สมบัติของยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ – การบ่มและสมบัติเชิงกล

Properties of Natural Rubber Filled with Lignite Fly Ash: The Cure Characteristic and Mechanical Properties

ยุทธชาติ วิเชียรบุตร เจริญยุทธ เดชวายุกุล วิริยะ ทองเรือง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทร 0-7428-7035-6 โทรสาร 0-7421-2893 Email: s4512078@maliwan.psu.ac.th, dechwac@me.psu.ac.th, twiriya@me.psu.ac.th

เล็ก สีคง
ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112
โทร 0-7428-7065 โทรสาร 0-7421-2897 Email: slek@ratree.psu.ac.th

Yutthachart Wichianbutr Charoenyut Dechwayukul Wiriya Thongruang
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Hatyai, Songkhla 90112 Thailand
Tel: 0-7428-7035-6 Fax: 0-7421-2893 Email: s4512078@maliwan.psu.ac.th[1], dechwac@me.psu.ac.th[2], twiriya@me.psu.ac.th[3]

Lek Sikong
Department of Mining and Materials Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University,
Hatyai, Songkhla 90112 Thailand
Tel: 0-7428-7065 Fax: 0-7421-2897 Email: slek@ratree.psu.ac.th

บทคัดย่อ

ยางคอมพอสิทจากยางธรรมชาติเติมด้วยเถ้าลอยลิกไนต์ถูกเตรียมขึ้นด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกลของยางคอมพอสิท พบว่า ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ ในทางตรงกันข้ามกับความแข็ง พบว่า ความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และความต้านทานการฉีกขาดลดลงเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม มอดุลัสที่ระยะยืด 300% และ 500% มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณเถ้าลอย

Abstract

The composite of natural rubber filled with lignite fly ash was prepared using a two roll mill and hot press processes. In this work the cure characteristic and mechanical properties of the composite were studied. It was found that amount of fly ash has no effect to the cure time. In contrast with hardness, tensile strength, elongation at break and tear resistance were found decreasing with increasing the amount of fly ash. However the moduli at 300% and 500% elongation tend to vary depending on fly ash contents.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ยางธรรมชาติถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้น เช่น ยางรองคอสะพาน ยางกันรั่ว ยางรถยนต์ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ยางธรรมชาติมากที่สุด เป็นต้น ยางธรรมชาติที่นำมาทำผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะใช้สารตัวเติม (fillers) ต่างๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติให้ได้ตามความต้องการหรือเหมาะสมกับการใช้งาน สารตัวเติมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยาง ได้แก่ เขม่าดำ (carbon black) ซิลิกา (silica) แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) และเคลย์ (clay) เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า มีการศึกษาเกี่ยวกับการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้เป็นสารตัวเติม เพื่อทดแทนสารตัวเติมที่ใช้กันอยู่ใน

ปัจจุบันซึ่งมีราคาสูง เช่น การเติมพอลิยูรีเทนโฟมชนิดยืดหยุ่นที่ใช้แล้ว พบว่า ปริมาณพอลิยูรีเทนโฟมที่เหมาะสมคือ 20-30 phr ซึ่งจะทำให้มอดุลัสเพิ่มขึ้น 4 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม และทำให้ยางมีความเป็นอิลาสติกดีกว่าการใช้เขม่าดำในช่วงของความเข้มข้นของสารตัวเติมต่ำๆ [1] การใช้ผงยางรีไซเคิลเป็นสารตัวเติมจะทำให้ระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (scorch time, T_{s1}) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ (cure time, t_{90}) ลดลงเมื่อปริมาณผงยางรีไซเคิลที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ส่วนมอดุลัสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อปริมาณผงยางรีไซเคิลที่เติมเพิ่มขึ้น แต่ระยะยืดเมื่อขาดลดลง โดยความแข็งแรงดึงมีค่าสูงสุดเมื่อเติมผงยางรีไซเคิลลงไป 10 phr [2] ขณะที่การใช้เถ้าแกลบเป็นสารตัวเติมทำให้ยางมีค่าความหนืดต่ำ เวลาในการวัลคาไนซ์สั้นลง ส่วนความต้านทานการฉีกขาดและความแข็ง มีค่าใกล้เคียงกับการใช้เขม่าดำหรือซิลิกาเป็นสารตัวเติม [3-4] สมบัติทางกายภาพของยางคอมพอสิทดีที่สุดที่ปริมาณเถ้าแกลบเท่ากับ 10-20 phr [5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกล โดยสมบัติเชิงกลที่ทดสอบได้แก่ ความแข็งแรงดึง มอดุลัสที่ระยะยืด 300% และ 500% ระยะยืดเมื่อขาด ความต้านทานการฉีกขาด และความแข็ง

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุและสารเคมี

ยางธรรมชาติที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ยางแท่ง STR 5L เถ้าลอยลิกไนต์เป็นเถ้าลอยจากโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง ส่วนสารเคมีที่ใช้ได้แก่ กำมะถัน สารเร่งปฏิกิริยา (MBT, DPG) และสารกระตุ้นปฏิกิริยา (ซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริก) โดยสูตรยางคอมพอสิทที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรผสมของยางคอมพอสิทที่ใช้ในงานวิจัย

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr[a])
ยางธรรมชาติ	100.0
กำมะถัน	3.0
ซิงค์ออกไซด์	5.0
กรดสเตียริก	2.0
DPG[b]	0.2
MBT[c]	0.5
เถ้าลอยลิกไนต์	0, 10, 30, 50, 70

หมายเหตุ [a]phr (parts per hundred rubber)
[b]diphenyl guanidine
[c]2-mercaptobenzothiazole

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง (two roll mill)
(2) เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน (hot press)
(3) เครื่อง Mooney Disk Rheometer (MDR)
(4) เครื่องตัดชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบแรงดึง
(5) เครื่องตัดชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบความต้านทานการฉีกขาด
(6) เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine, UTM)
(7) เครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Shore A)

2.3 วิธีการการทดลอง

2.3.1 การเตรียมยางคอมพอสิท

ทำการผสมยางธรรมชาติกับเถ้าลอยลิกไนต์ และสารเคมีต่างๆ ตามสูตรในตารางที่ 1 เครื่องมือที่ใช้ในการผสมคือ เครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง ใช้เวลาในการผสมประมาณ 20-25 นาที หลังจากผสมเสร็จแล้ว เก็บยางคอมพอสิทในภาชนะปิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง

2.3.2 การทดสอบลักษณะของการวัลคาไนซ์ (cure characteristic)

นำยางคอมพอสิทประมาณ 5 กรัมมาทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง Mooney Disk Rheometer เพื่อหาระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูป (T_{s1}, min) และระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ยาง (t_{90}, min) โดยตั้งอุณหภูมิที่ 150°C หลังจากนั้นนำยางคอมพอสิทมาอัดเบ้าสำหรับเตรียมชิ้นทดสอบ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ที่อุณหภูมิ 150°C ใช้เวลาในการอัดเท่ากับเวลาในการวัลคาไนซ์ยาง

2.3.3 การทดสอบแรงดึง (tensile test)

นำแผ่นยางคอมพอสิทมาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D412 (Die C) ด้วยเครื่องตัดชิ้นทดสอบแรงดึง วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่งคือ ตรงกลาง และบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดทั้งสองด้านของชิ้นทดสอบ ใช้ค่ากลาง (median) เป็นค่าความหนาสำหรับการคำนวณ ทำการทดสอบแรงดึงโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ใช้ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min ผลการทดสอบที่สนใจคือ ความแข็งแรงดึง (tensile strength) มอดุลัส (modulus) ที่ระยะยืด 300% (M300) และ 500% (M500) และระยะยืดเมื่อขาด (elongation at break)

2.3.4 การทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance)

นำแผ่นยางคอมพอสิทมาตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624 (Die C) ด้วยเครื่องตัดชิ้นทดสอบความต้านทานการฉีกขาด วัดความหนาของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับคำนวณค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด การทดสอบใช้เครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ความเร็วในการทดสอบ 500 mm/min

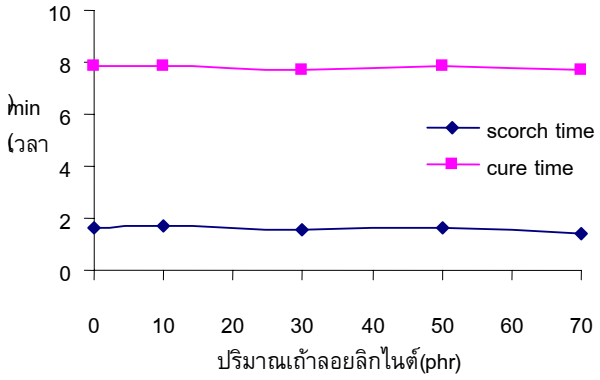
2.3.5 การทดสอบความแข็ง (hardness)

วัดความแข็งของยางตามมาตรฐาน ASTM D2240 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง (Durometer Shore A) วัดความแข็งของยางที่ตำแหน่งต่างๆ กัน 5 จุด แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3. ผลการทดลอง

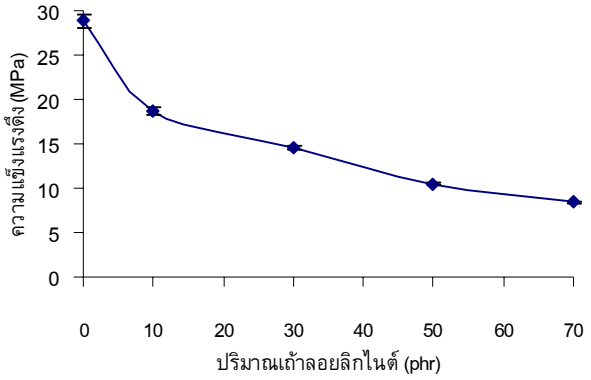
3.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ (cure characteristic)

จากผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 จะเห็นว่าระยะเวลาที่ยางเริ่มเกิดการคงรูปและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ของยางคอมพอสิทค่อนข้างคงที่ เมื่อปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้น แสดงว่าปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมพอสิท

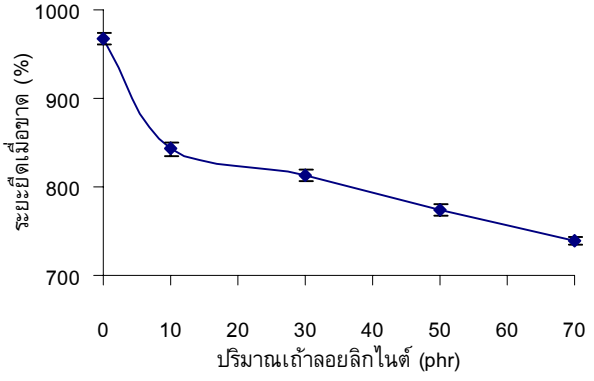


รูปที่ 1 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

3.2 สมบัติการดึงยืด (tensile properties)



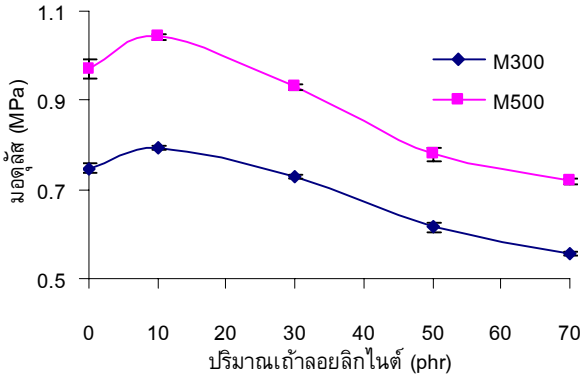
รูปที่ 2 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อความแข็งแรงดึง



รูปที่ 3 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อระยะยืดเมื่อขาด

จากการทดลองพบว่า ยางธรรมชาติที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์มีความแข็งแรงดึงและระยะยืดเมื่อขาดลดลง เมื่อปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่เติมลงไปเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2-3 โดยความแข็งแรงดึงของยางคอมพอสิทที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10 phr และ 70 phr มีค่าลดลง 35.28% และ 70.83% ตามลำดับ ส่วนระยะยืดเมื่อขาดลดลง 12.93% และ 23.70% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารตัวเติม การที่ยางมีความแข็งแรงลดลง เนื่องจากการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอของสารตัวเติมในเนื้อยาง อนุภาคของสารตัวเติมจะไปจับตัวกันเป็นก้อน ทำให้ความแข็งแรงของยางในส่วนที่ดังกล่าวลดลง [3]

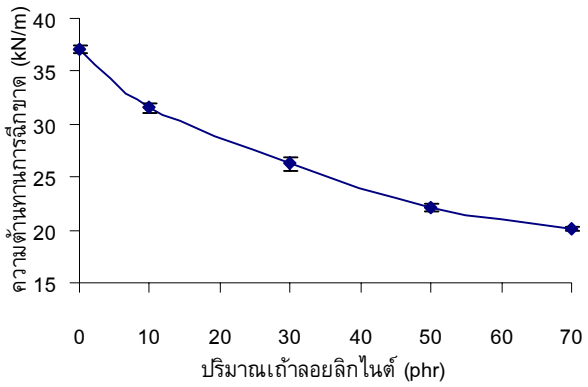
ส่วนมอดุลัสทั้ง M300 และ M500 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์น้อยๆ (น้อยกว่า 20 phr) และลดลงเมื่อเติมปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์สูงๆ การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงไป 10 phr จะทำให้ M300 และ M500 เพิ่มขึ้น 6.32% และ 7.28% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารตัวเติม ขณะที่การเติมเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 70 phr จะทำให้ M300 และ M500 มีค่าลดลง 25.45% และ 26.07% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารตัวเติม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hundiwale [6] ที่พบว่า ที่ปริมาณสารตัวเติมน้อยๆ อนุภาคของสารตัวเติมซึ่งมีความแข็งแรงกว่าจะทำหน้าที่รับความเค้นที่เกิดขึ้น ทำให้มอดุลัสมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อสารตัวเติมมีปริมาณสูง พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างยางกับสารตัวเติมก็จะมากขึ้น ความเข้มความเค้นจะทำให้เกิดรอยแยกที่บริเวณผิวสัมผัส ทำให้มอดุลัสมีค่าลดลง



รูปที่ 4 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อมอดุลัสที่ระยะยืด 300% และ 500%

3.3 ความต้านทานการฉีกขาด (tear resistance)

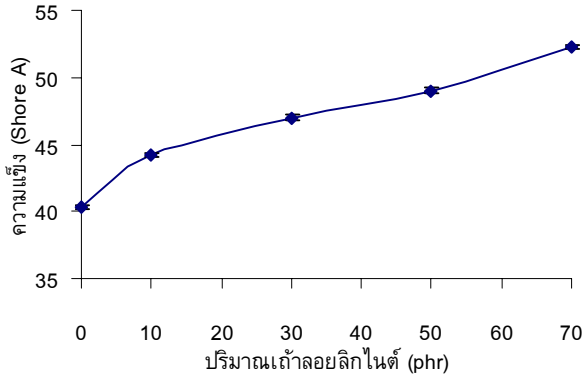
ความต้านทานการฉีกขาดของยางคอมพอสิทมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์เพิ่มขึ้น ตามรูปที่ 5 โดยความต้านทานการฉีกขาดของยางคอมพอสิทที่เติมเถ้าลอยลิกไนต์ปริมาณ 10 phr และ 70 phr มีค่าลดลง 14.86% และ 45.68% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารตัวเติม ความต้านทานการฉีกขาดลดลงเนื่องจากการยึดจับระหว่างยางและสารตัวเติมไม่ดี เกิดช่องว่างขึ้นในเนื้อยาง เมื่อยางเกิดการเสียรูป ความเข้มความเค้นจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะบริเวณนั้น ทำให้ยางเกิดการขาดก่อนกำหนด



รูปที่ 5 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อความต้านทานการฉีกขาด

3.4 ความแข็ง (hardness)

จากรูปที่ 6 จะเห็นว่าความแข็งของยางคอมพอสิทมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ที่ผสมลงไปเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มสารตัวเติมที่มีความแข็งลงไปจะลดความยืดหยุ่นของพันธะของยาง ทำให้ยางแข็งขึ้น [3]



รูปที่ 6 ผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อความแข็ง

4. สรุปผล

จากการศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกล พบว่า ปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ไม่มีผลต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมพอสิท ยางคอมพอสิทที่ได้มีความแข็งแรงดึง ระยะยืดเมื่อขาด และความต้านทานการฉีกขาดลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าลอยลิกไนต์ในยาง แต่มอดุลัสและความแข็งของยางคอมพอสิทเพิ่มขึ้น มอดุลัสของยางคอมพอสิทมีค่าสูงสุดเมื่อเติมเถ้าลอยลิกไนต์ลงไป 10 phr โดยมอดุลัสที่ระยะยืดที่ 300% และ 500% สูงขึ้น 6.32% และ 7.28% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีสารตัวเติม ส่วนความแข็งแรงดึงลดลง 35.28% และระยะยืดเมื่อขาดลดลง 12.93%

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะวิจัยขอขอบคุณโรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เถ้าลอยลิกไนต์ และขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือต่างๆ สำหรับใช้ในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ, “การเปรียบเทียบคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำและพอลิยูรีเทนโฟมชนิดยืดหยุ่นที่ใช้แล้วเป็นสารเติมแต่ง”, วิศวกรรมสาร ม.ข., ปีที่ 25, ฉบับที่ 3, หน้า 27-39

[2] Ismail H., Nordin R. and Noor A.M., “Cure characteristics, tensile properties and swelling behaviour of recycled rubber powder-filled natural rubber compounds”, Polymer Testing , 2002, Vol. 21, pp.565-569

[3] Da Costa H. M. , Visconte L. L. Y., Nunes R. C. R. and Furtado C. R. G., “Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Rice Husk Ash-Filled Natural Rubber Compounds”, Journal of Applied Polymer Science, 2002, Vol. 83, pp.2331-2346

[4] Sae-oui P., Rakdee C. and Thanmathorn P., “Use of Rice Husk Ash as Filler in Natural Rubber Vulcanizates: In Comparison with Other Commercial Fillers”, Journal of Applied Polymer Sciences, 2002, Vol. 83, pp.2485-2493

[5] Ismail H., Nasaruddin M.N. and Rozman H.D., “The effect of multifunctional additive in white rice husk ash filled natural rubber compounds”, European Polymer Journal, 1999, Vol. 35, pp.1429-1437

[6] Hundiwale D. G., Kapadi U. R., Desai M. C. and Bidkar S. H., “Mechanical Properties of Natural Rubber Filled with Flyash”, Journal of Applied Polymer Sciences, 2002, Vol. 85, pp.995-1001