



บทความวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
พัชรภรณ์ อินริราย* ธวัชรัตน์ สัมฤทธิ์ วรลักษณ์ สุริวงษ์ และ สุรินทร์พร ชั่งไชย

*คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรสุพรรณบุรี อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history	
รับ: 3 สิงหาคม 2564	
แก้ไข: 6 กันยายน 2564	
ตอบรับการตีพิมพ์: 29 กันยายน 2564	
ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564	
คำสำคัญ	
การอบแห้ง	
ขมิ้นชัน	
พลังงานแสงอาทิตย์	
เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	
	งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งมีขนาด 1 x 0.8 ตารางเมตร ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ ระบบ Passive และ ระบบ Active และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ขมิ้นชันเตรียมที่ความหนาเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งขมิ้นชันพบว่า สามารถทำอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเครื่องเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส และ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งขมิ้นชัน สำหรับการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งพบว่า เครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภท (เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ และเครื่องอบแห้งแบบถาด) มีระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากันที่ 7 ชั่วโมง ที่ทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์แห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์สมุนไพรแห้ง โดยร้อยละความชื้นฐานแห้งเท่ากับ 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ และจากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.77 ± 0.22 ทั้งนี้ร้อยละของผลิตภัณฑ์แห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 20.72 ± 0.04, 25.99 ± 0.63 และ 21.50 ± 0.50 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์แห้งพบว่า สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภท มีค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน และสำหรับค่าสี โดยขมิ้นชันทั้ง 4 ตัวอย่าง มีค่าเฉลี่ยสีเหลืองส้ม ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active สามารถอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพด้านสี ค่า L* และ C ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

บทนำ

สมุนไพร เป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ ได้จาก พืช สัตว์ และแร่ธาตุที่ใช้เป็นยา หรือผสมกับสารอื่นตามตำรายา เพื่อบำบัดโรค บำรุงร่างกาย หรือใช้เป็นยาพิษหากนำเอาสมุนไพรตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันซึ่งจะเรียกว่า ยา ในตำรายา (Ramkhamhaeng University, 2007) โดยสมุนไพรในประเทศไทยมีอยู่หลายชนิดมีการนำมาใช้งานได้หลายส่วนไม่ว่าจะเป็น ใบ ลำต้น ดอก ผล รากและเหง้า เป็นต้น การใช้งานสมุนไพรนอกจากจะใช้ผลิตภัณฑ์สดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีการนำมาทำให้แห้งเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน

การอบแห้ง เป็นกระบวนการในการแปรรูปของเหลว

กึ่งของแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็ง ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายในรูปของแข็งโดยการระเหยเอาของเหลวออกไปจากวัสดุด้วยการให้ความร้อน โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งก็คือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ เนื่องจากการอบแห้งนั้นเป็นกระบวนการลดความชื้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ลดลง ซึ่งมีผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การอบแห้งพืชสมุนไพรจะใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแตกต่างกันไปตามส่วนของพืชสมุนไพรการใช้เครื่องอบแห้งเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดเวลาและได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีแต่จะต้องมีการใช้ความร้อนในการอบสมุนไพรให้เหมาะสมกับส่วนของสมุนไพรที่นำมาใช้ เช่น สมุนไพรส่วนดอก ใบ ต้นควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 55 องศาเซลเซียส

* Corresponding author

E-mail address: patcharapom.in@psru.ac.th (P. Inrirai)

 Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2021.25>

สมุนไพรส่วนราก กิ่งราก ผิว ควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส เป็นต้น (Chiangmai Provincial Public Health Office, 2013) มีการศึกษาการใช้เทคโนโลยีในการอบแห้งหลายแบบในการอบแห้งขมิ้นชัน ได้แก่ การตากแดดโดยตรง การตากแบบมีการบังเงา เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งแบบลมร้อน เครื่องอบแห้งแบบถาด เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศ-อินฟราเรด เครื่องอบแห้งไมโครเวฟ และเครื่องทำแห้งโดยการแช่เยือกแข็ง เป็นต้น โดยแต่ละวิธีส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันแห้งแตกต่างกัน ซึ่งปัจจัยที่มีผลคุณภาพของขมิ้นชัน คือ วิธีการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิในการอบแห้ง โดยจากงานวิจัยของ Singh et al. (2010) ที่ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่า ปริมาณสาร Oleoresin ในผลิตภัณฑ์แห้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่ช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 40 – 55 องศาเซลเซียส ทั้งนี้หากเพิ่มอุณหภูมิเกิน 55 องศาเซลเซียส ปริมาณสาร Oleoresin มีแนวโน้มที่ลดลงไป รวมทั้งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อนพบว่า อุณหภูมิในการอบแห้งที่สูงขึ้นมีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันที่ได้ ซึ่งอุณหภูมิอบแห้งที่ 50 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นสีเหลืองไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับขมิ้นสด สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีอบแห้งโดยใช้แสงอาทิตย์ เป็นวิธีการที่มีความสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยเนื่องจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระบบการทำงาน คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Passive System และเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์ชนิด Active System มีหลักการการอบแห้งที่แตกต่างกันโดยการไหลของอากาศแบบธรรมชาติและแบบบังคับตามลำดับจากการศึกษาของ Taikhao & Teekasap (2013) พบว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิด Passive System สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำกว่าเครื่องอบแห้งแสงอาทิตย์แบบ Active System โดยที่อุณหภูมิภายในห้องอบแห้ง 30 – 40 องศาเซลเซียส และ 45 – 65 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยของ Hirko et al. (2021) ที่ศึกษาการอบแห้งแบบตากแดดโดยตรง และ การใช้เครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมพบว่า การเตรียมผลิตภัณฑ์ด้วยการลวกน้ำร้อน 15 นาที แล้วนำไปอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมมีร้อยละของสารสำคัญ (Oleoresin, Essential Oil และ Curcumin) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยการตากแดดโดยตรง

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการอบแห้งขมิ้นชัน โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ Passive system และ Active system นอกจากนั้นทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ และศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ เปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่อง

อบแห้งแบบถาด (Tray dryer) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนทางพลังงานต่ำมาใช้ประโยชน์และสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น

เตรียมผลิตภัณฑ์ที่ใช้การอบแห้งในงานวิจัยคือ ขมิ้นชัน (Turmeric) โดยตัวอย่างขมิ้นชันถูกเก็บเกี่ยวช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ในพื้นที่จังหวัดพิษณุโลก จากนั้นทำการคัดแยกหัวและแง่ออกจากกัน ตัดรากและส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการทิ้ง คัดเลือกส่วนที่สมบูรณ์ปราศจากโรคและแมลง นำมาล้างด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งเนื่องจากขมิ้นชันเป็นพืชหัวอยู่ใต้ดิน การล้างทำความสะอาดจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด หลังจากนั้นควรใส่ตะกร้าทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน แล้วนำขมิ้นที่ล้างแล้วมาหั่นเป็นชิ้นบางให้มีความหนาสม่ำเสมอประมาณ 2 มิลลิเมตร ดังแสดงใน Figure 1



Figure 1 Preparing turmeric sample

นำตัวอย่างขมิ้นชันหาความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน AOAC (2010) โดยนำตัวอย่างขมิ้นชัน 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น แล้วนำไปอบด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยนำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของขมิ้นชัน โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$MC = \frac{W_i - W_f}{W_f} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ MC คือ ความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง)
 W_i คือ น้ำหนักขมิ้นชันก่อนอบ, กรัม
 W_f คือ น้ำหนักขมิ้นชันหลังอบ, กรัม

การศึกษาอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีผลิตภัณฑ์

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด ตัวเครื่องอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 100 x 165 x 60 เมตร กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วลมได้ 3 ระดับ โดยพัดลมแบบไหลตัดแนวแกน การศึกษาการอบแห้งโดยนำตัวอย่างขมิ้นชันจำนวน 700 กรัม ที่เตรียมไว้มาวางเรียงบนตะแกรงอบแห้งโดยเว้นระยะของชั้นขมิ้นชันไม่ให้ทับกัน ทำติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นตามวิธีทดสอบตาม AOAC ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง

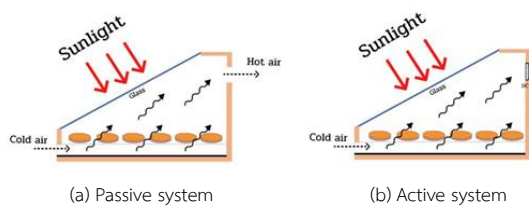


Figure 2 Operating system of solar dryer

ทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องและอากาศแวดล้อม โดยติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K (ทำจากโลหะนิกเกิลโครเมียม-นิกเกิล ช่วงการวัดอุณหภูมิ -200 องศาเซลเซียส ถึง 1350 องศาเซลเซียส) ไว้บริเวณ 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตรงบริเวณทางออก ที่ระยะ 50 เซนติเมตร และติดตั้งทั้งสามสายกึ่งกลางเครื่อง ระยะห่างระหว่างกัน 29 เซนติเมตร ห่างจากกระจกด้านข้าง 13 เซนติเมตร ดังแสดงใน Figure 3



Figure 3 The position of type K thermocouple in solar dryer

แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องด้วยเครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Channel Temperature Meter/Data logger รุ่น TM-947SD) และบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ด้วยเครื่อง Solarimeters รุ่น SL200 ทุกๆ 30 นาที ซึ่งทำการทดลองเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) ทำการทดลองระบบละ 3 ชั่วโมง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำงานระบบ Passive system และระบบ Active System โดยวิธี Paired Sample T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น

ร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.0

การศึกษาการอบแห้ง

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษามีจำนวน 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยสำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาด ตัวเครื่องอบ กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 100 x 165 x 60 เมตร กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วลมได้ 3 ระดับ โดยพัดลมแบบไหลตัดแนวแกน การศึกษาการอบแห้งโดยนำตัวอย่างขมิ้นชันจำนวน 700 กรัม ที่เตรียมไว้มาวางเรียงบนตะแกรงอบแห้งโดยเว้นระยะของชั้นขมิ้นชันไม่ให้ทับกัน ทำติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบ โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 3 กรัม เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นตามวิธีทดสอบตาม AOAC ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง

การศึกษากลศาสตร์การอบแห้งของขมิ้นชัน ศึกษาในรูปของอัตราส่วนความชื้น (Moisture ratio, MR) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_{in} - M_e} \quad (2)$$

โดยที่ M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น (ร้อยละฐานแห้ง)

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (ร้อยละฐานแห้ง)

M_e คือ ความชื้นสมดุล (ร้อยละฐานแห้ง)

โดยค่าความชื้นสมดุล เป็นค่าที่บอกปริมาณน้ำที่ยังหลงเหลือในผลิตภัณฑ์ภายใต้อุณหภูมิต่าง ๆ ที่เกิดภาวะสมดุลระหว่างไอน้ำในอากาศกับไอน้ำในผลิตภัณฑ์ หรือเป็นสถานะที่ไอน้ำไม่ระเหยออกจากวัสดุเนื่องจากมีภาวะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบ ๆ ผลิตภัณฑ์นั้น ทั้งนี้ค่าความชื้นสมดุลจะมีค่าแตกต่างกันเมื่อสภาพอากาศที่ใช้ออบแห้งแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีขมิ้นชันกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ค่าความชื้นในตอนเริ่มต้นจะมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสมดุลมาก ๆ ทำให้สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการที่ 3 (Ratmanee et al., 2021)

$$MR = \frac{M_t}{M_{in}} \quad (3)$$

การศึกษ้อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) โดยคิดจากความชื้นที่ออกจากวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 4

$$DR = \frac{(M_{in} - M_f)W_f}{t} \quad (4)$$

โดยที่ M_f คือ ความชื้นหลังอบแห้ง (ร้อยละฐานแห้ง)
 t คือ เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง, ชั่วโมง
 W_f คือ น้ำหนักไขมันชั้นหลังอบ, กรัม

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องแห้ง

สำหรับการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือทดสอบเพื่อวัดค่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่อง อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในเครื่องและอากาศแวดล้อม ระหว่างการทดสอบเป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5 (Borah et al., 2015)

$$\eta_{sys} = \frac{m_w h_{fg}}{G_i A} \times 100 \quad (5)$$

โดยที่ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง
 m_w คือ อัตราการระเหยน้ำ, กิโลกรัมต่อวินาที
 h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม
 G_i คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 7 ชั่วโมง ที่ทำการทดลอง, กิโลจูลต่อตารางเมตร
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของเครื่องอบแห้ง, ตารางเมตร

นอกจากนั้นทำการคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) โดยสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6

$$SEC = \frac{E}{m_w} \quad (6)$$

โดยที่ E คือ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง, เมกะจูล

โดยสำหรับกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองคำนวณจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ระยะเวลา 7 ชั่วโมง ที่ตกกระทบพื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาดคิดจากระยะเวลาในการใช้งานเครื่องที่ กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้ง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

(DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.0

การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

สำหรับการหาร้อยละของผลผลิตถั่วอบแห้งที่ได้ โดยนำไขมันชั้น ปริมาณ 700 กรัม ไปทำการอบแห้งตามระยะเวลา 7 ชั่วโมง จนผลผลิตถั่วอบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนักผลผลิตถั่วอบแห้งที่ได้ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งร้อยละของผลผลิตถั่วที่ได้มีสมการความสัมพันธ์ ดังสมการที่ 6

$$\%Yield = \frac{W_f}{W_i} \times 100 \quad (6)$$

จากการศึกษาร้อยละของผลผลิตถั่วอบแห้งที่ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.0

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตถั่วอบแห้ง

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าสี และ ปริมาณน้ำอิสระ โดยวิธีในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

การทดสอบค่าสีของผลผลิตถั่วไขมันอบแห้ง โดยนำผลผลิตถั่ว ไขมันชั้นอบแห้งจำนวน 10 กรัม มาบด เป็นเวลา 30 วินาที ที่ทำการวัดค่าสี รุ่น Chroma meter CR-400/410 โดยโหมดของเครื่องวัดสี ที่ใช้คือ CIE L*a*b* จากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉดสี (Hue, h) และความบริสุทธิ์ของสี (Chroma, C) ได้จากสมการที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

$$h = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (7)$$

$$C = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (8)$$

โดยที่ a^* คือ ค่าความเป็นสีแดง ($+a^*$) และสีเขียว ($-a^*$)
 b^* คือ ค่าความเป็นสีเหลือง ($+b^*$) และสีน้ำเงิน ($-b^*$)

การหาปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัด ปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AquaLab PRE โดยนำผลผลิตถั่วไขมันชั้นอบแห้ง จำนวน 10 กรัม มาบด เป็นเวลา 30 วินาที แล้วทำการวัดค่า a_w ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

จากการศึกษาคุณภาพของผลผลิตถั่วอบแห้งทำการวิเคราะห์

ทางด้านสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ที่อบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS เวอร์ชัน 11.0

ผลการวิจัย

จากการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีผลิตภัณฑ์เป็นระยะเวลา 7 ชั่วโมง (เวลา 09:30 – 16:30 น.) สำหรับการศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยมีค่าสูงสุดที่ 57.96 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 5 ชั่วโมง ของการทดลอง ทั้งนี้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 3.0 – 10.7 องศาเซลเซียส โดยที่การทดสอบมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ 684.58 ± 56.26 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ที่ใช้ในการศึกษาความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้ง อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา โดยมีค่าสูงสุดที่ 58.71 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลา 3 ชั่วโมง ของการทดลอง ทั้งนี้อุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยทั้งวันมีค่าเท่ากับ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 5.2 – 11.5 องศาเซลเซียส โดยการทดสอบมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย เท่ากับ 693.21 ± 82.09 วัตต์ต่อตารางเมตร ทั้งนี้พบว่าอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ซึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ในสภาวะที่ทดลองทั้งสองระบบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Table 1

จากการทดสอบเปรียบเทียบการอบแห้งของขมิ้นชันที่เวลาต่าง ๆ ด้วยเครื่องอบแห้งที่แตกต่างกัน 3 ประเภท คือ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด ตัวอย่างขมิ้นชันที่ใช้ในการศึกษาการอบแห้งแต่ละเครื่องมีค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ซึ่งค่าความชื้นของตัวอย่างเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ดังแสดงใน Table 2 โดยการศึกษาอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลา ดังแสดงใน Figure 4 พบว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดมีการลดลงของค่าความชื้นที่รวดเร็วที่ระยะเวลาการอบ 2 ชั่วโมงแรกโดยมีค่าอัตราส่วนความชื้นต่ำกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ เนื่องจากเครื่องจากเครื่องอบแห้ง

แบบถาดที่ตั้งอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งมีค่าสม่ำเสมอตลอดการอบแห้งรวมทั้งการไหลเวียนของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบถาดที่มีการช่วยให้มีการลดลงของความชื้นลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อุณหภูมิภายในเครื่องจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส จนมีอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 2 ชั่วโมงแรก ดังแสดงใน Figure 5 ซึ่งอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อการลดลงของความชื้น และเมื่อเปรียบเทียบการลดลงของความชื้นของเครื่องอบแห้งระบบ Passive และระบบ Active พบว่า อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีการลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เมื่อเวลาอบแห้งผ่านไป 4 ชั่วโมง อัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่องมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

Table 1 Effect of inside air temperature ($T_{in,avg}$) solar intensity ($G_{I,avg}$) and differential between inside air temperature and ambient temperature (ΔT) of 2 systems solar dryer

Type of solar heater	$T_{in,avg}$ (°C)	$G_{I,avg}$ (W/m ²)	ΔT (°C)
Passive system	47.8 ± 3.9	684.58 ± 56.26	3.0 – 10.7
Active System	49.0 ± 3.5	693.21 ± 82.09	5.2 – 11.5
t	0.0001	0.0001	–
p-value	0.001	0.792	–

Note: The mean difference is significant at p -value < 0.05

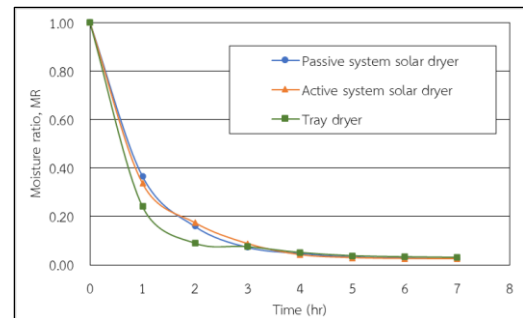


Figure 4 Drying curve during drying with passive system solar dryer, active system solar dryer and tray dryer

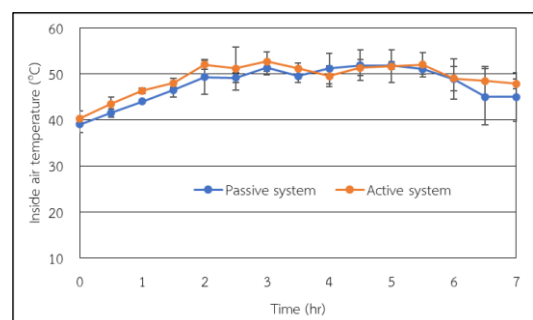


Figure 5 The inside air temperature changes with time of the solar dryer operating on both systems.

ซึ่งลดลงอย่างคงที่ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการอบเท่ากับ 7 ชั่วโมง ที่ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เท่ากับ 10.60 ± 0.85 , 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง ที่กำหนดว่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ไม่เกิน 12

สำหรับการศึกษาอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาในการอบแห้ง ดังแสดงใน Figure 6 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และเครื่องอบแห้งแบบถาด ตลอดระยะเวลาการอบแห้ง 7 ชั่วโมง ทั้งนี้ที่ระยะเวลาการอบแห้ง 2 ชั่วโมงแรกพบว่า เครื่องอบแห้งแบบถาดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive จนกระทั่งระยะเวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าต่ำที่สุดในทั้ง 3 เครื่อง ทั้งนี้จากกราฟอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง พบว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งแบบถาดในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ขมิ้นชัน เพื่อให้มีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งระยะเวลาในการทดสอบเท่ากันคือ 7 ชั่วโมง ในการอบแห้งซึ่งผลการศึกษาดังแสดง Table 2

พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีประสิทธิภาพสูงสุด มีค่าประสิทธิภาพของการอบแห้งเท่ากับ 8.77 ± 0.22 ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากระบบสามารถทำอุณหภูมิได้สูงจากพลังงานหมุนเวียนและไม่ต้องสิ้นเปลืองพัดลมในการดูดอากาศ และเครื่องอบแห้งแบบถาดมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำที่สุด เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พลังงานสูงจากระบบทำความร้อนและการทำงานของพัดลม โดยประสิทธิภาพของระบบอบแห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 1.45 ± 0.60 ซึ่งยังมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ นอกจากนั้นเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 3.86 ± 0.11 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และ 4.25 ± 0.21 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเครื่องอบแห้งแบบถาด ($p < 0.05$) และเมื่อทำการศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้ง พบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active มีค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 25.99 ± 0.63

ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive และเครื่องอบแห้งแบบถาด จากการศึกษาค่าปริมาณน้ำอิสระ (Water activity, a_w) ของขมิ้นชันที่ผ่านการอบแห้ง แสดงดัง Figure 7 พบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ มีค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้งที่กำหนดไว้ ทั้งนี้การอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่มีค่า a_w ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

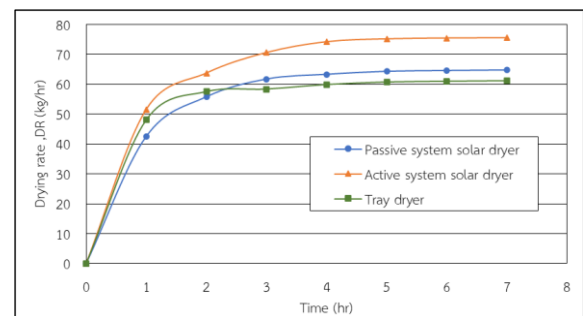


Figure 6 Drying rate during drying with passive system solar dryer, active system solar dryer and tray dryer

Table 2 The comparison of thermal efficiency, specific energy consumption and %yield in different operating dryer.

Parameters	Passive system solar dryer	Active system solar dryer	Tray dryer
Initial Moisture content (%d.b.)	459.14 $\pm$ 70.16 ^{ns}	444.05 $\pm$ 60.15 ^{ns}	420.90 $\pm$ 39.02 ^{ns}
Final Moisture content (%d.b.)	10.60 $\pm$ 0.85 ^{ns}	11.43 $\pm$ 0.82 ^{ns}	11.61 $\pm$ 1.07 ^{ns}
Drying time (hr)	7	7	7
Thermal efficiency	8.77 $\pm$ 0.22 ^a	7.96 $\pm$ 0.15 ^b	1.45 $\pm$ 0.60 ^c
(η_{sys})			
Specific energy consumption (MJ/kg)	3.86 $\pm$ 0.11 ^b	4.25 $\pm$ 0.21 ^b	23.34 $\pm$ 1.04 ^a
%Yield	20.72 $\pm$ 0.04 ^b	25.99 $\pm$ 0.63 ^a	21.50 $\pm$ 0.50 ^b

Note: a – c difference letter in same raw were significant difference ($p < 0.05$) ns in same raw was not statistically significant ($p > 0.05$)

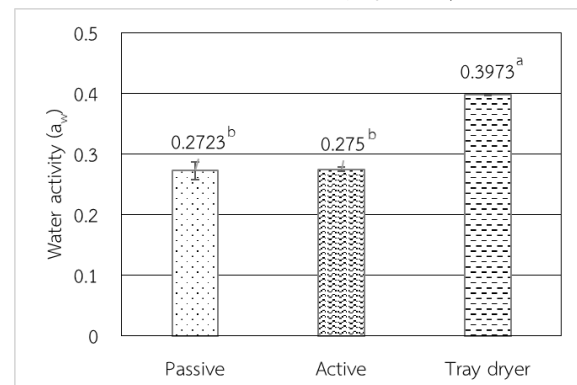


Figure 7 Water activity (a_w) of dried product from in different operating dryer (a – b difference letters were significant difference ($p < 0.05$))

จากการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งและทำการเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงอบแห้งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 8 พบว่า

สำหรับค่าความสว่าง (L^*) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาดทำให้สีของขมิ้นมีความสว่างมากที่สุด โดยแตกต่างจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และแตกต่างจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งแสดงว่าการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับแสงโดยตรงมีผลต่อความสว่างของผลิตภัณฑ์ แต่ทั้งนี้ค่าความสว่างของขมิ้นชั้นแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ไม่มีความแตกต่างจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) สำหรับค่า h (Hue) ที่แสดงถึงเฉดสีของขมิ้นชั้น พบว่า ขมิ้นชั้นทั้ง 4 ตัวอย่างมีเฉดสีเหลืองส้ม โดยการอบแห้งทั้ง 3 วิธี ค่าเฉดสีของขมิ้นชั้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่มีความแตกต่างกับผลิตภัณฑ์ขมิ้นชั้นจากท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) สำหรับค่า C (Chroma) ซึ่งแสดงถึงค่าแสดงความบริสุทธิ์ของสี พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาดทำให้สีของขมิ้นมีความบริสุทธิ์ของสีมากที่สุด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์และผลิตภัณฑ์ขมิ้นชั้นจากท้องตลาด ทั้งนี้ขมิ้นชั้นที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ มีความบริสุทธิ์ของสีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากผลิตภัณฑ์ขมิ้นชั้นท้องตลาด

Table 3 The color comparison in L^* h and C parameter of dried product between different operating dryer and control (dried product from market)

Type	Color value		
	L^*	h	C
Passive	62.10 ± 0.46^b	65.70 ± 0.20^b	41.16 ± 0.07^b
Active	61.28 ± 0.56^{bc}	66.05 ± 0.21^b	41.27 ± 0.43^b
Tray dryer	63.24 ± 0.67^a	66.18 ± 1.01^b	46.87 ± 2.61^a
Control	60.83 ± 0.30^c	71.00 ± 0.26^a	39.44 ± 0.96^b

Note: a – c difference letter in same column were significant difference ($p < 0.05$)

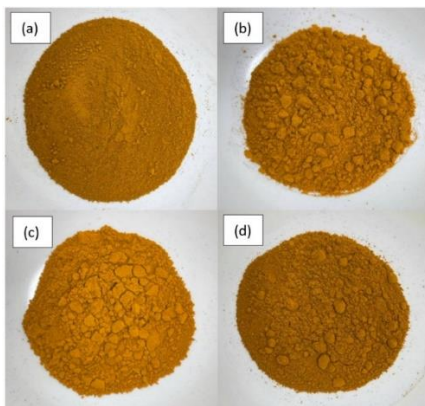


Figure 8 Dried turmeric product (a) Passive system solar dryer (b) Active system solar dryer (c) Tray dryer and (d) Dried product from market

วิจารณ์ผลการวิจัย

ขมิ้นชั้นมีสารประกอบทางเคมีอยู่ 2 ชนิด คือ น้ำมันหอมระเหย (Essential Oil) และ สารเคอร์คิวมินอยด์ (Curcuminoids) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ฤทธิ์ต้านการอักเสบ ฤทธิ์ต้านจุลินทรีย์ ฤทธิ์ต้านมะเร็ง และอื่น ๆ โดยจากข้อมูลของสำนักงานสาธารณสุขเชียงใหม่ (Chiangmai Provincial Public Health Office, 2013) สมุนไพรส่วนราก กิ่ง ราก ผิว ควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส โดยจากงานวิจัยของ Jampafuang et al. (2018) พบว่า วิธีการอบแห้งแบบระเหิดและการอบแห้งด้วยตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์ทำให้มีปริมาณน้ำมันหอมระเหยสูงสุด รวมทั้งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อปริมาณสารเคอร์คิวมินในขมิ้นชั้นโดยที่อุณหภูมิอบแห้งที่ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณเคอร์คิวมินมากที่สุด ซึ่งเห็นว่าการที่ใช้ในการอบแห้งและอุณหภูมิในการอบแห้งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย นอกจากนั้นการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นวิธีการอบแห้งที่มีต้นทุนและการใช้พลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งวิธีอื่น โดยจากเครื่องแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง สามารถทำให้อากาศภายในเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 47.8 ± 3.9 องศาเซลเซียส สำหรับระบบแบบ Passive และ 49.0 ± 3.5 องศาเซลเซียส สำหรับระบบแบบ Active ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชั้นให้มีคุณภาพได้ โดยอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของขมิ้นชั้นเกิดขึ้นตามกราฟการอบแห้งใน Figure 6 สามารถแบ่งขั้นตอนของกระบวนการอบแห้งตามเวลาได้ดังต่อไปนี้คือที่เวลาการอบแห้ง 1 – 3 ชั่วโมง เป็นช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง ซึ่งบริเวณผิวของวัสดุมีลักษณะเปียกชื้นมาก ส่งผลให้มีอัตราการแห้งเพิ่มมากขึ้น ที่มีการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงอย่างรวดเร็ว และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 4 – 5 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง ซึ่งอัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง และความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 6 – 7 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าวัสดุอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการแห้งมีค่าคงที่ ซึ่งน้ำในวัสดุไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก โดยหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวค่าความชื้นจะมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าระยะเวลาการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อทำให้ค่าความชื้นขมิ้นชั้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ และเครื่องอบแห้งแบบภาดเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง เท่ากับ 7 ชั่วโมง (มีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Seanmeema et al. (2013) พบว่าเวลาที่เหมาะสมกับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยบั้งความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วลม 0.5 m/s ใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 400 นาที ที่ทำให้ความชื้นผลิตภัณฑ์อบแห้งเท่ากับ 10.13 (ร้อยละฐานแห้ง)

สำหรับคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า ค่า a_w ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 แบบ มีค่าน้อยกว่า 0.60 ทั้งนี้หลังอบแห้งระยะเวลา 7 ชั่วโมง ผลิตภัณฑ์จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า a_w น้อยกว่าเครื่องอบแห้งแบบถาด เนื่องจากผลของความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของการอบแห้งแบบถาดที่มากกว่าที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน รวมทั้งการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงอาจส่งผลต่ออัตราการลดลงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจากงานวิจัยของ Parinyanat (2016) ได้ศึกษาอัตราการอบแห้งผักข้าวผสมมะม่วงแบบแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดพบว่า เวลาการอบแห้งผลิตภัณฑ์เท่ากับ 7.7 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 191.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ในขณะที่เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด มีอัตราการอบแห้ง เท่ากับ 101.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ คืออุณหภูมิและความเร็วลม โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นอุณหภูมิภายในเครื่องเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นสีอาทิตย์ รวมทั้งอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เพิ่มขึ้นด้วยลมร้อนภายในเครื่อง ยังเนื่องจากดูดซับรังสีอาทิตย์เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์เอง สำหรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยพบว่าค่า L^* และ C มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งแบบถาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างของขมิ้นชันมีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) พบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลต่อคุณภาพค่าสีของขมิ้นชัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลทำให้รังสีควัตถุหรือสารให้สีถูกทำลายและสลายตัวได้ รวมทั้งมีการสลายตัวและการรวมตัวของกรดอะมิโนกับสารประกอบรีดิวซ์ซึ่ง ซึ่งความร้อนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้ ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความผันผวนของอุณหภูมิภายในเครื่องเกิดขึ้นได้ในระหว่างวัน จึงอาจส่งผลให้มีอุณหภูมิบางช่วงเวลามีค่าสูง เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบถาดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้คุณภาพค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่อง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ยังสามารถอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพด้านสี ค่า L^* และ C ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องที่สร้างสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือระบบ Passive และระบบ Active ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยได้ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับการอบแห้งขมิ้นชัน หรือพืชจำพวกสมุนไพร ทั้งนี้ในระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 7 ชั่วโมง ของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบถาด เท่ากับ 10.60 ± 0.85 , 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน รวมทั้งเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ ได้ผลิตภัณฑ์ขมิ้นชันอบแห้งที่มีค่า a_w ค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้งที่กำหนดและมีสีเฉดสีเหลืองส้ม ซึ่งการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการอบแห้งขมิ้นชันนั้น นอกจากเป็นการใช้ต้นทุนทางด้านพลังงานต่ำสำหรับกระบวนการอบแห้งแล้ว ยังสามารถทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพซึ่งถือว่าเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่าและการยืดอายุการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จำพวกพืชสมุนไพรได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงผ่านไปได้ด้วยดี ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามทุกท่าน ที่ให้ความกรุณาและช่วยเหลืออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

References

- Borah, A., Hazarika, K. & Khayer, S.M. (2015). *Drying Kinetics of Whole & Sliced Turmeric Rhizomes (Curcuma longa L.) in a Solar Conduction Dryer*. Information Processing in Agriculture, 2(2), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2015.06.002>
- Chiangmai Provincial Public Health Office. (2013). *Processing manual: Thai Herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL:http://www.osmnorthn1.moi.go.th/it3/resource/re_pdf_file/000623_02.pdf (in Thai)
- Hirko, B., Abera, S. & Mitiku, H. (2021). *Effect of Curing & Drying Methods on the Biochemical Quality of Turmeric (Curcuma longa L.) Rhizome Grown in South Western Ethiopia*. Medicinal & Aromatic Plants, 9(5), 1–8.
- Jampafuang, Y., Waiprib, Y., & Tongta, A. (2018). *Effects of Drying Method on Quality of Dried Turmeric Products*. Agricultural Science Journal, 49(2), 145–148. (in Thai)

- Montero, I., Blanco, J., Miranda, T., Rojas, S. & Celma, A.R., (2010). *Design, construction & performance testing of a solar dryer for agro-industrial by-products*. Energy Conversion & Management. 51(7), 1510–1521. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.02.009>
- Parinyanat, S. (2016). *Drying process of Gac-Mango fruit leather using solar dryer & tray dryer*. Accessed June 17, 2021. Available from: URL: https://library.cmu.ac.th/digital_collection/etheses/fulltext.php?id=34333&word=%E0%A4%C3%D7%E8%CD%A7%CD%BA%E1%CB%E9%A7%BE%C5%D1%A7%A7%D2%B9%E1%CA%A7%CD%D2%B7%D4%B5%C2%EC&check_field=SUBJECT&select_study=&condition=2&search=9&philosophy=&master=. (in Thai)
- Ramkhamhaeng University. (2007). *Herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL: [http://old-book.ru.ac.th/e-book/b/BO216\(H\)/BO216-H6\(H\).pdf](http://old-book.ru.ac.th/e-book/b/BO216(H)/BO216-H6(H).pdf). (in Thai)
- Ratmanee, P., Phitakwinai, S., Nilnont, W., & Buakaew, W. (2021). *Thin Layer Drying Kinetics of Turmeric using Hot Air Dryer*. The Journal of Industrial Technology, 17(2), 32–45. (in Thai)
- Seanmeema, N., Nattapol, P., & Lamul, W. (2013). *Curcumin Drying by Heat Pump Dryer*. Journal of Science & Technology Mahasarakham University, 32(5), 631–635. (in Thai)
- Singh, G., Arora, S. & Kumar, S. (2021). *Effect of Mechanical Drying Air Conditions on Quality of Turmeric Powder*. Journal of Food Science & Technology, 47, 347–350. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0057-6>
- Taikhao, A., & Teekasap, S. (2013). *Natural Convection & Forced Convection Solar Dryers*. EAU Heritage Journal Science & Technology, 7(1), 23–31. (in Thai)
- Thai Industrial Standard Institute. (2013). *Community Product Standard: Dried herb*. Accessed June 17, 2021. Retrieved from: URL: http://tcps.tisi.go.th/pub%5Ctcps480_47.pdf. (in Thai)

Research article

Study on Drying Turmeric by a Solar Dryer

Patcharaporn Inirai*, Thawanrat Sumrit, Voraluck Suriwong and Surintraporn Changchai

**Faculty of Food and Agricultural Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok 65000*

ARTICLE INFO**Article history**

Received: 3 August 2021

Revised: 6 September 2021

Accepted: 29 September 2021

Online published: 24 December 2021

Keyword

Drying,

Turmeric

Solar Energy

Solar Dryer

ABSTRACT

This research aims to study turmeric drying by solar energy. The dimension of dryer was $1 \times 0.8 \text{ m}^2$, which has 2 systems were a passive system and an active system, compare with tray dryer. The turmeric was prepared in 2 mm of thickness for drying. By no products operation testing found that, an average inside air temperature in dryer were $47.8 \pm 3.9^\circ\text{C}$ and $49.0 \pm 3.5^\circ\text{C}$, respectively. So, this temperature was suitable for turmeric drying. From the study of drying time found that the drying time was 7 hours in all types of dryers (2 systems solar dryer, tray dryer), which a moisture content of the product is according to a dried herb standard. The moisture content of dried product was 10.60 ± 0.85 , 11.43 ± 0.82 and 11.61 ± 1.07 dry basis, respectively. and a thermal efficiency of drying system was investigated. The passive solar dryer had high thermal efficiency at 8.77 ± 0.22 , so that, yield of drying product of all drying types were 20.72 ± 0.04 , 25.99 ± 0.63 and 21.50 ± 0.50 , respectively. Moreover, a quality of drying product was studied. For aw parameter. The value was less than 0.60 in all drying types and was according to the standard. For a color value found that all four samples of dried turmeric were shades of yellow orange. However, using an active system solar dryer can dry products with color L^* and C values are not different from products in the market.

*Corresponding author

E-mail address: patcharaporn.in@psru.ac.th (P. Inirai)

Online print: 24 December 2021 Copyright © 2021. This is an open access article, production, and hosting by Faculty of Agricultural Technology, Rajabhat Maha Sarakham University. <https://doi.org/10.14456/paj.2021.25>