

การศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด

STUDY ON DRYING OF KRATOM LEAVES

USING FLUIDIZED BED METHOD

ประพนธ์ ทองพูล¹ สมใจ เพียรประสิทธิ์² ประเสริฐ วิโรจน์ช้วน¹ ณทพร จินดาประเสริฐ¹
กวิน เลิศเลาะห์กุล¹ และ ปฎิภาณ ถิ่นพระบาท^{1*}

Praphon Thongpool¹, Somjai Peanprasit², Prasert Wirotecheewan¹,

Nataporn Chindaprasert¹, Kawin Lertloakul¹, and Padipan Tinprabath^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

²ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมทรัพยากรมนุษย์เพื่ออุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

²Research and Human Resource Training Center for Industry, Mongkut's University of Technology North Bangkok

*corresponding author e-mail: padipan.t@rmutp.ac.th

(Received: 24 February 2025; Revised: 24 May 2025; Accepted: 28 May 2025)

บทคัดย่อ

ใบกระท่อมเป็นพืชที่ใช้รักษาอาการปวดตื้อในลำไส้ ท้องเสีย ปวดกล้ามเนื้อ และลดไข้ ปี 2564 รัฐบาลยกเลิกข้อห้ามการใช้กระท่อมในอาหาร ทำให้สามารถใช้ในอาหารได้ ปัจจุบันมีการแปรรูปเป็นใบแห้งและผง ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องดื่มผสมกระท่อมและชา พร้อมขงงานวิจัยนี้ศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมก้านใบสีเขียว (พันธุ์แดงกวา) โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งประกอบด้วยพัดลมโบลเวอร์เป่าลมร้อนผ่านเครื่องทำความร้อนเข้าสู่ถังอบแห้งด้วยอัตราการใช้ 38 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที (CFM) ใบกระท่อมที่ใช้ปริมาณ 1 กิโลกรัม (kg) 2 kg และ 3 kg ตัดแต่งเป็นชิ้นขนาด 3–5 เซนติเมตร (cm) ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 40°C 50°C 60°C และ 70°C โดยบันทึกค่าความชื้นที่ลดลงทุก 10 นาที เพื่อดัชนีหาผลกระทบของอุณหภูมิและน้ำหนักต่ออัตราส่วนความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และปริมาณสารไมทราไจนีน ผลการวิจัย พบว่า ใบกระท่อมมีการลดความชื้นได้รวดเร็วตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และระยะเวลาของการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของใบกระท่อมที่ใช้อบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงสูงสุดร้อยละ 9.10 ตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อมจะลดลงแบบเชิงเส้นตามการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง โดยที่อุณหภูมิ 70°C จะลดลงต่ำสุดที่ร้อยละ 25.93 จากข้อมูลผลการทดลองเมื่อคำนึงถึงการใช้พลังงานและเวลาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เหมาะสมกับการแห้งในการศึกษาครั้งนี้ แต่หากคำนึงถึงปริมาณสารไมทราไจนีนมากที่สุดควรทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C แนวทางการใช้ประโยชน์จากผลการวิจัยนี้สามารถพัฒนาอาหารและ

เครื่องดื่มจากใบกระท่อม เพิ่มมูลค่าผลผลิตเกษตร แนะนำอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสมเพื่อลดพลังงาน และสนับสนุนการผลิตสมุนไพรแผนไทยที่ควบคุมสารออกฤทธิ์ได้

คำสำคัญ: ใบกระท่อม การอบแห้ง เครื่องฟลูอิดไดซ์เบด ไมทราจไนน์

Abstract

Kratom leaves are used to treat intestinal infections, diarrhea, muscle pain, and to reduce fever. In 2021, the Thai government lifted the restriction on using kratom in food, allowing it to be legally incorporated into food products. At present, kratom is processed into dried leaves and powder, which are used in various products such as kratom-infused beverages and instant tea. This research studied the drying process of green-stem kratom leaves (Tangkwa variety) using a fluidized bed dryer. The system consists of a blower fan that pushes hot air through a heater into the drying chamber at a flow rate of 38 cubic feet per minute (CFM). Kratom leaves weighing 1 kilograms, 2 kilograms, and 3 kilograms were cut into pieces of 3–5 centimeters in size. The experiments were conducted at temperatures of 40°C, 50°C, 60°C, and 70°C, with moisture content recorded every 10 minutes to determine the effects of temperature and leaf weight on moisture ratio, specific energy consumption, and mitragynine content. The results showed that moisture was reduced more quickly at higher temperatures, while drying time increased with greater weight of kratom leaves. Specific energy consumption decreased by up to 9.10% as the drying temperature increased. The mitragynine content in kratom leaves decreased linearly with increasing drying temperature, with the lowest level of 25.93% observed at 70°C. Based on the experimental results, considering energy use and drying time, a drying temperature of 60°C was found to be the most appropriate for this study. However, if retaining the highest mitragynine content is the priority, drying should be conducted at 40°C. The findings from this research can be applied to the development of food and beverage products from kratom leaves, adding value to agricultural products, recommending appropriate drying temperatures to reduce energy consumption, and supporting the production of Thai traditional herbal medicines with controlled active compounds.

Keywords: *Mitragyna speciosa*, Dehydration, Fluidized bed dryer, Mitragynine

บทนำ

ใบกระท่อมเป็นพืชชนิดหนึ่งที่พบได้มากในเขตร้อนชื้นแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil. วงศ์ Rubiaceae กระท่อมเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ปานกลาง มีแก่นเป็นไม้เนื้อแข็ง สูง 10–15 เมตร (m) อยู่ในตระกูล *Mitragyna speciosa* ใบคล้ายใบกระดังงา มีชนิดก้านใบแดงและใบเขียว ดอกกลมโตขนาดเท่าผลพุทรา ใบเป็นใบเดี่ยว สีเขียว เรียงตัวเป็นคู่ตรงข้าม แผ่นใบขนาดกว้างประมาณ 5–10 cm ยาวประมาณ 8–14 cm ดอก มีสีขาวอมเหลืองออกเป็นช่อตุ้มกลม ขนาด 3–5 cm แหล่งที่พบในบางจังหวัดของภาคกลาง เช่น ปทุมธานี พบมากในป่าธรรมชาติบริเวณภาคใต้ เช่น สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ตรัง สตูล พัทลุง สงขลา ยะลา ปัตตานี นราธิวาส และตอนบนของประเทศมาเลเซีย (อุไรวรรณ, 2565) โดยใบกระท่อมสามารถแบ่งออกเป็น 3 สายพันธุ์ ได้แก่ ใบกระท่อมก้านแดง ใบกระท่อมก้านใบสีเขียว (พันธุ์แดงกวา) และใบกระท่อมหยัก (ยักษ์ใหญ่, หางกิ้ง) ความแตกต่างกันของสายพันธุ์ ใบกระท่อมที่ปลูกในพื้นที่ต่างๆ อาจมีผลต่อปริมาณสารไมทราไจนีนและสารสำคัญอื่นๆ เนื่องจากสภาพแวดล้อม เช่น ความเข้มแสงและอุณหภูมิ สามารถส่งผลต่อการสร้างสารเหล่านี้ได้ การปลูกกระท่อมในพื้นที่ที่มีแสงสว่างมากขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณไมทราไจนีนได้ประมาณ 2.50 เท่า (จุฑาทิพย์ และนิวัติ, 2563) นอกจากนี้ปัจจัยอื่นๆ เช่น อายุของพืช ความหนาแน่นของพืช และความถี่ในการเก็บเกี่ยวก็สามารถส่งผลต่อปริมาณสารเคมีในใบกระท่อมได้เช่นกัน (ปิยวัฒน์, 2021) ใบกระท่อมสามารถสกัดหรือแปรรูปเพื่อใช้ในการบำรุงร่างกายได้เป็นอย่างดี สารออกฤทธิ์ที่สำคัญของใบกระท่อมประกอบด้วยแอลคาลอยด์ทั้งหมดประมาณร้อยละ 0.50 ในจำนวนนี้เป็น ไมทราไจนีน (*Mitragynine*) ร้อยละ 0.25 ที่เหลือเป็น สเปซิโอไจนีน (*Speciogynine*) ไพแนนทีน (*Paynanthine*) สเปซิโอซิเลียทีน (*Speciociliatine*) ตามลำดับ ซึ่งชนิดและปริมาณแอลคาลอยด์ที่พบแตกต่างกันตามสถานที่และเวลาที่เก็บเกี่ยว โดยในสมัยโบราณมีการใช้ใบกระท่อมในการรักษาอาการติดเชื้อมาลาเลีย แก้อ่อนเพลีย ท้องร่วง บรรเทาอาการปวดกล้ามเนื้อ ลดการอักเสบ บวม แดง ร้อน ลดไข้ บรรเทาอาการไอ ช่วยให้นอนหลับโดยใช้ใบสดหรือใบแห้งนำมาเคี้ยว สุก หรือชงเป็นน้ำชา (อุไรวรรณ, 2565) กลุ่มผู้ใช้แรงงานและเกษตรกรบริโภคใบกระท่อมเพื่อกดความรู้สึกเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้า ทำให้ทำงานได้ยาวนานขึ้น ชาวบ้านในภาคใต้ใช้ใบกระท่อมในการรักษาอาการป่วยที่เกิดขึ้นเป็นครั้งคราว รวมทั้งรักษาโรคเรื้อรัง เช่น โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิตสูง (อรุณพร, 2564)

ปลายปี พ.ศ. 2564 รัฐบาลได้ยกเลิกประกาศกระทรวงสาธารณสุขที่ห้ามใช้พืชกระท่อมเป็นส่วนผสมในอาหาร ส่งผลให้สามารถนำพืชกระท่อมมาใช้ในการประกอบอาหารและผลิตในเชิงอุตสาหกรรมได้ (กองอาหาร, 2564) นอกจากการซื้อขายใบสด ยังมีการแปรรูปใบกระท่อมในหลากหลายรูปแบบ เช่น การบรรจุในแคปซูลเป็นสารสกัดเข้มข้น ใบแห้ง และชนิดผง ซึ่งสามารถ

นำไปใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องดื่มผสมใบกระเทียม ถูซาพรมซง หรือ ซาใบกระเทียม ในปัจจุบัน หลายจังหวัดในภาคใต้เริ่มปลูกใบกระเทียมเป็นพืชเศรษฐกิจ โดยราคา ใบสดเฉลี่ยในพื้นที่จังหวัดภาคใต้ตอนล่าง ปี พ.ศ. 2565 อยู่ที่ประมาณ 250–300 บาท/kg (ธัชชา วินท์, 2565)

การแปรรูปใบกระเทียมมีหลากหลายวิธี โดยการอบแห้งเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยแปรรูป ใบกระเทียม ซึ่งกระบวนการช่วยลดปริมาณน้ำในใบไม้ ทำให้สามารถเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้น การอบแห้งสามารถทำได้ทั้งในโรงงานที่มีเครื่องอบแห้งที่ทันสมัยและในแบบธรรมชาติ เช่น การตากแดด วิธีนี้ไม่เพียงแต่ช่วยยืดอายุการเก็บรักษา แต่ยังรักษาคุณสมบัติและสารสำคัญใน ใบกระเทียมได้ดี รวมถึงช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพจากเชื้อโรคและแมลงต่างๆ ที่อาจทำให้ ใบกระเทียมเสียหาย การอบแห้งเป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มมูลค่า และคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากใบกระเทียม

จากงานวิจัยของ กวิน และคณะ (2567) ได้ศึกษาการนำฟ้าทะลายโจรมาอบแห้งโดยใช้ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ผลการทดลอง พบว่า ที่น้ำหนักฟ้าทะลายโจร 2,000 กรัม (g) อุณหภูมิ 40°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 105 นาที และอุณหภูมิ 50°C ใช้เวลาในการอบแห้ง 60 นาที ที่อุณหภูมิเท่ากันเมื่อเพิ่มน้ำหนักฟ้าทะลายโจร ทำให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่ม อุณหภูมิการอบแห้งจาก 40°C เป็น 50°C ทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดลงและพบว่าการสิ้นเปลือง พลังงานจำเพาะมีค่าลดลง พัทธินทร์ (2555) ได้ศึกษาการอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อน โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลอง ที่หนึ่งทำการอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบเปิด และการทดลองที่สองทำการอบแห้งเมล็ดงาโดยใช้ เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อน แบบระบบปิดผลการทดลอง พบว่า ความเร็วของอากาศอบแห้งสำหรับทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศอบแห้งและความหนาเบด โดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับ ปั๊มความร้อนแบบระบบเปิด จะมีอัตราการอบแห้งที่น้อยกว่าและใช้พลังงานจำเพาะมากกว่าเครื่อง อบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบดร่วมกับปั๊มความร้อนแบบระบบปิด จุมพล (2547) ได้ทำการศึกษา การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน เพื่อศึกษาหาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่ออัตรา การอบแห้งของ กากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เซชัน และเลือกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำนายความชื้นของกากมะพร้าว ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเบด และอัตราการไหลอากาศจำเพาะ (อัตราส่วนระหว่างอัตรา การไหลอากาศต่อมวลแห้งของกากมะพร้าว) ผลจากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งสามแบบพบว่าแบบจำลองแบบสมการ Page สามารถทำนายความชื้นได้ใกล้เคียงผลการทดลอง ที่สุด จากงานวิจัยของ จันทิมา และคณะ (2566) ผลของการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลง

สีและปริมาณสารไมทราไจนีน ของใบกระท่อม พบว่า ค่าสี L^* ลดลงตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าสี a^* และ b^* รวมถึงดัชนีการเปลี่ยนสีน้ำตาล (BI) เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น และปริมาณสารไมทราไจนีนลดลงตามอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 40°C ให้ปริมาณไมทราไจนีนสูงสุด และจากงานวิจัยของ Juntima et al. (2023) ได้ศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งและปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อม ทำการศึกษาที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 40°C 50°C 60°C และ 70°C ความเร็วอากาศ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 เมตรต่อวินาที (m/s) และปริมาณการป้อน 0.60 0.80 1.00 และ 1.30 กิโลกรัมต่อตารางเมตร (kg/m^2) ผลการศึกษา พบว่า การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ต่ำที่สุดเกิดขึ้นที่อุณหภูมิการอบแห้ง 40°C ความเร็วอากาศ 0.20 m/s ปริมาณการป้อนใบกระท่อม $0.60 \text{ kg}/\text{m}^2$ และพบว่า แบบจำลอง Midilli-Kucuk สามารถทำนายการอบแห้งได้ใกล้เคียงผลการทดสอบมากที่สุด โดยมีค่า R^2 ตั้งแต่ 0.9965 ถึง 0.9993 สำหรับปริมาณสารไมทราไจนีนสูงสุดในใบกระท่อมแห้งที่อุณหภูมิ 40°C โดยมีจำนวน 10.10 มิลลิกรัมต่อกรัม (mg/g)

จากงานวิจัย พบว่า การศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมมีหลายประเด็นที่ได้รับการวิจัยแล้ว เช่น ผลกระทบของอุณหภูมิในการอบแห้งต่อคุณภาพสีและปริมาณสารไมทราไจนีน จาก การอบแห้งด้วยลมร้อน อย่างไรก็ตาม ยังมีช่องว่างของงานวิจัยในหลายด้าน ยังไม่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการอบแห้งแบบอื่นๆ เช่น การอบแห้งด้วยแสงแดด การใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด หรือการอบแห้งแบบไมโครเวฟ ในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการนำใบกระท่อมมาอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นการอบแห้งแบบให้วัสดุที่ถูกอบลอยตัวอยู่ภายในหอบแห้ง มีข้อดีคือมีประสิทธิภาพสูงในการอบแห้งอย่างรวดเร็ว รักษาคุณภาพใบกระท่อมได้ดี และสามารถควบคุมอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศได้อย่างแม่นยำ ในงานวิจัยนี้ทำการทดลองกับใบกระท่อมชนิดก้านใบสีเขียว (พันธุ์แดงกวาง) น้ำหนักใบกระท่อมในการอบแห้ง 1 kg 2 kg และ 3 kg ทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C 50°C 60°C และ 70°C เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและน้ำหนักต่ออัตราส่วนความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงาน และผลกระทบของการอบแห้งต่อปริมาณสารไมทราไจนีน

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบและดำเนินการวิจัยการศึกษาการอบแห้งใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

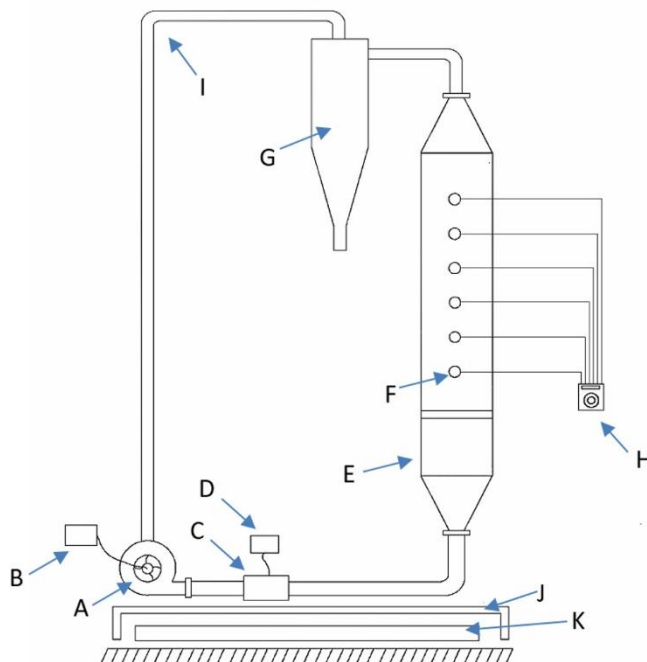
1. เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด ดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่สร้างขึ้นมา โดยมีการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับปรับอุณหภูมิและมีโบลเวอร์สำหรับเป่าวัสดุที่อบแห้งให้ลอยขึ้น

เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้มีอุปกรณ์ส่วนประกอบไปด้วยถังอบแห้งรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 330 มิลลิเมตร (mm) และความสูง 1,500 mm ห่อหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนใช้โบโลเวอร์ขนาดกำลัง 2 HP ยี่ห้อ VENZ รุ่น HSB-30-380V ความเร็วรอบสูงสุด 2,950 รอบต่อนาที (rpm) ใช้ไฟฟ้า 380 โวลต์ สามารถสร้างอัตราการไหลของอากาศสูงสุด 173 CFM ใช้ฮีตเตอร์ ยี่ห้อ Cheri รุ่น US\$5-15 เป็นอุปกรณ์กำเนิดความร้อนให้แก่ระบบ ขนาด 6,000 W สามารถปรับตั้งอุณหภูมิสูงสุดได้ที่ 100°C ใช้อุปกรณ์ชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลรุ่น GRAM K3 (± 0.01) เครื่องแสดงค่าอุณหภูมิ ยี่ห้อ Exttech รุ่น SDL500 ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น KIMO AMI 300 ($\pm 3\%$) ซึ่งเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่จะทำการศึกษาก็จะมีอุปกรณ์ ประกอบด้วย ชุดพัดลมโบโลเวอร์ เป่าลมผ่านฮีตเตอร์ทำความร้อน เกิดลมร้อนไปยังถังอบ ภายในถังอบจะมี เครื่องวัดอุณหภูมิภายในถังอบ เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิภายในถังอบ หลังจากนั้นลมร้อนจะถูกปล่อยทิ้งผ่านไซโคลน และลมร้อนหรืออากาศกลับส่วนหนึ่งจะถูกนำกลับมาใช้ใหม่ 8 CFM หรือร้อยละ 21 ของอากาศที่ทางเข้าโบโลเวอร์

2. การเตรียมวัตถุดิบ

งานวิจัยนี้ใช้ใบกระท่อมก้านใบสีเขียว(พันธุ์แดงกวาง) ที่ตัดแต่งเป็นชิ้นขนาด 3–5 cm จากสวนที่ปลูกในอำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี



- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| A. โบลเวอร์ขนาด 2 HP | B. มิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับโบลเวอร์ |
| C. ฮีตเตอร์ขนาด 6,000 W | D. มิเตอร์ไฟฟ้าสำหรับฮีตเตอร์ |
| E. ถังอบแห้ง | F. เทอร์โมคัปเปิล |
| G. ไซโคลน | H. เครื่องแสดงค่าอุณหภูมิ |
| I. ท่อนำอากาศกลับ | J. ฐานเครื่องอบแห้ง |
| K. เครื่องชั่งดิจิตอล | |

ภาพที่ 1 แผนผังเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

3. วิธีดำเนินการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในการทดลองการอบแห้ง นำใบกระท่อมมาทำความสะอาด ผึ่งลมให้แห้ง แล้วทำการตัดแต่งโดยนำก้านออก หั่นแบ่งออกเป็นชิ้นตามแนวขวางขนาด 3–5 cm ทำการชั่งน้ำหนักปริมาณใบกระท่อมที่จะเข้าทำการอบในเครื่องตามปริมาณที่กำหนด คือ 1 kg 2 kg และ 3 kg แล้วนำเข้าถังอบแห้ง กำหนดอุณหภูมิอบแห้งที่ 40°C 50°C 60°C และ 70°C เนื่องจากมีการรายงานของ พิมพ์วิภา (2560) อุณหภูมิสำหรับอบแห้งกลุ่มพืชสมุนไพรไม่ควรเกิน 40–60°C หากอุณหภูมิสูง กว่านี้จะทำให้สารสำคัญในพืชที่อบแห้งหายไประหว่างการอบแห้ง การปรับอัตราการไหลของอากาศ ที่ทางเข้าโบลเวอร์ 38 CFM ซึ่งเป็นสภาวะที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เบด เกิดการยกตัวหรือลอยตัวของใบกระท่อม และที่ทางออกไซโคลน 30 CFM บันทึกผลการอบแห้งทุก 10 นาที ข้อมูลที่บันทึก ได้แก่ น้ำหนักใบกระท่อม การใช้พลังงานไฟฟ้าของโบลเวอร์และฮีตเตอร์ อุณหภูมิภายในถังอบ เพื่อนำค่าที่ได้มาทำการศึกษาความสัมพันธ์ อัตราส่วนความชื้น การเปลี่ยนแปลงพลังงานจำเพาะ และปริมาณสารไมทราจินในใบกระท่อม เมื่อน้ำหนักของใบกระท่อมไม่เปลี่ยนแปลงต่อเนื่อง 3 ช่วงเวลาจะสิ้นสุดการทดลองในสภาวะนั้น ๆ ทุกสภาวะทำการทดลองซ้ำ รวมเป็น 3 ครั้ง

4. สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ความชื้นมาตรฐานแห้งเป็นค่าความชื้นที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ของกระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี ค่าดังกล่าวช่วยให้การคำนวณสะดวกมากขึ้น โดยเฉพาะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างกระบวนการอบแห้ง ความชื้นมาตรฐานแห้งสามารถหาได้ ดังสมการที่ 1 (สุคนธ์ชื่น, 2549)

$$M_d = \frac{m_w - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตขึ้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

4.2 ความชื้นมาตรฐานเปียก

ความชื้นมาตรฐานเปียกเป็นการบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ สามารถหาได้ ดังสมการที่ 2 (สุคนธ์ชื่น, 2549)

$$M_w = \frac{m_w - m_d}{m_w} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (%w.b.)

m_w คือ มวลของผลผลิตชื้น (kg)

m_d คือ มวลของผลผลิตแห้ง (kg)

4.3 อัตราส่วนความชื้น (Moisture Ratio, MR)

อัตราส่วนความชื้น คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงมวลของน้ำในวัตถุดิบเทียบกับความชื้นเริ่มต้น เมื่อเวลาการอบแห้งดำเนินไปที่เวลาต่างๆ ค่าดังกล่าวจึงเหมาะกับการนำมาเปรียบเทียบผลการทดลองในการอบแห้ง อัตราส่วนความชื้นสามารถหาได้ ดังสมการที่ 3 (สุคนธ์ชื่น, 2549)

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

เมื่อ MR คือ อัตราส่วนความชื้น

M_t คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ (%d.b.)

M_s คือ ความชื้นเริ่มต้นของวัตถุดิบ (%d.b.)

4.4 การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC)

การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเป็นอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ในระบบอบแห้งต่อความชื้นที่ระเหยออกจากวัสดุในระหว่างกระบวนการอบแห้ง ดังสมการที่ 4 (สุคนธ์ชื่น, 2549)

$$SEC = \frac{E_t}{m_{evap}} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

E_t คือ พลังงานทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (MJ)

m_{evap} คือ มวลของวัสดุที่ระเหยในระหว่างกระบวนการอบแห้ง (kg)

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาลักษณะของใบกระท่อมก่อนและหลังการอบแห้ง

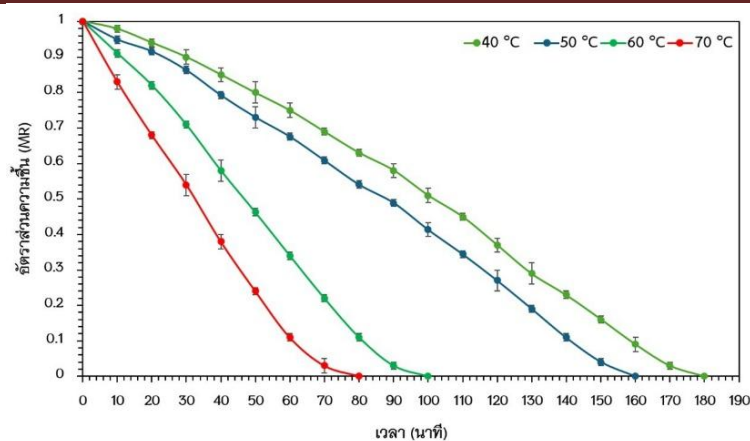
จากภาพที่ 2 ลักษณะของใบกระท่อมก่อน (ใบกระท่อมสด) และหลังการอบแห้ง พบว่าหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C จะมีสีเขียวเข้มกว่าอุณหภูมิอื่นๆ และสีของใบกระท่อมจะมีสีน้ำตาลเพิ่มมากขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น



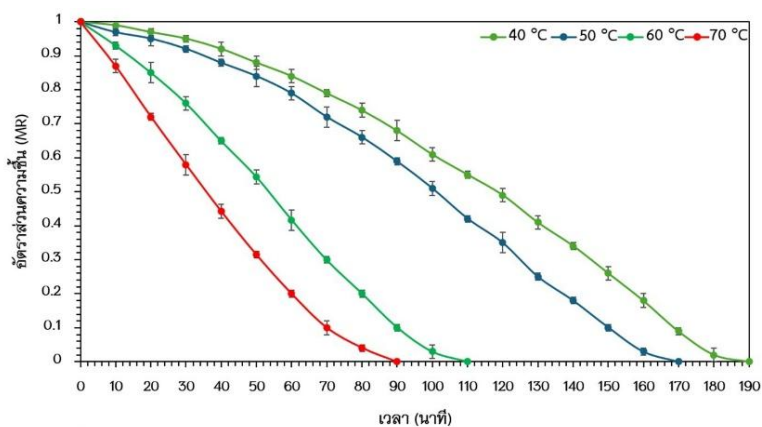
ภาพที่ 2 ลักษณะของใบกระท่อมสดและใบกระท่อมหลังการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

2. ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัตราส่วนความชื้น

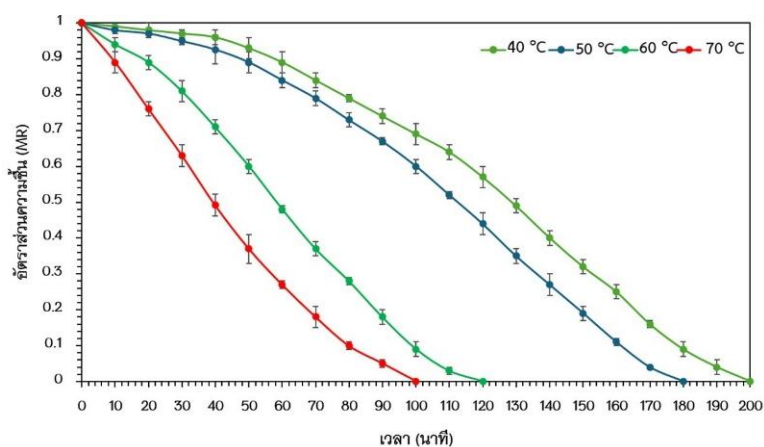
จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลอย่างมากต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้น (MR) ในใบกระท่อม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น อัตราส่วนความชื้นในใบกระท่อมลดลง ดังภาพที่ 3-5 ที่น้ำหนักของใบกระท่อมเท่ากัน เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิการอบแห้ง อัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว ณ อุณหภูมิ 70°C และพบว่าที่อุณหภูมิ 40°C อัตราส่วนความชื้นลดลงช้าที่สุด โดยอุณหภูมิ 40°C และ 50°C อัตราส่วนความชื้นจะมีการลดลงอย่างช้าในช่วงต้นของกราฟ และพบว่าในช่วง 10 นาทีสุดท้ายของทุกอุณหภูมิ การลดลงของอัตราส่วนความชื้นช้าลง



ภาพที่ 3 กราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) ของใบกระท่อมน้ำหนัก 1 kg ที่อบด้วยอุณหภูมิต่างๆ



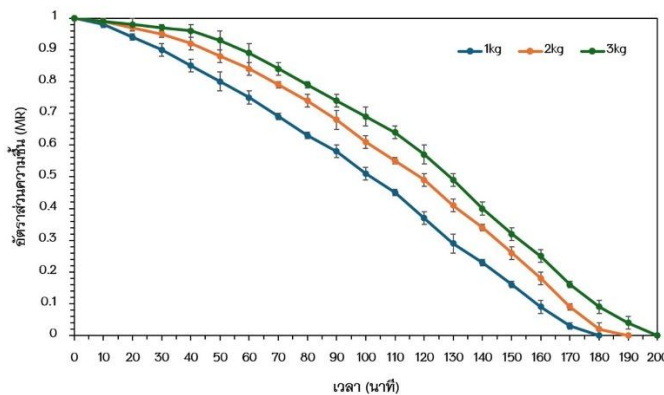
ภาพที่ 4 กราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) ของใบกระท่อมน้ำหนัก 2 kg ที่อบด้วยอุณหภูมิต่างๆ



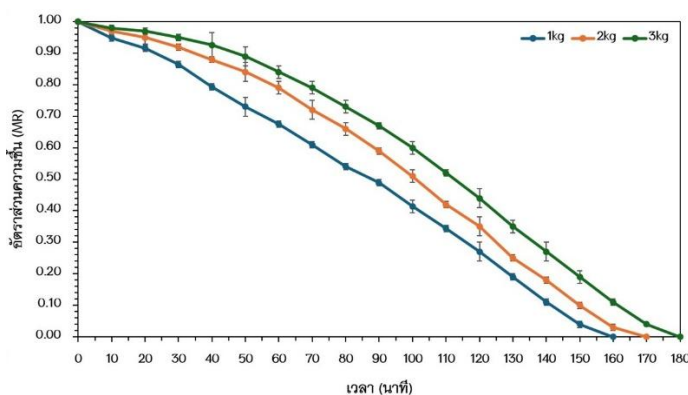
ภาพที่ 5 กราฟอัตราส่วนความชื้น (MR) ของใบกระท่อมน้ำหนัก 3 kg ที่อบด้วยอุณหภูมิต่างๆ

2. ผลกระทบของน้ำหนักต่ออัตราส่วนความชื้น

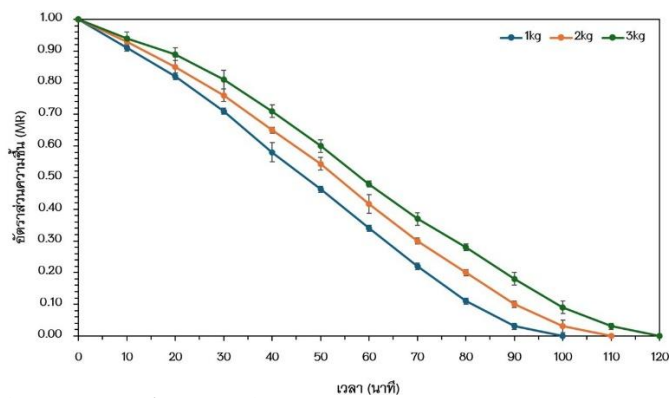
น้ำหนักของไบโกระท่อมเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง จากผลการทดลอง พบว่า เมื่อน้ำหนักของไบโกระท่อมเพิ่มมากขึ้น การลดลงของอัตราส่วนความชื้นจะช้าลง จึงต้องใช้เวลามากขึ้นในการอบแห้งไบโกระท่อม ดังภาพที่ 6–9 ซึ่งแสดงอัตราส่วนความชื้นของน้ำหนัก 1 kg 2 kg และ 3 kg ที่อุณหภูมิ 40°C 50°C 60°C และ 70°C ตามลำดับ จากภาพที่ 6 พบว่า ที่อุณหภูมิ 40°C น้ำหนัก 1 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 180 นาที น้ำหนัก 3 kg ใช้เวลาในการอบแห้ง 200 นาที น้ำหนักเพิ่มขึ้น 2 kg ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น 20 นาที ในแบบเดียวกันจากภาพที่ 8 ที่อุณหภูมิ 70°C พบว่า น้ำหนักเพิ่มขึ้น 2 kg ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น 20 นาที จากภาพที่ 6–9 การเพิ่มของน้ำหนักทุกๆ 1 kg จะทำให้ ใช้เวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น 10 นาที



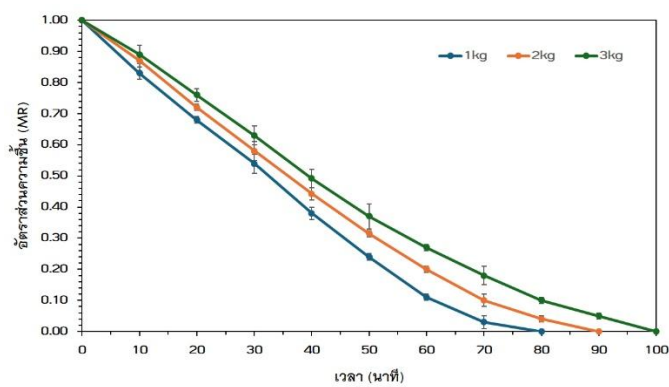
ภาพที่ 6 อัตราส่วนการความชื้น (MR) ที่อุณหภูมิ 40°C



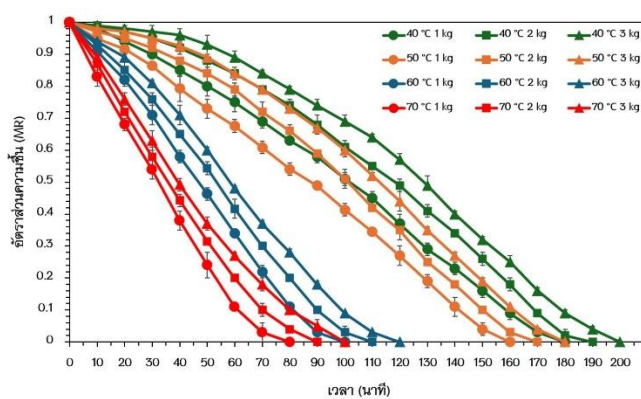
ภาพที่ 7 อัตราส่วนการความชื้น (MR) ที่อุณหภูมิ 50°C



ภาพที่ 8 อัตราส่วนการความชื้น (MR) ที่อุณหภูมิ 60°C



ภาพที่ 9 อัตราส่วนการความชื้น (MR) ที่อุณหภูมิ 70°C

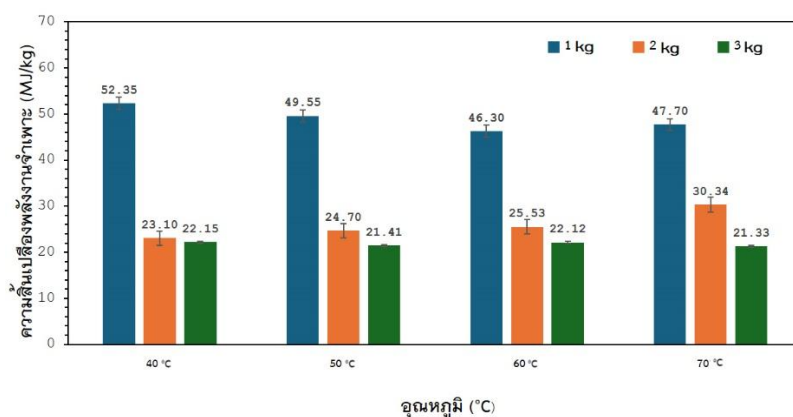


ภาพที่ 10 อัตราส่วนการความชื้น (MR) ทุกการทดลอง

ภาพที่ 10 เมื่อพิจารณาน้ำหนักต่ออัตราส่วนความชื้นทุกการทดลอง พบว่า กราฟอัตราส่วนความชื้นลดลงอย่างเปลี่ยนแปลงไปตามน้ำหนักและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยที่อุณหภูมิ 40°C น้ำหนัก 3 kg ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด (200 นาที) และอุณหภูมิ 70°C น้ำหนัก 1 kg ใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด (80 นาที)

3. ผลกระทบของการอบแห้งต่อความสิ้นเปลืองพลังงาน

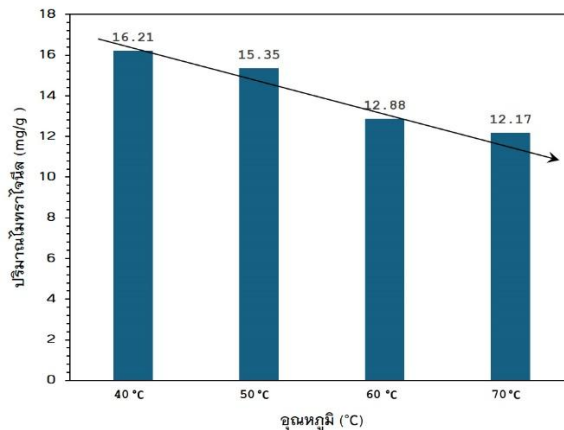
เมื่อพิจารณาภาพที่ 11 พบว่า ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ที่ใช้ต่อการอบแห้ง/kg จะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เช่นที่ 1 kg อุณหภูมิ 40°C เปรียบเทียบกับ 70°C มีค่าลดลง 4.65 MJ/kg แต่ที่ 2 kg อุณหภูมิ 40°C เปรียบเทียบกับ 70°C มีค่าเพิ่มขึ้น 7.24 MJ/kg และที่ 3 kg ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะใกล้เคียงพบขึ้นและลดลงไม่เกิน 1 MJ/kg ทุกอุณหภูมิการทดลอง



ภาพที่ 11 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

4. ผลกระทบของการอบแห้งต่อปริมาณสารไมทราไจนีน

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อมที่อบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ โดย บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด ด้วยวิธีทดสอบ TE-CH-421 ตามงานวิจัยของ LC-DAD Technique (2017) ซึ่งเป็นมาตรฐานของห้องปฏิบัติการทดสอบใช้ ผลการทดสอบพบว่า เมื่ออุณหภูมิในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ปริมาณสารไมทราไจนีนจะลดลงอย่างชัดเจนในแบบเชิงเส้น ดังภาพที่ 12 โดยที่อุณหภูมิในการอบแห้ง 40°C 50°C 60°C และ 70°C พบสารไมทราไจนีนในใบกระท่อม 16.21 mg/g 15.35 mg/g 12.88 mg/g และ 12.17 mg/g ตามลำดับเมื่อเทียบกับสารไมทราไจนีน ที่อบแห้ง 40°C ที่ 50°C จะลดลงร้อยละ 16.69 ที่ 60°C จะลดลงร้อยละ 21.46 ที่ 70°C จะลดลงร้อยละ 25.93



ภาพที่ 12 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณสารโมโนคาร์บอนที่ในใบกระท่อมอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการลดความชื้นของใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและน้ำหนักต่ออัตราส่วนความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และผลกระทบของการอบแห้งต่อปริมาณสารโมโนคาร์บอน ทำการศึกษาที่อุณหภูมิ 40°C 50°C 60°C และ 70°C ผลจากการทดลองกับวัตถุดิบ คือ ใบกระท่อมท่อมก้านใบสีเขียว (พันธุ์แดงกาว)

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการลดลงของอัตราส่วนความชื้น (MR) ในใบกระท่อม โดยพบว่าเมื่ออุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น ความชื้นในใบกระท่อมลดลงเร็วขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กวิน และคณะ (2567); จุมพล (2547); บวร และเชาว์ (2558); เมธา (2566); Chungsiripom et al. (2023); สถาพรและคณะ (2563) ที่พบว่า อุณหภูมิที่สูงขึ้นช่วยเพิ่มอัตราการระเหยของน้ำทำให้ความชื้นถูกขจัดออกจากวัตถุที่อบแห้งได้รวดเร็วขึ้น การเปรียบเทียบผลการศึกษา พบว่า ณ อุณหภูมิ 70°C อัตราส่วนความชื้นลดลงเร็วกว่าที่อุณหภูมิ 40°C 50°C และ 60°C อย่างชัดเจน ในช่วงแรกของการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 60°C อัตราการลดลงของความชื้นช้ากว่า เนื่องจากอุณหภูมียังไม่สูงพอที่จะทำให้การระเหยน้ำเป็นไปอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามเมื่อเข้าสู่ช่วง 10 นาทีสุดท้ายของการอบแห้ง การลดลงของอัตราส่วนความชื้นจะช้าลงในทุกอุณหภูมิ เนื่องจากปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในใบกระท่อมมีน้อยลง ทำให้กระบวนการระเหยเกิดขึ้นได้ยากขึ้น

สำหรับผลของน้ำหนักใบกระท่อมส่งผลต่ออัตราการลดลงของอัตราส่วนความชื้นอย่างชัดเจน พบว่า เมื่อน้ำหนักของใบกระท่อมเพิ่มขึ้น ทำให้การลดลงของอัตราส่วนความชื้นจะช้าลง และต้องใช้เวลามากขึ้นในการอบแห้งใบกระท่อม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กวิน และคณะ

(2567); Chungsiriporn et al. (2023) เนื่องจากเมื่อน้ำหนักใบกระท่อมเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณความชื้นรวมเพิ่มขึ้นหรือปริมาณน้ำในใบกระท่อมเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การลดความชื้นหรือกระบวนการระเหยน้ำออก จึงต้องใช้เวลามากขึ้นตามน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 40°C น้ำหนักใบกระท่อม 3 kg ใช้เวลาในการอบแห้งนานที่สุด 200 นาที

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอบแห้งจาก 40°C – 70°C จะทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงที่น้ำหนักใบกระท่อม 1 kg ลดลง 4.65 MJ/kg (ร้อยละ 9.10) ส่วนที่น้ำหนักใบกระท่อม 3 kg ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ลดลง 1.02 MJ/kg (ร้อยละ 4.60) การอบแห้งที่อุณหภูมิสูงจะช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้ง ทำให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ/kg ของใบกระท่อมลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กิตติ และคณะ (2563)

ในงานวิจัยนี้พบปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อม ที่อุณหภูมิ 40°C เท่ากับ 16.21 mg/g ซึ่งมีปริมาณมากที่สุด และที่อุณหภูมิ 70°C เท่ากับ 12.17 mg/g ซึ่งมีปริมาณน้อยที่สุด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้งส่งผลให้ปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อมลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ จันทิมา และคณะ (2566); Chungsiriporn et al. (2023) โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้สารไมทราไจนีนสลายตัวมากขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการเสื่อมสลายของสารสำคัญเมื่อสัมผัสกับความร้อนเป็นเวลานาน จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไมทราไจนีน พบว่า การเลือกใช้อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจลดคุณภาพของผลิตภัณฑ์ใบกระท่อมแห้งลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งสามารถลดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่กระทบต่อปริมาณสารไมทราไจนีนมากจนเกินไป อย่างไรก็ตามปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อม ยังขึ้นอยู่กับ วิธีการอบแห้ง ฤดูกาลเพาะปลูก สภาพของดิน ภูมิประเทศของการปลูก (จุไรทิพย์, 2563)

เมื่อพิจารณาการอบแห้งด้วยอุณหภูมิ 60°C สามารถทำการอบแห้งได้ดีกว่าอุณหภูมิอื่น เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง กับการใช้พลังงานในการอบแห้งได้คุ้มค่า มากกว่าอุณหภูมิ 40°C 50°C ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิ 70°C สามารถทำให้ใบกระท่อมแห้งได้รวดเร็วกว่าแต่พบว่า มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า รวมไปถึงปริมาณของสารไมทราไจนีนที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน จึงไม่คุ้มค่ากับการเลือกใช้อุณหภูมิ 70°C ส่วนในการอบแห้ง ส่วนที่อุณหภูมิ 40°C 50°C นั้น ใช้ระยะเวลาดค่อนข้างนานทำให้มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสูงกว่า

สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการลดความชื้นของใบกระท่อมด้วยวิธีฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อศึกษาเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิและน้ำหนัก ต่ออัตราส่วนความชื้น การสิ้นเปลืองพลังงาน และปริมาณสารไมทราไจนีน สำหรับการศึกษาได้ใช้อุณหภูมิที่ 40°C 50°C 60°C และ

70°C ใช้ใบกระท่อมน้ำหนัก 1 kg 2 kg และ 3 kg โดยการนำความร้อนกลับมาน้ำใช้ร้อยละ 21 จากผลการทดลองการอบใบกระท่อมด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด พบว่า ใบกระท่อมมีการลดความชื้นได้รวดเร็วตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น แต่ระยะเวลาของการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักของใบกระท่อมที่ใช้อบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณสารไมทราไจนีนในใบกระท่อม จะลดลงตามการเพิ่มอุณหภูมิอบแห้ง จากข้อมูลผลการทดลองเมื่อคำนึงถึงการใช้พลังงานและเวลาการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เหมาะสมกับการอบแห้งในการศึกษาครั้งนี้ แต่หากคำนึงปริมาณสารไมทราไจนีนมากที่สุดต้องทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนาอาหารและเครื่องดื่มสุขภาพจากใบกระท่อม เช่น ชาและผงกระท่อมแห้ง ช่วยเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรโดยช่วยให้เกษตรกรแปรรูปสินค้าให้เก็บได้นาน และใช้เป็นแนวทางในการประหยัดพลังงานในกระบวนการผลิตด้วยการเลือกอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม ข้อมูลจากงานวิจัยจะช่วยสนับสนุนการผลิตสมุนไพรแผนไทยที่ควบคุมปริมาณสารออกฤทธิ์ได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายขจรพงษ์ พวนอำ นายศุภณัฐ ฌอยทะนงค์ และนายพิสิฐภูมิ แยมพร้อม ที่ได้ช่วยเหลือในการทดสอบ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กวิน เลิศเลาะห์, ฐณพล เวียงทอง, ประเสริฐ วิโรจน์ชิววัน, ณทพร จินดาประเสริฐ, และปฎิภาณ ถิ่นพระบาท. (2567). การศึกษาการอบแห้งฟ้าทะลายโจรด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด. ใน **การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรม นวัตกรรม และการจัดการอุตสาหกรรมอย่างยั่งยืน ครั้งที่ 13 ประจำปี 2567** (น. 89–96). กรุงเทพฯ: ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค.
- กิตติ สถาพรประสาน, กรณัฐ ทวีเจริญธรรม, กรวิญญ์ ตลับทอง, และฉัตรนิดา พรมมาอิน. (2563). การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาต์เต็ดเบตทำงานร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด **วารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 15(1), 1–11.
- กองอาหาร. (2564). กำหนดอาหารที่ห้ามผลิต นำเข้า หรือจำหน่าย และฉบับแก้ไขเพิ่มเติม. **ประกาศกระทรวงสาธารณสุข**, 424.
- จันทิมา ชั่งสิริพร, พกกระยา พงศ์ยี่หล้า, และนิรนา ชัยฤกษ์. (2566). ผลของการอบแห้งด้วยลมร้อนต่อการเปลี่ยนแปลงสีและปริมาณสารไมทราไจนีน ของใบกระท่อม. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**, 12(2), 1–8.
- จุมพล แซ่เอี่ยม. (2547). **การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต).
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล.

- จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล, และนิติติ แก้วประดับ. (2563). **ชีววิทยา พฤษเคมี ของพืชกระท่อม**. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2567, จาก <https://cads.in.th/cads/media/upload/1594881548-Kratom%20Final.pdf>
- พิมพ์วิภา แพรกหา. (2560). **การอบสมุนไพร((ดี))อย่างไร ??**. สืบค้นเมื่อ 11 ธันวาคม 2567, จาก <https://www.ttmed.psu.ac.th/th/blog/212>
- ธัชชาวิทย์ สระอุ. (2565). **กระท่อม**. สืบค้นเมื่อ 9 เมษายน 2568, จาก https://www.doa.go.th/oard8/?page_id=4440/
- บวร แสงสุวรรณ, และเชาว์ อินทร์ประสิทธิ์. (2558). แบบจำลองกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อนสำหรับเมล็ดชาไม่กะเทาะเปลือก. ใน **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย** (น. 225–232). นครปฐม: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- ปิยวัฒน์ สังข์สนธิ, ญัฐชา ปัญญาวุฒิ, จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล, ระวี เจียรวิภา, อติเรก รักคง, อนุสรณ์ เชิดทอง, ชานนท์สุนทร, และปิ่น จันจุฬา. (2564). การวิจัยและพัฒนาการใช้สมุนไพรกระท่อมในการเลี้ยงแพะ: การศึกษาลักษณะสารพฤษเคมีเบื้องต้นและองค์ประกอบทางเคมีของใบกระท่อม. **วารสารแก่นเกษตร**, 2, 332–338.
- พัชรินทร์ ตาด่วง. (2555). **การอบแห้งเมล็ดงาโดยเครื่องอบแห้งที่ใช้ฟลูอิดไดซ์เบด ร่วมกับปั๊มความร้อน**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.
- เมธา สันธิโคตร. (2566). **การอบแห้งแบบถ่มหมูน่วมกับไมโครเวฟสำหรับการเตรียมลูกเต๋อยุ่สูงเร็ว**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร). มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.
- สถาพรประสาธน์, กรณัฐ ทวีเจริญธรรม, กรวิชัย ตลับทอง, และฉัตรนิดา พรหมมาอิน. (2563). การอบแห้งพริกไทยด้วยเทคนิคสเปาต์เด็คเบดทำงานร่วมกับฟลูอิดไดซ์เบด. **วารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ**, 15(1), 1–11.
- สุคนธ์ขึ้น ศรีงาม. (2549). **กระบวนการทำอาหารแห้ง**. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- สุนงกษ ทรัพย์แดง, ธิดารัตน์ เครือเทียน, ปัทมาพร จิตปรีดา, และวริทย์ วาณิชยสุวรรณ. (2566). การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณไมทราไจนีนในสารสกัดใบกระท่อมโดยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง. **วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์**, 12(2), 10–22.
- อรุณพร อัฐรัตน์. (2564). **พืช ‘กระท่อม’ สร้างเศรษฐกิจไทย! HOW TO เลี้ยงอย่างไรให้มีคุณ**. สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2567, จาก <https://tu.ac.th/thammasat-150964-mitragyna-speciosa-build-thai-economy>
- อุไรวรรณ ทองแกมแก้ว. (2565). **พืชกระท่อมสิ่งที่ควรรู้ คลังความรู้**. สืบค้นเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2565, จาก https://tcd.tsu.ac.th/upload/files/1678855073_10%20%00%08%81%00%08%9E65%20%02%80%9C%00%08%9E%00%08%B7%00%08%8A%00%08%81%00%08%A3%00%08%B0%00%08%97%00%09%88%00%08%AD%00%08%A1%00%08%9D%20%20%00%08%AA%00%08%B4%00%09%88%00%08%87%00%08%97%00%08%B5%00%09%88%00%08%84%00%08%A7%00%08%A3%00%08%A3%00%08%B9%00%09%89.pdf

- Chungsiripom, J., Pongyeela, P., Chairerk, N., Lewkittayakorn, J., & Duangsuwan, W. (2023). Drying Characteristics and Mitragynine Content of Kratom Leaves. **Chiang Mai Journal of Science**, 50(6), 1–13.
- LC–DAD Technique. (2017). In-house method TE–CH–421. **Journal of AOAC International**, 100(1), 18–24.
- Sengnon, N., Vonghirundecha, P., Chaichan, W., Juengwatanatrakul, T., Onthong, J., Kitprasong, P., & Wungsintaweekul, J. (2023). Seasonal and geographic variation in alkaloid content of kratom (*Mitragyna speciosa* (Korth.) Havil.) from Thailand. **Plants**, 12(4), 949.