วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 30, ฉบับที่ 4 ต.ค.–ธ.ค. 2563
The Journal of KMUTNB, Vol. 30, No. 4, Oct.–Dec. 2020

บทความวิจัย

ผลของสารช่วยประสานต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการคงรูปของยางคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรด

รัตนาภรณ์ พรหมจริยากุล* และ เสาวลักษณ์ คงเอียง
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 4485 2795 อีเมล: rattanaporn.m@eat.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.04.007
รับเมื่อ 19 ธันวาคม 2562 แก้ไขเมื่อ 30 มกราคม 2563 ตอบรับเมื่อ 23 มีนาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 20 เมษายน 2563
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติกับเส้นใยใบสับปะรดด้วยสารเชื่อมประสานยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR25) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของสารช่วยประสานต่อสมบัติเชิงกล และสมบัติการคงรูปของยางคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรด ยางคอมโพสิตถูกเตรียมโดยนำยางธรรมชาติผสมกับเส้นใยใบสับปะรดและยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ที่ 0, 5, 10 และ 15 phr ตามลำดับ ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องกดอัดแบบร้อน (Compression Molding) แล้วทดสอบสมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกล พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติม ENR25 ในยางคอมโพสิต ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึงค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ (Scorch Time) และเวลาในการคงรูป (Cure Time) ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน

คำสำคัญ: เส้นใยใบสับปะรด สารเชื่อมประสาน ยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์

การอ้างอิงบทความ: รัตนาภรณ์ พรหมจริยากุล และ เสาวลักษณ์ คงเอียง, "ผลของสารช่วยประสานต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการคงรูปของยางคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยใบสับปะรด," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 30, ฉบับที่ 4, หน้า 612–619, ต.ค.–ธ.ค. 2563.

Research Article

Effect of Compatibilizer on the Mechanical and Cure Properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) Reinforced Natural Rubber (NR) Composites

Rattanaporn Promjariyakoon* and Saowalak Kongiang
Material and Process Engineering and Technology, Faculty of Engineering and Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Rayong Campus, Rayong, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 4485 2795, E-mail: rattanaporn.m@eat.kmutnb.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2020.04.007
Received 19 October 2019; Revised 30 January 2020; Accepted 23 March 2020; Published online: 20 April 2020
© 2020 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This work proposes a simple method for improving the compatibility between Natural Rubber (NR) and Pineapple Leaf Fiber (PALF) by adding the Epoxidized Natural Rubber (ENR25) compatibilizer. The aim of this research is to study the effect of compatibilizer on the mechanical and curing properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) reinforced Natural Rubber (NR) composites. The Natural Rubber (NR), Pineapple Leaf Fiber (PALF), and Epoxidized Natural Rubber (ENR25) at 0, 5, 10 and 15 phr respectively were mixed by using a two roll mill. The test specimens were prepared by compression molding machine. The mechanical and curing properties of the specimens were investigated. The results found that the elongation at break (%) and tear strength of the rubber composites increased with the increasing ENR25 content. However, the effect of ENR25 content on the tensile strength, the modulus at 100% strain (M100), the scorch time and the cure time were not significantly changed.

Keywords: Pineapple Leaf Fiber, Compatibilizer, Natural Rubber, Epoxidized Natural Rubber

Please cite this article as: R. Promjariyakoon and S. Kongiang, "Effect of compatibilizer on the mechanical and cure properties of Pineapple Leaf Fiber (PALF) reinforced natural rubber (NR) composites," *The Journal of KMUTNB*, vol. 30, no. 4, pp. 612-619, Oct.-Dec. 2020 (in Thai).

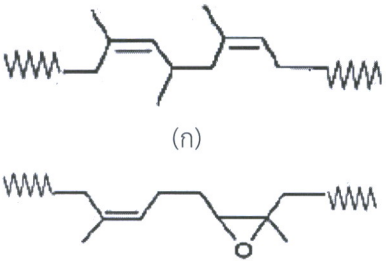
1. บทนำ

ยางธรรมชาติจัดเป็นสินค้าเกษตรที่มีบทบาทสำคัญมากในตลาดโลก และมีแนวโน้มที่จะทวีความสำคัญขึ้นเป็นลำดับ ประเทศไทยถือว่าเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติที่สำคัญของโลก มีผลผลิตยางธรรมชาติประมาณ 5 ล้านตันต่อปี [1] อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติที่ผลิตจากประเทศไทย 90 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณยางที่ผลิตได้จะถูกส่งออกในรูปของยางดิบ ซึ่งปัจจุบันมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับราคายางแปรรูป อีก 10 เปอร์เซ็นต์ ใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปภายในประเทศ เนื่องจากประเทศไทยมีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปในปริมาณน้อยมาก ส่งผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าผลิตภัณฑ์ยางแปรรูปจากต่างประเทศในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก ทั้งที่ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติอันดับต้นๆ ของโลก ดังนั้น การนำยางธรรมชาติมาเพิ่มมูลค่าก่อนการส่งออกจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะนอกจากจะเพิ่มราคาให้กับยางธรรมชาติแล้วยังช่วยเพิ่มคุณสมบัติในด้านต่างๆ ให้กับยางธรรมชาติได้อีกด้วย

ยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีหลายประการ เช่น ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ความเหนียวในการยึดติด (Tack) และความยืดหยุ่นสูง (Elasticity) จึงนิยมนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมยางล้อ ถุงมือยางทางการแพทย์ รองเท้า อุปกรณ์กีฬา สายพานลำเลียง ยางกันชนหรือยางกันกระแทก บล็อกยางปูพื้น เป็นต้น [2] อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติยังมีข้อจำกัดคือ มีค่ามอดุลัส (Modulus) ค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความแข็งแรงสูง ดังนั้นจึงต้องเติมสารเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น

นอกจากยางธรรมชาติแล้ว สินค้าเกษตรที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทยคือ สับปะรด อัตราการส่งออกสับปะรดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น [3] หลังจากเก็บเกี่ยวผลสับปะรด เกษตรกรจะไถกลบหรือเผาทำลายต้นและใบสับปะรด เพื่อเตรียมเพาะปลูกในรอบถัดไป อย่างไรก็ตาม ใบสับปะรดสามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้ โดยการแปรรูปเป็นเส้นใยเพื่อนำไปใช้เป็นเส้นใยเสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีราคาต่ำ น้ำหนักเบา มีความแข็งแรงสูง และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [2], [4], [5] อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติกับเส้นใยใบสับปะรดเมื่อนำมาผสมกันจะเข้ากันได้ไม่ดี ขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของเส้นใยใบสับปะรด ปริมาณเส้นใยใบสับปะรดที่เติมในยางธรรมชาติ การยึดติดกันระหว่างเส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติ การจัดเรียงตัวและการกระจายตัวของเส้นใยใบสับปะรดในยางธรรมชาติ และเนื่องจากสภาพขั้วที่ต่างกันของเส้นใยใบสับปะรดที่มีสมบัติแบบไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) กับยางธรรมชาติมีสมบัติแบบไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) จึงส่งผลให้ยางคอมโพสิตที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีเท่าที่ควร [5] วิธีการปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี 3 วิธี คือ การดัดแปรพื้นผิวของเส้นใย [3], [4] วิธีนี้จะช่วยเพิ่มความขรุขระของพื้นผิวเส้นใยและช่วยกำจัดลิกนิน (Lignin) และสารพวกขี้ผึ้ง (Wax) นอกจากการดัดแปรพื้นผิวเส้นใยแล้ว การดัดแปรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [6] และการเติมสารช่วยประสาน (Compatibilizer) ก็เป็นวิธีการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยธรรมชาติ [7], [8] ได้เช่นเดียวกัน

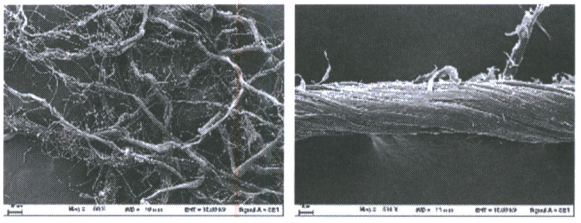
งานวิจัยนี้จะให้ความสนใจวิธีการเติมสารช่วยประสาน เนื่องจากสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด เป็นวิธีการที่ง่ายและใช้งานกันอย่างแพร่หลาย สำหรับสารเชื่อมประสานที่นิยมใช้ในการเตรียมคอมโพสิตระหว่างเส้นใยธรรมชาติกับยางธรรมชาติคือ ยางธรรมชาติกราฟต์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (NR-g-MA) และยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR) เพราะสามารถปรับปรุงความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติได้ [5], [9], [10] อย่างไรก็ตาม ยังไม่พบงานวิจัยที่ผ่านมาใช้ ENR เป็นสารช่วยประสานระหว่างเส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาอิทธิพลของสารช่วยประสานที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล และสมบัติการคงรูปของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยใบสับปะรด โดยศึกษาผลของปริมาณการเติมยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR25) ซึ่งมีหมู่อิพ็อกซีเข้าไปแทนที่บริเวณพันธะคู่ในโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (NR) ร้อยละ 25 เป็นสารช่วยประสาน ซึ่งคาดว่าหมู่อิพ็อกซี (Epoxy Group)



(ก)

(ข)

รูปที่ 1 โครงสร้างเคมีของ (ก) NR และ (ข) ENR [5]



(ก) (ข)

รูปที่ 2 SEM micrograph ของเส้นใยใบสับปะรด (ก) ที่กำลังขยาย 50 เท่า (ข) ที่กำลังขยาย 500 เท่า

ของ ENR จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl Group) ของเส้นใยใบสับปะรด ในขณะเดียวกันส่วนของ NR ใน ENR ก็เข้ากันได้กับ NR จึงทำให้ ENR ช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติกับเส้นใยใบสับปะรดให้ดีขึ้น

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยคือ ยางธรรมชาติ (STR 5L, PI Industry Limited) ยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR25, MMG Company Limited) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO, PI Industry Limited) กรดสเตียริก (Stearic Acid, PI Industry Limited) CBS (PI Industry Limited) กำมะถัน (Sulfur, PI Industry Limited) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, Merck 98%) และใบสับปะรด (อำเภอนิคมพัฒนา จังหวัดระยอง) โครงสร้างเคมีของยางธรรมชาติ (NR) และยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR) แสดงดังรูปที่ 1

2.2 ขั้นตอนการเตรียมเส้นใยใบสับปะรด [11]

นำใบสับปะรดสด มาล้างทำความสะอาดและตัดตามขวางให้มีความยาว 6 มิลลิเมตร นำไปปั่นด้วยเครื่องปั่นแยกกากที่ความเร็วรอบ 7,700 รอบต่อนาที จากนั้นเป่าแห้งด้วยเครื่องเป่าลมร้อนและปั่นด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง 25,000 รอบต่อนาที ทำการแยกเส้นใยใบสับปะรดและกากใบสับปะรดด้วยตะแกรงร่อนขนาด 60 เมช เส้นใยใบสับปะรดที่ได้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1 มิลลิเมตร

2.3 ขั้นตอนการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยใบสับปะรด

เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร (NaOH 5% w/v) [2] นำเส้นใยใบสับปะรดปริมาณ 40 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยมวลต่อปริมาตร แช่เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ล้างเส้นใยใบสับปะรดด้วยน้ำกลั่น ตรวจวัดค่า pH ให้อยู่ในช่วง 7–8 อบเส้นใยใบสับปะรดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ลักษณะของเส้นใยใบสับปะรดที่ได้แสดงดังรูปที่ 2

2.4 ขั้นตอนการเตรียมยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิต

ยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิตถูกเตรียมโดยใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) ผสมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 20 นาที โดยสูตรยางที่ใช้แสดงดังตารางที่ 1 จากนั้นนำยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิตที่ได้ไปทดสอบสมบัติการคงรูปและสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 1 สูตรยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิต

วัสดุ	ปริมาณ (phr)
ยางธรรมชาติ (NR)	100
ยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR25)	0, 5, 10 และ 15
ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)	5.0
กรดสเตียริก (Stearic acid)	1.5
CBS	0.5
กำมะถัน (Sulfur)	2.5
เส้นใยใบสับปะรด	0,10

phr; part per hundred of rubber
CBS; N-Cyclohexyl-2-benzothaiazolesulfenamide

2.5 ทดสอบสมบัติการคงรูป

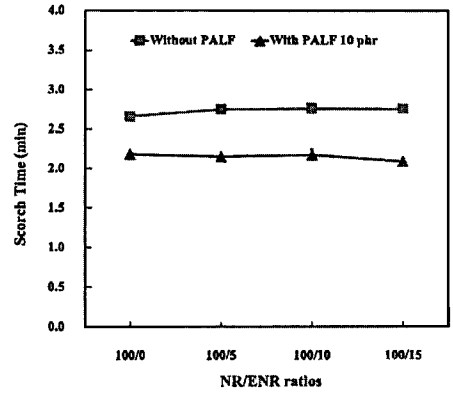
ทดสอบสมบัติการคงรูปของยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิตด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR) (AlphaTechnologies; MDR2000) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตามมาตรฐาน ASTM D5289 เพื่อหาเวลาการไหลตัวในแม่พิมพ์ (t_{s2}) และเวลาในการคงรูปของยางคอมปาวด์ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ (t_{c90})

2.6 ทดสอบสมบัติเชิงกล

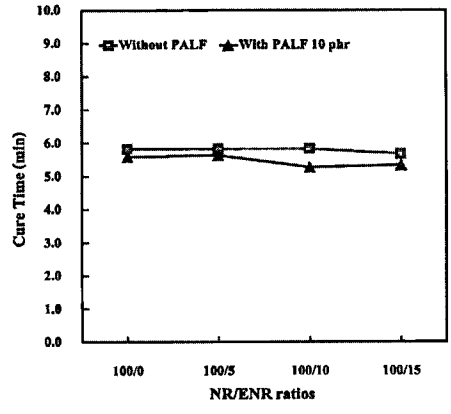
ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (Tensile Properties) และค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางคอมปาวด์และยางคอมโพสิตตามมาตรฐาน ASTM D412 และตามมาตรฐาน ASTM D624 ตามลำดับ ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Testometric; Model M350-10 CT) โหลดเซลล์ขนาด 1 กิโลนิวตัน ความเร็วในการทดสอบ 500 มิลลิเมตรต่อนาที ทดสอบชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 ชิ้นทดสอบต่อหนึ่งตัวอย่าง และหาค่าเฉลี่ย

2.7 ทดสอบสมบัติทางสัณฐานวิทยา

วิเคราะห์ลักษณะของเส้นใยใบสับปะรดและพื้นผิวการแตกหักจากแรงดึงของยางคอมโพสิตด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (Zeiss; Model LEO 1450VP) ชิ้นตัวอย่างต้องผ่านการเคลือบผิวด้วยทองก่อน



รูปที่ 3 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อเวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ (Scorch Time)



รูปที่ 4 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อเวลาในการคงรูป (Cure Time)

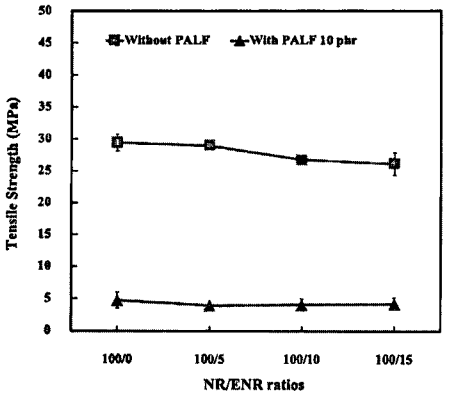
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 สมบัติการคงรูป

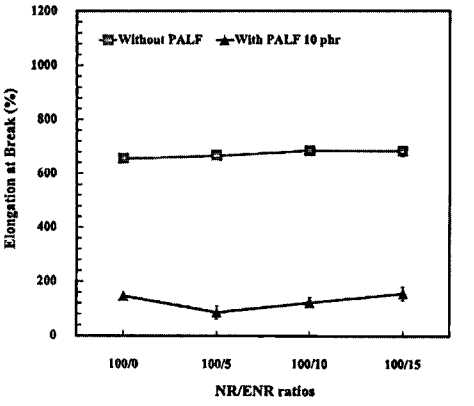
จากผลของเวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ (Scorch Time) และเวลาในการคงรูป (Cure Time) ของยางคอมปาวด์ (without PALF) และยางคอมโพสิต (with PALF 10 phr) ที่เติมสารช่วยประสานยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ (ENR25) ที่ปริมาณต่างๆ ดังรูปที่ 3 และ 4 พบว่า การเพิ่มปริมาณการเติม ENR25 ลงในยางคอมโพสิตที่ปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 phr ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน เนื่องจากปริมาณของหมู่อีพ็อกซีใน ENR ที่เติมมีปริมาณน้อยเกินไป เพราะถ้า ENR ที่เติมมีปริมาณเพียงพอจะส่งผลให้ยางคอมปาวด์ที่ได้มีเวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาในการคงรูปลดลง ซึ่งจะเป็นไปตามงานวิจัยของ วงษ์โสรัจ และคณะ [5] ในขณะเดียวกันยางคอมโพสิตที่ใส่เส้นใยใบสับปะรดจะมีเวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์และเวลาในการคงรูปลดลง เมื่อเทียบกับยางคอมปาวด์ที่ไม่ใส่เส้นใยใบสับปะรด เป็นผลมาจากการเสียดสีกันของเส้นใยใบสับปะรดจึงทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งความร้อนจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของยาง [2], [5], [7]

3.2 สมบัติเชิงกล

ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (Modulus at

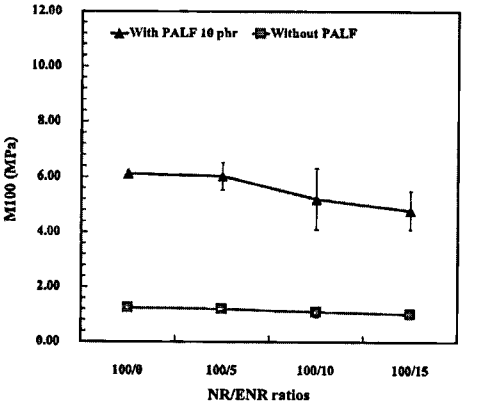


รูปที่ 5 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)



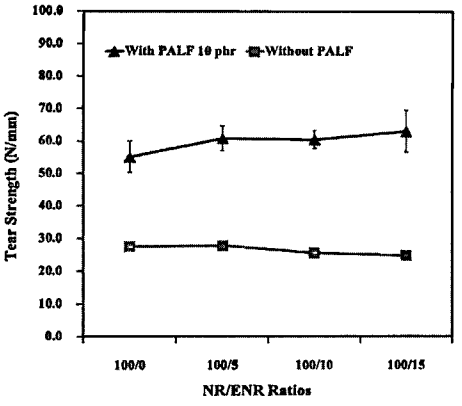
รูปที่ 6 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break)

100% Strain, M100) ยางคอมโพสิตที่เติมสารช่วยประสานยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5–7 พบว่า การเพิ่มปริมาณการเติม ENR25 ลงในยางคอมโพสิตที่ปริมาณ 0, 5, 10 และ 15 phr ตามลำดับ ส่งผลให้ยางคอมโพสิตมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกันพบว่า ค่าความต้านทานแรงดึง และค่า M100 ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนเป็นผลจากปริมาณ ENR ที่เติมค่อนข้างน้อย ส่งผลให้สมบัติเชิงกลที่ได้ไม่ชัดเจน เพราะถ้ามีปริมาณ ENR มาก ก็จะทำให้โอกาสที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่อิพ็อกซีของ ENR กับหมู่ไฮดรอกซิล ของเส้นใยใบสับปะรดมาก การยึดติดกันระหว่าง NR กับเส้นใยใบสับปะรดก็จะดีขึ้น สมบัติความต้านทานแรงดึงก็จะดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ยางคอมโพสิตที่ใส่เส้นใยใบสับปะรดจะมีค่าความต้านทานแรงดึง และค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดลดลงเมื่อเทียบกับยางคอมปาวด์ที่ไม่ใส่เส้นใยใบสับปะรด เนื่องจากเส้นใยเกิดการรวมกลุ่มก้อน และไปรบกวนการเหนี่ยวนำให้เกิดผลึกเนื่องจากการดึงยืด (Strain Induced Crystallization) ของยางธรรมชาติ [12] นอกจากนี้พบว่าค่า M100 ของยางคอมโพสิตมีค่าสูงกว่ายางคอมปาวด์ เป็นผลจากความแข็งแรงของตัวเส้นใยใบสับปะรดที่มีค่ามอดุลัสสูงกว่ายางธรรมชาติอยู่แล้ว เมื่อนำเส้นใยใบสับปะรดมาผสมกับยางธรรมชาติ ยางคอมโพสิตที่ได้จึงมีค่ามอดุลัสสูงกว่ายางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 7 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด (M100)

ค่าความต้านทานการฉีกขาดของยางคอมโพสิตที่เติมสารช่วยประสานยางธรรมชาติอิพ็อกซิไดซ์ที่ปริมาณต่างๆ แสดงดังรูปที่ 8 พบว่า ยางคอมโพสิตที่ใส่เส้นใยใบสับปะรดมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางคอมปาวด์ เนื่องจากเส้นใยใบสับปะรดไปขวางแนวการฉีกขาดทำให้การขยายตัวของรอยแยก (Crack Propagation) เกิดยากขึ้น [10] เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางคอมโพสิตที่ไม่เติมสารช่วยประสานกับยางคอมโพสิตที่เติมสารช่วยประสานที่ปริมาณต่างๆ พบว่า ยางคอมโพสิตที่เติมสารเชื่อมประสานจะมีค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงกว่ายางคอมโพสิตที่ไม่เติมสารเชื่อมประสาน เพราะว่ามีแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและ

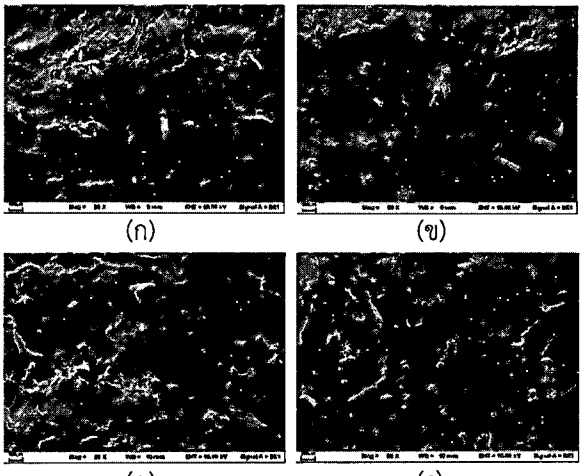


รูปที่ 8 ผลของการเติม ENR25 ที่ ปริมาณต่างๆ ต่อค่าความต้านทานการฉีกขาด

ยางธรรมชาติที่ดีกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมสารเชื่อมประสานส่งผลให้ค่าความต้านทานการฉีกขาดของยางคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้น [12]

3.3 สมบัติด้านสัณฐานวิทยา

จากการพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพื้นผิวการแตกหักจากแรงดึงของยางคอมโพสิตที่เติม ENR25 ที่ปริมาณต่างๆ ด้วยกล้อง SEM แสดงดังรูปที่ 9 เมื่อพิจารณากรณีที่ไม่เติม ENR25 ได้ผลดังรูปที่ 9 (ก) พบว่า เส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติยึดติดกันไม่ดี สังเกตได้จากช่องว่างระหว่างรอยต่อของเส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติ (Interface) ที่กว้าง เนื่องจากความมีขั้วที่ต่างกันของสารสองชนิดนี้ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ ENR25 ที่มากขึ้น ดังรูปที่ 9 (ข)–(ง) จะทำให้ความสามารถในการยึดติดกันของเส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติดีขึ้น เนื่องจากเกิดแรงกระทำของหมู่อิพ็อกซีของ ENR กับหมู่ไฮดรอกซิลของเส้นใยใบสับปะรด ดังนั้นจึงเป็นผลให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 9 SEM Micrograph ของพื้นผิวการแตกหักจากแรงดึงของยางคอมโพสิท ที่กำลังขยาย 50 เท่า
(ก) NR100/PALF10
(ข) NR100/PALF10/ENR5
(ค) NR100/PALF10/ENR10
(ง) NR100/PALF10/ENR15

4. สรุป

เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมสารช่วยประสาน ENR25 ที่ 5, 10 และ 15 phr ลงในยางคอมโพสิต ส่งผลให้ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด และค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึง ค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ การดึงยืด เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาในการคงรูปไม่เปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน เป็นผลจาก ENR เข้าไปช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิว (Interfacial Tension) และช่วยเพิ่มแรงยึดติดระหว่างพื้นผิว (Interfacial Adhesion) ของเส้นใยใบสับปะรดกับยางธรรมชาติ นอกจากนี้เมื่อใส่เส้นใยใบสับปะรดลงในยางคอมปาวด์ ส่งผลให้ค่ามอดุลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ การดึงยืดและค่าความต้านทานการฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความต้านทานแรงดึง ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด เวลาในการไหลตัวในแม่พิมพ์ และเวลาในการคงรูป มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ใส่เส้นใยใบสับปะรด เนื่องจากเส้นใยไปลดความยืดหยุ่นของสายโซ่ยาง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-NEW-59-23)

เอกสารอ้างอิง

[1] Office of Agricultural Economics. (2016, December). Percentage and quantity of products produced from monthly rubber tapping by province of rubber for the year 2016. Office of Agricultural Economics. Bangkok, Thailand. [Online]. Availlable: http://www.oae.go.th/assets/portals/1/fileups/prcaidata/files/percent%20sale%2059(1).pdf

[2] N. Lopattananon, K. Panawarangkul, K. Sahakaro, and B. Ellis, "Performance of pineapple leaf fiber–natural rubber composites: The effect of fiber surface treatments," *Applied Polymer Science*, vol. 102, pp. 1974–1984, 2006.

[3] TPIA Resource Center: Pineapple history, Tips & Health Benefits. (2017). We welcome you to Thailand, Land of Pineapples. Thai Pineapple Industry Association. Bangkok, Thailand [Online]. Available: (http://www.thaipineapple.org/index.php?lay=show&ac=article&Id=538719866.

[4] N. Hariwongsanupab, S. Thanawan, T. Amornsakchai, M. F. Vallat, and K. Mougin, "Improving the mechanical properties of short pineapple leaf fiber reinforced natural rubber by blending with acrylonitrile butadiene rubber," *Polymer Testing*, vol. 57, pp. 94–100, 2017.

[5] W. Wongsarat, N. Suppakarn, and K. Jarukujorn, "Effects of compatibilizer type and fiber loading on mechanical properties and cure characteristics of sisal fiber/natural rubber composites," *Journal of Composite Materials*, vol. 48, no. 19, pp. 2401–2411, 2013.

[6] H. Ismail and F. S. Haw, "Effects of palm ash loading and maleated natural rubber as a coupling agent on the properties of palm-ash-filled natural rubber composites," *Applied Polymer Science*, vol. 110, no. 5, pp. 2867–2876, 2008.

[7] H. Ismail, M. R. Edyham, and B. Wirjosentono, "Bamboo fibre filled natural rubber composites: The effects of filler loading and bonding agent," Polymer Testing, vol. 21, no. 2, pp. 139–144, 2002.

[8] P. L. Teh, Z. A. Mohd Ishak, A. S. Hashim, J. Karger-Kocsis, and U. S. Ishiaku, "Effects of epoxidized natural rubber as a compatibilizer in melt compounded natural rubber– organoclay nanocomposites," *European Polymer Journal*, vol. 40, no. 11, pp. 2513–2521, 2004.

[9] W. Wongsarat, N. Suppakarn, and K. Jarukumjon, "Mechanical properties, morphological properties, and cure characteristics of sisal fiber/natural rubber composites: Effects of fiber and compatibilizer content," *Advanced Materials Research*, vol. 123–125, pp. 1171–1173, 2010.

[10] H. Ismail,H. D. Rozman, R. M. Jaffri, and S. A. Mohd Ishak, "Oil palm wood flour reinforced epoxidized natural rubber composites: The effect of filler content and size," *European Polymer Journal*, vol. 33, no. 10–12, pp. 1627–1632, 1997.

[11] N. Kengkhetkit and T. Amornsakchai, "Utilisation of pineapple leaf waste for plastic reinforcement: 1. A novel extraction method for short pineapple leaf fiber," *Industrial Crops and Products*, vol. 40, pp. 55-61, 2012.

[12] L. Mathew and R. Joseph, "Mechanical properties of short-isora-fiber-reinforced natural rubber composites: Effects of fiber length, orientation, and loading; alkali treatment; and bonding agent," *Applied Polymer Science*, vol. 103, no. 3, pp. 1640–1650, 2007.