ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246704

สัญญาเลขที่ RDG5050095

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรงหรือกึ่งเสริมแรง

(Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizates Filled with Carbon Black and Non-Reinforcing Fillers or Semi-Reinforcing Fillers)

โดย ผศ. ดร. นิตยา รัตนโสม และคณะ

พฤษภาคม 2552

b00251037

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246704

สัญญาเลขที่ RDG5050095

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรงหรือกึ่งเสริมแรง

(Mechanical Properties of Natural Rubber Vulcanizates Filled with Carbon Black and Non-Reinforcing Fillers or Semi-Reinforcing Fillers)

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

คณะผู้วิจัย	สังกัด
1. ผศ. ดร. นิตยา รัตนโสม	สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล
2. ดร.ชูเดช ดีประเสริฐกุล	สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล
3. นายพัฒนา เกื้อเส้ง	ภาควิชาเคมี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
4. นางสาวอรวรรณ สุภาพพรชัย	ภาควิชาเคมี สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ได้มอบทุนอุดหนุนสำหรับทำวิจัยเรื่องนี้ ขอขอบคุณ นายสราวุธ ประเสริฐศรี นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ม. มหิดล ที่ช่วยเตรียมตัวอย่างบางส่วนสำหรับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM ในงานวิจัย ทำให้การวิจัยเสร็จสมบูรณ์ และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัย รวมทั้งขอขอบคุณบุคลากรของศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ช่วยนักวิจัยในการใช้ห้องปฏิบัติการและช่วยดูแลซ่อมแซมเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ทำให้การวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

13 พฤษภาคม 2552

บทคัดย่อ

246704

โดยทั่วไปมักมีการใช้สารตัวเติมมากกว่าหนึ่งชนิดในผลิตภัณฑ์ยางส่วนใหญ่ เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางวัลคาไนซ์ให้ได้ตามต้องการและมีต้นทุนต่ำ สำหรับยางที่มีสีเข้มหรือดำนั้นสามารถใช้เขม่าดำ (CB) ร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ที่มีราคาถูกกว่าเขม่าดำ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (4Q และ HF) เคลย์ (SC และ HC) หรือทัลคัม (TC) เพื่อลดต้นทุนในการผลิตได้ งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ ซึ่งมีทั้งสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรงและกึ่งเสริมแรงที่สัดส่วนต่าง ๆ โดยทำการแปรปริมาณเขม่าดำตั้งแต่ 0-50 phr และทุกสูตรมีปริมาณรวมของสารตัวเติมผสม 50 phr นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ เมื่อมีความแข็งของยางวัลคาไนซ์ใกล้เคียงกัน โดยในกรณีนี้ยางทุกสูตรจะมีปริมาณเขม่าดำเท่ากันคือ 30 phr แต่แปรปริมาณของสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ เพื่อทำให้ได้ยางวัลคาไนซ์ที่มีความแข็งใกล้เคียงกัน ดังนั้นจะทำให้ยางแต่ละสูตรมีปริมาณรวมของสารตัวเติมผสมไม่เท่ากัน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้เขม่าดำร่วมกับ 4Q, HF, SC, HC หรือ TC จะทำให้สมบัติต่าง ๆ เช่น ความหนืด ความแข็ง โมดูลัส ความทนต่อการฉีกขาดและความทนต่อการขัดสีสูงลดลงเมื่อสัดส่วนของเขม่าดำต่อสารตัวเติมดังกล่าวลดลง และเมื่อเปรียบเทียบที่สัดส่วนเดียวกันของสารตัวเติมผสมคู่ใด ๆ พบว่าการใช้เขม่าดำร่วมกับ HC จะได้ยางที่มีความแข็ง โมดูลัส แรงดึงที่จุดขาด และความทนต่อการขัดสีสูงที่สุด ในขณะที่การใช้เขม่าดำร่วมกับ HF จะได้ยางที่มีความทนต่อการพับงอ และความทนต่อการฉีกขาดสูงที่สุด รวมทั้งมีค่าการเสียรูปจากแรงกดต่ำใกล้เคียงกับการใช้เขม่าดำร่วมกับ 4Q

เมื่อเตรียมยางให้มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน ราคายางคอมพาวด์ต่อหนึ่งกิโลกรัมของยางสูตรที่เติม CB/HF มีราคาถูกที่สุด และให้ยางวัลคาไนซ์ที่มีความทนต่อการฉีกขาดและทนต่อการพับงอสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ แต่ยางวัลคาไนซ์ที่เติม CB/HC มีโมดูลัส ความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการขัดสี สูงกว่ายางสูตรอื่น ๆ ที่มีค่าความแข็งใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะ HC เป็นสารตัวเติมกึ่งเสริมแรงที่มีขนาดเล็กและแตกตัวในยางได้ดีกว่า HF

คำสำคัญ: ยางธรรมชาติ สมบัติเชิงกล เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต เคลย์ ทัลคัม

ABSTRACT

246704

In general, mixed fillers are added in the rubber products in order to improve the required properties and lower cost. For dark or black colored products, carbon black can be used together with cheap fillers such as calcium carbonate (4Q and HF), clay (SC and HC) or talcum (TC) to lower cost. In this research, the mechanical properties of natural rubber filled with carbon black (CB), and non-reinforcing fillers or semi-reinforcing fillers which are $CaCO_3$ (4Q and HF), soft clay (SC), hard clay (HC) and talcum (TC) are elucidated at various filler ratios. The total amount of mixed filler for every formulation is 50 phr and the amount of CB is varied from 0 to 50 phr. Besides, the mechanical properties of natural rubber vulcanizates filled with CB and other fillers are compared at similar hardness level. In this case, the amount of CB used is fixed at 30 phr while the amount of other fillers is varied in such a way to obtain the vulcanizates with the similar hardness. Thus, the total amount of mixed filler for each formulation in this case is not equal.

The results show that Mooney viscosity, hardness, modulus, tear strength and abrasion resistance of the vulcanizates decrease when the ratio of CB and other fillers is decreased. At a specific filler ratio, the rubber vulcanizate containing CB/HC exhibits the highest hardness, modulus, tensile strength and abrasion resistance. On the other hand, the vulcanizate having CB/HF give the highest flex-cracking resistance and tear strength while its compression set is similar to that of the vulcanizate having CB/4Q.

At similar hardness, the cost of rubber compound having CB/HF is the lowest. In addition, vulcanizate containing CB/HF has greater tear strength and flex-cracking resistance compared to the vulcanizates having other mixed fillers used in this work. However, the vulcanizate having CB/HC shows the higher modulus, tensile strength and abrasion resistance than other vulcanizates. This is because HC is a semi-reinforcing filler and can be dispersed in the rubber better than HF.

Keywords: Natural rubber, Mechanical properties, Carbon black, Calcium carbonate, Clay, Talcum

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ I

บทคัดย่อ II

ABSTRACT III

สารบัญ IV

สารบัญรูป V

สารบัญตาราง VII

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ 1

1.3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัยและผลงานที่เกี่ยวข้อง 2

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 วัตถุดิบ เครื่องมือและวิธีการทดลอง 5

2.1 วัสดุ (Materials) 5

2.2 เครื่องมือ (Instruments) 6

ก) เครื่องมือที่ใช้ในการคอมพาวด์และการขึ้นรูป 6

ข) เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมบัติ 7

2.3 การทดลอง (Experimental) 7

ก) เตรียมยางคอมพาวด์ 7

ข) การเตรียมยางคงรูป 9

ค) การทดสอบสมบัติของยาง 10

บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์ 11

3.1 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง หรือกึ่งเสริมแรงในสัดส่วนต่างๆ 11

3.2 สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง หรือกึ่งเสริมแรงชนิดต่างๆ ที่ความแข็งใกล้เคียงกัน 28

บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง 34

เอกสารอ้างอิง 35

ภาคผนวก 36

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติที่เติม CB/4Q ที่สัดส่วนต่าง ๆ..... 12
รูปที่ 2 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติที่เติม CB/HF ที่สัดส่วนต่าง ๆ..... 13
รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติที่เติม CB/SC ที่สัดส่วนต่าง ๆ..... 14
รูปที่ 4 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติที่เติม CB/HC ที่สัดส่วนต่าง ๆ..... 15
รูปที่ 5 ภาพถ่าย SEM ของยางธรรมชาติที่เติม CB/TC ที่สัดส่วนต่าง ๆ..... 16
รูปที่ 6 ความหนืดมูนนี่ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสม
ระหว่างเขม่าดำและ 2nd filler 17
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง storage modulus และ strain amplitude ของยางธรรมชาติ
เมื่อแปรปริมาณสัดส่วนสารตัวเติมผสม CB/4Q 18
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง storage modulus และ strain amplitude ของยางธรรมชาติ
เมื่อแปรปริมาณสัดส่วนสารตัวเติมผสม CB/HF..... 18
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่าง storage modulus และ strain amplitude ของยางธรรมชาติ
เมื่อแปรปริมาณสัดส่วนสารตัวเติมผสม CB/SC..... 19
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่าง storage modulus (G) และ strain amplitude ของ
ยางธรรมชาติ เมื่อแปรปริมาณสัดส่วนสารตัวเติมผสม CB/HC..... 19
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่าง storage modulus (G) และ strain amplitude ของ
ยางธรรมชาติ เมื่อแปรปริมาณสัดส่วนสารตัวเติมผสม CB/TC..... 20
รูปที่ 12 ความแข็งของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง
เขม่าดำและ 2nd fillers... 21
รูปที่ 13 300% โมดูลัสของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง
เขม่าดำและ 2nd fillers ก่อนการบ่มเร่ง..... 21
รูปที่ 14 ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสม
ระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers ก่อนการบ่มเร่ง..... 22
รูปที่ 15 300% โมดูลัสของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง
เขม่าดำและ 2nd fillers หลังการบ่มเร่ง..... 22
รูปที่ 16 ระยะยืด ณ จุดขาด ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง
เขม่าดำและ 2nd fillers หลังการบ่มเร่ง..... 23
รูปที่ 17 แรงดึงที่จุดขาดของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง
เขม่าดำและ 2nd fillers ก่อนการบ่มเร่ง..... 24

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 18 แรงดึงที่จุดขาดของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers หลังการบ่มเร่ง..... 24

รูปที่ 19 ความทนต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers..... 25

รูปที่ 20 ความทนต่อการขัดสีของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers..... 25

รูปที่ 21 การเสียรูปจากแรงกดของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers..... 26

รูปที่ 22 ขนาดของรอยแตก (เมื่อถูกพับงอจำนวน 20k รอบ) ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่างเขม่าดำและ 2nd fillers 27

รูปที่ 23 ผลของลักษณะรูปร่างของสารตัวเติมต่อ stress concentration ที่ crack tip 27

รูปที่ 24 ความแข็งของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ..... 28

รูปที่ 25 ภาพถ่าย SEM ของ fractured surface ของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ที่ใช้เขม่าดำร่วมกับสารตัวเติมชนิดอื่นๆ และเปรียบเทียบที่ความแข็งเท่ากัน 29

รูปที่ 26 300% โมดูลัสของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน ก่อนและหลังการบ่มเร่ง..... 30

รูปที่ 27 ระยะยืดที่จุดขาดของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน ก่อนและหลังการบ่มเร่ง..... 30

รูปที่ 28 แรงดึงที่จุดขาดของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน ก่อนและหลังการบ่มเร่ง..... 31

รูปที่ 29 ปริมาณการสูญเสียจากการขัดสีของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน..... 31

รูปที่ 30 ความทนต่อการฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน..... 32

รูปที่ 31 การขยายขนาดของรอยแตกของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน..... 32

รูปที่ 32 การเสียรูปจากแรงกดของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน..... 33

รูปที่ 33 ความแตกต่างของแรงบิดยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ 2nd filler ชนิดต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบที่ความแข็งใกล้เคียงกัน..... 33

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดอนุภาค (ที่ d(0.5)) ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Mastersizer (Malvern 2000)..... 5

ตารางที่ 2.2 ชื่อย่อและราคาของสารตัวเติมชนิดต่างๆ..... 6

ตารางที่ 2.3 สูตรที่ใช้ในการศึกษาผลของสัดส่วนของเขม่าดำ/สารตัวเติมชนิดที่สอง ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ..... 7

ตารางที่ 2.4 สูตรที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ใช้เขม่าดำ ร่วมกับสารตัวเติมอื่นๆ เมื่อมีความแข็งเท่ากัน..... 8

ตารางที่ 2.5 ขั้นตอนการผสมยางในเครื่องผสมระบบปิด..... 9

ตารางที่ 2.6 ขั้นตอนการผสมยางคอมพาวด์กับสารช่วยในการวัลคาไนซ์ใน เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง..... 9

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบสมบัติของยาง..... 10

ตารางที่ A1 สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง เขม่าดำและ 4Q..... 36

ตารางที่ A1 สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง เขม่าดำและ HF..... 37

ตารางที่ A1 สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง เขม่าดำและ SC..... 38

ตารางที่ A1 สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง เขม่าดำและ HC..... 39

ตารางที่ A1 สมบัติต่าง ๆ ของยางธรรมชาติเมื่อแปรสัดส่วนของสารตัวเติมผสมระหว่าง เขม่าดำและทัลคัม..... 40

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

NR	ยางธรรมชาติ (Natural rubber)
CB	เขม่าดำ (Carbon black; N330)
4Q	แคลเซียมคาร์บอเนต เกรด 4Q
HF	แคลเซียมคาร์บอเนต เกรด Hifill-S
SC	ซอฟท์เคลย์ (soft clay)
HC	ฮาร์ดเคลย์ (hard clay)
TC	ทัลคัม หรือ ทัลค์ (talcum or talc)