



การอบแห้งสมุนไพรด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับ รังสีอินฟราเรดและอากาศร้อน HERB DRYING USING VACUUM COMBINED INFRARED RADIATION AND HOT AIR

ศรีมา แจ้คำ^{1*}, กิตติศักดิ์ วิธินันทกิจ¹, เอกภูมิ บุญธรรม²

Srima Jaekhom^{1*}, Kittisak Witinantakit¹, Eakpoom Boonthum²

¹ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20110

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อ.เมือง จ.ปทุมธานี ประเทศไทย 65000

¹School of Engineering and Innovation, Rajamangala University of Technology Tawan-ok,

Sriracha, Chonburi, Thailand, 20110

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University,

Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: srima_j@hotmail.com

วันที่เข้ารับ 19 มิถุนายน 2564

วันที่แก้ไขบทความ 29 มิถุนายน 2564

วันที่ตอบรับบทความ 29 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดและอากาศร้อน โดยทดลองอบแห้งใบมะกรูดและชาจากความชื้นเริ่มต้น 170 %d.b และ 820 %d.b ตามลำดับ จนได้ความชื้นสุดท้ายประมาณ 5 %d.b ควบคุมความดันสุญญากาศ 5 kPa และ 15 kPa อุณหภูมิควบคุมภายในห้องอบ 45°C และ 55°C สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อน ควบคุมอุณหภูมิที่ 45°C และ 55°C. จากการทดลองพบว่า การอบแห้งสมุนไพรที่ความดัน 5 kPa อุณหภูมิควบคุม 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อน ผลของความดันและอุณหภูมิมีต่อการอบแห้งที่ความดันต่ำและอุณหภูมิสูงเป็นผลให้เวลาในการอบแห้งลดลง ระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดจึงมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการใช้อากาศร้อนที่ความดันบรรยากาศ การอบแห้งชาที่สภาวะความดัน 15 kPa อุณหภูมิควบคุม 55°C และการอบแห้งใบมะกรูดที่สภาวะความดัน 15 kPa อุณหภูมิควบคุม 45°C เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดเมื่อพิจารณา ด้านอัตราการอบแห้งและคุณภาพด้านสี ปริมาณน้ำมันหอมระเหยประมาณ 0.0928 % และ 0.7849 % โดยมวล ตามลำดับ

คำสำคัญ: การอบแห้ง, สุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด, สมุนไพร

Abstract

This research was to compare the study of drying of herbs, Kaffir lime leaves and galangal, between hot air and far-infrared vacuum dryer. An initial moisture of Kaffir lime leaves and galangal was 170%d.b. and 820%d.b., respectively. The drying would be completed when final moisture was 5%d.b. The drying by far-infrared vacuum dryer would be conducted by vacuum pressure of 5 kPa and 15 kPa. For drying with hot air, the temperatures were controlled at 45°C and 55°C. The result found that the drying by far-infrared vacuum dryer at pressure of 5 kPa and at drying temperature of 55°C consumed minimal drying time when compared to the drying by hot air. The effect of pressure and temperature on low-pressure drying and high-temperature drying results in reduced drying time. Therefore, the drying rate of vacuum combined far-infrared technique was higher than the rate of hot air drying at atmospheric pressure. The optimal condition, considering the drying rate and color quality, for drying of galangal and kaffir lime leaves would be at pressure of 15 kPa by temperature of 55°C and 45°C, respectively. A volatile matter of galangal and kaffir lime leaves was 0.0928% and 0.7849% by mass, respectively.

Keywords: Drying, Vacuum combined infrared, Herb

1. บทนำ

ในปัจจุบัน ความจำเป็นของการแปรรูปสินค้าทางการเกษตร มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาเกษตรกรรมของไทย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของสินค้าเกษตรต่างๆที่มีอยู่ในประเทศ ให้สามารถส่งออกสู่ตลาดโลก เกษตรกรส่วนใหญ่ทำการเก็บรักษาผลผลิตที่ได้ด้วยการตากแดด ซึ่งถือเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนต่ำที่สุด แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ผลผลิตทางการเกษตรที่ได้ไม่สะอาด และอาจมีการปนเปื้อนของฝุ่นและแบคทีเรีย อีกทั้งต้องใช้เวลาเพื่อลดความชื้นนานหลายวัน เนื่องจากไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นของรังสีอาทิตย์ได้ ในช่วงกลางคืนหรือในช่วงฤดูฝน ก็เป็นอุปสรรคส่งผลให้ไม่สามารถทำแห้งได้ เป็นผลทำให้ผลผลิตเกิดความเสียหาย ดังนั้นเครื่องอบแห้งจึงมีบทบาทสำคัญในการแปรรูปผลผลิตดังกล่าว โดยสามารถรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วยการควบคุมอุณหภูมิที่

เหมาะสม และลดระยะเวลาในการอบแห้งลงได้ ทำให้คุณภาพของสมุนไพรในด้านสี ปริมาณน้ำมันหอมระเหย สารออกฤทธิ์ที่เป็นสรรพคุณทางยา ยังคงเหมือนเดิม

สำหรับชาและใบมะกรูด นอกจากจะเป็นเครื่องเทศที่นิยมบริโภคกันเป็นประจำแล้ว ยังถือว่าเป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่อยู่คู่กับคนไทยมาอย่างยาวนาน ชา มีสรรพคุณทางยา คือ ช่วยบรรเทาอาการปวดตามข้อ บรรเทาอาการปวดหลอดลมอักเสบ บรรเทาอาการปวดท้อง ท้องร่วง ฆ่าเชื้อบิด ช่วยย่อยอาหาร บรรเทาอาการท้องอืดท้องเฟ้อ บรรเทาอาการของโรคผิวหนัง กลาก เกลื้อน แก้ลมพิษ และบรรเทาอาการปวดฟัน สำหรับมะกรูดมีสรรพคุณทางยา คือ ผิวผลสดและผลแห้ง สามารถแก้ลมหน้ามืด แก้วเวียน บำรุงหัวใจ ขับลมลำไส้ ขับระดู ผลมีรสเปรี้ยว แก้ไอ ขับเสมหะ แก้น้ำลายเหนียว ฟอกโลหิต รากมีรสเย็นจัด แก้พิษฝ้ายใน แก้วเสมหะ แก้ลมจุกเสียด น้ำมะกรูดมีรสเปรี้ยว กัดเสมหะ ใช้ดองยาเป็นยาฟอกโลหิตสำหรับสตรี ใบมีรสหอม แก้ไอ แก้วอาเจียนเป็นดโลหิต แก้ไข้ใน และดับกลิ่นคาว เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลงานนี้ อำไพศักดิ์ และ ศักชัย (2553) ได้ทำการอบแห้งซึ่งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรด ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้ง จะมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะลดลง สิทธิชัย และคณะ (2559) ได้ทำการศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งเห็ดหอม ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด รวมทั้งหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ โดยอบแห้งเห็ดหอมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 - 5 cm จากผลการทดลอง พบว่าที่ 70 °C และความดันสัมบูรณ์ 10 kPa สามารถอบแห้งเห็ดหอมได้เร็วที่สุดโดยใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 250 นาที และมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 9.09 kWh/kg และปริมาณน้ำอิสระหลังอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าน้อยกว่า 0.6 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน กิตติศักดิ์ และศรีมา (2562) ได้มีการศึกษาอบแห้งชาด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับระบบสุญญากาศ พบว่าเมื่อลดความดันสัมบูรณ์หรือเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง การใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่สูงกว่าจุดเดือดของน้ำมากจะส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของสีมากขึ้นด้วย การศึกษาของ Wang *et al.* (2018) พบว่า การอบแห้งขึ้นมะนาวด้วยระบบสุญญากาศที่ใช้รังสีอินฟราเรดในการให้ความร้อนเป็นทางเลือกที่ดี เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการอบแห้งและได้ขึ้นมะนาวที่ยังคงรักษาคุณภาพที่ดีไว้ Xie *et al.* (2017) ได้ศึกษาการอบแห้งชันเหย้าแผ่นซึ่งเป็นส่วนประกอบของยาสมุนไพรจีนดั้งเดิมเพื่อบำรุงสุขภาพ โดยใช้อินฟราเรดร่วมกับระบบสุญญากาศแบบพัลส์ พบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนจังหวะพัลส์ที่เหมาะสม ซึ่งก็

สอดคล้องกับงานวิจัยของ Xie *et al.* (2017) ซึ่งศึกษาการอบแห้งโกลจิเบอรี่ พบว่า การอบแห้งโดยใช้รังสีอินฟราเรดภายใต้สภาวะสุญญากาศทำให้ลดระยะเวลาในการอบแห้งได้ดี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการผสมผสานโดยใช้ไมโครเวฟภายใต้สภาวะสุญญากาศในการอบแห้งทุเรียนแผ่น พบว่าอัตราการอบแห้งที่เพิ่มขึ้นทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นและส่งผลให้การใช้พลังงานจำพวบน้อยลงด้วย (Nathakaranakule *et al.*, 2019)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลกับอากาศร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ทั้งด้านระยะเวลาการอบแห้ง มาตรฐานด้านสี และน้ำมันหอมระเหย โดยทำศึกษาอบแห้งชาและใบมะกรูดเป็นสมุนไพรตัวอย่างเพื่อประยุกต์ใช้ในพืชสมุนไพรชนิดอื่นต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลกับการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

2.2 ศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งสมุนไพรไทยด้านอัตราการอบแห้ง คุณภาพด้านสี น้ำมันหอมระเหย โดยสมุนไพรในการทดลองคือ ชาและใบมะกรูด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

สมุนไพรในการทดลองคือ ใบมะกรูดเด็ดก้านออก และช่าหั่นบางความหนาประมาณ 2-3 mm และ โดยทำการทดลองที่สภาวะต่างๆ ดังนี้ คือ (1) ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 45°C (2) ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 55°C (3) ความดัน 5 kPa อุณหภูมิ 45°C (4) ความดัน 5 kPa อุณหภูมิ 55°C (5) อากาศร้อน 45°C และ (6) อากาศร้อน 55°C จากนั้นนำผลิตภัณฑ์เข้าในตู้อบแห้ง พร้อมทำการเปิดเครื่องแล้วตั้งค่าการทดลองตามสภาวะต่างๆ ที่กำหนด ทำการบันทึกน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ ทุกๆ 30 นาที เมื่อได้ความชื้นสุดท้ายตามที่กำหนด ก็ปิดเครื่องอบแห้งแล้วบันทึกน้ำหนักหลังการอบแห้งไว้

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลองมีดังนี้ (1) เครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล ประกอบด้วยปั๊มสุญญากาศ (Liquid ring) ขนาดมอเตอร์ 1/3 HP ทำความดันได้ถึง 10 Pa (วัดจากความดันศูนย์สัมบูรณ์) อัตราการไหลที่ 6 m³/hr ภายในมีแท่งรังสีอินฟราเรดขนาด 250 W จำนวน 1 แผ่น ยี่ห้อ Infrapara รุ่น EL-2-250, 220 V, 380°C ขนาด 122x122 x55 mm พร้อมด้วยอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิและความดันดังภาพที่ 1 (2) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล ใช้น้ำหนักได้สูงสุด 2,100

g และอ่านค่าได้ละเอียด 0.01 g และ (3) ตู้อบลมร้อน (Hot-air oven) สำหรับหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

สำหรับการทดลองนี้ จะพิจารณาอัตราการอบแห้งและคุณภาพด้านสีทุกสภาวะการทดลอง แล้วเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดและการอบแห้งแบบอากาศร้อนเพียงอย่างละ 1 สภาวะเพื่อนำไปวิเคราะห์สกัดน้ำมันหอมระเหยโดยเทียบกับผลิตภัณฑ์ต่อไป



ภาพที่ 1 เครื่องอบแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

3.1 การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์

การหาความชื้นของผลิตภัณฑ์ สามารถทำได้โดยนำไปอบแห้งในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 103 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน AOAC (Association of Official Analytical Chemists, 2000) เพื่อหาน้ำหนักแห้งของสมุนไพรแล้วนำค่าได้ไปคำนวณหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ได้จากสมการที่ (1)

$$MC = \frac{w - d}{w} \quad (1)$$

เมื่อ	MC	คือ	ความชื้นมาตรฐานแห้ง (d.b.)
	w	คือ	น้ำหนักเปียกของแป้งเท้ายายม่อม (g)
	d	คือ	น้ำหนักแห้งของแป้งเท้ายายม่อม (g)

3.2 การทดสอบคุณภาพด้านสี

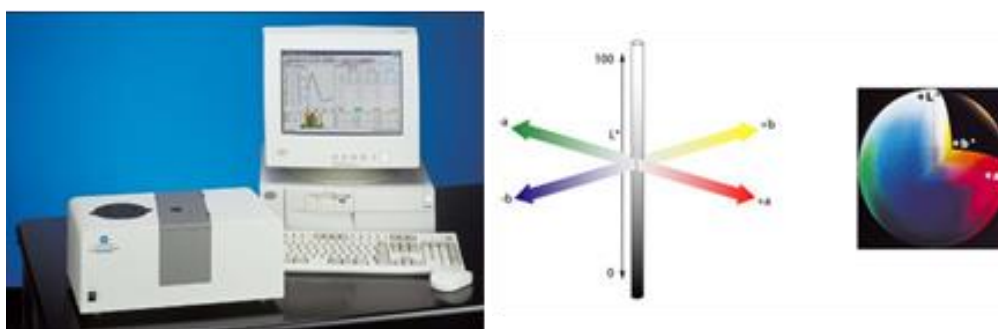
ทดสอบสีด้วยเครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d เป็นการทดสอบสีแบบ L, a, b โดยจะนำค่าความแตกต่างของสีผลิตภัณฑ์ก่อนการอบแห้งและหลังจากอบแห้งมาเปรียบเทียบกับ (Janjai, 2017) เพื่อดูว่าผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งที่สภาวะใดมีค่า ΔE น้อยที่สุด ตามสมการที่ (2) ซึ่งจะถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีค่าสีใกล้เคียงกับใบมะกรูดสดก่อนอบแห้งมากที่สุด โดยใช้แสง Daylight ที่ 6,500 K ในการวัดสี

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \quad (2)$$

โดยที่ ΔE คือ ความแตกต่างกันของสี ΔL คือ ความแตกต่างของความสว่าง Δa คือ ความแตกต่างของความเข้มสีแดงถึงเขียว และ Δb คือ ความแตกต่างของความเข้มสีเหลืองถึงน้ำเงิน

3.3 การทดสอบหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย

ทำการสกัดน้ำมันหอมระเหย ด้วยวิธีการกลั่นไอน้ำ ทำได้โดยการให้น้ำผ่านพืชสมุนไพรที่ต้องการสกัดที่อยู่ในหม้อกลั่น น้ำมันระเหยจะถูกสกัดออกมาพร้อมกับไอน้ำซึ่งจะผ่านไปตามท่อและถูกทำให้เย็นเก็บไว้ในขวด น้ำมันระเหยจะแยกตัวออกจากน้ำทำให้แยกออกได้ง่าย ได้น้ำมันหอมระเหยและน้ำสมุนไพร (Rattanapitigorn, 2018) ดังภาพที่ 3 แล้วนำน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้ ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลความละเอียดสูง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น CP224S



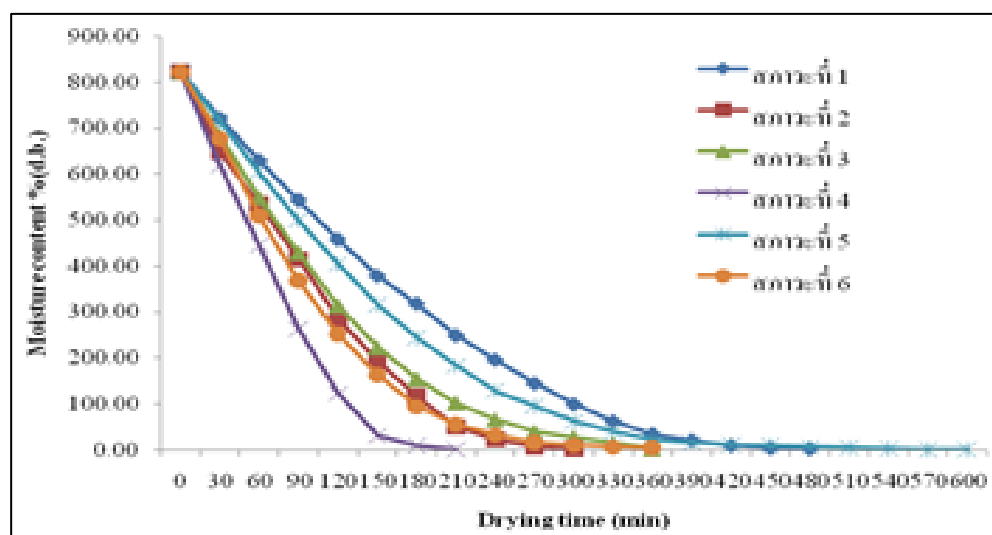
ภาพที่ 2 เครื่อง Spectrophotometer ยี่ห้อ KONICA MINOLTA รุ่น CM-3500d และแกนบอกลี



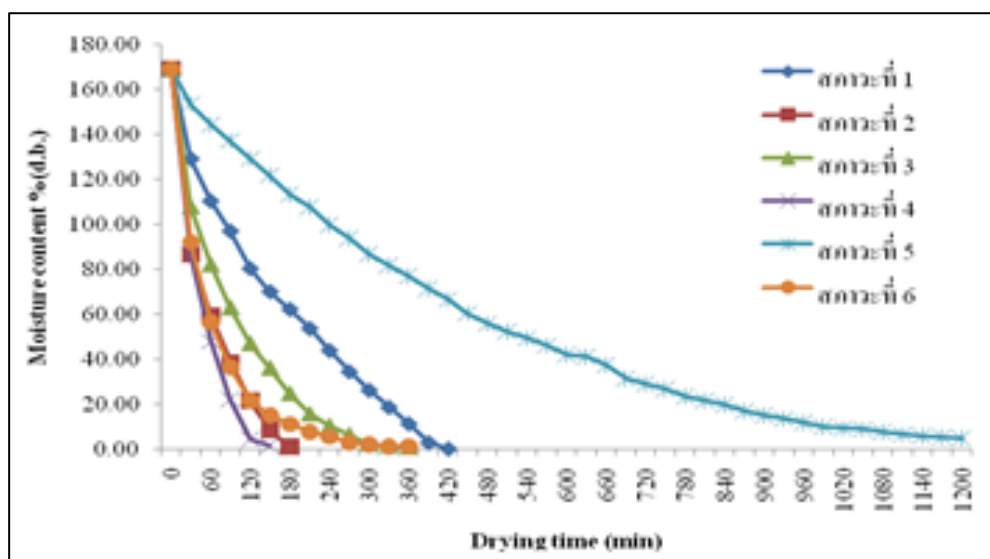
ภาพที่ 3 การสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยวิธีการกลั่นไอน้ำ

4. ผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งสมุนไพรชนิดข่าและใบมะกรูด ด้วยเทคนิคการแผ่รังสีอินฟราเรดภายใต้สภาวะความดันสุญญากาศกับอากาศร้อนในสภาวะต่างๆดังได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยจะทำการศึกษาอัตราการอบแห้ง คุณภาพด้านสีและปริมาณน้ำมันหอมระเหยเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ก่อนอบแห้งและหลังจากการอบแห้ง



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งข่าในสภาวะต่างๆ



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบอัตราการอบแห้งใบมะกรูดในสภาวะต่างๆ

จากภาพที่ 4 และ 5 ผลที่ได้สอดคล้องกันคือ ที่สภาวะสุญญากาศต่ำที่สุดและอุณหภูมิสูงที่สุด จะให้อัตราการลดลงของความชื้นสูงที่สุด ในสภาวะที่ 4 ซึ่งอบแห้งภายใต้สภาวะความดัน 5 kPa และอุณหภูมิ 55°C ใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด น้ำที่ผิวของสมุนไพรจะระเหยออกไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาวะสุญญากาศ น้ำจะดูดความร้อนในเนื้อสมุนไพรเป็นความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ ทำให้อุณหภูมิในเนื้อสมุนไพรลดลง น้ำที่ยังคงมีอยู่ในเนื้อสมุนไพรก็จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำที่สภาวะสุญญากาศโดยที่ความดันสุญญากาศ 15 kPa และ 5 kPa น้ำจะมีจุดเดือดอยู่ที่ 55°C และ 35°C ตามลำดับ ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นในช่วงเริ่มต้นมีค่าใกล้เคียงกัน เมื่อสมุนไพรมีอุณหภูมิสูงขึ้น จนถึงจุดเดือดของน้ำที่สภาวะสุญญากาศนั้นๆ น้ำในสมุนไพรก็จะเดือด และระเหยเป็นไอออกมาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการอบแห้งที่ความดันต่ำ (5 kPa) จึงทำให้เกิดการเดือดของน้ำในสมุนไพร และเกิดความดันไอของไอน้ำสูงทำให้น้ำแพร่ออกจากเนื้อสมุนไพรได้มาก ส่วนสภาวะที่ 5 และ 6 ซึ่งเป็นการอบแห้งด้วยอากาศร้อนในสภาวะบรรยากาศ การลดลงของความชื้นจะค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับอุณหภูมิเดียวกัน โดยเฉพาะสภาวะที่ 5 ซึ่งอบแห้งด้วยอากาศร้อน 45°C จะใช้เวลาในการอบแห้งยาวนานที่สุดทั้งชาและใบมะกรูด โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นเริ่มต้นต่ำอย่างใบมะกรูด เส้นกราฟที่ได้ค่อนข้างชัดเจนมากในภาพที่ 5

แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องนำผลของคุณภาพด้านสีมาใช้ในการตัดสินใจ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ดีที่สุดก่อน แล้วนำมาวิเคราะห์ร่วมกับอัตราการ

อบแห้ง สีของสมุนไพรก่อนและหลังทำการอบแห้ง โดยจะแสดงผลเป็นค่าสี L,a,b และนำค่าที่ได้มาหาค่าความแตกต่างของสี (ΔE) ดังแสดงผลในตารางที่ 1 สำหรับปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพรก่อนและหลังทำการอบแห้ง จากนั้นจะทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยด้วยเครื่องสกัดแบบไอน้ำ โดยน้ำมันหอมระเหยที่สกัดได้จะนำไปชั่งน้ำหนักและคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเลือกสภาวะที่ดีที่สุดระหว่างการอบแห้งด้วยสุญญากาศร่วมกับอินฟราเรดและการอบแห้งด้วยลมร้อนมาทำการสกัดน้ำมันหอมระเหยเท่านั้น ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณภาพด้านสีของสมุนไพร

ชนิด	สภาวะ	L	a	b	ΔE
ข้า	ข้าสด	68.87	1.57	17.41	-
	1	68.30	5.70	21.02	5.51
	2	71.44	4.54	19.28	4.35
	3	67.56	6.85	20.00	6.03
	4	68.01	6.80	19.44	5.68
	5	70.00	5.89	19.75	5.04
มะกรูด	ใบมะกรูดสด	41.32	-9.33	24.99	-
	1	42.39	-7.56	24.47	2.13
	2	46.23	-3.82	24.76	7.38
	3	43.74	-7.86	23.23	3.33
	4	46.08	-4.57	26.01	6.81
	5	45.36	-5.28	22.07	6.42
	6	42.29	0.76	22.87	10.36



ภาพที่ 6 ผลผลิตหลังการอบแห้งทั้ง 6 สภาวะ(เรียงจากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

จากผลการทดสอบคุณภาพของตามตารางที่ 1 กำหนดให้สีของสมุนไพรหลังอบแห้งที่ดีที่สุดคือเมื่ออบแห้งแล้วมีความแตกต่างของสีของสมุนไพรก่อนอบแห้งน้อยที่สุด (ΔE) ซึ่งค่าที่อบแห้งด้วยระบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลแล้วค่า ΔE มีค่าน้อยที่สุดคือสภาวะที่ 2 ที่ความดัน 15 kPa อุณหภูมิ 55°C มีค่า ΔE เท่ากับ 4.35 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสภาวะการอบแห้งที่เป็นสุญญากาศมากเกินไปที่ 5 kPa ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูงกว่าจุดเดือดทำให้สีของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างจะเปลี่ยนแปลง และระยะเวลาในการอบที่ยาวนานก็เป็นผลให้สีเปลี่ยนแปลงได้เช่นกัน สำหรับการอบแห้งแบบลมร้อน ΔE มีค่าน้อยที่สุดคือสภาวะที่ 6 อุณหภูมิ 55°C มีค่า ΔE เท่ากับ 4.41 ซึ่งให้ค่าความแตกต่างที่น้อยกว่าสภาวะที่ 5 อุณหภูมิ 45°C แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการอบแห้งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของผลิตภัณฑ์ในความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสภาวะที่ 5 ใช้เวลาในการอบแห้งยาวนานกว่า สำหรับใบมะกรูดค่อนข้างจะไวต่ออุณหภูมิในการอบแห้งค่อนข้างมาก จะเห็นว่าการใช้อุณหภูมิสูงในทุกสภาวะจะทำให้สีเปลี่ยนค่อนข้างชัดเจน และสภาวะการอบแห้งที่เป็นสุญญากาศมากเกินไปที่ 5 kPa ทำให้อุณหภูมิที่ใช้ในการอบสูงกว่าจุดเดือดทำให้รูปร่างและสีของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้เช่นเดียวกับชา สภาวะที่ดีที่สุดคือสภาวะที่ 1 สำหรับลมร้อนสภาวะที่ดีที่สุดคือสภาวะที่ 5 จากนั้นได้นำสภาวะที่ดีที่สุดของการอบแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลและของลมร้อนไปทำการทดสอบหาปริมาณน้ำมันหอมระเหย

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าน้ำมันหอมระเหยที่ได้จากชาที่ผ่านการอบแห้งทั้งสองแบบ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปริมาณค่อนข้างจะต่างกันมากกับชาสด สำหรับใบมะกรูดการอบแห้งแบบสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งแบบลมร้อน ทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาใน

การอบแห้งสภาวะที่ 5 ค่อนข้างยาวนานกว่าจึงทำให้ปริมาณน้ำมันหอมระเหยที่ได้ลดลงด้วย อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับใบมะกรูดสดก็ยิ่งถือว่าแตกต่างกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าสด

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันหอมระเหยของสมุนไพร

ชนิด	สภาวะ	ปริมาณน้ำมันหอมระเหย (%โดยมวล)
ข้า	ข้าสด	0.2811
	2	0.0927
	6	0.0928
มะกรูด	ใบมะกรูดสด	0.7971
	1	0.7849
	5	0.6213

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การอบแห้งสมุนไพรด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลเมื่อเปรียบเทียบกับอบแห้งแบบลมร้อน สรุปได้ว่าผลของความดันและอุณหภูมิมีผลโดยตรงกับอัตราและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่ความดันสุญญากาศที่ต่ำและอุณหภูมิการอบแห้งที่สูง จะใช้เวลาในการอบแห้งสั้นที่สุด สำหรับการอบแห้งข้าสภาวะที่ดีที่สุดคือ 15 kPa และอุณหภูมิ 55°C ทั้งอัตราการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงของสี แต่โดยเฉลี่ยแล้วสีอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์มีสีที่ค่อนข้างจะเข้มอยู่แล้ว ส่วนผลของการสกัดน้ำมันหอมระเหยถือว่าแตกต่างกันน้อยมากอย่างไม่มีนัยสำคัญในการอบแห้งทั้งสองแบบ แต่ค่อนข้างต่างกันมากเมื่อเทียบกับข้าสด

สำหรับการอบแห้งใบมะกรูด ในส่วนผลการเปลี่ยนแปลงของสีพบว่าอุณหภูมิที่สูงจะทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีอย่างชัดเจน เนื่องจากเป็นพืชใบเขียวและเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความร้อน การลดความดันสุญญากาศมากเกินไปถึงแม้จะทำให้อัตราการอบแห้งสูงแต่ก็ทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพด้านสี ส่วนน้ำมันหอมระเหยจะลดลงตามอุณหภูมิที่สูงและระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานเช่นกัน การอบแห้งใบมะกรูด สภาวะที่ 15 kPa และอุณหภูมิ 45°C ถือว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คุณภาพของผลิตภัณฑ์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบลมร้อนทุกสภาวะ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ และ ศรีมา แจ้คำ (2562). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งข้าวด้วย
สุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด. **วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 9(3), 29-44.
- สิทธิชัย รุ่งสว่าง, ศรีมา แจ้คำ, ณรงค์ อึ้งกิม้วน และ กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์. (2559). **การอบแห้ง
เห็ดหอมด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรด**. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน
แห่งประเทศไทยครั้งที่ 12. พิษณุโลก, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- อำไพศักดิ์ ธิบุญมา และ ศักชัย จงจำ. (2553). การอบแห้งขิงด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับ
อินฟราเรด. **วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา**, 15(2), 76-86.
- Association of Official Analytical Chemists. (2000). Official Methods of Analysis.
- Janjai, S. (2017). **Solar Drying Technology**. Nakhon Pathom; Phetkasem Printing Group.
- Nathakaranakule, A., Paengkanya, S., & Soponronnarit, S. (2019). Durian chips drying
using combined microwave techniques with step-down microwave power input.
Food and Bioproducts Processing, 116, 105-117.
- Rattanapitigorn, P. (2018). Essential oils from plant extracts and their application as
- Wang, J., Law, C. L., Nema, P. K., Zhao, J. H., Liu, Z. L., & Deng, Z. L. (2018). Pulsed
vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. **Journal of
Food Engineering**, 224, 129-138.
- Xie, L., Mujumdar, A. S., Fang, X. M., Wang, J., Dai, J. W., Du, Z. L., Xiao, H. W., Liu, Y., &
Gao, Z. J. (2017). Far-infrared radiation heating assisted pulsed vacuum drying
(FIR-PVD) of wolfberry (*Lycium barbarum* L.): effects on drying kinetics and quality
attributes. **Food and Bioproducts Processing**, 102, 320-331.
- antimicrobial agents in food products. **Journal of Food Technology**, 13(2), 1-10.
- Xie, Y., Gao, Z., Liu, Y., & Xiao, H. (2017). Pulsed vacuum drying of rhizoma dioscoreae
slices. **LWT- Food Science and Technology**, 80, 237-249.