

Preparation of Rubber Composite for Fatigue Reduction from Natural Rubber and Coir Fiber

Khwankamol Suksom¹, Warunee Ariyawiriyanan^{2,*}

^{1,2} Department of Materials and Metallurgical Engineering

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Received: 1 August 2018

Revised: 9 October 2018

Accepted: 7 November 2018

ABSTRACT

The purpose of this research was to study the preparation of rubber composite for fatigue reduction from natural rubber and coir fiber to be used as the raw material for production of low cost composite material for application in various works. In this research, coir fiber was immersed in 8% w/w of NaOH solution and then the coir fiber was prepared by mixing with natural rubber in the two roll mill mixing machine. The rubber composites were fabricated by compression molding at 160°C. Methods of this study were divided into 3 parts: Part I was the investigation of the amount of coir fiber affecting the mechanical properties of the composite rubber by using various amounts of coir fiber of 40, 60, 80 and 100 phr; Part II was the study of the amount of magnesium hydroxide flame retardants by varying the amounts of retardants of 30, 60, 90 and 120 phr; and Part III was the study of the thermal property of composite rubber via the use of thermal infrared camera. The results revealed that on the optimum condition for improving the surface of coconut fiber, it was found that the maximum surface improvement of coconut fiber with sodium hydroxide was 8% w/w. FT-IR showed that Lignin, Hemicellulose and other impurities were removed by sodium hydroxide solution. As for the effect of coconut fiber on mechanical properties, it was found that the Modulus at 100% strain and hardness of composite rubber increased with increasing of fiber loading whereas the tensile strength and elongation at break decreased because coir fiber acted as a filler in a composite system. The study of the influence and amount of magnesium hydroxide showed that the addition of magnesium hydroxide could reduce flammability of composite rubber. However, the addition of magnesium hydroxide resulted in decreasing of mechanical properties. Testing of the rubber sheet fatigue with the thermal infrared camera revealed that the standing on the composite rubber could cause better blood circulation.

Keywords: composite rubber, natural rubber, coir fiber, flame retardant, blood circulation

* Corresponding Author; Email: warunee.a@en.rmutt.ac.th

การเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

ขวัญกมล สุขสม¹, วารุณี อริยวิริยะนันท์^{2,*}

^{1,2} สาขาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆเป็นการลดต้นทุนของเส้นใย โดยนำเส้นใยไปแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 8% w/w จากนั้นทำการเตรียมเส้นใยมะพร้าวบดผสมลงในยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเข้าไฮโดรลิกที่อุณหภูมิ 160 °C โดยมีวิธีการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ศึกษาผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลโดยแปรปริมาณเส้นใยมะพร้าว 40, 60, 80 และ 100 phr ส่วนที่ 2 ศึกษาปริมาณและสมบัติการลามไฟของสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์โดยแปรปริมาณ 30, 60, 90 และ 120 phr และส่วนที่ 3 ศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมโพสิตด้วยเครื่องจับความร้อน ผลการศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว พบว่า การปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 8% w/w สามารถกำจัดลิกนิน เฮมิเซลลูโลสและสิ่งสกปรกได้โดยยืนยันจาก FT-IR ส่วนการศึกษาผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติเชิงกลค่าโมดูลัส 100% และความแข็งแรงของยางคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น เนื่องจากเส้นใยเข้าไปเสริมแรงให้กับเมทริกซ์ ส่วนสมบัติด้านความทนทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดมีแนวโน้มลดลง ทำการศึกษาปริมาณและสมบัติการทนไฟของสารแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ พบว่า การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ สามารถลดอัตราการลามไฟได้ แต่การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปปริมาณมากส่งผลให้สมบัติเชิงกลลดลง และการทดสอบแผ่นยางคอมโพสิตด้วยกล้องจับความร้อน พบว่า การยึบบนแผ่นยางสามารถทำให้เกิดการไหลเวียนเลือดดีขึ้น

คำสำคัญ : ยางคอมโพสิต ยางธรรมชาติ เส้นใยมะพร้าว การลามไฟ การไหลเวียนของเลือด

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: warunee.a@en.rmutt.ac.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยได้กลายเป็น “สังคมผู้สูงอายุ” เห็นได้ว่า ในระหว่างปี พ.ศ. 2553-พ.ศ. 2583 สัดส่วนของประชากรสูงอายุ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากร้อยละ 13.2 ใน พ.ศ. 2553 เป็นร้อยละ 32.1 ใน พ.ศ. 2583 (Foundation for Older Persons' Development, 2015) เนื่องจากสภาพเศรษฐกิจและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ผู้สูงอายุมีบทบาทต่อสังคมมากขึ้นโดยเฉพาะด้านการงาน ซึ่งพบว่า ผู้สูงอายุมีความเสื่อมของกระดูกและกล้ามเนื้อ จากการเปลี่ยนแปลงตามวัยที่เป็นปัจจัยภายในทำให้ผู้สูงอายุเกือบครึ่งหนึ่งทุกข์ทรมานจากโรคข้อ และกระดูก ซึ่งจะดูแลรักษาโดยใช้ยาแก้ปวดและการนวดไทยเพื่อบรรเทาอาการปวดเมื่อย

จากการศึกษางานวิจัยการเสริมแรงด้วยเส้นใยธรรมชาติจากยางธรรมชาติ ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากการรวมเอาสมบัติเด่นทั้งสองรวมกัน ทั้งในด้านความยืดหยุ่นและความนุ่มของยางธรรมชาติและความแข็งแรงของเส้นใยธรรมชาติ การนำเส้นใยธรรมชาติมาใช้ในยางธรรมชาติถือเป็นการปรับปรุงสมบัติทางกลของยางธรรมชาติและยังมีผลต่อการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุจากธรรมชาติ ในการผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีการประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ เป็นการลดต้นทุนของเส้นใยธรรมชาติเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีต้นทุนต่ำ ความหนาแน่นต่ำและยังสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ การใช้เส้นใยจากธรรมชาตินั้นมีราคาถูกกว่ากระบวนการผลิตไม่ยุ่งยากซับซ้อนและปลอดภัยต่อสุขภาพ

ดังนั้นในงานวิจัยได้ศึกษาโดยนำเอาเส้นใยมะพร้าวซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติมาใช้เป็นสารตัวเติมที่เพิ่มประสิทธิภาพให้กับยางธรรมชาติเนื่องจากเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเด่นในเรื่องทนต่อความเปียกชื้น การทำลายของจุลินทรีย์ มีความหยุ่นเหนียว แข็งแรง ทนทานมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน แต่อย่างไรก็ตาม ยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวยังมีข้อด้อย กล่าวคือยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงสำหรับการจุดติดไฟ หากอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนและความร้อนแล้วพอลิเมอร์จะเกิดการจุดติดไฟและเผาไหม้ได้ ดังนั้นจึงมีการศึกษาถึงสมบัติการทนไฟควบคู่กับสมบัติการคงรูป สมบัติเชิงกล และสมบัติการทนไฟของยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการใช้งานได้มากขึ้น โดยใช้ สารตัวเติมทนไฟปราศจากฮาโลเจน

ผลจากการศึกษาผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาสมบัติการใช้งานของวัสดุคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยนำคุณสมบัติเด่นของวัสดุทั้งสองชนิดมาจัดเตรียมให้คุณสมบัติต่อการใช้งานที่สามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นงานได้เหมาะสมและมีคุณภาพ

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นยางคอมโพสิตเพื่อลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาขั้นตอนการเตรียมเส้นใยมะพร้าว

ในขั้นตอนแรกล้างเส้นใยมะพร้าวให้สะอาดแช่น้ำ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องจากนั้นทำความสะอาดโดยการแช่สารละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0 4 8 10 และ 12% W/W ที่เวลา 5 ชั่วโมง Gu (2009) จากนั้นทำการล้างเส้นใยจนมีค่า pH เป็น 7 แล้วนำเข้าตู้อบเพื่อทำการไล่ความชื้นออกจากเส้นใยที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตัดให้มีขนาด 10 mm. Raghavendra et al. (2013) จากนั้นทำการเลือกความเข้มข้นในการปรับปรุงผิวเส้นใยที่ดีที่สุด

2. ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปของปริมาณเส้นใยมะพร้าว

นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับสารเคมีและเส้นใยมะพร้าวตามปริมาณดังนี้ คือ 40, 60, 80 และ 100 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ได้ผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ที่ 160 °C ตามระยะเวลาของ Optimum Cure (T_{c90}) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมงก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ แล้วเลือกปริมาณ ดังแสดงสูตรในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรยางที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของยางคอมโพสิต

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS#3	100
Stearic acid	5
ZnO	1
MBT	1
BHT	1
Paraffin oil	5
Sulphur	3
Coir fiber	0, 40, 60, 80, 100

3. ขั้นตอนการผสมและขึ้นรูปของปริมาณสารทนไฟ

นำยางธรรมชาติ RSS#3 ผสมกับเส้นใยมะพร้าวและสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณดังนี้ คือ 30, 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ ทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two roll mill) หลังจากที่ได้ผสมจนเข้ากันแล้ว นำไปขึ้นเป็นแผ่นโดยเครื่องอัดแบบไฮดรอลิก (Compression molding) ตามระยะเวลาของ Optimum Cure (T_{c90}) ที่ได้จากการทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR 2000 ความดันของกระบอกไฮดรอลิกเท่ากับ 1500 psi จากนั้นตั้งยางทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 16 ชั่วโมง ก่อนนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

ตารางที่ 2 สูตรยางที่แปรปริมาณแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติของยางคอมโพสิต

สารเคมี	ปริมาณ (phr)
RSS#3	100
Stearic acid	5
ZnO	1
MBT	1
BHT	1
Paraffin oil	5
Sulphur	3
Coir fiber	0, 40, 60, 80, 100

4. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวน้อง

กำหนดกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาเป็นผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป โดยการทดสอบด้วยเครื่องจับความร้อนยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM และแบบสอบถามความพึงพอใจ

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) ยี่ห้อ Honsfield รุ่น H10KS ตามมาตรฐาน ASTM D412

2. ความแข็ง (Hardness) ตามมาตรฐาน ASTM D2240

3. การทนไฟด้วยเทคนิค UL94 HB

4. ทดสอบลักษณะสัณฐานวิทยา (Scanning Eletron Microscopy, SEM)

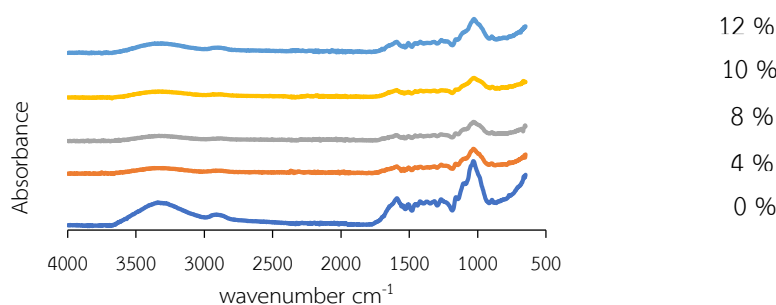
5. ทดสอบตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันเคมีด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy

หมายเหตุ ในการทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile properties) ความแข็ง (Hardness) และการทนไฟด้วยเทคนิค UL94 HB ใช้ชิ้นทดสอบจำนวนอย่างละ 5 ชิ้น แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัย

1. ศึกษาสมบัติทางกลต่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวในยางคอมพอสิต

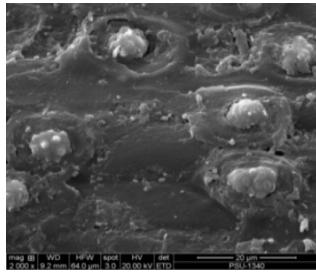
1.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมี



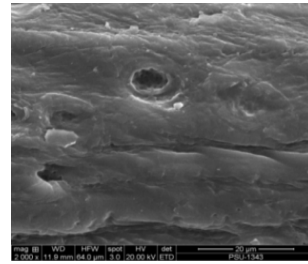
ภาพที่ 1 สเปกตรัมของเส้นใยมะพร้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงผิวที่ 0, 4, 8, 10 และ 12% W/W

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับปรุงผิวและผ่านการปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แสดงดังภาพที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่น $3600 - 3200 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของหมู่ไฮดรอกซิล ของเส้นใย (O-H stretch) และปรากฏที่ 2893 cm^{-1} เป็นหมู่ C-H stretch และที่ตำแหน่งคลื่น $1650 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ เป็นหมู่ C=O ของหมู่ เฮมิเซลลูโลส (hemicelluloses) เลขคลื่นที่ 1515 cm^{-1} แสดงลักษณะเฉพาะของวงแหวนเบนซีนของลิกนิน และเมื่อทำการปรับปรุงผิวของเส้นใยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้น 0, 4, 8, 10 และ 12% W/W ที่เวลา 5 ชั่วโมง ปรากฏว่าพีค บริเวณ 2893 cm^{-1} เป็นหมู่ C-H และ $1650 - 1700 \text{ cm}^{-1}$ เป็นหมู่ C=O ของหมู่ เฮมิเซลลูโลสได้หายไป แสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ 8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดังนั้นการปรับสภาพผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำลายลิกนินลงไปได้ส่งผลให้เฮมิเซลลูโลสและลิกนินซึ่งเคลือบอยู่บนเส้นใยอยู่ได้ถูกกำจัดออกไป ดังแสดงในภาพที่ 2

1.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวโดยใช้วิธีการปรับปรุงทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ดังแสดงในภาพที่ 2



(ก) ปรับปรุงพื้นผิว

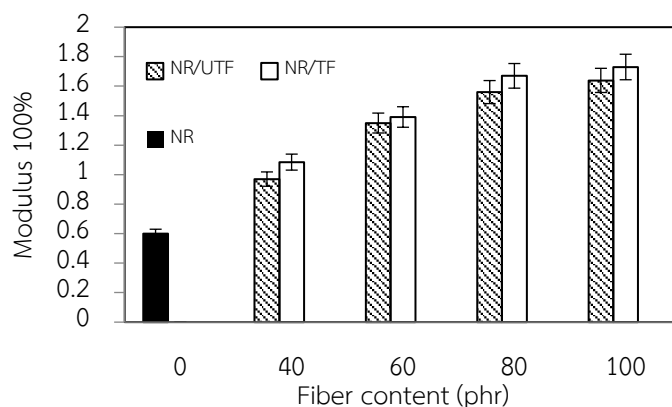


(ข) หลังปรับปรุงพื้นผิว

ภาพที่ 2 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าวที่กำลังขยาย 2000 เท่า ก่อนและหลังการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

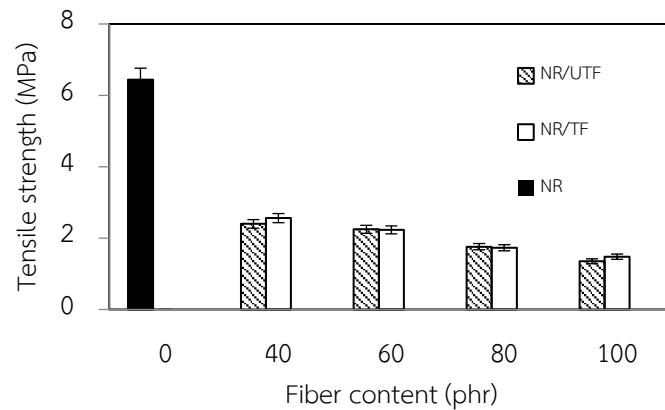
เมื่อพิจารณาจากภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า ดังแสดงในภาพที่ 2 พบว่าเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีสิ่งสกปรกเจือปนอย่างชัดเจน และหลังจากผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความสะอาดขึ้น เกิดจากการกำจัดพวกกรดไขมัน ลิกนินและพวกเฮมิเซลลูโลสออกจากพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว

1.3 ผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวก่อนและหลังปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิต ดังแสดงในภาพที่ 3-5

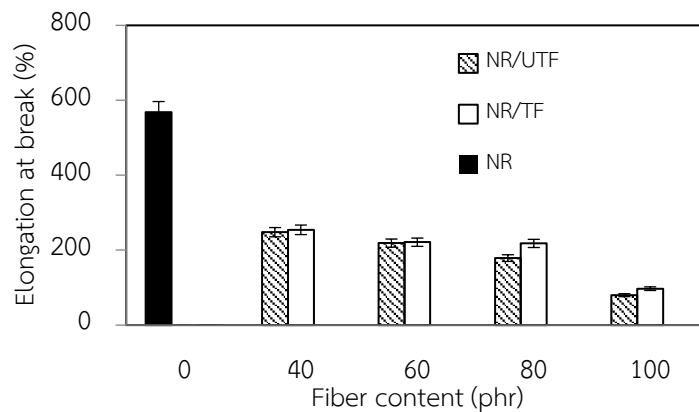


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสที่ 100 % ต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นหมายถึงความแข็งแรงของพันธะ ในชิ้นงานที่จะรับและกระจายแรงเมื่อมีแรงมาตกกระทบในการทดลองได้ทำการเติมเส้นใยมะพร้าว คือ 40, 60, 80 และ 100 phr พบว่า การใส่เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปในยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติ/เส้นใยมะพร้าวทำให้ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์ของยางคอมโพสิตมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกอัตราส่วน

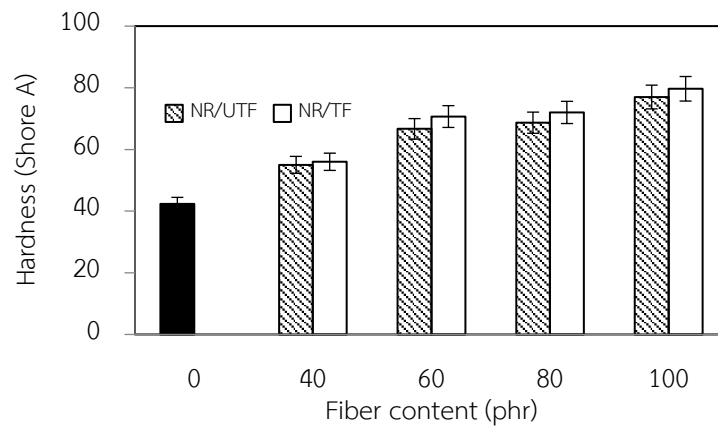


ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนต่อแรงดึงของยางคอมโพสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด ณ จุดขาดของยางคอมโพสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ส่วนค่าความทนทานต่อแรงดึงยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยมะพร้าวที่ได้ปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงกว่าคอมโพสิต คือ 6.64 MPa เนื่องจากยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง ทำให้สามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกดึงยืด ส่งผลให้มีความทนต่อแรงดึงมากกว่าคอมโพสิตในทุกอัตราส่วน แต่เมื่อพิจารณาค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของคอมโพสิตก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความสามารถในการยืดจนขาดของคอมโพสิตมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณเส้นใยให้มากขึ้นส่งผลให้เกิดการรวมกลุ่มกันของเส้นใยทำให้การถ่ายเทความเค้นขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของยางคอมโพสิตต่อปริมาณเส้นใยก่อนและหลังปรับปรุงผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

จากภาพที่ 6 แสดงผลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติความแข็ง พบว่าสมบัติความแข็งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากขึ้น ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวน้อยจะมีส่วนของยางมาก ก็จะนิ่มแต่ยางคอมพาวด์ที่มีปริมาณเส้นใยมะพร้าวมากนั้น การรวมตัวและการอัดตัวของเส้นใยทำให้ค่าความแข็งสูงขึ้นตามปริมาณของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น

2. การศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟที่มีต่อยางคอมโพสิต

ศึกษาผลของปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและศึกษาอัตราการลามไฟของวัสดุคอมโพสิตดังแสดงในตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3 อัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

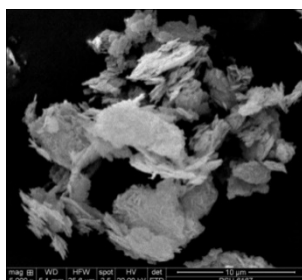
Sample (phr)	Burning rate mm./min
NR-MH0-F60	43.81 ± 1.31
NR-MH30-F60	22.20 ± 0.27
NR-MH60-F60	18.40 ± 0.48
NR-MH90-F60	14.63 ± 0.38
NR-MH120-F60	13.17 ± 0.76

หมายเหตุ ตามมาตรฐาน Burning rate อยู่ในช่วงไม่เกิน 40 mm. /min
ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับวัสดุป้องกันการลามติดไฟ ที่ความหนาชิ้นงาน 3-13 มม.

ผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ อัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมโพสิต การใส่เส้นใยมะพร้าวลงไปยางคอมพาวด์จะส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ จากผลการทดลองพบว่า สูตรที่ 1 มีอัตราการเผาไหม้ คือ 43.81 mm. /min ซึ่งมีอัตราการเผาไหม้ที่เกินมาตรฐาน Horizontal Burning Rate ซึ่งกำหนดค่าไม่เกิน 40 mm. /min

เนื่องจากในสูตรที่ 1 ไม่ได้เติมสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) อย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมีอัตราการเผาไหม้ลดลง เมื่อเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ลงไปในยางคอมโพสิต

จากตารางที่ 4 แสดงค่าความต้านทานต่อแรงดึง พบว่าค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่น ดังภาพที่ 7 และมีการเกาะกลุ่มกันเองสารทนไฟจึงกระจายตัวได้ไม่สม่ำเสมอในเมทริกซ์กลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์ส่งผลให้การรับแรงและกระจายแรงกระทำเกิดขึ้นได้น้อย และพบว่าแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์มีลักษณะพื้นฐานเป็นแผ่นจึงทำให้สมบัติเชิงกลมีแนวโน้มลดลงกลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์



ภาพที่ 7 ภาพถ่าย SEM ของอนุภาคสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4 สมบัติเชิงกลของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์

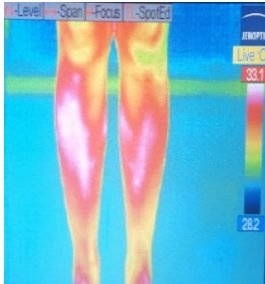
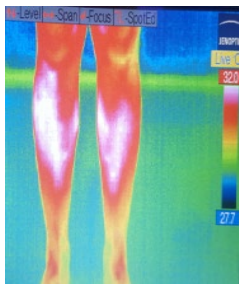
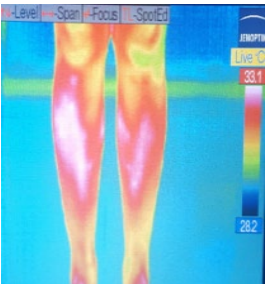
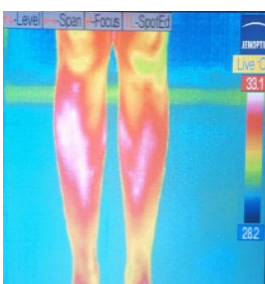
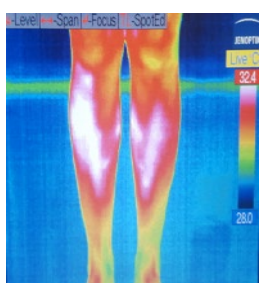
Sample (phr)	100 % Modulus	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Hardness (Shore A)
NR	0.59±0.04	6.64±0.50	573.05±24.43	42.34±0.41
NR-MH0-F60	1.39±0.16	1.73±0.28	218.00±2.16	70.67±1.29
NR-MH30-F60	1.41±0.03	1.67±0.30	148.30±0.83	76.80±0.31
NR-MH60-F60	1.61±0.11	1.38±0.13	135.78±1.54	79.73±0.38
NR-MH90-F60	1.75± 0.11	1.24±0.31	114.78±0.093	83.39±0.63
NR-MH120-F60	2.08± 0.21	1.21±0.14	43.43±0.143	87.72±0.62

3.การศึกษาสมบัติของแผ่นยางคอมโพสิตด้วยเครื่องจับความร้อน Infrared Camera

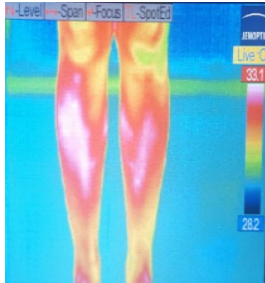
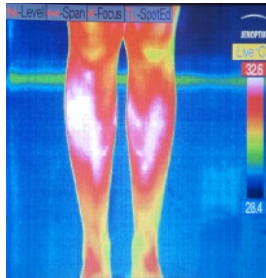
จากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมโพสิตด้วยกล้องจับความร้อน Infrared Camera ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ คือ ยืนบนกระเบื้องปูพื้น 30 นาทีก่อนการทดสอบและการใช้แผ่นยางคอมโพสิตโดยระยะเวลาในการทดสอบคือ 30 นาที พบว่าการยืนบนแผ่นยางคอมโพสิตสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนแผ่นยางคอมโพสิตได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับการยืนบนกระเบื้องปูพื้นโดยทำการทดสอบด้วยเครื่องจับความร้อน ซึ่งอุณหภูมิผิวที่เพิ่มขึ้น สามารถสันนิษฐานได้ว่าการไหลเวียนโลหิตดีขึ้น ซึ่งจากการทดสอบสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 อุณหภูมิพื้นผิวนองเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ส่วนสูตรที่ 4 และ 5 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ในอุณหภูมิพื้นผิวนองที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากแผ่นยางมีความแข็ง เหนียวไม่ยืดหยุ่นทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองเกิดได้ ส่วนผลการศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางลดความเมื่อยล้าจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว

โดยศึกษากับผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไปจำนวน 15 คน พบว่า ผู้สูงอายุทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นยางคอมโพสิตจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวไม่แตกต่างกันโดยสูตรที่ 1-5 คิดเป็นค่าเฉลี่ย 4.26, 4.36, 4.41, 4.33 และ 4.23 ตามลำดับ ในภาพรวมอยู่ในระดับพอใจมาก ซึ่งพบว่า สูตรที่ 3 มีค่าความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมากกว่าสูตรอื่นๆ โดยมีค่าเฉลี่ย 4.41

ตารางที่ 5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมโพสิต ด้วยกล้องจับความร้อน (Infrared Camera) ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM

ชั้นงาน	บนกระเบื้องปูพื้น 30 นาที ก่อนการทดสอบ	บนแผ่นยางกันเมื่อย หลังจากการเริ่มการทดสอบ 30 นาที
ยางธรรมชาติ		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 40 phr		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 60 phr		
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 80 phr		

ตารางที่ 5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนกระเบื้องปูพื้นและบนแผ่นยางคอมโพสิต ด้วยกล้องจับความร้อน (Infrared Camera) ยี่ห้อ JENOPTIK infartec รุ่น Vario CAM

ชิ้นงาน	บนกระเบื้องปูพื้น 30 นาที ก่อนการทดสอบ	บนแผ่นยางกันเมื่อย หลังจากการเริ่ม การทดสอบ 30 นาที
ยางธรรมชาติ/ เส้นใยมะพร้าว 100 phr		

หมายเหตุ สีขาว สันนิษฐานการเกิดการไหลเวียนเลือด

อภิปรายผล

1. จากการศึกษาการเตรียมเส้นใยมะพร้าวด้วยวิธีทางเคมี การปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าพื้นผิวของเส้นใยมีความสะอาดขึ้น เกิดจากการกำจัดพวกกรดไขมัน ลิกนินและพวกเฮมิเซลลูโลสออกจากพื้นผิวของเส้นใยมะพร้าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Huang (2009) และ Pantamanatsopa et al. (2014) โดยเฉพาะลิกนินซึ่งสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกทำลายด้วยความร้อนและสารเคมีและจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ Asasutjarit et.al. (2009) แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนพื้นผิวช่วยเพิ่มการยึดเกาะระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์ได้ การศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยมะพร้าวต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต โดยแปรปริมาณเส้นใยมะพร้าว 40 60 80 และ 100 phr ตามลำดับ ต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสจะมีแนวโน้มสูงขึ้นเนื่องมาจากการลดลงของความยืดหยุ่นของสายโซ่ยางส่งผลให้คอมโพสิตแข็ง (rigid) ซึ่งพบผลที่คล้ายกันกับ Mathew & Joseph (2007) เมื่อปริมาณของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวในยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นพบว่าค่า M100% สูงกว่าคอมโพสิตของเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเนื่องมาจากการปรับปรุงพื้นผิวด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เฮมิเซลลูโลส สารพวกขี้ผึ้ง และสารปนเปื้อนต่างๆ ถูกกำจัดออกไปจากเส้นใยส่งผลให้พื้นผิวเส้นใยมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้นซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยึดติดระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ Asasutjarit et al. (2009) สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและความสามารถในการยืดจนขาดจะมีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเติมปริมาณเส้นใยลงไปมีการขัดขวางของเมทริกซ์เส้นใยในยางธรรมชาติจึงทำให้วัสดุคอมโพสิตประกอบยึดตัวได้น้อย ส่วนความแข็งและค่าโมดูลัสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรวมตัวและการอัดตัวของเส้นใย

2. การศึกษาอัตราการเผาไหม้และสมบัติของสารทนไฟต่อสมบัติเชิงกล จากผลการศึกษาอัตราการเผาไหม้ (Horizontal Burning Rate) ของยางคอมโพสิตที่แปรปริมาณสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ การใส่เส้นใยมะพร้าวลงไปในยางคอมพาวด์จะส่งผลต่ออัตราการเผาไหม้ เนื่องจากยางธรรมชาติและเส้นใยมะพร้าวมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงอย่างดีที่ติดไฟได้ง่ายอย่างไรก็ตามอัตราการเผาไหม้ของยางคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าวมีอัตราการเผาไหม้ลดลงเมื่อเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ลงไปในยางคอมโพสิต การเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้นทำให้อัตราการเผาไหม้ลดลงเป็น 2 เท่า ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ

Chaisupakitsin et al. (2010) พบว่าแมกนีเซียมออกไซด์ทำหน้าที่เป็นฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกช่วยลดการเสื่อมสภาพของชิ้นวัตถุ และเนื่องจากแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เมื่อได้รับความร้อนจะปลดปล่อยผลึกน้ำออกมาทำให้ระบบเย็นลง ดังนั้นจึงเท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำในระบบและยังเป็นการเจือจางเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ของยาง ส่งผลให้สามารถหน่วงการจุดติดไฟและทำให้การลามไฟได้ช้าลง Cross (2009) และ Sain (2004) และพบว่าการเติมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ที่ปริมาณ 30 phr สามารถลดอัตราการลามไฟของวัสดุคอมโพสิตได้ จากการศึกษาสมบัติของสารทนไฟต่อสมบัติเชิงกล พบว่าเมื่อเติมสารทนไฟลงไปค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากสารทนไฟแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารตัวเติมที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นและมีการเกาะกลุ่มกันเองกลายเป็นจุดอ่อนแอในเนื้อเมทริกซ์ ส่งผลให้การรับแรงและกระจายแรงกระทำเกิดขึ้นได้น้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมาของ Dong-yun et al. (2015)

3. ผลการทดสอบการใช้แผ่นยางคอมโพสิตโดยใช้กล่องจับความร้อน จะเห็นได้ว่าการยึบบนแผ่นยางคอมโพสิตสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิวนองบนแผ่นยางคอมโพสิตได้ชัดเจน เมื่อเทียบกับการยึบบนกระเบื้องพื้น เนื่องจากแผ่นยางมีความยืดหยุ่นซึ่งมาจากเฟสของยางธรรมชาติที่มากกว่าปริมาณเส้นใยเกิดการถ่ายเทพลังงานทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิพื้นผิว จากผลการศึกษาความพึงพอใจพฤติกรรมในการใช้ผลิตภัณฑ์แผ่นกันเมื่อยจากยางธรรมชาติผสมเส้นใยมะพร้าว โดยศึกษากับผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป พบว่าทั้งเพศชายและเพศหญิงมีความพึงพอใจมาก

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) แผ่นยางลดความเมื่อยล้าสามารถนำไปใช้กับสรีระด้านอื่นๆ ได้

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรมีการศึกษาผลการใช้งานกับกลุ่มตัวอย่างอื่นๆ
- (2) ควรออกแบบชิ้นงานให้หลากหลายรูปแบบเพื่อความเหมาะสมของผู้ใช้

เอกสารอ้างอิง

- Asasutjarit C., Charoenva S., Hirunlabh, J., and Khedari, J. (2009). Material and Mechanical Properties of Pretreated Coir-Based Green Composites,” *Composites Part B: Engineering*, 40 633-637.
- Cross, M.S., Cuasack, P.A. and Hornsby, P.R. (2003). Effects of tin additives on the flammability and smoke emission characteristics of halogen-free ethylene-vinyl acetate copolymer. *Polymer Degradation and Stability*, 79, 309-318.
- Dong-yun, et al, (2015). Atomistic simulation of defected magnesium hydroxide as flame retardants. *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 25, 4080 – 4088.
- Foundation for Older Persons' Development. (2015). *Situations of Older Persons in Thailand*. [Online]. Retrieved 20 June 2018, from: <https://fopdev.or.th/สถานการณ์ผู้สูงอายุในประเทศไทย> (in Thai)

- Gu, H. (2009). Tensile behaviours of the coir fibre and related composites after NaOH treatment, *Materials and Design*, 30, 3931–3934.
- Chaisupakitsin, M., Pitoonthud, T., Putthachartsombut, P. and Surengrit, R. (2010). Properties of Fiberboard Made from Coconut Coir/Polystyrene Foam Containing Flame Retardant. *Burapha Sci. J.* 15, 2, 57-66. (in Thai)
- Mathew, L. and Joseph, R. (2007). Mechanical properties of short-isora-fiber-reinforced naturalrubber composites: Effects of fiber length, orientation, and loading; alkali treatment; and bonding agent. *J. Appl. Polym. Sci*, 103, 1640-1650.
- Pantamanatsopa, P., Ariyawiriyanan W., Meekeaw T. Suthamyoung R., Arrub K., Hamada H. (2014). Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite. *Energy Procedia*, 56, 641-647.
- Sain M., Park S.H., Suhara F. and Law S. (2004). Flame retardant and mechanical properties of natural fibre-PP composites containing magnesium hydroxide. *Polymer Degradation and Stability*, 83, 363-367.
- Raghavendra S., Lingaraju P., Balachandra Shetty, Mukunda PG. (2013). Mechanical Properties of Short Banana Fiber Reinforced Natural Rubber Composites. *Science, Engineering and Technology*, 2, 1652-1655.