



บทความวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
พัชราภรณ์ อินริราย* ธวัชรัตน์ สัมฤทธิ์ วรลักษณ์ สุริวงษ์ และ สุรินทรพร ชั่งไชย

*คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

ข้อมูลบทความ	บทคัดย่อ
Article history รับ: 3 สิงหาคม 2564 แก้ไข: 6 กันยายน 2564 ตอบรับการตีพิมพ์: 29 กันยายน 2564 ตีพิมพ์ออนไลน์: 24 ธันวาคม 2564	<p>งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องอบแห้งมีขนาด 1 x 0.8 ตารางเมตร ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ ระบบ Passive และ ระบบ Active และทำการเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด ขมิ้นชันเตรียมที่ความหนาเท่ากับ 2 มิลลิเมตร โดยการทดสอบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ในกรณีไม่มีผลึกกันพบว่า 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 ที่ทำให้ความชื้นของผลึกกันแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลึกกันสมุนไพรแห้ง โดยร้อยละความชื้นฐานแห้งเท่ากับ 10.60 ± 0.85, 11.43 ± 0.82 และ 11.61 ± 1.07 ตามลำดับ และจากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพบว่า เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive มีประสิทธิภาพการอบแห้งสูงสุดเท่ากับร้อยละ 8.77 ± 0.22 ทั้งนี้ร้อยละของผลึกกันแห้งที่ได้มีค่าเท่ากับ 20.72 ± 0.04, 25.99 ± 0.63 และ 21.50 ± 0.50 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษาคุณภาพผลึกกันแห้งพบว่า สำหรับค่าปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ของผลึกกันที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งทั้ง 3 ประเภท มีค่าน้อยกว่า 0.60 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน และสำหรับค่าสี โดยขมิ้นชันทั้ง 4 ตัวอย่าง มีเม็ดสีเหลืองส้ม ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active สามารถอบแห้งได้ผลึกกันที่คุณภาพด้านสี ค่า L* และ C ไม่แตกต่างจากผลึกกันที่จำหน่ายในท้องตลาด</p>
คำสำคัญ การอบแห้ง ขมิ้นชัน พลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	

บทนำ

สมุนไพร เป็นผลิตผลธรรมชาติ ได้จาก พืช สัตว์ และ แร่ธาตุที่ใช้เป็นยา หรือผสมกับสารอื่นตามตำรับยา เพื่อบำบัดโรค บำรุงร่างกาย หรือใช้เป็นยาพิษหากนำเอาสมุนไพรตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกันซึ่งจะเรียกว่า ยา ในตำรับยา (Ramkhamhaeng University, 2007) โดยสมุนไพรในประเทศไทยมีอยู่หลายชนิดมีการนำมาใช้งานได้หลายส่วนไม่ว่าจะเป็น ใบ ลำต้น ดอก ผล รากและเหง้า เป็นต้น การใช้งานสมุนไพรนอกจากจะใช้ผลึกกันสดที่ได้จากการเก็บเกี่ยวแล้วยังมีการนำมาทำให้แห้งเพื่อความสะดวกในการเก็บรักษา และการนำมาใช้งาน

การอบแห้ง เป็นกระบวนการในการแปรสภาพของเหลว

กึ่งของแข็ง หรือแม้กระทั่งของแข็ง ให้กลายเป็นผลึกกันสุดท้ายในรูปของแข็งโดยการระเหยเอาของเหลวออกไปจากวัสดุด้วยการให้ความร้อน โดยวัตถุประสงค์ของการอบแห้งก็คือ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาผลึกกัน เนื่องจากการอบแห้งนั้นเป็นกระบวนการลดความชื้น ทำให้น้ำในผลึกกันลดลง ซึ่งมีผลให้จุลินทรีย์ที่ทำให้ผลึกกันเน่าเสียไม่สามารถเจริญเติบโตได้ การอบแห้งพืชสมุนไพรจะใช้อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแตกต่างกันไปตามส่วนของพืชสมุนไพรการใช้เครื่องอบแห้งเป็นวิธีที่สะดวกและประหยัดเวลาและได้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดีแต่จะต้องมีการใช้ความร้อนในการอบสมุนไพรให้เหมาะสมกับส่วนของสมุนไพรที่นำมาใช้ เช่น สมุนไพรส่วนดอก ใบ ต้นควรใช้อุณหภูมิในการอบไม่เกิน 55 องศาเซลเซียส

* Corresponding author

E-mail address: patcharaporn.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

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 ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของขมิ้นชัน คือ วิธีการเตรียมวัตถุดิบ อุณหภูมิในการอบแห้ง โดยจากงานวิจัยของ Singh et al. (2010) ที่ศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาดพบว่า ปริมาณสาร Oleoresin ในผลิตภัณฑ์แห้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วงอุณหภูมิอบแห้ง 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 และการใช้เครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมพบว่า การเตรียมผลิตภัณฑ์ด้วยการลวกน้ำร้อน 15 นาที แล้วนำไปอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งอุโมงค์ลมมีร้อยละของสารสำคัญ (Oleoresin, Essential Oil และ Curcumin) สูงกว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งด้วยการตากแดดโดยตรง

ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาการอบแห้งขมิ้นชัน โดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ Passive system และ Active system นอกจากนี้ยังทำการศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องอบแห้งที่ 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 แล้วนำขมิ้นที่ล้างแล้วมาหั่นเป็นชิ้นบางให้มีความหนาสม่ำเสมอ ประมาณ 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

เครื่องอบแห้งที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โครงสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทำจากกระจก และอลูมิเนียม ขนาดของเครื่องอบแห้งประกอบด้วยตะแกรง 1 ชั้น ที่ใช้ในการวางผลิตภัณฑ์ ขนาด 75x95 ตารางเซนติเมตร โดยสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือ Passive system และ Active system ซึ่งกรณีการทำงานระบบ Active System จะติดตั้งพัดลม ยี่ห้อ Superred ที่ DC 12 โวลต์ 0.12 แอมแปร์ ขนาดของพัดลม 6 x 6 ตารางเซนติเมตร มีความเร็วลม 2.23 เมตรต่อวินาที โดยระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ดังแสดงใน Figure 2

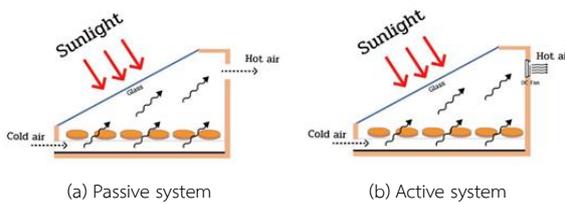


Figure 2 Operating system of solar dryer

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

การศึกษาจุลศาสตร์การอบแห้งของขมิ้นชัน 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 ทั้งนี้ความชื้นสมดุลจะมีค่าแตกต่างกันเมื่อสภาพอากาศที่ใช้ออบแห้งแตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสำหรับกรณีขมิ้นชันกรณีที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน ค่าความชื้นในตอนเริ่มต้นจะมีค่ามากกว่าค่าความชื้นสมดุลมาก ๆ ทำให้สามารถหาอัตราส่วนความชื้นได้จากสมการที่ 3 (Ratmanee et al., 2021)

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

การศึกษาอัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) โดยคิดจากความชื้นที่ออกจากวัสดุต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง สามารถหาได้จากสมการที่ 4

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

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)

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

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

$$SEC = \frac{E}{m_w} \tag{6}$$

โดยที่ E คือ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลอง, เมกะจูล

โดยสำหรับกรณีเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองคำนวณจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระยะเวลา 7 ชั่วโมง ที่ตกกระทบพื้นที่ในการรับแสงอาทิตย์ สำหรับเครื่องอบแห้งแบบถาดคิดจากระยะเวลาในการใช้งานเครื่องที่กำลังไฟขนาด 3 กิโลวัตต์

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะทำการวิเคราะห์ทางด้านสถิติโดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างประเภทของเครื่องอบแห้ง โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

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

การศึกษาร้อยละของผลผลิตที่ได้

สำหรับการหาร้อยละของผลผลิตที่อบแห้งที่ได้ โดยนำไขมันชั้นปริมาณ 700 กรัม ไปทำการอบแห้งตามระยะเวลา 7 ชั่วโมง จนผลผลิตที่อบแห้งมีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12 ซึ่งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนักผลผลิตที่อบแห้งที่ได้ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งร้อยละของผลผลิตที่ได้มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6

$$\% Yield = \frac{W_f}{W_i} \times 100 \tag{6}$$

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

การศึกษาคุณภาพของผลผลิตที่อบแห้ง

ในการศึกษาครั้งนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ค่าสี และปริมาณน้ำอิสระ โดยวิธีในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

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

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

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

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

การหาปริมาณน้ำอิสระ (water activity, a_w) ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ รุ่น AquaLab PRE โดยนำผลิตภัณฑ์ไขมันชั้นอบแห้งจำนวน 10 กรัม มาบด เป็นเวลา 30 วินาที แล้วทำการวัดค่า a_w ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

จากการศึกษาคุณภาพของผลผลิตที่อบแห้งทำการวิเคราะห์

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 นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 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 นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำให้อุณหภูมิภายในเครื่องมีความแตกต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมีค่าอยู่ในช่วง 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 เครื่องเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

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

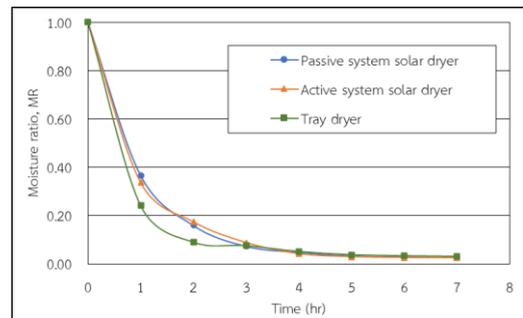


Figure 4 Drying curve during drying with passive system solar dryer, active system solar dryer and tray dryer

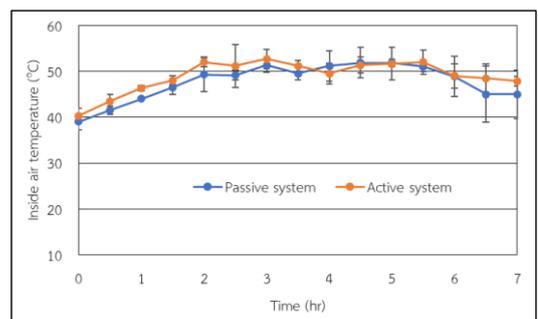


Figure 5 The inside air temperature changes with time of the solar dryer operating on both systems.

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 พบว่าอัตราการอบแห้งมีค่าต่ำที่สุดในทุกเครื่อง ทั้งนี้จากกราฟอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง พบว่าความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง

จากการศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งแบบถาดในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ขมิ้นชัน เพื่อให้มีค่าความชื้นเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งระยะเวลาในการทดสอบเท่ากันคือ 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 นอกจากนี้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ 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 ($p < 0.05$)

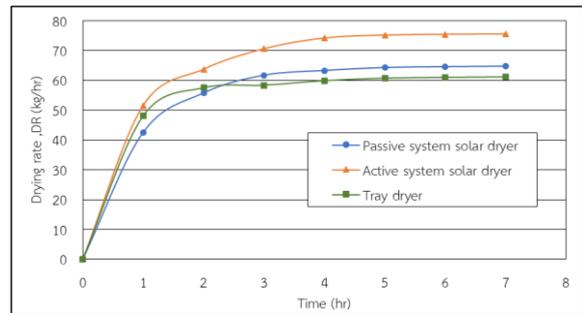


Figure 6 Drying rate during drying with passive system solar dryer, active system solar dryer and tray dryer

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 ± 70.16 ^{ns}	444.05 ± 60.15 ^{ns}	420.90 ± 39.02 ^{ns}
Final Moisture content (%d.b.)	10.60 ± 0.85 ^{ns}	11.43 ± 0.82 ^{ns}	11.61 ± 1.07 ^{ns}
Drying time (hr)	7	7	7
Thermal efficiency	8.77 ± 0.22 ^a	7.96 ± 0.15 ^b	1.45 ± 0.60 ^c
(η_{sys})			
Specific energy consumption (MJ/kg)	3.86 ± 0.11 ^b	4.25 ± 0.21 ^b	23.34 ± 1.04 ^a
%Yield	20.72 ± 0.04 ^b	25.99 ± 0.63 ^a	21.50 ± 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 ($p > 0.05$)

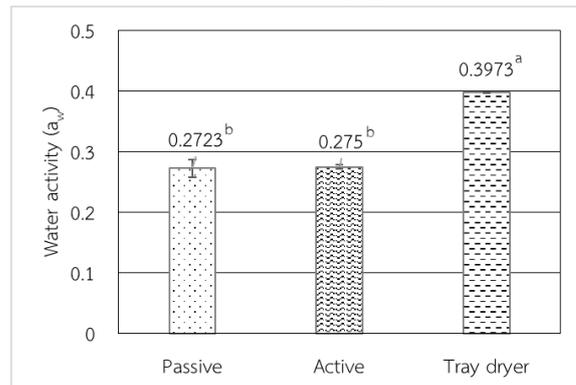


Figure 7 Water activity (a_w) of dried product from in different operating dryer (a – b difference letters were significant difference ($p < 0.05$))

จากการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยการทดสอบวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งและทำการเปรียบเทียบความแตกต่างจากผลิตภัณฑ์ขมิ้นผงอบแห้งที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด ดังแสดงใน Table 3 และ Figure 8 พบว่า

สำหรับค่าความสว่าง (L*) การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาคทำให้สีของขมิ้นมีความสว่างมากที่สุด 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) ซึ่งแสดงถึงค่าแสดงควมบริสุทธิ์ของสี พบว่า การอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบภาคทำให้สีของขมิ้นมีความบริสุทธิ์ของสีมากที่สุด 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 ($p < 0.05$)

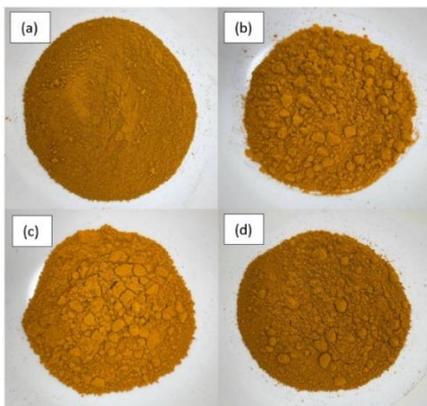


Figure 8 Dried turmeric product (a) Passive system solar dryer (b) Active system solar dryer (c) Tray dryer and (d) Dried product from market

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 นอกจากนี้การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถือว่าเป็นวิธีการอบแห้งที่มีต้นทุนและการใช้พลังงานต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งวิธีอื่น โดยจากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง 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 ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งเพิ่มมากขึ้น ที่มีการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงอย่างรวดเร็ว และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 4 – 5 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง ซึ่งอัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง และความชื้นวิกฤต (critical moisture content) อยู่ที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากับ 4 ชั่วโมง และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 6 – 7 ชั่วโมง เป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเคลื่อนน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าวัสดุอย่างไม่ต่อเนื่อง ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อย ๆ และอัตราการอบแห้งมีค่าคงที่ ซึ่งน้ำในวัสดุไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก โดยหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวค่าความชื้นจะมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าระยะเวลาการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อทำให้ค่าความชื้นขมิ้นชั้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 ระบบ และเครื่องอบแห้งแบบภาคเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนสมุนไพรอบแห้ง เท่ากับ 7 ชั่วโมง (มีความชื้นร้อยละฐานแห้งไม่เกิน 12) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ

Seanmeema et al. (2013) พบว่าเวลาที่เหมาะสมกับการอบแห้งขมิ้นชันด้วยบีมความร้อนที่อุณหภูมิเท่ากับ 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 น้อยกว่าเครื่องอบแห้งแบบปกติ เนื่องจากผลของความชื้นผลิตภัณฑ์เริ่มต้นของการอบแห้งแบบปกติที่มากกว่าที่ระยะเวลาการอบแห้งเท่ากัน รวมทั้งการที่ผลิตภัณฑ์ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงอาจส่งผลต่ออัตราการลดความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ โดยจากงานวิจัยของ Parinyanat (2016) ได้ศึกษาอัตราการอบแห้งพริกขี้หนูพริกขี้หนูแบบแผ่นด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบปกติพบว่า เวลาการอบแห้งผลิตภัณฑ์เท่ากับ 7.7 ชั่วโมง ความเร็วลม 0.5 เมตรต่อวินาที อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เท่ากับ 191.3 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ในขณะที่เครื่องอบแห้งลมร้อนแบบปกติ มีอัตราการอบแห้ง เท่ากับ 101.9 กิโลกรัมต่อตารางเมตร – ชั่วโมง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการลดของปริมาณน้ำในผลิตภัณฑ์ คืออุณหภูมิและความเร็วลม โดยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นั้นอุณหภูมิภายในเครื่องเพิ่มขึ้นตามปริมาณความเข้มข้นของอากาศ รวมทั้งอุณหภูมิที่ผิวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เพิ่มขึ้นด้วยลมร้อนภายในเครื่อง ยังเนื่องจากดูดซับรังสีอาทิตย์เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์เอง สำหรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ พบว่า วิธีการอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีผลต่อค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้ง โดยพบว่าค่า L^* และ C มีค่าน้อยกว่าการอบแห้งแบบปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยค่าความสว่างของขมิ้นชันมีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในการอบแห้ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Ratmanee et al. (2021) พบว่า เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลต่อคุณภาพค่าสีของขมิ้นชัน เนื่องจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลทำให้รังควัตถุหรือสารให้สีถูกทำลายและสลายตัวได้ รวมทั้งมีการสลายตัวและการรวมตัวของกรดอะมิโนกับสารประกอบรีดิวซ์ซึ่ง ซึ่งความร้อนจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดเป็นปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ได้ ซึ่งการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความผันผวนของอุณหภูมิภายในเครื่องเกิดขึ้นได้ในระหว่างวัน จึงอาจส่งผลให้มีอุณหภูมิบางช่วงเวลามีค่าสูง เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบปกติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้คงที่อยู่ตลอดเวลา จึงทำให้คุณภาพค่าสีของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่อง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งนี้การใช้เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Active ยังสามารถอบแห้งได้ผลิตภัณฑ์ที่คุณภาพด้านสี ค่า L^* และ C ไม่แตกต่างจากผลิตภัณฑ์ที่จำหน่ายในท้องตลาด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเครื่องที่สร้างสามารถทำงานได้ 2 ระบบ คือระบบ Passive และระบบ Active ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องเฉลี่ยได้ไม่เกิน 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการอบแห้งขมิ้นชัน หรือพืชจำพวกสมุนไพร ทั้งนี้ในระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 7 ชั่วโมง ของเครื่องอบแห้งทั้ง 3 เครื่อง ทำให้ค่าความชื้น (ร้อยละฐานแห้ง) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ระบบ Passive ระบบ Active และเครื่องอบแห้งแบบปกติ 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 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานอาหารแห้งที่กำหนด และมีสีเฉดสีเหลืองส้ม 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 1×0.8 m², 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 ± 3.9°C and 49.0 ± 3.5°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.