รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สูตรที่เหมาะสมต่อพฤติกรรมทางกลและการคืบของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลและผงไม้ยางพารา

Optimal Formulation of Recycled Polypropylene/Rubberwood Flour Composites on Mechanical and Creep Behaviors

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรือง ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก งบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2555 รหัสโครงการ ENG5500285

บทคัดย่อ

วัสดุผสมไม้พลาสติกถูกผลิตโดยการใช้พอลิโพรพิลีนรีไซเคิลและผงไม้ยางพารา พอลิโพรพิลีนที่ผ่านการใช้งานและวัสดุเหลือใช้ไม้ยางพาราถูกใช้เป็นวัสดุหลัก ในบางสูตรของวัสดุผสมถูกผลิตโดยพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์เพื่อการศึกษาเปรียบเทียบ ในการขึ้นรูปวัสดุผสมทำการผลิตโดยใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวคู่ และสูตรที่ใช้ผลิตมาจากการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture experimental design) ซึ่งประกอบด้วยส่วนผสมของพอลิโพรพิลีน ผงไม้ยางพารา สารคู่ควบ สารต้านทานรังสียูวี และสารหล่อลื่น จากนั้นศึกษาสมบัติทางกล ทางสัณฐานวิทยา ความคงทน และการเสถียรทางรูปร่างของวัสดุผสม สมบัติเหล่านี้ของวัสดุผสมถูกศึกษาเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของส่วนผสม และเพื่อประเมินผลกระทบของส่วนผสม นอกจากนี้เพื่อพัฒนาวัสดุผสมเป็นผลิตภัณฑ์ทางการก่อสร้าง พฤติกรรมการคืบ การทำนายอายุการใช้งาน และผลกระทบของความหนาแน่นที่อัดรีดถูกศึกษาเช่นเดียวกัน

การทดสอบแช่น้ำระยะยาว (10 สัปดาห์) ของวัสดุผสมพบว่า การดูดซับน้ำและการบวมเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงไม้ที่เพิ่มขึ้นในวัสดุผสม และวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลดูดซับน้ำและบวมมากกว่าวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ในส่วนผสมที่มีผงไม้ 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (wt%) การเติมสารคู่ควบ 3 wt% ลดการดูดซับน้ำและการบวม แต่การเติม 1 wt% ของสารต้านทานรังสียูวีเพิ่มการดูดซับน้ำและการบวม ความแข็งแรงและมอดูลัสดัดของวัสดุผสมลดลงอย่างมีนัยสำคัญตามการดูดซับน้ำ อย่างไรก็ตามการดูดซับน้ำน้อยกว่า 3% มีผลกระทบอย่างไม่มีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงดัด นอกจากนี้จากการทดสอบวัสดุผสมในสภาวะสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ (Natural weathering test) พบว่า ค่าความเป็นสีขาว (Lightness) และการเปลี่ยนสีของวัสดุผสมมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เช่นเดียวกันค่าความแข็งแรงและมอดูลัสดัดมีการสูญเสียอย่างช้าๆ หลังจากทดสอบในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ วัสดุผสมพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีขาวและการสูญเสียค่าความแข็งและสมบัติการดัดที่น้อยกว่าวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณผงไม้ในวัสดุผสมจาก 25 ถึง 45 wt% พบว่า เพิ่มการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีขาวและการสูญเสียสมบัติการดัด อย่างไรก็ตามการเติมสารต้านทานรังสียูวี 1 wt% ลดการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีขาวและการสูญเสียของค่าความแข็ง ความแข็งแรงดัด มอดูลัสดัด และความเครียดสูงสุด

การคืบลดลงเมื่อปริมาณผงไม้ในวัสดุผสมเพิ่มขึ้น และวัสดุผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์และผงไม้ยางพาราแสดงการคืบที่ต่ำกว่าวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิล ในขณะที่การเติม 5 wt% ของสารคู่ควบ และ 1 wt% ของสารต้านทานรังสียูวีพบว่า เพิ่มการคืบของวัสดุผสม นอกจากนี้ความแข็งแรงดัด อัด และดึงของวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลและผงไม้ยางพาราเพิ่มขึ้น

เมื่อเติมผงไม้เกิน 25 wt% ในขณะที่ค่ามอดูลัสและความแข็งเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเส้นตรงตามปริมาณผงไม้ที่เพิ่มขึ้น และวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลแสดงสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนบริสุทธิ์ การเติมสารคู่ควบ 4 wt% ในวัสดุผสมถูกแนะนำเพื่อประโยชน์ทางความประหยัดและสมบัติทางกลที่ดี อย่างไรก็ตามการเติมสารต้านทานรังสียูวี 1 wt% ลดค่าความแข็ง ความแข็งแรง และมอดูลัสของวัสดุผสม นอกจากนั้นพบว่าสูตรที่เหมาะสมของวัสดุผสมบนพื้นฐานของสมบัติทางกลประกอบด้วย พอลิโพรพิลีนรีไซเคิล 50.3 wt% ผงไม้ยางพารา 44.5 wt% สารคู่ควบ 3.9 wt% สารต้านทานรังสียูวี 0.2 wt% และสารหล่อลื่น 1 wt% ซึ่งมีความหนาแน่น 1.085 g/cm^3 สูตรวัสดุผสมที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาการคืบ การทำนายอายุการใช้งาน ผลกระทบของความหนาแน่นที่อัดรีดและการประมาณต้นทุน จากการทดลองพบว่า การคืบเพิ่มขึ้นตามเวลา อุณหภูมิ และความเค้นที่เพิ่มขึ้น และ Burger, Power law และ HRZ models สามารถทำนายพฤติกรรมการคืบได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามที่ระดับอุณหภูมิและความเค้นสูงๆ Power law และ HRZ models ทำนายการคืบได้ไม่ดีนัก นอกจากนี้หลักการซ้อนทับกันระหว่างเวลาและอุณหภูมิ (Time-temperature superposition; TTS) และระหว่างเวลาและความเค้น (Time-stress superposition; TSS) ถูกนำมาใช้เช่นเดียวกันเพื่อทำนายพฤติกรรมการคืบระยะยาว เส้นโค้งการคืบหลักจาก TTS และ TSS แสดงพฤติกรรมการคืบที่ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน TSS ทำนายอายุการใช้งานโดยการคืบระยะยาวเกินกว่า 10 ปี เมื่อวัสดุผสมรองรับโหลด 15 MPa ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นสมบัติความแข็ง การดัด การดึง การอัด และความแข็งแรงที่ถอนสกรูและตะปูพบว่า ลดลงเมื่อความหนาแน่นของวัสดุผสมลดลง และเมื่อประมาณต้นทุนของผลิตภัณฑ์แผ่นเรียบจากวัสดุผสมพอลิโพรพิลีนรีไซเคิลและผงไม้ยางพาราขนาด 25 มม × 50 มม × 1000 มม มีราคาประมาณ 388 บาทต่อท่อน

ABSTRACT

Wood-plastic composites (WPCs) were made from recycled polypropylene (rPP) and rubberwood flour (RWF) as reinforcement. Post-consumer polypropylene and rubberwood waste were used as main materials. Some formulations of WPCs were also produced with virgin polypropylene (vPP) for comparative studies. WPC panels were manufactured by using twin-screw extruder based on formulations designed with mixture experiment, the components being rPP, RWF, maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP), ultraviolet (UV) stabilizer, and lubricant (Lub). Mechanical properties, morphology, durability, and dimensional stability of WPCs were studied. These characterizations of WPCs were investigated to optimize the mixture ratios for composites made from rPP and RWF, and to assess effect of compositions. Likewise, to develop composites as building products creep, lifetime prediction, and extruded density effect were also examined.

Long-term water immersion test of the PP/RWF composites over a period of 10 weeks revealed that both water absorption (WA) and thickness swelling (TS) increased with wood flour content. rPP gave higher WA and TS than vPP, for the composites with 45 wt% RWF. An addition of MAPP at 3 wt% reduced WA and TS, with no further benefit reached at 5 wt% MAPP. In contrast, addition of 1 wt% UV stabilizer increased the WA and TS of composites. The flexural strength (MOR) and modulus (MOE) of composites reduced significantly with moisture uptake; however, at WA less than 3% its effects on MOR were not significant. From natural weathering test, PP/RWF composites sharply changed lightness (L^*) and discoloration, and slightly lost in MOR and MOE after the weathering. vPP gave lower percentage change of L^* and loss percentage of hardness, MOR and MOE than rPP. Increasing RWF content from 25 to 45 wt% in composites increased the change of L^* and loss of MOR, MOE, and maximum strain. Addition of 1 wt% UV stabilizer reduced change of L^* and loss of hardness, MOR, MOE, and maximum strain.

Creep reduced as the wood flour level increased. The neat vPP and composites based on vPP exhibited lower creep than those based on rPP. The additions of 5 wt% MAPP and 1 wt% UV stabilizer contents increased the creep strain

of composites. Furthermore, strengths (flexure, compression, and tension) of RWF reinforced rPP composites could be enhanced with increasing wood flour contents beyond 25 wt%. The modulus and hardness of composites (both virgin and recycled plastics) increased linearly with wood flour loadings in range of 25-45 wt%. The unfilled rPP and composites based on rPP exhibited lower mechanical properties than those based on vPP. The addition level of 4.0 wt% MAPP in the rPP/RWF composites is suggested for economical benefit and good mechanical properties. The strength, modulus, and hardness of composites were reduced by an addition of 1 wt% UV stabilizer content. Besides, the optimal formulation based on the mechanical properties found was 50.3 wt% rPP, 44.5 wt% RWF, 3.9 wt% MAPP, 0.2 wt% UV stabilizer, and 1.0 wt% lubricant. This optimal composite formulation was used to investigate creep, lifetime prediction, extruded density effect, and cost estimation. Creep increased with time, temperature, and stress. The Burger, Power law, and HRZ models fit the creep profiles well in general, but at high temperature and stress levels the Power law and HRZ models could not performed well. Time-temperature superposition (TTS) and time-stress superposition (TSS) principles were used to model long-term creep. The master curves from TTS and TSS principles were in good agreement with each other. TSS predicted that the lifetime limitation by long-term creep exceeds 10 years for 15 MPa stress at 25 $^{\circ}$C. In addition, properties of hardness, flexure, tension, compression, and screw and nail withdrawal strengths decreased with the decrease of extruded density. Estimated cost of decking product with dimension of 25 mm x 50 mm x 1000 mm is approximately 388 baht per piece.