วาสนา นนกระโทก : เฝือกอัจฉริยะจากพอลิแลกติกแอซิดคอมโพสิท (SMART ORTHOPEDIC SPLINT FROM POLY(LACTIC ACID)-BASED COMPOSITES). อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธินาถ ศุภกาญจน์, 118 หน้า.

คำสำคัญ : พอลิเมอร์จำรูป/พอลิแลกติกแอซิด/สารเพิ่มความเข้ากันได้/พอลิเอทิลีนไกลคอล/คอมโพสิท

จุดประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมการจำรูป และสมบัติทางกลของพอลิเมอร์จำรูปพอลิแลกติกแอซิดและประเมินศักยภาพในการนำมาใช้ในการทำเฝือกอัจฉริยะ การใช้พอลิแลกติกแอซิด (PLA) มาเป็นพอลิเมอร์จำรูป ถูกจำกัด เนื่องจากความเปราะและอุณหภูมิการเปลี่ยนสภาพคล้ายแก้ว (T_g) ของมันค่อนข้างสูง เพื่อเอาชนะข้อจำกัดเหล่านี้ พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) ที่ปริมาณต่างๆ (คิดเป็นร้อยละ 5, 10, 15, and 20 โดยน้ำหนัก) ถูกผสมเข้ากับ PLA โดยผล พบว่าการเติม PEG ที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กับ PLA ลักษณะพฤติกรรมต่อแรงดึงของ 10PEG/PLA เปลี่ยนจากเปราะเป็นเหนียวมากขึ้นและค่า T_g ของ PLA ลดลง

อย่างไรก็ตามความไม่เข้ากันของการผสม PEG และ PLA ทำให้สมบัติการจำรูปของ 10PEG/PLA แย่ลง เพื่อปรับปรุงสมบัติการจำรูปของพอลิเมอร์ผสมนี้ จึงได้มีการใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์กราฟต์พอลิแลกติกแอซิด (PLA-g-MA) ที่ 0.45 เปอร์เซ็นต์การกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ มาเป็นสารเพิ่มความเข้ากันได้ ซึ่งเตรียมโดยใช้เครื่องอัดรีดชนิดสกรูคู่ โดยได้ตรวจสอบสมบัติทางความร้อน สมบัติทางกล สัณฐานวิทยา โครงสร้างจุลภาค และสมบัติการจำรูปของพอลิเมอร์ผสม 10PEG/PLA ที่เติม PLA-g-MA ที่ปริมาณ 2, 6, และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากผลพบว่า พอลิเมอร์ผสม 10PEG/PLA ที่ปรับปรุงความเข้ากันได้ โดยเติม PLA-g-MA ที่ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (2PMA/10PEG/PLA) มีค่ามอดูลัส ความต้านแรงดึง และความยืดสูงสุด ณ จุดขาด สูงกว่าพอลิเมอร์ผสม 10PEG/PLA ที่ไม่ได้ปรับปรุงความเข้ากันได้ นอกจากนี้พอลิเมอร์ผสม 2PMA/10PEG/PLA ยังมี T_g และปริมาณผลึกลดลง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพในการคงรูปและการคืนรูปดีขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การคงรูปของ 2PMA/10PEG/PLA มีค่าเทียบเท่ากับ PLA แต่ 2PMA/10PEG/PLA สามารถเริ่มคืนรูปได้ที่อุณหภูมิต่ำลง

นอกจากนี้มอนต์มอริลโลไนต์ เคลย์ (montmorillonite clay, MMT) ที่ปรับปรุงด้วยสารลดแรงตึงผิว cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) ซึ่งเรียกว่า OMMT ถูกเติมลงในพอลิเมอร์ผสม 2PMA/10PEG/PLA เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติการจำรูปให้ดียิ่งขึ้น จึงได้ศึกษาผลของการเติม OMMT ที่ปริมาณ 1, 3, 5, and 7 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน (phr) ต่อสมบัติทางกล โครงสร้างจุลภาค และสมบัติการจำรูปของ OMMT/2PMA/10PEG/PLA คอมโพสิท จากผลพบว่า การเติม

OMMT ปริมาณ 1 phr ทำให้คอมโพสิทมีค่าความเค้นในช่วงการเสียรูปแบบพลาสติกสูงมากขึ้น ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดยังเท่าเดิม และยังพบว่า 1-OMMT/2PMA/10PEG/PLA มีอัตราการคืนรูปดีกว่า 2PMA/10PEG/PLA และยังสามารถทำการดึงและคืนรูปซ้ำได้หลายรอบที่การทดสอบการดึงที่ 50 เปอร์เซ็นต์ความเครียด

วิทยานิพนธ์นี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการปรับคุณสมบัติการจำรูปของ PLA เพื่อให้เหมาะสมเป็นไปตามข้อกำหนดของการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับเฝือกอัจฉริยะ จากการศึกษาเกี่ยวกับการจำรูปของ PLA พบว่าทั้งแบบพอลิเมอร์ผสม และคอมโพสิท สามารถเอาชนะข้อเสียของ PLA ในการใช้งานในด้านการแพทย์ โดยพบว่าพอลิเมอร์จำรูปพอลิแลกติกแอซิด มี T_g ลดลง เข้าใกล้กับอุณหภูมิที่ร่างกายทนได้ และมีการปรับปรุงความเหนียวซึ่งเป็นจุดสำคัญในการใช้งานเป็นเฝือกให้ดีขึ้น นอกจากนี้การศึกษานี้ยังให้ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้าง คุณสมบัติของหน่วยความจำรูป และการประยุกต์ใช้ ซึ่งเปิดโอกาสสำหรับการพัฒนาวัสดุอัจฉริยะสำหรับสาขาการแพทย์ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนักศึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

WASANA NONKRATHOK : SMART ORTHOPEDIC SPLINT FROM POLY(LACTIC ACID)-BASED COMPOSITES. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. NITINAT SUPPAKARN, Ph.D., 118 PP.

Keyword : SHAPE MEMORY POLYMER/ POLY(LACTIC ACID)/ COMPATIBILIZER/ POLY(ETHYLENE GLYCOL)/ COMPOSITE

This study aims to improve shape memory behavior and mechanical properties of poly (lactic acid) (PLA) - based shape memory polymer (SMP) and to evaluate its potential use in smart orthopedic splint application. Utilization of PLA as SMP is limited due to its brittleness and relative high glass transition temperature (T_g). To overcome these limitations, poly (ethylene glycol) (PEG) at various content (5, 10, 15, and 20 wt%) was blended with PLA. Results showed that the addition of 10 wt% PEG to PLA enhanced tensile characteristics of 10PEG/PLA blend by altering PLA's brittleness into a tough behavior and reduced PLA's T_g.

However, the incompatibility between PEG and PLA blends diminished the shape memory characteristics of 10PEG/PLA blends. To enhance shape memory abilities of the blends, 0.45% maleic anhydride-grafted poly (lactic acid) (PLA-g-MA) was prepared by reactive blending using a twin screw extruder and used as a compatibilizer. Thermal and mechanical properties, morphologies, microstructures, and shape memory properties of the 10PEG/PLA blends containing 2, 6, and 10 wt% of PLA-g-MA were investigated. The results revealed that the compatibilized 10PEG/PLA blend containing 2 wt% PLA-g-MA (2PMA/10PEG/PLA) had superior tensile modulus, strength, and elongation at break to the uncompatibilized blend. Furthermore, it possessed a lower glass transition temperature and degree of crystallinity. The 2PMA/10PEG/PLA blend also achieved outstanding shape fixity and recovery performance. Its shape fixity ratio was equivalent to that of PLA while it can recover to the initial shape at a lower temperature.

In addition, montmorillonite clay (MMT) treated with cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), called OMMT, was added to the 2PMA/10PEG/PLA blend, with the purpose of providing an alternative approach for enhancing its shape memory

properties. Effect of filler contents (1, 3, 5, and 7 phr) on mechanical, microstructure, and shape memory properties of the OMMT/2PMA/10PEG/PLA composite was examined. The results indicated that the composite containing 1 phr OMMT had a greater tensile stress in the plastic deformation zone than the 2PMA/10PEG/PLA blend, while its elongation at break remained unchanged. Moreover, the composite containing 1 phr OMMT had a greater recovery ratio than the 2PMA/10PEG/PLA blend, as well as superior repeatability of shape recoverability when programmed with 50% strain.

This thesis demonstrated the feasibility of optimizing the properties of shape-memory PLA to meet the requirements of applications involving smart orthopedic splints. The research of shape memory PLA, including PLA blends and composites, overcame the limitations of PLA in the medical industry. The resulting PLA-based SMP with a lowered T_g close to physiological temperature and an improved ductility were critically important that made the use of PLA-based SMP in orthopedic splints come to realization. This study also provided a fundamental understanding of the relationship between the structure, shape-memory properties, and application which open-up the possibility for further development of a smart material for medical field.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Polymer Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature Hasana Nawarathne
Advisor's Signature Nitinat Suppakarn
Co-advisor's Signature T. Tungpaitool