

ผลของการปรับสภาพของเส้นใยจากชานอ้อยที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

ธนัชพร บัวหลวง , เอกรัตน์ เอกมงคลฤกษ์ และธัญญา เสาวภาคย์*

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
*thanunya@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำชานอ้อยที่เหลือจากการคั้นน้ำมาใช้ประโยชน์เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยนำเส้นใยจากชานอ้อยมาปรับสภาพด้วย sodium hydroxide (NaOH) และ bis[3-(triethoxysilyl)propyl]tetrasulfide (TESPT) ที่ความเข้มข้น 5 % เมื่อนำเส้นใยจากชานอ้อยมาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) พบว่าลักษณะพื้นผิวภายนอกของเส้นใยจากชานอ้อยปรับสภาพด้วย TESPT ไม่แตกต่างจากเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ในขณะที่เส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่าพื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่าและมีการแยกตัวของเส้นใยออกจากกันเป็นเส้นใยขนาดเล็ก เมื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) พบว่าเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพมีหมู่ฟังก์ชันไม่แตกต่างกับเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในขณะที่เส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย TESPT มีพีคแสดงหมู่ฟังก์ชันมีลักษณะเฉพาะของ TESPT แสดงถึงมี TESPT อยู่ที่พื้นผิวของเส้นใย เส้นใยจากชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT ถูกนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติที่ปริมาณ 5 phr โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ จากการทดลองพบว่าเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT นั้นมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนคือร้อยละ 53.6 และ 47.5 ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Swelling resistance) เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคือร้อยละ 11 ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile strength) มีค่าลดลงร้อยละ 33.6 และ 77.3 ตามลำดับ

คำสำคัญ: เส้นใยธรรมชาติ เส้นใยจากชานอ้อย ยางธรรมชาติ การปรับสภาพเส้นใย

Effect of modified bagasse fiber on mechanical properties of natural rubber

Thanatchaphorn Bualuang, Aekkarat Akemongkongruek and Thanunya Saowapark*

Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University

*thanunya@webmail.npru.ac.th

Abstract

This research purposes to increase the value of bagasse fiber (BG) that are waste from preparation of sugarcane juice by using BG as a filler in natural rubber. The surface of BG were modified with 5 % of chemical reagents ,namely, sodium hydroxide (NaOH) and bis[3-(triethoxysilyl)propyl]tetrasulfide (TESPT). As a result from scanning electron microscopy (SEM) technique, SEM images showed both surface of BG and TESPT treated BG were similar whereas the surface of NaOH treated BG was roughness and showed smaller size of fibers than that of untreated BG. Using Fourier transform Infrared spectroscopy (FTIR) technique, it was found that NaOH treated BG had no different function groups when compared with untreated BG. Obviously, FTIR peaks of TESPT treated BG illustrated TESPT characteristic functional group on those of surface. All of BG, i) untreated BG ii) NaOH and iii) TESPT treated BG, were used as filler in natural rubber with loading of 5 phr. Remarkably, tear strength of NR filled with NaOH and TESPT were evidently enhanced with 53.6 and 47.5%. Swelling resistance of NR filled with both treated BG were also improved with 11 %. Nevertheless, tensile strength was decreased with 33.6 and 77.3 % when NaOH and TESPT treated BG were incorporated into NR, respectively.

Keywords: Natural fiber, Bagasse fiber, Natural rubber, Fiber modification

1. บทนำ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติเด่นหลายประการ เช่น มีความยืดหยุ่น (elastic) สูง มีความเหนียว (toughness) มีความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูง และสามารถยึดติดกับวัสดุอื่น เช่น โลหะและสิ่งทอได้ดี อย่างไรก็ตามยางดิบยังไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานได้เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลที่ต่ำ และลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียร สมบัติต่างๆ แปรผันตามการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ดังนั้นการจะใช้ประโยชน์จากยางได้จำเป็นต้องมีการผสมสารต่างๆ เช่น สารตัวเติม สารเคมียาง เข้าไปในยางซึ่งยางที่ได้เรียกว่า ยางคอมพาวด์ (compounded rubber) จากนั้นจึงนำยางคอมพาวด์ไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า การวัลคาไนซ์ (vulcanization) ยางที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวจะเสถียรคงรูป ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น [1,2]

สารตัวเติมคือองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่างเช่นเสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือเพื่อลดต้นทุน เป็นต้น สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกตามประสิทธิภาพของการเสริมแรงได้เป็น 2 กลุ่มคือ สารตัวเติมเสริมแรง เช่น เขม่าดำและซิลิกา และสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง เช่น ดินขาว แคลเซียมคาร์บอเนต อย่างไรก็ตามพบว่าเส้นใยธรรมชาติหลายชนิดถูกนำมาใช้ในการเสริมแรงในยางธรรมชาติ เช่น เส้นใยป่านศรนารายณ์ เส้นใยใบสับปะรด และเส้นใยมะพร้าว ปัจจุบันชานอ้อยถูกนำมาใช้เป็นสารตัวเติมทั้งในซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ซึ่งมีศักยภาพในการทดแทนซีเมนต์ มีเสถียรภาพทางความร้อน และพบว่าเส้นใยจากชานอ้อยสามารถปรับปรุงคุณสมบัติการดัดของซีเมนต์ได้ ในขณะที่การใช้งานในพอลิเมอร์ มีการใช้เส้นใยจากชานอ้อยเป็นตัวเสริมแรงเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล ลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์และเพิ่มความแข็งแรงต่อสิ่งแวดลอมของพอลิเมอร์ เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอสเตอร์ พอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิเอทิลีน [3-7]

การนำเส้นใยจากชานอ้อยมาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติจะสามารถช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติได้ แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเส้นใยจากชานอ้อยเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลล์โลสซึ่งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่มีความชอบน้ำ (hydrophilic) มีอยู่ในโครงสร้างจำนวนมากแตกต่างจากยางธรรมชาติที่มีความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ด้วยสมบัติที่แตกต่างกันจึงอาจส่งผลต่อสมบัติเชิงกลได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะปรับปรุงเส้นใยจากชานอ้อยเพื่อเพิ่มสมบัติทางเชิงกลของยางธรรมชาติให้ดียิ่งขึ้น การปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีการทางเคมีโดยสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน ในงานวิจัยนี้ ใช้ 1) วิธีการปรับปรุงสภาพสภาพผิวเส้นใยด้วยอัลคาไลน์ (Alkaline treatment) โดยอัลคาไลน์จะเข้าไปทำลายพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างโครงข่ายในเส้นใยทำให้ความหนาของพื้นผิวเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อการยึดเกาะของเส้นใยกับเมทริกซ์ (ยางธรรมชาติ) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อัลคาไลน์ คือ sodium hydroxide (NaOH) และ 2) วิธีการปรับปรุงสภาพสภาพผิวเส้นใยด้วยสารคู่ควบไซเลน (silane coupling agent) โดยไซเลนจะเข้าไปปรับสภาพความชอบน้ำ ณ บริเวณรอยต่อระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไซเลน คือ bis[3-(triethoxysilyl)propyl]tetrasulfide (TESPT) [8-12]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมและศึกษาสมบัติเส้นใยจากชานอ้อย

นำเส้นใยจากชานอ้อยมาตัดให้ได้ขนาดประมาณ 0.5-1.0 เซนติเมตร นำไปล้างและอบให้แห้ง จากนั้นนำเส้นใยมาจำนวน 20 กรัม มาปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT ความเข้มข้น 5 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง นำไปล้างและอบให้แห้งอีกครั้งนำเส้นใยจากชานอ้อยที่ได้มาศึกษาสัณฐานวิทยาโดย Scanning electron microscope (SEM) และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วย Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

2.2 การผสมยางธรรมชาติ สารเคมี และเส้นใยจากชานอ้อย

ผสมยางและสารเคมีโดยมีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 1 โดย phr หมายถึง ส่วนในร้อยส่วนของยางธรรมชาติ Zinc oxide, Stearic acid ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (activator), Filler เป็นสารตัวเติม ซึ่งในงานวิจัยนี้ คือ เส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT ความเข้มข้น 5 %, N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulfenamide (TBBS) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator), TBBS และ Sulphur ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) โดยใช้เครื่อง Two roll-mill ในการผสมเป็นเวลา 9 นาที

ตารางที่ 1 สูตรการผสมยางคอมพาวด์

| องค์ประกอบ | part per hundred rubber (phr) | | | |
|----------------|-------------------------------|-----------------------|---|---|
| | control | เส้นใยจากชานอ้อย (BG) | เส้นใยจากชานอ้อยปรับสภาพด้วย NaOH (NaOH BG) | เส้นใยจากชานอ้อยปรับสภาพด้วย TESPT (TESPT BG) |
| Natural Rubber | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Zinc Oxide | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Stearic acid | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Filler | 0 | 5 | 5 | 5 |
| TBBS | 2.25 | 2.25 | 2.25 | 2.25 |
| Sulphur | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |

2.3 การทดสอบเวลาการคงรูปและขึ้นรูป

ทดสอบเวลาการคงรูป (cure time : t_{90}) ของยางคอมพาวด์ด้วยเครื่อง moving die rheometer (MDR) นำยางคอมพาวด์ไปขึ้นรูปขึ้นทดสอบด้วยแม่พิมพ์ (compression moulding machine) ที่อุณหภูมิ 150 °C ด้วยเวลา t_{90} ที่ได้จากการทดสอบหาเวลาการคงรูปเพื่อทำการทดสอบต่อไป

2.4 การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางคงรูป (tensile property and tear strength)

สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง ได้แก่ ความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) และความต้านทานต่อแรงฉีกขาด ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die B) ด้วยเครื่อง universal testing machine

2.5 ทดสอบความต้านทานต่อการบวมในตัวทำละลายตัวของยางคงรูป (swelling resistance)

ทดสอบโดยการตัดและชั่งน้ำหนักของชิ้นงานยางคงรูป นำไปแช่ในตัวทำละลายคือโทลูอีนเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำไปคำนวณหาอัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (swelling ratio) ตามสมการที่ (1) ซึ่งบ่งบอกถึงการบวมตัวที่เกิดขึ้นของยางคงรูป

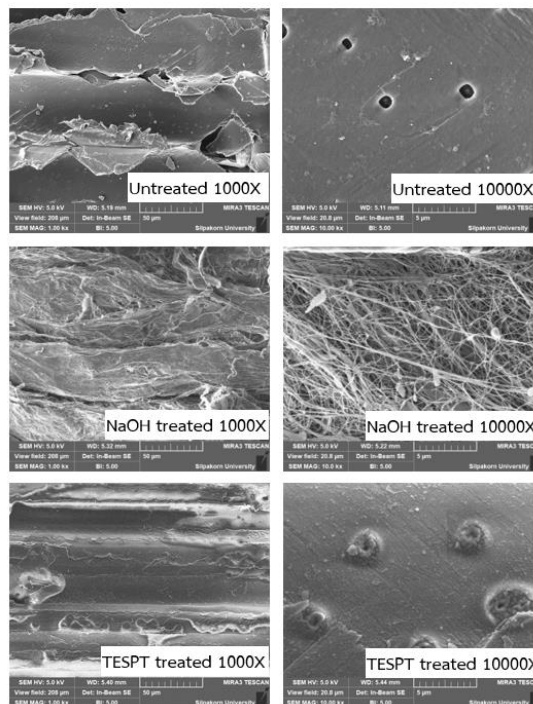
$$Q = (W_s - W_0) / W_0 \quad (1)$$

เมื่อ Q หมายถึง อัตราส่วนการบวมตัวของชิ้นงานในตัวทำละลาย (swelling ratio)
 W_0, W_s หมายถึง น้ำหนักก่อนแช่และหลังแช่ในโทลูอีน (g)

3. ผลการวิจัย

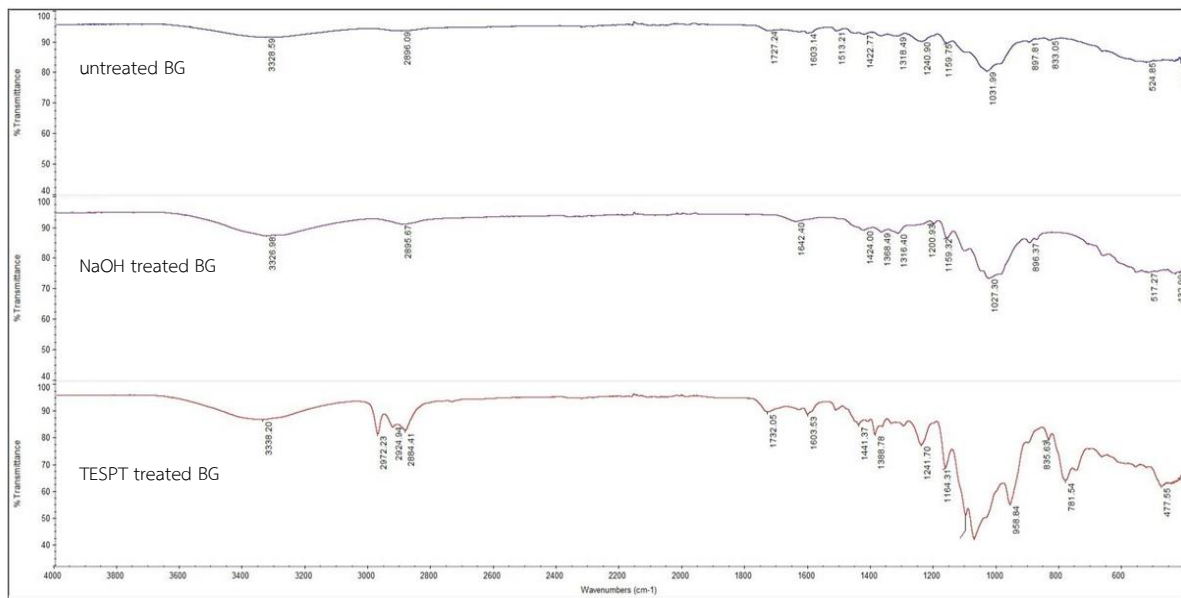
3.1 ผลการวิเคราะห์เส้นใยจากขานอ้อยที่ไม่ปรับและปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SEM ของเส้นใยจากขานอ้อยที่ปรับและไม่ปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT กำลังขยาย 1,000 และ 10,000 เท่าแสดงดังภาพที่ 1 จากภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยจากขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (untreated) ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นผิวเรียบ จะเห็นได้ว่าลักษณะพื้นที่ผิวของเส้นใยจากขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย TESPT (TESPT treated) มีความมันวาวมากกว่าเล็กน้อยเนื่องจากที่พื้นผิวของเส้นใยจากขานอ้อยมี TESPT อยู่ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะของเส้นใยไม่แตกต่างจากเส้นใยที่ไม่ได้ปรับสภาพ ในขณะที่เส้นใยจากขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH นั้น พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ปรับสภาพและกระจายตัวแยกออกจากกันได้ชัดเจน



ภาพที่ 1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเส้นใยจากขานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (untreated) และปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT (NaOH treated และ TESPT treated) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 10,000 เท่า

ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ภายในเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพและเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT โดยเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) แสดงดังภาพที่ 2 จากภาพจะเห็นได้ว่า เส้นใยจากชานอ้อยปรากฏพีกที่ $3,300-3,350\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณจากการสั่นของหมู่ $-OH$ ภายในโครงสร้างพีกที่ $2,800-2,900\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณจากการสั่นของพันธะ $C-H$ ในหมู่ CH และ CH_2 พีกที่ประมาณ $1,500-1,700\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณจากการสั่นของหมู่ $C=O$ ของหมู่คาร์บอนิล อะลิฟาติกไคโตนและอัลดีไฮด์ พีกที่ $1,300-1,400\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงการสั่นของหมู่ $C-H$ และพีกที่ $1,000-1,100\text{ cm}^{-1}$ เป็นสัญญาณจากการสั่นของพันธะ $C-O$ ซึ่งแสดงถึงการมีลิกนินและอยู่ในโครงสร้างของเส้นใย เมื่อทำการปรับสภาพด้วย NaOH พบว่าพีกที่ตำแหน่งประมาณ $1,500-1,700\text{ cm}^{-1}$ และ $1,000-1,100\text{ cm}^{-1}$ นั้นลดลง ซึ่งพีกของหมู่ฟังก์ชันที่หายไปเป็นสัญญาณการสั่นของหมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในโครงสร้างของลิกนินเนื่องจาก NaOH ไปกำจัดลิกนิน ที่อยู่ในเส้นใยจากชานอ้อย [7,8] ในขณะที่เมื่อทำการปรับสภาพด้วย TESPT พบการเพิ่มของพีกที่ $2,800-2,900\text{ cm}^{-1}$ และ $1,000-1,100\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งคาดว่าเป็นตำแหน่งเฉพาะของสารคู่ควบไซเลนนั้นคือการสั่นของพันธะ $-Si-O-Si-$ แสดงให้เห็นว่าเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพมีหมู่ฟังก์ชันของไซเลน TESPT เข้าไปเกาะที่เส้นใยจากชานอ้อย [7,12]



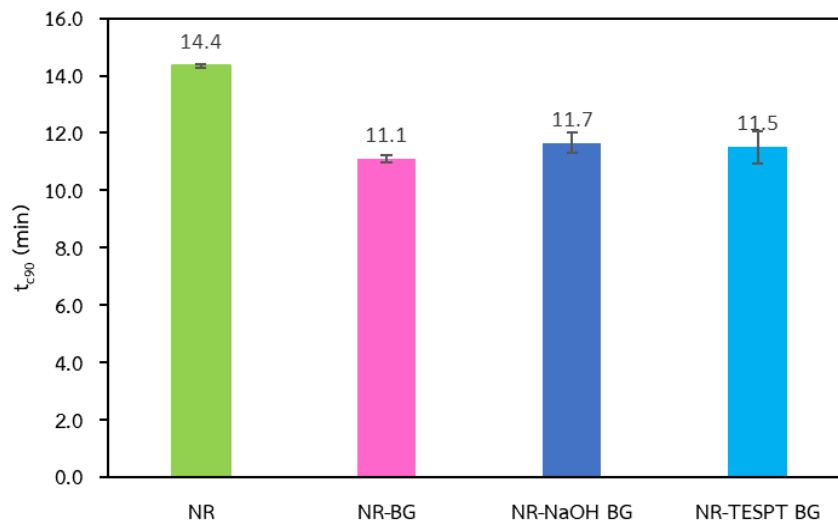
ภาพที่ 2 FTIR spectrum เส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (untreated BG) และปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT (NaOH treated BG และ TESPT treated BG)

3.2 ผลการใช้เส้นใยจากชานอ้อยที่ผ่านการปรับและไม่ปรับสภาพ เป็นสารตัวเติมของยางธรรมชาติ

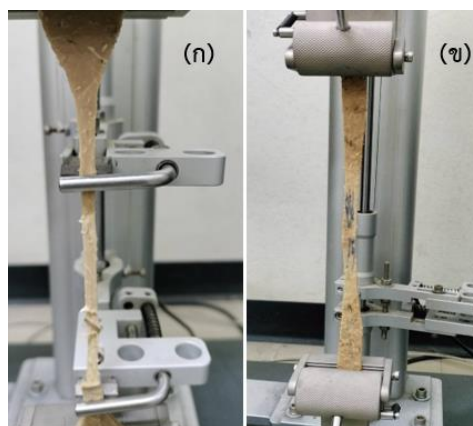
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการคงรูปของยางธรรมชาติ ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการคงรูป (cure time, tc_{90}) ซึ่งหมายถึงเวลาที่ยางได้เกิดการคงรูปไปแล้วร้อยละ 90 ภาพที่ 3 แสดงเวลาที่ใช้ในการคงรูป จะเห็นว่าเวลาการคงรูปของยางธรรมชาติ (NR) มีค่าลดลงเมื่อมีการเติมเส้นใยลงไปและยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) มีค่าใกล้เคียงกัน

การทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางคงรูปแสดงดังภาพที่ 4 โดยผลของการใช้เส้นใยจากชานอ้อยที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับสภาพ ที่มีต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ระยะยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation At Break) โมดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% (Tensile Modulus At 300% Elongation) แสดงดังภาพที่ 5-7 ตามลำดับ เห็นได้ว่าความต้านทานต่อแรงดึงแสดงดังภาพที่ 5 ของยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมเส้นใยจากชานอ้อยมีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติที่เติมมีเส้นใยจากชานอ้อยทั้งที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพ นั่นอาจเป็นเพราะการให้แรงดึงแก่ยางสามารถเหนี่ยวนำให้ยางเกิดผลึก ซึ่งส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงสูง แต่เมื่อเติมเส้นใยลงไป การเกิดผลึกขณะยืดตัวของยางได้อาจถูกรบกวนโดยเส้นใย ดังนั้นจึงลดโอกาสในการการเกิดผลึกส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติที่มีเส้นใย

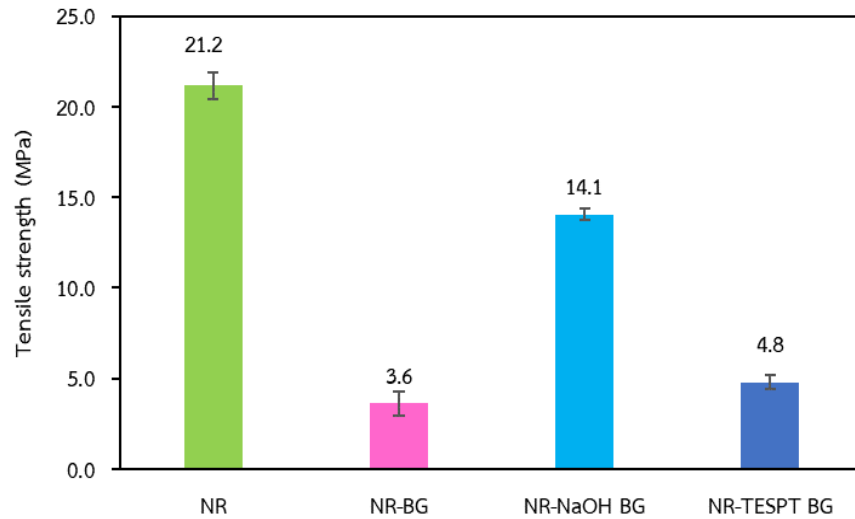
ทั้งที่ปรับสภาพและไม่ปรับสภาพเป็นสารตัวเติมมีค่าต่ำกว่าของยางธรรมชาติ และนอกจากนี้เส้นใยอาจกระจายตัวในเนื้อยางธรรมชาติไม่มากนักทำให้เกิดการถ่ายเทความเค้นเกิดได้ยากขึ้นอีกด้วย ส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงด้วยเช่นกัน เมื่อพิจารณายางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าที่ปรับสภาพด้วย TESPT (NR-TESPT BG) และไม่ผ่านการปรับสภาพ (NR-BG) ตามลำดับ จากผลการทดลองเส้นใยจากชานอ้อยพบว่าการใช้ NaOH ในการปรับสภาพส่งผลต่อความขรุขระหรือความหยาบที่พื้นผิวของเส้นใยที่เห็นได้จากภาพถ่าย SEM ส่งผลให้ลักษณะการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยจากชานอ้อยมีมากขึ้น เมื่อพิจารณามอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% ของยางธรรมชาติแสดงดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่า ยางธรรมชาติที่เติมเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT มีค่ามอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300% สูงกว่ายางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมเนื่องจากการเติมเส้นใยส่งผลให้ยางมีความแข็งที่เพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสจึงเพิ่มขึ้นในขณะที่ระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) แสดงดังภาพที่ 7 มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก



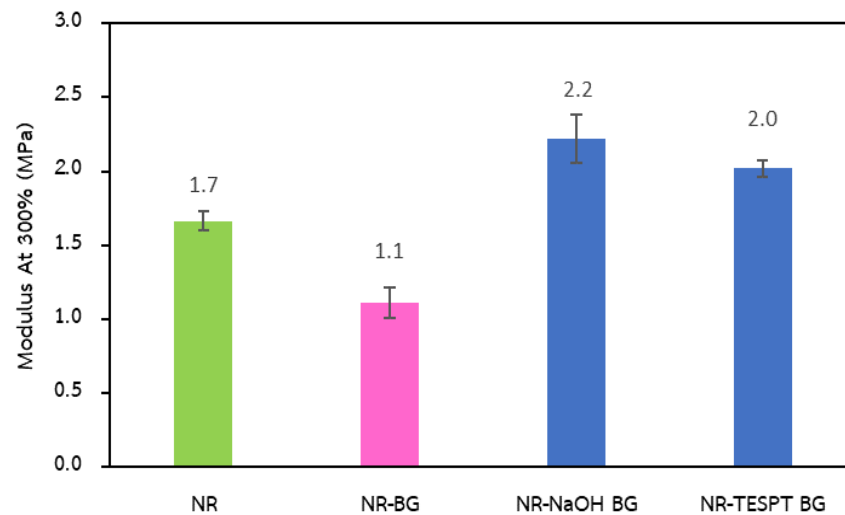
ภาพที่ 3 เวลาการคงรูป cure time (t_{c90}) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม



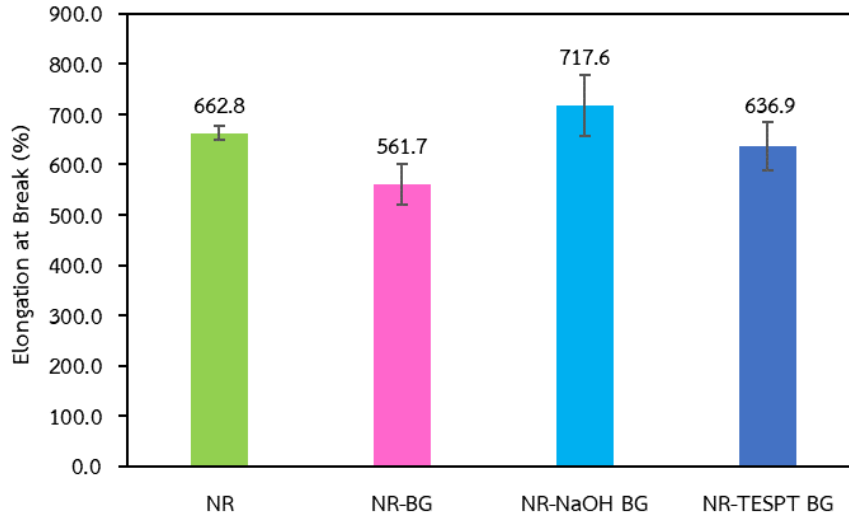
ภาพที่ 4 การทดสอบ (ก) สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงและ (ข) ความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติคงรูป



ภาพที่ 5 ความต้านทานต่อแรงดึง (tensile strength) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม

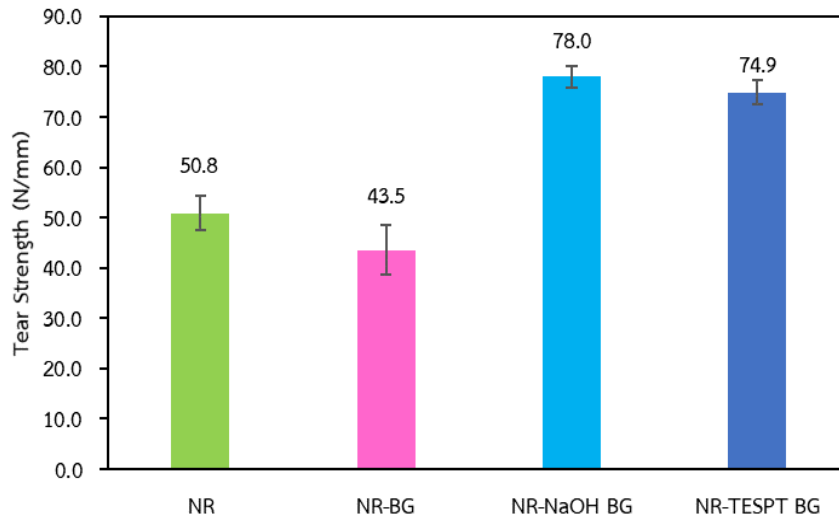


ภาพที่ 6 มอดูลัส ณ ระยะยืดตัว 300 % (Tensile Modulus at 300%) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม

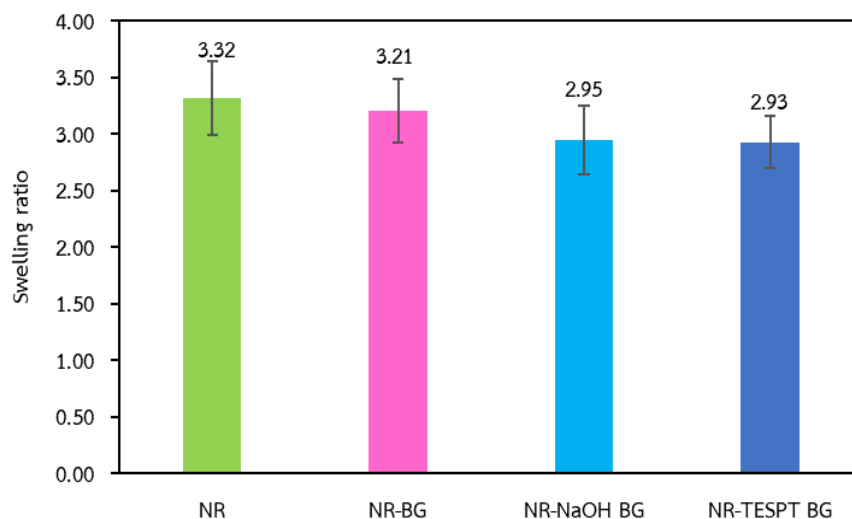


ภาพที่ 7 ระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับปรุงสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม

ภาพที่ 8 แสดงความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติ (NR) ที่ไม่มีสารตัวเติม ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อย (NR filled BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วย TESPT (NR filled TESPT BG) และ NaOH (NR filled NaOH BG) เป็นสารตัวเติมจะเห็นได้ว่า เมื่อใช้เส้นใยจากชานอ้อยทั้งที่ปรับและไม่ปรับสภาพเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติจะเห็นได้ว่ามีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยช่วยขวางการฉีกขาดของยางธรรมชาติ ส่งผลทำให้ยางมีความต้านทานต่อการฉีกขาดมากขึ้นและมีค่าความต้านทานฉีกขาดเพิ่มขึ้นเมื่อเส้นใยได้ทำการปรับปรุงสภาพ โดย TESPT และ NaOH สามารถเพิ่มความเข้ากันได้และการยึดเกาะของยางธรรมชาติและเส้นใยจากชานอ้อยได้ดีขึ้นก็ส่งผลให้ความต้านทานต่อการฉีกขาดก็เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการใช้เส้นใยที่ปรับปรุงสภาพด้วย NaOH นั้นมีความต้านทานต่อการฉีกขาดที่สูงกว่าการใช้ TESPT เนื่องจาก NaOH ที่ใช้ในการปรับปรุงสภาพส่งผลต่อความขรุขระหรือความหยาบที่พื้นผิวของเส้นใยและยังสามารถช่วยกระจายตัวเส้นใยที่ดังแสดงจากภาพถ่าย SEM ส่งผลให้ลักษณะการยึดเกาะระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยจากชานอ้อยมีมากขึ้นกว่าการใช้ TESPT ที่สามารถช่วยเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยจากชานอ้อยได้โดยอาศัยการเกิดพันธะเคมีระหว่าง TESPT และเส้นใยชานอ้อยที่เกิดขึ้นดังแสดงได้จาก FTIR spectrum (ภาพที่ 2) [9,10] เช่นเดียวกับกับผลของการเติมเส้นใยจากชานอ้อยที่มีต่อความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายแสดงดังภาพที่ 9 เมื่ออัตราส่วนการบวมตัวในตัวทำละลาย มีค่าสูงแสดงถึงความต้านทานต่อการบวมตัวในตัวทำละลายของยางธรรมชาติต่ำ จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนการบวมในตัวทำละลาย เมื่อไม่มีสารตัวเติมและมีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ปรับปรุงสภาพเป็นสารตัวเติมมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความต้านทานต่อการบวมที่ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เส้นใยชานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพเป็นสารตัวเติมทั้งสองกรณี เนื่องจากเส้นใยจากชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงสภาพทั้งกรณีนี้ช่วยขัดขวางการแทรกตัวของตัวทำละลายในสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ



ภาพที่ 8 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม



ภาพที่ 9 ความต้านทานต่อตัวทำละลาย (Swelling resistance) ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพ (NR-BG) และยางธรรมชาติที่มีเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH (NR-NaOH BG) และ TESPT (NR-TESPT BG) เป็นสารตัวเติม

4. สรุปผลการทดลอง

การนำเส้นใยจากชานอ้อยมาเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ใช้ NaOH และ สารคู่ควบไซเลน TESPT ในการปรับสภาพ พบว่าสามารถเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างยางธรรมชาติและเส้นใยจากชานอ้อยได้ โดยการปรับสภาพเส้นใยด้วย NaOH เกิดผ่านกลไกทางกายภาพเนื่องจากพื้นผิวที่หยาบและขรุขระของเส้นใยในการช่วยเสริมแรงให้แก่ยางธรรมชาติ ในขณะที่การปรับสภาพเส้นใยด้วย TESPT เกิดผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อช่วยให้เส้นใยจากชานอ้อยสามารถเสริมแรงกับยางธรรมชาติได้ดีขึ้น โดยพบว่าเส้นใยจากชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT เมื่อนำไปใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติที่ปริมาณ 5 phr โดยเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ พบว่าเส้นใยจากชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ TESPT นั้นมีความต้านทานต่อแรงฉีกขาดเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน คือร้อยละ 53.6 และ 47.5

ความต้านทานต่อตัวทำลาย เพิ่มขึ้นใกล้เคียงกันคือร้อยละ 11 ในขณะที่ความต้านทานต่อแรงดึงมีค่าลดลงร้อยละ 33.6 และ 77.3 ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมที่ได้สนับสนุนทุนวิจัย (ทุนอุดหนุนวิจัย โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์ฯ) ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Abd El-Aziz, M.E., Shafik, E.S, Tawfic. M.L.& Morsi, S.M. (2022). Biochar from waste agriculture as reinforcement filler for styrene/butadiene rubber. *Polymer Composites*, 43 (3), 1295–1304.
- [2] Intharapat, P. (2012). Filler in Natural Rubber from Waste Biomass. *Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University*, 14 (1), 32-43. (In Thai)
- [3] Sirichai, K., Piyaporn, N., Ekachai, W., & Narongrit, S. (2012). Use of bagasse fiber ash as secondary filler in silica or carbon black filled natural rubber compound. *Materials and Design*, 41, 74-82.
- [4] Paiva, F. G., Maria, v. P. K., Torres, G. B., Dognani, G., Santos, R. J., Cabrera, F. C., & Job, A. E. (2018). Sugarcane bagasse fiber as semi-reinforcement filler in natural rubber composite sandals. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21, 326–335.
- [5] Pujari, S., Ramakrishna, A. & Kumar, M. (2014). Comparison of jute and banana fiber composites: A review. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 121-126.
- [6] Kantinonkul, W. & Onjun, O. (2020). Development of oil sorbent from pineapple leaf fibers using succinic anhydride modification in ionic liquid. *Bulletin of Applied Sciences*, 9 (9), 11-20.
- [7] Yeng, F.S. (2007). Mechanical and thermal properties of waste water bamboo husk fiber reinforced epoxy composite. *Materials Science and Engineering: A*, 445, 289-295.
- [8] Surintanasarn, A., Choengbunluesak, J. & Thamrongananskul, N. (2019). Effect of silane-coated mesoporous silica filler on the fluoride recharge and lactic acid neutralizing ability of resin-based materials. *Songklanakarin Dental Journal*, 7 (2), 26-39.
- [9] Weiwei, L., Li, M. and Renliang, M. (2016). Effect of surface treatment with potassium permanganate on ultrahigh molecular weight polyethylene fiber reinforced natural rubber composites. *Polymer Testing*, 55, 10-16.
- [10] Yoshihara, K., Nagaoka, N., Sonodac, A., Maruo, Y., Makita, Y., Okihara, T., Irie, M., Yoshida, Y., & Meerbeek, V. B. (2016). Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in universal adhesives. *Dental Materials*, 32 (10), 1218-1225.
- [11] Hassanabadi, M., Najafi, M., Nikazar, S., Garakani, S. S., & Motlagh, G. H. (2022). Impact of placement of aminopropyl triethoxy silane and tetraethoxy silicate on SSBR chains: analysis of rolling resistance, wet grip, and abrasion resistance. *Advances in Polymer Technology*, 1566042, 1-16.
- [12] Maduang, T., Chunchart, O. & Pawongrat, R. (2018). The effect on morphological change of cellulose fibers by sonochemical-assisted pretreatment of lignocellulosic biomass. *RMUTSB Academic Journal*, 6 (1), 26-36.