



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติม

Development of rubber speed bumps made of coconut coir dust as filler

อัสรายุธ มาศแก้ว¹ รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง^{2*} กนกทิพย์ บุญเกิด³ สุวัฒน์ รัตนพันธ์⁴

¹ สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร กรุงเทพมหานคร 10220

² สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร 10220

³ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 10330

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 80110

Atsarayut Matkaew¹ Ratsamee Sangsirimongkolying^{2*} Kanoktip Boonkerd³ Suwat Rattanapan⁴

¹ Technology Management Program Faculty of Industrial Technology Phranakhon Rajabhat University Bangkok, Thailand 10220

² Chemistry Program, Faculty of Science and Technology Phranakhon Rajabhat University Bangkok, Thailand 10220

³ Department of Materials Science Faculty of Science Chulalongkorn University Bangkok, Thailand 10330

⁴ Department of Rubber and Polymer Technology Faculty of Science and Technology Rajamangala University of Technology Srivijaya Nakhon Si Thammarat Campus, Sai Yai, Nakhon Si Thammarat, Thailand 80110

* Corresponding author.

E-mail: ratsamee@pnru.ac.th; Telephone: 081-839-8415

วันที่รับบทความ 26 มีนาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 30 พฤษภาคม 2564; ครั้งที่ 2 1 กรกฎาคม 2564; วันที่ตอบรับบทความ 2 สิงหาคม 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วจากยางแผ่นรมควันชั้น 3 (RSS 3) โดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติม ศึกษาอัตราส่วนผสมยางแผ่นรมควันชั้น 3 100 ส่วนในร้อยละของยาง (phr) ต่อขุยมะพร้าว 0, 10, 20, 40, และ 80 phr ตามลำดับ ผสม ปริมาณสารเคมีในอัตราส่วนคงที่ ประกอบด้วย ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide) เท่ากับ 5 phr กรดสเตียริก (Stearic acid) เท่ากับ 1 phr เมอร์แคปโทเบนโซไทอาโซล (MBT) เท่ากับ 0.5 phr เตตระเมทิลไดซัลไฟด์ (TMTD) เท่ากับ 1.5 phr ไดเมทิลบิวทิลฟีนีลฟีนีลีนไดเอมีน (6PPD) เท่ากับ 1.5 และกำมะถัน (Sulfur) เท่ากับ 5 phr ทำการบดผสมด้วยเครื่องบดสองลูกกลิ้งแล้วขึ้นรูปด้วยวิธีอัดแบบร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 40 นาที ทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) พบว่า ผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมอัตราส่วน 80 phr มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับนำไปทำยางชะลอความเร็วตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559)

คำสำคัญ

ยางแผ่นรมควันชั้น 3 ขุยมะพร้าว วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร สารตัวเติม ยางชะลอความเร็ว

Abstract

This research aims to develop a rubber speed bump product made of coconut coir dust as a filler and utilize the third grade of Rib Smoked Sheet (RSS 3) of 100 parts per hundred of rubber (phr). on coconut coir dust 0, 10, 20, 40, and 80 phr respectively. There were containing Zinc oxide, 5 phr. Stearic acid, 1 phr. Mercaptobenzothiazole (MBT), 0.5 phr. Tetramethylurea disulfide (TMTD), 1.5 phr, Dimethyl butyl phenyl phenylenediamine (6PPD), 1.5 and Sulfur, 5 phr. It was then compounded by two rollers with stock blender rubber and forming by hot compression method at 150 °C for 40 minutes. According to the rubber speed bump of Thai Industry Standard (TIS 2726-2559), the properties were tested. The

result revealed that the rubber speed bump made of coconut coir dust as a filler in the ratio of 80 phr had suitable properties for developing the rubber speed bump according to the rubber speed bump of Thai Industry Standard (TIS 2726-2559).

Keywords

ribbed smoked sheet 3: RSS 3; coconut coir dust; agricultural residues; fillers; speed bumps

1. คำนำ

ปัจจุบันเส้นใยธรรมชาติได้รับความนิยมอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อทดแทนเส้นใยสังเคราะห์โดยมักนิยมใช้เป็นสารตัวเติมให้กับวัสดุผสมเนื่องจากผลกระทบจากปัญหาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการนำเอาเส้นใยธรรมชาติมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ Lertwattanaruk และMasuwan [1] จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาอันเกิดจากระยะเวลาในการย่อยสลายของเส้นใยสังเคราะห์ นอกจากนี้ ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น ในอดีตได้มีการศึกษาการนำเส้นใยธรรมชาติหลายชนิดมาใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์ (Fiber Reinforced Polymers) หรือพอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer Composites) Geethamma, Jacob, De, และAdhikari [2-4] โดยเส้นใยเซลลูโลสต่าง ๆ เป็นตัวช่วยเสริมแรงให้วัสดุมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำสามารถย่อยสลายทางชีวรูปได้ ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ และลดต้นทุนด้านวัตถุดิบ เมื่อเทียบกับวัสดุที่เติมสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ เช่น เส้นใยแก้ว (Fiberglass) ในผลิตภัณฑ์บางส่วนใหญ่จะต้องมีการผสมสารเคมีโดยเฉพาะสารตัวเติมเพื่อปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางความร้อน หรือสมบัติการแปรรูป ฯลฯ ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน นอกจากความต้องการปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ แล้วการใส่สารตัวเติมลงไปยังมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิตอีกด้วย ทำให้การใช้สารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นที่นิยมและแพร่หลายยิ่งขึ้น [5] ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาและปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วยการผสมสารตัวเติมหรือวัสดุเสริมแรง (Fillers or reinforce agents) เช่น เหมะดำ ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ในการทำผลิตภัณฑ์ยางวัสดุธรรมชาติที่ได้รับความนิยมนำมาใช้เป็นวัสดุผสมส่วนใหญ่ถูกทำให้อยู่ในรูปของเส้นใย (Fiber) ผงไม้ (Flour) ขี้เลื่อย (Sawdust) และเนื้อไม้ (Chip) ซึ่งวัสดุธรรมชาติที่ได้รับความนิยม

นิยมนำมาประยุกต์ใช้ผลิตวัสดุผสมไม้พลาสติก คือ เส้นใยจากไม้ไผ่ ยางพารา ปอแก้ว สน และใบสับปะรด Homkhiew, Ratanawilai, และPutra [6,7] แต่ก็ยังมีไม้อีกหลากหลายชนิดที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพียงเล็กน้อย เช่น มะพร้าว ปาล์ม และข้าวโพด ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย Sajjakulnukit และ Srisovanna [8,9]

แนวโน้มการนำวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาใช้ทดแทนสารตัวเติมในทางการค้าจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มีการหมุนเวียนและเกิดขึ้นได้ใหม่ตลอดเวลาใช้แล้วไม่หมดไปเหมือนเช่นวัตถุดิบจากแหล่งฟอสซิล หรือถ่านหิน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดปัญหาขยะมูลฝอยของวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นแล้ว ยังเป็นการสร้างรายได้ให้แก่ประชากรอีกประการหนึ่งด้วย เมื่อพิจารณาถึงคำว่า “วัสดุเหลือใช้” อาจเข้าใจว่าเป็นสิ่งใกล้ตัว แต่โดยแท้จริงแล้วเป็นสิ่งของที่อยู่ใกล้ตัว และพบเจอได้อยู่ในชีวิตประจำวัน เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรหรือจากการแปรรูปสินค้าได้แก่ เศษยางพองน้ำ เส้นใยปาล์ม และขุยมะพร้าว ซึ่งวัสดุเหลือใช้ดังกล่าวสามารถนำกลับมาเป็นสารตัวเติมในผลิตภัณฑ์ยางพาราได้ Matkaew และคณะ [10] จึงนำมาสู่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่มุ่งเน้นการศึกษาสมบัติของยางแผ่นรมควัน ชั้น 3 (RSS 3) ที่ผสมกับขุยมะพร้าวในการพัฒนาเป็นยางชะลอความเร็วตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นแหล่งวัตถุดิบอีกทางเลือกหนึ่งที่มีข้อได้เปรียบทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์และด้านสิ่งแวดล้อม สามารถนำไปสู่การพัฒนาอุตสาหกรรมยางและสารเสริมแรงได้อย่างยั่งยืนบนพื้นฐานเศรษฐกิจพอเพียงของประเทศไทยอย่างแท้จริง Chusilp และคณะ [11] นำวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาเป็นแผ่นยางหลังคาจากต้นทุเรียนดำ โดยนำกระดากเหลือทิ้งมาสกัดเป็นเยื่อกระดากและเส้นใยปาล์มจากส่วนก้านใช้แทนมวลรวมผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และ Tantatherdtam และคณะ [12] ได้ศึกษาการใช้

เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยศึกษาผลของชนิดของเส้นใยและปริมาณเส้นใยคือ เส้นใยจากมะพร้าวและเส้นใยปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้ Joseph และ Thomas [13] ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของผิวเส้นใยที่ไม่สามารถเกิดอันตรกิริยาหรือเกิดความไม่เข้ากันทางเคมีระหว่างเส้นใยกับยางได้ ทำให้สมบัติเชิงกลด้อยลงเช่นกัน จึงจำเป็นต้องปรับผิวเส้นใยก่อนนำไปใช้เป็นสารตัวเติม โดยทั่วไปการใช้เส้นใยธรรมชาติในยางจะนิยมปรับผิวเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือการใช้สารประสาน (Bonding Agents) ในสูตรยาง เช่น เมื่อนำเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับผิวด้วยสารละลายต่างเป็นสารตัวเติมในยางจะส่งผลให้สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความแข็งแรงมีค่าสูงกว่าการใช้เส้นใยที่ไม่ปรับปรุงผิว เนื่องจากการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีดังกล่าวจะมีผลทำให้ผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มขึ้นซึ่งจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว นอกจากนี้ช่วยลดความแข็งแรงของเส้นใยทำให้มีการจัดเรียงตัวในทิศทางของแรงที่มากระทำและลดปริมาณช่องว่างขนาดเล็ก ซึ่งลักษณะเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการยึดติดระหว่างเส้นใยกับยางดีขึ้น

ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษานำขยะมะพร้าวจากการปั่นเอาเส้นใยออกเหลือขุขี้เลื่อยประมาณเม็ดทรายแห้งสนิท (ไม่ใช่เปลือกสับ) เป็นวัสดุเหลือใช้ของโรงงานทำเส้นใยมะพร้าวเพื่อนำเส้นใยไปทำเบาะนั่งหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เศษเหลือเหล่านี้เป็นผงที่มีปริมาณมากและต้องการนำไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากลักษณะของขุขี้มะพร้าวที่มีน้ำหนักเบาคงทนถาวรทนแดดทนฝนและไม่อ่อนตัวเมื่อแช่น้ำ [14,15] จึงมีความเป็นไปได้ในการนำขุขี้มะพร้าวมาเป็นสารตัวเติมในยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่เป็นผลผลิตในชุมชนนำมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็ว นับเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับขุขี้มะพร้าวและยางแผ่นรมควันชั้น 3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุขี้มะพร้าวเป็นสารตัวเติมเป็นการศึกษาอัตราส่วนผสมที่ใช้ขึ้นรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วต้นทุนต่ำ นอกจากเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางแผ่นรมควันชั้น 3 แล้วยังช่วยลดปัญหาขยะจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่ยากต่อการกำจัดซึ่งมีส่วนให้ประเทศชาติมีความมั่นคงด้านเศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมที่ดีอย่างยั่งยืนนอกจากนี้สามารถพัฒนาต่อยอดเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

สมบัติของยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่ผสมกับขุขี้มะพร้าวเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) สำหรับนำไปเป็นข้อมูลในการใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วยยางแผ่นรมควันชั้น 3 ที่ได้จากสหกรณ์กองทุนสวนยางโสดประชา จำกัด จังหวัดนครศรีธรรมราช แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งคือออกไซด์ กรดสเตียริก เมอร์แคปโตเบนโซไทเอโซล (MBT) เตตระเมทิล ไทยูแรม ไดซัลไฟต์ (TMTD) ไดมethylบิวทิลเพนนิลเพนนิลลิโนไธเอมีน (6PPD) และกำมะถัน (Sulfur) สารเคมีที่ใช้ทั้งหมดเป็นเกรดทางการค้าจำหน่ายโดยบริษัท วิพีเค ซัพพลาย จำกัด ในงานวิจัยนี้ใช้ขุขี้มะพร้าวเป็นสารตัวเติมที่ได้จากโรงงานผลิตเส้นใยมะพร้าว จากบริษัทชไมพรการโย จำกัด จังหวัดนครศรีธรรมราช นำไปร่อนกับตะแกรงขนาด 45 เมช (Mesh) นำไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM) ลักษณะของขุขี้มะพร้าวแสดงดังรูปที่ 2 และ 6



รูปที่ 1 ยางแผ่นรมควันชั้น 3

2.2 การออกแบบสูตรยางคอมปาวด์

ออกแบบสูตรยางคอมปาวด์ผสมขุยมะพร้าว 0, 10, 20, 40, และ 80 ส่วนในร้อยส่วนของยาง (phr) ทั้งหมด 5 สูตร ทั้งนี้แต่ละสูตรจะใช้อัตราส่วนผสมเทียบจาก 100 ส่วน ของยางโดยน้ำหนัก (Part Per Hundred Rubber, phr) ดังตารางที่ 1



รูปที่ 2 ขุยมะพร้าว



รูปที่ 3 ยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว

2.3 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว

เริ่มจากการบดยางแผ่นรมควันชั้น 3 ด้วยเครื่องผสมยางแบบเปิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll Mill) จากนั้นเติมสารตัวเติม คือ ขุยมะพร้าวบดผสมเป็นเนื้อเดียว แล้วเติมซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) กรดสเตียริก (Stearic Acid) จากนั้นเติมเมอร์แคปโตเบนโซไทเอซอล (MBT) เตตระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ไดเมทิลบิวทิลเพนนิลเพนนิลลีนไดเอมีน (6PPD) และกำมะถัน (Sulfur) เพื่อให้เกิดการคงรูปทำการทดสอบการ

คงรูปของชิ้นงาน โดยใช้เครื่องทดสอบการคงรูป (Moving Die Rheometer, MDR) จากนั้นนำยางเข้าเครื่องอัดความร้อนที่อุณหภูมิ 150 °C ได้ยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมปาวด์ผสมขุยมะพร้าว

ส่วนผสม (Compound Name)	อัตราส่วนผสมเทียบ จากยาง 100 ส่วน (phr)	คุณสมบัติ (role)
RSS 3	100	Binder
Coconut Coir Dust	80 ,40 ,20 ,10 ,0	Filler
Zinc oxide	5.0	Activator
Stearic acid	1.0	Activator
MBT	0.5	Accelerator
TMTD	1.5	Accelerator
6PPD	1.5	Antiozonant
Sulfur	5.0	Curing agent

2.4 การทดสอบคุณสมบัติของยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว

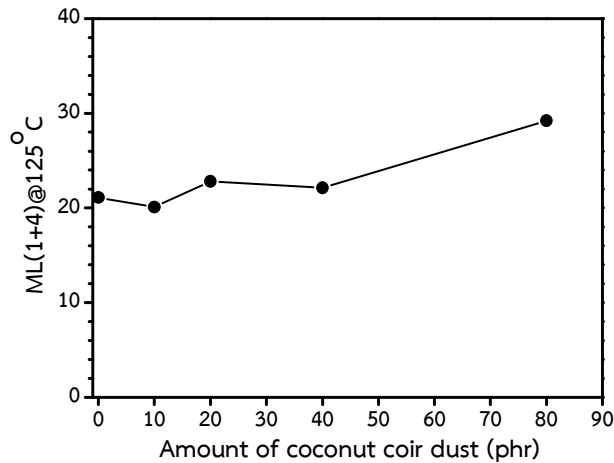
เมื่อนำยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าวที่ได้จากการขึ้นรูปไปทดสอบคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) ทดสอบการคงรูปของยาง (Moving Die Rheometer, MDR) ทดสอบความแข็งแรง (ISO 7619-1) ทดสอบความต้านแรงดึง (ISO 37) ทดสอบความยืดเมื่อขาด (ISO 37) ทดสอบมอดูลัสการกดอัด (ISO 7743) ทดสอบการยุบตัวเนื่องจาก แรงอัด (ISO 815-1) และทดสอบความทนต่อการขีดสี (ISO 5470-1)

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

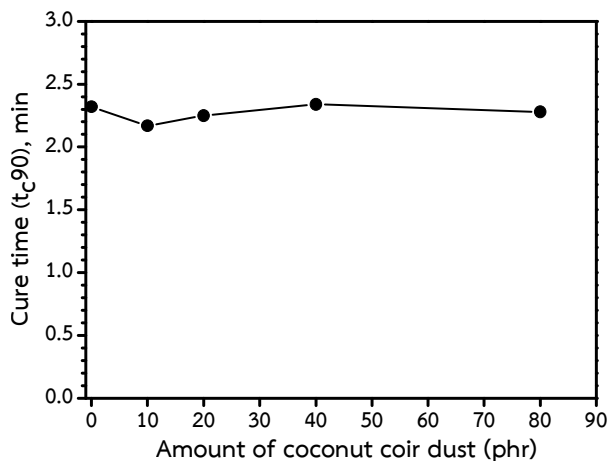
จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมตามมาตรฐาน ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) และมาตรฐานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้ง 5 อัตราส่วน สามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

3.1 การคงรูปและค่าความหนืดมูนีของยาง

ผลการทดสอบการคงรูปและค่าความหนืดมูนีของยางในการขึ้นรูปยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมทุกสูตร สามารถสรุปได้ ดังรูปที่ 4 และ 5



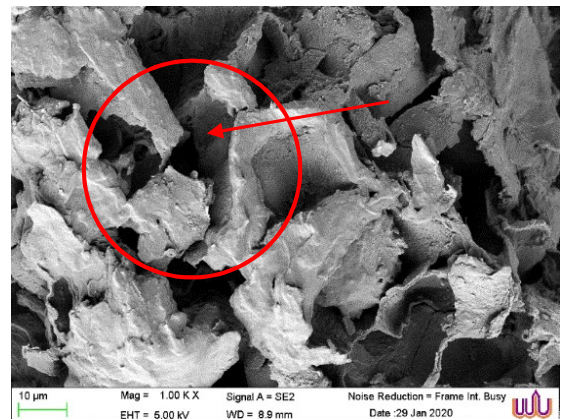
รูปที่ 4 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อความหนืดมูนีของยางคอมปาวด์



รูปที่ 5 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อเวลาในการคงรูปของยางคอมปาวด์

จากรูปที่ 4 และ 5 พบว่า การเติมขุยมะพร้าวในปริมาณที่มากขึ้น มีแนวโน้มที่จะทำให้การคงรูปของยางคอมปาวด์ต้องใช้เวลานานขึ้นซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการดูดซับสารคงรูปลงบนพื้นผิวของสารตัวเติมขุยมะพร้าว ซึ่งจากรูป FE-SEM จะเห็นว่าพื้นผิวของขุยมะพร้าวมีรูพรุนจำนวนมาก (ดังรูปที่ 6) จะทำให้ส่วนผสมมีความหนืดมูนีของยางคอมปาวด์ และการคงรูป

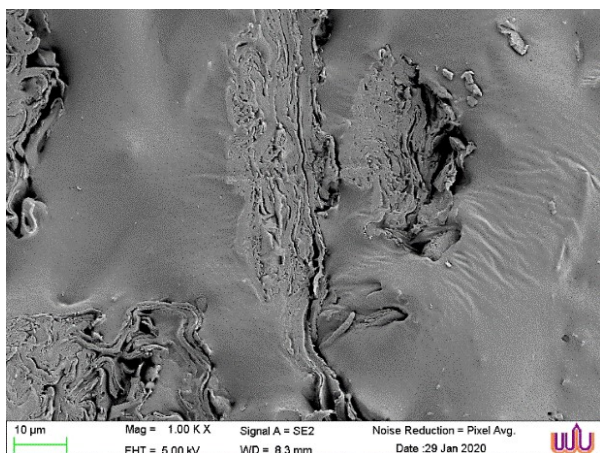
ของยางคอมปาวด์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น เมื่อนำส่วนผสมดังกล่าวไปใส่แบบหล่อและอัดขึ้นรูป อาจทำให้การไหลเข้าสู่แม่พิมพ์ในขั้นตอนการขึ้นรูปเกิดได้ไม่ดี สาเหตุมาจากปริมาณการเติมขุยมะพร้าว ทำให้มีการเกาะกลุ่มรวมตัวกันค่อนข้างมากการดูดซับสารคงรูปลดลงเช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Barlow และ Hofmann [16,17] ส่วนระยะเวลาใช้ในการคงรูปของยางคอมปาวด์มีค่าของส่วนผสมที่มีปริมาณขุยมะพร้าวมากจะมีค่าลดลง ดังนั้นเวลาในการคงรูปจึงมีแนวโน้มสั้นลงเมื่อเทียบกับสูตรยางคอมปาวด์ที่เติมขุยมะพร้าวในปริมาณที่น้อยกว่าเช่นเดียวกันกับ Intharapat [18] เมื่อผสมเส้นใยมะพร้าวจะส่งผลให้ค่าผลต่างทอร์คหรือค่าผลต่างของแรงบิดสูงกว่ายางคอมปาวด์ที่ไม่ใส่สารตัวเติมและมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณเส้นใยซึ่งค่าทอร์คบ่งบอกถึงมอดูลัสของยางที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติมและการเกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง



รูปที่ 6 ภาพถ่าย FE-SEM แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของขุยมะพร้าวที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

นอกจากนี้ยังพบว่ายางธรรมชาติที่ผสมเส้นใยกาบมะพร้าวและเส้นใยปาล์มส่งผลให้เวลาสกอซและเวลาวัลคาไนซ์ลดลง นอกจากนี้การเติมขุยมะพร้าวลงในยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดช่องว่างขนาดเล็กภายในเนื้อขึ้นเนื่องจากขุยมะพร้าวและยางธรรมชาติมีจุดหลอมเหลวต่างกันซึ่งสอดคล้องกับ Barlow และ Hofmann [16,19] ดังรูปที่ 7 การยึดเกาะกันระหว่างยางธรรมชาติกับขุยมะพร้าว โดยในเบื้องต้นจะเห็นได้พื้นผิวของยางที่เติมขุยมะพร้าวจะไม่เรียบ โดยยิ่งเติมขุยมะพร้าวในปริมาณที่มากขึ้นก็จะยิ่งทำให้พื้นผิวน้ำตดขรุขระมากยิ่งขึ้น

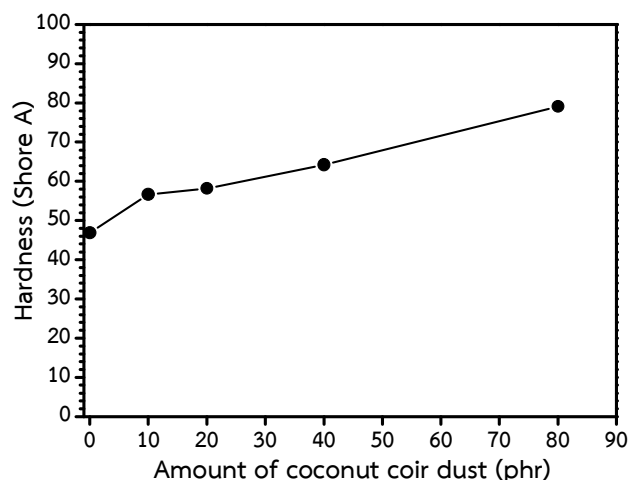
นอกจากนี้ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน FE-SEM จะเห็นได้ว่าขุยมะพร้าวสามารถแทรกเข้าไปในเนื้อยางได้เป็นอย่างดี โดยบริเวณรอยของวัสดุทั้งสองไม่เกิดช่องว่างสอดคล้องกับ Subramaniam [20] แต่อย่างไรก็ตาม ช่องว่างภายในเนื้อยางที่เกิดขึ้นเบื้องต้นจะยังคงเล็กน้อย และไม่ทำให้เกิดการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 7 รูปถ่ายพื้นผิวหน้าตัดชิ้นตัวอย่างยางที่เติมขุยมะพร้าวในปริมาณ 80 phr ด้วยกล้องถ่ายภาพระบบดิจิทัลและ FE-SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

3.2 ความแข็ง

ผลจากการทดสอบความแข็งแบบชอร์เอ (shore A) ของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมทั้ง 5 สูตร ดังรูปที่ 8 พบว่า การเติมขุยมะพร้าวส่งผลทำให้ยางคงรูปมีค่าความแข็งแบบชอร์เอเพิ่มมากขึ้นสอดคล้องกับ (Dupont และ Joseph [13,21] ได้ทำการทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยการผสมเส้นใยคาบมะพร้าว และเส้นใยปาล์มน้ำมันในยางยังส่งผลให้ความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งแบบชอร์เอของยางคงรูปจะแปรผันตามปริมาณของขุยมะพร้าวที่เติมเนื่องจากขุยมะพร้าวมีลักษณะเป็นอนุภาคซึ่งมีความแข็งมากกว่ายาง ดังนั้นการเติมลงไปในยางที่อ่อนและนิ่มจึงส่งผลให้ค่าความแข็งรวมสูงมากขึ้น

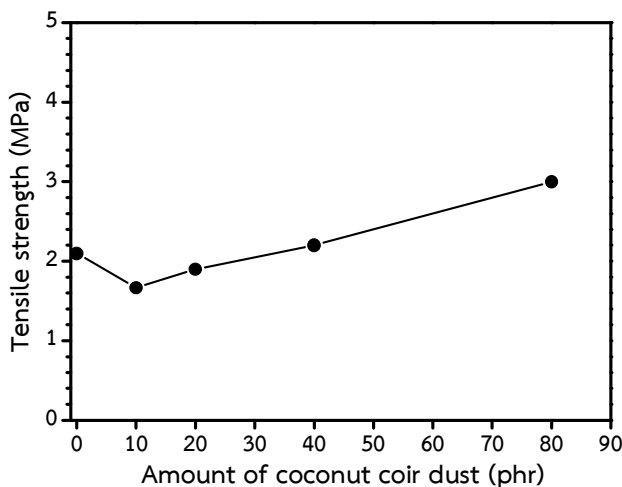


รูปที่ 8 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อความแข็งแบบชอร์เอของยางคงรูป

3.3 ความต้านแรงดึง

สำหรับผลการทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึงของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมทั้ง 5 สูตร ดังรูปที่ 9 พบว่า ความต้านแรงดึงของยางคงรูปที่ได้จะขึ้นกับปริมาณขุยมะพร้าวที่เติม โดยสามารถแบ่งการอธิบายออกได้เป็น 2 ช่วง ดังรายละเอียดต่อไปนี้ ในช่วงต้นจะเห็นได้ว่าเมื่อเติมขุยมะพร้าวในปริมาณ 10 phr แผ่นยางที่ได้จะมีค่าความต้านแรงดึงลดลง อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณขุยมะพร้าวจาก 10 เป็น 20, 40 และ 80 phr จะเห็นว่ายางคงรูปที่ได้จะมีค่าความต้านแรงดึงเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณขุยมะพร้าว 40 และ 80 phr ยางคงรูปที่ได้จะมีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่ายางคงรูปที่ไม่ได้เติมขุยมะพร้าวซึ่งสอดคล้องกับ Joseph และคณะ [13] ซึ่งสาเหตุที่ค่าความต้านแรงดึงของยางที่เติมขุยมะพร้าวในปริมาณ 40 และ 80 phr สูงกว่ายางคงรูปที่ไม่ได้เติม อาจเป็นผลมาจากขุยมะพร้าวเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นแผ่นสั้น ๆ และมีการปะปนด้วยเส้นใยมะพร้าวขนาดเล็ก ซึ่งลักษณะดังกล่าว สามารถช่วยให้เนื้อยางมีความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้นได้ เช่นเดียวกันกับ Bledzki และ Gassan [22] เมื่อมียางเข้าไปในรูพรุน การเคลื่อนที่ของยางที่อยู่ด้านนอกจะลำบากขึ้นเนื่องจากต้องลากยางที่อยู่ด้านในไปด้วย ส่งผลให้ความหนืดเพิ่มสูงขึ้นซึ่งหลักการข้างต้นเป็นผลเช่นเดียวกันกับการเติมเขม่าดำสอดคล้องงานวิจัยของ Sirisinha และคณะ [23] ได้ศึกษา

เกี่ยวกับอิทธิพลของสารตัวเติมผสมระหว่าง ซิลิกาและผงเขม่าดำที่มีต่อสมบัติการไหลและสมบัติเชิงกลของยางไอโอพรีน จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดเฉือน (shear viscosity) และค่ามอดูลัสเฉือน (shear modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลการเสริมแรงของซิลิกา อย่างไรก็ตาม แต่ด้วยขนาดของขุยมะพร้าวและเส้นใยมะพร้าวที่ปะปนอยู่มีขนาดสั้นเกินไป ทำให้เมื่อผสมในปริมาณที่ไม่มากพอก็จะไม่สามารถช่วยรับแรงดึงได้ แต่จะเป็นภาระของเนื้อยางธรรมชาติที่ต้องช่วยยึดเหนี่ยวขุยมะพร้าวไม่ให้หลุดออกจากแผ่นแทน

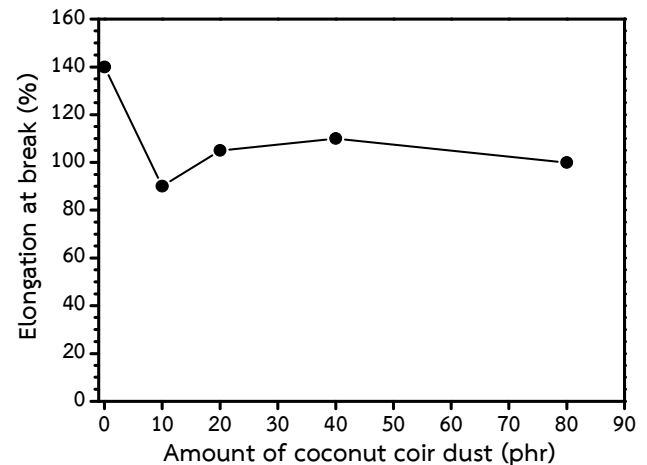


รูปที่ 9 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อความต้านแรงดึง

3.4 ความยืดเมื่อขาด

การทดสอบความยืดเมื่อขาดของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 10 พบว่ายางคงรูปที่มีการเติมขุยมะพร้าวไม่ว่าจะเติมในปริมาณเท่าไรจะมีระยะความยืดเมื่อขาด ณ จุดขาดต่ำกว่ายางคงรูปที่ไม่มีการเติมขุยมะพร้าว เช่นเดียวกันกับ Boonthee และคณะ [24] เนื่องจากเส้นใยที่มีการยึดตัวได้น้อย จึงทำให้ชิ้นงานยางธรรมชาติมีความแข็งแรงดัดและการยึดตัวได้ต่ำกว่ามาตรฐาน ปริมาณของเส้นใยกากมะพร้าวมีปริมาณมากเกินไป จึงทำให้ชิ้นงานขาดทันทีทันใด อาจเป็นเพราะเส้นใยจะไปรบกวนการเกิดผลึกของยางธรรมชาติจึงทำให้สมบัติเชิงกลด้อยกว่ายางที่ไม่ผสมเส้นใยคล้อยกับ Joseph และคณะ [13] อย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มปริมาณขุยมะพร้าว

จาก 10 เป็น 20, 40 และ 80 phr พบว่าระยะความยืดเมื่อขาด ณ จุดขาดจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงอีกครั้ง โดยปริมาณขุยมะพร้าวที่ 40 phr จะให้ค่าระยะความยืดเมื่อขาด ณ จุดขาดสูงที่สุด

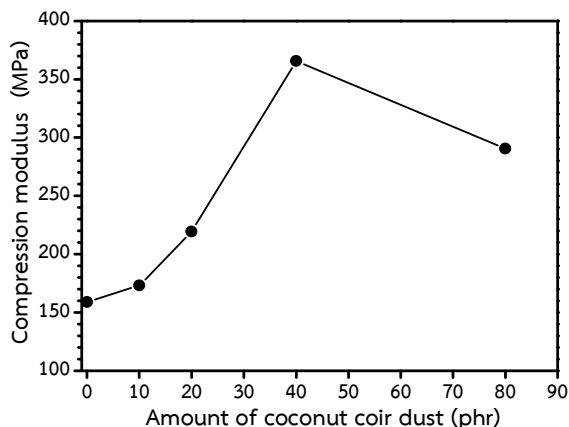


รูปที่ 10 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อความยืดเมื่อขาด ณ จุดขาด (%)

3.5 มอดูลัสการกดอัด

การทดสอบค่ามอดูลัสการกดอัดของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 11 พบว่า เมื่อปริมาณของขุยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าการกดอัด (หรือการกดอัดชิ้นงานทดสอบให้มีระยะยุบตัว 20% จากระยะเริ่มต้น) มีค่าเพิ่มมากขึ้นนั้นเป็นผลมาจากปริมาณของขุยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยางมีความแข็งมากขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Raksarak และคณะ [25] ทดสอบความแตกต่างของค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ปริมาณแตกต่างกันของชิ้นทดสอบวัสดุผสมไม้พลาสติกผสมกับเส้นใยกากมะพร้าว เส้นใยกาก ทะลายปาล์มน้ำมัน และเส้นใยชังข้าวโพด พบว่า ชิ้นทดสอบวัสดุผสมไม้พลาสติกที่มีการเติมเส้นใยกากมะพร้าวมีค่ามอดูลัสแรงดึงและความแข็งแรงดึงที่ดีกว่า ความยืดหยุ่นลดลง จึงต้องเพิ่มแรงมากขึ้น และค่ามอดูลัสที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยธรรมชาติเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับ Raksarak และ Kuo PY และคณะ [25,26] นอกจากนี้ชนิดของเส้นใยที่แตกต่างกันยังส่งผลต่อค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของวัสดุผสม จากเส้นใยกากมะพร้าวให้ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสที่ดีกว่าเส้นใยกากทะลายปาล์มน้ำมัน

และเส้นใยสังข์ขาวโพลในปริมาณที่เท่ากัน เพราะเส้นใยกาบมะพร้าวมีปริมาณลิกนินที่สูงกว่าเส้นใยกาบทะลายปาล์มน้ำมัน และเส้นใยสังข์ขาวโพล ผลการวิจัยพบว่าปริมาณของขุยมะพร้าว 40 phr ให้ค่าแรงที่ต้องใช้ทำให้ยางคงรูปยุบตัวจากเดิม 20% มากที่สุด (365.8 MPa) แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มปริมาณของขุยมะพร้าวไปที่ 80 phr พบว่า แรงที่ใช้กดยวบให้ยุบตัวจากระยะเดิม 20% มีค่าลดลงเหลือ 290.4 MPa

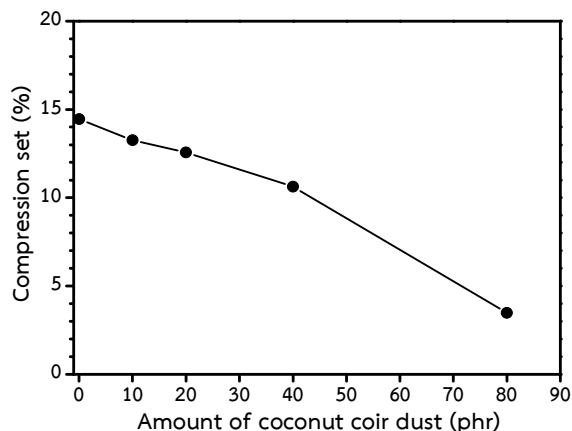


รูปที่ 11 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อค่ามอดุลัสการอัด

3.6 การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

ผลจากการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด ของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 12 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณขุยมะพร้าวในยางคงรูปที่ได้จะมีค่าร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการทดสอบเมื่อให้แรงเพื่อทำให้ขึ้นตัวอย่างเกิดการยุบตัว ส่วนที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปคือยาง เนื่องจากยางมีความอ่อนและนิ่มในขณะขุยมะพร้าวจะมีความแข็งที่มาก จึงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง เมื่อเอาแรงกดอัดออกส่วนที่เป็นยางก็จะเกิดการคืนรูป โดยการคืนรูปจะมากหรือน้อยขึ้นกับว่าโครงสร้างการเชื่อมขวางและปริมาณการเชื่อมขวางของยาง เช่นเดียวกันกับงานวิจัยของ Yantaboot K และ Kaewarsa [27] พบว่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของยางโพลิเอทิลีนและวัสดุคอมพอสิตยางโพลิเอทิลีนที่เสริมแรงด้วยเส้นใยตาล เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยตาลทำให้ค่าการยุบตัวลดลง เนื่องจากการเชื่อมขวางฟองทำให้การเกิดฟองยากขึ้น และเมื่อมีการเติมขุยมะพร้าวสัดส่วนของยางในขึ้นตัวอย่างก็จะ

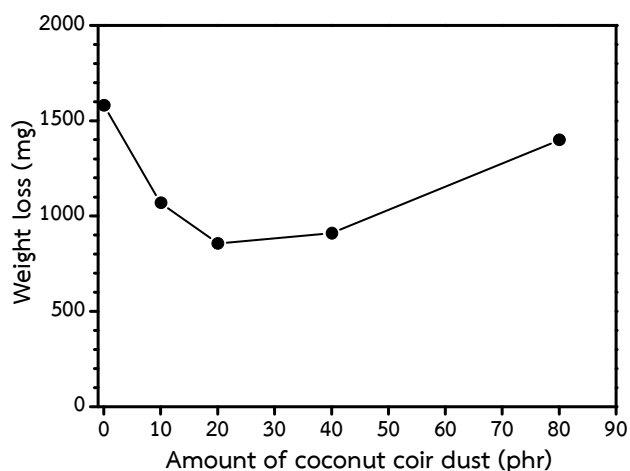
ลดลง ดังนั้นการเสียรูปหลังการกดอัดจึงมีค่าลดลงตามสัดส่วนของยางนั่นเอง



รูปที่ 12 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อร้อยละการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

3.7 ความทนต่อการขัดสี

การทดสอบความทนต่อการขัดสีของผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติมสามารถสรุปผลการทดสอบได้ ดังรูปที่ 13 พบว่า การผสมขุยมะพร้าวลงในยางตั้งแต่ 10 จนถึง 80 phr จะส่งผลทำให้ยางคงรูปที่ได้มีความทนต่อการขัดสีสูงมากขึ้น ซึ่งบ่งชี้ได้จากปริมาณน้ำหนักสูญเสียที่น้อยกว่าสูตรยางที่ไม่มีการเติมขุยมะพร้าว อย่างไรก็ตามความทนต่อการขัดสีจะเพิ่มขึ้นในช่วงต้นและจะเริ่มลดลงเมื่อยังคงเพิ่มปริมาณขุยมะพร้าว โดยที่ปริมาณการเติม 20 phr จะเป็นปริมาณที่ให้ยางคงรูปที่มีความความทนต่อการขัดสีสูงที่สุด การเติมขุยมะพร้าวซึ่งมีความแข็งมากกว่าเป็นสาเหตุทำให้ความทนต่อการขัดสีของยางคงรูปเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อเติมในปริมาณที่มากเกินไปขุยมะพร้าวซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคจะไม่สามารถเชื่อมหลอมเป็นเนื้อเดียวกันได้เนื่องจากมีปริมาณยางไม่มากพอ จึงส่งผลทำให้ความทนต่อการขัดสีเริ่มลดลง และจะลดลงมากยิ่งขึ้นหากเพิ่มปริมาณขุยมะพร้าวขึ้นไปอีก สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srisen และคณะ [28] ที่ศึกษาการใช้เส้นใยหินผสมยางแคลเซียมคาร์ไบด์ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Bumrungsri และคณะ [29] ที่ศึกษาการใช้วัสดุเหลือทิ้งในการทำอิฐพบว่ากำลังอัดที่สูงขึ้นทำให้ค่าการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการขัดสีลดลง



รูปที่ 13 ผลของการเติมขุยมะพร้าวในปริมาณต่าง ๆ กัน ต่อความทนต่อการขีดสี

4. สรุปผลการศึกษา

จากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ยางชะลอความเร็วโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นสารตัวเติม พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปยางชะลอความเร็ว คือใช้ขุยมะพร้าว 80 phr เมื่อทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมยางชะลอความเร็ว (มอก. 2726-2559) พบว่า มีคุณสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว 80 phr ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2726-2559)

คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์กำหนด	ค่าที่วิเคราะห์ได้	วิธีทดสอบตาม
ความแข็ง	Shore A	60 ถึง 80	79.1	ISO 7619-1
ความต้านแรงดึงไม่น้อยกว่า	MPa	3	3	ISO 37
ความยืดเมื่อขาดไม่น้อยกว่า	%	100	100	ISO 37
การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดไม่มากกว่า	%	40	3.5	ISO 815-1

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของยางชะลอความเร็วผสมขุยมะพร้าว 80 phr ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.2726-2559) (ต่อ)

คุณลักษณะ	หน่วย	เกณฑ์กำหนด	ค่าที่วิเคราะห์ได้	วิธีทดสอบตาม
ความทนต่อการขีดสีน้ำหนักสูญเสียต้องไม่เกิน	mg	400	1399	ISO-5470 1Method A
การเร่งการเสื่อมอายุ เปรียบเทียบจากค่าก่อนการบ่มเร่ง	Shore A	±10	+5.6	ISO188 Method B
- ความแข็งเปลี่ยนแปลงไม่เกิน				
- ความต้านแรงดึงเปลี่ยนแปลงไม่เกิน	%	±25	+12.0	ISO188 Method B
- ระยะยืดสูงสุดเมื่อขาด ลดลงไม่เกิน	%	±50	-15.0	ISO188 Method B

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lertwattanak P, Masuwan K. Investigation of sound insulation properties of fiber cement board containing natural fibers. *KMUTT Research and Development Journal*.2015;38 (1): 71-86.
- [2] Geethamma V, Mathew K, Lakshminara-yanan R, Thomas S. Composite of short coir fiber and natural rubber, effect of chemical modification. *Loading and Orientation of Fiber Polymer*. 1997;1 (39): 1483-1491
- [3] Jacob M, Sabu T, Varughese KT. Mechanical properties of sisal/ oil palm hybrid fiber reinforced natural rubber composites. *Composites Science and Technology*. 2004;64: 955-965.

- [4] De D, Adhikari B. The effect of grass fiber filler on curing characteristics and mechanical properties of natural rubber. *Polymers for Advanced Technologies*. 2004;15: 708-715.
- [5] Intharapat P. Filler in natural rubber from waste biomass. *Journal of Science and Technology, Ubon Rachathani University*. 2012;14(1): 30-43.
- [6] Homkhiew C, Ratanawilai T. Optimal proportions of composites from polypropylene and rubberwood flour after water immersion using experimental design, *KKU Research Journal*. 2014;19 (6):780-793.
- [7] Putra A, Hee K, Selamat MZ, Jailani M, Nor M, Hassan MH, Prasetyo I. Sound absorption of extracted pineapple - leaf fibres, *Applied Acoustics*. 2018;136: 9-15.
- [8] Sajjakulnukit B, Yingyuad R, Maneekhao V, Pongnarintasut V, Bhattacharya SC, Salam PA. Assessment of sustainable energy potential of non-plantation biomass resources in Thailand. *Biomass and Bioenergy*. 2005;29(3): 214-224.
- [9] Srisovanna P. Thailand's biomass energy. *Proceedings of Electricity Supply Industry in Transition: Issues and Prospect for Asia*; 2004: 16-35.
- [10] Matkaew A, Sangsirimongkolying R, Boonkerd K, and Rattanapan S. Study of wastes from agricultural product processing plants in Nakhon Si Thammarat province for reusing as filler in rubber products. *Proceedings of the 17th National Conference and Presentation of Research*, Western University. Bangkok. 2020; 17:123-132.
- [11] Chusilp N, Laksanakit C, Boonrasri P, Somboon C Thongkun T. The development of tile roof from disposal Materials. *MUTSN Research Journal*. 2019;11(1): 41-53.
- [12] Tantatherdtam R, Kongtud W, Sriroth K. Preparation and properties of natural rubber filled coconut shell and palm oil bunch fiber composites. *Proceedings of 48 th Kasetsart University Annual Conference: Agro- Industry. Bangkok (Thailand): The Thailand Research Fund, Bangkok, Thailand*. 2010. p. 646.
- [13] Joseph S, Joseph K, Thomas S. Green composites from natural rubber and oil palm fiber: physical and mechanical properties. *International Journal of Polymeric Materials*. 2006; (55): 925–945.
- [14] De Taffin G. *Coconut: The Tropical Agriculturalist*. Macmillan Education;1998.
- [15] Thampan PK, *The coconut palm and its products*. Kerala Green Villa Publishing House; 1975.
- [16] Barlow WF. Rubber Compounding: Principles. *Materials and Techniques*. (2nded). Florida: CRC Press;1993.
- [17] Holfmann WB. *Rubber Technolog Handbook*. Munich: Hanser Publishers; 1989.
- [18] Intharapat P. Filler in natural rubber from waste biomass. *Journal of Science and Technology, Ubon Rachathani University*. 2012;14(1): 30-43.
- [19] Holfmann. 1989. WB. , *Rubber Technology Handbook*. Munich. Hanser Publishers.
- [20] Subramaniam A. Molecular weight and molecular weight distribution of natural rubber. *RRIM Technology Bulletin*. 1980; 4: 1-25.
- [21] Dupont. *Compare EVA Grades and Performance Properties*. Delaware: E.I. du Pont de Nemours and company. 2012.
- [22] Bledzki AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress in Polymer Science*. 1999;24: 221 - 274. Available from: [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5).
- [23] Sirisinha C, Jitkanakarn J, Sae-Oui P. The effect of mixed silica and carbon black on mechanical properties of isoprene rubber. *27th Congress on Science and Technology of Thailand*. 2001: 868.
- [24] Boonthee A, Srimeek S, Sinsin PU, Rayoyoi S, Saikaew S. The Influence of coconut fiber effect

on mechanical properties of natural rubber. *Proceeding of The 6th National Academic Conference*. Rajabhat Village Chom Bueng Research. 2018;42(6): 34-41.

- [25] Raksarak N, Ratanawilai T, Srivabut C. Effects of the use of natural fibers from agricultural wastes on mechanical, physical and thermal properties of wood plastic composites from polypropylene. *KMUTT Research and Development Journal*. 2019;42(4): 328-338.
- [26] Kuo PY, Wang SY, Chen JH, Hsueh HC, Tsai MJ. Effects of material compositions on the mechanical properties of wood plastic composites manufactured by injection molding. *Materials and Design*; 2009;30 (9): 3489–3496.
- [27] Yantaboot K. Kaewarsa P. Physical properties of natural rubber foam reinforced with borassus fruit fiber: effects of alkali treatment and fiber content. *Journal of Science and Technology Ubon Ratchathani University*. 2020;22(3): 75-81.
- [28] Srisen, A. Tangchirapat W. Jaturapitakkul. C. Properties of concrete using fly ash and calcium carbide residue as a cementitious material. *KMUTT Research and Development Journal*. 2014;37 (2): 165-175.
- [29] Bumrungsri C. Tangchirapat. W. Jaturapitakkul C. Development of concrete block made from waste materials without portland cement. *Proceeding of Annual Concrete Conference 7*, 2011;19- 21 October, Rayong Resort Hotel, Rayong, MAT138-143.