



การประยุกต์วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งเห็ดหลินจือแบบพาความร้อน

คมเพชร อินลา

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์

บัณฑิต กฤตาคม ปฏิวัติ วรามิตร และ รตินันท์ เหลือมพล*

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 4030 7600 อีเมล: ratinun.lu@muti.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.03.007

รับเมื่อ 7 ธันวาคม 2563 แก้ไขเมื่อ 20 มกราคม 2564 ตอรับเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2564 เผยแพร่ออนไลน์ 29 มีนาคม 2565

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบพาความร้อนด้วยการประยุกต์ใช้วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส โดยวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสจะถูกศึกษาที่ขนาดแตกต่างกัน คือ จำนวนช่องต่อหนึ่งนิ้ว 6, 8 และ 12 ช่อง และจำนวนชั้นตาข่าย 4, 8 และ 12 ชั้น ซึ่งจะถูกติดตั้งภายในท่อลมร้อนขาเข้าของห้องอบแห้ง และให้ลมร้อนไหลผ่านวัสดุพูนนี้ด้วยอุณหภูมิและความเร็ววงที่ 70 องศาเซลเซียส และ 2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในการทดลองใช้เห็ดหลินจือเป็นตัวอย่างผลิตภัณฑ์อบแห้ง ซึ่งถูกหั่นเป็นแผ่นให้มีขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ระหว่างกระบวนการอบแห้งมวลของเห็ดหลินจือจะถูกบันทึกทุกๆ 5 นาที จนกว่าเหลือปริมาณความชื้นร้อยละ 10 มาตรฐานเปียก ในงานวิจัยนี้ การสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งจะนำเสนอด้วยตัวแปรความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ และปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกจะถูกใช้ในการพิจารณาพฤติกรรมของการอบแห้งของเห็ดหลินจือ จากผลการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ในช่วง 80-145 นาที โดยการอบแห้งที่ติดตั้งวัสดุพูนภายในท่อลมร้อนจะส่งผลให้ปริมาณความชื้นลดลงได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งระยะเวลาในการอบแห้งจะน้อยลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนช่องต่อหนึ่งนิ้วและจำนวนชั้นตาข่าย โดยที่จำนวนช่องต่อหนึ่งนิ้วจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณความชื้นมากกว่าจำนวนชั้นตาข่าย สำหรับการสิ้นเปลืองพลังงานพบว่า ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 3.70 เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ ถูกพบที่ขนาดตาข่ายจำนวนช่องต่อหนึ่งนิ้วเท่ากับ 8 ช่อง และจำนวนชั้นตาข่ายเท่ากับ 12 ชั้น โดยสามารถลดความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะได้มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 44.28 เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพูน

คำสำคัญ: การอบแห้งแบบพาความร้อน ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส เห็ดหลินจือ

การอ้างอิงบทความ: คมเพชร อินลา, บัณฑิต กฤตาคม, ปฏิวัติ วรามิตร และ รตินันท์ เหลือมพล, “การประยุกต์วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสเพื่อลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งเห็ดหลินจือแบบพาความร้อน,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 32, ฉบับที่ 4, หน้า 830-842, ต.ค.-ธ.ค. 2565.



Application of Wire Mesh Stainless Porous Material for Reduce Energy Consumption in the Convective Drying of Lingzhi Mushroom

Kompet Inla

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture and Technology Rajamangala University of Technology Isan, Surin Campus, Surin, Thailand

Bundit Krittacom, Pathiwat Waramit and Ratinun Luampon*

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering and Architecture Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 4030 7600, E-mail: ratinun.lu@rmuti.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.03.007

Received 7 December 2020 ; Revised 20 January 2021 ; Accepted 15 February 2021; Published online: 29 March 2022

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aimed to reduce energy consumption in the convective drying by applying the wire mesh stainless porous material. The wire mesh stainless porous materials were investigated with different sizes of 6, 8 and 12 PPI (pores per inch) and wire mesh layers (W_L) of 4, 8 and 12 layers which installed inside the hot air duct at the inlet of drying chamber. The hot air flowed through these porous materials at a constant temperature of 70 °C and a velocity of 2 m/s. In the experiment, the lingzhi mushroom sliced at a 3 mm thickness was used as a drying sample. The mass of lingzhi mushroom is recorded at 5 minute intervals during the drying process until reaching the final moisture content of 10 %w.b. Drying energy consumption was investigated with the Specific Energy Consumption (SEC) and wet basis moisture content (M_w) was a parameter for investigating the drying behavior. Based on the experimental result, the drying time was in a range from 80–145 minutes. The porous materials installed inside the hot air duct of a dryer resulted in the rapid decrease of M_w while the drying time decreased with the increase of PPI and W_L . The decreasing of M_w was affected by PPI more than that of W_L . The lowest SEC of 3.70 MJ/kg_{water} was found at PPI=8 and W_L =12 with the greatest reduction of SEC at 44.28% when comparing with the drying process without wire mesh stainless porous material.

Keywords: Convective Drying, Specific Energy Consumption, Wire-net Stainless Porous Material, Ganoderma Lucidum

Please cite this article as: K. Inla, B. Krittacom, P. Waramit, and R. Luampon, "Application of wire mesh stainless porous material for reduce energy consumption in the convective drying of Lingzhi mushroom," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 4, pp. 830–842, Oct.–Dec. 2022 (in Thai).



1. บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนและราคาพลังงานที่สูงขึ้นมีความสำคัญต่อสภาพทางเศรษฐกิจซึ่งเป็นหนึ่งในกลไกหลักในการพัฒนาประเทศในด้านต่างๆ เนื่องจากปริมาณความต้องการทางด้านพลังงานเปลี่ยนแปลงไปตามความต้องการของประชาชนและการเพิ่มขึ้นทุกปีของอุตสาหกรรมอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร การอนุรักษ์พลังงานในกระบวนการอบแห้งและการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์อบแห้งจึงเป็นสิ่งที่ควรสนับสนุนเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าโดยเห็ดหลินจือ (*Ganoderma Lucidum*) เป็นผลผลิตทางการเกษตรที่กำลังเป็นที่นิยมของเกษตรกรเนื่องจากเมื่อแปรรูปแล้วจะมีมูลค่าสูง เป็นเห็ดที่มีสารประโยชน์และสารต่อต้านอนุมูลอิสระมากมาย การบรรจุภัณฑ์เพื่อเก็บรักษาเป็นสิ่งสำคัญที่ควรตระหนักซึ่งจะสามารถป้องกันความชื้นที่เป็นเหตุของการเจริญเติบโตของเชื้อราเนื่องจากเห็ดหลินจือมีความไวต่อความชื้นสูง [1] ปัจจุบันอัตราการเพาะปลูกเห็ดหลินจือมีสูงขึ้น จึงทำให้เห็ดบางส่วนเกิดการเน่าเสียเนื่องจากการจัดเก็บที่ไม่เหมาะสม ส่วนมากเห็ดทุกชนิดจะเน่าเสียภายใน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และ 5-7 วัน ในตู้เย็น [2] เกษตรกรส่วนใหญ่จะเก็บรักษาผลผลิตทางการเกษตรด้วยวิธีการลดความชื้น เพื่อป้องกันการเน่าเสียและการสูญเสียสารประโยชน์ซึ่งจะทำให้มูลค่าทางการตลาดเพิ่ม [3] ดังนั้นการทำแห้งเพื่อให้มีปริมาณความชื้นอยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเน่าเสียก่อนการบรรจุภัณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยยืดอายุ และเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรได้

หลักการทำแห้งผลผลิตทางการเกษตรคือการลดปริมาณความชื้นของผลผลิตให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งมีอยู่หลายวิธี เช่น การตากแห้ง การอบแห้งลมร้อน การอบแห้งไอร้อนยิ่งยวด การอบแห้งอินฟราเรด หรือการอบแห้งบีบความร้อน [4] ในปัจจุบันกระบวนการทำแห้งได้ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแต่ต้องใช้ต้นทุนในการดำเนินการสูง [5] ทำให้เกษตรกรส่วนใหญ่ลดความชื้นผลผลิตทางการเกษตรด้วยการตากแห้ง เนื่องจากการใช้พลังงานจากธรรมชาติที่ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและสามารถใช้ได้อย่างยาวนาน [6] แต่การตากแห้งจะมีศัตรู

และแมลงมารบกวนทำให้ไม่สะอาด ซึ่งอาจเสี่ยงต่อการปนเปื้อนเชื้อโรคที่มาจากสิ่งมีชีวิต และมลภาวะรอบๆ บริเวณพื้นที่ตากแห้ง เช่น ฝุ่นหรือควัน สิ่งเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหารของผู้บริโภค [7] จากปัญหาดังกล่าวการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งลมร้อนจึงถูกนิยมนำไปใช้อย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถควบคุมสภาวะอบแห้งได้ง่าย แต่ยังมีกลิ่นเปลี่ยนแปลงพลังงานสูง [8] จากงานวิจัยที่ได้นำเสนอเกี่ยวกับการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบลมร้อนพบว่า อัตราการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วลมร้อนและอุณหภูมิอบแห้งเพิ่มขึ้น [9]-[11] การลดการสิ้นเปลืองพลังงานในกระบวนการอบแห้งเพื่อลดต้นทุนการผลิตจึงเป็นสิ่งที่คณะผู้วิจัยให้ความสนใจ โดยการประยุกต์ใช้ข้อดีของวัสดุพูนที่มีความสามารถในการดูดซับและแผ่รังสีความร้อนเพื่อให้เกิดการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจะสามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานของการอบแห้งแบบลมร้อนได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมาวัสดุพูนหลายชนิดถูกนำมาใช้ส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนหลายอย่าง เช่น วัสดุพูนชนิดเม็ดอะลูมิเนียม [12] วัสดุพูนชนิดเม็ดเซรามิก [13] วัสดุพูนชนิดโฟมอะลูมินา [14] วัสดุพูนชนิดเซลลูโลสเปิด [15] หรือวัสดุพูนชนิดตาข่าย [16]

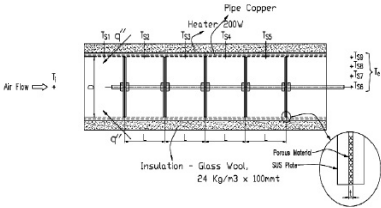
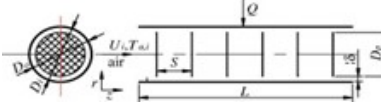
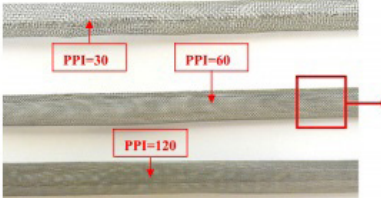
โดยในงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจวัสดุพูนชนิดตาข่ายเป็นหลัก เนื่องจากเครื่องอบแห้งที่ทำการศึกษานี้จะใช้ลมร้อนไหลภายในท่อก่อนที่จะไหลเข้าไปสู่ตู้อบแห้ง ซึ่งการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจะใช้แนวคิดที่ได้มีการศึกษาไว้แล้วดังนี้ Pluemsud และ Sanitjai [16] ได้ทำการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายเหล็กภายในท่อลมร้อนพบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) จะมีค่าเพิ่มขึ้น 1.2-3.2 เท่า Huang และคณะ [17] ได้ศึกษาการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนภายในท่อกลมด้วยการติดตั้งแผ่นวัสดุพูนชนิดตาข่ายทองแดงที่มีค่าความพูน 0.951, 0.966 และ 0.975 ระยะเวลาห่างระหว่างแผ่น 5, 10 และ 20 มิลลิเมตร พบว่า สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ 1.6-5.5 เท่า เมื่อเทียบกับท่อเปล่า Tu และคณะ [18] ได้ศึกษาการส่งเสริมการพาความร้อนภายในท่อกลมขนาดเล็กด้วยการใส่ลวดตาข่ายที่ผิวด้านในท่อพบว่า ลวดตาข่ายจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว

เท่ากับ 60 จะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) ได้ สูงที่สุดประมาณ 2.3–2.6 เท่า Baragh และคณะ [19] ได้ ทำการติดตั้งตาข่ายอะลูมิเนียม AISI 1010 จำนวนช่องว่าง ต่อหนึ่งนิ้วเท่ากับ 17 ที่มีขนาดแตกต่างกันเข้าไปในท่อกลม ขนาด 7 มิลลิเมตร พบว่า การติดตั้งตาข่ายขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร จะทำให้มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน สูงที่สุด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการศึกษาค่าการใช้วัสดุ พรุณชนิดตาข่าย เพื่อส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนของอากาศ ภายใต้อุณหภูมิเพื่อนำความร้อนไปใช้งานในลักษณะต่างๆ เช่น Velmurugan และคณะ [20] ได้ติดตั้งตาข่ายเหล็กบนแผ่นรับ รังสีความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้น Singh และคณะ [21] ได้ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอุ่นอากาศพลังงาน แสงอาทิตย์ด้วยการติดตั้งตาข่ายอะลูมิเนียมพบว่า การติดตั้ง ตาข่ายอะลูมิเนียมสามารถผลิตอากาศร้อนได้อุณหภูมิสูงขึ้น เฉลี่ย 15.5 องศาเซลเซียส Kurian และคณะ [22] ได้ศึกษา ประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross-flow Liquid-to-gas ด้วยการติดตั้งตาข่ายสแตนเลส พบว่า การติดตั้งตาข่ายสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu)

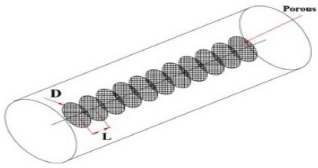
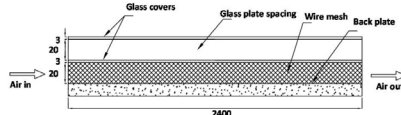
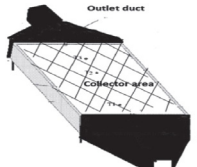

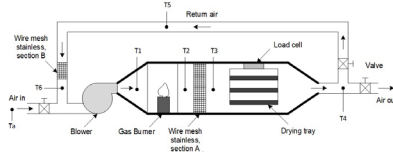
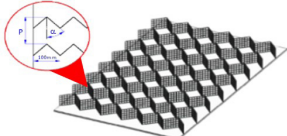
ได้เฉลี่ย 2.25 เท่า เมื่อเทียบกับไม่ติดตั้งตาข่าย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าวัสดุพรุณตาข่ายชนิด ต่างๆ สามารถส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนของอากาศร้อนที่ ไหลภายในท่อได้ ทำให้ในช่วง พ.ศ. 2559–2562 วัสดุพรุณชนิด ตาข่ายจึงได้ถูกนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อส่งเสริม การถ่ายเทความร้อน และลดการสิ้นเปลืองพลังงานในการ อบแห้งเนื้อปลานิลและมันสำปะหลังแผ่นพบว่า การอบแห้ง ที่ให้ลมร้อนไหลผ่านตาข่ายสแตนเลส เกรด 304 จะมีค่าการ สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าการอบแห้งแบบทั่วไป เนื่องจาก ตาข่ายสแตนเลสมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ต่อปริมาตรมาจึง เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดี และยังสามารถใน การกักเก็บและแผ่รังสีพลังงานความร้อนได้ อีกทั้งยังไม่เกิด สนิม [23], [24] (งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุพรุณชนิด ตาข่ายเพื่อส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนแสดงได้ดังตารางที่ 1) จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้นำข้อดีของวัสดุ พรุณตาข่ายชนิดต่างๆ ไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์หลายอย่าง แต่การนำไปใช้ร่วมกับกระบวนการอบแห้งยังมีน้อยและยัง ไม่ถูกนำไปศึกษาร่วมกับการอบแห้งแบบพาความร้อนของ การอบแห้งเห็ดหลินจือ

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความร้อนด้วยวัสดุพรุณชนิดตาข่าย

ชนิดตาข่าย	การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ตาข่ายเหล็ก เหนียว	การไหล ในท่อกลม 	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) เพิ่มขึ้น 1.2–3.2 เท่า	[16]
ตาข่ายทองแดง	การไหล ในท่อกลม 	อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่ม ขึ้น 1.6–5.5 เท่า	[17]
ตาข่ายสแตนเลส	การไหล ในท่อกลม 	เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น 2.3–2.6 เท่า	[18]

ตารางที่ 1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการส่งเสริมความร้อนด้วยวัสดุพรุนชนิดตาข่าย (ต่อ)

ชนิดตาข่าย	การทดลอง	ผลการทดลอง	เอกสารอ้างอิง
ตาข่ายอะลูมิเนียม AISI 1010	การไหลในท่อกลม 	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงขึ้น	[19]
ตาข่ายเหล็ก	แผ่นรับรังสีอาทิตย์ 	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น	[20]
ตาข่ายอะลูมิเนียม	แผ่นรับรังสีอาทิตย์ 	ผลิตอากาศร้อนอุณหภูมิสูงขึ้นเฉลี่ย 15.5 องศาเซลเซียส	[21]
ตาข่ายสแตนเลส	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross-flow liquid-to-gas 	เลขนัสเซิลท์เพิ่มขึ้น 2.25 เท่า	[22]
ตาข่ายสแตนเลส	เครื่องอบแห้งเนื้อปลานิลแบบลมร้อน 	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงร้อยละ 15.52 (without return air) ร้อยละ 62.21 (with return air)	[24]
ตาข่ายสแตนเลส	แผ่นรับรังสีอาทิตย์ 	ตัวประกอบการส่งเสริมทางความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น 1.14-2.58 เท่า	[30]

ด้วยเหตุผลดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องอบแห้งเห็ดหลินจือร่วมกับการใช้วัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลส จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาท่อนำหน้าของ Luampon และคณะ [24] ที่ได้ใช้ตาข่ายจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้วคงที่เท่ากับ 8 มาวางซ้อนกันจำนวน 6 ชั้น แล้วนำไปติดตั้งที่บริเวณทางเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งเนื้อปลานิล ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาเพิ่มเติมด้วยการใช้ขนาดของตาข่ายที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ส่งผลต่อการสิ้นเปลืองพลังงาน

และพฤติกรรมการอบแห้ง โดยการสิ้นเปลืองพลังงานจะนำเสนอในรูปของตัวแปร ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และพฤติกรรมการอบแห้งจะนำเสนอในรูปของตัวแปร ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (M_w)

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

2.1 การวิเคราะห์พฤติกรรมการอบแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis Moisture Content; M_w) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงอัตราส่วนของปริมาณน้ำที่

มีอยู่ในวัสดุอบแห้งต่อมวลเปียก สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (1) [25], [26]

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

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption; SEC) คือ ค่าที่บ่งบอกประสิทธิภาพการอบแห้ง หรือพลังงานที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 กิโลกรัมระเหยออก [24] สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2)

$$SEC = \frac{E_{blower} + E_{gas}}{m_{water, evap}} \quad (2)$$

$$E_{gas} = (LHV)(\dot{m}_{gas})(t) \quad (3)$$

$$E_{blower} = P \times t \quad (4)$$

โดยที่

M_w คือ ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (ร้อยละมาตรฐานเปียก)

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (เมกะจูลต่อกิโลกรัมน้ำ)

w คือ มวลเปียกของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)

d คือ มวลแห้งของผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)

$m_{water, evap}$ คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากผลิตภัณฑ์ (กิโลกรัม)

E_{blower} คือ ปริมาณพลังงานสิ้นเปลืองของ โบลเวอร์ (เมกะจูล)

E_{gas} คือ ปริมาณพลังงานสิ้นเปลืองของ หัวเผา LPG (เมกะจูล)

LHV คือ ค่าความร้อนของแก๊ส = 46.607 เมกะจูลต่อกิโลกรัม

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (วินาที)

P คือ กำลังไฟฟ้าของโบลเวอร์ (วัตต์)

\dot{m}_{gas} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สที่ใช้ในการอบแห้ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

2.2 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

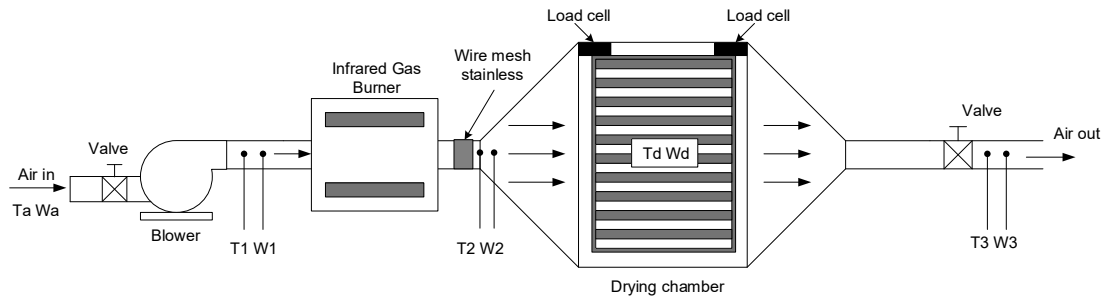
2.2.1 เครื่องอบแห้ง

เครื่องอบแห้งทำมาจากโครงเหล็กและเหล็กแผ่นที่ถูกปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนไฟเบอร์กลาส ภายในห้องอบแห้งประกอบด้วย ถาดอบแห้งที่ทำมาจากตาข่าย สแตนเลส ซึ่งจะถูกแขวนไว้กับ Load Cell เพื่อวัดมวลของผลิตภัณฑ์อบแห้ง อากาศร้อนจะไหลเข้าไปในห้องอบแห้งด้วยโบลเวอร์ และไหลออกจากห้องอบแห้งพร้อมกับความชื้นโดยไม่มีการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ หัวเผา LPG แบบอินฟราเรด จะใช้เป็นแหล่งพลังงานความร้อนเพื่อผลิตความร้อนให้ไหลผ่านวัสดุพูนซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่ท่อลมร้อนขาเข้าของห้องอบแห้ง และถูกต่อเข้ากับ Gas Flow Meter เพื่อวัดอัตราการไหล LPG (\dot{m}_{gas}) สำหรับการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จะใช้ K-type Thermocouples และการวัดความชื้นสัมพัทธ์ จะใช้ Relative Humidity Sensors โดย Load Cell, Thermocouples และ Relative Humidity Sensors จะถูกต่อเข้ากับ Data Logger เพื่อแสดงผลการทดลองและบันทึกข้อมูลเพื่อนำไปวิเคราะห์ผล ซึ่งส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งและตำแหน่งของเครื่องมือวัดต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 1

เพื่อความแม่นยำของเครื่องมือวัด การวัดอุณหภูมิด้วย K-type Thermocouple จะถูกสอบเทียบความแม่นยำด้วยวิธี Grant Water Bath (Grant Instruments, Cambridge, UK) ซึ่งมีความแม่นยำ ± 0.5 องศาเซลเซียส (5–90 องศาเซลเซียส) การวัดมวลด้วย Load Cell จะถูกสอบเทียบในห้องปฏิบัติการด้วยวิธี Actual Load ซึ่งมีความแม่นยำร้อยละ ± 0.1 และมีความละเอียด 0.01 กิโลกรัม การวัดความชื้นสัมพัทธ์ด้วย Relative Humidity Sensor จะถูกสอบเทียบมาจากโรงงานผลิตด้วยความแม่นยำร้อยละ ± 2 และการวัดอัตราการไหลของ LPG ด้วย Gas Flow Meter แบบ Rotameter ยี่ห้อ Nitto K-300 ความละเอียด 0.1 ลิตรต่อนาที จะถูกสอบเทียบมาจากโรงงานผลิตด้วยความแม่นยำร้อยละ ± 2.5

2.2.2 การเตรียมเห็ดหลินจือ

ในการทดลองจะใช้เห็ดหลินจือที่มาจากแหล่งเดียวกันภายในจังหวัดนครราชสีมา โดยเลือกดอกเห็ดที่มีขนาดใกล้เคียงกันแล้วหันให้เป็นแผ่นขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งลมร้อนจากหัวเผาไหม้แบบอินฟราเรดที่มีการติดตั้งวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส (T_a = อุณหภูมิอากาศภายนอก T_1 = อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าหัวเผา T_2 = อุณหภูมิอากาศขาเข้าห้องอบแห้ง T_3 = อุณหภูมิอากาศขาออกห้องอบแห้ง T_d = อุณหภูมิอากาศภายในห้องอบแห้ง W_a = ความชื้นอากาศภายนอก W_1 = ความชื้นอากาศก่อนเข้าหัวเผา W_2 = ความชื้นอากาศขาเข้าห้องอบแห้ง W_3 = ความชื้นอากาศขาออกห้องอบแห้ง W_d = ความชื้นอากาศภายในห้องอบแห้ง)

แล้วนำไปเก็บในตู้เย็นด้วยถุงที่ปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ตัวอย่างเห็ดหลินจือที่ได้หั่นเตรียมไว้จะถูกนำไปหาปริมาณความชื้นเริ่มต้นตามวิธีการมาตรฐาน AOAC 1990 [27] โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง ครั้งละ 10 ตัวอย่าง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของเห็ดหลินจือมีค่าเท่ากับร้อยละ 72 ± 2 มาตรฐานเปียก

2.2.3 วิธีการทดลอง

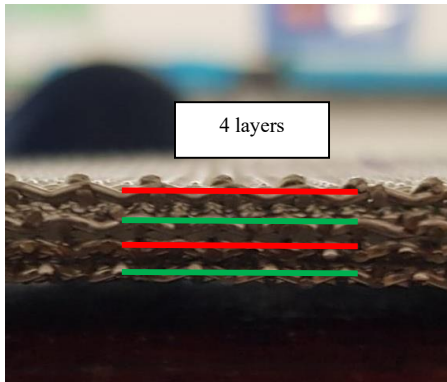
วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสจะถูกเตรียมให้มีขนาดตามที่ได้กำหนดไว้ แล้วจะนำไปติดตั้งไว้ที่บริเวณท่อลมร้อนขาเข้าของห้องอบแห้ง โดยวัสดุพูนที่ใช้จะเป็นตาข่าย สแตนเลสเกรด 304 ที่มีคุณสมบัติไม่เป็นสนิมมีขนาดความพูนหรือจำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (Pores Per Inch; PPI) 6, 8 และ 12 ช่อง ความหนาของชั้นตาข่าย 4, 8 และ 12 ชั้น (รูปที่ 2) จากนั้นจะนำไปติดตั้งที่บริเวณท่อทางเข้าห้องอบแห้ง แล้วทำการควบคุมอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่ 70 องศาเซลเซียส ด้วยการปรับอัตราการไหลของ LPG ที่วาล์วควบคุมแรงดันถึงแก๊ส และความเร็วมอเตอร์ของ 2 เมตรต่อวินาที ด้วยการปรับ Voltage Regulator ที่ต่ออยู่กับ Blower โดยอุณหภูมิจะถูกวัดด้วย K-type Thermocouple ซึ่งสามารถแสดงผลด้วยการต่อเข้ากับ Data Logger และความเร็วมอเตอร์จะถูกวัดด้วย Digital Anemometer (ตำแหน่ง T_d ในรูปที่ 1) เมื่อสภาวะอบแห้งคงที่ตามที่กำหนดจะนำเห็ดหลินจือ

ที่ได้เตรียมไว้ไปวางบนถาดอบแห้งที่อยู่ในห้องอบแห้งไม่ให้ซ้อนทับกันด้วยมวล 1 กิโลกรัม จากการชั่งด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล ยี่ห้อ JSP รุ่น DM3-3K ความละเอียด 0.1 กรัม ความคลาดเคลื่อน ± 0.5 กรัม หลังจากที่เราวางเห็ดหลินจือเข้าไปในห้องอบแห้งแล้วจะทำการบันทึกค่าเริ่มต้นก่อนการทดลอง เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ตำแหน่งต่างๆ อัตราการไหล LPG และมวลของเห็ดหลินจือ จากนั้นกระบวนการอบแห้งจะดำเนินการไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าปริมาณความชื้นของเห็ดหลินจือมีค่าเท่ากับร้อยละ 10 ± 2 มาตรฐานเปียก (ได้จากการคำนวณปริมาณความชื้นของเห็ดหลินจือแห้งที่มีตามท้องตลาด) ระหว่างการทดลองผลที่ได้จะถูกบันทึกใน Data Logger ยี่ห้อ Graphtec รุ่น GL820 ทุกๆ 5 นาที โดยการทดลองทั้งหมดจะดำเนินการทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองต่อไป

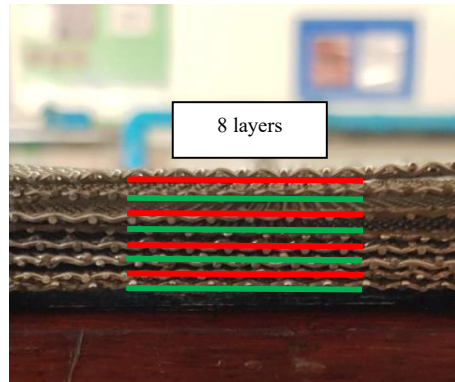
3. ผลการทดลอง

3.1 อิทธิพลของขนาดวัสดุพูนที่มีต่อปริมาณความชื้น

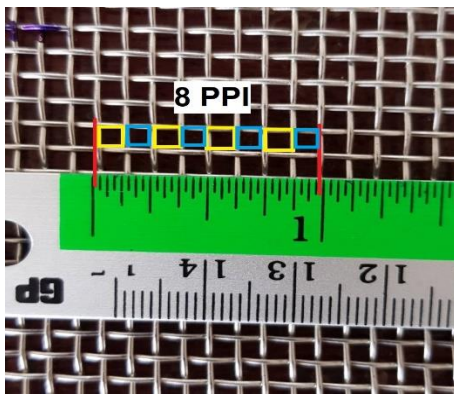
ในการศึกษาอิทธิพลของวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่มีต่อปริมาณความชื้น (M_w) จะถูกดำเนินการด้วยขนาดของวัสดุพูนที่แตกต่างกัน คือ จำนวนช่องว่างต่อหนึ่งนิ้ว (PPI) 0, 6, 8 และ 12 ช่อง จำนวนชั้นตาข่าย (W_L) 0, 4, 8 และ 12 ชั้น (PPI = 0 และ $W_L = 0$ คือ ไม่มีการติดตั้งวัสดุพูน) ใน



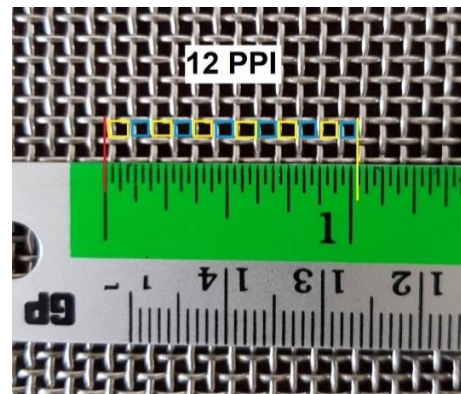
(ก) ตัวอย่างการวางวัสดุพรุนชนิดตาข่าย สแตนเลสจำนวน 4 ชั้น



(ข) ตัวอย่างการวางวัสดุพรุนชนิดตาข่าย สแตนเลสจำนวน 8 ชั้น



(ค) ตัวอย่างการวัดค่า PPI (จำนวน 8 ช่องต่อหนึ่งนิ้ว)

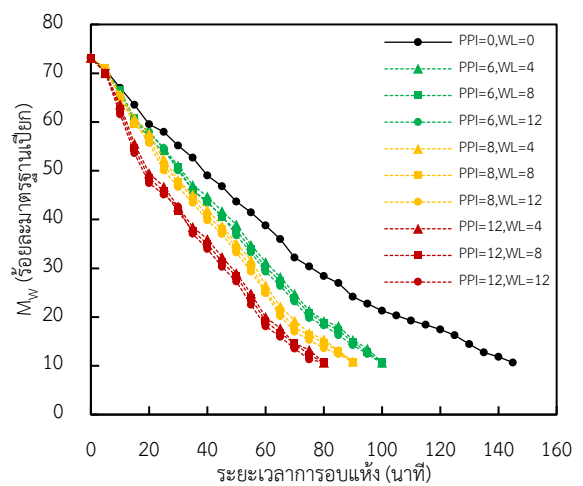


(ง) ตัวอย่างการวัดค่า PPI (จำนวน 12 ช่องต่อหนึ่งนิ้ว)

รูปที่ 2 การวัดค่า PPI และ W_L

การทดลองอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนจะถูกควบคุมให้คงที่ 70 องศาเซลเซียส และ 2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากผลการทดลองอิทธิพลของขนาดวัสดุพรุนที่มีต่อค่า M_w แสดงได้ดังรูปที่ 3

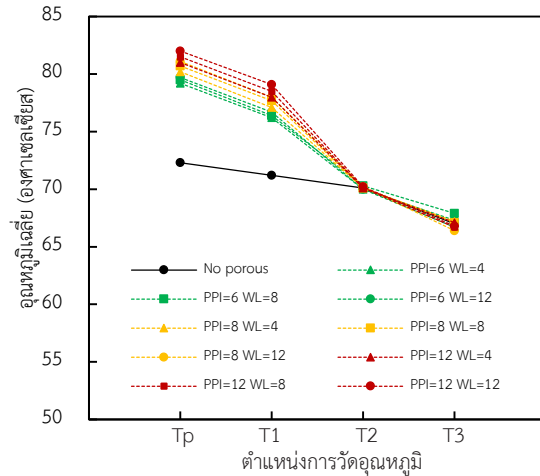
พบว่าการอบแห้งจะใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 80-145 นาที โดยระยะเวลาการอบแห้งจะลงได้อย่างชัดเจนเมื่อทำการติดตั้งวัสดุพรุน เมื่อพิจารณาที่ขนาด PPI เดียวกันพบว่า ขนาด W_L เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า M_w ลดลงแตกต่างกันเล็กน้อย และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาที่ขนาด W_L เดียวกันพบว่า เมื่อขนาด PPI เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า M_w และระยะเวลาในการอบแห้งลดลงแตกต่างกันอย่างชัดเจน คือขนาด PPI = 6, 8 และ 12 จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้ง 100, 90 และ 80 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 3 อิทธิพลของขนาดวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่มีต่อปริมาณความชื้น (M_w)

จากทฤษฎีการอบแห้งพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งมากที่สุดคือ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วอากาศ และความชื้นอากาศ [28] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ควบคุมอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนให้คงที่ จึงส่งผลให้พฤติกรรมการอบแห้งมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและไม่แตกต่างกันในขนาด PPI เดียวกัน แต่จะแตกต่างกันอย่างชัดเจนเมื่อขนาด PPI เปลี่ยนเนื่องจากการลดลงของ M_w ได้รับผลกระทบจากรูปแบบการไหลของอากาศที่ผ่านวัสดุพอร์นซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อลมร้อนไหลผ่านช่องขนาดเล็กของตาข่ายสแตนเลส การส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนและมวลจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากอากาศที่ไหลผ่านวัสดุพอร์นจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วนและหมุนวนมากขึ้น เช่นเดียวกับการไหลของอากาศภายในช่องสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งครีบบที่มีช่องว่าง และรูพอร์นซึ่งถูกอธิบายไว้ในงานวิจัยของ Kurian และคณะ [22] Kumar และคณะ [29] Luampon และ Krittakom [30] จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และการถ่ายเทความร้อนระหว่างลมร้อนกับผลิตภัณฑ์อบแห้งมีค่าสูงขึ้น และยังช่วยให้อุณหภูมิสามารถกระจายตัวในห้องอบแห้งได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจากผลการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่าขนาด PPI จะส่งผลต่อการลดลงของ M_w มากกว่า W_L เนื่องจากทำให้เกิดกระแสการไหลแบบหมุนวนของอากาศมากขึ้น

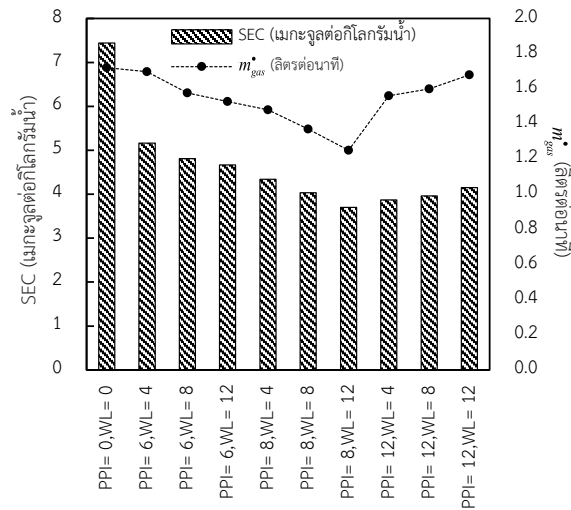
เมื่อพิจารณาอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในเครื่องอบแห้งซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4 พบว่า ที่ตำแหน่ง T_p จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อมีการติดตั้งวัสดุพอร์น เนื่องจากวัสดุพอร์นได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนจากหัวเผาไหม้แบบอินฟราเรด และจากลมร้อนที่ไหลผ่าน โดยที่ขนาดของวัสดุพอร์นเพิ่มขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ตำแหน่ง T_p จะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย จึงเกิดปรากฏการณ์ดูดซับและแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุพอร์นการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีจึงเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อกลไกการอบแห้ง [31] แม้ว่าอุณหภูมิของวัสดุพอร์นจะมีค่าต่ำจนทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน [16] แต่ก็ยังส่งผลให้ปริมาณความชื้นสามารถลดลงหรือระเหยออกจากผลิตภัณฑ์อบแห้งได้รวดเร็วมากกว่าการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพอร์น ถึงแม้จะมี



รูปที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละตำแหน่งของเครื่องอบแห้ง (T_p = อุณหภูมิของวัสดุพอร์น)

การควบคุมการพาความร้อนในห้องอบแห้งให้มีอุณหภูมิและความเร็วลมร้อนคงที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้เมื่อทำการติดตั้งวัสดุพอร์น จึงทำให้พฤติกรรมการอบแห้งไม่มีเพียงแต่การได้รับความร้อนจากการพาความร้อนเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

นอกจากนี้เมื่ออุณหภูมิของผลิตภัณฑ์อบแห้งสูงขึ้นจนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของลมร้อน การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนจึงไม่เกิดขึ้น แต่ปรากฏการณ์การถ่ายเทมวลของความชื้นที่อยู่ภายในผลิตภัณฑ์อบแห้งยังคงเกิดการถ่ายเทตลอดเวลา เนื่องจากเมื่อมีอากาศไหลผ่านผลิตภัณฑ์อบแห้งจะให้ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศที่บริเวณผิวผลิตภัณฑ์อบแห้งจะมีค่าต่ำกว่าความดันย่อยของไอน้ำภายในผลิตภัณฑ์อบแห้ง จึงทำให้ความชื้นที่อยู่ภายในเกิดการเคลื่อนที่ออกมายังผิวของผลิตภัณฑ์อบแห้งและถูกพาออกไปกับอากาศที่ไหลผ่าน จนกระทั่งความดันย่อยของไอน้ำในผลิตภัณฑ์อบแห้งมีค่าเท่ากับความดันย่อยของไอน้ำในอากาศ การถ่ายเทมวลจึงหยุดลงหรือผลิตภัณฑ์อบแห้งมีปริมาณความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุล และในขณะเดียวกันอุณหภูมิของวัสดุพอร์นจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผิวของผลิตภัณฑ์อบแห้ง การอบแห้งจึงได้รับการส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีของวัสดุพอร์นด้วย [30], [31]



รูปที่ 5 อิทธิพลของขนาดวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) และอัตราการไหล LPG (m_{gas}^*)

3.2 อิทธิพลของขนาดวัสดุพูนที่มีต่อความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

รูปที่ 5 แสดงผลของขนาดวัสดุพูนที่มีต่อค่า SEC และอัตราการไหล LPG (m_{gas}^*) จากผลการทดลองพบว่า ค่า SEC จะอยู่ในช่วงระหว่าง 3.70–7.44 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำ โดยการออกแบบที่มีการติดตั้งวัสดุพูนจะสามารถลดค่า SEC ลงได้ เนื่องจากค่า SEC จะถูกควบคุมด้วย 2 ตัวแปรหลัก คือ ระยะเวลาในการอบแห้งและอัตราการไหล LPG เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการอบแห้งจากรูปที่ 3 พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลงเมื่อขนาด PPI เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ขนาด PPI เดียวกัน เช่น PPI = 6 W_L = 4, 8 และ 12 พบว่า ระยะเวลาในการอบแห้งจะไม่แตกต่างกัน แต่ SEC ยังคงมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก m_{gas}^* มีค่าต่ำลง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ คุณสมบัติของวัสดุพูนชนิดตาข่ายจะมีความสามารถในการดูดซับ และกักเก็บพลังงานความร้อน ทำให้เมื่อมีอากาศไหลผ่านจะได้รับพลังงานจากตัววัสดุพูนอากาศที่ไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ต้องปรับลดค่า m_{gas}^* ให้น้อยลงด้วยการปรับวาล์วควบคุมอัตราการไหล เพื่อรักษาอุณหภูมิในห้องอบแห้งให้คงที่ตามที่กำหนด จึงส่งผล

ให้ SEC มีค่าลดลง นอกจากนี้งานวิจัยของ Krittacom และ Kamiuto [15] Pluemsud และ Sanitjai [16] Huang และคณะ [17] Wang และคณะ [18] ได้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นไว้ว่า การส่งเสริมการถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้วัสดุพูนจะมีปรากฏการณ์เกิดขึ้น 2 อย่าง คือ การดูดซับและการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งตัววัสดุพูนเมื่อได้รับความร้อนจากหัวเผา LPG และอากาศร้อนที่ไหลผ่าน จะเกิดการดูดซับความร้อนไว้ในตัววัสดุพูนจนได้ปริมาณที่เพียงพอที่จะเกิดการแผ่รังสีความร้อน จึงทำให้สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศที่ไหลผ่าน และสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของวัสดุพูนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งปรากฏการณ์การพาความร้อน และการแผ่รังสีจะสามารถเกิดขึ้นได้พร้อมๆ กัน ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของวัสดุพูนจะมีค่าต่ำจนทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีน้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อน ดังนั้นนอกจากอิทธิพลของการพาความร้อนกระบวนการอบแห้งยังได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีความร้อนเข้าไปยังห้องอบแห้งและการแผ่รังสีความร้อนกลับไปยังอากาศที่ไหลเข้ามาให้มีพลังงานเพิ่มขึ้น จึงทำให้ใช้อัตราการไหลของ LPG ลดลง

จากผลการทดลองในรูปที่ 5 เมื่อพิจารณาขนาด PPI = 6 และ 8 พบว่า m_{gas}^* จะลดลงตามค่า W_L ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ SEC มีค่าลดลง โดย m_{gas}^* ของการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพูนจะมีค่าเท่ากับ 1.72 ลิตรต่ออนาที จากนั้นจะลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าต่ำที่สุดเท่ากับ 1.25 ลิตรต่ออนาที ที่ขนาด PPI = 8 และ W_L = 12 และจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มขนาดของวัสดุพูนเป็น PPI = 12 W_L = 4, 8 และ 12 จึงส่งผลให้ SEC เริ่มมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการดูดซับความร้อนที่มากขึ้นตามขนาดของวัสดุพูนที่เพิ่มขึ้น โดยวัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลส เมื่อมีขนาดเพิ่มขึ้นจะทำให้มีเนื้อของวัสดุพูนเพิ่มขึ้นหรือมีปริมาตรมากขึ้น [31]–[33] จึงเกิดการดูดซับพลังงานความร้อนในปริมาณที่สูงขึ้น ทำให้ต้องใช้ m_{gas}^* เพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในห้องอบแห้งให้คงที่ตามที่กำหนด จึงส่งผลให้มีค่า SEC เพิ่มขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ค่า SEC ที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 3.70 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำ ถูกพบที่ขนาดของวัสดุพูน PPI = 8 และ W_L = 12 ซึ่งสามารถลดค่า SEC ลงได้ร้อยละ 44.28 เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้ง



วัสดุพูน ($PPI = 0$ และ $W_L = 0$)

นอกจากนี้เมื่อขนาดของวัสดุพูนเพิ่มขึ้นทำให้มีค่าความพรุนลดลงหรือมีช่องว่างของอากาศน้อยลง จึงส่งผลกระทบต่อ การไหลของอากาศร้อนเกิดความดันตก (Pressure Drop) การสิ้นเปลืองพลังงานของโบลเวอร์จึงเพิ่มขึ้น แต่จะส่งผลกระทบต่อ น้อยมากเมื่อเทียบกับการสิ้นเปลืองพลังงานจากการเผาไหม้ LPG [31]–[33]

4. อภิปรายผลและสรุป

วัสดุพูนชนิดตาข่ายสแตนเลสที่ถูกติดตั้งภายในท่อลมร้อนเข้าห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบพาความร้อนจะส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมรอบแห้ง และการสิ้นเปลืองพลังงานในการอบแห้งที่เห็นผลชัดเจนคือ จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งที่มีการติดตั้งวัสดุพูนจะดีกว่าไม่ติดตั้งวัสดุพูน เนื่องจากการอบแห้งจะได้รับอิทธิพลจากการไหลแบบปั่นป่วน หรือ หมุนวนของอากาศที่ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการแผ่รังสีเพิ่มขึ้น โดยการติดตั้งวัสดุพูนที่มีขนาด PPI และ W_L เพิ่มขึ้นทำให้ค่า M_w สามารถลดลงได้อย่างรวดเร็วและใช้ระยะเวลาในการอบแห้งสั้นลง ซึ่งในงานวิจัยนี้ ระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลงจาก 145 นาที เหลือ 80 นาที และขนาด PPI จะส่งผลกระทบต่อลดลงของ M_w มากกว่า W_L

สำหรับการศึกษาการสิ้นเปลืองพลังงานพบว่า ค่า SEC จะอยู่ในช่วงระหว่าง 3.70–7.44 เมกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำ โดยค่า SEC จะลดลงเมื่อ PPI และ W_L เพิ่มขึ้นในช่วง 6–8 และ 4–12 ตามลำดับ แต่เมื่อขนาด $PPI = 12$ ในทุกขนาด W_L กลับพบว่า ค่า SEC จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจาก m_{gas}^* เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับพลังงานในเนื้อวัสดุพูนที่มีปริมาตรมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ SEC มีค่าต่ำที่สุด จะถูกพบที่ขนาด $PPI = 8$ และ $W_L = 12$ ซึ่งสามารถลด การสิ้นเปลืองพลังงานได้ร้อยละ 44.28 เมื่อเทียบกับการอบแห้งที่ไม่มีการติดตั้งวัสดุพูน โดยผลการวิจัยจะมีประโยชน์ ต่อกระบวนการอบแห้งที่ต้องการลดการสิ้นเปลืองพลังงานเป็นหลัก ซึ่งจะสามารถนำไปประยุกต์และพัฒนาต่อยอดได้ ในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้ได้ทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ประจำปีงบประมาณ 2562 ซึ่งคณะผู้เขียนบทความขอขอบพระคุณสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยการพัฒนาในเทคโนโลยีของ วัสดุพูน (Development In Technology of Porous Material Research Laboratory; DiTo-Lab) สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ช่วยสนับสนุนและเอื้อเฟื้อสถานที่สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. A. Olufayo and O. J. Ogunkunle, "Natural drying of cassava chips in the humid zone of Nigeria," *Bioresource Technology*, vol. 58, no. 1, pp. 89–91, 1996.
- [2] A. Motevali, S. Minaei, M. H. Khoshtaghaza, and H. Amirnejat, "Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices," *Energy*, vol. 36, no. 11, pp. 6433–6441, 2011.
- [3] U. Singh, S. K. Jain, A. Doshiz, H. K. Jain, and V. K. Chahar, "Effects of pretreatments on drying characteristics of button mushroom," *International Journal of Food Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 208–219, 2008.
- [4] C. Ausra, N. Henrikas, R. Algirdas, and Z. Egidijus, "Usage of hybrid solar collector system in drying technologies of medicinal plants," *Energy Conversion and Management*, vol. 93, no. 15, pp. 399–405, 2015.
- [5] A. P. Camila, K. Chandan, D. C. Fernanda, and M. A. Karim, "Heat and mass transfer modeling of the Osmo-convective drying of Yacon roots



- (*Smallanthus Sonchifolius*),” *Applied Thermal Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 23–32, 2014.
- [6] H. Kuanpradit, A. Kunchornrat, and T. Tavattana, “The development of solar parabolic concentrators in drying process for agricultural products,” *Journal of Industrial Education*, vol. 7, no. 2, pp. 81–90, 2012 (in Thai).
- [7] S. VijayaVenkataRaman, S. Iniyan, and R. Goic, “A review of solar drying technologies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 5, pp. 2652–2670, 2012.
- [8] T. Swasdisevi, S. Devahastin, P. Sa-Adchom, and S. Soponronnarit, “Mathematical modeling of combined far-infrared and vacuum drying banana slice,” *Journal of Food Engineering*, vol. 92, no. 1, pp. 100–106, 2009.
- [9] P. Toomthong, U. Teeboonma, P. Somsila, and T. Homchampa, “Study on drying behavior of tilapia nilotica using hot air,” *Agricultural Science Journal*, vol. 43, no. 3, pp. 115–118, 2012 (in Thai).
- [10] D. I. Onwude, N. Hashima, K. Abdan, R. Janius, and G. Chen, “The effectiveness of combined infrared and hot-air drying strategies for sweet potato,” *Journal of Food Engineering*, vol. 241, pp. 75–87, 2019.
- [11] S. Sothong and K. Ruaypom, “The development of drying of chanthaburi pepper by fluidized bed technique using hot air application,” *Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 97–104, 2016 (in Thai).
- [12] M. A. Mujeebu, M. Z. Abdullahab, and A. A. Mohamad, “Development of energy efficient porous medium burners on surface and submerged combustion modes,” *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5132–5139, 2011.
- [13] R. Mital, J. P. Gore, and R. Viskanta, “A study of the structure of submerged reaction zone in porous ceramic radiant burners,” *Combustion and Flame*, vol. 111, no. 3, pp. 175–184, 1997.
- [14] H. Gao, Z. Qu, X. Feng, and W. Tao, “Combustion of methane/air mixtures in a two-layer porous burner: A comparison of alumina foams, beads, and honeycombs,” *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 52, pp. 215–220, 2014.
- [15] B. Krittacom and K. Kamiuto, “Radiation emission characteristics of an open-cellular porous burner,” *Journal of Thermal Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 13–24, 2009.
- [16] C. Pluemsud and S. Sanitjai, “Effect of porous media on forced convective heat transfer enhancement in a circular pipe,” in *Proceedings of the 21th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 2007, pp. 1–17 (in Thai).
- [17] Z. F. Huang, A. Nakayama, K. Yang, C. Yang, and W. Liu, “Enhancing heat transfer in the core flow by using porous medium insert in a tube,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, no. 5–6, pp. 1164–1174, 2010.
- [18] W. Tu, Y. Wang, Y. Tang, and J. Xu, “Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube with mesh cylinder inserts,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 75, pp. 130–136, 2016.
- [19] S. Baragh, H. Shokouhmand, and S. S. M. Ajarostaghi, “Experiments on mistflow and heat transfer in a tube fitted with porous media,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 137, pp. 388–398, 2019.



- [20] P. Velmurugan and P. Ramesh, "Evaluation of thermal performance of wire mesh solar air heater," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 12–14, 2011.
- [21] S. K. Singh, N. Agarwal, and V. Tirth, "Performance analysis of solar air heater using three wire mesh," *MIT International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 13–17, 2015.
- [22] R. Kurian, C. Balaji, and S. P. Venkateshan, "Experimental investigation of near compact wire mesh heat exchangers," *Applied Thermal Engineering*, vol. 108, no. 5, pp. 1158–1167, 2016.
- [23] R. Luampon and B. Krittakom, "Study drying kinetic of tilapia using hot air flowing through the porous media," presented at the 13th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium, Udon Thani, Thailand, 2016 (in Thai).
- [24] R. Luampon, S. Bunchan, and B. Krittakom, "Specific energy consumption improvement with applying stainless wire mesh porous material for a hot air dryer," *Key Engineering Materials*, vol. 801, pp. 345–350, 2019.
- [25] L. Wu, T. Orikasa, Y. Ogawa, and A. Tagawa, "Vacuum drying characteristics of eggplants," *Journal of Food Engineering*, vol. 83, no. 3, pp. 422–429, 2007.
- [26] E. Hakan and Akpinar, "Numerical and experimental analysis of moisture transfer for convective drying of some products," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, no. 2, pp. 169–177, 2008.
- [27] Association of Official Analytical Chemists, *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*, 15th ed., Washington D.C.: AOAC Inc., 1990.
- [28] P. Ratanadecho, K. Aoki, and M. A. Akahori, "Numerical and experimental study of microwave drying using a rectangular waveguide," *Drying Technology*, vol. 19, no. 9, pp. 2209–2234, 2001.
- [29] R. Kumar, V. Goel, P. Singh, A. Saxena, S. A. Kashyap, and A. Rai, "Performance evaluation and optimization of solar assisted air heater with discrete multiple arc shaped ribs," *Journal of Energy Storage*, vol. 26, pp. 1–17, 2019.
- [30] R. Luampon and B. Krittakom, "A study thermal efficiency of solar air heater with wire mesh stainless installation: Using solar simulator," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1039, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [31] S. Supakarn, T. U-pachaban, T. Yasungnuen, R. Suksawang, W. Kongate, and R. Luampon, "A development of tilapia dryer by using air recirculation with stainless steel porous material for reduce energy consumption," in *Proceedings of the 34th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 2018 (in Thai).
- [32] S. Jugjai and N. Polmart, "Enhancement of evaporation and combustion of liquid fuels through porous media," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 27, no. 8, pp. 901–909, 2003.
- [33] K. Prichaiya, P. Kodsiri, J. Shimnog, B. Krittakom, and R. Luampon, "A study on heat transfer of a solar collector with installed wavy wire-net stainless porous media on absorber plate," presented at the 10th Engineering Science Technology and Architecture Conference, Nakhon Ratchasima, Thailand, 2019 (in Thai).