249782
ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249782

รหัสโครงการ SUT7-710-52-24-46

รายงานการวิจัย

การเตรียมคอมโพสิทจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์

(Preparation of Natural Rubber/Sisal Fiber Composites)

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

b00255155

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249782

รหัสโครงการ SU

รายงานการวิจัย

การเตรียมคอมโพสิทจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์

(Preparation of Natural Rubber/Sisal Fiber Composites)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

รหัสโครงการ SUT7-710-52-24-46

รายงานการวิจัย

การเตรียมคอมโพสิทจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์

(Preparation of Natural Rubber/Sisal Fiber Composites)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกำจร

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิธินาถ ศุภกาญจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2552-2553

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มิถุนายน 2555

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การเตรียมคอมโพสิทจากยางธรรมชาติและเส้นใยป่านศรนารายณ์นี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2552-2553

งานวิจัยนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายบุคคล ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย คือ นายวิทวัส วงษ์โสรัจ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่อนุเคราะห์ในการใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กษมา จารุกำจร

(หัวหน้าโครงการวิจัย)

มิถุนายน 2555

บทคัดย่อภาษาไทย

246782

ในการศึกษานี้ เส้นใยป่านศรนารายณ์ถูกใช้ในการเสริมแรงยางธรรมชาติ ปริมาณเส้นใยคือ 10 20 และ 30 ส่วนในหนึ่งร้อยส่วนของยางธรรมชาติ คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับยางธรรมชาติถูกเตรียมโดยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง ชิ้นงานสำหรับทดสอบถูกเตรียมโดยเครื่องกดอัด สมบัติทางกล สัณฐานวิทยา และสมบัติการคงรูปของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์กับยางธรรมชาติถูกตรวจสอบ การทำอัลคาไลน์เซชันและการใส่สารช่วยให้เข้ากัน (ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์) ถูกใช้ในการเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างเส้นใยและยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ถูกเตรียมโดยเครื่องบดผสมภายในอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีถูกใช้เพื่อยืนยันการกราฟท์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์บนยางธรรมชาติ และการไทเทรตถูกใช้เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการกราฟท์ของมาเลอิกแอนไฮไดรด์บนโมเลกุลของยางธรรมชาติ

ค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ค่าการทนทานต่อการฉีกขาด และค่าความแข็งของยางคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ผ่านการดัดแปรและเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย ในขณะที่ค่าการทนทานต่อแรงดึงและค่าการยืดตัวก่อนขาดมีค่าลดลง เวลาการคงรูปของยางคอมโพสิทมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเส้นใย แต่ปริมาณของเส้นใยไม่ส่งผลกระทบอย่างมากต่อเวลาการสกอร์ช

คอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการทำอัลคาไลน์เซชันกับยางธรรมชาติ แสดงสมบัติทางกลที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีการดัดแปรกับยางธรรมชาติที่ทุกปริมาณเส้นใย แต่อย่างไรก็ตาม เวลาการคงรูปและเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่มีการทำอัลคาไลน์เซชันกับยางธรรมชาติและคอมโพสิทระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์ที่ไม่มีการปรับปรุงกับยางธรรมชาติพบว่ามีค่าไม่ต่างกันมาก การใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ปรับปรุงสมบัติทางกลของยางคอมโพสิท การเพิ่มขึ้นของเวลาการสกอร์ช และเวลาคงรูปของยางคอมโพสิทถูกพบเมื่อใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำอัลคาไลน์เซชันและการใส่ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ให้การปรับปรุงสมบัติทางกลของยางคอมโพสิทที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

นอกจากนี้ ผลของเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อสมบัติของยางคอมโพสิทถูกศึกษา สมบัติทางกลของคอมโพสิทไฮบริดเพิ่มขึ้น เมื่อมีการเพิ่มปริมาณเส้นใยปอแก้วในยางคอมโพสิท

Abstract

249782

In this study, sisal fiber was used to reinforce natural rubber (NR). Fiber loadings were 10, 20, and 30 phr. Sisal fiber/NR composites were prepared using a two-roll mill. The specimens were molded using a compression molding machine. Mechanical properties, morphology, and cure characteristics of the sisal fiber/NR composites were investigated. Fiber alkalization and addition of compatibilizer (natural rubber grafted with maleic anhydride, NR-g-MA) were used to enhance the compatibility between the fiber and the NR.

NR-g-MA was prepared using an internal mixer. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) was used to confirm the MA grafted onto NR molecule and a titration method was used to determine the level of MA grafted onto the NR molecule.

Modulus at 100% strain (M100), modulus at 300% strain (M300), tear strength, and hardness of NR composites filled with untreated and alkali treated fibers increased with increasing fiber loading whereas tensile strength and elongation at break decreased. Cure time of the NR composites decreased with increasing fiber loading but scorch time was not much affected by fiber loading.

Alkali treated sisal fiber/NR composites exhibited higher mechanical properties compared with untreated sisal fiber/NR composites at all fiber loadings. However, cure time and scorch time of the untreated sisal fiber/NR composites and the alkali treated sisal fiber/NR composites were not much different. Addition of NR-g-MA improved the mechanical properties of the sisal fiber/NR composites. The prolonged scorch time and cure time of the NR composites were observed with the presence of NR-g-MA. In comparison between alkalization and addition of NR-g-MA, NR-g-MA provided more effective improvement in the mechanical properties of the NR composites.

In addition, the effect of sisal/rossells hybrid fiber on the properties of the NR composite was studied. Mechanical properties of hybrid composites were increased with increasing rossells fiber content in the NR composites.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ภูมิหลัง	
2.1 การปรับปรุงการยึดติดระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ	4
2.1.1 การดัดแปรพื้นผิวของเส้นใย	4
2.1.2 การดัดแปรเมทริกซ์	9
2.1.3 การใส่สารช่วยให้เข้ากัน	9
2.2 สมบัติของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ	10
2.2.1 ผลของการทำอัลคาไลน์เซชันต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ	10
2.2.2 ผลของการทำไซลาไนเซชันต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ	12
2.2.3 ผลของสารเชื่อม (bonding agent) ต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ	12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนต่อลักษณะการบวมตัวและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ 13
2.2.5 ผลของการดัดแปรเมทริกซ์ต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ..... 13
2.2.6 ผลของการใส่สารช่วยให้เข้ากันต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของคอมโพสิทระหว่างเส้นใยธรรมชาติและยางธรรมชาติ..... 14
2.3 ผลของการใส่เส้นใยสองชนิดต่อสมบัติการคงรูปและสมบัติทางกลของยางคอมโพสิท 16
บทที่ 3 วัสดุและการทดลอง
3.1 วัสดุ 18
3.2 การทดลอง 18
3.2.1 การเตรียมเส้นใยป่านศรนารายณ์ 18
3.2.2 การเตรียมสารช่วยให้เข้ากัน 18
3.2.3 การเตรียมและการขึ้นรูปคอมโพสิท 18
3.2.4 การวิเคราะห์และตรวจสอบยางธรรมชาติและคอมโพสิทของยางธรรมชาติ 19
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง
4.1 ผลของการทำอัลคาไลน์เซชัน และปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิทระหว่างป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ 22
4.1.1 สมบัติการคงรูป..... 22
4.1.2 สมบัติทางกล..... 25
4.1.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา 32
4.2 ผลของการใส่สารช่วยให้เข้ากันและปริมาณเส้นใยต่อสมบัติของคอมโพสิทระหว่างป่านศรนารายณ์และยางธรรมชาติ..... 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 การวิเคราะห์ยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ 34
4.2.2 สมบัติการคงรูป 35
4.2.3 สมบัติทางกล 38
4.2.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา 43
4.3 ผลของการใส่เส้นใยสองชนิดต่อสมบัติของคอมโพสิทของยางธรรมชาติ 44
4.3.1 สมบัติการคงรูป 44
4.3.2 สมบัติทางกล 46
4.3.3 สมบัติทางสัณฐานวิทยา 51
บทที่ 5 บทสรุป
5.1 สรุปผลการวิจัย 53
บรรณานุกรม 54
ประวัติผู้วิจัย 57

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

3.1 สูตรคอมปาวด์ที่ใช้ในการศึกษา 19

4.1 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ 23

4.2 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปร และยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยเส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ 28

4.3 สมบัติการคงรูปของยางธรรมชาติ คอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ 36

4.4 สมบัติทางกลของยางธรรมชาติ คอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากันที่ปริมาณเส้นใยต่างๆ 39

4.5 สมบัติการคงรูปของคอมโพสิทของยางธรรมชาติที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่างๆ 45

4.6 สมบัติทางกลของคอมโพสิทของยางธรรมชาติที่ปริมาณเส้นใยป่านศรนารายณ์ และเส้นใยปอแก้วต่างๆ 47

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

4.1 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 24

4.2 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 24

4.3 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 25

4.4 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 25

4.5 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 29

4.6 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 29

4.7 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 30

4.8 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 30

4.9 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 31

4.10 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ไม่ได้ดัดแปรและคอมโพสิทที่ใส่เส้นใยที่ผ่านการทำอัลคาไลน์เซชัน 32

4.11 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10UT, (b) NR/20UT, และ (c) NR/30UT 33

4.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10AT, (b) NR/20AT, และ (c) NR/30AT 34

4.13 สเปกตรัมของยางธรรมชาติ (a) และยางธรรมชาติกราฟท์มาเลอิกแอนไฮไดรด์ (b).... 35

4.14 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กสูงสุดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

4.15 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 37

4.16 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการสกอร์ชของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 37

4.17 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าเวลาการคงรูปของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 38

4.18 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 40

4.19 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าค่ามอดูลัสที่ 300 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 40

4.20 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 41

4.21 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 41

4.22 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากันและคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 42

4.23 ผลของปริมาณเส้นใยต่อค่าความแข็งของคอมโพสิทที่ไม่ได้ใส่สารช่วยให้เข้ากัน และคอมโพสิทที่ใส่สารช่วยให้เข้ากัน 43

4.24 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 40x ของคอมโพสิท (a) NR/10UT/5NR-g-MA, (b) NR/20UT/5NR-g-MA, และ (c) NR/30UT/5NR-g-MA 44

4.25 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าทอร์กสูงสุด และค่าทอร์กต่ำสุดของคอมโพสิท 45

4.26 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อเวลาการสกอร์ช และเวลาการคงรูปของคอมโพสิท 46

4.27 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อค่าค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดและค่าค่ามอดูลัสที่ 100 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดของคอมโพสิท 48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
4.28 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อ ค่าความทนทานต่อแรงดึงของคอมโพสิท	48
4.29 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อ ค่าการยืดตัวก่อนขาดของคอมโพสิท	49
4.30 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อ ค่าความทนทานต่อการฉีกขาดของคอมโพสิท	50
4.31 ผลของอัตราส่วนระหว่างเส้นใยป่านศรนารายณ์และเส้นใยปอแก้วต่อ ค่าความแข็งของคอมโพสิท	51
4.32 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ชนิดส่องกราด ที่กำลังขยาย 20x ของคอมโพสิทของยางธรรมชาติ (a) 2 Rossells – 8 Sisal, (b) 5 Rossells – 5 Sisal, และ (c) 8 Rossells – 2 Sisal	52