

การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งใบบัวบกโดยรังสีอินฟราเรดต้นแบบ

พัชรภรณ์ อินริราย* สุรินทร์พร ชังไชย, สุพรรณิ คำอินทร์ และ ทิพา สุขโชติ

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและการสร้างเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบสำหรับอบแห้งใบบัวบก โดยศึกษาการทำงานของเครื่องและลักษณะการลดลงของความชื้นของใบบัวบก ศึกษาคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์ใน กระบวนการอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรด เครื่องอบแห้งที่ออกแบบมีขนาดความกว้าง x ความยาว x ความสูง เท่ากับ $41 \times 51 \times 41$ เซนติเมตร ที่ติดตั้งหลอดอินฟราเรดขนาด 500 วัตต์ บริเวณด้านบน และติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิอากาศ ภายในเครื่องอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งใบบัวบก เพื่อให้ความชื้นของใบ บัวบกแห้งมีค่าน้อยกว่า 10% มาตรฐานแห้ง สำหรับการศึกษาค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า เวลาเหมาะสมที่ใช้ใน การอบแห้งเท่ากับ 3.5 ชั่วโมง ได้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์เท่ากับ $6.92 \pm 0.24\%$ มาตรฐานแห้ง ซึ่งทำให้ความชื้นของ ผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบัวบกแห้งซึ่งดื่ม และจากการศึกษาประสิทธิภาพการอบแห้งของ เครื่องอบแห้งอินฟราเรดต้นแบบที่ระยะเวลาอบแห้งเท่ากับ 3.5 ชั่วโมง พบว่า เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่า ประสิทธิภาพของการอบแห้งเท่ากับ $22.47 \pm 0.73\%$ ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 16.36 ± 0.53 เมกะจูลต่อ กิโลกรัม และค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้ง (Yield) เท่ากับ $13.63 \pm 0.60\%$ นอกจากนั้นจากการศึกษาคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า ค่า a_w ของใบบัวบกอบแห้งมีค่าเท่ากับ 0.33 ± 0.02 ซึ่งน้อยกว่า 0.65 ที่เป็นไปตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ชุมชน สำหรับคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีค่าความแตกต่างของสีโดยรวมจากใบบัวบกสด (ΔE) น้อยกว่า ใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาด ทั้งนี้พบว่า ใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบนี้มีค่าความสว่าง (L^*) ค่าความเป็นสีเขียว (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) มากกว่าใบบัวบกสดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ซึ่งเครื่อง อบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบที่ทำการออกแบบสามารถประยุกต์ใช้ในการอบแห้งใบบัวบกได้

คำสำคัญ: การอบแห้ง ใบบัวบก รังสีอินฟราเรด

* ผู้เขียนให้ติดต่อ: E-mail: p.iniriai@gmail.com

Design and Construction the *Centella asiatica* (L.) Urban Leaves Dryer by an Infrared Type

Pacharaporn Inirai^{*} Surintraporn Changchai, Supanee Kamin and Thiwa Sukchot

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

Abstract

The objective of this research was to design and construct a prototype infrared dryer for *Centella asiatica* (L.) Urban leaves. The study of machine operation, decreasing of moisture content and color qualities of dried leaves by infrared dryer, were studied. The designed dryer had dimension which its width x length x height, was 41 x 51 x 41 cm. The 500 W infrared heater source was installed at the top of dryer and the temperature controller was installed to control the inside air temperature was range of 40–50°C which was suitable for drying the Asiatic leaf that the moisture content of the dried product is less than 10% dry basis. From the study of moisture content, the optimum drying time was 3.5 hours that moisture content of the dried product was $6.92 \pm 0.24\%$ that was according to the community product standard. From the study of the drying efficiency of the machine at test time was 3.5 hours, found that, the efficiency of the machine was $22.47 \pm 0.73\%$, the specific energy consumption was 16.36 ± 0.53 MJ/kg and the percentage of dried product was $13.63 \pm 0.60\%$. In addition, the quality of dried product was studied. aw value of the dried product was 0.33 ± 0.02 , which was less than 0.65 that was according to the community product standard. For the color quality of the dried product, the overall color difference from the fresh leaves (ΔE) was less than other dried product. It was found that the dried product from the infrared dryer was a brightness (L^*), the green color (a^*) and the yellow color (b^*) were significantly higher than the fresh leaves ($P \leq 0.05$). So, this prototype infrared dryer can apply for the drying of the *C. asiatica* leaves.

Keywords: Drying/ *Centella asiatica* (L.) Urban leaves/ Infrared ray

^{*} Corresponding author: E-mail: p.iniriai@gmail.com

บทนำ

ใบบัวบก มีสรรพคุณที่ช่วยแก้อาการชักใน ส่วนสำคัญที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ ส่วนของใบและรากที่มีกลิ่นหอม และมีรสขมเล็กน้อย จากตำรายาสมุนไพรโบราณได้กล่าวว่าพืชใบบัวบกสามารถแก้อาการอ่อนเพลีย เมื่อยล้า อาการร้อนใน และโรคความดันโลหิตสูง โดยใบบัวบกประกอบด้วยวิตามินหลายประเภท ได้แก่ วิตามินบี1 วิตามินบี2 และวิตามินบี6 ที่มีอยู่ในปริมาณที่สูง ซึ่งในปัจจุบันได้มีการแปรรูปใบบัวบกเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลายรูปแบบ แต่เนื่องจากการบริโภคใบบัวบกแบบสดนั้น มีรสขมและฝื่อน ทำให้ยากสำหรับการรับประทาน รวมทั้งใบบัวบกสดยังมิอาจการเก็บรักษาที่น้อย ซึ่งการแปรรูปใบบัวบกสดให้อยู่ในรูปผลิตภัณฑ์อื่นที่ช่วยยืดอายุในการเก็บรักษามีด้วยกันอยู่หลายรูปแบบ คือ ใบบัวบกอบแห้ง น้ำชาใบบัวบก ใบบัวบกทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง ใบบัวบกพร้อมดื่มผ่านการพาสเจอร์ไรส์และใบบัวบกทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยจากงานวิจัยของ Noivoil and Chantanawarangoon (2007) พบว่า การแปรรูปใบบัวบกให้อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ใบบัวบกอบแห้งนั้นทำให้ใบบัวบกมีค่าปริมาณสารฟีนอลิกและมีการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และวิธี 2,2'-azinobis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) สูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการแปรรูปด้วยวิธีอื่น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pancake *et al.* (2012) ที่พบว่า ใบบัวบกอบแห้งมีร้อยละของการสกัด (Yield of extraction) ปริมาณสารฟีนอลิก และการต้านอนุมูลอิสระ (ABTS Method) ที่สูงกว่าใบบัวบกสด โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยในเรื่องปริมาณสารฟีนอลิกและความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระนั้นส่งผลต่อคุณภาพของใบบัวบกอบแห้ง ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยที่ช่วยในการเพิ่มมูลค่าใบบัวบก โดยปริมาณสารฟีนอลิกในใบบัวบกอบแห้งนั้นมีผลเนื่องมาจากอุณหภูมิในการอบแห้ง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งใบบัวบกมี

อุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-50 °ซ ทั้งนี้ในปัจจุบันมีการอบแห้งใบบัวบกหลายวิธีและแพร่หลายมากได้แก่ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เครื่องอบแห้งแบบสุญญากาศ เป็นต้น โดยใช้วิธีการอบแห้งแบบรังสีอินฟราเรด เป็นการใช้ประโยชน์จากความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดูดกลืนพลังงาน (Dielectric absorption) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุไดอิเล็กทริก พลังงานความร้อนจะถ่ายเทให้วัตถุโดยตรงด้วยการแผ่รังสีโดยไม่ต้องใช้ตัวกลางถ่ายเทความร้อนจึงมีความร้อนสูญเสียต่ำ และสามารถให้ความร้อนอย่างรวดเร็ว ทำให้มีระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าวิธีการอบแห้งแบบลมร้อนทั่วไป และจากการศึกษาของ Tirawanichakul *et al.* (2013) พบว่าการอบแห้งใบบัวบกด้วยรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิอบแห้ง 50 °ซ ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 500 วัตต์ ใช้เวลาในการอบแห้ง 110 นาที ที่ใช้เวลาน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน ซึ่งจากการศึกษา Niamnuy *et al.* (2012) พบว่า การอบแห้งใบบัวบกด้วยลมร้อนใช้เวลาในการอบแห้งเท่ากับ 270 นาที ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีแนวคิดในการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแบบอินฟราเรดต้นแบบให้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ใบบัวบก รวมทั้งศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งใบบัวบกด้วยรังสีอินฟราเรดต้นแบบ

ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบที่ทำการออกแบบสำหรับในการทดลอง โดยแบบร่างของเครื่องต้นแบบดังแสดงใน Fig.1 ซึ่งตัวเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบทำจากเหล็กชุบเพื่อป้องกันการเกิดสนิม โดยใช้เหล็กชุบที่มีความหนาเท่ากับ 1.2 มม. ขนาดของเครื่องอบแห้งภายนอกมีขนาด

ความกว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 41 x 51 x 41 ซม. ทำการเลือกใช้แหล่งจ่ายความร้อน คือ หลอดอินฟราเรด กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ โดยมีความเพียงพอต่อการใช้ในการอบแห้งที่สามารถทำให้อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งอยู่ในช่วง 40-50 °ซ ตลอดการใช้งาน โดยทำการติดตั้งหลอดอินฟราเรดที่ตำแหน่งด้านบนของตัวเครื่อง รวมทั้งมีการติดตั้งพัดลมเพื่อใช้ในการหมุนเวียนและระบายอากาศ ยี่ห้อ 27FANO17 ที่ AC 220 โวลต์ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของพัดลมเท่ากับ 8 x 8 ซม. มีความเร็วลมเฉลี่ย 2.3 ม./วินาที ติดตั้งที่บริเวณตำแหน่งด้านล่างของตัวเครื่องอบแห้งทั้ง 2 ด้าน เพื่อช่วยในการกระจายความร้อนภายในเครื่องอบแห้ง และมีการติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิภายในเครื่องอบแห้งไว้บริเวณด้านข้างเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของหลอดอินฟราเรดที่จะสามารถช่วยรักษาอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ทั้งนี้เครื่องอบแห้งต้นแบบสามารถอบแห้งผลิตภัณฑ์ได้สูงสุด 150 ก. (น้ำหนักผลิตภัณฑ์สด) เมื่อทำการเกลี่ยผลิตภัณฑ์เต็มทั้ง 2 ถาดพอดี

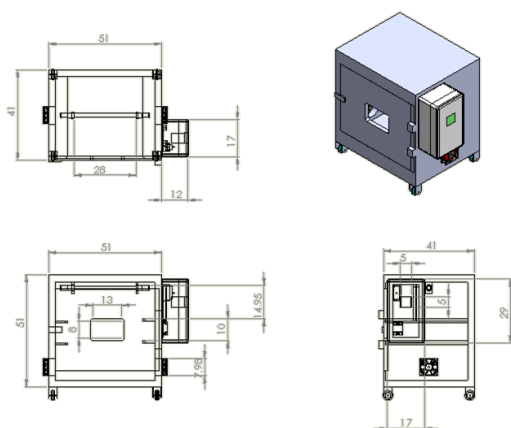


Fig.1 Schematic view of the infrared dryer

ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้ง โดยการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K ที่ระยะห่างจากหลอดอินฟราเรด 10 และ 20 ซม. บริเวณจุดกึ่งกลางของเครื่องอบแห้ง และทำการบันทึกอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องขณะที่เครื่องอบแห้งกำลังทำงานแบบไม่มี

ผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องวัดและบันทึกอุณหภูมิ (Yokagawa, Paperless recorder Model FX1008) โดยอุณหภูมิอากาศที่เหมาะสมในการอบแห้งใบบัวบกมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 40-50 °ซ

2. การเตรียมตัวอย่างและการวิเคราะห์ความชื้นเริ่มต้น

เตรียมผลิตภัณฑ์ที่ใช้การอบแห้งในงานวิจัยคือ ใบบัวบกโดยทำการคัดเลือกใบบัวบกให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 4.6-6.5 ซม. โดยใช้ใบบัวบกในการอบแห้งปริมาณ 150 ก. นำใบบัวบกมาลวกด้วยไมโครเวฟ กำลังไฟ 800 วัตต์ เวลา 30 วินาที (อ้างอิงวิธีการเตรียมใบบัวบกจาก Trirattanapikul and Phoungchandang (2014) แล้วนำไปเกลี่ยลงบนถาดเพื่อเตรียมอบแห้ง ดังแสดงใน Fig.2



Fig.2 Preparation of blanched *C. asiatica* leaves

นำตัวอย่างใบบัวสด และใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟมาหาความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐาน AOAC (2010) โดยนำตัวอย่างใบบัวบก 1 กรัม ใส่ลงในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 3 ออนซ์ ที่ผ่านการอบไล่ความชื้น แล้วนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °ซ เป็นเวลา 6 ชม. (อ้างอิงตามมาตรฐานการหาความชื้นหาสมุนไพรรของ Department of Medical Sciences (2015) โดยนำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังอบแห้งมาคำนวณหาความชื้นของใบบัวบก โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

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

โดยที่ MC คือ เปอร์เซนต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง

W_i คือ น้ำหนักใบบั่วบกก่อนอบ, กรัม

W_f คือ น้ำหนักใบบั่วบกหลังอบ, กรัม

3. การศึกษาการอบแห้ง

นำใบบั่วบกที่เตรียมแล้วมาวางเรียงบนตะแกรง แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งต้นแบบ โดยจะทำการสุ่มตัวอย่างจำนวน 5 ก. เพื่อทดสอบหาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ตามวิธีทดสอบตาม AOAC ทุกๆ 30 นาที จนกระทั่งผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นไม่เกิน 10% มาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบั่วบกแห้งขงต้ม โดยทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำให้ใบบั่วบกแบบแห้งมีความชื้นสุดท้ายตามที่ต้องการ

4. การศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้

สำหรับการหาร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ โดยนำใบบั่วบกปริมาณ 150 ก. ไปทำการอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้จากการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์อบแห้งสุดท้ายตามระยะเวลาดังกล่าวจะมีความชื้นไม่เกิน 10% มาตรฐานแห้ง แล้วทำการชั่งน้ำหนักผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

$$Yield = \frac{W_f}{W_i} \times 100 \quad (2)$$

5. ประสิทธิภาพทางความร้อนและความสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ

สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ โดยทำการติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าเข้ากับแหล่งจ่ายไฟของเครื่องอบแห้งเพื่อทำการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมด โดยนำใบบั่วบกปริมาณ 150 ก. ไปทำการอบแห้งตามระยะเวลาที่ได้จากการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์อบแห้งสุดท้ายตามระยะเวลาดังกล่าวจะมีความชื้นไม่เกิน 10% มาตรฐานแห้ง โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งมีสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 3

$$\eta = \frac{m_w h_{fg}}{E} \times 100 \quad (3)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

m_w คือ ปริมาณน้ำที่ระเหย, กิโลกรัม

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ, กิโลจูลต่อกิโลกรัม

E คือ พลังงานที่ใช้ทั้งหมด, กิโลจูล

นอกจากนั้นทำการคำนวณค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) โดยสามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4

$$SEC = \frac{E}{m_w} \quad (4)$$

5. การศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้ง

ในการศึกษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์อบแห้งในงานวิจัยนี้ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ค่าสี และปริมาณน้ำอิสระ โดยวิธีในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

ทำการทดสอบค่าสีของผลิตภัณฑ์ใบบัวบก 5 ตัวอย่าง ได้แก่ ใบบัวบกสด ใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ ใบบัวบกอบแห้งจากเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ และใบบัวบกอบแห้งจากท้องตลาดจำนวน 2 ตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างใบบัวบก 5 กรัม มาปั่นเป็นเวลา 5 วินาที แล้วทำการวัดค่าสี โดยโหมดของเครื่องวัดสีที่ใช้คือ CIE L*a*b* ซึ่งทำการทดสอบสุ่มตัวอย่างเพื่อทำการวัด 3 ซ้ำต่อตัวอย่าง

การหาปริมาณน้ำอิสระ โดยนำตัวอย่างใบบัวบกอบแห้ง 3 ตัวอย่าง จำนวน 5 ก. มาปั่น เป็นเวลา 5 วินาที แล้วทำการวัดค่า aw ของตัวอย่างด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ

ทำการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ โดยหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างผลิตภัณฑ์ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ($P \leq 0.05$)

ผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ ได้ทำการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบกรณีไม่มีผลิตภัณฑ์ โดยการวัดอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอบแห้งที่บริเวณชั้นวางผลิตภัณฑ์จำนวน 2 ตำแหน่ง ห่างจากหลอดอินฟราเรดระยะ 10 และ 20 ซม. โดยอุณหภูมิของอากาศภายในเครื่องดังแสดงใน Fig.3 พบว่า อุณหภูมิอากาศภายในเครื่องที่บริเวณชั้นสำหรับวางผลิตภัณฑ์ทั้งด้านบน (10 ซม.) และด้านล่าง (20 ซม.) มีค่าอยู่ในช่วง 40-50 °ซ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งใบบัวบก (Niamnuy *et al.*, 2013) และ Trirattanapikul and Phoungchandang (2014)) โดยเมื่อระยะเวลาในการเปิดการทำงานของเครื่องอบแห้ง

เพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างทั้ง 2 ชั้นที่วางผลิตภัณฑ์มีค่าลดลง ทั้งนี้ระบบการทำงานของเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบที่ทำการออกแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องมีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งใบบัวบกได้

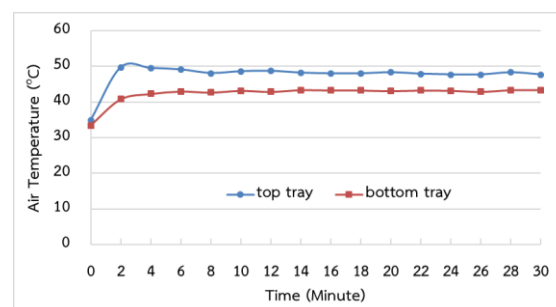


Fig.3 Air temperature changes on top and bottom trays at the first 30 mins of IR dryer (no product)

การศึกษาความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของการอบแห้ง ทำการศึกษาโดยใช้ใบบัวบกสดที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $697.38 \pm 9.20\%$ มาตรฐานแห้ง ปริมาณ 150 ก. ที่ผ่านการลวกด้วยวิธีการไมโครเวฟกำลังไฟ 800 วัตต์ เป็นเวลา 30 วินาที โดยใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟก่อนนำเข้าเครื่องอบแห้งมีค่าความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $583.71 \pm 57.22\%$ มาตรฐานแห้ง จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ ที่อุณหภูมิอบแห้งเฉลี่ยเท่ากับ 46 °ซ ซึ่งค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่เวลาต่างๆ ดังแสดงใน Fig.4 โดยเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้นค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์มีค่าที่ลดลง โดยที่ระยะเวลาในการอบแห้งเป็นเวลาเท่ากับ 3.5 ชม. ทำให้ผลิตภัณฑ์ใบบัวบกอบแห้งที่ได้จากเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่าความชื้นเท่ากับ $6.92 \pm 0.24\%$ มาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบัวบกแห้งชนิดที่กำหนดว่าความชื้น

ของผลิตภัณฑ์ไม่ควรเกิน 10% มาตรฐานแห้ง ซึ่งมีผลทำให้อายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์อบแห้งได้ยาวนานมากขึ้น

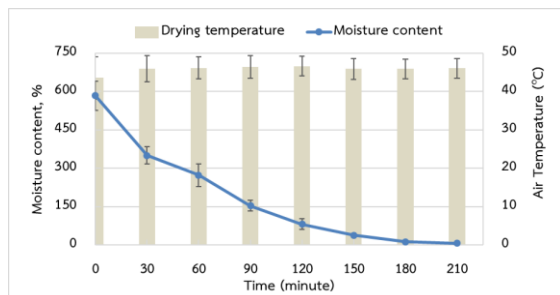


Fig.4 Drying curve of *C. asiatica* leaves IR dryer

จากการศึกษาร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดต้นแบบ และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ เพื่อให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นไปตามมาตรฐาน โดยทำการทดสอบที่ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากับ 3.5 ชม. ซึ่งผลการศึกษแสดงดัง Table 1 พบว่า การอบแห้งใบบัวบกด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์ที่ได้เท่ากับ $13.63 \pm 0.60\%$ และเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่าประสิทธิภาพของการอบแห้งเท่ากับ $22.47 \pm 0.73\%$ ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 16.36 ± 0.53 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

จากการศึกษาปริมาณน้ำอิสระ (aw) ของใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ และใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาด ดังแสดงใน Table 2 พบว่าค่า aw ของใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) กับใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาดทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้พบว่า ค่า aw ของใบบัวบกอบแห้งมีค่าต่ำกว่า 0.65 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบัวบกแห้งชนิดมี

จากการทดสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดยการทดสอบวัดค่าสีของผลิตภัณฑ์ โดยทำการวัดค่าสีของตัวอย่างต่อไปนี้ คือ ใบบัวบกสด ใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยวิธีไมโครเวฟ ใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ และใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาดพบว่า สำหรับใบบัวบกที่ผ่านวิธีการลวกด้วยวิธีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 800 วัตต์ เวลา 30 วินาที นั้นมีค่าความสว่าง (L^*) ไม่แตกต่างกันกับใบบัวบกสด แต่มีค่าความเป็นสีเขียว (a^*) และสีเหลือง (b^*) มากกว่าใบบัวบกสด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และสำหรับการเปรียบเทียบคุณภาพค่าสีของใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบกับใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาดพบว่า ใบบัวบกอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบมีค่าความเป็นสีเขียว (a^*) มากกว่าใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาด โดยแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยจะเห็นว่าการอบแห้งรังสีอินฟราเรดส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่มีค่าความแตกต่างของสีโดยรวมจากใบบัวบกสด (ΔE) น้อยกว่าใบบัวบกอบแห้งตามท้องตลาด

Table 1 Drying time, thermal efficiency, Specific Energy Consumption and %yield of dried *C. asiatica* leaves by IR dryer.

Sample	Drying Time (hr)	η (%)	SEC (MJ/kg)	Yield (%)
Fresh leaves	3.5	22.47±0.73	16.36±0.53	13.63±0.60

Table 2 Water activity (aw) of three dried products from different drying method.

Sample	aw
IR dryer	0.33±0.02 ^c
Sample 1 from market	0.60±0.005 ^a
Sample 2 from market	0.50±0.06 ^b

Note: ^{a-c} difference letter in same column were significant difference ($P \leq 0.05$)

Table 3 Color values of fresh *C. asiatica* leaves, blanched *C. asiatica* leaves, dried *C. asiatica* leaves from IR dryer and dried *C. asiatica* leaves from market

Sample	Color values				Apperance
	L*	a*	b*	ΔE	
Fresh leaves	29.24±1.32 ^d	-7.35±0.51 ^b	13.99±0.60 ^d	-	
Blanched leaves	28.72±0.85 ^d	-11.40±0.55 ^a	15.48±1.00 ^c	4.35	
Dried leaves from IR dryer	39.03±0.65 ^c	-10.64±0.16 ^a	17.95±0.93 ^b	11.06	
Dried sample 1 from market	50.99±0.18 ^b	-3.03±0.30 ^c	17.37±0.43 ^b	22.43	
Dried sample 2 from market	57.44±0.25 ^a	-0.63±0.20 ^d	20.01±0.46 ^a	29.60	

Note: ^{a-d} difference letter in same column were significant difference ($P \leq 0.05$)

วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบ ที่ทำการอบแห้งใบบัวบกสดที่มีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ $697.38 \pm 9.20\%$ มาตรฐานแห้งโดยค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาของใบบัวบกเกิดขึ้นตามกราฟการอบแห้งใน Fig.1 สามารถแบ่งขั้นตอนของกระบวนการอบแห้งตามเวลาได้ดังต่อไปนี้ คือที่เวลาการอบแห้ง 0-60 นาที เป็นช่วงการปรับสภาวะเบื้องต้นของการอบแห้ง ซึ่งบริเวณผิวของวัสดุมีลักษณะเปียกชื้นมากส่งผลให้อัตราการทำแห้งเพิ่มมากขึ้น ที่มีการลดลงของความชื้นของผลิตภัณฑ์ลงอย่างรวดเร็ว และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 60-120 นาที เป็นช่วงอัตราการทำแห้งคงที่ ความชื้นเฉลี่ยของวัสดุจะลดลงเป็นสัดส่วนกับเวลาในการอบแห้ง ซึ่งอัตราเร็วในการอบแห้งจะเริ่มลดลง และในช่วงการอบแห้งที่เวลา 120-210 นาที เป็นช่วงอัตราการทำแห้งลดลง เป็นช่วงที่ความชื้นในวัสดุเหลือน้อยจนแพร่ไปยังผิวหน้าวัสดุอย่างต่อเนื่อง ผิวหน้าของวัสดุเริ่มแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่ผิวของวัสดุสูงขึ้นเรื่อยๆ และอัตราการทำแห้งมีค่าคงที่ ซึ่งน้ำในวัสดุไม่สามารถระเหยออกมาได้อีก โดยหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวค่าความชื้นจะมีค่าคงที่ถึงแม้ว่าระยะเวลาการอบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งเพื่อทำให้ค่าความชื้นของใบบัวบกแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบัวบกแห้งชนิดผง โดยต้องใช้เวลาในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งดังกล่าว เท่ากับ 3.5 ชั่วโมง ทั้งนี้ระยะเวลาในการอบแห้งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sharma *et al.* (2005) ที่ศึกษาโมเดลคณิตศาสตร์การอบแห้งหัวหอมด้วยอินฟราเรดกำลัง 500 วัตต์ อุณหภูมิ 45°C เวลา 4 ชม. หัวหอมมีความชื้นเริ่มต้น $715.9-742.3\%$ มาตรฐานแห้ง และความชื้นสุดท้าย 6% มาตรฐานแห้ง และเมื่อทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องต้นแบบเพื่อศึกษาค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งที่ได้ พบว่าร้อยละผลิตภัณฑ์อบแห้ง

เท่ากับ $13.63 \pm 0.60\%$ เนื่องจากใบบัวบกสดมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลักถึงร้อยละ 88 ของน้ำหนักใบบัวบก เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยการอบแห้ง ที่มีหลักการในการลดปริมาณน้ำของผลิตภัณฑ์ลง ซึ่งจากค่าความชื้นสุดท้ายของใบบัวบกแห้งที่มีค่าเท่ากับ $6.92 \pm 0.24\%$ มาตรฐานแห้ง ซึ่งเป็นการสูญเสียน้ำออกจากผลิตภัณฑ์เริ่มต้นเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้น้ำหนักของผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีค่าน้อย จึงทำให้ค่าร้อยละของผลิตภัณฑ์อบแห้งมีค่าต่ำ

ในกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบนั้น เพื่อให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งมีความชื้นเป็นไปตามมาตรฐาน พบว่ามีค่าความชื้นเปลี่ยนแปลงงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งที่ได้จากการศึกษาทดลองคล้ายกับการศึกษาของ Thumkunkeaw and Phaphuangwittayakul (2012) ที่ประเมินสมรรถนะการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดเพื่อใช้กับวัสดุเกษตรของใบหอมขอยมีความชื้นเริ่มต้น 90% มาตรฐานเปียก และความชื้นสุดท้าย 4% มาตรฐานเปียก ซึ่งการอบแห้งด้วยฮีทเตอร์อินฟราเรดพบว่า มีค่าการเปลี่ยนแปลงงานจำเพาะของใบหอมขอย $19.76-22.32$ เมกะจูลต่อกิโลกรัม ทั้งนี้การอบแห้งใบบัวบกด้วยเครื่องต้นแบบดังกล่าวทำให้ได้ใบบัวบกที่มีคุณภาพเป็นไปตามต้องการ สำหรับค่า aw ของใบบัวบกอบแห้งมีค่าต่ำกว่า 0.65 ส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถเจริญเติบโตได้จึงแทบจะไม่เกิดการเน่าเสียของอาหาร สามารถเก็บอาหารนี้ได้ยาวนานกว่า 2 ปี สำหรับคุณภาพของใบบัวบกอบแห้ง ด้านค่าสีของผลิตภัณฑ์พบว่า การลวกใบบัวบกด้วยไมโครเวฟ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีค่าความเป็นสีเขียว (a^*) และสีเหลือง (b^*) มากกว่าใบบัวบกสด ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ Trirattanapikul and Phoungchandang (2014) พบว่า ใบบัวบกที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ มีค่าสีเขียวมากกว่าใบบัวบกสด เนื่องจากการลวกจะเป็นการทำลายเอนไซม์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพด้านสีของใบบัวบกอบแห้ง โดยผลิตภัณฑ์

อบแห้งจะยังคงความเป็นสีเขียวที่มีค่าไม่แตกต่างความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับใบบวบที่ผ่านการลวกด้วยไมโครเวฟ ซึ่งแสดงว่ากระบวนการลวกด้วยไมโครเวฟช่วยในการคงความเป็นสีเขียวของผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งจะทำให้ผลิตภัณฑ์ใบบวบอบแห้งมีค่าสีที่ใกล้เคียงกับใบบวบสด

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาออกแบบเครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบสามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในเครื่องอยู่ในช่วง 40-50 °ซ ที่มีความเหมาะสมสำหรับการอบแห้งใบบวบได้มีความชื้นต่ำกว่า 10% มาตรฐานแห้ง โดยใช้เวลา 3.5 ชั่วโมง ในการอบแห้งใบบวบ ทำให้มีค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์เท่ากับ $6.92 \pm 0.24\%$ มาตรฐานแห้ง ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์อบแห้งเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนใบบวบแห้งชนิดมีโดยจากสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งใบบวบ พบว่าประสิทธิภาพของการอบแห้งมีค่าเท่ากับ $22.47 \pm 0.73\%$

มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเท่ากับ 16.36 ± 0.53 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และร้อยละของผลิตภัณฑ์มีค่าเท่ากับ $13.63 \pm 0.60\%$ ซึ่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบบวบอบแห้งมีค่า a_w เท่ากับ 0.33 ± 0.02 ซึ่งน้อยกว่า 0.65 และจากการทดสอบคุณภาพค่าสีของผลิตภัณฑ์อบแห้งพบว่า มีค่าความแตกต่างของสีโดยรวมจากใบบวบสด (ΔE) น้อยเมื่อเทียบกับใบบวบอบแห้งตามท้องตลาด ทั้งนี้เครื่องอบแห้งรังสีอินฟราเรดต้นแบบสามารถใช้ในการอบแห้งใบบวบได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการเกษตรและอาหาร ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย โดยการดำเนินงานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (RDI-5-61-03)

References

- Department of Medical Sciences. 2015. Standard methods for food analysis volume 1. Department of Medical Sciences ministry of Public Health: Bangkok. 231 pp. (in Thai)
- Niamnuy, C., Siwawut, J. and Kadeedang, R. 2012. Kinetics of drying and phenolic compound changes of *Centella asiatica* (Linn.) Urban during hot air drying. Agricultural Sci. J. 43(3) (Suppl.): 208-211. (in Thai)
- Niamnuy, C., Charoenchaitrakool, M., Mayachiew, P. and Devahastin, S. 2013. Bioactive compounds and bioactivities of *Centella asiatica* (L.) Urban prepared by different drying methods and conditions. Drying technology. 31(16): 2007-2015.
- Noivoil, N. and Chantanawarangoon, S. 2007. Processing effect on antioixant capacity of *Centella asiatica* (Linn.) Urban [Online]. [Accessed April 16, 2018]. Available from: URL: <http://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordID=TH2008000363>

- Pancoke, J., Kerdchoechuen, O. and Laohakunjit, N. 2012. Antioxidant capacity and total phenolics of 3 plant extracts. Agricultural Sci. J. 43(2) (Suppl.): 381-384. (in Thai)
- Sharma, G.P., Verma, R.C. and Pathare, P. 2005. Mathematical modeling of Infrared radiation thin layer drying of onion slices. Journal of Food Engineering. 71(3): 282-286.
- Thumkunkeaw, T. and Phaphuangwittayakul, W. 2012. Performance evaluation of drying using Infrared radiation for agricultural products. The 13th TSAE National Conference. 4-5 April. The Imperial Mae Ping Hotel, Chaing Mai. 611-617. (in Thai)
- Tirawanichakul, S., Chanchiew, S. and Tirawanichakul, Y. 2013. Pennywort drying using infrared radiation: drying kinetics, energy consumption and quality aspect. KKU Res. J. 18(2): 311-324. (in Thai)
- Trirattanapikul, W. and Phoungchandang, S. 2014. Microwave blanching and drying characteristics of *Centella asiatica* (L.) Urban leaves using tray and heat pump-assisted dehumidified drying. Journal of Food Science and Technology. 51(12): 3623-3634.