



การหาจุดเหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน THE OPTIMIZATION OF COMBINED MICROWAVE AND HOT AIR FOR DRYING SYSTEM

เดียนแรม แผ่งเกี้ยว^{1*}, ชาตรี เพชรชู¹, ภาควณิ พรหมพัก¹ และ ณัฐกมล ฤทธิพิณ¹

Duanraem Phaengkiao^{1*}, Chartree Phetchoo¹, Pakpoom Promfak¹

and Nattakamon Littipin¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Department of Electrical Engineer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of
Technology Lanna Phitsanulok, Mueang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author: duanraemp@gmail.com

วันที่เข้ารับ 8 ตุลาคม 2562

วันที่แก้ไขบทความ 4 พฤศจิกายน 2562

วันที่ตอบรับบทความ 20 ธันวาคม 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ต้นแบบเครื่องอบแห้งถูกออกแบบให้ใช้แมกนีตรอนขนาด 1,000 วัตต์ และฮีตเตอร์ขนาด 800 วัตต์ แบ่งการทดสอบเป็น 3 กรณี ได้แก่ การทดสอบด้วยไมโครเวฟ การทดสอบด้วยลมร้อน และการทดสอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และการอบแห้งทดสอบโดยใช้ขมิ้นชันน้ำหนัก 100 กรัม โดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อนที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการอบแห้ง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และความเร็วลมร้อนที่ 0.5 m s^{-1} ผลการทดสอบ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งขมิ้นชัน ใช้กำลังไมโครเวฟเท่ากับ 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที อีกทั้งการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้งยังสามารถรักษาคุณภาพสีของขมิ้นชันหลังการอบแห้งได้ดีกว่าการตากแห้งและการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว โดยเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีต้นทุนเท่ากับ 15,000 บาท จุดคุ้มทุนของเครื่องอยู่ที่ $134.27 \text{ kg year}^{-1}$ และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 เดือน จึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับ ลมร้อนสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ รักษาคุณภาพสีขมิ้นชันหลังการอบแห้งได้

คำสำคัญ: ไมโครเวฟ, ลมร้อน, การอบแห้ง, ขมิ้นชัน

Abstract

The objective of this research was to study the optimum conditions of the combined microwave with hot-air drying on drying of turmeric. The prototype designed to use 1,000 watts magnetron and 800 watts heater. This research was dried with three different drying methods: microwave, hot-air and microwave combined with hot-air that using turmeric weighing 100 grams. The microwave drying was carried out in a microwave oven with output power of 300, 400, 500, 600, 700 and 800 W, while the hot-air drying was carried out at drying air temperatures of 60, 70 and 80 °C. The drying time to test is 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes with air velocity of 0.5 m s⁻¹. The results showed that the optimum point of the microwave with hot-air for drying is the microwave power of 800 watts and hot air temperature of 60 °C, which takes 10 minutes. In addition, using microwave with hot air for drying can maintain the color quality of turmeric after drying better than just drying and drying with hot-air. The microwave with the hot air has cost of 15,000 baht. The break-even point of the machine is 134.27 kg year⁻¹ and the payback period is 2 months. It can be concluded that the method of microwave drying combined with hot-air can reduce the drying time and preserve the quality of turmeric after drying.

Keywords: Microwave, Hot-air, Drying, Turmeric

1. บทนำ

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยพืชผักสมุนไพรกันมากขึ้น ทำให้ทราบว่าตลาดสมุนไพรของประเทศไทยได้เติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วราวร้อยละ 10 ต่อปี ซึ่งในปี 2560 ที่ผ่านมามีมูลค่าเพิ่มขึ้นถึงกว่าร้อยละ 30 ซึ่งข้อมูลจากศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทยระบุว่าประเทศไทยส่งออกสมุนไพรและสารสกัดปีละประมาณ 1,000 ล้านบาท เมื่อปี 2559 ตลาดสมุนไพรเวชสำอาง อาหารเสริม เครื่องดื่ม สมุนไพรแห้ง สมุนไพรสด มีมูลค่ารวมประมาณ 3.92 หมื่นล้านบาท และคาดว่าจะขยายตัวเป็น 5.69 หมื่นล้านบาทในปี 2564 ซึ่งถือว่าการขยายตัวมีแนวโน้มที่ดีในเชิงเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนมีความหลากหลายของสมุนไพร (กรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, 2561 และ Euromonitor International, 2019) ซึ่งขมื่นชันเป็นหนึ่งในสมุนไพรเศรษฐกิจของประเทศ ในปี 2559 มีการปลูกขมื่นชันถึง 4,167.50 ไร่ รวม 3,550.40 ตัน โดยเก็บไว้ใช้ในประเทศถึงร้อยละ 98 และมีการส่งออกขมื่นชันไปประเทศสหรัฐอเมริกาและญี่ปุ่น

ถึง 80.96 ตันต่อปี รวมมูลค่า 12.150 ล้านบาท (สำนักงานส่งเสริมและจัดการเกษตร, 2559) ซึ่งการส่งออกขมิ้นชันไปยังต่างประเทศจะต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทางเป็นเวลานานอาจเกิดการเน่าเสียเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีวิธีการเก็บรักษามันในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ การอบแห้ง การบรรจุขมิ้นในภาชนะที่อากาศผ่านไม่ได้ เป็นต้น การอบแห้งขมิ้นเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถยืดระยะเวลาในการเก็บรักษาและเพิ่มมูลค่าของขมิ้นชันให้สูงขึ้น ในปัจจุบันมีการใช้วิธีการอบด้วยลมร้อนสำหรับการอบแห้งแต่ยังมีข้อจำกัด คือ ใช้เวลานาน ใช้พลังงานมาก และคุณภาพสีของขมิ้นชันหลังการอบแห้งไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงมีการนำเทคนิคไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้ง ซึ่งการนำเทคนิคไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้กับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ เนื่องจากไมโครเวฟทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว น้ำในวัสดุอบแห้งเป็นตัวดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้ดีซึ่งน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วสามารถเหนี่ยวนำจากสนามไฟฟ้าให้มีการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่างรวดเร็วตามความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ทำให้สามารถเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานความร้อนอย่างรวดเร็ว (สิรินดา ศิลากุล, 2561) ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่สูงขึ้นตามไปด้วยอีกทั้งยังสามารถลดการใช้พลังงานเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว (Supawan *et al.*, 2012)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนและศึกษาคุณภาพของขมิ้นชันหลังการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

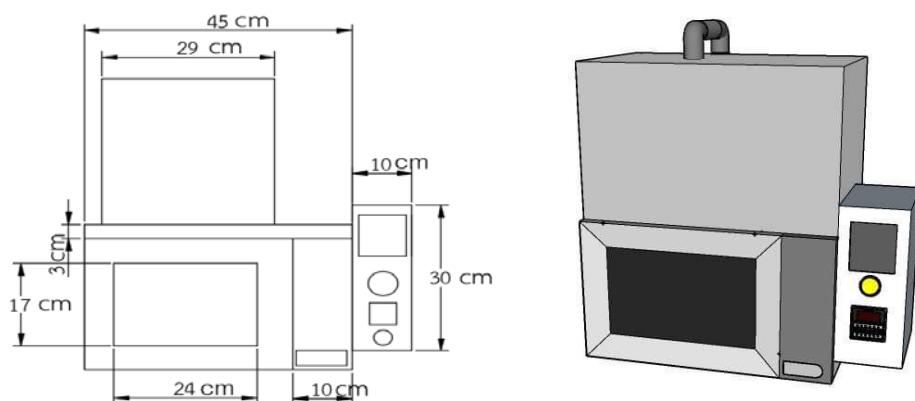
2.1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งขมิ้นชันด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

2.2 เพื่อศึกษาคุณภาพของขมิ้นชันหลังการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

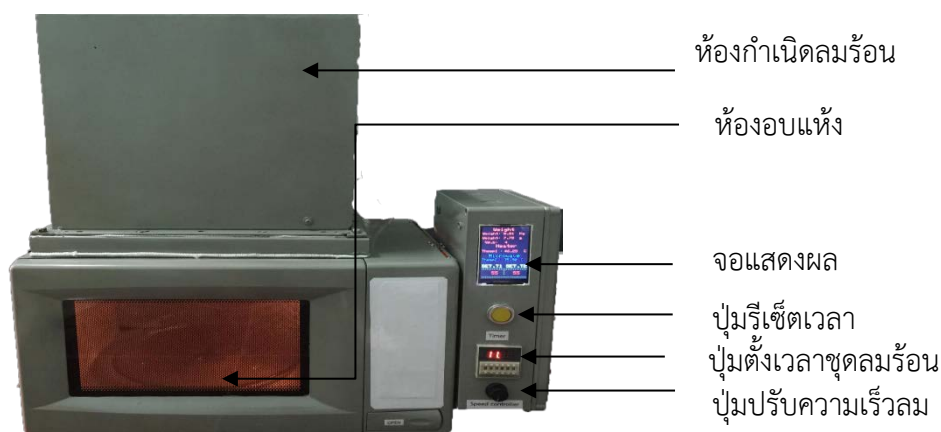
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ประยุกต์โดยใช้ตู้อบไมโครเวฟทั่วไปขนาด 30 x 19 x 29 เซนติเมตร ประกอบด้วยแมกนีตรอนขนาด 1000 วัตต์ จำนวน 1 ตัว และได้มีการสร้างห้องกำเนิดลมร้อนเพิ่มเติม โดยใช้ฮีตเตอร์ขนาด 800 วัตต์ จำนวน 1 ตัว ดังแสดงผลการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนดังภาพในภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 โครงสร้างของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



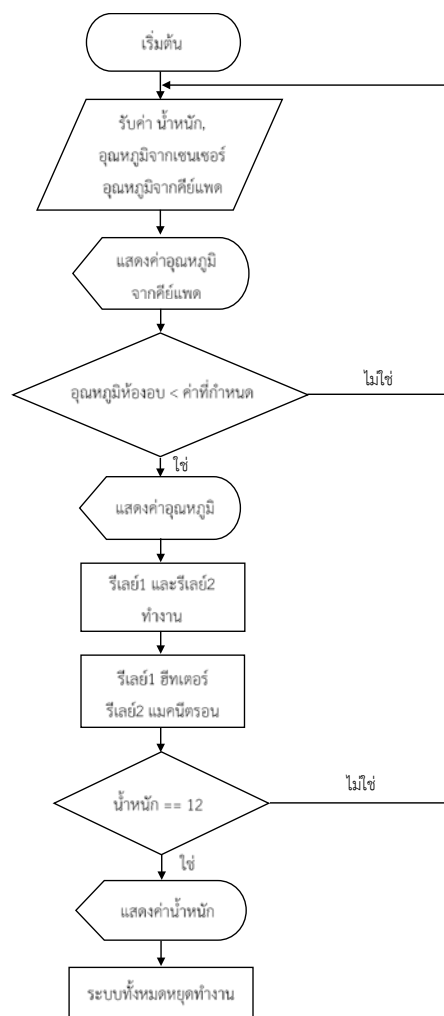
ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.2 ระบบควบคุมเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

ในส่วนนี้ แสดงขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนแสดงภาพรวมของระบบควบคุมเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังภาพที่ 3 และผังงานโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังภาพที่ 4 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ระบบรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ รุ่น K-Type โดยมีตัวขยายสัญญาณ Digital Module for K-Type (MAX6675) เซ็นเซอร์น้ำหนัก (Load cell sensor) โดยมีตัวขยายสัญญาณ Weight Sensor Module (HX711) และรับข้อมูลค่าอุณหภูมิที่กำหนดบนคีย์แพด (Keypad)
- ขั้นตอนที่ 2 จากนั้นระบบประมวลผลตามเงื่อนไขการทำงานของระบบด้วยหน่วยประมวลผล Arduino Mega 2560 ซึ่งเขียนด้วย ภาษา Arduino IDE
- ขั้นตอนที่ 3 ค่าอินพุตต่างๆ แสดงออกจก TFT LCD
- ขั้นตอนที่ 4 การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ ได้แก่ รีเลย์ใช้ในการควบคุมการ เปิด-ปิด ในระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

ภาพที่ 3 ระบบควบคุมเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน



ภาพที่ 4 ผังงานโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3. การทดสอบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.1 การหาจุดเหมาะสมของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้ง ตัวอย่างขมิ้นชันที่นำมาทำการทดลองนั้นมาจากตลาดท้องถิ่น ในจังหวัดพิษณุโลก โดยนำมาทำความสะอาดและคัดเลือกล้างปอกเพื่อนอก หั่นขมิ้นชันให้ได้ขนาดที่คงที่ประมาณ 3 มิลลิเมตร ปริมาณในการทดลองกรณีละ 100 กรัม แบ่งการทดลองเป็น 3 กรณี ได้แก่ ทดลองอบแห้งด้วยไมโครเวฟ ทดลองอบแห้งด้วยลมร้อน และทดลองอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 300, 400, 500, 600, 700, และ 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อนที่ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทดลอง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และความเร็วลมร้อนที่ 0.5 m s^{-1} ทำการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของขมิ้นชันในระหว่างการอบแห้งโดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที จนน้ำหนักของขมิ้นชันไม่เปลี่ยนแปลง การทดลองในแต่ละกรณีแบ่งมีจำนวนการทดลองดังนี้ การทดลองด้วยไมโครเวฟทั้งหมด 36 กรณี ทดลองด้วยลมร้อนทั้งหมด 18 กรณี และทดลองด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนทั้งหมด 108 กรณี จากนั้นนำข้อมูลมาหาค่าความชื้นของขมิ้นชัน ด้วยค่าความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis) โดยใช้สมการที่ (1) (Nattapon *et al.*, 2016)

$$M_w = \frac{W - d}{W} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ	M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
	W	คือ	น้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)
	d	คือ	น้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

และเปรียบเทียบคุณภาพสีของขมิ้นชันหลังการอบแห้งด้วยเทคนิคการอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

3.2 จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break Even Point) ซึ่งเป็นจุดที่รายรับที่ได้จากการขายผลิตภัณฑ์หรือจากการบริการเท่ากับต้นทุนทั้งหมดที่ลงทุน แสดงดังสมการที่ (2) (รวิภัทร ลาภเจริญสุข และคณะ, 2562)

$$\text{จุดคุ้มทุน (kg year}^{-1}\text{)} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่ (Baht year}^{-1}\text{)}}{\text{รายรับจากการขายขมิ้นชันอบแห้งต่อหน่วย (Baht kg}^{-1}\text{) - ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (Baht kg}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

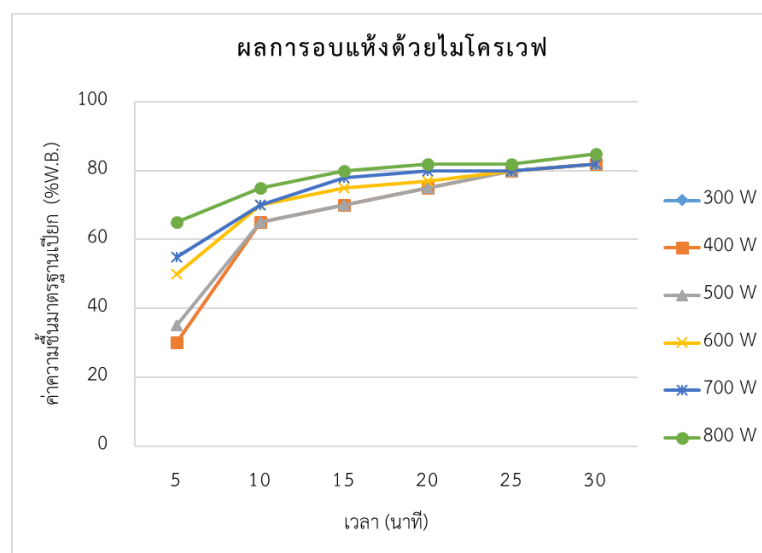
นอกจากนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ซึ่งคือเวลาที่ทำให้การลงทุนเริ่มต้นได้รับการคืนทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แสดงดังสมการที่ (3)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (year)} = \frac{\text{ราคาเครื่อง (Baht)}}{\text{รายได้ต่อปี (Baht year}^{-1}) - \text{ต้นทุนรวมทั้งหมด (Baht year}^{-1})} \quad (3)$$

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการหาจุดเหมาะสมของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนในการอบแห้ง

(1) ผลการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ จากการใช้คลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 วัตต์ ระยะเวลาในการทดลอง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ในปริมาณไขมันชั้น 100 กรัม ผลการทดสอบ พบว่า การอบแห้งจากการใช้คลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 วัตต์ ปริมาณความชื้นและน้ำหนักที่หายไปจะแตกต่างกันที่ระยะเวลา 5 – 15 นาที แต่ที่ระยะเวลา 25 – 30 นาที ปริมาณความชื้นและน้ำหนักมีค่าที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ ระยะเวลา 10 นาที สามารถคงคุณภาพสีของไขมันชั้นหลังการอบแห้งได้ ซึ่งปริมาณความชื้นที่หายไปร้อยละ 70 มาตรฐานเปียก ดังแสดงในภาพที่ 6 (ข) โดยที่ปริมาณความชื้นที่หายไปมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 85 มาตรฐานเปียก ที่กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์ ระยะเวลา 30 นาที แต่ทำให้ไขมันชั้นที่ผ่านการอบเกิดความเสียหาย เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟที่มีกำลังสูงนี้จะไปทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำในไขมันชั้น ทำให้ไขมันชั้นไม่สามารถคายความร้อนได้ทัน เพราะได้รับความร้อนที่สูงตลอดเวลาจึงเกิดการสะสมความร้อนภายในทำให้ไขมันชั้นเกิดความสูญเสียคุณภาพสี ดังแสดงในภาพที่ 6 (ข)



ภาพที่ 5 ผลการอบแห้งไขมันชั้นของการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ



(ก)



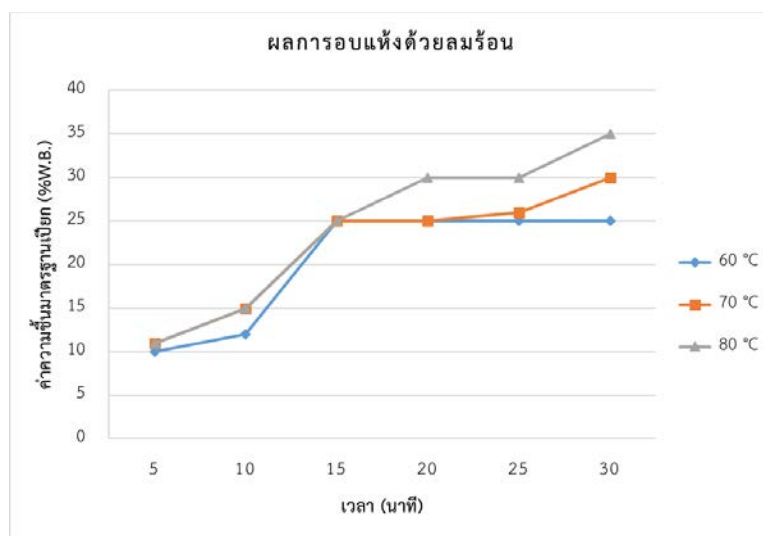
(ข)

ภาพที่ 6 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพสีการอบแห้งขมิ้นชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ

(ก) กำลังไมโครเวฟ 600 วัตต์ เวลา 10 นาที ความชื้นที่หายไปร้อยละ 70 มาตรฐานเปียก

(ข) กำลังไมโครเวฟ 800 วัตต์ เวลา 30 นาที ความชื้นที่หายไปร้อยละ 85 มาตรฐานเปียก

(2) ผลการอบแห้งด้วยลมร้อน จากการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทดลอง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ความเร็วลมร้อนคงที่ 0.5 m s^{-1} ในปริมาณขมิ้นชัน 100 กรัม ผลการทดสอบ พบว่า การอบโดยใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ปริมาณความชื้นลดลงไปเพียงเล็กน้อย ปริมาณความชื้นที่หายไปมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 35 มาตรฐานเปียก ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 7 เนื่องจากการใช้ลมร้อน คือ การลดความชื้นจากด้านนอกไปหาด้านใน ซึ่งด้านในของขมิ้นชันมีความชื้นอยู่เยอะ จึงทำให้ลมร้อนไม่สามารถลดความชื้นของขมิ้นชันได้ตามเวลาที่ต้องการ แสดงคุณภาพสีการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อน ดังภาพที่ 8

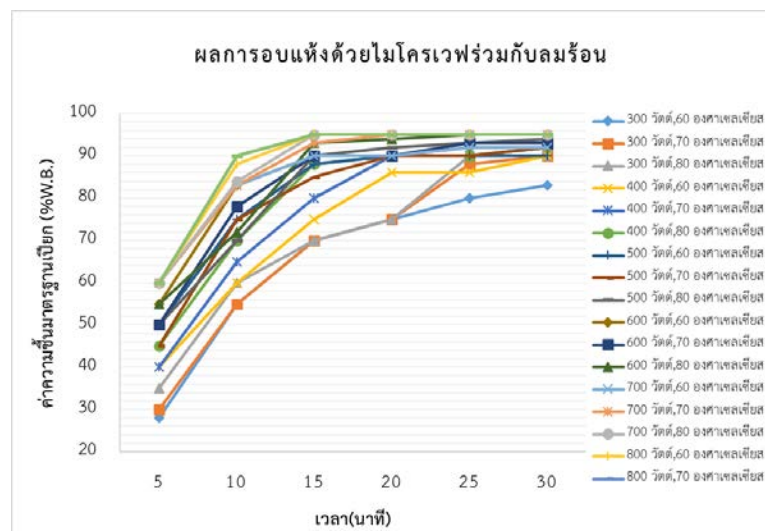


ภาพที่ 7 ผลการอบแห้งขมิ้นชันของการอบแห้งด้วยลมร้อน



ภาพที่ 8 ผลคุณภาพสีการอบแห้งขมิ้นชันด้วยลมร้อน

(3) ผลการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน จากการใช้คลื่นไมโครเวฟที่กำลังไฟฟ้า 300, 400, 500, 600, 700 และ 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทดลอง 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ความเร็วลมร้อนที่ 0.5 m s^{-1} แสดงดังภาพที่ 9 ปริมาณขมิ้นชัน 100 กรัม ผลการทดสอบ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบขมิ้นชัน คือ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที และความเร็วลมร้อนที่ 0.5 m s^{-1} ซึ่งปริมาณความชื้นที่หายไปมากที่สุดร้อยละ 88 มาตรฐานเปียก ดังแสดงในภาพ 10 และผลการแสดงคุณภาพสีการอบแห้งขมิ้นชันด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 9 ผลการอบแห้งขมิ้นชันของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

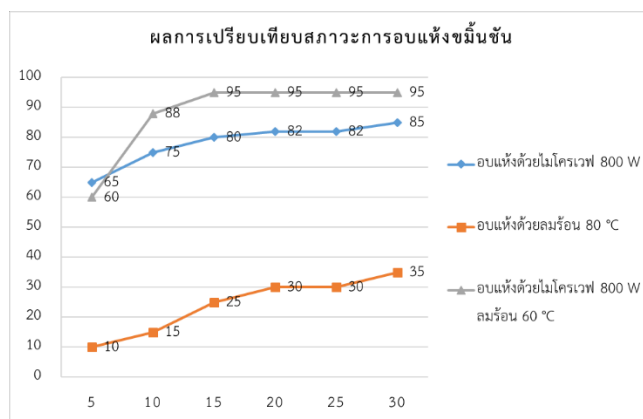


ภาพที่ 10 ผลของคุณภาพสีของไขมันชั้นหลังอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน

(4) ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของการอบแห้งไขมันชั้นผล การเปรียบเทียบการอบไขมันชั้นด้วยการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของของกำลังไฟฟ้าของไมโครเวฟ อุณหภูมิลมร้อนและระยะเวลาการอบแห้ง พบว่า กำลังไฟฟ้า 300 วัตต์ อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 25 นาที, กำลังไฟฟ้า 400 วัตต์ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที สามารถลดความชื้นได้ร้อยละ 88 มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับไขมันชั้นอบแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งไขมันชั้น คือ กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อนเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการอบแห้ง 10 นาที ซึ่งมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพียง 2.9988 MJ/kg และแสดงผลการเปรียบเทียบคุณภาพสีของไขมันชั้นอบแห้งระหว่างไขมันชั้นอบแห้งตามท้องตลาดและไขมันชั้นหลังอบด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ดังภาพที่ 12

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมในการอบแห้งไขมันชั้น

อุณหภูมิ (°C)	กำลังไฟฟ้า (W)	เวลา (m)	ความชื้น มาตรฐาน เปียก (%)	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (MJ/kg)
60	500	15	88	3.1968
	800	10		2.9988
70	300	25	88	3.3192
80	400	15	88	3.1968



ภาพที่ 11 ผลการเปรียบเทียบค่าสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองอบแห้งไขมันชั้นทั้ง 3 กรณี



(ก)



(ข)

ภาพที่ 12 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพสีของไขมันชั้นอบแห้งระหว่างไขมันชั้นอบแห้งตามท้องตลาดและไขมันชั้นหลังอบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อน

(ก) ไขมันชั้นอบแห้งตามท้องตลาด (ข) ไขมันชั้นหลังอบด้วยไมโครเวฟร่วมลมร้อน

4.2 ผลการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ต้นแบบเครื่องอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีต้นทุนในการสร้าง (ราคาเครื่อง) 15,000 บาท โดยต้นทุนคงที่เท่ากับ $1,633.38 \text{ Baht year}^{-1}$ ซึ่งเป็นผลรวมของค่าเสื่อมราคาเครื่อง $1,350 \text{ Baht year}^{-1}$ และดอกเบี้ยในการลงทุน $283.38 \text{ Baht year}^{-1}$ สำหรับค่าใช้จ่ายผันแปรมาจากค่าบำรุงรักษา $1,800 \text{ Baht year}^{-1}$ และค่าไฟฟ้า $6,822.4 \text{ Baht year}^{-1}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $8,622.4 \text{ Baht year}^{-1}$ ต้นทุนรวมทั้งหมดเท่ากับ $10,255.78 \text{ Baht year}^{-1}$ การประเมินจุดคุ้มทุนตามสมการที่ (2) โดยคิดต้นทุนผันแปรต่อหน่วยที่อัตราการทำงานสูงสุดจากการทดลองของเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนจะได้จุดคุ้มทุนเมื่อขายไขมันอบแห้งได้ $134.27 \text{ kg year}^{-1}$ และเมื่อคำนวณระยะเวลาคืนทุนจากสมการที่ (3) จะสามารถคืนทุนได้ใน 2 เดือน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การหาสภาวะที่เหมาะสมของการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน โดยใช้ต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และมีหมั่นชั้นเป็นตัวอย่งในการทดลอง แบ่งการทดลองออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ และการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน ผลการทดสอบ พบว่า การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ เมื่อมีการใช้กำลังไฟที่สูงขึ้นทำให้เกิดความร้อนสะสมในหมั่นชั้นมากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้หมั่นชั้นเกิดความเสียหายและมีรอยไหม้ และการอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยระยะเวลาที่กำหนดปริมาณความชื้นของหมั่นชั้นนั้นลดลงได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งนำไปใช้งานไม่ได้ ดังนั้น วิธีการที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหมั่นชั้น คือ การอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน และสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งหมั่นชั้น คือ กำลังไฟฟ้า 800 วัตต์ อุณหภูมิลมร้อน 60 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 10 นาที ซึ่งสามารถลดความชื้นได้ร้อยละ 88 มาตรฐานเปียก (ค่าที่เหมาะสมสำหรับหมั่นชั้นอบแห้ง) และมีอัตราการใช้พลังงานเพียง 2.9988 MJ/kg อีกทั้งยังสามารถรักษาคุณภาพสีของหมั่นชั้นหลังอบแห้งได้ โดยต้นแบบเครื่องอบแห้งไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนมีต้นทุนในการสร้าง 15,000 บาท และมีจุดคุ้มทุนเมื่อขายหมั่นชั้นอบแห้งได้ 134.27 kg year⁻¹ สามารถคืนทุนได้ใน 2 เดือน จึงสามารถสรุปได้ว่าเทคนิคการอบแห้งด้วยไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนสามารถลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ รักษาคุณภาพสีของหมั่นชั้นหลังการอบแห้งได้ และเหมาะสมกับกลุ่มเกษตรกร สหกรณ์ และวิสาหกิจชุมชน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชญ์โลก ที่สนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

การแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก, กรม. (2561). "สมุนไพรไทย"เติบโตขึ้นกว่า 30%.

สืบค้นจาก <https://www.thaihealth.or.th>

ชวลิต ตรีกรุณาสวัสดิ์, นารีรัตน์ สุนทรธรรม, เนตรา สมบูรณ์แก้ว, บุญญวดี จิระวุฒิ, รัตนา สุทธยา
คม, รัมภ์พน โกศลนันท์, วชิร วิทวรรณกุล, สุพี วนศิริกุล, อมรา ชินภูติ, อัจฉราพร ศรีจุ
ดานุ และอารีรัตน์ การุณสกลิตชัย. (2559). **โครงการวิจัยการจัดการโรคและสารพิษจากเชื้อราในผลิตผลเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวโดยไม่ใช้สารเคมี**. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการเกษตร.

รวีภัทร ลาภเจริญสุข, ณตธสร ไชยพาฤทธิ, ธัชชิน ทองสว่างแจ้ง, พิระพงษ์ สารจันทร์, ภาณุวัฒน์ พร
ดอนก่อ, รังสรรค์ กุฎสำโรง, กฤษณะ เนาว์ประโคน และสหภัทร ชลาชัย. (2562). **เครื่อง**



ไมโครเวฟแบบลำเลียงสำหรับกำจัดมอดในข้าวโพดอาหารสัตว์. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 11 ประจำปี 2562 “วิถีสยามมงคล ขับเคลื่อนนวัตกรรม เพื่อสร้างสรรค์เศรษฐกิจและสังคม”, 260-269.

ส่งเสริมและจัดการเกษตร, สำนักงาน. (2559). **ขมิ้นชัน**. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมการเกษตร

สิรินดา ศิลากุล. (2561). **หลักการทำงานของไมโครเวฟ**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

Euromonitor International. (2019). **Herbal/Traditional Products in Thailand**. Retrieved from <https://www.euromonitor.com/herbal-traditional-products-in-thailand/report>

Nattapon, K., & Narong, U. (2016). Kinetics and Turmeric using hot air and infrared drying. **Burapha Science Journal**, 21(3), 239-246. (in Thai)

Supawan, T., Sakena, L., & Yutthana, T. (2012). Combined infrared/microwave and hot air drying for jackfruit: Kinetics, quality and sensory analysis. **Burapha Science Journal**, 17(1), 117-129. (in Thai)