

การวิเคราะห์เชิงทดลองการอบแห้งไม้ยางพารา
ด้วยระบบไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง
**Analysis of Experiment Drying Rubber Wood Process Using a Combined
Multi-Feed Microwave-Convective Air and Continuous Belt System (CMCB)**

พัทธ์พิทยา จังโส วฐู สว่างเรือง นพวรรณ ชินารักษ์ พิเชฐ จินตรัตนวงศ์ และ สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย*

ศูนย์แห่งความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการใช้ประโยชน์จากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในงานวิศวกรรม (CEEE.)

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต)

99 ม.18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: E-mail: vsomsak@engr.tu.ac.th, โทร 02-564-3001-9 ต่อ 3264 โทรสาร 02-564-3023

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ กระบวนการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพถือเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการผลิต เนื่องจากเทคโนโลยีการอบแห้งแบบเดิมที่ใช้ เช่น การอบโดยไชลมร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ ยังมีข้อด้อยในเรื่องของระยะเวลาการอบที่ยาวนาน ดังนั้นเทคโนโลยีไมโครเวฟจึงเป็นทางเลือกใหม่ที่สามารถทดแทนเทคโนโลยีแบบเดิมได้ ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของกระบวนการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยระบบไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบความร้อนร่วม (Combine) และระบบไฮบริด (Hybrid) และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยระบบไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในระบบ เพื่อนำผลที่ได้มาสรุปหาวิธีที่ใช้เวลาและพลังงานในการอบน้อยที่สุด ผลการศึกษาพบว่ากระบวนการอบแห้งที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือระบบไฮบริดโดยมีเงื่อนไขที่เหมาะสมคือการอบโดยการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Ambient) ก่อน 3 รอบแล้วจึงเปิดไมโครเวฟร่วมกับการเปิดลมร้อนอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานและระยะเวลาในการอบพบว่ามีความใกล้เคียงกับระบบความร้อนร่วม แต่ในด้านคุณภาพภายนอกของไม้ยางพาราพบว่าการอบระบบไฮบริดให้คุณภาพไม้ที่ดีกว่าการอบในระบบความร้อนร่วม

คำหลัก: กระบวนการอบแห้ง พลังงานไมโครเวฟ ไม้ยางพารา การอบแห้งแบบระบบไฮบริด

Abstract

In lumbering industry, an efficient drying process is necessary for the production process. Because previous drying processes such as drying with hot air or drying with solar energy have some drawback taking long drying period. Therefore, microwave radio system is new option which can substitute for the previous drying process. This paper is the experimental research to study the effect of rubber wood drying process by using a combined multi-feed microwave-convective air and continuous belt system (CMCB) in combine and hybrid system. The results from these processes will be analyzed moistness, temperature, period of drying and consuming energy in order to find the optimal using time and energy condition. From this study, the most efficient drying process is the hybrid system of which the

TSF-2022

optimum condition is drying with air which has an ambient temperature at 30 degree Celsius three times before opening the microwave with hot air which has an ambient temperature at 30 degree Celsius. By comparing energy consumption and time period, we found that results are similar to the combine system. However, the outer quality of rubber wood which passes through the hybrid system is better than the combine system.

Keywords: drying process, microwave energy, rubber wood, drying process in hybrid system

1. บทนำ

ไม้ยางพารา(Rubber Wood) เป็นไม้ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาผลิตเป็นเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ทั้งในด้านของความหนาแน่นของเนื้อไม้ สีสนที่สวยงาม และผิวไม้ที่สามารถตกแต่งได้ง่าย ส่วนการคงรูปของเนื้อไม้นั้นขึ้นอยู่กับกระบวนการอบที่ถูกต้องและการเคลือบผิวที่ดี เพราะฉะนั้นในอุตสาหกรรมการแปรรูปไม้ยางพาราจำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม ดังนั้นกระบวนการอบแห้งจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดแนวคิดที่หาวิธีการที่จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งมีประสิทธิภาพที่ดี มีระยะเวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเพื่อที่จะทำให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้กระบวนการอบแห้งมีราคาถูกและใช้พลังงานค่าน้อยที่สุด เทคโนโลยีการอบแห้งในปัจจุบันนั้นยังมีข้อเสียอยู่ เช่น การอบแห้งโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มีข้อเสียคือ ใช้เวลานานและอัตราผลผลิตขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ดังนั้นการอบแห้งโดยใช้พลังงานไมโครเวฟจึงเป็นเทคโนโลยีทางเลือกใหม่ที่สามารถทดแทนเทคโนโลยีแบบเดิมได้

ปัจจุบันงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้งไม้ด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟยังมีจำกัดและยังมีประสิทธิภาพไม่สูงมากนัก เพราะส่วนใหญ่จะใช้กระบวนการอบแห้งไม้โดยกระบวนการพาความร้อน ซึ่งจะใช้เวลาในการอบแห้งที่นานทำให้สิ้นเปลืองพลังงานสูงอีกทั้งยังให้ความร้อนไม่ทั่วถึงชิ้นงานซึ่งส่งผลเสียต่อชิ้นงานได้ โดยที่ผ่านมามีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการการอบแห้งจากคลื่นไมโครเวฟดังต่อไปนี้

งานวิจัยของ Perre และ Turner [1] เกี่ยวกับการใช้ไมโครเวฟอบแห้งวัสดุที่เป็นของแข็ง (ไม้เนื้อแข็ง) ภายในท่อนำคลื่น (Wave Guide) ซึ่งแบบจำลองนั้นใช้พื้นฐานบนทฤษฎีของ Whitaker ในการคำนวณอุณหภูมิ ความดันแก๊ส และผลกระทบในสองมิติต่อมาได้เจาะจงไปที่การใช้แบบจำลองทางเครื่องมือที่ได้ทำการวิจัยไปเมื่อปี 1997 เพื่อที่จะหาข้อมูลต่างๆ ของไมโครเวฟระบบปิด ซึ่งรวมไปถึงผลกระทบต่างๆ ในตัวชิ้นงาน จากการเปลี่ยนตำแหน่งของวัสดุภายใต้การประยุกต์ใช้ และผลกระทบของคลื่นที่สะท้อนจาก Back-Propagating ส่วนท่อนำคลื่นนั้น เขาพบว่าตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของวัสดุตัวอย่างในท่อนำคลื่นจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทั้งหมดของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

การทดลองของ Lars Hansson และ A.L. Antti [2] ทำการทดลองการอบแห้งไม้โดยใช้ไมโครเวฟ เพื่อศึกษาความแข็งแรงของไม้เมื่อได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิจากการอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟและจากการแห้งตามธรรมชาติ ซึ่งใช้การวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่างระบบไมโครเวฟกับระบบการหมุนเวียนของอากาศที่ระดับอุณหภูมิ 100 และ 60 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การทำให้แห้งที่เกิดขึ้นจากระดับอุณหภูมิที่ 100 หรือ 60 องศาเซลเซียส จะมีค่าความแตกต่างของความแข็งแรงของไม้ ซึ่งตัวแปรที่มีผลต่อความแข็งแรงของไม้ได้แก่ความหนาแน่นและความชื้นภายในเนื้อไม้

งานวิจัยของ S. Vongpradubchai และ P. Rattanadecho [3] เกี่ยวกับวิธีการอบแห้งไม้โดยใช้เตาอบไมโครเวฟแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งแบบทั่วไป ซึ่งใช้

TSF-2022

แมกนีตรอน 14 ตัว และใช้กำลังสูงสุด 11.2 กิโลวัตต์ ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ผลการอบแห้งภายใต้ สภาพแวดล้อมของไมโครเวฟ ทำการวิเคราะห์ผลจาก เวลาที่ใช้ในการแผ่ของคลื่นไมโครเวฟ ระดับพลังงาน ที่ใช้ของไมโครเวฟ และรวมถึงการศึกษาสมบัติเชิงกล ผลการวิจัยพบว่า การอบแห้งโดยใช้ไมโครเวฟแบบ สายพานลำเลียงต่อเนื่อง มีข้อดีมากกว่าการอบแห้ง แบบทั่วไป เช่น ใช้เวลาน้อยกว่า มีการกระจายตัวของ พลังงานทั่วทั้งผลิตภัณฑ์ และมีประสิทธิภาพในการใช้ พลังงานสูง

การทดลองของ W.Jindarat S. Vongpradubchai และ P. Rattanadecho [4] เกี่ยวกับการใช้กฎข้อที่ หนึ่งของอุณหพลศาสตร์ในการประมาณอัตราการใช้ พลังงานในกระบวนการอบแห้งโดยไมโครเวฟแบบใช้ ท่อนำคลื่นทรงสี่เหลี่ยม พิจารณาระบบของ Packed Bed 2 ระบบ คือ การติด Fine Bed ไว้บน Coarse Bed (F-C) และการติด Coarse Bed ไว้บน Fine Bed (C-F) ผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการ เปลี่ยนแปลงของตัวแปรทั้งหมดได้รับผลกระทบจาก คลื่นไมโครเวฟที่ทะลุผ่านวัสดุและการดูดซับพลังงาน ภายในของ Packed Bed และพบว่า อัตราการอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในกรณีความหนาของชั้นของวัสดุที่ เท่ากันที่ 25 มิลลิเมตร มีค่าสูงกว่ากรณีอื่นๆ ซึ่ง ความชื้นที่อยู่ภายใน Packed Bed มีผลต่ออัตราการ อบแห้ง ความรู้ที่ได้จากการวิจัยคือ กระบวนการ อบแห้งและกระบวนการทำความร้อนโดยใช้พลังงาน ไมโครเวฟสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และลดพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

และงานวิจัยนี้ เป็นการทดลองการอบแห้งไม้โดยใช้ระบบไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง เพื่อศึกษา อิทธิพลของกระบวนการอบแห้งในระบบความร้อน ร่วม (Combine) และระบบไฮบริด (Hybrid) โหมด ไมโครเวฟที่ใช้เป็นแบบ Multimode Mode ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) จำนวนแมกนีตรอน 6 ตัว กำลังงานที่ได้ 6 x 800 วัตต์ วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ไม้ยางพารา และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการ อบแห้งไม้ยางพาราด้วยระบบไมโครเวฟป้อนคลื่น

หลายตำแหน่ง ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ระยะเวลาใน การอบแห้ง และพลังงานที่ใช้ในระบบ เพื่อนำผลที่ได้ มาสรุปหาวิธีที่ใช้เวลาและพลังงานในการอบแห้งไม้ ยางพาราที่น้อยที่สุด

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง

การอบแห้ง คือ การทำแห้งหรือการกำจัดน้ำ การ ใช้ความร้อนเพื่อกำจัดน้ำที่อยู่วัสดุโดยการระเหยน้ำ หรือการระเหิดจากของแข็ง โดยอาศัยหลักการถ่ายเท ความร้อนซึ่งจะเกิดตรงจุดที่มีความแตกต่างของ อุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด หรืออาศัยหลักการอบแห้ง การลดความชื้นในระบบและการถ่ายเทความร้อน ซึ่ง การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบ คือ การนำความร้อน, การพาความร้อนและการแผ่รังสี

2.2 กลไกการเกิดความร้อนด้วยคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่ใช่พลังงานความร้อน แต่จะ ทำให้เกิดความร้อนในเนื้อวัสดุด้วยกลไกในการ เปลี่ยนแปลงพลังงานคือกลไกขนิດการหมุนของทั้ง สองขั้ว (Dipolar Rotation) สำหรับโมเลกุลของน้ำซึ่งมี สมบัติเป็นสองขั้วโดยธรรมชาติ เมื่อมีการเหนี่ยวนำ โดยสนามไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปก็จะเกิดหน่วยแรงเค้น ภายในโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงขั้วอย่าง รวดเร็วตามสนามไฟฟ้าที่มากกระทำ ยกตัวอย่างเช่น คลื่นไมโครเวฟที่ความถี่ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์ (MHz) สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของขั้วประจุถึง 4,900 ล้านครั้ง ต่อหนึ่งรอบคลื่น ซึ่งเป็นการ เปลี่ยนแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าเป็นพลังงานจลน์ หรือพลังงานความร้อนในวัสดุนั้นเอง

โดยปกติพลังงานที่เกิดจากการหมุนของทั้งสองขั้ว อาจจะเรียกว่าเป็น ค่าความร้อนที่ผลิตขึ้นภายใน (Internal Heat Generation) หรือค่ากำลังการดูดซับ (Microwave Power Absorbed) ซึ่งสามารถเขียนเป็น รูปสมการได้เป็น

$$Q = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon_r (\tan \delta) E^2 \quad (1)$$

TSF-2022

โดยที่

Q คือ ค่ากำลังการดูดซับ (W/m^3)

$2\pi f$ คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ (Rad/s)

ϵ_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ

ϵ'_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์

$\tan \delta$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ลอสมแทนเจนต์

E คือ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (V/m)

$(\epsilon'_r, \tan \delta)$ เรียกว่าไดอิเล็กตริกลอสมแพกเตอร์

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างไม้กับความชื้น

ไม้ทุกชนิดประกอบด้วยปริมาณของน้ำซึ่งอยู่ภายในเนื้อไม้ แม้ว่าภายในเนื้อไม้จะประกอบด้วยสารละลายและสารประกอบเคมีอื่น ๆ แต่จากหลักการอบไม้สามารถประมาณได้ว่าไม้ประกอบไปด้วยปริมาณของน้ำ และน้ำเหล่านี้ควรถูกนำออกจากเนื้อไม้ก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งโดยปกติแล้วไม้จะมีการสูญเสียน้ำในธรรมชาติอยู่แล้วเพื่อปรับให้มีความสมดุลกับบรรยากาศรอบข้างซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศและอุณหภูมิของอากาศ ซึ่งปริมาณน้ำในเนื้อไม้สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Moisture content (\%)} = \frac{\text{Weight of water in wood}}{\text{Weight of totally in wood}} \times 100 \quad (2)$$

การระบุค่าความชื้นอาจแบ่งออกเป็นความชื้นฐานเปียก (Wet Basis) กับความชื้นฐานแห้ง (Dry Basis) คือการใช้ฐานในการเปรียบเทียบแตกต่างกัน Wet Basis หมายถึงการเทียบปริมาณความชื้นกับน้ำหนักรวมของของแข็งและความชื้น Dry Basis เป็นการเทียบปริมาณความชื้นกับของแข็งเท่านั้น เช่น ถ้าบอกว่ามีค่าความชื้น 20% WB หมายความว่า มีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 80 กรัม แต่ถ้าเป็น 20% DB หมายความว่า มีน้ำ 20 กรัมต่อของแข็ง 100 กรัม

3. การทดลอง

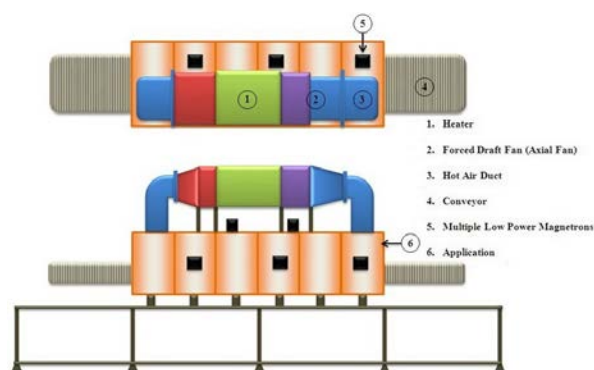
3.1 เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง

เครื่องไมโครเวฟนี้มีความถี่ใช้งานเท่ากับ 2,450 เมกะเฮิร์ตซ์(MHz) มีจำนวนแมกนีตรอนทั้งหมด 12

ตัว ทำให้มีกำลังสูงสุด คือ 12 x 800 วัตต์ เตอบชนิดนี้เหมาะสำหรับใช้อบชิ้นงานจำนวนมากและยังสามารถที่จะอบชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังสามารถปรับทิศป้อนคลื่นลงบนชิ้นงานได้โดยการควบคุมตำแหน่งการเปิด-ปิดแมกนีตรอนทั้ง 12 ตัว รวมทั้งยังสามารถปรับช่วงเวลาการรับคลื่นของชิ้นงานให้มากหรือน้อยได้โดยการปรับความเร็วของสายพานซึ่งมีความเร็วสูงสุดที่ 2 เมตรต่อนาที โดยชิ้นงานจะผ่านเข้าเตอบทางสายพานลำเลียงและถูกลำเลียงออกจากเตอบเพื่อทำการวัดค่าต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง (A Combined Multi-Feed Microwave Convective Air and Continuous Belt System (CMCB)) ที่ใช้ในการทดลอง (ภายใต้ลิขสิทธิ์ CEEE., มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสี))



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง

TSF-2022

3.2 การอบแห้งในระบบความร้อนร่วม (Combine)

เป็นการอบแห้งไม้ยางพาราโดยใช้พลังงานจากไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนที่ได้จากเครื่องทำความร้อน (Heater) ซึ่งในเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องนี้ มีชุดเครื่องทำความร้อนทั้งหมด 24 ชุด สามารถให้ความร้อนได้สูงสุดถึง 230 องศาเซลเซียส โดยการทำงานจะเปิดควบคู่กันไปตลอดกระบวนการอบแห้ง

3.3 การอบแห้งในระบบไฮบริด (Hybrid)

เป็นการอบแห้งไม้ยางพาราที่มีการทำงาน 2 ขั้นตอนคือ จะมีการผสมผสานระหว่างการใช้ลมร้อนหรือลมจากบรรยากาศ (Ambient) ในขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการอบแห้งโดยไม่เปิดระบบพลังงานไมโครเวฟ หลังจากครบระยะเวลาหรือจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว หลังจากนั้นก็จะเริ่มเปิดไมโครเวฟควบคู่กับลมร้อนต่อไปจนจบกระบวนการอบแห้ง

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

นำชิ้นไม้ยางพาราขนาด 5 x 30 x 2.5 เซนติเมตรไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะใช้ชิ้นไม้ยางพาราจำนวน 22 ชิ้นต่อการทดลองในแต่ละหนึ่งกรณี ทำการชั่งน้ำหนักและอุณหภูมิเริ่มต้นของไม้ก่อนทำการทดลอง จากนั้นนำไม้ยางพาราลำเลียงผ่านสายพานเข้าเครื่องไมโครเวฟ ทำการทดลองตามเงื่อนไขต่าง ๆ โดยการทดลองแบบความร้อนร่วมนั้นจะเปิดระบบไมโครเวฟควบคู่กับลมร้อนตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนการอบแห้งในระบบไฮบริดก็จะมีเปิดลมบรรยากาศในช่วงแรกก่อน เมื่อครบกำหนดก็จะเปิดระบบไมโครเวฟควบคู่กับลมร้อนเช่นเดียวกัน ในระหว่างการทำการทดลองจะมีการวัดค่าอุณหภูมิของไม้ น้ำหนัก ถ่ายภาพการกระจายความร้อนและค่าการใช้พลังงานแล้วทำการบันทึกผลในทุก ๆ 10 นาที ส่วนการทดลองแบบการพาความร้อนจะทำการบันทึกผลในทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งไม้มีความชื้นตามที่กำหนดจึงนำไม้ออกจากเครื่องไมโครเวฟแล้วทำการวัดค่าอุณหภูมิของไม้ น้ำหนัก และค่าการใช้พลังงานแล้วทำการบันทึกผลอีกครั้ง



รูปที่ 3 ไม้ยางพาราขนาด 5 x 30 x 2.5 เซนติเมตร

4. ผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบความร้อนร่วม (Combine) และระบบไฮบริด (Hybrid) โดยใช้โหมดไมโครเวฟแบบ Multimode Mode ความถี่ 2,450 MHz จำนวนแมกนีตรอน 6 ตัว กำลังงานที่ได้ 6 x 800 วัตต์ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยทำการเก็บค่าอุณหภูมิไม้ยางพารา ความชื้นระยะเวลาในการอบแห้ง พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้ยางพาราในระบบความร้อนร่วม (Combine) เปรียบเทียบกับระบบไฮบริด (Hybrid) ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยเครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบความร้อนร่วม (Combine)

กรณี	อุณหภูมิของลมร้อน	เวลา (นาที)	พลังงาน ที่ใช้ (kWh)
1	MW + 70°C	80	15.3
2	MW + 60°C	80	13.6
3	MW + 50°C	80	12.8
4	MW + 30°C (Ambient)	80	10.4

TSF-2022

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วย
เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบ
สายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบไฮบริด (Hybrid)

กรณี	อุณหภูมิของลมร้อน	เวลา (นาที)	พลังงาน ที่ใช้ (kWh)
5	30°C (Ambient) 3 รอบ, MW + 70°C	120	17.6
6	30°C (Ambient) 3 รอบ, MW + 60°C	120	15.7
7	30°C (Ambient) 3 รอบ, MW + 50°C	120	14.8
8	30°C (Ambient) 3 รอบ, MW + 30°C (Ambient)	120	12.1

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดย
การพาความร้อน (Convective)

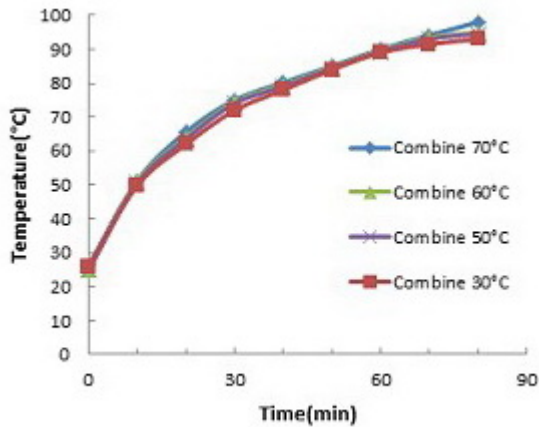
กรณี	อุณหภูมิของลมร้อน	เวลา (นาที)	พลังงาน ที่ใช้ (kWh)
9	70°C	480	42.8
10	60°C	600	48.0
11	50°C	720	46.8

4.1 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดยใช้ เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบ สายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบความร้อนร่วม (Combine)

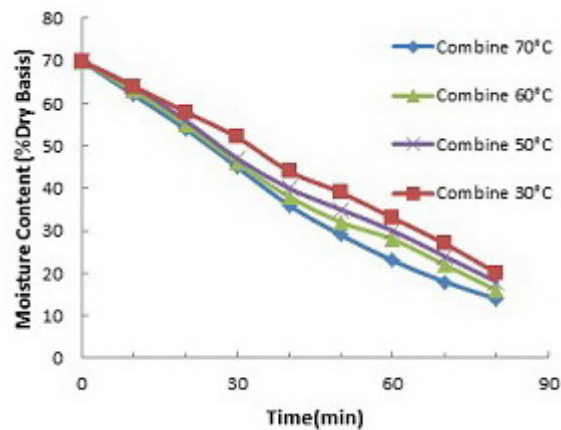
ทำการทดลองโดยการเปิดไมโครเวฟร่วมกับการ
เปิดลมร้อนที่อุณหภูมิ 70, 60, 50 และ 30 องศา
เซลเซียส เพื่อให้ไม้ยางพารามีความชื้นลดลงจาก
ความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry basis) เหลือโดยเฉลี่ย
ประมาณ 20% (Dry basis) และนำข้อมูลมาเขียน
กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของ
การอบแห้ง (รูปที่ 4) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง
ความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้ง (รูปที่ 5)

จากผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วย
ไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งในระบบความร้อน
ร่วม (Combine) เพื่อให้ไม้ยางพารามีความชื้นลดลง
จากความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry basis) เหลือโดยเฉลี่ย
ประมาณ 20% (Dry basis) ทั้ง 4 กรณีพบว่า
ระยะเวลาในการอบไม้ยางพาราทั้งหมดเท่ากับ 80
นาที (8 รอบ) แต่พลังงานรวมที่ใช้ในการอบแห้งของ
แต่ละกรณีมีความแตกต่างกันตามอุณหภูมิลมร้อนที่ใช้
ในส่วนของอุณหภูมิของการอบแห้ง เนื่องจากไม้
ยางพาราเป็นวัสดุทดลองที่มีความชื้นเริ่มต้นก่อนทำ
การอบแห้งค่อนข้างสูงทำให้ในช่วงแรกของการ
อบแห้ง อุณหภูมิของไม้ยางพาราของทั้ง 4 กรณีจึงมี
แนวโน้มที่ไปในทิศทางเดียวกันคือ มีอุณหภูมิสูงขึ้น
อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นเพราะไม้
ยางพารามีความชื้นสูง ส่งผลให้ไม่มีความสามารถในการ
ดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากและเปลี่ยนเป็น
พลังงานความร้อนได้ดี และเมื่อระยะเวลาในการอบ
ผ่านไปช่วงเวลาหนึ่ง ความชื้นของไม้ยางพาราลดลง
ทำให้ความสามารถในการดูดซับคลื่นต่ำลงด้วย มีผล
ทำให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิมียาลดลง แต่
เนื่องจากมีความร้อนสะสมภายในชิ้นไม้ จึงทำให้
อุณหภูมิของชิ้นไม้ยังไม่ลดลงในทันทีทันใด ในส่วน
ของเปอร์เซ็นต์ความชื้น เนื่องจากช่วงแรกอุณหภูมิ
ของไม้ยางพาราเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและในช่วงนี้
ความชื้นจะเป็นการถ่ายเทความชื้นอิสระ (Free
Moisture) ทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่ง
ความชื้นเริ่มลดลงน้อยลงและมีค่าค่อนข้างคงที่จึง
สรุปได้ว่าความชื้นในช่วงนี้เป็นความชื้นภายในสสาร
ของไม้ยางพารา (Bound Moisture) เมื่อพิจารณา
เปอร์เซ็นต์ความชื้นสุดท้ายที่ 20% (Dry basis) พบว่า
อิทธิพลของลมร้อนส่งผลต่อระยะเวลาในการอบแห้ง
กล่าวคือ กรณีเปิดไมโครเวฟร่วมกับการเปิดลมร้อน
อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะใช้ระยะเวลาในการ
อบแห้งที่สั้นที่สุด ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่าอิทธิพลของ
อุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลต่อระยะเวลาการ
อบแห้ง

TSF-2022



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบความร้อนร่วมทั้ง 4 กรณี



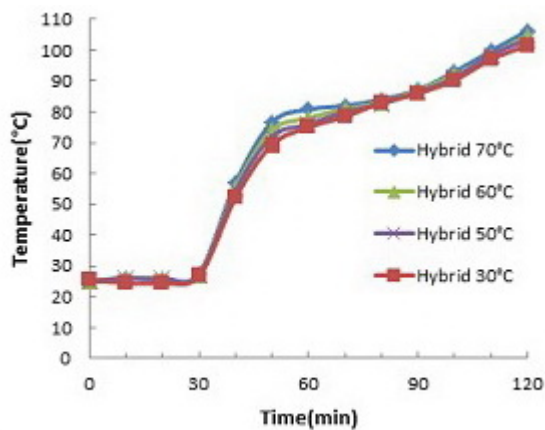
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบความร้อนร่วมทั้ง 4 กรณี

4.2 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดยใช้เครื่องไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบไฮบริด (Hybrid)

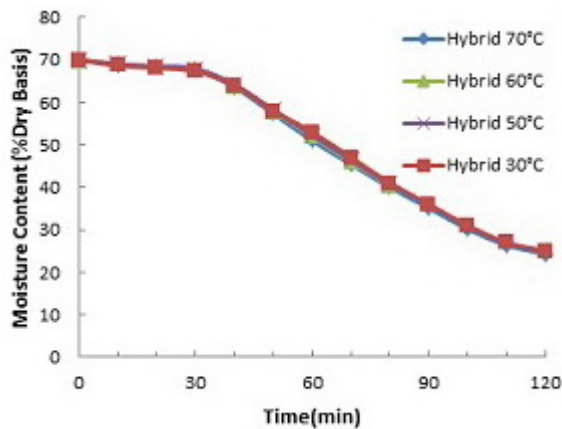
ทำการทดลองโดยการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Ambient) ก่อน 3 รอบ แล้วเปิดไมโครเวฟร่วมกับการเปิดลมร้อนอุณหภูมิ 70, 60, 50 และ 30 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไม้ยางพาราที่มีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 20% (Dry basis) และนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของการอบแห้ง (รูปที่ 6) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้ง (รูปที่ 7)

จากผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งในระบบไฮบริด (Hybrid) เพื่อให้ไม้ยางพารามีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 20% (Dry basis) ทั้ง 4 กรณีพบว่าระยะเวลาในการอบไม้ยางพาราทั้งหมดเท่ากับ 120 นาที (12 รอบ) ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งจึงขึ้นอยู่กับลมร้อนที่ใช้ร่วมกับระบบไมโครเวฟ กล่าวคือที่ลมร้อนอุณหภูมิสูงพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งไม้ยางพาราจะมีค่าสูงตาม ในส่วนของอุณหภูมิของการอบแห้ง ในช่วง 30 นาทีแรกมีการเปิดลมบรรยากาศอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสเท่านั้นทำให้อุณหภูมิของไม้ยางพารามีค่าค่อนข้างคงที่ จากนั้นมีการเปิดไมโครเวฟพร้อมกับลมร้อนที่อุณหภูมิ 70, 60, 50 และ 30 องศาเซลเซียส ส่งผลให้ไม้ยางพาราซึ่งเป็นวัสดุทดลองที่มีความชื้นค่อนข้างสูง มีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว อีกทั้งเนื่องจากค่าของอุณหภูมิที่ขึ้นอยู่กับความชื้น โดยไม้ที่มีความชื้นสูงจะมีค่าสมบัติไดอิเล็กตริกสูงตาม ทำให้ความสามารถในการดูดซับความร้อนเนื่องจากพลังงานไมโครเวฟมากขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อุณหภูมิมียุ่ค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าไดอิเล็กตริกของไม้ กล่าวคือเมื่อไม้มีความชื้นลดลงจะส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับความร้อนลดลงส่งผลให้อุณหภูมิค่อย ๆ ลดลงหรือมีค่าค่อนข้างคงที่ ในส่วนของความชื้น เนื่องจากช่วง 30 นาทีแรกอุณหภูมิของไม้ยางพาราเป็นอุณหภูมิบรรยากาศที่ 30 องศาเซลเซียสและมีค่าค่อนข้างคงที่ทำให้ความชื้นลดลงน้อยมาก จากนั้นอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมถึงในช่วงนี้ความชื้นเป็นความชื้นอิสระทำให้ความชื้นลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งความชื้นเริ่มลดลงน้อยมากและมีค่าค่อนข้างคงที่จึงสรุปได้ว่าความชื้นในช่วงนี้เป็นความชื้นภายในสสารของไม้ยางพารา จากการทดลองสิ่งที่พบคือการพาความร้อนก่อนจะทำให้เพิ่มระยะเวลาในการอบแห้ง เนื่องจากการพาความร้อนที่ผิวของชิ้นไม้นั้นจะส่งผลให้ผิวหน้าของชิ้นไม้หดตัวลง ทำให้การระเหยของความชื้นภายในชิ้นไม้เป็นไปได้ค่อนข้างยาก

TSF-2022



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบไฮบริดทั้ง 4 กรณี



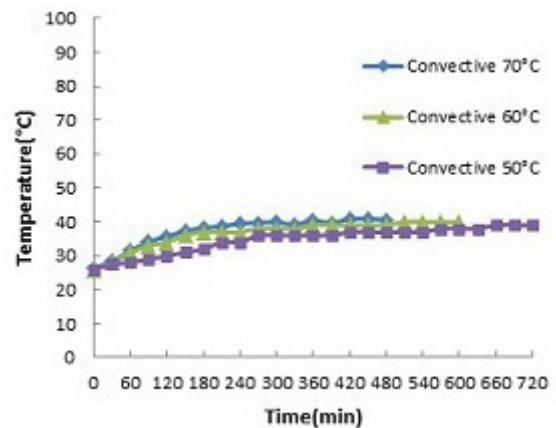
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบไฮบริดทั้ง 4 กรณี

4.3 ผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดยการพาความร้อน (Convective)

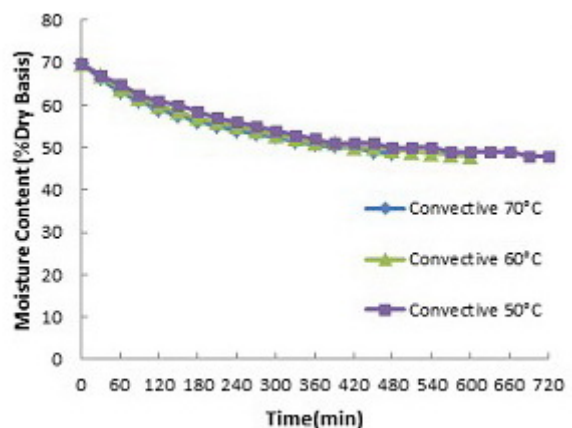
ทำการทดลองโดยการเปิดเพียงลมร้อนอุณหภูมิ 70, 60, 50 องศาเซลเซียส ตลอดการทำการทดลองเพื่อให้ไม้ยางพารามีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry Basis) เหลือโดยเฉลี่ยประมาณ 20% (Dry basis) และนำข้อมูลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการอบแห้ง (รูปที่ 8) และกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาในการอบแห้ง (รูปที่ 9)

จากผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดยการพาความร้อน เพื่อให้ไม้ยางพารามีความชื้นลดลงจากความชื้นเริ่มต้น 70% (Dry Basis) เหลือโดยเฉลี่ย

ประมาณ 20% (Dry basis) ทั้ง 3 กรณีพบว่าระยะเวลาในการอบแห้งไม่เท่ากัน โดยที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อย เมื่อทำการทดลองโดยใช้เพียงลมร้อนอุณหภูมิ 70, 60 และ 50 องศาเซลเซียส โดยไม่มีการใช้กำลังงานจากไมโครเวฟพบว่าไม้ยางพารามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างมากและมีอุณหภูมิสูงสุดไม่เกินอุณหภูมิ 80°C และเนื่องจากมีเพียงการพาความร้อนที่ความร้อนจะถูกป้อนเพียงบริเวณผิวของไม้ยางพาราเท่านั้น ซึ่งเมื่อทำการอบแห้งไประยะเวลาหนึ่งของผิวไม้ยางพาราจะแห้งแต่ในส่วนความชื้นภายในไม้ยังคงอยู่เพราะความร้อนไม่สามารถผ่านเข้าไปได้อย่างเต็มที่ ทำให้ความชื้นของไม้ยางพาราลดลงอย่างช้า ๆ จึงใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ยาวนานส่งผลให้การใช้พลังงานในการอบแห้งสูง

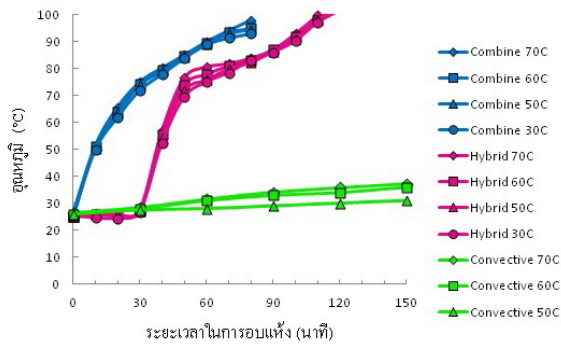


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของการอบแห้งโดยการพาความร้อนทั้ง 3 กรณี

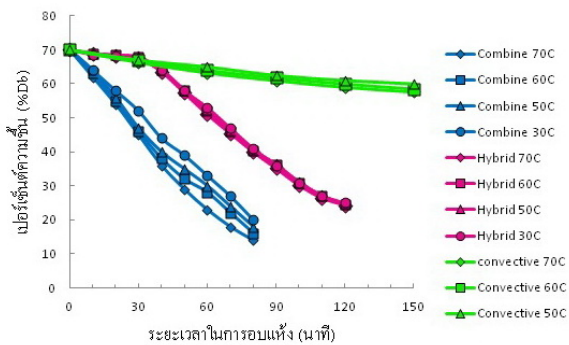


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้งโดยการพาความร้อนทั้ง 3 กรณี

TSF-2022



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบความร้อนร่วม ระบบไฮบริด และการพาความร้อนทั้งหมด 11 กรณี



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับระยะเวลาของการอบแห้งในระบบความร้อนร่วม ระบบไฮบริด และการพาความร้อนทั้งหมด 11 กรณี

5. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง โดยมีปัจจัยที่ศึกษาคืออิทธิพลของกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสม เพื่อหาวิธีที่ใช้เวลาและพลังงานในการอบแห้งไม้ยางพาราที่น้อยที่สุด พบว่าการทดลองในระบบความร้อนร่วม (Combine) และระบบไฮบริด (Hybrid) นั้นมีผลการทดลองคล้ายกัน คือในระบบความร้อนร่วมได้ผลการทดลองที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งไม้ยางพาราเท่ากันทุกกรณี (80 นาที) และในระบบไฮบริดก็ได้ระยะเวลาในการอบแห้งไม้ยางพาราเท่ากันทุกกรณีเช่นเดียวกัน (120 นาที) จึงสามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลของไมโครเวฟส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการลดความชื้นของไม้

ยางพาราที่มีขนาด 5 x 30 x 2.5 เซนติเมตร มากกว่าอิทธิพลของลมร้อน เนื่องจากการศึกษามีการใช้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน เปิดร่วมกับไมโครเวฟแต่ได้ผลการทดลองที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งเท่ากัน และเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งไม้ยางพาราเท่ากัน ค่าของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งของแต่ละระบบนั้นจึงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ กล่าวคือ ถ้าใช้ลมร้อนอุณหภูมิสูงก็จะมีค่าการใช้พลังงานในการอบแห้งสูง ดังนั้นการอบแห้งไม้ยางพาราในระบบความร้อนร่วม (Combine) มีกรณีที่เหมาะสม คือ การอบโดยเปิดไมโครเวฟร่วมกับลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Ambient) มีการใช้พลังงานรวม 10.4 kWh และกรณีการอบไม้ยางพาราในระบบไฮบริด (Hybrid) มีกรณีที่เหมาะสม คือ การอบโดยการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Ambient) ก่อน 3 รอบ แล้วเปิดไมโครเวฟร่วมกับการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานรวม 12.1 kWh ซึ่งจะแตกต่างกับกรณีการทดลองการอบแห้งไม้ยางพาราโดยการพาความร้อน (Convective) เนื่องจากวิธีนี้ไม่มีการใช้ไมโครเวฟ เป็นเพียงการใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิต่างๆ ในการอบแห้งไม้ยางพารา จึงได้ผลการทดลองที่ต่างจากระบบความร้อนร่วมและระบบไฮบริด โดยการพาความร้อนจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งต่างกันจึงทำให้ค่าการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งและอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ ซึ่งจากการศึกษานี้ได้กรณีที่เหมาะสมคือ การอบโดยใช้ลมร้อนอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีการใช้พลังงานรวม 42.8 kWh และเมื่อนำผลการทดลองทั้ง 3 ระบบมาเปรียบเทียบกัน พบว่าระบบความร้อนร่วมใช้ระยะเวลาและพลังงานในการอบแห้งน้อยที่สุด รองลงมาคือระบบไฮบริด แต่เมื่อพิจารณาทั้งสองระบบถือว่าระยะเวลาและพลังงานในการอบแห้งที่ใช้มีความใกล้เคียงกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการพาความร้อนแล้ว พบว่าใช้ระยะเวลาในการอบแห้งและพลังงานในการอบแห้งน้อยกว่ากันมาก แต่เมื่อตรวจสอบคุณภาพภายนอกของไม้ยางพาราพบว่าการอบในระบบไฮบริดมีการ

TSF-2022

แตกและบดของไม้ไม่น้อยกว่า อีกทั้งสีของไม้หลังอบยังมีสีที่ใกล้เคียงกับสีไม้ก่อนอบมากกว่าการอบในระบบความร้อนร่วม ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการอบแห้งไม้ยางพาราด้วยไมโครเวฟป้อนคลื่นหลายตำแหน่งแบบสายพานลำเลียงต่อเนื่องในระบบไฮบริดที่กรณีการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส (Ambient) ก่อน 3 รอบ แล้วเปิดไมโครเวฟร่วมกับการเปิดลมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสนั้น ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในด้านพลังงานที่ใช้รวมถึงคุณภาพของไม้ยางพาราที่ได้หลังจากการอบแห้ง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Perre, P. and Turner, I.W. (1999). The Use of Numerical Simulation as a Cognitive Tool For Studying the Microwave Drying of Softwood in an Oversized Waveguide, Wood Science and Technology, 33, pp.445-464.
- [2] Lars Hansson and A.L. Antti. (2005). The effect of drying method and temperature level on the hardness of wood, University of Technology, Sweden.
- [3] S. Vongpradubchai and P. Rattanadecho. (2009). The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University (Rangsit Campus)
- [4] W. Jindarat, P. Rattanadecho. (2011). Analysis of energy consumption in microwave and convective drying process of multi-layered porous material inside a rectangular wave guide, Thammasat University(Rangsit Campus), Thailand.
- [5] A. Oloyede and P. Groombridge. (2000). The influence of microwave heating on the mechanical properties of wood, Manufacturing and Medical Engineering, Queensland University of Technology
- [6] Y. Soysal, Z. Ayhan, O. Estürk and M.F. Arıkan. (2009). Intermittent microwave-convective drying of red pepper: Drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality, Mustafa Kemal University, Turkey.
- [7] Tommaso Ciacci, Antonio Galgano and Colomba Di Blasi. (2010). Numerical simulation of the electromagnetic field and the heat and mass transfer processes during microwave-induced pyrolysis of a wood block. Chemical Engineering Science. (4117-4133).
- [8] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย. (2548). การสำรวจเชิงทดลองและการคำนวณเชิงตัวเลขของกระบวนการอบแห้งร่วมระหว่างไมโครเวฟและการพาความร้อนสำหรับวัสดุพูนแบบชั้นมาก (กรณีศึกษา: ไม้). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- [9] ณัฐช ธีระโสภณ, พลสิทธิ์ ดันธนาไพศาลวนิช และอัศวิน ปาทาน. (2547). กระบวนการอบแห้งเม็ดวัสดุ โดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับระบบสเป้าเต็ดเบด. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- [10] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช. ข้อได้เปรียบของระบบการทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟและไดอิเล็กตริก (Advantage of Microwave and Dielectric Heating). พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ (Principle of Microwave Heating). 56-68