เกวลิน จิตรโคกกรวด : โฟมกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากยางธรรมชาติสำหรับผลิตผลสดไทย (ECO-FRIENDLY CUSHIONING FOAM FROM NATURAL RUBBER FOR THAI FRESH PRODUCE). อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตติยา ตรงสถิตกุล, 122 หน้า.

คำสำคัญ : โฟมจากน้ำยางธรรมชาติ กระบวนการดันลอป การใช้ไมโครเวฟช่วยทำให้ยางคงรูป การย่อยสลายทางชีวภาพ บรรจุภัณฑ์ ประสิทธิภาพการกันกระแทก การทดสอบการสั่นสะเทือน

วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นพัฒนาโฟมกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมจากน้ำยางธรรมชาติด้วยกระบวนการดันลอปร่วมกับการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟช่วยในขั้นตอนการทำให้ยางคงรูป นอกจากนี้ศึกษาผลคอมโพสิทของโฟมยางธรรมชาติและเส้นใยธรรมชาติเพื่อปรับปรุงอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของโฟมกันกระแทก โฟมยางกันกระแทกถูกทดสอบเพื่อใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ปฐมภูมิสำหรับผลิตผลสดของไทยสำหรับป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดระหว่างการขนส่ง

ขั้นตอนแรก ตัวแปรการขึ้นรูปสำหรับกระบวนการทำให้ยางคงรูปถูกปรับให้เหมาะสมเพื่อลดพลังงานและเวลา ศึกษากำลังการฉายรังสีไมโครเวฟ (450 600 และ 800 วัตต์) และระยะเวลา (4 6 และ 8 นาที) โดยปัจจัยอื่นๆ ควบคุมให้คงที่ (ความเร็วในการปั่นน้ำยางที่ 1,250 รอบต่อนาที ด้วยเวลา 6 นาที) การตรวจสอบโครงสร้างด้วยตาเปล่าพบว่า การฉายรังสีไมโครเวฟที่กำลังไฟ 600 วัตต์ เป็นเวลา 6 นาที ทำให้ได้การคงรูปที่สม่ำเสมอที่สุดของโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ นอกจากนี้ศึกษาผลของความเร็วในการปั่น (650 950 1,250 1,550 และ 1,850 รอบต่อนาที) และเวลาในการปั่น (2 4 6 8 และ 10 นาที) สำหรับขั้นตอนการขึ้นรูปโฟม และปริมาณสารทำให้เกิดฟอง (1.50 3.00 และ 4.50 ส่วนในร้อยส่วนของยาง) จากผลการทดลองพบว่าสภาวะต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษานี้ให้โฟมยางที่มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยของโครงสร้างโฟม ความหนาแน่น ความแข็ง ความทนแรงอัด และค่าสัมประสิทธิ์การรับแรงกระแทก สภาวะของการปั่นที่ความเร็ว 1,250 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 นาที และสารทำให้เกิดฟอง 4.50 ส่วนในร้อยส่วนของยางถูกเลือกสำหรับการผลิตโฟมยางธรรมชาติกันกระแทกแบบตาข่ายและคอมโพสิท เนื่องจากโฟมที่มีความหนาแน่นต่ำที่สุด

การผลิตโฟมกันกระแทกแบบตาข่ายทำโดยการใช้แม่พิมพ์ที่สร้างด้วยการพิมพ์ 3 มิติ การออกแบบตาข่าย (รูปแบบและขนาด) คล้ายกับโฟมกันกระแทกทางการค้าเพื่อจุดประสงค์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโฟมทั้งสองชนิด โฟมยางจากยางธรรมชาติคอมโพสิทที่มีเส้นใยใบไผ่คาดหวังว่ามีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพที่เร็วกว่าโฟมยางที่ไม่มีการใส่เส้นใย เส้นใยใบไผ่ขนาด 90

ถึง 106 ไมโครเมตร ที่ปริมาณต่างๆ (0.00 2.50 5.00 7.50 และ 10.00 ส่วนในร้อยส่วนของยาง) ถูกใส่เข้าไปในโฟมจากยางธรรมชาติหลังจากขั้นตอนการทำให้เกิดฟอง ผลการศึกษาพบว่าขนาดเซลล์ของโฟม ความหนาแน่น ความแข็ง ความทนแรงอัด สัมประสิทธิ์การกันกระแทก และการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเส้นใยใบไผ่ ในทางตรงกันข้าม ความหนาแน่นของพันธะการเชื่อมขวางมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณเส้นใยใบไผ่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้มีการใช้วิธีการฝังดินเป็นเวลา 24 สัปดาห์เพื่อตรวจสอบอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของโฟมยางคอมโพสิท หลังจากการฝังดิน ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพช่วงเริ่มต้นของโฟมคอมโพสิทเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญตามปริมาณของเส้นใยใบไผ่ที่ใช้ ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางกายภาพและสัณฐานวิทยา โครงสร้างทางเคมี และสมบัติเชิงกล

การทดสอบประสิทธิภาพของโฟมจากน้ำยางธรรมชาติและโฟมยางคอมโพสิทในการเป็นบรรจุภัณฑ์กันกระแทกเปรียบเทียบกับโฟมทางการค้า (โฟมพอลิเอทิลีนแบบขยาย) ผ่านการทดสอบบรรจุภัณฑ์กับฝรั่งภายใต้สภาวะการสั่นสะเทือน (ความเร่ง 8.826 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง ความถี่ 13.5 เฮิร์ท เป็นเวลา 40 นาที) หลังการสั่น ฝรั่งถูกเก็บในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 วัน พบว่าฝรั่งที่ไม่มีโฟมกันกระแทกมีพื้นที่ช้ำมากที่สุด ในขณะที่ฝรั่งที่บรรจุในโฟมยางคอมโพสิทที่ไม่มีเส้นใยใบไผ่มีรอยช้ำน้อยที่สุด ซึ่งเทียบเคียงได้และ/หรือดีกว่าฝรั่งที่บรรจุในโฟมเชิงพาณิชย์เล็กน้อย ผลที่ได้สอดคล้องอย่างดีกับการส่งผ่านเปอร์เซ็นต์ที่ต่ำของตัวอย่างทั้งสอง

โฟมบรรจุภัณฑ์กันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่พัฒนาขึ้นในงานนี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นทางเลือกทางเลือกที่ดีเพื่อใช้ทดแทนโฟมทางการค้า โฟมกันกระแทกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในด้านต่างๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบ กระบวนการผลิต ประสิทธิภาพในการกันกระแทก และการเสื่อมสภาพหลังอายุการใช้งาน โดยงานนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรที่สำคัญชนิดหนึ่งของไทยอีกด้วย

สาขาวิชา<u>วิศวกรรมพอลิเมอร์</u>
ปีการศึกษา <u>2565</u>

ลายมือชื่อนักศึกษา.....เกวลิน จิตรโกกกรวด.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....T. Thongpatitkul.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....กฤษฎา สารุกิจ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....Kom.....

KEAVALIN JITKOKKRUAD: ECO-FRIENDLY CUSHIONING FOAM FROM NATURAL RUBBER FOR THAI FRESH PRODUCE. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. TATIYA TRONGSATITKUL, Ph.D., 122 PP.

Keyword: Natural rubber latex foam/ Dunlop process/ Microwave assisted vulcanization/ Biodegradation/ Packaging/ Cushion performance/ Vibration test

The focus of this thesis was to develop an eco-friendly cushion made from natural rubber latex (NRL) using the Dunlop process coupled with microwave-assisted vulcanization. Additionally, composite of the NRL foam with natural fiber was studied with the aim to enhance the cushion's foam biodegradation rate. The cushion foam was tested to be used as primary packaging for Thai fresh produce to prevent any damage that might occur during transportation.

Firstly, the processing parameters for the vulcanizing process were optimized to reduce energy and time. The microwave irradiation powers (450, 600, and 800 W) and time (4, 6, and 8 min) were studied, with other factors being held constant (stirring speed of 1,250 rpm for 6 min). The visual observation suggested that microwave irradiation at 600 W for 6 min was optimal as it yielded the most uniform curing of the NRL foam. Additionally, the effects of stirring speed (650, 950, 1,250, 1,550, and 1,850 rpm) and time (2, 4, 6, 8, and 10 min) for foaming step and foaming agent content (1.50, 3.00, and 4.50 parts) were studies. The results revealed that the various conditions used in this student yielded the foams with slight differences in term of foam structure, density, hardness, compressive strength, and cushion coefficient. The condition of a stirring speed of 1,250 rpm for 6 min and a foaming agent of 4.50 phr was selected for fabricating NRL foam net and its composite as it yielded a foam with lowest density.

The fabrication of NRL foam net was made possible by using 3D printed mold. The net design (shape and size) was similar to that of the commercial foam net with the purpose to compare their performance. The NRL foam composite with BLF was expected to possess the faster biodegradation rate as compared to the NRL foam without one. The bamboo leaf fiber (BLF) with the size range of 90 to 106 μm at various

contents (0.00, 2.50, 5.00, 7.50, and 10.00 phr) were added into the NRL foam after the foaming step. The results suggested the foam's cells size, density, hardness, compressive strength, cushion coefficient, and compression set of the NRL foam samples increased as a function of the increasing BLF content. In contrast, the crosslink density showed the decreasing trend as the BLF content increased. In addition, the soil burial method of 24 weeks was used to investigate the biodegradation rate of the NRL foam composites. After of soil burial, the results revealed that the initial biodegradation rates of the foam composites increased significantly with the amount of BLF used. This result was well agreed with the changes in physical and morphological characteristics, chemical structure and, mechanical properties.

The performance of NRL foam and its composites as a cushioning packaging was evaluated against the commercial foam (expanded polyethylene foam) via pack test of guava under the simulated vibration condition (an acceleration of 8.826 m/s^2 at a frequency of 13.5 Hz for 40 min). After the vibration conditioning, the guavas were then stored in a cold room at 20 °C for 4 days. It was found that guava without cushioning foam had the most bruising area, while the guava packed in the NRL foam without BLF had the least bruise which was comparable and/or slightly better than that of packed in the commercial foam. The result was in a good agreement with the low percentage transmission of the two samples.

The eco-friendly foam cushions developed in this work was proven to be a good alternative to replace the commercial one. They were eco-friendly in various aspects including raw material, process, cushion performance, and degradation after service life. This work also added the value to the natural rubber which was one of the main agricultural products of Thailand.

School of Polymer Engineering
Academic Year 2022

Student's Signature Keavalin Jitkokkruad
Advisor's Signature .....
Co-advisor's Signature .....
Co-advisor's Signature .....