 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศในห้องอบอยู่ระหว่าง 0.08-0.18 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และควบคุมให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.01-0.03 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีในช่วงใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน ใช้เวลาทดลองทั้งหมด 36 ชั่วโมงสามารถใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ 10 ชั่วโมง ใช้พลังงานความร้อนจากไม้ฟืน 26 ชั่วโมง ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์ลดลงมากในช่วง 6 ชั่วโมงแรกค่าความชื้นก่อนทำการอบแห้งผลิตภัณฑ์ของส้มแขกแห้งล้างน้ำมีค่าประมาณ 93 % ฐานแห้ง เนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกมีค่าประมาณ 353% ฐานแห้ง ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ประมาณ 29.8% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบรวมประมาณ 5.9% ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้ไม้ฟืนเท่ากับ 1.7% และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบโดยใช้แสงอาทิตย์เท่ากับ 15.1% เวลาที่ใช้อบแห้งให้ค่าความชื้นของส้มแขกแห้งล้างน้ำและเนื้อส้มแขกที่คั้นน้ำออกแล้วให้ผ่านข้อกำหนดของคณะกรรมการอาหารและยา (อย.)ที่ 16% ฐานแห้ง คือ 14 และ 16 ชั่วโมงตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี จังหวัดนครศรีธรรมราช กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และได้รับความเอื้อเฟื้อสถานที่รวมทั้งผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลอง จากกลุ่มแม่บ้านอนุรักษ์สมุนไพรบ้านปาแล หมู่ที่ 1 ตำบลยะต๊ะ อำเภอรามัน จังหวัดยะลา

เอกสารอ้างอิง

[1] O. V. Ekechukwu, and B. Norton, “Review of Solar-Energy Drying Systems II: An Overview of Solar Drying Technology,” Energy Conservation & Management, Vol. 40, 1999, pp. 615-655.

[2] A. Esper, and W. Mühlbauer, “Solar Tunnel Dryer for Fruit,” Plant Research and Development, Vol. 44, 1996, pp. 61-80.

[3] P. Schirmer, S. Janjai, A. Esper, R. Smitabhindu, and W. Mü hlbauer, “Experimental Investigation of the Performance of the Solar Tunnel Dryer for Drying Bananas,” Renewable Energy, Vol. 7, No. 2, 1996, pp. 119-129.

[4] A. Esper, and W. Mühlbauer, “Solar Drying – An Effective Means of Food Preservation,” Renewable Energy, Vol. 15, 1998, pp. 95-100.

[5] B. K. Bala, M. R. A. Mondol, B. K. Biswas, B. L. D. Chowdury, and S. Janjai, “Solar Drying of Pineapple Using Solar Tunnel Drier,” Renewable Energy, In Press.

[6] C. Tiris, M. Tiris, and I. Dincer, “Investigation of the Thermal Efficiencies of a Solar Dryer,” Energy Conservation & Management, Vol. 36, 1995, pp. 205-212.

[7] V. K. Sharma, A. Colangelo, and G. Spagna, “Experimental Investigation of Different Solar Dryers Suitable for Fruit and Vegetable Drying,” Renewable Energy, Vol. 6, No. 4, 1995, pp. 413-424.

[8] I. Farkas, and C. Meszaros, “Analytical and Experimental Study of a Modular Solar Dryer,” Renewable Energy, Vol. 16, 1999, pp. 773-778.

[9] B. Bena, and R. J. Fuller, “Natural Convection Solar Dryer with Biomass Back-up Heater,” Solar Energy, Vol. 72, No. 1, 2002, pp. 75-83.