

ความสามารถในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกจากทางใบปาล์มน้ำมัน ในช่วงความถี่โทรคมนาคม

Electromagnetic Shielding Capabilities of Woodceramics Made from Oil Palm Frond in Telecommunication Frequency Range

บุญยฤทธิ์ ปัญญาสิน^{1*} พงษ์ศักดิ์ เสงนิรันดร์¹ และ ไตรรัตน์ เนียมสุวรรณ¹

Boonyarit Panyayeun^{1*}, Pongsak Hengniran¹ and Trairat Neimsuwan¹

บทคัดย่อ

วัสดุเซรามิกเป็นอีกหนึ่งวัสดุคาร์บอนรุ่นใหม่ที่มีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ หนึ่งในการใช้ประโยชน์ที่น่าสนใจคือใช้เป็นวัสดุป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้จะให้ความสนใจไปที่ย่านความถี่โทรคมนาคมเป็นหลัก วัสดุเซรามิกได้จากการคาร์บอนไนเซชันแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางที่ได้จากเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันและผ่านการอัดด้วยกาวยสังเคราะห์จากการกลายสภาพของกะลาปาล์มน้ำมัน โดยมีปัจจัยในการผลิต 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิสูงสุดของการคาร์บอนไนเซชันที่ 600, 800 และ 1,000 °C และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 1, 5 และ 10 °C/min. ตามลำดับ นำมาศึกษาคุณสมบัติการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE 299 ที่ช่วงคลื่นความถี่ 800-960 และ 1,710-2,170 MHz ผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงสุดในการผลิตให้เกินกว่า 600 °C แต่จะเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิสูงสุดประมาณ 800 °C ทั้งนี้พบว่าวัสดุเซรามิกที่ผลิตขึ้นโดยใช้อุณหภูมิ 800 และ 1,000 °C เท่านั้นที่มีประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานสากลโดยมีค่าการป้องกันอยู่ระหว่าง 34.34-42.86 dB

ABSTRACT

A new kind of porous carbon materials with many excellent properties, Woodceramics (WCS) were considered to have a potential for electromagnetic shielding applications, especially in telecommunication frequency range. In this research, WCS were prepared by carbonizing Medium Density Fiberboard (MDF) that made from oil palm frond and impregnated with liquefied wood that converted from oil palm shell. The effects of maximum temperature (600, 800 and 1,000 °C) and heating rate (1, 5 and 10 °C/min) during carbonization on the electromagnetic shielding property of WCS were carefully investigated according to IEEE 299. The result showed that the electromagnetic shielding property of produced WCS were rapidly increasing when maximum temperature above 600 °C and beginning to stable since 800 °C. Moreover, only WCS in conditions 800 and 1,000 C were between 34.34 to 42.86 dB that in the range according to international standard.

Key words: Woodceramics, Medium Density Fibreboard (MDF), Oil Palm Frond, Liquefied Wood

*Corresponding author; e-mail address: rasta.garm@gmail.com

¹ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Forest Products, Faculty of Forestry, Kasetsart University, Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

คำนำ

วูดเซรามิก (Woodceramics) เป็นอีกหนึ่งวัสดุคาร์บอนที่มีความเป็นรูปทรงสูง มีพื้นฐานการผลิตมาจากการผลิตถ่าน โดยนำไม้หรือวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ที่ผ่านการอัดหรือเคลือบด้วยเรซินมาผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน (Carbonization) ที่อุณหภูมิระหว่าง 300-2,800 °C (Hirose *et al.*, 2002a) ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติโดดเด่นหลายประการ เช่น สามารถต้านทานความร้อนสูงได้ดี ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี ต้านทานต่อการขีดข่วน มีกาน้ำไฟฟ้าที่ดี มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงสูง สามารถป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ ความเป็นรูปทรงสูงมีพื้นที่ผิวมากกว่า 1,000 m²/g (Fan *et al.*, 2001) จึงเหมาะกับการดูดซับจากข้อดีเหล่านี้ทำให้วูดเซรามิกสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง เครื่องทำความร้อน ตัวกรองแก๊ส วัสดุดูดซับ วัสดุที่ใช้ในการบำบัดน้ำ อุปกรณ์วัดความชื้น อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา ฉนวนกันความร้อน อุปกรณ์ป้องกันคลื่นแม่เหล็ก (Shibata *et al.*, 1997) ไฟฟ้าและเบรคได้เป็นอย่างดี ซึ่งคุณสมบัติของวูดเซรามิกดังกล่าวเป็นผลจากการที่เรซินเปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอนสัณฐาน (Hard glassy carbon) ขณะที่ไม้เปลี่ยนสภาพเป็นคาร์บอนอสัณฐาน (Soft amorphous carbon) หลังจากผ่านกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน ที่สำคัญวูดเซรามิกยังจัดอยู่ในกลุ่มวัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากสามารถนำเศษเหลือวัสดุลิกโนเซลลูโลสมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตทั้งยังส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าวัสดุประเภทอื่น ๆ (Suda and Kakishita, 1999; Hirose *et al.*, 2002b; Qian *et al.*, 2004)

ปาล์มน้ำมันจัดว่าเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย เนื่องจากเป็นพืชที่ให้ผลผลิตน้ำมันต่อไร่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชน้ำมันอื่น ๆ โดยผลผลิตหลักที่ได้คือน้ำมันปาล์ม ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายในชีวิตประจำวันทั้งการบริโภคและอุปโภค ด้วยเหตุนี้ทำให้มีการขยายพื้นที่ปลูกอย่างต่อเนื่องมาโดยตลอด ปัจจุบันมีพื้นที่ปลูกทั่วประเทศราว 4.28 ล้านไร่ ขณะที่พื้นที่ให้ผลผลิตประมาณ 3.98 ล้านไร่ ได้น้ำมันปาล์มดิบที่ 1.9 ล้านตันต่อปี มูลค่าทางเศรษฐกิจของทั้งปาล์มน้ำมันและน้ำมันปาล์มไม่ต่ำกว่า 60,000 ล้านบาทต่อปี โดยมีแหล่งเพาะปลูกที่สำคัญอยู่ที่ภาคใต้ (ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย, 2555) จากสถานการณ์ดังกล่าวส่งผลให้มีเศษเหลือจากวัสดุปาล์มน้ำมันเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะทางใบปาล์มน้ำมันที่ยังไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ซึ่งมีปริมาณมากและสม่ำเสมอตลอดทั้งปี เนื่องจากเมื่อปาล์มน้ำมันมีอายุมากขึ้นลำต้นจะสูงขึ้นทำให้การเก็บเกี่ยวทะลายนทำได้ยาก จึงจำเป็นต้องตัดทางปาล์มด้านล่างออกเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บเกี่ยวผลปาล์มต่อไป (ประยงค์, 2548) ปริมาณทางใบทั่วประเทศคาดว่าจะมีมากถึงประมาณ 2.47 ล้านตันต่อปี (คำนวณจากพื้นที่ปลูกในประเทศไทยในปี 2555)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเศษเหลือทางใบปาล์มน้ำมันที่ถูกทิ้งไว้ในสวนปาล์มน้ำมันมาขึ้นรูปเป็นแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลาง (MDF) และนำกะลาปาล์มน้ำมันมาแปรรูปเป็นลิกนินไฟท์วูด จากนั้นประยุกต์ใช้วิธีการอัดน้ำยารักษาเนื้อไม้แบบ Full Cell Process ทำการอัดลิกนินไฟท์วูดเข้าไปภายในแผ่นวัสดุ MDF ที่ผลิตขึ้น คาดว่างานวิจัยชิ้นนี้จะช่วยส่งเสริมให้มีการนำเศษเหลือวัสดุปาล์มน้ำมันมาใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดปัญหาสิ่งแวดล้อม และสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่า โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะศึกษาสภาวะในการผลิตวูดเซรามิกจากทางใบปาล์มน้ำมันที่มีผลต่อคุณสมบัติการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่โทรคมนาคมเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งานเชิงพาณิชย์ต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์และวิธีการ

การผลิตแผ่นใยไม้อัด

การผลิตแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจะใช้วิธีการอัดแบบแห้ง โดยมีขั้นตอนในการผลิตดังนี้ ใช้เส้นใยที่ได้จากการแยกเยื่อทางใบปาล์มน้ำมันผสมกับฟีนอลเรซินในอัตราส่วน 1:0.5 โดยมวล ในเครื่องผสมกาว ทำการขึ้นรูปแผ่นใยไม้อัดความหนาแน่นปานกลางจากเส้นใยที่ผสมกาว ให้มีขนาด $35 \times 35 \times 1.2 \text{ cm}^3$ โดยเครื่องอัดร้อน ภายใต้แรงดัน 5 Mpa อุณหภูมิในการอัดร้อน 160°C เป็นเวลา 10 นาที (Figure 1)

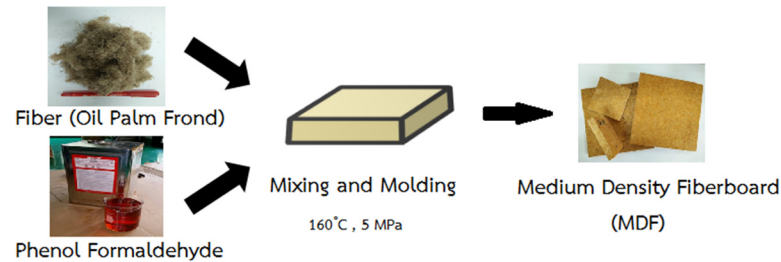


Figure 1 Medium density fiberboard manufacturing methods.

การผลิตลิกวิดไฟท์วู้ด

การผลิตลิกวิดไฟท์วู้ด เริ่มจากผสมสารประกอบฟีนอลกับผงกะลาปาล์มน้ำมันที่ผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ในอัตราส่วน 3:1 โดยมวล และใช้กรดกำมะถันเข้มข้น 95% ปริมาณ 3% ของสารประกอบฟีนอล เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในขวด 3 คอ ก้นกลมขนาด 2,000 ml ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C พร้อมทั้งกวนด้วยใบกวนที่ความเร็ว 1,000 rpm เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนส่วนผสมกลายเป็นของเหลวที่มีเนื้อเดียวกันแล้วจึงทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อจะใช้งานจึงเจือจางลิกวิดไฟท์วู้ดที่ได้ด้วยเอทานอลในอัตราส่วน 1:1 โดยมวล (Figure 2)

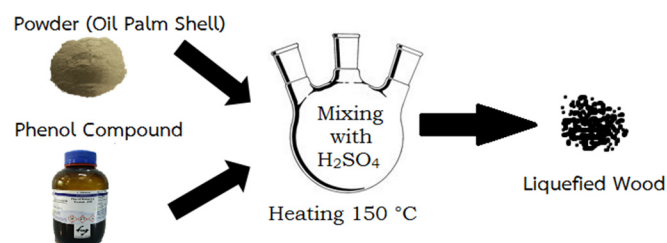


Figure 2 Liquefied wood preparation.

การผลิตวู้ดเชรามิก

การอัดลิกวิดไฟท์วู้ดเข้าไปในแผ่นใยไม้อัดจะใช้วิธีการอัดน้ำยาแบบเต็มเซลล์ ตามรายละเอียดดังนี้ ทำสุญญากาศเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อดึงอากาศที่อยู่ภายในช่องว่างของชิ้นตัวอย่างออก จากนั้นปล่อยลิกวิดไฟท์วู้ดเข้าสู่ถึงอัดน้ำยาให้เต็มถึงอัด และทำการเพิ่มแรงดันภายในถึงอัดน้ำยาให้สูงขึ้นให้เท่ากับ 10 MPa เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง นำชิ้นงานที่ได้มาผ่านการคาร์บอนไนเซชันที่สภาวะต่าง ๆ โดยมีปัจจัยการผลิต 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยของอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน และปัจจัยของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (Figure 3)

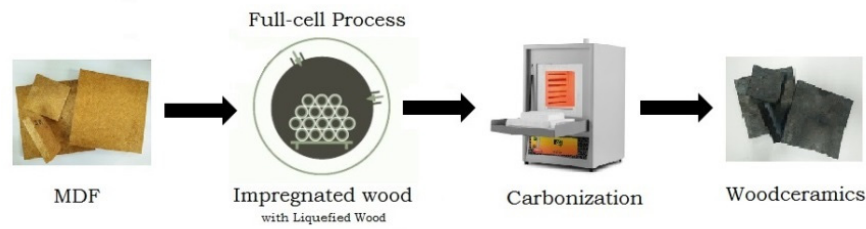


Figure 3 Woodceramics manufacturing methods.

การเก็บข้อมูลและการทดสอบประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

วางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟคทอเรียล (3x3 Factorial Experiment Design) โดยควบคุมอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน 3 ระดับ คือ 600, 800 และ 1,000 °C กับอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 3 ระดับ 1, 5 และ 10 °C/min ทำซ้ำทั้งสิ้น 3 ครั้ง จากนั้นวัดเซรามิกที่ได้ในแต่ละสภาวะจะถูกสุ่มตัวอย่างมา 3 ตัวอย่าง เพื่อทดสอบคุณสมบัติการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE 229 : 1991) ซึ่งจะเป็นการทดสอบหาค่าประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุ (Figure 4)

$$SE = 20\log (E_1/E_2)$$

เมื่อ E_1 = ความเข้มของสัญญาณเมื่อไม่มีชิ้นทดสอบ
 E_2 = ความเข้มของสัญญาณเมื่อมีชิ้นทดสอบปิดกั้น

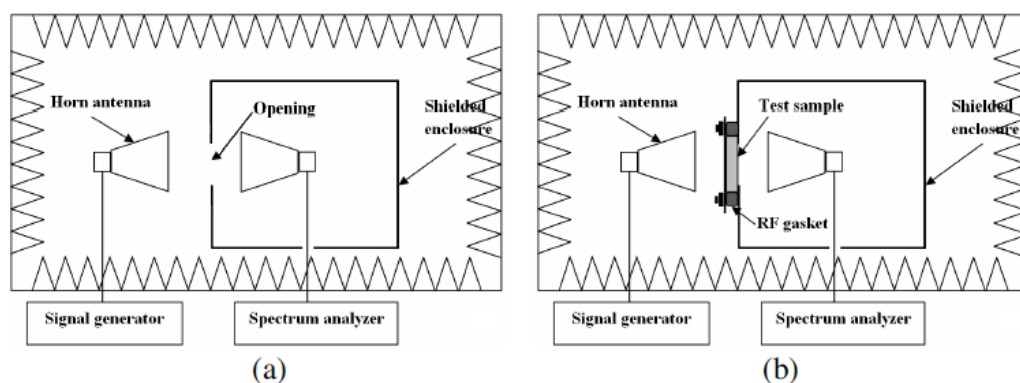


Figure 4 Experimental test setup used to determine shielding effectiveness. (a) Reference measurement (without sample) and (b) load measurement (with sample).

Source: Morari *et al.* (2011)

การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

คุณสมบัติการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะทำการทดสอบที่ช่วงความถี่ 800-960 MHz และ 1,710-2,170 MHz ซึ่งเป็นช่วงความถี่สำหรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตามตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ. 2558) (สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ, 2558)

1. ช่วงความถี่ 800–960 MHz

ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าวัสดุเซรามิกที่ผลิตจากอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชันเท่ากับ 600 °C ให้ค่าประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ 800-960 MHz แตกต่างจากอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน 800 และ 1,000 °C อย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 3.10-5.70 dB เปรียบเทียบกับ 34.34-34.77 dB) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกที่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตให้สูงขึ้น และเฉพาะที่อุณหภูมิ 600 °C นี้เท่านั้นที่พบอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชันกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ โดยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 10 °C/min จะให้ค่าการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 5 และ 1 °C/min ที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิสูงสุด 800 และ 1,000 °C ไม่พบอิทธิพลร่วมของอัตราการเพิ่มอุณหภูมิแต่อย่างใด ซึ่งหมายความว่าเมื่ออุณหภูมิในการผลิตตั้งแต่ 800 °C ขึ้นไป อัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณสมบัติในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่นี้ต่อวัสดุเซรามิกที่ผลิตได้ (Figure 4)

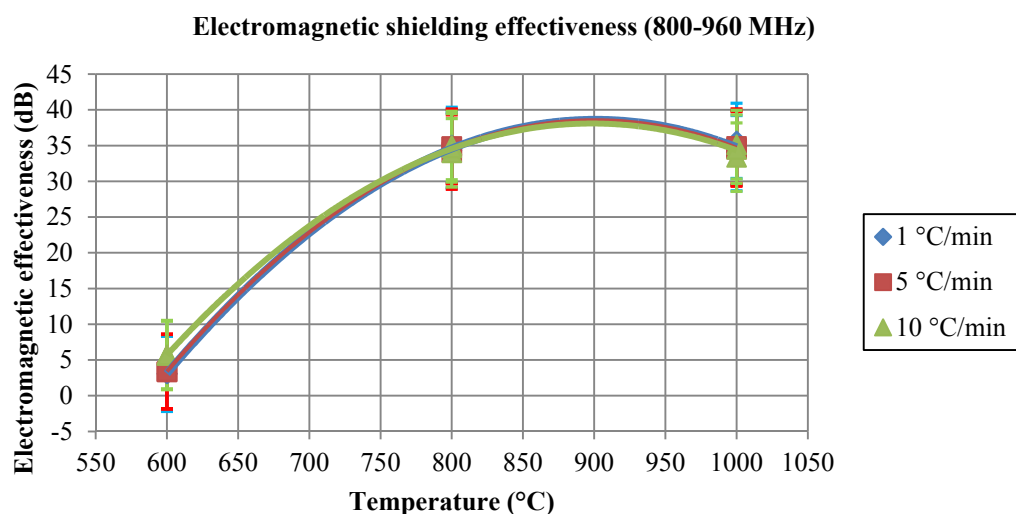


Figure 4 Electromagnetic shielding effectiveness of woodceramics (800-960 MHz)

2. ช่วงความถี่ 1,710-2,170 MHz

ผลการทดสอบและผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าวัสดุเซรามิกที่ผลิตจากอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชันที่ 600 °C ให้ค่าประสิทธิภาพในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่ 1,710-2,170 MHz แตกต่างจากอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน 800 และ 1,000 °C อย่างมีนัยสำคัญ (ประมาณ 2.46-3.62 dB เปรียบเทียบกับ 41.39-42.86 dB) เช่นเดียวกับช่วงความถี่ 800-960 MHz ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกที่ลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตให้สูงขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่

600 และ 800 °C มีอิทธิพลร่วมกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิ 600 °C และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 5 °C/min จะให้ค่าการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ 1 และ 10 °C/min ที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และที่อุณหภูมิ 800 °C การเพิ่มอุณหภูมิที่ 1 °C/min จะให้ค่าการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างจากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิระดับอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่อุณหภูมิ 1,000 °C เป็นอุณหภูมิเดียวที่พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ ซึ่งหมายความว่าที่อุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน 1,000 °C อัตราการเพิ่มอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณสมบัติในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกที่ผลิตได้ (Figure 5)

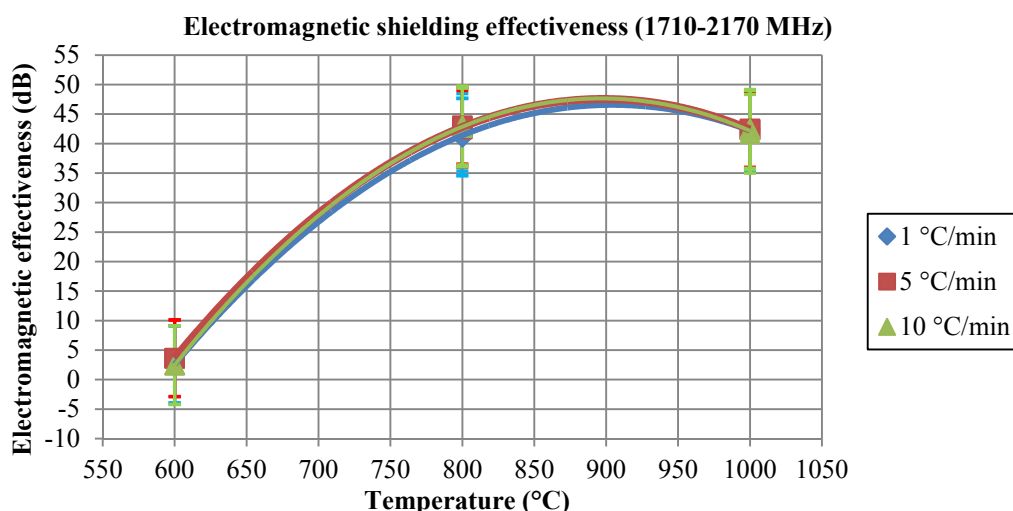


Figure 5 Electromagnetic shielding effectiveness of woodceramics (1,710-2,170 MHz)

ประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถแบ่งวัสดุป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่มตามรูปแบบการใช้งาน คือ กลุ่มใช้งานระดับสูง และกลุ่มการใช้งานระดับทั่วไป ผลการจัดระดับตามรูปแบบการใช้งาน โดยใช้ค่าประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกเป็นเกณฑ์ เป็นไปตาม Table 1

Table 1 Evaluation of electromagnetic shielding effectiveness

Class	Grade	Electromagnetic effectiveness range	Percentage of Electromagnetic Shielding	Temperature (°C)		
				600	800	1000
Class I	Excellent	SE > 60 dB	ES > 99.9999 %	-	34.34-42.86 dB	
	Very good	60 dB ≥ SE > 50 dB	99.9999 % ≥ ES > 99.999 %			
	Good	50 dB ≥ SE > 40 dB	99.999 % ≥ ES > 99.99 %			
	Moderate	40 dB ≥ SE > 30 dB	99.99 % ≥ ES > 99.9 %			
	Fair	30 dB ≥ SE > 20 dB	99.9 % ≥ ES > 99.0 %			
Class II	Excellent	SE dB > 30 dB	ES > 99.9 %	-	34.34-42.86 dB	
	Very good	30 dB ≥ SE > 20 dB	99.9 % ≥ ES > 99.0 %			
	Good	20 dB ≥ SE > 10 dB	99.0 % ≥ ES > 90 %			
	Moderate	10 dB ≥ SE > 7 dB	90 % ≥ ES > 80 %			
	Fair	7 dB ≥ SE > 5 dB	80 % ≥ ES > 70 %			

Remark: Class I = For Professional Use. Class II = For General Use.

Source: Mistik *et al.* (2012)

สรุป

ประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกที่ช่วงความถี่ 800-960 MHz และ 1,710-2,170 MHz ได้รับผลกระทบอย่างมากจากอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตให้สูงกว่า 600 °C ประสิทธิภาพในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและเริ่มคงที่เมื่ออุณหภูมิประมาณ 800 °C สำหรับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัสดุเซรามิกเช่นกัน โดยจะทำให้ประสิทธิภาพการป้องกันเพิ่มขึ้นแต่ก็ถือว่ามียุทธศาสตร์น้อยกว่าอุณหภูมิสูงสุดในการคาร์บอนไนเซชัน การแบ่งกลุ่มการใช้ประโยชน์ของวัสดุเซรามิกตามประเภทการใช้งานและการจัดระดับโดยใช้ค่าประสิทธิภาพในการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเกณฑ์ ทำให้ทราบว่าวัสดุเซรามิกที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูงสุด 800 และ 1,000 °C ให้ค่าประสิทธิภาพการป้องกันประมาณ 34.34-42.86 dB ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ปานกลางจนถึงดี สำหรับกลุ่มการใช้งานในระดับสูง (Class I) และจัดอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม สำหรับกลุ่มการใช้งานในระดับปานกลาง (Class II) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเกี่ยวกับ อุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์ป้องกันระดับสูงสำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เครื่องกำบังคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสาร สัญญาณวิทยุ หรือสำหรับการประยุกต์ใช้งานใหม่ ๆ แต่สำหรับวัสดุเซรามิกที่ผ่านการคาร์บอนไนเซชันที่อุณหภูมิสูงสุด 600 °C พบว่าไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เนื่องจากไม่ผ่านเกณฑ์การใช้งานในทั้ง 2 กลุ่ม ถึงแม้ว่าจะผ่านเกณฑ์การใช้งานในระดับทั่วไปที่บางช่วงความถี่ แต่ก็ถือว่าเป็นส่วนน้อย

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ดูแลสวนปาล์มน้ำมันคลอง 9 จังหวัดปทุมธานี ที่ได้เก็บรวบรวมทางใบปาล์มน้ำมันที่ใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไม้พลังงานและไม่ประกอบ ภาควิชาวนผลิตภัณฑ์ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เชื้อเพื่อสถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เรื่องการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- ประยงค์ สุขตะชะพันธ์. 2548. **ปาล์มน้ำมัน**. พิมพ์ครั้งแรก. สำนักพิมพ์เกษตรสยามบุ๊คส์, กรุงเทพฯ.
- ศูนย์วิจัยกสิกรไทย. 2555. **ธุรกิจปาล์มน้ำมันหลังก้าวเข้าสู่ AEC**. ธนาคารกสิกรไทย. แหล่งที่มา: <http://www.ksmecare.com/Article/82/28155/ธุรกิจน้ำมันปาล์มหลังก้าวเข้าสู่-AEC>, 30 พฤศจิกายน 2556.
- สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ. 2558. **ตารางกำหนดคลื่นความถี่แห่งชาติ (พ.ศ.2558)**. แหล่งที่มา: <http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2558/E/208/19.PDF>, 7 กันยายน 2558
- Fan, T.X., T. Hirose, T. Okabe and D. Zhang. 2001. Surface area characteristics of woodceramics. *Journal of Porous Materials* 8(3): 211-217.
- Hirose, T., B. Zhao, T. Okabe and M. Yoshimura. 2002a. Effect of carbonization temperature on the basic properties of woodceramics made from carbonized bamboo fiber and liquefied wood. *Journal of Materials Science* 37: 3453-3458.

- _____, T. Fujino, T. Fan, H. Endo, T. Okabe and M. Yoshimura. 2002b. Effect of carbonization temperature on the structural changes of woodceramics impregnated with liquefied wood. **Journal Carbon** 40(5): 761-765.
- Mistik, S. I., E. Sancak, I. Usta, E. D. Kocak and M. Akalin. 2012. Investigation of electromagnetic shielding properties of boron and carbon fibre woven fabrics and their polymer composites, pp. 34. *In Proceeding of the 4th RMUTP International Conference: Textiles & Fashion*. 3-4 July 2012, Bangkok, Thailand.
- Morari, C., I. Balan, J. Pintea, E. Chitanu, and I. Iordache. 2011. Electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness of silicone rubber filled with ferrite and graphite powders. **Progress In Electromagnetics Research M** 21: 93-104.
- Qian, J., Z. Jin and J. Wan. 2004. Structure and basic properties of woodceramics made from phenolic resin–basswood powder composite. **Materials Science and Engineering: A** 368: 71–79.
- Shibata, K., T. Okabe, K. Saito, T. Okayama, M. Shimada, A. Yamamura and R. Yamamoto. 1997. Electromagnetic shielding properties of woodceramics made from wastepaper. **Journal of Porous Materials** 4(4): 269-275.
- Suda, T. and K. Kakishita. 1999. Electrical properties of woodceramics humidity sensor. **Journal Transactions of the Materials Research Society of Japan** 24(2): 305-309.