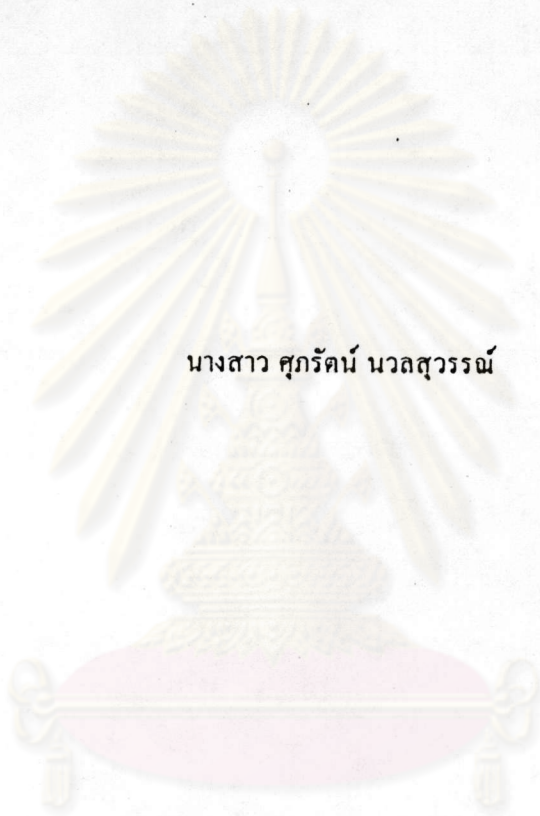


29/6/2538

บางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ



นางสาว ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวัสดุศาสตร์
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

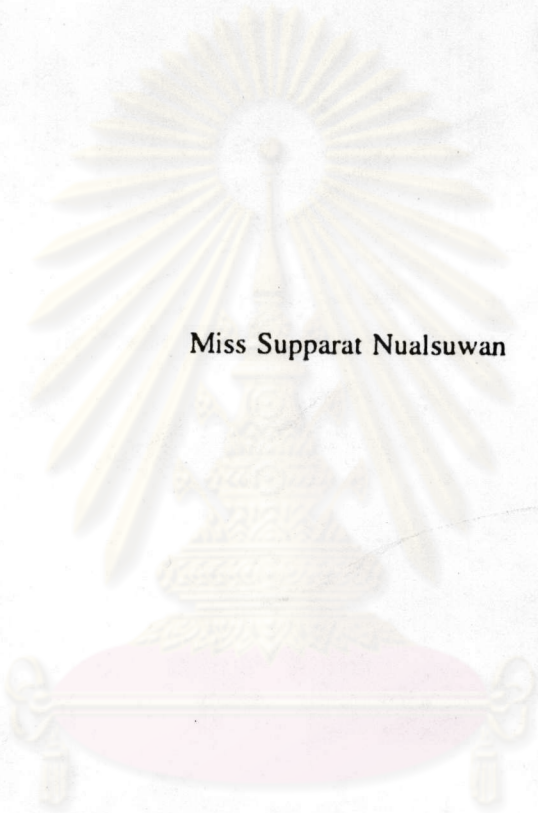
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-833-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16247456

NATURAL RUBBER REINFORCED WITH SILICA
FROM RICE HUSK



Miss Supparat Nualsuwan

คุณยวิทย์ทรัพย์ากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science

Department of Material Science

Graduate School

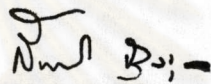
Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-833-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ
โดย นางสาว ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ
ภาควิชา วัสดุศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร. ไรน์ฮาร์ด คอนราทท์
 ดร. นุชนาฏ ณ ระนอง

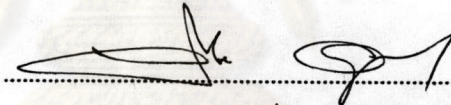
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

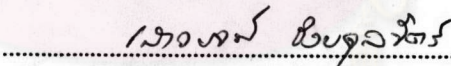
(รศ. ดร. สันติ ชงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




..... ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา)



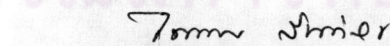
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร)



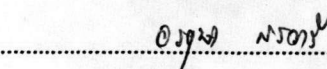
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร. ไรน์ฮาร์ด คอนราทท์)



..... กรรมการ

(ผศ. ไพพรรณ สันติสุข)



..... กรรมการ

(ผศ. อรุษา สรวารี)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ศุภรัตน์ นวลสุวรรณ : ขางธรรมชาติเสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ (NATURAL RUBBER REINFORCED WITH SILICA FROM RICE HUSK) อ.ที่ปรึกษา : รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิคร์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ดร. โรนัลด์ คอนราคท์ และ ดร. นุชนาฏ ฃ ระนอง, 105 หน้า. ISBN 974-632-833-6

เนื่องจากประเทศไทยสามารถปลูกยางพาราได้มากเป็นอันดับหนึ่งของโลก จึงควรมีการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางพาราให้ดียิ่งขึ้น โดยได้มีการนำซิลิกาที่ผลิตได้จากการตกตะกอนมาใช้เป็นสารเสริมแรงในสารประกอบขางธรรมชาติที่ไม่ใช่สีลา ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีผู้วิจัยเกี่ยวกับสังเคราะห์ซิลิกาจากแกลบ ทำให้ได้ซิลิกาที่มีราคาถูกกว่าซิลิกาที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมขาง การทดลองนี้จึงได้มีการนำซิลิกาที่ได้จากแกลบมาทดลองใช้เป็นสารเสริมแรงในสารประกอบขางธรรมชาติ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาสมบัติของขางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบ และด้วยราคาที่ถูกกว่าของซิลิกาจากแกลบ จึงเป็นการลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ขางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาอีกด้วย การวิจัยนี้เริ่มจากการนำแกลบมาทำความสะอาด นำแกลบที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.4 โมลาร์ เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำแกลบที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้เถ้าที่มีสีขาว ซึ่งมีซิลิกาเป็นองค์ประกอบอยู่ถึง 99.6 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำซิลิกาที่ได้ไปบดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องบดแบบใช้กำลังลม หลังจากนั้นนำซิลิกาที่ผ่านการบดแล้วมาทดสอบสมบัติต่างๆ เทียบกับซิลิกาที่ใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมขาง (Hi-sil 255) พบว่าซิลิกาที่สังเคราะห์จากแกลบนอกจากมีเปอร์เซ็นต์ซิลิกาที่สูงกว่าแล้วยังมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นต่ำกว่า Hi-sil 255 และสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งที่คิดว่า Hi-sil 255 คือ พื้นที่ผิวจำเพาะซึ่งมีผลต่อสมบัติของสารประกอบขาง หลังจากนั้นนำซิลิกาที่สังเคราะห์จากแกลบที่ผ่านการบดแล้วมาใช้เป็นสารเสริมแรงในขางธรรมชาติ แล้วนำไปหาสมบัติของสารประกอบขางที่ได้ โดยเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ใส่สารเสริมแรง สูตรที่ใส่ Hi-sil 255 เป็นสารเสริมแรง และสูตรที่ใส่แถมำค่าเป็นสารเสริมแรง

ผลการวิจัยพบว่าสูตรที่ใส่ซิลิกาจากแกลบมีสมบัติที่คิดว่าสูตรที่ใส่ Hi-sil 255 หลายประการ ซึ่งส่งผลให้สารประกอบขางที่ใส่ซิลิกาจากแกลบมีสมบัติที่ดี คือ มีเวลาในการคงรูปเร็วกว่าสูตรที่ใส่ Hi-sil 255 มาก มีความต้านทานแรงดึงและความต้านทานต่อการฉีกขาดใกล้เคียงกับสูตรที่ใส่สารเสริมแรงสูตรอื่น ความต้านทานต่อการสึกหรอและการกระดอนดีมาก เป็นต้น ส่วนสมบัติที่ด้อยกว่าสารประกอบขางสูตรที่ใส่สารเสริมแรงสูตรอื่น คือ ความแข็ง ซึ่งสารประกอบขางที่เสริมแรงด้วยซิลิกาจากแกลบนี้เหมาะที่จะนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติด้านอื่นนอกจากความแข็ง

ภาควิชา วัสดุศาสตร์
วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์
สาขาวิชา และเทคโนโลยีสิ่งทอ
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C626132: MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORD: COLLOIDAL SILICA / RICE HUSK / REINFORCING FILLER /
NATURAL RUBBER

SUPPARAT NUALSUWAN : NATURAL RUBBER REINFORCED WITH
SILICA FROM RICE HUSK. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
SOAWAROJ CHUAYJULJIT, THESIS CO-ADVISOR : RIENHARD
CONRADT, Ph.D. AND NUCHCHANAT NA-RANONG, Ph.D. 105 pp.
ISBN 974-632-833-6

Thailand is the world largest in natural rubber plantation. Hence, these should be studied to improve the properties of the rubber compound. Silica from rice husk is cheaper than precipitated silica generally used in rubber industry. Therefore, a study on addition of silica from rice husk to improve natural rubber properties was performed.

The rice husk was cleaned by water and treated with 0.4 M HCl for three hours. The treated rice husk was burnt at 600 °C for six hours. The ash is white and contains 99.6 % silica. The ash is ground by jet mill and tested for its properties and then compared with the commercial silica used in rubber industry (Hi-sil 255). It is found that the ash from rice husk has higher silica content and lower moisture content than Hi-sil 255. The rice ash also shows higher specific surface area. The rubber compound that mixed with rice husk ash is compared with rubber compounds without reinforcing agent, with Hi-sil 255 ,and with carbon black.

The results indicate that reinforcing with rice ash has several advantages over the other products. It has shorter curing time than Hi-sil 255. It also yields the same tear resistance and tensile strength as other treatments. The rubber reinforced with silica from rice husk has good abrasion resistance and good compression set. The weakness of this product is that it has lower hardness.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วัสดุศาสตร์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์
และเทคโนโลยีสิ่งทอ
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต *จิรพงศ์ วัฒนพงศ์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *วิฑูรย์ วัฒนพงศ์*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม *Rienhard Conradt*
H. D.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับคำแนะนำปรึกษาทางด้านวิชาการ ได้รับความเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสารเคมีต่างๆ ในการวิจัย และได้รับความช่วยเหลือแนะนำด้านการทดสอบสมบัติต่างๆ

ขอขอบคุณ รศ.เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย ดร.ไรรินทร์ ทอนราศท์ และ ดร.นุชนาฎ ณ ระนอง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมโครงการวิจัย ที่ช่วยเหลือแนะนำแนวทางในการวิจัย และให้ข้อมูลในการวิจัย

คุณวราภรณ์ ขจรไชยกุล คุณวิภา เสวตกนิษฐ คุณพลชิต บัวแก้ว เจ้าหน้าที่ของสถาบันวิจัยยางที่ให้คำปรึกษาแนะนำทางด้านวิชาการในด้านต่างๆ เกี่ยวกับยาง

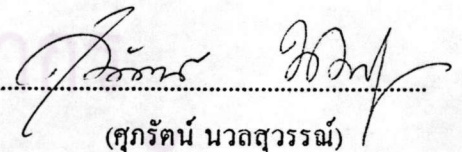
สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ เครื่องมือ เครื่องทดสอบ วัสดุดิบและสารเคมีต่างๆ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสถาบันที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สำหรับทุนในการวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

นอกจากนี้ขอขอบคุณ บริษัท พีพีจี สยามซิติกา จำกัด โดยคุณเกษรา เลหาพิสิงพานิชย์ ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการเข้าชมกระบวนการผลิตซิติกาโดยการตกตะกอนของบริษัท

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในด้านต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


(สุภรัตน์ นวลสุวรรณ)

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	iv
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	v
กิตติกรรมประกาศ.....	vi
สารบัญ.....	vii
สารบัญตาราง.....	x
สารบัญรูป.....	xi
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ข้อมูลเบื้องต้นทางวิชาการ.....	5
2.1 ขงธรรมชาติ.....	5
2.2 สารตัวเติมสำหรับขง.....	12
2.2.1 สารทำให้ขงคงรูปหรือสารวัลคาไนซ์.....	14
2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป.....	18
2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูป.....	22
2.2.4 สารตัวเติม.....	23
2.2.4.1 เชม่าดำ.....	25
2.2.4.2 ซิลิกา.....	29
2.2.5 สารช่วยในการแปรรูป.....	33
2.2.6 สารต้านทานขงเสื่อมสภาพ.....	34
2.3 ซิลิกาจากแกลบ.....	35
2.3.1 องค์ประกอบของแกลบ.....	36
2.3.2 สมบัติทางเคมีของซิลิกา.....	37
2.3.3 การผลิตซิลิกาจากแกลบ.....	38

บทที่

2.4	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....	39
2.4.1	การผสมยางกับสารเคมี.....	40
2.4.2	การขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์.....	44
2.4.3	การทำให้ยางคงรูป.....	44
2.5	การทดสอบการแปรรูปและการคงรูป.....	46
2.5.1	Mooney viscometer.....	46
2.5.2	Monsanto Oscillating Disk Rheometer (ODR).....	47
2.6	การทดสอบสมบัติทางกายภาพของยางคงรูป.....	49
2.6.1	ความต้านทานแรงดึง.....	49
2.6.2	ความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	49
2.6.3	ความต้านทานต่อการฉีกขาด.....	50
2.6.4	ความแข็ง.....	51
2.6.5	การกระดอน.....	51
2.6.6	การคืนตัว.....	52
2.6.7	การบ่มเร่งด้วยความร้อน.....	52
3	การทดลอง.....	54
3.1	การเตรียมซิลิกา.....	54
3.2	การเตรียมสารประกอบยางและชิ้นงาน.....	57
3.3	การทดสอบสมบัติของสารประกอบยาง.....	65
4	ผลการทดลอง.....	70
4.1	สมบัติของซิลิกาจากแกลบ.....	70
4.1.1	การกระจายขนาดอนุภาค.....	71
4.1.2	ลักษณะของอนุภาคของซิลิกาจากแกลบและ Hi-sil 255.....	72
4.2	ความหนืดและเวลาในการคงรูปของสารประกอบยาง.....	73
4.3	การทดสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นงาน.....	75
4.3.1	ความต้านทานแรงดึง.....	75
4.3.2	ความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	77
4.3.3	ความต้านทานต่อการฉีกขาด.....	78
4.3.4	ความแข็ง.....	79
4.3.5	การกระดอน.....	80

บทที่	
4.3.6 การคืนตัว.....	82
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	83
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	87
ประวัติผู้วิจัย.....	93



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 พื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตข้าวในประเทศไทย.....	1
ตารางที่ 1.2 ผลผลิตยางธรรมชาติของโลก.....	3
ตารางที่ 2.1 คุณภาพของยางแท่ง ทีทีอาร์ ชนิดต่างๆ.....	10
ตารางที่ 2.2 ประเภทของยางชนิดต่างๆ ในทางการค้า.....	11
ตารางที่ 2.3 สูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยาง.....	13
ตารางที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพของยางเมื่อปริมาณการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น.....	16
ตารางที่ 2.5 ลักษณะของยางเมื่อใส่กำมะถันในปริมาณที่ไม่เท่ากัน.....	17
ตารางที่ 2.6 ผลของขนาดอนุภาคและ โครงสร้างของเขม่าดำต่อสมบัติของยาง.....	28
ตารางที่ 2.7 ผลของปริมาณซิลิกาต่อความหนืดยาง.....	31
ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบหลักของแกลบ.....	36
ตารางที่ 2.9 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าจากพืชชนิดต่างๆ.....	39
ตารางที่ 3.1 สูตรสารประกอบยางที่ใช้ในการวิจัย.....	58
ตารางที่ 3.2 น้ำหนักของวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในแต่ละสูตร.....	59
ตารางที่ 3.3 สูตรที่ 4 ที่ใช้ยางผสมเขม่าดำแล้ว.....	60
ตารางที่ 4.1 สมบัติของซิลิกาจากแกลบและซิลิกาที่ใช้ในทางการค้า (Hi-sil 255).....	70
ตารางที่ 4.2 ค่า Mooney viscosity ของสารประกอบยาง.....	73
ตารางที่ 4.3 เวลาคงรูปก่อนกำหนดของสารประกอบยาง.....	74
ตารางที่ 4.4 เวลาในการคงรูปโดยเฉลี่ยของสารประกอบยาง.....	74
ตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานแรงดึงของสารประกอบยาง.....	75
ตารางที่ 4.6 Elongation at break.....	75
ตารางที่ 4.7 ค่ามอดูลัสของสารประกอบยาง.....	76
ตารางที่ 4.8 ค่า SD ของมอดูลัสของสารประกอบยาง.....	77
ตารางที่ 4.9 ปริมาตรที่หายไปของสารประกอบยางหลังการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	78
ตารางที่ 4.10 ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาด โดยเฉลี่ยของสารประกอบยาง.....	79
ตารางที่ 4.11 ค่าความแข็งโดยเฉลี่ยของสารประกอบยาง (Shore A).....	80
ตารางที่ 4.12 การกระดอนเฉลี่ยของสารประกอบยาง.....	81
ตารางที่ 4.13 การคืนตัวของสารประกอบยาง.....	82

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 การคูดซึ่มและการสะสมซึลิกาของต้นข้าว.....	2
รูปที่ 2.1 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน.....	15
รูปที่ 2.2 อิทธิพลของปริมาณกำมะถันต่อความต้านทานแรงดึงและการบีคออกจนขาด	15
รูปที่ 2.3 สมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อปริมาณของการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น.....	16
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของกำมะถัน rhombic.....	17
รูปที่ 2.5 อิทธิพลของสารเร่งชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการคงรูปยาง.....	20
รูปที่ 2.6 การกระตุ้นการทำงานของสารเร่งด้วยสารเร่งที่คงรูปช้ากว่า.....	21
รูปที่ 2.7 ผลของซึลิกาต่อความต้านทานแรงดึง.....	32
รูปที่ 2.8 ผลของซึลิกาต่อมอดูลัส.....	32
รูปที่ 2.9 ผลของซึลิกาต่อความต้านทานการฉีกขาด.....	32
รูปที่ 2.10 ผลของซึลิกาต่อความต้านทานการสึกหรอ.....	32
รูปที่ 2.11 ผลของซึลิกาต่อการกระดอนของยาง.....	33
รูปที่ 2.12 การเกิดการรวมกลุ่มของอนุภาคคอลลอยคอลลซึลิกา.....	37
รูปที่ 2.13 ผลของประจุของอนุภาคซึลิกาที่เป็นคอลลอยคอลลต่อ pH.....	38
รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง Banbury mixer.....	40
รูปที่ 2.15 เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง.....	43
รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอัดไฮดรอลิก.....	45
รูปที่ 2.17 โรเตอร์และช่องใส่ยางของเครื่อง Mooney viscometer.....	46
รูปที่ 2.18 Oscillating disk rheometer.....	47
รูปที่ 2.19 ลักษณะกราฟที่ได้จากเครื่อง ODR.....	48
รูปที่ 2.20 ลักษณะของกราฟการคงรูปแบบต่างๆ.....	49
รูปที่ 2.21 เครื่อง DIN abrader ตาม DIN 53516.....	50
รูปที่ 2.22 ชั้นทดสอบหาความต้านทานต่อการฉีกขาดแบบต่างๆ	50
รูปที่ 2.23 เครื่องทดสอบการกระดอน.....	51
รูปที่ 2.24 เครื่องทดสอบการคืนตัวโดย method B.....	52
รูปที่ 3.1 เครื่องทำความสะอาดแถบ.....	54
รูปที่ 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่างแถบและสารละลายกรด.....	55

รูปที่ 3.3	เตาที่ใช้ในการเผาแกลบ.....	56
รูปที่ 3.4	เครื่อง Jet mill.....	56
รูปที่ 3.5	เครื่องบดผสมยางแบบปิด.....	61
รูปที่ 3.6	เครื่องบดผสมแบบเปิด.....	62
รูปที่ 3.7	เครื่อง rheometer.....	63
รูปที่ 3.8	Mooney viscometer.....	64
รูปที่ 3.9	เครื่องมือที่ใช้ในการคงรูป.....	65
รูปที่ 3.10	เครื่องตัดตัวอย่างยางแบบใช้กำลังลม.....	65
รูปที่ 3.11	เครื่องทดสอบความต้านทานแรงดึง.....	66
รูปที่ 3.12	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ.....	66
รูปที่ 3.13	เครื่องทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด.....	67
รูปที่ 3.14	เครื่องทดสอบความแข็ง.....	68
รูปที่ 3.15	เครื่องทดสอบการกระดอน.....	68
รูปที่ 3.16	เครื่องทดสอบการคืนตัว.....	69
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของซิลิกาจากแกลบและ Hi-sil 255.....	71
รูปที่ 4.2	ลักษณะของซิลิกาจากแกลบที่ได้จากเครื่อง SEM	72
รูปที่ 4.3	ลักษณะของ Hi-sil 255 จากเครื่อง SEM.....	72
รูปที่ 4.4	ความต้านทานแรงดึงของสารประกอบยาง.....	76
รูปที่ 4.5	Elongation at break	77
รูปที่ 4.6	ความต้านทานต่อการสึกหรอของสารประกอบยาง.....	78
รูปที่ 4.7	ความต้านทานต่อการฉีกขาดของสารประกอบยาง	79
รูปที่ 4.8	ความแข็งของสารประกอบยาง	80
รูปที่ 4.9	การกระดอนของสารประกอบยาง.....	81
รูปที่ 4.10	การคืนตัวของสารประกอบยาง.....	82