วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

บทความวิจัย

การออกแบบและศึกษาทดลองเครื่องต้นแบบสำหรับสร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำด้วยพลาสมาบรรยากาศเพื่ออบแห้ง และลดการปนเปื้อนของเชื้อราบนสมุนไพรไทย

สมิทธ์ ปรีชาญาณ[1] เสกสิทธิ์ กมลชัย[2] และ เอกวิทย์ หวังกั้นกลาง[2*]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
[2] หลักสูตรวิศวกรรมยานยนต์ไฟฟ้า(ต่อเนื่อง), คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
[*] ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: ekkawit.w@nrru.ac.th

วันที่รับบทความ: 16 พฤศจิกายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 24 มีนาคม 2569; วันที่ตอบรับบทความ: 10 เมษายน 2569
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 22 เมษายน 2569

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับสร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการดิสชาร์จพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ เพื่อใช้ในการอบแห้งสมุนไพรควบคู่กับการลดการปนเปื้อนของเชื้อราในขั้นตอนเดียว ระบบประกอบด้วยชุดสร้างความร้อนพร้อมด้วยอนุภาคออกฤทธิ์จากแผ่นอิเล็กโทรดผลิตพลาสมา ร่วมกับระบบการหมุนเวียนลมร้อน ผลทดสอบพบว่าเครื่องต้นแบบเพิ่มอุณหภูมิในระบบจาก 24 °C เป็น 34 °C ด้วยการใช้อิเล็กโทรดเพียงแผ่นเดียว โดยมีอุณหภูมิบนพื้นผิวอิเล็กโทรดประมาณ 53 °C ผลการใช้งานลดความชื้นในสมุนไพรกระชายหั่นได้ 16.6% ใน 40 นาที และลดความชื้นในขิงหั่นได้ 10.53% ใน 60 นาที ในด้านประสิทธิภาพลดเชื้อราบนพื้นผิวกระชาย ลดจำนวนเชื้อรารวมจากระดับเริ่มต้นเหลือ 0.8% ถึง 7.5% ซึ่งแสดงศักยภาพของระบบในการผสานอบแห้งและลดปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลวิจัยชี้ว่าเครื่องต้นแบบเหมาะสำหรับสมุนไพรหรือเมล็ดพันธุ์มูลค่าสูงที่ต้องการวิธีอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำควบคู่กับการรักษาความปลอดภัยด้านจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มมูลค่าและยกระดับคุณภาพผลิตภัณฑ์สมุนไพรของไทย

คำสำคัญ: ดิสชาร์จพลาสมาความดันบรรยากาศ; ลมร้อนอบแห้งอุณหภูมิต่ำ; การอบแห้งสมุนไพร; การลดปนเปื้อนจุลินทรีย์; เชื้อรารวม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

บทความวิจัย

Design and Experimental Study of a Prototype Device for Low-Temperature Hot Air Generation Using Atmospheric Plasma for Drying and Fungal Decontamination of Thai Herbs

Samit Preechayan[1], Seksid Kamolchai[2] and Ekkawit Wangkanklang[2*]

[1] Industrial Electrical Engineering Programs, Faculty of Industrial Technology, Nakhonratchasima Rajabhat University

[2] Electric Vehicle Engineering (Continuing Program), Faculty of Industrial Technology, Nakhonratchasima Rajabhat University

[*] Corresponding author, E-mail: ekkawit.w@nrru.ac.th

Received: 16 November 2025; Revised: 24 March 2026; Accepted: 10 April 2026
Online Published: 22 April 2026

Abstract: This study presents the design and experimental evaluation of a prototype system for generating low-temperature hot air integrated with atmospheric-pressure plasma for simultaneous herbal drying and fungal decontamination. The system combines a heat generation module with plasma-induced reactive species and a controlled hot-air circulation mechanism. Experimental results demonstrate that the prototype increased the internal air temperature from 24 °C to 34 °C using a single electrode, with an electrode surface temperature of approximately 53 °C. Drying experiments indicate that the system reduced the moisture content of sliced fingerroot by 16.6% within 40 minutes and sliced ginger by 10.53% within 60 minutes. In terms of antifungal performance, the total mold count on fingerroot surfaces was reduced to 0.8-7.5% of the initial contamination level. These results confirm the capability of the proposed system to simultaneously achieve moisture reduction and microbial decontamination within a single process. The developed prototype is particularly suitable for high-value herbs or seeds requiring low-temperature drying to preserve bioactive compounds while ensuring microbial safety, indicating strong potential for value-added processing in Thai herbal applications.

Keywords: Atmospheric Discharge Plasma; Low-Temperature Hot Air Drying; Herbal Drying; Microbial Decontamination; Total Molds.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

1. บทนำ

สมุนไพรไทยหลายชนิดมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและเป็นมรดกภูมิปัญญาท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม ขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวยังเสี่ยงต่อการปนเปื้อนของเชื้อรา ซึ่งกระทบต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลผลิต การอบแห้งแบบใช้อุณหภูมิต่ำเป็นวิธีที่ช่วยคงคุณค่าทางชีวภาพของสมุนไพร แต่ยังไม่สามารถป้องกันเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์

เทคโนโลยีพลาสมาบรรยากาศ (Atmospheric Pressure Plasma) เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการลดจุลินทรีย์บนพื้นผิวได้อย่างรวดเร็ว ไม่ทิ้งสารตกค้าง และไม่ทำลายวัตถุดิบ ในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมาเทคโนโลยีพลาสมาที่ระดับความดันบรรยากาศ ได้รับความสนใจอย่างมากในงานด้านการเกษตรและแปรรูปอาหาร เนื่องจากสามารถยับยั้งจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่ใช้สารเคมีหรือความร้อน ในยุคเริ่มแรก Roth *et. al.* [1] ศึกษาผลของ OAUGDP ที่สามารถทำงานในอากาศที่ความดันบรรยากาศ โดยผลิตอนุภาคที่มีฤทธิ์ต้านจุลชีพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า OAUGDP สามารถลดจำนวนแบคทีเรียแกรมลบและแกรมบวก สปอร์ของแบคทีเรีย ยีสต์ และไวรัสบนพื้นผิววัสดุต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อไม่นานมานี้ Nalwa และ Thakur [2] ชี้ให้เห็นว่าพลาสมาเย็นช่วยเพิ่มอัตราการงอกของเมล็ดพืช พร้อมลดเชื้อราและแบคทีเรียบนผิวเมล็ดได้อย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ Guo [3] รายงานว่าพลาสมาเย็นสามารถลดเชื้อราและสารพิษจากเมล็ดข้าวได้กว่า 50% โดยไม่กระทบคุณค่าทางโภชนาการ ในด้านสมุนไพรและเครื่องเทศ Abdi [4] พบว่าการใช้พลาสมาเย็นสามารถกำจัดจุลินทรีย์ในผงพริกแดงและสมุนไพรได้โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสหรือสารสำคัญในผลิตภัณฑ์ Thiyam P, [5] ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลาสมาเย็นที่ความดันบรรยากาศ (Atmospheric Cold Plasma: ACP) ในการยับยั้งจุลินทรีย์และรักษาคุณภาพของเครื่องเทศและสมุนไพร โดยพบว่า ACP สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ประสิทธิผลของกระบวนการขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์สำคัญ เช่น ความถี่ แรงดันไฟฟ้า ระยะเวลาในการประมวลผล และสรุปว่าเทคโนโลยีพลาสมาเย็นที่ความดันบรรยากาศเป็นแนวทางใหม่ที่มีศักยภาพสูงในการยับยั้งจุลินทรีย์บนสมุนไพรและเครื่องเทศ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวัตถุดิบอย่างมีนัยสำคัญ Misra *et al.* [6] แสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยี Atmospheric Cold Plasma (ACP) สามารถลดจำนวนจุลินทรีย์บนผิวของสตรอว์เบอร์รีสดได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในบรรจุภัณฑ์ปิดสนิท โดยไม่กระทบต่อคุณภาพทางกายภาพ Rashid *et al.* [7] แสดงให้เห็นว่า high voltage atmospheric cold plasma ที่แรงดัน 80 kV ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดกาลักโตแมนแนนจากเมล็ดลูกซัด โดยไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุล เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและพอลิเมอร์ Durcanyova *et al.* [8] ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของพลาสมาสามประเภทในการปรับปรุงคุณสมบัติของเมล็ดถั่วเหลือง พบว่าพลาสมา DCSBD ให้ผลดีที่สุดในการเพิ่มอัตราการงอกและการดูดซึมน้ำของเมล็ดโดยไม่ทำลายโครงสร้างผิว เหมาะสำหรับการปรับปรุงคุณภาพเมล็ดพันธุ์ในกระบวนการเกษตรสมัยใหม่ Yanclo *et al.* [9] และ Bai *et al.* [10] รายงานว่าการใช้พลาสมาเป็นขั้นตอนเตรียมก่อนอบแห้งสามารถลดเวลาอบ เพิ่มค่าการแพร่

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

ของความชื้น และคงคุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลผลิต เช่น มะม่วงและถั่วลันเตา ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Loureiro *et al.* [11] รายงานว่า ความถี่ของพลาสมาเย็นมีผลต่อประสิทธิภาพการอบและการเพิ่มสารต้านอนุมูลอิสระในผลไม้ tucuma ส่วน Thakur และ Vasudevan [12] ทบทวนการใช้เทคโนโลยีพลาสมาในการบำบัดเมล็ดพันธุ์ เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพการงอกของเมล็ด ลดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ ส่งผลให้การเพาะปลูกมีผลผลิตสูงขึ้นและลดการใช้สารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ Kumar *et al.* [13] ศึกษาการบำบัดด้วยพลาสมาที่อุณหภูมิต่ำสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพเมล็ด กระตุ้นการงอก และกำจัดเชื้อโรคที่ติดอยู่บนเปลือกเมล็ด มีศักยภาพสูงในการเพิ่มผลผลิตพืชและลดการปนเปื้อนจากเชื้อราหรือแบคทีเรีย Durek *et al.* [14] ศึกษาการใช้ Plasma Processed Air (PPA) กับสมุนไพรแห้ง เช่น เปปเปอร์มินต์และตะไคร้ พบว่าสามารถลดจุลินทรีย์ได้ แม้อาจมีผลต่อสีและสารต้านอนุมูลอิสระบ้าง Zahoranova *et al.*[15] ชี้ให้เห็นว่า Cold Atmospheric Pressure Plasma สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวโพด เช่น ความชุ่มชื้นและการดูดซึมน้ำ โดยไม่ทำลายพื้นผิวเมล็ด และสามารถกระตุ้นการตอบสนองของยีนที่เกี่ยวข้องกับความเครียดจากความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในประเทศไทย งานของสมิทธ์ [16-17] ได้ศึกษาการผลิตพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ 30 กิโลโวลต์ เพื่อสร้างพลาสมาในอากาศสำหรับประยุกต์ใช้ในการลดการปนเปื้อนของเชื้อราบนพื้นผิวพืชผลทางการเกษตร ได้แก่ ถั่วลิสง ข้าวโพด กระเทียม และหอมแดง ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มพืชที่มีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อนของเชื้อรา Aspergillus flavus ซึ่งสามารถผลิตสารพิษอะฟลาท็อกซิน (Aflatoxin) ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลาสมาที่ผลิตได้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อราตามธรรมชาติบนพื้นผิวพืชเหล่านี้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในกรณีของพืชที่มีชั้นผิวบางซึ่งพลาสมาสามารถแทรกซึมและออกฤทธิ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากแนวโน้มดังกล่าว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับสร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีฤทธิ์ยับยั้งและทำลายเชื้อจุลินทรีย์ (Reactive Species) จากกระบวนการดิสชาร์จระดับความดันบรรยากาศในอากาศ เพื่อใช้ในกระบวนการอบแห้งที่สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อราไปพร้อมกัน โดยสามารถนำไปต่อยอดสู่กระบวนการอบแห้งสมุนไพรหรือเมล็ดพันธุ์ท้องถิ่นมูลค่าสูง ที่ต้องการการอบแห้งแบบอุณหภูมิต่ำควบคู่กับการควบคุมจุลินทรีย์ในขั้นตอนเดียว งานวิจัยนี้จึงมีศักยภาพสูงในการพัฒนาเป็นนวัตกรรมที่สามารถนำไปใช้จริงในระดับชุมชนเกษตรกรรม เพื่อส่งเสริมการแปรรูปพืชสมุนไพรท้องถิ่นให้ได้มาตรฐานและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจในบริบทของประเทศไทย

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากสมมุติฐานและกรอบแนวคิดของงานวิจัยเชิงทดลองและนวัตกรรมนี้ ได้มีการกำหนดขั้นตอนและแบ่งการดำเนินงานวิจัยอย่างเป็นระบบ ด้วยการผสานการออกแบบสร้างกระบวนการดิสชาร์จพลาสมา ในอากาศ เข้ากับโครงสร้างที่ควบคุมทิศทางการหมุนเวียนของลมร้อนอุณหภูมิต่ำภายในระบบ โดยครอบคลุมตั้งแต่การออกแบบเครื่องต้นแบบ ออกแบบระบบการหมุนเวียนลมร้อน การประกอบโครงสร้างจริง การ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

กำหนดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าสำหรับวงจรกำเนิดพลาสมา พร้อมทั้งทดสอบสมรรถนะในด้านการอบแห้งและประสิทธิภาพในการลดเชื้อราตามธรรมชาติบนผิวสมุนไพรที่มีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนมีรายละเอียดดังนี้

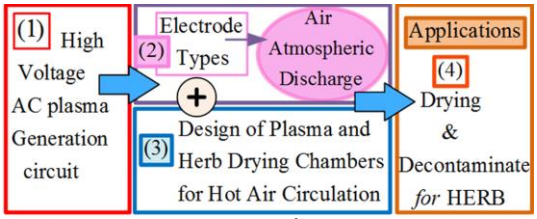
2.1 การออกแบบ-สร้างระบบต้นแบบ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาเครื่องต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการที่สามารถสร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำพร้อมอนุภาคออกฤทธิ์จากดิสชาร์จพลาสมา (Plasma Reactive Species) สำหรับใช้ประโยชน์ในการอบแห้งร่วมกับการลดเชื้อราวมบนวัตถุดิบสมุนไพรภายในขั้นตอนเดียว ระบบประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลัก แสดงในรูปที่ 1

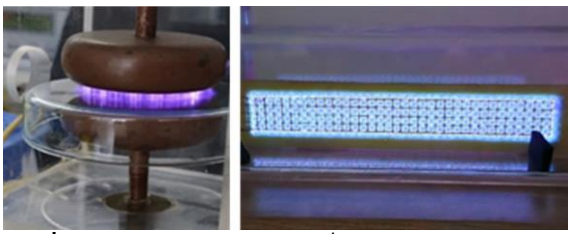
องค์ประกอบหลักของระบบต้นแบบประกอบด้วย

(1) การออกแบบ-สร้างวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับ ใช้เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูงให้ตกคร่อมอิเล็กโทรดจนสามารถเกิดการดิสชาร์จในอากาศที่ระดับความดันบรรยากาศขึ้นได้ โดยผลจากการออกแบบวงจรสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าใช้งานระหว่างสองขั้วแรงสูงให้อยู่ในช่วง 15-30 กิโลโวลต์พีคทูพีค (kVp-p) ที่ความถี่ในช่วง 0.5-2.5 kHz ไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับที่ผลิตจากเครื่องต้นแบบนี้ เมื่อนำไปป้อนให้รูปแบบต่างๆของอิเล็กโทรด จะมีลักษณะการเกิดดิสชาร์จที่ขึ้นกับลักษณะและโครงสร้างของอิเล็กโทรด

(2) การออกแบบลักษณะของอิเล็กโทรด เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานกับระบบต้นแบบในด้านประสิทธิภาพการสร้างลมร้อนและการลดการปนเปื้อนของเชื้อรา



รูปที่ 1 การออกแบบลำดับขั้นการทำงานของระบบเครื่องต้นแบบ



รูปที่ 2 ลักษณะของอิเล็กโทรดที่ต่างกันเป็นผลให้เกิดรูปแบบของการดิสชาร์จที่ต่างกัน

จากการเปรียบเทียบอิเล็กโทรดทั้งสองชนิด ได้แก่ คู่อิเล็กโทรดขนาน และอิเล็กโทรดแบบแผ่นแบน (รูปที่ 2) โดยใช้งานร่วมกับวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้น พบว่า แม้คู่อิเล็กโทรดขนานจะสามารถสร้างการดิสชาร์จในรูปแบบไดอิเล็กทริกบาเรียร์ดิสชาร์จ (Dielectric Barrier Discharge: DBD) ขึ้นได้ โดยมีลักษณะของลำกระแสดิสชาร์จแบบพัลส์ ไม่ต่อเนื่องและไหลพุ่งตรงรุนแรง ความสัมพันธ์ระหว่าง V-I แบบ Hysteresis มีความหนาแน่นของกระแส DBD ได้จากสมการของ Kogelschatz, U. ในสมการที่ (1)

$$I(t) = C_d \frac{dV(t)}{dt} + I_{Discharge(t)} \quad (1)$$

เมื่อ $$I_{Discharge}(t) \approx I_0 \exp^{-\frac{(t-t_0)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

อย่างไรก็ตาม ลักษณะของ DBD ได้พบปัญหาเรื่องความร้อนสะสมในวงจรและเสี่ยงต่อความเสียหายของอุปกรณ์ จึงอาจไม่เหมาะสมกับลักษณะงานที่ต้องการใช้งานต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น กระบวนการอบแห้งสมุนไพรควบคู่กับลดการปนเปื้อนของเชื้อรา

ในทางตรงกันข้าม อิเล็กโทรดแบบแผ่นแบนที่ออกแบบ ให้ลักษณะพลาสมาแบบเรืองแสง, มีกระแสที่ต่อเนื่อง, สม่ำเสมอและคงที่ ลักษณะคล้ายกับการโกลดิสชาร์จ (Glow Discharge) ที่ใช้กระบวนการ Charge Trapping ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่าง V-I เป็นเชิงเส้น โดยความหนาแน่นของกระแสโกลดิสชาร์จคือ

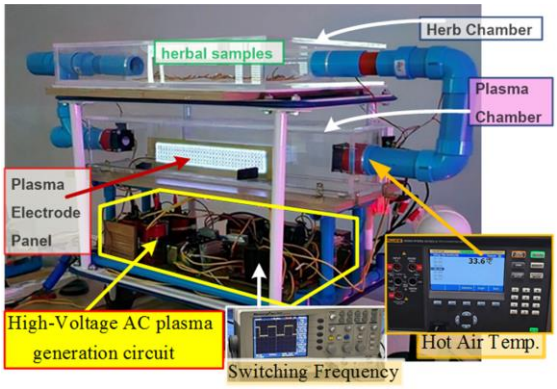
$$J = \sigma E \tag{3}$$

โดยมีการเคลื่อนที่แบบไหลเลื่อน และจากสมการ Drift motion ของ Roth, J. R. ในสมการที่ (4)

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{q_i}{m_i} E_0 \cos(\omega t) \tag{4}$$

โดยที่ผลการเกิดเรืองแสงพลาสมาสีน้ำเงิน-ม่วงในอากาศรูปแบบนี้ มีความเสถียรภาพสูงกว่า และมีพื้นที่ผิวเกิดการดิสชาร์จมากกว่าเมื่อเทียบกับ DBD ส่งผลให้สามารถผลิตอนุภาคพลาสมาที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้มากขึ้น จึงมีความเหมาะสมกว่าสำหรับกระบวนการที่ต้องการระยะเวลาและความต่อเนื่องในการใช้งาน

(3) การออกแบบโครงสร้าง (รูปที่3) ให้เชื่อมต่อระบบการไหลเวียนของลมร้อนที่มีอนุภาคออกฤทธิ์ของพลาสมา ระหว่างห้องพลาสมา (Plasma Chamber) และห้องอบสมุนไพร (Herb Chamber) เพื่อให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนและจำนวนของ



รูปที่ 3 การออกแบบโครงสร้างเครื่องต้นแบบ

อนุภาคออกฤทธิ์ทำงานร่วมกันอย่างมีประสิทธิภาพ โดยโครงสร้างแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นล่าง: สำหรับติดตั้งวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงกำเนิดพลาสมา, ชั้นกลาง: สำหรับติดตั้งห้องพลาสมาพร้อมแผ่นอิเล็กโทรดภายในที่เกิดดิสชาร์จที่ความดันบรรยากาศ และชั้นบน: สำหรับวางห้องอบสมุนไพร

ลมร้อนที่ประกอบด้วยอนุภาคออกฤทธิ์ (Reactive Species) เช่น UV, O_3 และ Oxygen Radicals ที่มีฤทธิ์ทำลายจุลินทรีย์ซึ่งเกิดจากพลาสมาอากาศจะถูกควบคุมให้ไหลผ่านจากห้องพลาสมาเข้าสู่ห้องอบสมุนไพรผ่านพัดลมและท่อลมหมุนเวียน โดยไม่ให้วัตถุดิบสัมผัสกับสนามไฟฟ้าโดยตรง อุณหภูมิและความเข้มข้นของอนุภาคออกฤทธิ์ ถูกควบคุมให้อยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพ โดยออกแบบปริมาตรภายในห้องอบสมุนไพรไม่เกิน 5 เท่าของห้องพลาสมา เพื่อให้การถ่ายเทความร้อนและการยับยั้งจุลินทรีย์เกิดขึ้นพร้อมกันในกระบวนการเดียว

จากผลการออกแบบ ได้ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบจนแล้วเสร็จ พร้อมทั้งทดสอบเบื้องต้นเพื่อยืนยันสมรรถนะการทำงานตามที่ออกแบบไว้

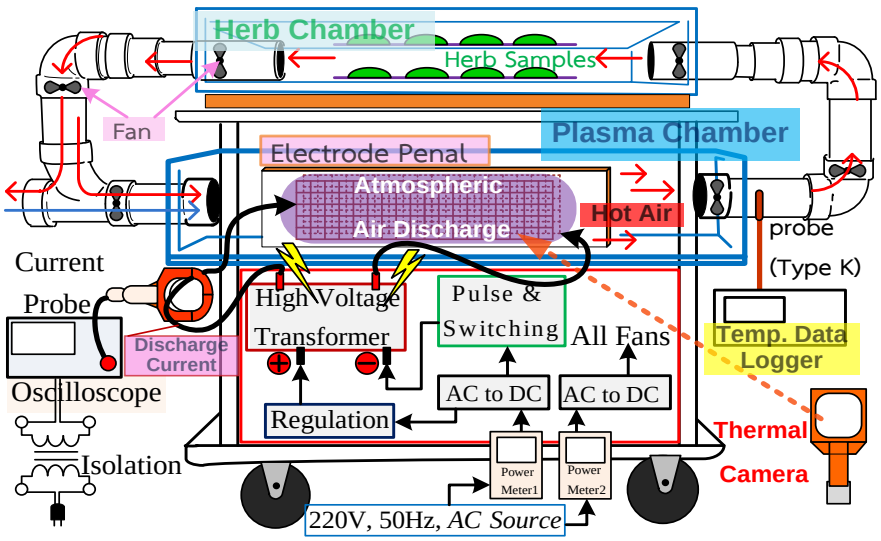
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

ทั้งในส่วนของวงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้า การเกิดดิสชาร์จที่อิเล็กโทรด และระบบควบคุมการไหลเวียนของอากาศ จากนั้นจึงเข้าสู่ขั้นตอนการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) การทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมและการวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (2) การทดสอบการอบแห้งตัวอย่างสมุนไพรด้วยลมร้อนรีแอกทีฟสปีชีส์จากเครื่องต้นแบบ และ (3) การทดสอบประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์บนพื้นผิวสมุนไพร

2.2 อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

การทดลองเริ่มต้นด้วยการจัดวางเครื่องต้นแบบตามแผนผังในรูปที่ 4 โดยตั้งค่าพารามิเตอร์แรงดันไฟฟ้าและความถี่ของสัญญาณ เพื่อให้เกิดการดิสชาร์จพลาสมา ที่ระดับความดันบรรยากาศในอากาศ จากนั้นตรวจสอบค่าความถี่และรูปคลื่นของสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคป เพื่อปรับตั้งให้การดิสชาร์จบนแผ่นอิเล็กโทรดเกิดการเรืองแสงอย่างชัดเจนสูงสุด ทั้งนี้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการสร้างลมร้อนที่ประกอบด้วยอนุภาครีแอคทีฟสปีชีส์สำหรับกระบวนการอบแห้งสมุนไพร

ตัวอย่างสมุนไพรแต่ละชุดถูกชั่งน้ำหนักก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้ง โดยกำหนดระยะเวลาอบแห้งคงที่สำหรับแต่ละชุดทดลอง ในระหว่างกระบวนการอุณหภูมิภายในระบบถูกวัดที่ตำแหน่งสำคัญ โดยใช้เซนเซอร์ Thermocouple Type K เชื่อมต่อกับเครื่องบันทึกข้อมูล Fluke 2638A ซึ่งทำการวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิในทุก 1 นาที ตลอดระยะเวลาการทดลอง นอกจากนี้ อุณหภูมิพื้นผิวของแผ่นอิเล็กโทรดยังถูกบันทึกด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน, ทำการวัดค่ากระแสดิสชาร์จด้วยโพรบวัดกระแสผ่านออสซิลโลสโคปที่ถูกต่อผ่านหม้อแปลงแยกจากทางไฟฟ้า และวัดกำลังไฟฟ้าใช้งานโดยแยกระหว่างวงจรดิสชาร์จและระบบพัดลมหมุนเวียนอากาศ



รูปที่ 4 การจัดวางการทดลองของระบบรวม

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

ภายหลังการอบแห้ง ตัวอย่างสมุนไพรจะถูกชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อประเมินอัตราการลดความชื้น พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์บนพื้นผิวสมุนไพร ภายในกระบวนการเดียวกัน

3. ผลการทดลอง และการอภิปรายผล

ภายหลังการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบจนแล้วเสร็จ ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบตามขั้นตอนที่วางไว้ โดยผลการทดลองแบ่งเป็น 3 ประเด็นหลัก ดังนี้

3.1 ผลการทดสอบระบบโดยรวม

จากการทดลองโดยใช้วงจรไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสสลับที่ออกแบบขึ้นเฉพาะสำหรับงานวิจัยนี้ สามารถสร้างการดิสชาร์จบนแผ่นอิเล็กโทรดแบนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเกิดการดิสชาร์จของพลาสมาอย่างชัดเจนในช่วงความถี่ประมาณ 1 kHz ซึ่งเห็นการเรืองแสงสีน้ำเงิน-ม่วงของดิสชาร์จพลาสมาปรากฏอย่างเด่นชัดเกิดขึ้นคลุมพื้นผิวทั้งสองด้านบนแผ่นอิเล็กโทรดแบน โดยทดสอบกับแผ่นอิเล็กโทรดที่มีลายเส้นทองแดงตัดกัน ให้เกิดเป็นช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสจำนวน 410 ช่อง ขนาดช่องละ 1 ตร.ซม. โดยมีรูปร่างของสัญญาณกระแสการดิสชาร์จจากพีคถึงพีค (ลักษณะสัญญาณ Spikes สูงสุด) ในอยู่ในช่วง 3 แอมแปร์ (ขึ้นกับสภาพพื้นผิวอิเล็กโทรด) ดังรูปที่ 5 (a)

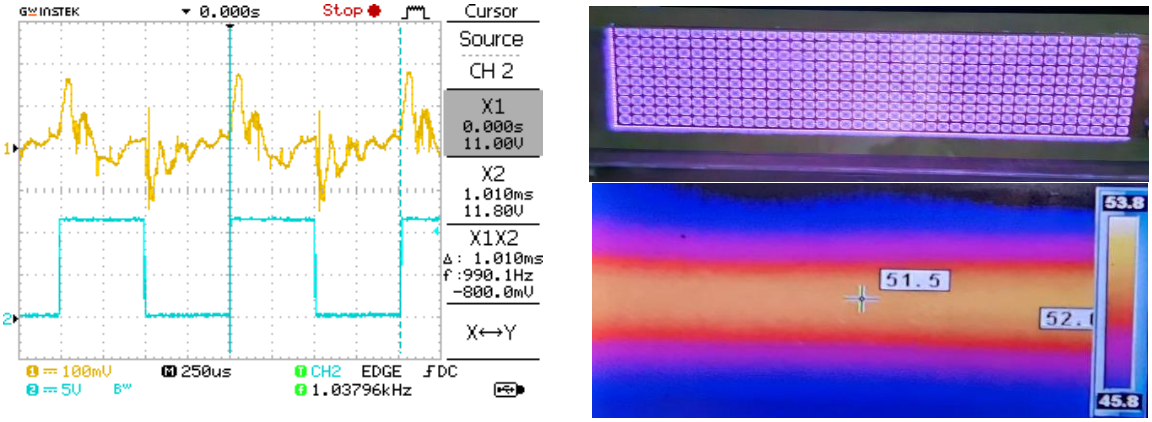
จากการแยกวัดการใช้พลังงานของแต่ละส่วนด้วย Power Wattmeter พบว่าระบบทั้งหมดใช้พลังงานรวมประมาณ 150 วัตต์ โดยมีกระแสไฟฟ้ารวมประมาณ 0.851 แอมแปร์ เมื่อพิจารณาเฉพาะระบบพัดลมหมุนเวียนอากาศ ซึ่งประกอบด้วยพัดลมขนาดเล็กหลายตัว ใช้พลังงานประมาณ 24 วัตต์ และมีกระแสไฟฟ้า 0.205 แอมแปร์

ในขณะที่วงจรสร้างพลาสมามีการใช้พลังงานสูงถึง 123 วัตต์ และมีกระแสไฟฟ้า 0.68 แอมแปร์ ข้อมูลดังกล่าวสะท้อนว่าการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของระบบเกิดจากกระบวนการสร้างพลาสมา ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการผลิตลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่ประกอบด้วยแอคทีฟสปีชีส์ ตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบผลการทดลองวัดอุณหภูมิบนพื้นผิวแผ่นอิเล็กโทรด (แผ่นอิเล็กโทรดไม่ได้อยู่ในพื้นที่ปิดภายในตู้พลาสมา) ด้วยกล้องถ่ายภาพความร้อน พบว่า อุณหภูมิพื้นผิวของแผ่นอิเล็กโทรด ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนจากกระบวนการดิสชาร์จพลาสมา มีค่าประมาณ 51-54 °C ขณะที่ภาพถ่ายความร้อนที่ท่อหมุนเวียนลม ซึ่งลมถูกพัดพาให้ไหลผ่านจากแผ่นอิเล็กโทรดเข้าสู่ห้องอบแห้ง มีค่าผันแปรอยู่ในช่วง 41-49 °C โดยความแตกต่างของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งขึ้นอยู่กับระยะห่างจากแหล่งความร้อนและทิศทางการไหลของอากาศภายในระบบ ดังรูปที่ 5 (b)

3.2 ผลทดสอบสมรรถนะการลดความชื้น และประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อราบนพื้นผิวสมุนไพร

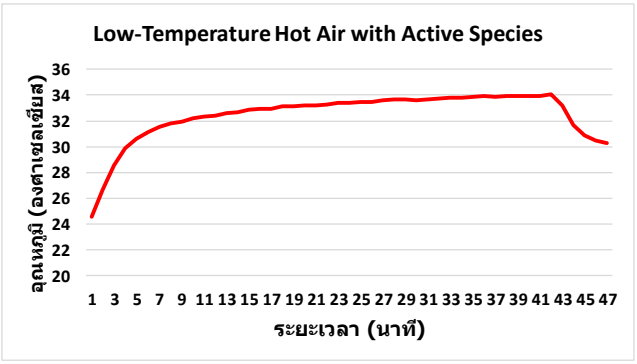
จากผลการทดลองในขั้นตอนแรก ซึ่งยืนยันว่าเครื่องต้นแบบสามารถสร้างการดิสชาร์จบนแผ่นอิเล็กโทรดและเพิ่มอุณหภูมิภายในระบบได้ จึงได้นำไปสู่การทดลองผลการนำลมร้อนรีแอกทีฟสปีชีส์จากเครื่องต้นแบบมาทดสอบอบแห้งเบื้องต้นกับตัวอย่างสมุนไพรภายในห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินสมรรถนะของระบบในการอบแห้งสมุนไพรและศึกษาความเหมาะสมในการใช้งานจริง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011



(a) (b)

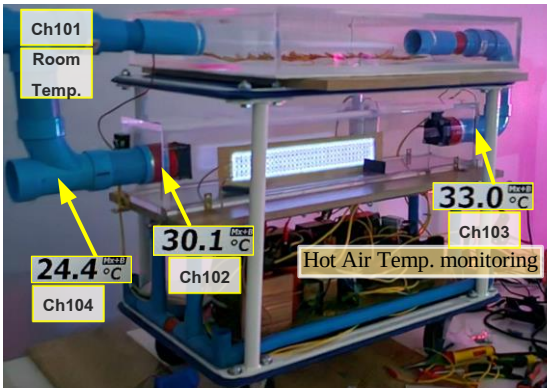
รูปที่ 5 (a) ตัวอย่างรูปร่างสัญญาณของกระแสดิสชาร์จพลาสมาบนแผ่นอิเล็กโทรดแบน และ (b) ตัวอย่างการใช้กล้องภาพถ่ายความร้อนวัดอุณหภูมิที่แผ่นอิเล็กโทรด

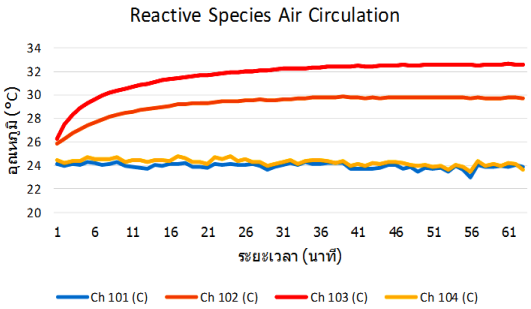


รูปที่ 6 ตัวอย่างการทดลองอบแห้งกระชายหั่นด้วยระยะเวลา 40 นาที

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

ผลการทดสอบจากกราฟในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นการวัดอุณหภูมิบริเวณต้นทางที่ลมไหลผ่านแผ่นอิเล็กโทรด (ตำแหน่งสร้างลมร้อน) มีการเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นที่ต่ำระดับ 24 °C ไปจนถึงสูงสุดที่ 34 °C ด้วยความรวดเร็ว แม้ใช้เพียงแผ่นอิเล็กโทรดหนึ่งแผ่นก็สามารถเพิ่มอุณหภูมิของลมได้ราว 10 °C ทั้งนี้ หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น อาจทำได้โดยการเพิ่มจำนวนหรือขนาดของแผ่นอิเล็กโทรด ร่วมกับการติดตั้งวงจรขยายกระแสแบบขนานเพื่อรองรับกระแสดิสชาร์จที่สูงขึ้น และเมื่อนำลมร้อนแอกทีฟสปีชีส์นี้ซึ่งร่วมกับระบบหมุนเวียนอากาศ มาทดสอบการอบแห้งเบื้องต้น (รูปที่ 7) พบว่า ภายในระยะเวลาเพียง 40 นาที สามารถอบแห้งตัวอย่างสมุนไพรกระชายหั่น ที่มีน้ำหนักจาก 100.02 กรัม ลดลงเหลือ 83.42 กรัม หรือคิดเป็นการลดน้ำหนักประมาณ 16.6% โดยผลจากการทดลองนี้ได้แสดงว่าระบบของเครื่องต้นแบบสามารถนำมาใช้อบแห้งสมุนไพรได้จริง โดยที่สามารถผลิตลมร้อนอุณหภูมิต่ำบริเวณหลังผ่านแผ่นอิเล็กโทรดในช่วงประมาณ 34 °C แม้ว่าอุณหภูมิที่ได้จะยังไม่สูงมาก แต่เพียงพอสำหรับกระบวนการที่ต้องการรักษาคุณภาพของสารสำคัญ หรือในสมุนไพรที่มีความบอบบางทางกายภาพ อีกทั้งในกระบวนการเดียวกันนี้ ยังมีการปล่อยแอคทีฟสปีชีส์จากพลาสมาออกมา จึงทำให้ระบบนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้เพื่อการอบแห้งสมุนไพรควบคู่กับการลดการปนเปื้อนของเชื้อราได้ภายในขั้นตอนเดียว อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิของลมร้อนที่สร้างขึ้นได้รับอิทธิพลอย่างมากจากอุณหภูมิแวดล้อม ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มระดับอุณหภูมิภายในระบบ





รูปที่ 7 ตำแหน่งและกราฟแสดงอุณหภูมิลม Reactive Species ที่หมุนเวียนในระบบ

สำหรับการทดสอบสมรรถนะการลดความชื้นพร้อมทั้งประสิทธิภาพในการลดการปนเปื้อนของเชื้อราบนพื้นผิวสมุนไพร ได้ทำการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในระบบ 4 ตำแหน่งสำคัญ เพื่อสังเกตุพฤติกรรมของอุณหภูมิลมแอกทีฟสปีชีส์ที่หมุนเวียนภายในได้แก่ Ch101: อุณหภูมิห้อง, Ch103: จุดรวมอากาศหมุนเวียนเข้ากับอากาศใหม่, Ch104: จุดสร้างลมร้อนบริเวณหลังผ่านพลาสมาก่อนเข้าสู่ตู้อบสมุนไพร, Ch105: จุดรับอากาศเข้าใหม่

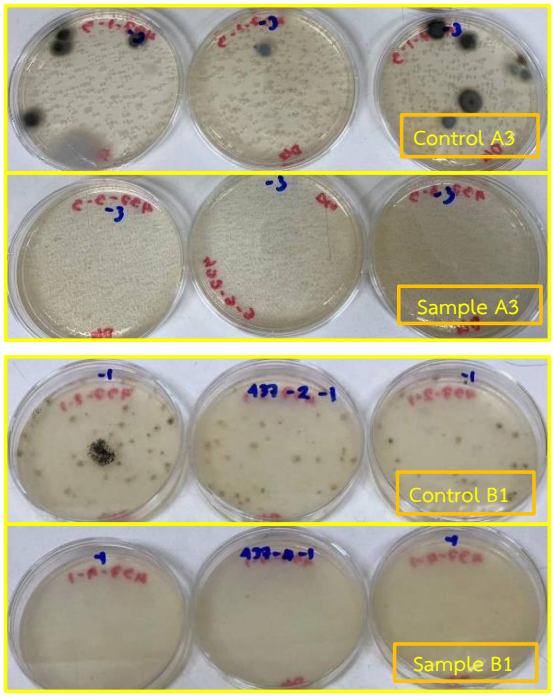
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

ผลการทดสอบกับตัวอย่างขิงหั่นชิ้น ได้ผลการวัดอุณหภูมิทั้ง 4 ตำแหน่ง พบว่าระบบสามารถสร้างลมร้อนแอกทีฟสบีซีส์ได้อย่างชัดเจน โดยอุณหภูมิของลมเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิห้อง 24 °C เป็นประมาณ 33 °C หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 10 °C จากอุณหภูมิแวดล้อม (ซึ่งอาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามสภาวะแวดล้อมขณะทำการทดลอง) จากการนำลมร้อนดังกล่าวมาใช้ในกระบวนการอบแห้งพบว่าน้ำหนักเริ่มต้นของตัวอย่างขิงหั่น 100.868 กรัม ลดลงเหลือ 90.25 กรัม ภายหลังการอบด้วยระยะเวลา 60 นาที คิดเป็นการลดน้ำหนักรวม 10.618 กรัม หรือคิดเป็น 10.53% ของน้ำหนักตั้งต้น โดยสีพื้นผิวขิงมีความซีดลงเล็กน้อยหลังการอบ

สำหรับผลการตรวจวิเคราะห์เชื้อราบนตัวอย่างขิงหั่น (รูปที่ 9) โดยดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน Bacteriological Analytical Manual (BAM) ภายใต้สภาพแวดล้อมและตัวอย่างปกติ พบว่าไม่ตรวจพบเชื้อรา (Total Molds) ทั้งในกลุ่มควบคุม (Controls) และกลุ่มตัวอย่างทดลอง (Sample)

การทดลองอบแห้งพร้อมประเมินประสิทธิภาพในการลดเชื้อราปนเปื้อนบนพื้นผิวกระชายหั่นชิ้น ซึ่งใช้น้ำหนักทั้งหมด 200 กรัม โดยแบ่งเป็น กลุ่มควบคุม (Controls) และกลุ่มตัวอย่าง (Samples) โดยทำการอบแห้งเฉพาะกลุ่มตัวอย่างด้วยระยะเวลา 120 นาที พบว่า น้ำหนักของกลุ่มตัวอย่างก่อนอบอยู่ที่ 100.294 กรัม ลดลงเหลือ 90.25 กรัมภายหลังการอบ คิดเป็นการสูญเสียน้ำหนัก 10.044 กรัม หรือคิดเป็นร้อยละ 10.01 ของน้ำหนักเริ่มต้น

รูปที่ 8 การเปรียบเทียบสีของขิงก่อน-หลังการอบแห้ง



รูปที่ 9 เปรียบเทียบ Total Molds ระหว่างกระชาย Controls กับ Samples บนเพลทเพาะเชื้อ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

จากนั้น นำตัวอย่างบรรจุในถุงปลอดเชื้อเพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์เชื้อราราวม (Total Molds) พบว่าเครื่องต้นแบบสามารถลดจำนวนเชื้อราราวมบนพื้นผิวกระชายหั่นได้อย่างชัดเจนทั้งในเชิงปริมาณและลักษณะภาพถ่าย โดยผลการทดสอบเชิงปริมาณดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน พบว่า กระชายกลุ่มควบคุม A (Controls A) ซึ่งไม่ได้ผ่านกระบวนการลดการปนเปื้อน ตรวจพบเชื้อราปริมาณ 2,000 cfu/g เทียบกับ กระชายกลุ่มตัวอย่าง A (Samples A) ที่ผ่านกระบวนการด้วยเครื่องต้นแบบ ตรวจพบเชื้อราเพียง 16 cfu/g คิดเป็นอัตราการลดเหลือ 0.8% ของค่าเริ่มต้น ส่วนกระชายกลุ่มควบคุม B (Controls B) ตรวจพบเชื้อรา 1,100 cfu/g เทียบกับ กระชายกลุ่มตัวอย่าง B (Samples B) ตรวจพบเชื้อรา 83 cfu/g คิดเป็นอัตราการลดเหลือ 7.5% ของค่าเริ่มต้น การเปรียบเทียบลักษณะเชิงภาพจากเพลทเพาะเชื้อแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนระหว่างกลุ่มควบคุมซึ่งพบเชื้อราปนเปื้อนกระจายบนพื้นผิวกระชายอย่างชัดเจน กับกลุ่มตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการลดการปนเปื้อนด้วยเครื่องต้นแบบ ซึ่งมีจำนวนโคโลนีเชื้อราลดลงอย่างมาก ดังแสดงในรูปที่ 9

อย่างไรก็ตาม การที่ยังคงตรวจพบเชื้อราหลงเหลือบางส่วนหลังการทดลอง อาจมีสาเหตุมาจากการที่เชื้อราเหล่านั้นไม่ได้สัมผัสกับอนุพันธ์ออกฤทธิ์ (Reactive Species) ซึ่งอาจเกิดจากการวางตัวอย่างในลักษณะที่ซ้อนทับกัน กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อของลมรีแอกทีฟสปีชีส์จะสูงสุดเมื่อสามารถสัมผัสกับเชื้อราบนพื้นผิววัตถุดิบได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ การเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างลมกับพื้นผิววัตถุดิบ ยังช่วยส่งเสริมสมรรถนะของกระบวนการลดความชื้นได้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย ผลลัพธ์นี้จึงชี้ให้เห็นว่าการเป่าลมร้อนร่วมกับพลาสมาช่วยเร่งการระเหยความชื้นได้ดี แม้ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีข้อดีในการรักษาสารสำคัญของพืชสมุนไพร ควบคู่ไปกับการยับยั้งเชื้อราในขั้นตอนเดียว ในด้านการใช้พลังงานของระบบเครื่องต้นแบบ พบว่ามีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 150 วัตต์ เมื่อประเมินค่าพลังงานไฟฟ้า ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ตามสมการ $E = P \times t$ พบว่าการอบแห้งกระชายด้วยระยะเวลา 40 นาที มีการใช้พลังงานไฟฟ้า 0.10 kWh ต่อรอบการทำงาน ในขณะที่การอบแห้งขิงด้วยระยะเวลา 60 นาที จะใช้พลังงานไฟฟ้า 0.15 kWh ต่อรอบการทำงาน

3.3 อภิปรายผล

จากผลการทดลองด้วยเครื่องต้นแบบซึ่งผลิตลมร้อนอุณหภูมิต่ำพร้อมปล่อยรีแอกทีฟสปีชีส์สำหรับกระบวนการอบแห้งและลดการปนเปื้อนในขั้นตอนเดียว เมื่อทดสอบกับตัวอย่างขิงและกระชายหั่น พบว่า น้ำหนักวัตถุดิบลดลงประมาณ 10% ภายในเวลา 60 นาที ซึ่งสูงกว่าการตากแดดในสภาพอากาศทั่วไปของประเทศไทย (ที่ช่วงอุณหภูมิ 33–37°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50-60%) ที่ลดน้ำหนักได้เพียง 3-6% สำหรับขิง และ 2-5 % สำหรับกระชายในระยะเวลาเดียวกันอย่างชัดเจน แสดงถึงประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนและลดความชื้นที่เหนือกว่าวิธีตากแดด ทั้งยังสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมภายในได้ดีกว่า ส่งผลต่อคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์สมุนไพร อีกทั้งข้อได้เปรียบสำคัญของระบบต้นแบบนี้คือ สามารถลดการปนเปื้อนของเชื้อราบนพื้นผิววัตถุดิบได้พร้อมกันในขั้นตอนเดียว โดยผลการตรวจเชื้อราราวม (Total Mold) พบว่าสามารถลด

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

จำนวนเชื้อราบนพื้นผิววัตถุดิบได้มากกว่า 90% เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม สะท้อนศักยภาพของระบบในการผสานการลดความชื้นและควบคุมความปลอดภัยทางจุลินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติม: จากข้อจำกัดด้านขนาดของเครื่องต้นแบบในปัจจุบัน การพัฒนาในขั้นต่อไปอาจพิจารณาการเพิ่มจำนวนแผ่นอิเล็กโทรด โดยแผ่นอิเล็กโทรดหนึ่งแผ่นสามารถวัดความร้อนบนพื้นผิวได้ประมาณ 55°C การเพิ่มจำนวนแผ่นจะช่วยเพิ่มทั้งอุณหภูมิของลมร้อนภายในระบบและปริมาณของอนุภาคออกฤทธิ์ (Reactive Species) จากพลาสมา ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มจำนวนแผ่นอิเล็กโทรดจะทำให้ความต้องการกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงจำเป็นต้องออกแบบวงจรไฟฟ้าให้เหมาะสมกับข้อจำกัดด้านพลังงานและความปลอดภัยจากระบบไฟฟ้าแรงสูง นอกจากนี้ การผสานการทำงานระหว่างระบบพลาสมากับแหล่งให้ความร้อนอื่น เช่น ระบบปั๊มความร้อน หรือขดลวดความร้อน อาจช่วยเพิ่มระดับอุณหภูมิลมร้อนให้สูงขึ้น และขยายขอบเขตการประยุกต์ใช้งานไปยังวัตถุดิบประเภทอื่น ๆ เช่น ผลไม้หรือเนื้อสัตว์ ที่ต้องการอุณหภูมิอบแห้งสูงกว่ากลุ่มสมุนไพร

การสูญเสียความร้อนระหว่างกระบวนการเป็นปัจจัยสำคัญที่กระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตลมร้อน จากผลการทดลองพบว่า การนำลมร้อนผ่านท่อส่งและห้องอบมีการสูญเสียความร้อนในระดับที่มีนัยสำคัญ ส่งผลให้อุณหภูมิของลมร้อนลดลงก่อนเข้าสู่ตัวอย่างวัตถุดิบ นอกจากนี้ อุณหภูมิแวดล้อมภายนอกยังส่งผลกระทบโดยตรงต่ออุณหภูมิของลมร้อน โดยเฉพาะในกรณีที่อุณหภูมิภายนอกต่ำ จะทำให้อุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย ดังนั้น เพื่อเพิ่มสมรรถนะของระบบอาจปรับปรุงโครงสร้างห้องด้วยวัสดุฉนวนกันความร้อน หรือเพิ่มชั้นฉนวนรอบท่อส่งลม

การเพิ่มประสิทธิภาพการอบแห้งและลดการปนเปื้อนจุลินทรีย์ ในกรณีที่ต้องการลดความชื้นของสมุนไพรให้มากขึ้น รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายเชื้อราและจุลินทรีย์ต่าง ๆ การอบซ้ำเป็นรอบ ๆ ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยควรเปลี่ยนตำแหน่งวางสมุนไพรในแต่ละรอบ เพื่อให้วัตถุดิบได้รับความร้อนและสัมผัสกับรีแอกทีฟสปีชีส์จากพลาสมาอย่างทั่วถึง นอกจากนี้ การออกแบบลักษณะส่วนวางวัตถุดิบให้กระจายตัวสม่ำเสมอและไม่ซ้อนทับกัน จะช่วยให้การแลกเปลี่ยนความร้อนและการสัมผัสกับลมร้อนแอคทีฟสปีชีส์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบกับการอบแห้งขิงด้วยตู้อบลมร้อนแบบดั้งเดิม ที่อุณหภูมิ 50 - 60 °C ใช้ระยะเวลาการอบแห้งยาวนานถึง 12-24 ชั่วโมง[18] เพื่อลดความชื้นให้ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งการใช้อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานส่งผลเสียต่อการสูญเสียสารสำคัญ ในสมุนไพร ในขณะที่เครื่องต้นแบบที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถลดน้ำหนักของขิงลงได้ 10.53% ภายในเวลาเพียง 60 นาที และลดน้ำหนักกระชายลงได้ 16.6% ภายใน 40 นาที ด้วยระดับอุณหภูมิที่ต่ำเพียง 34 °C ผลลัพธ์นี้ชี้ให้เห็นว่าการหมุนเวียนอากาศร่วมกับพลาสมาช่วยเร่งการแพร่ความชื้นได้ดี เทคโนโลยีนี้จึงมีข้อได้เปรียบสำคัญในการรักษาสารสำคัญควบคู่ไปกับการยับยั้งเชื้อราในขั้นตอนเดียว

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้ออกแบบและพัฒนาเครื่องต้นแบบสำหรับสร้างลมร้อนอุณหภูมิต่ำร่วมกับอนุภาคออกฤทธิ์ของพลาสมาบรรยากาศ เพื่อนำไปใช้ใน กระบวนการอบแห้ง โดยมุ่งเน้นทดสอบผลการอบแห้งด้วยลมร้อนอุณหภูมิต่ำ และการลดการปนเปื้อนของเชื้อรารวมบนสมุนไพร ระบบต้นแบบประกอบด้วยวงจรสร้างสนามไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับให้ตกคร่อมอิเล็กโทรดรูปแบบแผ่นแบน โดยมีโครงสร้าง และระบบหมุนเวียนอากาศซึ่งได้รับการออกแบบให้เหมาะสมสำหรับการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบสามารถผลิตลมร้อนอุณหภูมิต่ำที่สามารถใช้อบแห้งพร้อมกับปล่อยอนุภาครีแอคทีฟสปีชีส์จากพลาสมา ซึ่งช่วยลดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์บนผิวสมุนไพรอย่างมีประสิทธิภาพ

นวัตกรรมเครื่องต้นแบบนี้เหมาะสมสำหรับการใช้งานกับสมุนไพรสำคัญและเมล็ดพันธุ์มูลค่าสูงที่ต้องการลมร้อนอุณหภูมิต่ำอบแห้งเพื่อรักษาคุณภาพวัตถุดิบและควบคุมความปลอดเชื้ออย่างเข้มงวด ในขั้นตอนเดียว เทคโนโลยีนี้จึงมีศักยภาพในการยกระดับคุณภาพ ความปลอดภัย และมาตรฐานของผลิตภัณฑ์สมุนไพรท้องถิ่น ตลอดจนส่งเสริมการพัฒนาเศรษฐกิจชุมชนได้ในระยะยาว งานวิจัยในอนาคต จะขยายผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องต้นแบบกับพืชสมุนไพรไทยชนิดอื่น ๆ ที่มีความหลากหลายทางโครงสร้าง เช่น กลุ่มใบ หรือกลุ่มดอก ไม่น้อยกว่า 3 ชนิด เพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับสมุนไพรแต่ละประเภท และยืนยันความครอบคลุมในการใช้งานเชิงอุตสาหกรรม

5. เอกสารอ้างอิง

[1] J.R. Roth, S. Nourgostar, T.A. Bonds, The one atmosphere uniform glow discharge plasma (OAUGDP)-A platform technology for the 21st century, IEEE Transactions on Plasma Science, 2007, 35(2), 233-250.

[2] C. Nalwa, A.K. Thakur, Seed quality enhancement through plasma treatment: A review, Indian Journal of Ecology, 2018, 45(3), 472-480.

[3] J. Guo, Z. He, C. Ma, W. Li, J. Wang, F. Lin, X. Liu, L. Li, Evaluation of cold plasma for decontamination of molds and mycotoxins in rice grain, Food Chemistry, 2023, 402, 134159.

[4] S. Abdi, A. Hosseini, M. Moslehishad, D. Dorranian, Decontamination of red pepper using cold atmospheric pressure plasma as alternative technique, Applied Food Biotechnology, 2019, 6(3), 247-254.

[5] B. Thiyam, A. Sharma, R. Pandiselvam, Atmospheric cold plasma: A novel technique for microbial inactivation and quality preservation of spices and herbs, Plant Science Today, 2024, 11, 1-9.

[6] N.N. Misra, S. Patil, T. Moiseev, P. Bourke, J.P. Mosnier, K.M. Keener, P.J. Cullen, In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries, Journal of Food Engineering, 2014, 125, 131-138.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

[7] F. Rashid, Y. Bao, Z. Ahmed, J.-Y. Huang, Effect of high voltage atmospheric cold plasma on extraction of fenugreek galactomannan and its physicochemical properties, Food Research International, 2020, 138(Part A), 109764.

[8] S. Durcanyova, L. Slovakova, M. Klas, J. Tomekova, P. Durina, M. Stupavska, D. Kovacik and A. Zahoranova, Efficacy comparison of three atmospheric pressure plasma sources for soybean seed treatment: Plasma characteristics, seed properties, germination, Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2023, 43, 1863-1885.

[9] L.A. Yanclo, G. Sigge, Z.A. Belay, A.B. Oyenihi, F. October, O.J. Caleb, Effects of Cold Plasma Pretreatment and Cultivar on the Drying Characteristics, Biochemical, and Bioactive Compounds of Tropica' and Keitt Mangoes, Journal of Biosystems Engineering, 2024, 43, 135-155.

[10] J.-W. Bai, D.-D. Li, R. Abulaiti, M. Wang, X. Wu, Z. Feng, Y. Zhu, and J. Cai, Cold plasma as a novel pretreatment to improve the drying kinetics and quality of green peas, Foods, 2025, 14, 84.

[11] A.C. Loureiro, F.C.A. Souza, E.A. Sanches, J.A. Bezerra, C.V. Lamarão, S. Rodrigues, F.A. Fernandes, P. Campelo, Cold plasma technique as a pretreatment for drying fruits: Evaluation of the excitation frequency on drying process and bioactive compounds, Food Research International, 2021, 147, 110462.

[12] N. Thakur, S. N. Vasudevan, Plasma treatment and seed quality advancement: A review, Agricultural Reviews, 2021, 42(2), 197-202.

[13] R. Kumar, P. Singh, S. Kumar, Plasma treatment – A tool to improve seed quality – A review, Advances in Research, 2017, 12(4), 1–6.

[14] J. Durek, A. Fröhling, S. Bußler, A. Hase, J. Ehlbeck, O.K. Schlüter, Pilot-scale generation of plasma processed air and its influence on microbial count, microbial diversity, and selected quality parameters of dried herbs, Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2022, 75, 102890.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2026.04.011

[15] A. Zahoranova, L. Hoppanova, J. Simoncicova, Z. Tucekova, V. Medvecka, D. Hudecova, B. Kalinakova, D. Kovacik, M. Cernak, Effect of cold atmospheric pressure plasma on maize seeds: Enhancement of seedlings growth and surface microorganisms inactivation, Plasma Chemistry and Plasma Processing, 2018, 38, 969-988.

[16] S. Preechayan, K. Tonmitr, A. Suksri, P. Siriputthaiwan, Application of atmospheric plasma : Fungal decontamination on grains, KKU Research Journal, 2009, 14(2), 213-223. (in Thai)

[17] S. Preechayan, K. Tonmitr, A. Suksri, P. Siriputthaiwan, Decontaminate of aflatoxin producing fungi on agriculture products by atmospheric discharge plasma, KKU Research Journal, 2010, 15(3), 202-213. (in Thai)

[18] J. Adeniyi Depiver, S. Sabui, An empirical study on convective drying of ginger rhizomes leveraging environmental stress chambers and linear heat conduction methodology, Agriculture, 2023, 13(7), 1322.