

การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

Microwave Drying of Wood Using a Continuous Microwave Belt Furnace

สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย¹, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช^{***}, ดวงเดือน อางองค์

¹ หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม

(Research Center of Microwave Utilization in Engineering(R.C.M.E))

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ คลองหลวง ปทุมธานี 12120

² ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย คลองหลวง ปทุมธานี 12120

*** ผู้รับผิดชอบบทความ: ratphadu@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทางด้านการทดลองเกี่ยวกับการอบแห้งไม้โดยใช้ระบบเตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง ภายในระบบประกอบด้วยแมกนีตรอนที่ใช้กำเนิดคลื่นทั้งหมด จำนวน 14 ตัวถูกติดตั้งไว้บริเวณรอบๆ อุโมงค์เตาไมโครเวฟ มีความถี่ 2.45 GHz (กำลังขนาด 800 วัตต์ต่อแมกนีตรอน 1 ตัว) โดยตัวแปรที่ศึกษาคือ กำลังที่ป้อนเข้าไปและระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของไม้ เช่น ความชื้นสุดท้าย สีของเนื้อไม้ รวมถึงสมบัติทางกล จากนั้นทำการเปรียบเทียบสมบัติของไม้ที่อบด้วยระบบเตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง กับวิธีอบโดยใช้เตาอบแบบธรรมดาทั่วไป จากการศึกษาพบว่าการใช้คลื่นไมโครเวฟเป็นแหล่งพลังงานนั้นจะสามารถช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการได้ถึง 15 เท่าเมื่อเทียบกับการใช้เตาอบแบบธรรมดาทั่วไป ชิ้นงานได้รับความร้อนทั่วทั้งปริมาตร และทำให้สมบัติทางกลดีขึ้น ผลประโยชน์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศต่อไป

Abstract

The drying of wood with microwave energy by using continuous belt furnace was investigated experimentally. Microwave drying was carried out in a microwave continuous belt drier (model MDBT 11.2kW). The drier operates at frequency of 2.45GHz. The microwave power is generated by means of 14 compressed air-cooled magnetrons of 800 watts each for a maximum of 11.2 kW. The power setting can be adjusted individually in 800W steps. The magnetrons are arranged in a spiral around the cylinder cavity. The study focuses on the investigation of the effect of microwave power and the irradiation time on overall drying kinetics, mechanical properties and product quality, i.e., final moisture content and color. After that the final product from microwave drying process is then compared with final product from

conventional oven. The results showed that microwave drying has several advantages over the conventional method such as shorter processing times, volumetric dissipation of energy throughout the product and improving mechanical properties. Further quantitative validation of experimental data could be very useful, especially in providing information for processing high performance microwave drying for developing the wood industry in Thailand.

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับอุตสาหกรรมนอกเหนือจากผลผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพออกสู่ท้องตลาดแล้ว คือการพยายามเพิ่มผลผลิตและลดค่าใช้จ่ายในการผลิต โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรและอุตสาหกรรมนั้นมีหลายกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการอบแห้ง จะด้วยวิธีธรรมชาติหรือวิธีที่ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอื่นมาใช้ ซึ่งในบางครั้งยังผลิตไม่ทันตามความต้องการหรือหากทันตามความต้องการก็ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูง และได้ประสิทธิภาพไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร อันส่งผลให้เกิดแนวคิดในการหากรรมวิธีที่จะช่วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพที่ดี สะอาด ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า และลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากในเวลาอันรวดเร็ว เพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต กรรมวิธีการอบแห้งนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาสภาพผลิตภัณฑ์ให้มีอายุยืนยาวขึ้นสำหรับผลผลิตทางการเกษตร เพื่อได้ความชื้นที่ไม่ต้องการออกจากผลิตภัณฑ์ เช่น การอบแห้งไม้ซึ่งไม้อาจเป็นวัสดุแบบชื้นมาก(hygroscopic porous media) กล่าวคือความชื้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอนุภาคของแข็งภายใต้พันธะทางเคมีและฟิสิกส์ มีช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็งมีขนาดเล็กมากประมาณ 0-1 μm โครงสร้างเนื้อวัสดุที่ซับซ้อนที่เรียกว่าโครงสร้างวัสดุพรุนแบบเซลล์ลาร์-คาปิลารี(cellular capillary)^[1] การอบแห้งเพื่อลดความชื้นของเนื้อไม้ลงถึงค่าหนึ่งก่อนที่จะนำไปเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมต่อไป สามารถลดปัญหาเชื้อรา ปลวก มอด เป็นต้น

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วง

ความถี่คลื่นไมโครเวฟระหว่าง 0.3 ถึง 300 จิกะเฮิร์ตซ์หรือในช่วงความยาวคลื่น 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร มาใช้เป็นแหล่งพลังงานให้ความร้อนเพื่อแปรรูปวัสดุต่างๆ ในอุตสาหกรรม การให้ความร้อนแก่วัสดุด้วยไมโครเวฟเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงที่ได้รับความสนใจอย่างมาก การผลิตวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ใช้เวลาในการผลิตวัสดุสั้นกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนวิธีอื่นจึงทำให้ประหยัดเวลาพลังงาน และช่วยลดต้นทุนการผลิต

งานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งไม้ด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟในระดับนานาชาติ และระดับประเทศนั้นยังมีการทำกันน้อยมาก ซึ่งในส่วนของงานวิจัยระดับประเทศนั้นจะทำการวิจัยโดยใช้หลักการพาความร้อนเป็นส่วนใหญ่ เช่น การอบแห้งด้วยลมร้อน การอบแห้งด้วยน้ำ^[2] การอบแห้งด้วยระบบสุญญากาศ^[3] ซึ่งจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่นานและลักษณะของไม้เกิดการบิดงอ สำหรับงานวิจัยในระดับนานาชาติที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุประเภทต่างๆ ได้แก่ Masakasu^[4] และ Oloyede^[5] ได้ทำการอบแห้งไม้โดยใช้พลังงานไมโครเวฟ เพื่อทำการศึกษาลักษณะสมบัติทางกายภาพของไม้หลังจากได้รับพลังงานไมโครเวฟ ซึ่งเขาไมโครเวฟที่ใช้เป็นเตาไมโครเวฟบ้าน, Zhao^[6] และ Lehne^[7] ได้ทำการทดลองอบไม้โดยใช้พลังงานไมโครเวฟและสร้างแบบจำลองขึ้นมาซึ่งแบบจำลองที่สร้างเป็นแบบจำลองพื้นฐานเท่านั้น, Ratanadecho^[8] ได้ทำการทดลองอบวัสดุพูน โดยใช้พลังงานไมโครเวฟและสร้างแบบจำลองสำหรับวัสดุพูน จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างนี้มีข้อจำกัดทางด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและในส่วนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐาน

ซึ่งงานวิจัยครั้งนี้จะเน้นวิธีการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อสังเกตพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการอบแห้งภายใต้ความถี่คลื่นไมโครเวฟ 2.45 GHz จำนวน 14 แมกนีตรอน กำลังงานสูงสุด 14x800 วัตต์ ซึ่งถือว่าเป็นระบบที่ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบไมโครเวฟปกติทั่วไปกล่าวคือ ชิ้นงานจะได้รับคลื่นสม่ำเสมอตลอดชิ้นงานเนื่องจากจะเคลื่อนที่ภายในอุโมงค์ด้วยสายพานลำเลียง มีระบบระบายความร้อนภายในอุโมงค์จึงทำให้ความชื้นไม่สะสมอยู่ภายในเตาอบเหมือนกับระบบไมโครเวฟปกติ ซึ่งตัวแปรที่ศึกษาคือ ระยะเวลาในการอบแห้ง พลังงานไมโครเวฟที่ใช้ การศึกษาในครั้งนี้จะนำไปสู่การขยายผลในการศึกษาเชิงทฤษฎีโดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในโอกาสต่อไป รวมทั้งยังสามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ เป็นต้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

โดยทั่วไปแล้ววัตถุประสงค์ของการอบแห้งคือการถ่ายเทความชื้นหรือน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ โดยไม่ให้เกิดความเสียหายและมี

ประสิทธิภาพ การอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งที่ดีนั้นกรรมวิธีที่ใช้ควรจะสามารถไล่ความชื้นออกจากภายในผลิตภัณฑ์ในอัตราเร็วที่ใกล้เคียงกับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งอัตราการไล่น้ำออกจากผิวผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับความเร็วของอากาศและอุณหภูมิในขณะนั้น การอบแห้งส่วนใหญ่จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวนอกและผิวภายในผลิตภัณฑ์ ด้วยการให้ความร้อนจากผิวนอกถ่ายเทเข้าสู่ผิวชั้นใน ความชื้นจะถูกไล่ออกมาที่ผิวทำให้ที่ผิวผลิตภัณฑ์มีอุณหภูมิสูงและแห้ง ในขณะที่ภายในยังคงมีความชื้นอยู่มากและมีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งผิวภายนอกที่แห้งนี้จะเปรียบเสมือนฉนวนกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านไปสู่ภายในของผลิตภัณฑ์และในขณะเดียวกันเมื่อผิวนอกของผลิตภัณฑ์เริ่มแห้ง จะมีการหดตัวทำให้แรงดึงคาพิลลารีจากภายในหุขุดชักทำให้ความชื้นถ่ายเทออกมาที่ผิวผลิตภัณฑ์ลดลงตามลำดับ ซึ่งจากหลักการนี้มักจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์เกิดรอยร้าว เนื่องจากอิทธิพลความดันก๊าซภายในวัสดุหรือการหดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้างอันเนื่องมาจากการกระจายตัวของอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอ นอกจากนั้นแล้วสีของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงง่าย อาจเกิดรอยไหม้

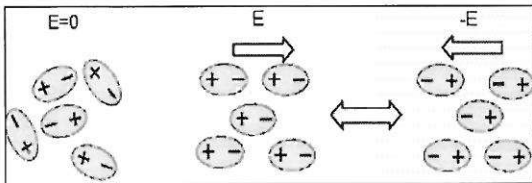
การให้ความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟจะอาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟภายในผลิตภัณฑ์ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและสมบัติทางไดอิเล็กตริกของวัสดุนั้นๆ ที่คลื่นไปกระทบ วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ จะยอมให้คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่าน เช่น แก้ว อากาศ โพลีโพรพิลีน อลูมินาเซรามิกส์ เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูงเช่น ชิ้นงานโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ คลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านไปได้ สำหรับวัสดุไดอิเล็กตริกหรือวัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า(dipole) เช่น น้ำ ไม้ กระดาษ คาร์บอน เรซิน จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟทำให้กำลังงานของคลื่นลดลงไป และกำลังงานที่ดูดกลืนไว้จะถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนขึ้นภายในวัสดุในที่สุด

โดยในการอบแห้งด้วยไมโครเวฟนี้ โมเลกุลน้ำจะดูดกลืนคลื่นทำให้โมเลกุลน้ำเกิดการสั่น ส่งผลให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นภายในทั่วทั้งเนื้อวัสดุ(volumetric heating)ในขณะเดียวกันที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะมีการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นภายในผลิตภัณฑ์จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ทำให้ความร้อนและความชื้นถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวนอกของผลิตภัณฑ์ นั่นหมายถึงผลิตภัณฑ์มีการแห้งและหดตัวเริ่มจากภายในขึ้นมาก่อนซึ่งแตกต่างไปจากการอบแห้งโดยวิธีทั่วไปดังที่กล่าวไปแล้ว ซึ่งจากหลักการนี้ทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่เสียหายหรือค่างไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอ สามารถลดการแตกร้าวและรอยไหม้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากอบแห้งระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งวัสดุสำหรับอุตสาหกรรมต่อไป

2.2 ความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ

2.2.1 การกระจายความร้อน (heat dissipation)

เมื่อวัสดุไดอิเล็กตริกเช่น ไม้ กระดาษ พลาสติก อยู่ภายใต้สนามแม่เหล็กไฟฟ้า dipole ของวัสดุไดอิเล็กตริกจะหมุนและเคลื่อนที่หลายล้านครั้งต่อวินาทีตามการเปลี่ยนแปลงของเฟสสนามไฟฟ้าที่ป้อนดังรูปที่ 1 ทำให้เกิดความเสียดทานระหว่างโมเลกุลภายในเกิดเป็นพลังงานความร้อนภายในวัสดุไดอิเล็กตริก ที่กล่าวมาถือว่าเป็นหลักการเบื้องต้นของการเกิดความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกเช่น ไม้ ภายใต้พลังงานไมโครเวฟ



รูปที่ 1 อันตรกิริยาระหว่าง Dielectric material และสนามไฟฟ้า (electric field)

2.2.2 รูปแบบการกระจายตัวของคลื่น (typical microwaves propagation)

เมื่อพลังงานไมโครเวฟหรือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังวัสดุไดอิเล็กตริก พลังงานบางส่วนจะสะท้อนกลับที่บริเวณผิวหน้าวัสดุ บางส่วนจะทะลุผ่านวัสดุ และบางส่วนจะถูกดูดกลืนไว้ภายในวัสดุไดอิเล็กตริก ซึ่งพลังงานที่ถูกดูดกลืนนี้มีผลมากต่อกระบวนการทำความร้อนด้วยพลังงานไมโครเวฟ ดังนั้นเป้าหมายของการออกแบบระบบทำความร้อนด้วยไมโครเวฟนั้นจึงมีจุดประสงค์เพื่อให้วัสดุเกิดความร้อนภายในสูงสุดและมีการสูญเสียพลังงานคลื่นเนื่องจากการสะท้อนกลับหรือทะลุผ่านของพลังงานน้อยที่สุดที่ความถี่ค่าใดค่าหนึ่ง โดยทั่วไปวัสดุมีคุณสมบัติในการดูดกลืนคลื่นที่แตกต่างกัน

2.2.3 สมการพื้นฐาน

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าการก่อกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (density of microwave power absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายใน วัสดุไดอิเล็กตริก⁽⁹⁾ อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ หรือกล่าวอีกทางหนึ่ง สนามแม่เหล็กไฟฟ้าส่งผลต่อการเกิดความร้อนภายในวัสดุไดอิเล็กตริกได้น้อยมาก การเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะเร็วมาก ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการก่อกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ในรูปสมการที่ 1 ต่อไปนี้

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

เมื่อ E คือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ϵ_r'' คือ relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงคุณสมบัติของวัสดุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ϵ_0 คือ dielectric constant ของอากาศ และ $\tan \delta$ คือ dielectric loss tangent coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการแปรเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับเป็นพลังงานความร้อน

จากสมการที่ 1 ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า, $\tan \delta$ และ ค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า $\tan \delta$ ของชิ้นทดสอบมีค่ามาก จะส่งผลให้การดูดซับพลังงานจากไมโครเวฟ และปริมาณความร้อนเกิดขึ้นมากขึ้นตาม แต่ถ้ามีค่าน้อย คลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านชิ้นทดสอบโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นกับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (specific heat) ลักษณะของชิ้นทดสอบและขนาดของชิ้นทดสอบด้วย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 เตาอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

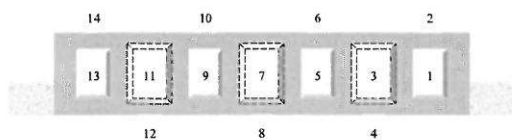
(a continuous microwave belt furnace)

การอบแห้งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยใช้เตาอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง (MDBT 11.2 kW) (รูปที่ 2) เตาอบไมโครเวฟนี้มีความถี่ใช้งานเท่ากับ 2.45 GHz เช่นเดียวกับเตาไมโครเวฟโดยทั่วไป แต่มีจำนวนแมกนีตรอนทั้งสิ้น 14 ตัว ที่ติดตั้งรอบอุโมงค์ที่มีพื้นที่หน้าตัดทรงกลม ทำให้มีกำลังสูงสุดคือ 14x800 วัตต์ โดยที่บริเวณทางเข้าออกที่ปลายอุโมงค์ทั้งสองจะยอมให้วัสดุเข้าออกระบบได้แต่ไม่ยอมให้มีคลื่นรั่วไหลออกไปได้ โดยระบบป้องกันคลื่นรั่วไหล (ไม่เกิน 10 mW/cm²) ที่ออกแบบเป็นพิเศษติดตั้งไว้

เตาอบแห้งชนิดนี้เหมาะสำหรับการผลิตชิ้นงานในปริมาณมาก สามารถที่จะนำชิ้นงานมาอบได้อย่างต่อเนื่อง และชิ้นงานจะได้รับคลื่นไมโครเวฟอย่างทั่วถึง และมีช่วงเวลารับคลื่นมากหรือน้อยได้ตามความต้องการโดยปรับความเร็วของสายพานซึ่งมีความเร็วสูงสุดไม่เกิน 2 เมตรต่อนาที รวมทั้งสามารถควบคุมทิศทางการจ่ายคลื่นลงบนชิ้นงานทดสอบได้โดยการควบคุมตำแหน่งการเปิดปิดแมกนีตรอนทั้ง 14 ตัว เมื่อชิ้นงานทดสอบผ่านเข้ามาในเตาอบบนสายพานลำเลียงความชื้นที่ระเหยออกจากชิ้นงานจะถูกดูดออกจากกระบอก โดยพัดลมดูดอากาศและชิ้นงานจะถูกส่งออกไปอีกด้านหนึ่งของเตาอบเพื่อทำการวัดอุณหภูมิของชิ้นงานโดยกล้องอินฟราเรด



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 อุปกรณ์การทดลอง

(ก) เตาอบไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่อง

(ข) ภาพร่างด้านข้างของเตาแสดงถึงตำแหน่งติดตั้งของแมกนีตรอน

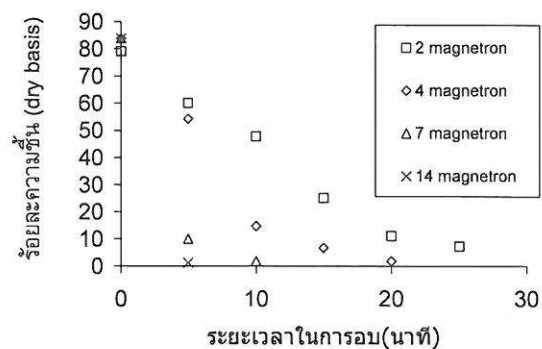
3.2 ขั้นตอนการทดลอง

นำชิ้นทดสอบไม้ขนาด 3x3x10 ซม.มาทำการวัดความชื้นเริ่มต้นก่อนการทดลองจากนั้นทำการทดลองตามเงื่อนไขต่างๆ โดยมีการวัดอุณหภูมิที่ผิวบนของไม้ วัดความชื้นสุดท้ายของเหลือ จากนั้นนำไม้ที่ทดลองเสร็จแล้วไปทำการตรวจสอบคุณภาพ ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และตรวจสอบความแข็งแรงเปรียบเทียบกับกรอบแห้งไม้ด้วยเตาอบอุณหภูมิ 100 °C โดยใช้วิธี static bending ซึ่งไม้ที่โชบน้ำมันมีความชื้นเริ่มต้น 80% (dry basis)และมีอุณหภูมิ 28°C

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

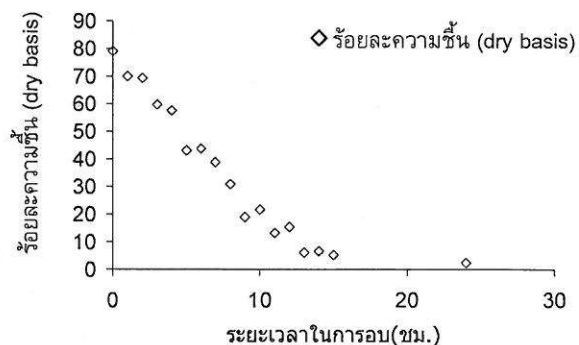
ผลจากการทดลองได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละความชื้น (dry basis) กับระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ดังรูปที่ 3 โดยใช้ช่วงเวลาในการรับคลื่นต่อการไป-กลับภายในอุโมงค์คือ 2 นาที พบว่า การทดลองที่แมกนีตรอน 2 ตัว (1600 วัตต์) ระยะเวลาในการอบแห้ง 20 นาที โดยมีความชื้นคงเหลือเพียง 11% (dry basis)การทดลองที่แมกนีตรอน 4 ตัว (3200 วัตต์) ระยะเวลาในการอบแห้ง 10 นาที โดยมีความชื้นคงเหลือเพียง 14% (dry basis)และการทดลองที่แมกนีตรอน 7 ตัว (5600 วัตต์) ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 นาทีโดยมีความชื้นคงเหลือเพียง 10% (dry basis) จะเห็นว่ากำลังของไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณการเกิด

ความร้อนแปรผันตรงกับความเร็วสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีกำลังวัตต์เพิ่มขึ้น^[10] ดังแสดงในสมการที่ 1

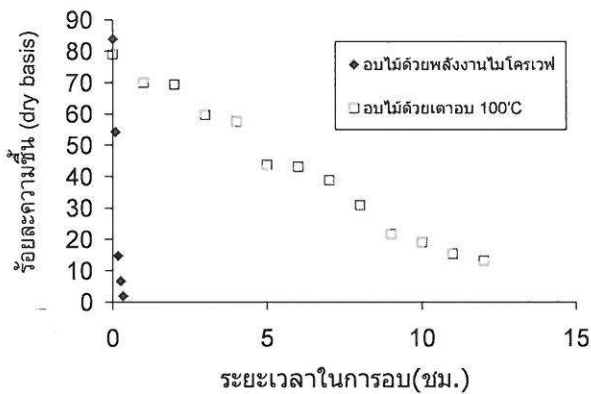


รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละความชื้น (dry basis) กับระยะเวลาในการอบแห้งของการอบแห้งไม้ด้วยพลังงานไมโครเวฟ

เมื่อเปรียบเทียบกับกรอบแห้งด้วยเตาอบ 100 °C จะพบที่ร้อยละความชื้น (dry basis) 10% จะใช้เวลาในการอบแห้งถึง 12 ชั่วโมง (ดังรูปที่ 4) เนื่องจากการอบแห้งแบบการพาความร้อนซึ่งความร้อนจะถูกป้อนที่บริเวณผิวเท่านั้น เมื่อระยะเวลาการอบแห้งผ่านไประยะหนึ่ง ความชื้นที่ผิวจะลดลงแต่ความชื้นที่อยู่ภายในยังคงมีอยู่เนื่องจากความร้อนไม่สามารถส่งผ่านเข้าไปภายในได้อย่างเต็มที่ ซึ่งจะเห็นว่ากรอบแห้งด้วยไมโครเวฟสามารถช่วยในลดระยะเวลาจาก 12 ชั่วโมง เหลือเพียง 10 นาทีเท่านั้น (ดังรูปที่ 5) และจากการใช้เวลาในการอบแห้งน้อยก็สามารถช่วยลดการใช้พลังงานอีกทางหนึ่งด้วย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละความชื้น (dry basis) กับระยะเวลาในการอบแห้งของการอบแห้งไม้ด้วยเตาอบ 100 °C



รูปที่ 5 เปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าร้อยละความชื้น (dry basis) กับระยะเวลาในการอบแห้งของการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟและเตาอบ 100 °C

จากรูปที่ 6 เมื่อศึกษาถึงการเกิดความร้อนภายในชิ้นงานกรณีอบแห้งด้วยไมโครเวฟ พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นมากบริเวณภายในชิ้นงาน (รูป 6ก) ซึ่งบ่งบอกถึงความสามารถในการไล่ความชื้นจากบริเวณภายในออกสู่ภายนอกได้ดี เนื่องจากสมบัติของคลื่นไมโครเวฟ นอกจากนี้พบว่าคุณภาพของสีเนื้อไม้ยังคงสภาพเดิมมากกว่ากรณีอบแห้งด้วยวิธีอื่น (รูป 6ข)



(ก)



อบด้วยลมร้อน อบด้วยไมโครเวฟ
เปรียบเทียบสีเนื้อไม้กับการอบไม้อื่น

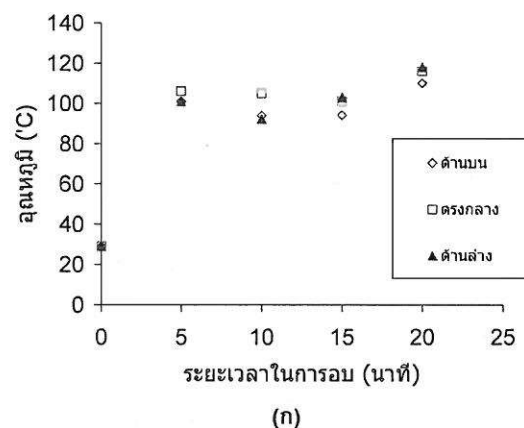
(ข)

รูปที่ 6 รูปการกระจายของอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่าง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟกับการอบแห้งด้วยเตาอบ 100 °C

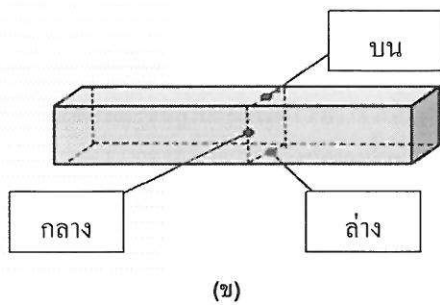
เมื่อศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานโดยใช้แมกนีตรอน 4 คิว (3200 วัตต์) พบว่าอุณหภูมิของไม้จะอยู่ที่ประมาณ 100 °C ดังรูปที่ 7(ก) จะเห็นว่าในช่วงแรกอุณหภูมิจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเนื่องจากความชื้นภายในไม้ก่อนอบมีถึง 80% (dry basis) ซึ่งค่าของอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับความชื้น โดยที่ไม้ที่มีความชื้นสูงค่าสมบัติไดอิเล็กตริก (dielectric properties) ก็จะมีค่าสูงตามทำให้การดูดซับความร้อนเนื่องจากพลังงานไมโครเวฟมากตาม อย่างไรก็ตามเมื่อระยะเวลาของการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นอุณหภูมิของไม้กลับมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากความชื้นภายในเนื้อไม้จะเคลื่อนตัวออกจากไม้ได้มากตามเวลาที่เปลี่ยนไปอันเนื่องมาจากอิทธิพลของความดันแคปิลลารี (capillary pressure) ร่วมกับอิทธิพลการแพร่ของไอ (vapor diffusion)

ทำให้อุณหภูมิมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าไดอิเล็กตริกของไม้ซึ่งมีค่าลดลงเมื่อความชื้นลดลง อย่างไรก็ตามอุณหภูมิกลับมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งที่เวลาประมาณ 18 นาทีทั้งนี้เพราะเกิดอันตรกิริยาระหว่างคลื่นไมโครเวฟกับชิ้นงานไม้ กล่าวคือที่ค่าความชื้นต่ำค่าหนึ่งค่า dielectric loss กลับมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวนี้อาจทำให้เกิดปรากฏการณ์ thermal runaway ซึ่งผู้สนใจสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในรายงานวิจัยของผู้วิจัยที่ผ่านมา [10] ทั้งนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในวัสดุภายใต้คลื่นไมโครเวฟเป็นเรื่องที่ซับซ้อนเพราะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสมบัติไดอิเล็กตริกซึ่งเป็นฟังก์ชันของความชื้นและอุณหภูมิอีกทีและความแตกต่างกันของชนิดวัสดุ ผู้สนใจสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ในเอกสารอ้างอิง [6], [8]-[10]

ในส่วนของการวางผังการวัดดังรูปที่ 7(ก) และ (ข) พบว่าทั้งสามตำแหน่งมีค่าอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการอบแห้งโดยใช้ระบบเตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงอย่างต่อเนื่องซึ่งใช้การป้อนคลื่นหลายตำแหน่ง (multi-feed system) ส่งผลให้คลื่นภายในอุโมงค์กระจายตัวสม่ำเสมอในลักษณะเป็นหลายโหมด (multimode) ทำให้เกิดการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอตลอดชิ้นงานตามที่กล่าวข้างต้น



(ก)



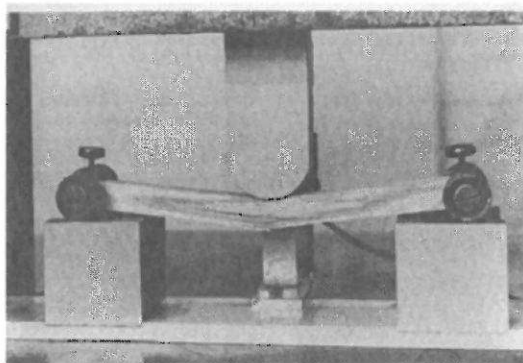
รูปที่ 7 ผลการทดลองการอบแห้งด้วยเมกนีตรอน 4 ตัว (3200วัตต์)

(ก) อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ

(ข) ตำแหน่งที่ใช้ในการใช้วัดค่าอุณหภูมิ

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภายในของเนื้อไม้หลังจากได้รับการอบแห้งด้วยไมโครเวฟกับเตาอบ 100°C เปรียบเทียบกันพบว่าโครงสร้างที่ได้จากการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีความเสียหายน้อยกว่า เนื้อเยื่อภายในของไม้ยังคงสภาพเดิม ในขณะที่การอบแห้งด้วยเตาอบ 100°C พบว่ามีการสูญเสียทางโครงสร้างของเนื้อไม้อย่างชัดเจน ทำให้เกิดโครงสร้างไม่เป็นระเบียบส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกล กล่าวคือ เมื่อทำการทดสอบความแข็งแรง⁽¹¹⁾ตามมาตรฐาน BSI ,London (ชิ้นงานทดสอบมีขนาด $2 \times 2 \times 30$ ซม.) พบว่า ชิ้นงานที่ผ่านด้วยการอบแห้งด้วยไมโครเวฟมีความแข็งแรงมากกว่าชิ้นงานที่อบด้วยเตาอบ 100°C ดังรูปที่ 9 ส่วนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟที่ใช้กำลังวัตต์เพิ่มขึ้นเป็น เมกนีตรอน 7 ตัว (5600วัตต์) จะเกิดการเสียรูปทางโครงสร้าง เนื่องจากกำลังวัตต์ของคลื่นไมโครเวฟส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในชิ้นงานอย่างรวดเร็วและสูงจนกระทั่งเนื้อชิ้นงานเกิดความเสียหาย(ดังรูปที่ 10)

ในส่วนของการงานวิจัยในอนาคต จะมีการทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีโดยมีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยในการทดลองครั้งนี้ โดยใช้เตาไมโครเวฟแบบท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยมที่สามารถควบคุมพฤติกรรมพื้นฐานของคลื่นไมโครเวฟได้ในส่วนของแบบจำลองก็จะทำการปรับเปลี่ยนความถี่ที่ใช้พลังงานที่ป้อนและความหนาของชิ้นงานต่อไป

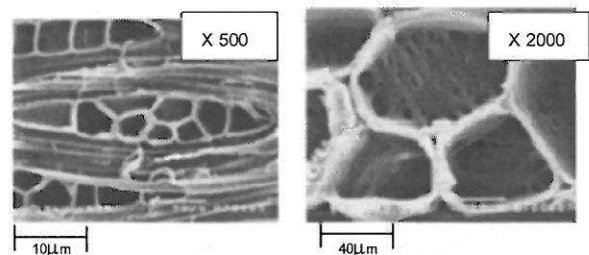


รูปที่ 8 การทดสอบสมบัติทางกลของไม้ (static bending)

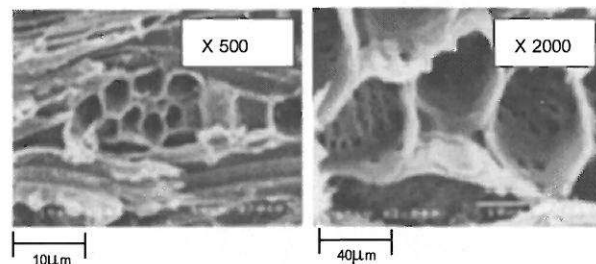
ตารางที่ 1 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของไม้(static bending)ระหว่างการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟกับการอบแห้งด้วยเตาอบ 100°C

	ค่าโมดูลัส (MPa)	ค่าความเค้น (MPa)	ค่าความเหนียว (MPa)
ไม้ที่ยังไม่ได้รับการอบแห้ง	3112.25	37.23	0.115
อบด้วยพลังงานไมโครเวฟ	4464.71	50.73	0.065
อบด้วยเตาอบ 100°C	3766.64	45.90	0.064

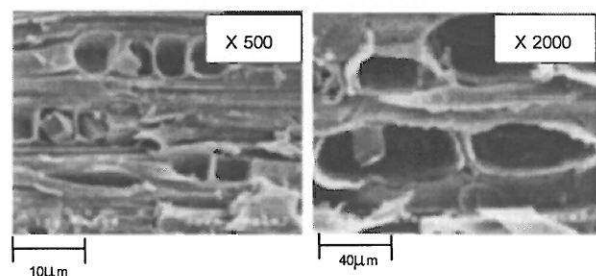
หมายเหตุ ก่อนทำการอบแห้งชิ้นงานมีความชื้น 80%(dry basis)และหลังจากอบด้วยวิธีทั้งสองมีความชื้นคงเหลือ 12-15%(dry basis)



(ก) อบด้วยไมโครเวฟโดยใช้กำลัง3200วัตต์



(ข) อบด้วยไมโครเวฟโดยใช้กำลัง5600วัตต์



(ค) อบด้วยเตาอบ 100°C

รูปที่ 10 โครงสร้างเชิงจุลภาคของไม้

5. สรุปผลการทดลอง

รายงานการวิจัยนี้ได้นำเสนอแนวคิดในการใช้พลังงานไมโครเวฟมาใช้ในการอบแห้งแปรรูปผลิตภัณฑ์ซึ่งได้ข้อสรุป ดังนี้

- 5.1 เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งผ่านทะลุเข้าไปในวัสดุที่นำมาอบแห้ง ดังนั้นความร้อนจะเกิดขึ้นภายในวัสดุอย่างทั่วถึงทำให้ชิ้นงานได้รับความร้อนอย่างสม่ำเสมอทั่วตลอดชิ้นงาน
- 5.2 มีระยะเวลาในการอบแห้งสั้นกว่ากระบวนการอบแห้งแบบธรรมดา นอกจากนั้นพบว่ากำลังของไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากปริมาณการเกิดความร้อนแปรผันตรงกับความร้อนสัมผัสไฟฟ้าซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีกำลังวัตต์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามหากมีการใช้กำลังไมโครเวฟที่มากเกินไปจะส่งผลต่อความเสียหายต่อโครงสร้างของไม้ได้เช่นกัน ซึ่งการศึกษาถึงสภาวะกระบวนการที่เหมาะสมควรจะดำเนินการวิจัยในโอกาสต่อไป
- 5.3 การอบแห้งชิ้นงานด้วยพลังงานไมโครเวฟมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบกว่าการอบแห้งชิ้นงานด้วยเตาอบ 100°C เนื่องจากการระเหยของความชื้นและความร้อนสม่ำเสมอทั่วชิ้นงานด้วยหลักการของพลังงานไมโครเวฟดังได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่งผลทำให้ค่าสมบัติทางกลของไม้จากการอบแห้งด้วยพลังงานไมโครเวฟดีกว่าการอบแห้งชิ้นงานด้วยเตาอบ 100°C ตามไปด้วย ซึ่งพูดได้ว่าเทคโนโลยีไมโครเวฟถือเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยและเป็นเทคโนโลยีสะอาดที่น่าจะนำไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ(MTEC) และบริษัท Linn High Therm GmbH ประเทศเยอรมนี สำหรับความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือในงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช “การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งในวัสดุพูน”(I หลักการเบื้องต้นของการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในกระบวนการ อบแห้งวัสดุพูน) วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ภาษาไทย) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ฉบับที่ 1 ม.ค. เม.ย 47 หน้า 1-11
- [2] R.Yamsaengsung and K.Buaphud. “Superheated steam drying of rubberwood.” เอกสารประกอบการประชุม อบรมไม้ทางเลือกทางไหนดี, 2547

- [3] ขวลิศ เพ็ชรน้ำสิน, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการอบไม้ยางพาราของห้องอบไม้ระบบสุญญากาศ.”เอกสารประกอบการประชุม อบรมไม้ทางเลือกทางไหนดี, 2547
- [4] Masakasu miura, Harumi Kaga, Akihiko Sakurai, Toyoji Kakuchi, Keji Takahashi ,2003, “Rapid pyrolysis of woodBlock by microwave heating.” J.Anal.Appl. pyrolysis ,1-13.
- [5] A.Oloyede, P.Groombridge,2000, “The Influence of microwave heating on the mechanical properties of wood”, Journal of Materials Processing Technology,67-73.
- [6] H.Zhao, I.W.Turner ,2000 ,”The use of a coupled computational model for studying the microwave heating of wood.”Applied Mathematical modeling , 183-197.
- [7] M.Lehne, G.W.Barton and T.A.G.Langrish,1999, “Comparison of experimental and modeling studies for the microwave drying of ironbank timber.” Drying technology,2219-2235.
- [8] P.Ratanadecho, K. Aoki and M. Akahori, 2001(a), Experimental and numerical study of microwave drying in unsaturated porous material: Int. Commun. Heat Mass Trans, Vol. 28, 605-611
- [9] A.C. Metaxas and R.J. Meridith, 1983, Industrial Microwave Heating: Peter Peregrinus, Ltd., London,1-100
- [10] P. Ratanadecho, K. Aoki and M. Akahori, 2002(a).Influence of irradiation time, particle sizes and initial moisture content during microwave drying of multi-layered capillary porous materials: ASME J. Heat Transfer, Vol. 124, pp. 151-161.
- [11] J.Bodig and B.A. Jayne (1982) Mechanics of wood and Wood composites. Van Nostrand Reinhold, Working-ham, UK.,106-115