การวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัด จากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง
Analysis of Drying Process Particleboards from durian peel Using Microwave Energy with continuous Belt system

อนุชิต จิ๋วหยี[1], สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย[2], ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช[2]* และ สโรชา เจริญวัย[1]*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
* ติดต่อ (Corresponding Author) E-mail: sarochakuk@hotmail.com, โทร 0-2549-3430-9, โทรสาร 0-2549-3432
[2] หน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.)
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 99 ม.18 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะทางจนพลศาสตร์ ของกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองขนาด 20 × 20 โดยใช้ไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยระบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยแมกนีตรอนเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ขนาด 800 W จำนวน 6 ตัว ติดตั้งกระจายภายในอุโมงค์ของระบบไมโครเวฟซึ่งมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 เมตร × 0.90 เมตร และ ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลา และอัตราการอบแห้ง รวมทั้งวัดสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองก่อนอบและหลังอบ

คำหลัก: การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ, ระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง, แผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียน

Abstract

This research studies on the kinetics of drying process of particleboards from durian peel of size 20 × 20 centimeter using microwave energy with continuous Belt system. Its internal structure included 6 magnetrons, microwave generating sources at the frequency level of 2.45 Gigahertz (GHz) and power of 800 watts, built at the cavity wall inside the system. The microwave cavity was rectangular shape with dimension of 0.45 m. × 0.90 m. The tested properties are the relations between temperature and moisture profile with respect to elapsed time and drying rat, the measurement of dielectric properties of particleboards from durian peel before drying and after drying.

Keywords: Drying process using microwave energy, Continuous Belt system, Particleboards from durian peel.

1. บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนเป็นประเทศเกษตรกรรม ที่มีผลผลิตทางการเกษตรที่มีคุณภาพอยู่ในระดับต้น ๆ ของโลก เช่น พืช ผัก ผลไม้จึงทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากภาคการเกษตรจำนวนมากจึงได้มีแนวคิดในการนำวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตรจำพวกเปลือกผลไม้มาผลิตเป็นแผ่นชิ้นไม้อัด เช่น เปลือกทุเรียน เนื่องจากไทยเป็นผู้ผลิตทุเรียนรายใหญ่ของโลก (ปี 2547-2552) เฉลี่ยปีละ 683,4109 ตัน ประเทศไทยมีเนื้อที่ปลูกทุเรียนกว่า 700,000 ไร่ มีจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่ปลูกทุเรียนประมาณ 170,000 ครัวเรือน

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตทุเรียนในประเทศไทยใน 5 ปีย้อนหลัง (หน่วย: ตัน)

ปี	ปริมาณ (ตัน)
2549	569,057
2550	752,965
2551	637,790
2552	661,665
2553*	632,459

และนอกจากนี้เปลือกทุเรียนยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำอยู่ที่ 0.0921 W/m.K เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดเพื่อเป็นวัสดุภายในอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งในกระบวนการผลิตจะเกี่ยวข้องกับการอบแห้งไม่ว่าด้วยวิธีธรรมชาติหรือนำพลังงานจากแหล่งอื่นมาใช้ซึ่งในบางครั้งยังผลิตไม่ทันตามความต้องการหรือหากทันตามความต้องการจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและได้ประสิทธิภาพไม่คุ้มเท่าที่ควร ส่งผลให้ต้องหากรรมวิธีการผลิตที่ช่วยในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพดี สะอาด ใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าและลดระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นที่สุดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากในเวลาที่รวดเร็ว เพื่อเป็นการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตจึงได้นำการใช้คลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์

ในหลายทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการการนำพลังงานไมโครเวฟมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการทางความร้อนเพื่อใช้ในการแปรรูปวัสดุต่าง ๆ ในทางอุตสาหกรรม ซึ่งการให้ความร้อนแก่วัสดุด้วยพลังงานไมโครเวฟความร้อนที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นในวัสดุที่อยู่ภายใต้คลื่นไมโครเวฟเอง โดยรังสีจากคลื่นไมโครเวฟที่มีความยาวคลื่นในการทะลุทะลวง 2 CM จะผ่านเข้าไปในน้ำของวัสดุ พลังงานของคลื่นไมโครเวฟจะลดลงโดยจะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในน้ำ โดยความสามารถในการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารในการผลิตความร้อนให้กำวัสดุ การกระจายความร้อนภายในวัสดุจากพลังงานไมโครเวฟขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด เช่นโครงสร้างและรูปทรงของวัสดุกำลังและการกระจายตัวของสนามคลื่นโมโครเวฟ รวมถึงค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของวัสดุ จากการผลิตวัสดุด้วยคลื่นไมโครเวฟนี้ใช้เวลาในการผลิตวัสดุสั้นกว่ากระบวนการผลิตโดยใช้ความร้อนวิธีอื่นจึงทำให้ประหยัดเวลา พลังงานและช่วยลดต้นทุน ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มคุณภาพการผลิตจึงได้นำการใช้คลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง

งานวิจัยในระดับนานาชาติที่ผ่านที่เกี่ยวกับกระบวนการทำความร้อนและอบแห้งวัสดุในประเภทต่างๆ ที่ใช้พลังงานคลื่นไมโครเวฟ เช่น [1] ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิของชิ้นไม้ภายในพลังงานไมโครเวฟ(TE10 Mode) [2] ได้ทำการศึกษากระบวนการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่องโดยทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการอบแห้งแบบธรรมดา [3] ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานในการอบวัสดุในภาชนะที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุนโดยการพาความความร้อนด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง [4] ได้ทำการวิเคราะห์พลังงานโดยสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งวัสดุพรุนโดยใช้คลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อน (TE10 Mode) โดยให้ เม็ดแก้ว น้ำ และโพรงอากาศ เป็นวัสดุพรุนและตัวอย่างวัสดุเป็นแพคเบดชั้นเดียวสองชนิด [5] ได้ทำการศึกษาการอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนกำลังคลื่นที่กำลังไมโครเวฟ 50, 100W ระดับอุณหภูมิของลมร้อน 40, 60°C และความหนาของชิ้นไม้ 50, 80mm ภายใน โดยชิ้นไม้มีความชื้นเริ่มต้น 89 - 95 %dry bulb [6] ได้ทำการนำพลังงานไมโครเวฟมาให้ความร้อนในยางธรรมชาติคอมพาวด์ที่มีปริมาณของกำมะถันต่างกันทั้งหมด 4 สูตร โดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (TE10 Mode) เพื่อศึกษากำลังวัตต์ที่ป้อนเข้า ขนาดความหนาชิ้นงาน ระยะเวลาที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน และองค์ประกอบของส่วนผสมในชิ้นงาน [7] ได้ทำการศึกษาจลนศาสตร์กระบวนการอบแห้งวัสดุไดอิเล็กตริก โดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง โดยศึกษาความเร็วของสายพาน เวลา ขนาดของวัสดุ กำลังและทิศทางของแมกนีตอนการ วัสดุไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการศึกษาคือยางพารา และเซรามิกส์

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาลักษณะจลนพลศาสตร์และวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองด้วยไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง ที่พัฒนาขึ้นโดยมีอุโมงค์เป็นหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้าตัด 0.45 เมตร×0.90 เมตร มีความยาวอุโมงค์ 3 เมตร ภายในติดตั้งแมกนีตรอนกำลังต่ำ ความถี่ที่ใช้คือ 2.45 GHz กำลังสูงสุดที่ทำคือ 6×800 วัตต์ โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 100˚C

2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟ

การอบแห้งคือ การกระบวนการลดความชื้นหรือน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ในอัตราเร็วที่ใกล้เคียงกับอัตราการระเหยของน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งแบบธรรมดาจะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวภายในและภายนอกของผลิตภัณฑ์ แต่การอบแห้งโดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์และค่าสมบัติทางไดอิเล็กตริกของผลิตภัณฑ์นั้นๆ วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำ คลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านได้ดี เช่น แก้ว อากาศ อลูมินัม เซรามิกส์ เป็นต้น ส่วนวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น งานโลหะ จะสะท้อนคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งคลื่นไม่สามารถทะลุผ่านไปได้ สำหรับวัสดุไดอิเลคตริกหรือวัสดุกึ่งฉนวนที่มีขั้วทางไฟฟ้า(Dipole) เช่น น้ำ กระดาษ เรซินและไม้จะสามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟและเปลี่ยนเป็นพลังความร้อน ลักษณะการเกิดความร้อนจะเกิดจากแรงเสียดสีระหว่างการจัดเรียงตัวใหม่ ของโมเลกุลน้ำ เมื่อดูดกลืนคลื่นส่งให้เกิดเป็นความร้อนภายในทั่วทั้งเนื้อวัสดุ(Volumetric Heating) ความร้อนและความชื้นจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของวัสดุ การให้ความร้อนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของผลิตภัณฑ์ไม่ต่างไปจากเดิมมากนัก เนื่องจากการระเหยของความชื้นภายในผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างรวดเร็วและมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายวัสดุอย่างสม่ำเสมอ สามารถลดการแตกร้าวและรอยไหม้ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งสำหรับวัสดุในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2.2.สมการความรู้พื้นฐานของการทำความร้อนด้วยพลังงานโมโครเวฟ

คลื่นไมโครเวฟเมื่อทะลุผ่านวัสดุไดอิเล็กตริกจะถูกดูดซับและเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน เรียกว่าค่ากำลังการดูดซับคลื่นต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (Density of Microwave Power Absorbed, Q) ซึ่งสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กภายในวัสดุไดอิเล็กตริก อย่างไรก็ตามวัสดุไดอิเล็กตริกไม่มีผลต่อสภาพเชิงขั้วแม่เหล็กเมื่ออยู่ในสนามแม่เหล็ก ดังนั้นจึงไม่มีสนามแม่เหล็กสูญเสียในระหว่างการแผ่รังสีไมโครเวฟ แต่วัสดุไดอิเล็กตริกจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฟสของสนามไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นค่าเฉลี่ยรากที่สองของความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกใช้ในการประมาณค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับโดยวัสดุไดอิเล็กตริก เมื่อสมมติให้ไม่มีการสูญเสียสนามแม่เหล็ก ค่าของการกำเนิดปริมาณความร้อนภายในต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$Q = \omega\varepsilon_0\varepsilon_r' E^2 = 2\pi \cdot f \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r' (\tan\delta) E^2 \qquad (1)$$

เมื่อ E คือ สนามไฟฟ้าซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่ง f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของคลื่นไมโครเวฟ ε_r' คือ relative dielectric constant ซึ่งบอกถึงสมบัติของวัตถุใดๆที่อธิบายถึงความสามารถในการดูดซับ ส่งผ่านและสะท้อนพลังงานจากส่วนที่เป็นสนามไฟฟ้าของคลื่นไมโครเวฟ โดย ε_0 คือ Dielectric Constant ของอากาศ และ tanδ คือ Dielectric Loss Tangent Coefficient ซึ่งบอกถึงความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานที่วัสดุดูดซับพลังงานความร้อน ค่าพลังงานไมโครเวฟที่ถูกดูดซับจะแปรผันตรงกับค่าความถี่ของสนามไฟฟ้า tanδ และค่ากำลังสองของสนามไฟฟ้า แต่ถ้าค่า tanδ ของแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่ามากจะส่งผลให้การดูดซับพลังงานไมโครเวฟและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นมีมากไปด้วย แต่ถ้าค่า tanδ มีค่าน้อยคลื่นไมโครเวฟจะทะลุผ่านแผ่นชิ้นไม้อัดโดยไม่เกิดความร้อนขึ้น อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจจะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะ(Specific Heat) ค่าความชื้น(Moisture content) ลักษณะของแผ่นชิ้นไม้อัดและขนาดของแผ่นชิ้นไม้อัดด้วย

ค่าความลึกในการทะลุทะลวงหรือระยะทางที่สนามไฟฟ้าเข้าไปได้ สามารถหาได้จากสมการที่ (2)

$$D_p = \frac{1}{\frac{2\pi f}{\upsilon}\sqrt{\frac{\varepsilon_r'\sqrt{1+\left(\frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r'}\right)^2}-1}{2}}} = \frac{1}{\frac{2\pi f}{\upsilon}\sqrt{\frac{\varepsilon_r'\sqrt{1+(\tan\delta)^2}-1}{2}}} \qquad (2)$$

เมื่อ υ คือ ค่าความเร็วแสง (3×10^8 m/s), f คือ ค่าความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ (ε_r') คือ Relative dielectric constant ($\tan\delta$)คือ Dielectric Loss Tengent Coefficient

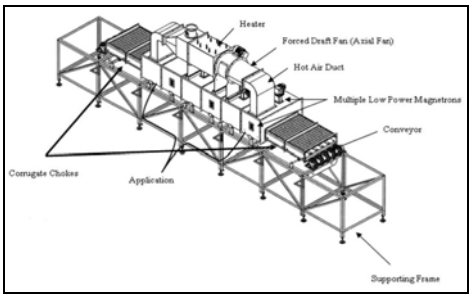
จะเห็นว่าค่า Dielectric Constant และ Loss Tangent Coefficient เปลี่ยนค่าความลึกในการทะลุทะลวงและสนามไฟฟ้าภายในวัสดุไดอิเล็กตริกก็จะเปลี่ยนแปลงตามด้วย

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1เครื่องอบไมโครเวฟชนิดสายพายลำเลียงแบบต่อเนื่อง

ระบบไมโครเวฟที่ใช้สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้เป็นระบบไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง ที่ทางหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) พัฒนาขึ้น โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นคือ วัสดุที่นำมาผ่านกระบวนการจะถูกลำเลียงโดยสายพานผ่านเข้าไปในอุโมงค์ที่มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular cavity) ซึ่งภายในระบบจะติดตั้งแมกนีตรอน คลื่นไมโครเวฟความถี่ 2.45 GHz ไว้จำนวน 12 ตัว (กำลัง 800 วัตต์/ตัว) และเครื่องกำเนิดลมร้อน อุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้โดยประมาณ 240 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับสมบัติวัสดุ) วัดอุณหภูมิลมร้อนโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล โดยใช้ชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง คลื่นไมโครเวฟถูกยิงจากแมกนีตรอน ซึ่งติดตั้งอยู่รอบๆ บริเวณทำความร้อนสามารถทำได้โดยลำเลียงวัสดุใส่สายพานที่บริเวณปากทางเข้าระบบ (สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วสายพานได้ตามต้องการ) จากนั้นสายพานจะลำเลียงวัสดุเข้าไปยังบริเวณทำความร้อนการปรับแต่งกำลังสามารถทำได้โยการเปิดและปิดแมกนีตรอนตามตำแหน่งต้องการ บริเวณปากทางเข้าและออกระบบไมโครเวฟมีระบบการดักคลื่นไมโครเวฟที่อาจรั่วไหลออกมาเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานซึ่งค่าการรั่วไหลมีมาตรฐานอยู่ไม่เกิน 5 มิลลิวัตต์/ตารางเซนติเมตร สำหรับการวัดอุณหภูมิวัสดุทดสอบสามารถ วัดได้ที่ตำแหน่งปากทางเข้าและออกเตาไมโครเวฟโดยใช้อินฟราเรดเทอร์โมมิเตอร์ (ความแม่นยำในช่วง ± 0.5 องศาเซลเซียส)

(ก)

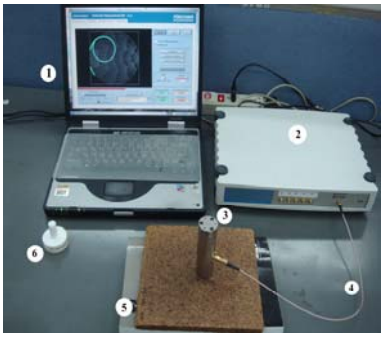


(ข)

รูปที่ 1 (ก) เครื่องไมโครเวฟแบบระบบสายพานลำเลียงต่อเนื่อง
(ข) ไดอะแกรมรายละเอียดเครื่องทดลอง [1]

3.2. ขั้นตอนการทดลอง

นำแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง ขนาด 20x20 เซนติเมตร ทั้ง 12 แผ่น มาทำการวัดความชื้นและค่าสมบัติไดอิเล็กตริก (Relative dielectric constant, Relative dielectric loss and Loss tangent) เริ่มต้นก่อนการทดลอง



1. Software
2. Microwave Reflect meter
3. Coaxial Cavity
4. Coaxial Cable
5. Sample
6. Female Calibration Standards

รูปที่ 2 เครื่องเน็ตเวิร์คนาไลเซอร์ [1]

จากนั้นทำการทดลองโดยการอบด้วยเครื่องอบไมโครเวฟชนิดสายพายลำเลียงแบบต่อเนื่องตามตามเงื่อนไข โดยทำการเปิดแมกนีตรอน 6 ตัว อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียล โดยทุกๆเงื่อนไขจะมีการวัดอุณหภูมิภายในของชิ้นไม้ ความชื้นคงเหลือ เพื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นกับเวลา ซึ่งแผ่นชิ้นไม้อัดที่ใช้อบมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 30-20 % dry basic และมีอุณหภูมิเริ่มต้น 25˚C และทำการถ่ายภาพทางความร้อนและวัดค่าสมบัติไดอิเล็กตริกของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองที่ผ่านการอบด้วยพลังงานคลื่นไมโครเวฟ

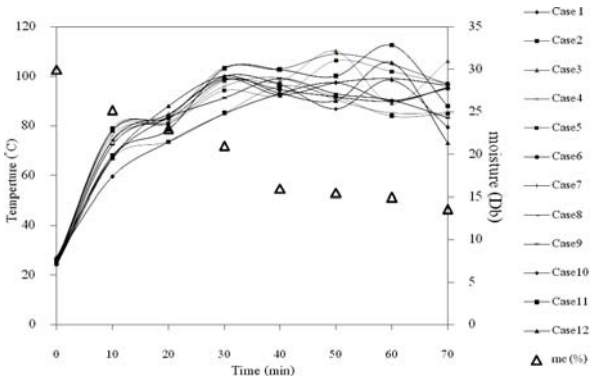
4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

4.1ค่าคุณสมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทอง

ตารางที่ 2 สมบัติของแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองก่อนการอบและหลังอบ ความชื้น และอัตราการอบแห้ง

แผ่นชิ้นไม้อัด	สูตรอัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัด	Dielectric Properties						น้ำหนักก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	Drying rate (g/min)
		ก่อนอบ			หลังอบ					
		ε'	ε''	$\tan\delta$	ε'	ε''	$\tan\delta$			
1	1:1:1 (80)	2.00	0.32	0.16	1.56	0.15	0.100	361	318	0.24
2	1:1:1.5 (80)	2.25	0.43	0.19	1.50	0.15	0.101	365	320	0.27
3	2:1:1.5 (80)	2.31	0.43	0.19	1.59	0.15	0.098	364	319	0.27
4	2:1:2 (80)	1.92	0.27	0.14	1.56	0.15	0.101	357	318	0.23
5	1:1:1 (90)	2.15	0.35	0.16	1.48	0.15	0.103	358	314	0.25
6	1:1:1.5 (90)	2.23	0.43	0.19	1.50	0.15	0.102	363	319	0.25
7	2:1:1.5 (90)	2.45	0.46	0.19	1.61	0.15	0.099	354	311	0.25
8	2:1:2 (90)	2.20	0.35	0.16	1.63	0.16	0.098	355	312	0.27
9	1:1:1 (100)	2.38	0.66	0.15	1.73	0.16	0.096	357	315	0.19
10	1:1:1.5 (100)	2.19	0.38	0.17	1.62	0.16	0.100	362	319	0.25
11	2:1:1.5 (100)	2.08	0.37	0.18	1.51	0.15	0.103	353	310	0.26
12	2:1:2 (100)	2.38	0.48	0.20	1.53	0.15	0.101	365	319	0.19

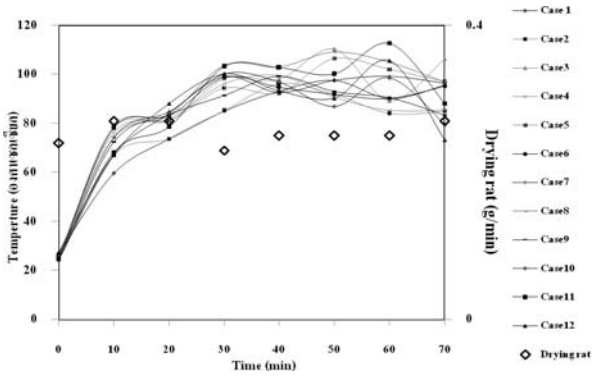
ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 6×800 วัตต์ อุณหภูมิ 100 °C ทำการอบแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองโดยแผ่นชิ้นไม้อัดจะมีอัตราสูตรในการผลิต อัตราส่วนคือ (เส้นใยเปลือกทุเรียน : ผงเปลือกทุเรียน : น้ำ) จะเห็นได้ว่าค่า Loss Tengent Coefficient ($\tan\delta$) มีของแผ่นชิ้นไม้อัดก่อนอบแต่ละแผ่นมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นชิ้นไม่อัดแต่ละแผ่นนั้นมีน้ำหนักมากและมีความชื้นมาก และเมื่อทำการอบด้วยพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟพบว่าค่า Loss Tengent Coefficient ($\tan\delta$) ของแผ่นชิ้นไม้อัดแต่ละแผ่นมีค่าลดลง น้ำหนักลดลงและความชื้นก็ลดลงตามไปด้วย เนื่องจากสูตรอัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดมีผลต่อการดูดซับพลังงานจากคลื่นไมโครเวฟ โดยแผ่นที่ 9 1:1:1 100 °C มีอัตราการส่วนในการผลิตที่น้อยและในกระบวนการผลิตแผ่นชิ้นไม้อัดอบที่อุณหภูมิสูงจึงทำให้มีน้ำหนักน้อยความชื้นต่ำทำให้มีค่า Loss Tengent Coefficient ($\tan\delta$) ต่ำ การสะท้อนของพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าต่ำ ทำให้คลื่นไมโครเวฟสามารถส่งกำลังทะลุทะลวงผ่านผิวของแผ่นชิ้นไม้ได้มาก ส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งรวดเร็วขึ้น จึงเห็นว่าอัตราส่วนและเงื่อนไขในการผลิตแผ่นชิ้นไม่อัดที่เหมาะสมคืออัตราส่วน 1:1:1 อบที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นกับเวลา

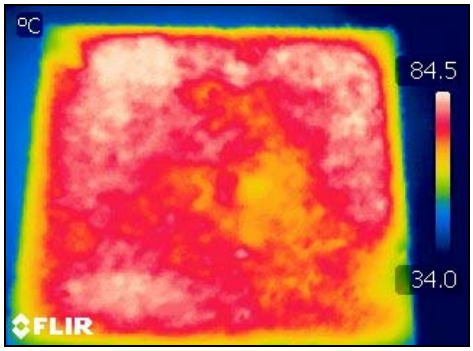
จากรูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าเมื่อในช่วงแรก (0-50) แผ่นชิ้นไม้อัดจะดูดซับพลังงานไมโครเวฟไว้ได้มาก เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นสูง ต่อมาการดูดซับพลังงานไมโครเวฟของแผ่นชิ้นไม้อัดจะเริ่มมีค่าลดลงเนื่องจากความชื้นภายในแผ่นชิ้นไม้อัดได้

เคลื่อนตัวออกไป ในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้อิทธิพลของความดันคาพิวลารี(Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่า แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลงทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น (ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่) ออกสู่ผิวหน้าซึ่งเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ(vapor diffusion) และความดันก๊าซ (Gas Pressure) เป็นหลักส่วนกำลังไมโครเวฟสะท้อนที่ผิวแผ่นชิ้นไม้อัดจะมีค่ามากในช่วงแรกและจะค่อย ๆ ลดลงจนคงที่ กำลังคลื่นไมโครเวฟทะลุผ่านแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นโดยในช่วงท้าย การทดลองพลังงานคลื่นไมโครเวฟที่ผ่านจะมีค่าสูง เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมีค่าลดลงตามไปด้วย และเมื่อวิเคราะห์ถึงกับค่า Dielectric Properties ใน(ตารางที่ 2) พบว่าเวลาที่ในการอบมากขึ้นทำให้ค่าความชื้นมีค่าเข้าใกล้จุดสมดุล

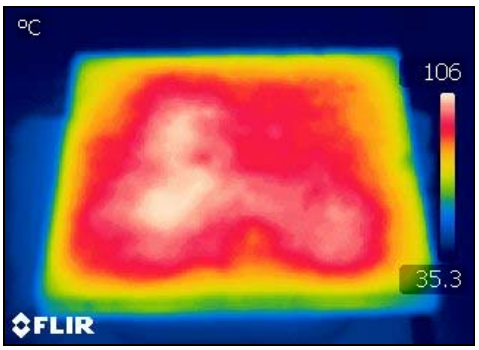


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งกับเวลา

จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและอัตราการอบแห้งที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับเวลา พบว่าในช่วงแรก (0-20) อัตราการอบแห้งมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นสูงจึงมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟอย่างต่อเนื่อง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปทำให้อัตราในการอบแห้งลดลงแผ่นชิ้นไม้อัดมีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงอุณหภูมิสูงขึ้นแต่พลังงานความร้อนสะสมภายในแผ่นชิ้นไม้อัดยังมีอยู่จึงทำให้อุณหภูมิยังคงสูงจึงทำให้อัตราการอบแห้งมีค่าเข้าใกล้ค่าสมดุล



(ก)



(ข)

รูปที่ 5 (ก) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 10 นาที (ข) ภาพถ่ายทางความร้อนเมื่อทำการอบ 70 นาที

จากรูปที่ 5 แสดงภาพถ่ายทางความร้อนจากการใช้กำลังไมโครเวฟ 6×800 วัตต์ อุณหภูมิ 100˚C ทำการอบแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองพบว่าในกระบวนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟสามารถบ่งบอกถึงการทะลุทะลวงของคลื่นไมโครเวฟได้เป็นอย่างดี โดยสังเกตุจากสีของภาพถ่ายทางความร้อนของแผ่นชิ้นไม้อัดจะเห็นว่าเมื่อเริ่มทำการอบ (10 นาที) แผ่นชิ้นไม้อัดจะมีความร้อน (สีแดง) กระจายสม่ำเสมอทั้งแผ่น เพราะว่าแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นสูง มีการดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟมากที่บริเวณตรงกลางของแผ่นชิ้นไม้อัดส่งผลให้เกิดความร้อนภายในทั่วแผ่นชิ้นไม้อัดทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อเวลาผ่านไป (70 นาที) ความชื้นและความร้อนของแผ่นชิ้นไม้อัดจะถูกถ่ายเทจากภายในออกสู่ผิวภายนอกของแผ่นชิ้นไม้อัดทำให้การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟลดลงส่งผลให้บริเวณตรงกลางของแผ่นชิ้นไม้อัดยังมีความชื้นสะสมอยู่ ทำให้ร้อน (สีแดง)กระจายอยู่บริเวณตรงกลางของแผ่นชิ้นไม้อัด จากการให้ความร้อนคลื่นไมโครเวฟจะทำให้ผิวของแผ่นชิ้นไม้อัดไม่ต่างไปจากเดิม

มากนักเพราะการระเหยของความชื้นภายในแผ่นชิ้นไม้อัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว

5. สรุปผลการทดลอง

จากการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้อัดจากเปลือกทุเรียนหมอนทองพบว่า ในช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งแผ่นชิ้นไม้สามารถดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟได้ดี เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดยังมีความชื้นสูง ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในแผ่นชิ้นไม้อัดสูงตามไปด้วย และเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งเพิ่มขึ้น การดูดซับพลังงานคลื่นไมโครเวฟจะมี ค่าลดลง เนื่องจากแผ่นชิ้นไม้อัดมีความชื้นลดลง จึงทำให้อุณหภูมิภายในของแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่าลดลงและลักษณะการเคลื่อนตัวของความชื้นช่วงแรกของกระบวนการอบแห้งภายในแผ่นชิ้นไม้อัด จะมีเฟสของของเหลวอยู่อย่างต่อเนื่องทำให้ อิทธิพลของความดันคาพิวลารี (Capillary Pressure) ที่ขับเคลื่อนของเหลวไปยังผิวหน้าของแผ่นชิ้นไม้อัดมีค่าสูง แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณความชื้นลดลง ทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้น(ซึ่งเป็นไอส่วนใหญ่)ออกสู่ผิวหน้านั้นเป็นอิทธิพลของการแพร่ของไอ(vapor diffusion)และความดันก๊าซ(Gas Pressure) เป็นหลัก จากงานวิจัยนี้สามารถนำพลังงานคลื่นไมโครเวฟมาใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์แผ่นชิ้นไม้อัด เนื่องมาจากพลังงานคลื่นไมโครเวฟสามารถทะลุผ่านเข้าไปในแผ่นชิ้นไม้อัดที่นำมาทำการอบแห้งได้ เพราะความร้อนที่เกิดจาก คลื่นไมโครเวฟภายในแผ่นชิ้นไม้อัดมีการกระจ่ายตัวอย่างสม่ำเสมอจึงทำให้ความแห้งที่เกิดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอไปทุกตำแหน่งของตัวแผ่นจึงเป็นเหตุให้การควบคุมคุณภาพในการผลิตทำได้ง่าย ระยะเวลาในการอบก็สั้นว่าการอบแบบปกติ และยังเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เหมาะกับการนำไปใช้เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ภาคการเกษตรที่เน้นการควบคุมคุณภาพ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณงบประมาณแผ่นดิน จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยและหน่วยวิจัยเพื่อการใช้ประโยชน์จากไมโครเวฟในงานวิศวกรรม (R.C.M.E.) ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Rattanadecho , P., 2006, “The simulation of microwave heating of wood using a rectangular wave guide: Influence of frequency and sample size“ Chemical Engineering Science, pp.4798-4811

[2] Vongpradubchai, S.,and., Rattanadecho, P.,2009, “The microwave processing of wood using a continuous microwave belt drier” Chemical Engineering and Processing, pp. 997 - 1003, 2011

[3] Jindarat,W.,Rattanadecho, P., Vongpradubchai, S. and Pianroj, Y., 2011, Analysis of Energy Consumption in Drying Process of Non-Hygroscopic Porous Packed Bed Using a Combined Multi-Feed Microwave - Convective Air and Continuous Belt System (CMCB), Drying Technology An International J., Vol.29(08), pp. 926 – 938.

[4] วิโรจน์ จินดารัตน์, เกียรติขจร สุเวทเวทิน และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2551). การวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการอบแห้งวัสดุพรุนหลายชั้นโดยใช้ไมโครเวฟร่วมกับการพาความร้อนภายในท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม ,การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

[5] สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย, วิโรจน์ จินดารัตน์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช (2550).การอบแห้งไม้ด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนโดยใช้ท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21, โรงเรียนนายเรืออากาศ

[6] นพวรรณ ดูงาม, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และ วารุณี กลิ่นไกล (2549).การอุ่นยางธรรมชาติด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (MODE: TE10), การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[7] ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ,สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย,สุชนม์ ปิยโชติ,และ ดวงเดือน อาจองค์ (2547). การวิเคราะห์กระบวนการให้ความร้อนในวัสดุไดอิเล็กตริกโดยใช้เตาไมโครเวฟชนิดสายพานลำเลียงแบบต่อเนื่อง, การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18, มหาวิทยาลัยขอนแก่น