



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ศึกษาการใช้ผงปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

Study of palm oil meal application as natural rubber filler

โดย ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย และคณะ

พฤษภาคม 2549

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

ศึกษาการใช้ผงปาล์มน้ำมันเพื่อเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

Study of palm oil meal application as natural rubber filler

คณะผู้วิจัย

ผศ.ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย

นางสาว ปัทมา อารีศิริสุข

นางสาวมาณวิกา แซ่จัน

สังกัด

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ-มอ.(7)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร (Executive Summary)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการใช้ผงปลัมน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ เพื่อศึกษาผลของสมบัติต่างๆ ที่ได้จากยางคอมเพานด์ โดยหวังว่าผงปลัมน้ำมันจะสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตในระบบอุตสาหกรรมยางได้บ้างไม่มากนักน้อย จากผลการทดลอง พบว่าหากใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติตามล้าพึงไม่ควรใช้เกิน 20 phr และควรใช้ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก 120 เมช. เพื่อให้ได้สมบัติทางกายภาพที่สูง เนื่องจากขนาดอนุภาคของ Mesocarp มีผลต่อการวัลคาไนซ์และสมบัติทางกายภาพของยางคอมเพานด์ นอกจากนั้นพบว่าการใช้ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp จะช่วยทำให้สมบัติด้าน tensile strength เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ใส่ไซเลน ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง ในส่วนของการใช้สารตัวเติมรวม พบว่าซิลิกาและเขม่าดำ ให้ค่า tensile strength ที่ใกล้เคียงกันในทุกขนาดและปริมาณที่เติม โดยเติมได้สูงสุดไม่เกิน 30 phr โดยมีไซเลน 3% ของ Mesocarp ปริมาณ 20 phr ขณะที่เขม่าดำแสดงค่า tear strength ที่สูงกว่าซิลิกาในทุกปริมาณกับยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช ปริมาณ 20 และใช้ไซเลน 3% ของ Mesocarp ร่วมด้วย

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย : RDG4950022

ชื่อโครงการวิจัย : ศึกษาการใช้ผงปลั่มน้ำมันเพื่อเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

นักวิจัย : ผศ. ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัยและคณะ (สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่) อ. หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112

E-mail Address: Orasa.p@psu.ac.th

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย : 1 พฤศจิกายน 2548 – 30 เมษายน 2549

การศึกษาการใช้ผงปลั่มน้ำมันในส่วนของ Mesocarp เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ(STR20) ต่อสมบัติทางกายภาพของยางคอมเพานด์ โดยแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp (80,100 และ 120 เมช. หรือ 177, 149 และ 125 ไมครอน) อีกทั้งใช้ไซเลน(Si-69) เป็น coupling agent และใช้ซิลิกาหรือเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วม พบว่าขนาดอนุภาคของ Mesocarp มีผลต่อการวัลคาไนซ์ และสมบัติทางกายภาพของยางคอมเพานด์ กล่าวคือยังมีขนาดอนุภาคเล็ก (120 เมช.) ยิ่งทำให้ cure time และ scorch time เร็วกว่าการใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาค 100 และ 80 เมช. นอกจากนี้พบว่าการใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาคเล็กส่งผลให้ 300% modulus, tensile strength และ tear resistance สูงกว่าที่ใช้ขนาดอนุภาคใหญ่ และยิ่งใส่ Mesocarp ในปริมาณมากขึ้นสมบัติทางกายภาพยิ่งลดลง โดยสังเกตได้ชัดเจนว่ายางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ให้ค่า 300% modulus และ tear resistance สูงกว่าที่ไม่เติม Mesocarp ในทุกปริมาณ ขณะที่ Mesocarp ขนาดอนุภาค 100 และ 80 เมช. ให้สมบัติดังกล่าวข้างต้นต่ำกว่าที่ไม่เติม Mesocarp สำหรับค่า tensile strength ของยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช. (โดยใส่ได้ในปริมาณต่ำกว่า 20 phr) จะแสดงสมบัติที่สูงกว่าที่ไม่เติม Mesocarp นอกจากนั้นพบว่าการใช้ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp จะช่วยทำให้สมบัติด้าน tensile strength เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ไม่ใส่ไซเลนทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง ถึงแม้จะใส่ Mesocarp เพิ่มขึ้นถึง 20 phr ในส่วนของการใช้สารตัวเติมร่วม พบว่าซิลิกาและเขม่าดำ ให้ค่า tensile strength ที่ใกล้เคียงกันในทุกขนาดและปริมาณที่เติม โดยเติมได้สูงสุดไม่เกิน 30 phr โดยมีไซเลน 3% ของ Mesocarp ปริมาณ 20 phr ขณะที่เขม่าดำแสดงค่า tear strength ที่สูงกว่าซิลิกาในทุกปริมาณกับยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช ปริมาณ 20 และใช้ไซเลน 3% ของ Mesocarp ร่วมด้วย

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ, กากปลั่มน้ำมัน, สารตัวเติม, มีโซคาบ

Abstract

Project Code : RDG4950022

Title Study of palm oil meal application as natural rubber filler

Investigator : Assist. Prof. Dr. Orasa Patarapaiboolchai, et al. (polymer science program, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hadyai Campus, Songkhla 90112)

E-mail Address: Orasa.p@psu.ac.th

Project Period: November 1, 2005 – April 30, 2006

Mesocarp from palm oil meal is studied for being a filler in natural rubber (STR20) compound on physical properties by varying content and size of mesocarp (80, 100 and 120 mesh or 177, 149 and 125 micron), including using silane (Si-69) as coupling agent and silica or carbon black as a co-filler in rubber compound. It was found that size of mesocarp has effect on vulcanizing time and physical properties of rubber compound, that is the smaller particle size (120 mesh) of mesocarp used the faster cure time and scorch time obtained than the bigger particle size (100 and 80 mesh). In addition, the smallest particle size (120 mesh) of mesocarp used obviously shows in higher 300% modulus, tensile strength and tear resistance than bigger particle size. Moreover, the more amount of mesocarp loaded, the decrease in physical properties will be obtained. It was obvious seen that mesocarp with particle size 120 mesh loaded provides higher 300% modulus and tear resistance than without mesocarp loaded in every amount used while mesocarp with particle size 100 and 80 mesh show lower properties which mentioned above than without mesocarp loaded. For tensile strength, mesocarp with particle size 120 mesh in rubber compound (only less than 20 phr loaded) is able to maintain higher tensile strength than without mesocarp loaded. Moreover, with using 3% silane based on amount of mesocarp can be improved in higher tensile strength that is mesocarp can be loaded up to 20 phr without decreasing in properties comparable to no silane added both in before and after aging. Furthermore, it was found that using silica or carbon black as a co-filler tensile strength of both types is not significant difference in every particle size and in amount loaded. The highest amount of co-filler loaded can be not more than 30 phr with necessary having 3 % silane based on amount of mesocarp 20 phr in order to obtain the highest physical properties. Finally, carbon black shows in higher tear strength than silica in every amount loaded with rubber compound having mesocarp 120 mesh and 3% silane of mesocarp 20 phr.

Keywords : rubber, palm oil meal ,filler, mesocarp

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัย ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณ นางสาว ปัทมา อริสิริสุข และ นางสาวมาณวิกา แซ่จัน ที่ตั้งใจทำงาน และเจ้าหน้าที่ประจำวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำวิจัย จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย

9 มีนาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
เนื้อหา	
1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย	1
2 วัตถุประสงค์	1
3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง	2
4 วิธีดำเนินการวิจัย	3
4.1 ศึกษาผลของขนาดและปริมาณของ Mesocarp ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมปอนด์	3
4.2 ศึกษาผลของการแปรปริมาณ Silane coupling agent ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมปอนด์	3
4.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมร่วม ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมปอนด์	3
5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง	8
ผลของขนาดและปริมาณของ Mesocarp ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์	8
ผลของการแปรปริมาณไซเลนต่อลักษณะการวัลคาไนซ์	9
ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมร่วมต่อลักษณะการวัลคาไนซ์	9
ผลของการแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Tensile Strength	10
ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปอนด์ต่อค่า Tensile Strength	11
ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมปอนด์ต่อค่า Tensile Strength	12
ผลของการแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า 300% Modulus	13
ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปอนด์ต่อค่า 300% Modulus	14
ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมปอนด์ ต่อค่า 300% Modulus	15

ผลของการแปรปรมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Elongation @ break	16
ผลของการแปรปรมาณไชนเลนในยางคอมเปานด์ต่อค่า Elongation @ break	17
ผลของชนิดและการแปรปรมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมเปานด์ ต่อค่า Elongation @ break (%)	18
ผลของการแปรปรมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Tear Strength	19
ผลของการแปรปรมาณไชนเลนในยางคอมเปานด์ต่อค่า Tear Strength	19
ผลของชนิดและการแปรปรมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมเปานด์ ต่อค่า Tear Strength	20
ผลของการแปรปรมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Hardness	21
ผลของการแปรปรมาณไชนเลนในยางคอมเปานด์ต่อค่า Hardness	21
ผลของชนิดและการแปรปรมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมเปานด์ต่อค่า Hardness	22
ผลของขนาด Mesocarp ต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ	22
ผลของการแปรปรมาณไชนเลนต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ	23
ผลของชนิดและการแปรปรมาณของสารตัวเติมร่วมต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ	24
การยึดติดระหว่างยางกับอนุภาคของ Mesocarp ที่ขนาดต่าง ๆ	25
การกระจายตัวของอนุภาค Mesocarp ขนาด 120 เมช. ที่การใส่ไชนเลนปริมาณต่าง ๆ	26
ลักษณะพื้นผิวของยางที่มีการใช้สารตัวเติมร่วม	27
6 สรุปผลการทดลอง	27
7 ข้อเสนอแนะในการวิจัยเพิ่มเติม	29
8 เอกสารอ้างอิง	30

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	สูตรที่ใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม ทำการใส่ Mesocarp ในปริมาณ 10-50 phr.	3
4.2	ลำดับการใส่สารเคมีที่ใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม	4

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1.	แสดงลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมันและตำแหน่งของ Mesocarp	2
5.1	ลักษณะการวัดคาไนซ์ของยางที่เติม Mesocarp ในขนาดและปริมาณต่างกัน: (a) Optimum cure time (b) Scorch time	8
5.2	ลักษณะการวัดคาไนซ์ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ที่ปริมาณ 20 phr.	9
5.3	เวลาในการวัดคาไนซ์ของยางที่แปรปริมาณสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณ 20 phr. และใช้ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp	9
5.4	สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	10
5.5	แสดงสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่าง ๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	11
5.6	แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่มีชนิดและสารตัวเติมร่วมในปริมาณต่างๆ ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.: (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	12
5.7	แสดง 300% มอดูลัสของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	13
5.8	แสดงค่า 300% มอดูลัสของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่าง ๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	14
5.9	ค่า 300% มอดูลัสของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกันร่วมกับ Mesocarp เมช.ขนาด 120 และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr. : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	15
5.10	ค่า Elongation @ break ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	16
5.11	ค่า Elongation @ break(%)ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่างๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	17
5.12	ค่า Elongation @ break(%) ของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช.และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.: (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง	18

5.13	แสดงค่า Tear Strength ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp	19
5.14	แสดงสมบัติ Tear Strength ของยางที่แปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120	19
5.15	ค่า Tear Strength ของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr	20
5.16	แสดงค่า Hardness ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp	21
5.17	แสดงค่า Hardness ของยางที่แปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่างๆ	21
5.18	แสดงค่า Hardness ของยางที่มีชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr	22
5.19	แสดง Abrasion Index ของยางที่มีขนาดของ Mesocarp ต่างกันในปริมาณ 20 phr.	22
5.20	แสดงค่า Abrasion Index ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณ 20 phr.	23
5.21	แสดง Abrasion Index ของยางที่มีชนิดของสารตัวเติมร่วมต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ปริมาณ 20 phr. ที่มีขนาดต่างกัน	24
5.22	แสดงอันตรกิริยาระหว่างยางกับ Mesocarp ปริมาณ 20 phr. ในระบบที่ไม่ใช้ไซเลน : (a) ขนาดอนุภาค 80 เมช. (b) ขนาดอนุภาค 100 เมช. (c) ขนาดอนุภาค 120 เมช.	25
5.23	แสดงการกระจายตัวของ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. ที่ปริมาณ 20 phr. โดยมีความเข้มข้นของไซเลนเป็น (a) 0% ของปริมาณ Mesocarp (b) 1% ของปริมาณ Mesocarp (c) 3% ของปริมาณ Mesocarp (d) 5% ของปริมาณ Mesocarp	26
5.24	แสดงถึงผิวหน้าของยางที่มีการเติมสารตัวเติมร่วมในยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr. : (a) ซิลิกา (b) เหม่ดำ	27

1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปาล์มน้ำมัน(oil palm) มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ คือ *Elaeis guineensis* Jacq. เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเหมาะสมกับสภาพอากาศร้อนชื้น จัดอยู่บริเวณใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นปาล์มน้ำมันจึงเจริญเติบโตได้ดีในภาคใต้ของประเทศบริเวณพื้นที่ที่ปลูกมากที่สุด คือ จังหวัดกระบี่ สุราษฎร์ธานี ชุมพร สตูลและตรัง โดยเฉพาะจังหวัดกระบี่ ปลูกมากที่สุดจำนวน 537,637 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 39.40 และรองลงมาได้แก่จังหวัดสุราษฎร์ธานี 405,213 ไร่ และจังหวัดชุมพร 216,798 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 29.70 และ 15.89 ของพื้นที่ปลูกทั้งประเทศตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากผลตอบแทนการปลูกปาล์มน้ำมันดีกว่า การปลูกพืชชนิดอื่นเช่นยางพาราและการทำนาข้าว จึงเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรขยายพื้นที่ปลูกประกอบกับมีโครงการเปลี่ยนพื้นที่ปลูกปาล์มทั่วประเทศ คาดว่าปริมาณความต้องการน้ำมันปาล์มภายในเพิ่มขึ้นมากทั้งนี้เพราะราคาน้ำมันปาล์มในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น ทำให้ความแตกต่างของราคาภายในและภายนอกประเทศไม่จูงใจให้มีการลักลอบเข้ามาบริโภคทั้งหมดเพิ่มขึ้นสูงเช่นกัน โดยในปี 2539 ส่วนแบ่งของน้ำมันปาล์มต่อการบริโภครวมของโลกเท่ากับร้อยละ 15.42 เพิ่มขึ้นเป็น ร้อยละ 17.81, 22.00 และ 25.39 ในปี 2543, 2553 และ 2563 ตามลำดับ และเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มและทำรายได้ให้กับประเทศ จากวัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันนอกจากการใช้เป็นอาหารสัตว์แล้ว ยังไม่มีการทำวิจัยเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากกากปาล์มเหลือใช้ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดร่วมกับยางธรรมชาติ มีเพียงการวิจัยการใช้งานในรูปแบบเส้นใยจากปาล์มน้ำมันร่วมกับยางอีพ็อกซีไดส์

ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการนำกากปาล์มน้ำมันมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติที่สามารถออกสูตรยางคอมปอนด์คุณสมบัติได้ ซึ่งจะช่วยในการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มมูลค่าจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ที่ผลิตได้ภายในประเทศ

2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของยางคอมปอนด์ที่ใช้กากปาล์มน้ำมันเป็นสารตัวเติม

3 ทฤษฎี แนวคิดในการวิจัย และผลงานที่เกี่ยวข้อง

ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนนิ่มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น สำหรับสารตัวเติม(Filler) ในยางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

I. สารตัวเติมชนิดไม่เสริมประสิทธิภาพ (Non-reinforcing filler) เติมนลงไปในช่วงเพื่อลดต้นทุนการผลิต เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และดินขาว เป็นต้น

II. สารตัวเติมชนิดเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing filler) เติมนลงไปในช่วงเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น เชมดำ และซิลิกา เป็นต้น เนื่องจากซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ ทำให้การยึดเกาะกับยางซึ่งเป็นสารอินทรีย์ได้ไม่ดีเท่ากับการยึดเกาะระหว่างยางกับเชมดำ ดังนั้นถ้าจะใช้สารตัวเติมชนิด

ซิลิกาให้มีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องใช้สารช่วยยึดเกาะระหว่างยางกับซิลิกา (Silane Coupling Agent)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากาการใช้กากปาล์มน้ำมันซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม มาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ รายละเอียดของลักษณะปาล์มน้ำมันแสดงใน Figure 3.1.

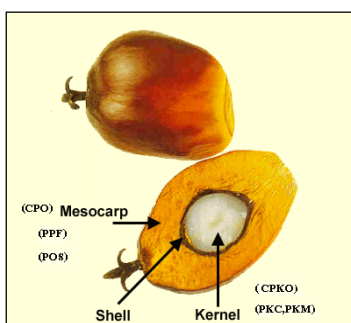


Figure 3.1. : แสดงลักษณะทั่วไปของปาล์มน้ำมันและตำแหน่งของ Mesocarp

กากปาล์มน้ำมัน (Oil palm meal) เป็นผลพลอยได้จากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม กากปาล์มน้ำมันที่พบในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ กากผลปาล์ม (crude palm oil, CPO) เป็นกากเหลือจากการหีบน้ำมัน อยู่ในรูปเส้นใย (palm press fiber, PPF) และกากเมล็ดปาล์ม (crude palm kernel oil, CPKO) เมื่อผ่านกระบวนการหีบน้ำมันออก กากที่เหลือจะมีลักษณะแข็งแข็ง เป็นแผ่น (palm kernel cake, PKC) หรือ เป็นผงละเอียด (palm kernel meal, PKM)

Ismail และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลและลักษณะของการวัลคาไนซ์ และ สมบัติเชิงกล ของยางธรรมชาติที่ใช้เส้นใยจากผลปาล์มน้ำมันเป็นเส้นใยเสริมแรงในยางธรรมชาติโดยศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างเส้นใยปาล์ม (10 mm.) ปกติกับเส้นใยที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพด้วย สารที่มีสมบัติเป็นอัลคาไลต์ NaOH (10% ที่ปริมาณต่างกันคือ 155, 300 phr. และ ใช้ bonding agent ได้แก่ Phenol formaldehyde (PF), resorsinol-formaldehyde (RF), precipitated silica, hexa) ที่อัตราส่วนต่างกัน พบว่าได้ผลคล้ายกันกับ การศึกษาข้างต้นคือเส้นใยปาล์มที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิว สามารถให้ค่าสมบัติเชิงกลดีขึ้นกว่าเส้นใยที่ไม่มีการปรับสภาพผิว และเมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดอิเล็กตรอนส่องกราด (SEM) เส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพผิว มีการยึดติดกับยางได้ดีขึ้นที่ปริมาณเส้นใยปาล์ม 30 - 15 phr. ให้ค่าสมบัติเชิงกล ดีกว่าที่ 50 phr. และ ระบบ bonding agent มีผลต่อสมบัติเชิงกล อัตราส่วนที่ให้สมบัติเชิงกลดีได้แก่ RF : Sil: Hexa (5 : 2 : 5) > RF : Sil (5 : 2) > PF (10 phr)

Ismail และ H.P.S. Abdul Khalil (2001) ศึกษาผลจากใช้ซิลิกาและสาร silane coupling agent ในการปรับสภาพเพื่อใช้ร่วมกับสารตัวเติมจากผงไม้จากลำต้นของปาล์มน้ำมันในยางธรรมชาติที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน พบว่าการเพิ่มซิลิกาทำมีความสามารถในการรับแรงได้ดี มีความแข็งแรงสูงเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงที่สุดเมื่อใช้ อัตราผงไม้ต่อซิลิกาที่ 15 ต่อ 35 phr. แต่พบว่าใช้เวลา cure time นานถึง 42 นาที ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นการใช้ Si-69 เป็น coupling agent ในการปรับสภาพ ทำให้สารตัวเติมทั้งซิลิกาและผงไม้ปาล์มน้ำมันสามารถยึดเกาะกับยางได้ดีขึ้น

4 วิธีดำเนินการวิจัย

ทำการศึกษาผลการใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม (โดยใช้สูตรพื้นฐานตามตารางที่ 1 และทำการผสมตามตารางที่ 2) ต่อสมบัติต่างๆ เช่น Cure time และ Scorch time ของยางคอมเพานด์ , ทดสอบความทนต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการยืดของยาง และความสามารถในการยืดจนขาดของยางคงรูป ทั้งก่อนและหลังทำการบ่มเร่ง, ทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาดของยางคงรูป, ทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอของยางคงรูปและตรวจสอบความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติกับสารตัวเติมต่างๆ โดยการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscopy) นอกจากนั้นยังได้ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมร่วม โดยศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

- 4.1 ศึกษาผลของขนาดและปริมาณของ Mesocarp ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมเพานด์
- 4.2 ศึกษาผลของการแปรปริมาณ Silane coupling agent ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมเพานด์
- 4.3 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมร่วม ต่อสมบัติต่างๆ ของยางคอมเพานด์

ตารางที่ 4.1 สูตรที่ใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม ทำการใส่ Mesocarp ในปริมาณ 10-50 phr.

ส่วนผสม	phr.				
	10	20	30	40	50
ยางธรรมชาติ	100	100	100	100	100
ZnO	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Stearic acid	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Lowinox CPL	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Antilux654A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mesocarp	10	20	30	40	50
CBS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulphur	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

ตารางที่ 4.2 ลำดับการใส่สารเคมีที่ใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม

เวลา (นาทีก)	ขั้นตอนการทำ
0	บดยางจนพื้นลูกกลิ้งและมีผิวเรียบสม่ำเสมอ
2.0	เติม ZnO
3.5	ใส่ Mesocarp $\approx \frac{1}{2}$ ของปริมาณ Filler ทั้งหมด
6.0	ใส่ Stearic acid
7.0	ใส่ Lowinox CPL
8.0	เติม Antilux 654A
9.0	เติม Mesocarp $\approx \frac{1}{2}$ ที่เหลือ
12.0	ใส่ CBS
13.0	ตัดม้วนยาง 6 ครั้ง
14.0	เติมกำมะถัน
16.0	รีดออกเป็นแผ่นยางหนา ≈ 1 ซม.

วิธีทดสอบ ทำการทดสอบด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. การหา Cure time และ Scorch time

ศึกษาหาเวลาการวัลคาไนซ์ (Cure time) และ Scorch time ของยางคอมเพานด์ ด้วยเครื่อง Moving Die Rheometer (MDR)

ทำการตัดยางคอมเพานด์ที่ต้องการทดสอบ โคนตัดขึ้นตัวอย่างนำไปชั่งให้น้ำหนัก 4.0 – 4.5 กรัม ทำการวัดลักษณะการวัลคาไนซ์ โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที

2. การทดสอบความทนต่อแรงดึง, ความต้านทานต่อการยืดของยาง และความสามารถในการยืดจนขาด

2.1 นำยางที่ได้จากการขึ้นรูป มาตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมเบลตามมาตรฐาน ASTM D412-68 จำนวนอย่างน้อย 5 ชิ้น

2.2 วัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้

2.3 นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดจนขาดของยางด้วยเครื่อง LLOYD INSTRUMENT ดึงในอัตราเร็ว 500 มิลลิเมตร / นาที รายงานผลเป็นแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัด (N / mm² หรือ MPa)

การทดสอบนี้จะทำการทดสอบทั้งก่อนและหลังบ่มแรง ซึ่งการทดสอบแบบบ่มแรงทำดังนี้

2.4 นำยางคอมเพนดท์ที่ได้จากการขึ้นรูป มาตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412-68 จำนวน 5 ชิ้น

2.5 นำชิ้นตัวอย่างไปอบในตู้อบแบบอากาศร้อน (Hot air oven) โดยใช้อุณหภูมิ 100° C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ตามมาตรฐาน ASTM D573

2.6 เมื่ออบชิ้นตัวอย่างครบตามเวลาที่กำหนด นำชิ้นตัวอย่างออกจากตู้อบวางชิ้นตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วจึงวัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้

2.7 นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดขนาดของยางด้วยเครื่อง LLOYD INSTRUMENT ดึงในอัตราเร็ว 500 มิลลิเมตร/นาที รายงานผลเป็นแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัด (N / mm² หรือ MPa)

การคำนวณ

$$\text{Tensile Strength} = \frac{\text{Max load}}{A}$$

A

โดย Max load = แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N.)
A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm²)

$$\% \text{ Elongation at Break} = 100 \times (L - L_0) / L_0$$

โดย L = ระยะที่ชิ้นทดสอบถูกยืดตัวจนขาด (cm.)
L₀ = ระยะก่อนทำการทดสอบ (cm.)

$$\text{Modulus 300\% (N/mm}^2\text{)} = \frac{\text{load300\%}}{A}$$

A

โดย Load300% = แรงที่ใช้ในการทำให้ยางยืดออก 300%(N.)
A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm²)

3. วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการฉีกขาด(Tear Resistance)

3.1 นำยางคอมเพนดท์ที่ได้จากการขึ้นรูป มาตัดเป็นชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D624-54 อย่างน้อยจำนวน 5 ชิ้น

3.2 วัดความหนาของชิ้นตัวอย่าง 3 ตำแหน่ง และคำนวณค่าเฉลี่ยของความหนาที่วัดได้

3.3 นำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบความทนต่อแรงดึงและความต้านทานต่อการยืดขนาดของ

ยางด้วยเครื่อง LLOYD INSTRUMENT ดึงในอัตราเร็ว 500 มิลลิเมตร / นาที รายงานผลเป็นแรงดึงต่อความหนาของชิ้นตัวอย่าง (N/mm หรือ kN/m.)

การคำนวณ

$$\text{Tear strength} = \frac{\text{Max load}}{D}$$

D

โดย Max load = แรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N.)

D = ความหนาของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm.)

4. วิธีการวัดค่าความแข็งของยาง (Hardness)

4.1 นำชิ้นทดสอบที่มีความหนา ทำการทดสอบด้วยเครื่องวัดความแข็งแบบ shore A ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ในที่นี้ใช้ชิ้นงานวางซ้อนกันเพื่อให้ได้ความหนาที่ต้องการมาตรฐาน (8-10 mm)

4.2 ปรับเทียบเครื่องวัดตามคู่มือการใช้เครื่อง

4.3 ใช้หัวกดยางค้างไว้ 30 วินาทีแล้วจึงอ่านค่าความแข็งที่ได้

- วิธีการใช้เครื่องวัดความแข็ง

ทำการ calibrate เครื่องด้วยชุดทดสอบมาตรฐาน 40 shoreA



วางชิ้นตัวอย่างบนแท่นวาง



หมุนแท่นวางชิ้นตัวอย่างให้ชนกับเข็มด้านบน



อ่านค่าที่ได้จากสเกลวัด



ทำการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยเปลี่ยนจุดที่วัดทุกครั้ง

- การรายงานค่า ค่าความแข็งจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ยของความแข็ง (shore A)

5. วิธีการทดสอบความต้านทานต่อการสึกหรอ

ตัวอย่างยางที่ใช้ได้มาจากการขึ้นรูปตามมาตรฐาน ASTM D5963 มีลักษณะเป็นแผ่นกลมหนา 12.7 +0.5-0.0 มม. และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 63.5±0.5 มม. ตรงกลางมีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12.7 +0.0-0.5 มม. นำตัวอย่างตัดขอบที่เกิดจากการอัดเบ้าให้เรียบร้อย ชั่งน้ำหนัก นำส่วนหนึ่งไปหาความถ่วงจำเพาะ จากนั้นให้นำตัวอย่างยางดังกล่าวมาใส่เข้าไปในเครื่อง Akron abrader หมุนให้ครบ 500 รอบ

5.1 นำตัวอย่างไปชั่ง คำนวณหาปริมาตรของยางที่หายไป จากปริมาตรที่หายไปนี้ให้นำยางดังกล่าวไปเดิน "running-in" โดยให้มีจำนวนรอบเท่ากับที่มาตรฐานกำหนด

5.2 หลังจากที่ได้ “running-in” แล้ว ให้นำยางไปชั่งแล้วทำการเดินเครื่อง 5 ครั้งติดต่อกันโดยแต่ละครั้งที่ทำให้เดินเท่ากับจำนวนรอบที่ได้ระบุไว้ในมาตรฐาน

5.3 บริเวณผิวของหินขัดจะต้องทำความสะอาดทุกครั้งด้วยแปรงลวดในขณะที่ได้นำยางออกไปชั่ง เมื่อนำยางกลับมาทดสอบใหม่อีกครั้ง จะต้องใส่ยางเข้าไปในตำแหน่งเดิมทุกครั้ง ห้ามกลับยางนั้น คือด้านใดที่อยู่ติดกับสกรู ก็ให้อยู่ด้านสกรูดังเดิม ในการทดสอบทั้ง 5 ครั้งนำผลมาเฉลี่ยกัน ถ้าผลการทดสอบใดมีค่าแตกต่างไปจากค่าเฉลี่ย $\pm 10\%$ ให้ทดสอบใหม่สำหรับค่านั้น

จากค่าเฉลี่ยในการทดสอบ 5 ครั้งนั้น ให้คำนวณหาปริมาตรของยางที่สูญหายไปจากการเดินเครื่องหมุน 1000 รอบ

การคำนวณ

การรายงานผลค่าความสึกหรอโดยทั่วไปบอกเป็น “ดัชนีของการสึกหรอ” (Abrasion index) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการสึกหรอของยางมาตรฐาน(เขม่าดำ) กับยางที่ต้องการทดสอบโดยคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Abrasion index} = (S / T) \times 100$$

เมื่อ S = ปริมาตรของยางมาตรฐาน ที่สูญหายจากการหมุนหินขัด 1000 รอบ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการหมุน 5 ครั้ง

T = ปริมาตรของยางตัวอย่างที่สูญหายจากการหมุนหินขัด 1000 รอบ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการหมุน 5 ครั้ง

ค่าความสึกหรอ = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักยางที่หายไป 1000 รอบ โดยเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 5 ครั้ง
--

6. การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscopy)

6.1 ศึกษาตรวจสอบความเข้ากันได้ของยางธรรมชาติกับสารตัวเติมต่างๆ โดยการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscopic)

6.2 นำยางที่ได้จากการอัดขึ้นรูปเตรียมชิ้นตัวอย่างโดยการนำชิ้นทดสอบไปแช่ในไนโตรเจนเหลว หักเมื่อยางเปราะ และเคลือบด้วยทองคำก่อนนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(JEOL JSM5800L) ที่บริเวณผิวหน้าที่เกิดจากการหักขึ้นตัวอย่าง โดยตรวจสอบลักษณะดังนี้

- ตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค Mesocarp ในเนื้อยาง
- ตรวจสอบลักษณะการยึดติดระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ขนาดต่างๆ
- ตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของชิ้นตัวอย่าง

5 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการทดลอง

- ผลของขนาดและปริมาณของ Mesocarp ต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

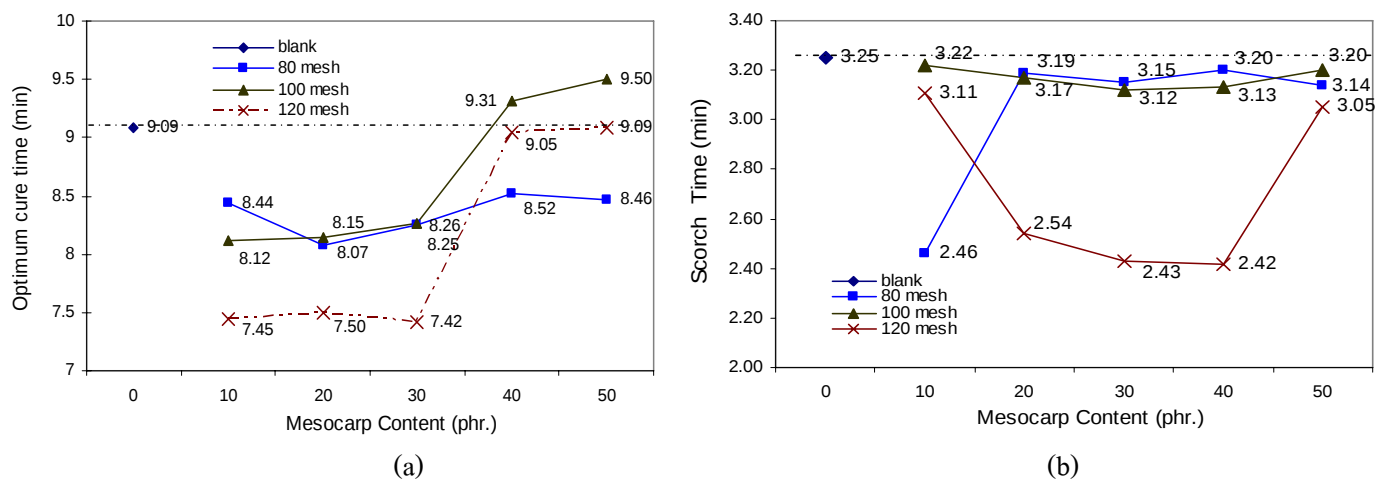


Figure 5.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางที่เติม Mesocarp ในขนาดและปริมาณต่างกัน:

(a) Optimum cure time (b) Scorch time

จาก Figure 5.1 จะสังเกตว่า ภาพ (a) เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางนั้นจะสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของ Mesocarp และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ปริมาณ 40 phr. โดยเฉพาะยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. เป็นสารตัวเติม ส่วนยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 100 เมช. ที่ให้เวลาในการวัลคาไนซ์ที่นานที่สุดในช่วง 30 ถึง 50 phr. ซึ่งในปริมาณ 10-30 phr. เวลาในการวัลคาไนซ์จะต่ำกว่าการใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อถึงปริมาณ 40 phr. แต่ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะให้เวลาในการวัลคาไนซ์ที่น้อยกว่าขนาดอื่นๆ สำหรับ ภาพ (b) พบว่า ยางที่มีการใส่ Mesocarp เป็นสารตัวเติม จะมีเวลาการสกอร์ชที่น้อยกว่า Blank ในทุกขนาดและทุกปริมาณ เมื่อสังเกตผลของขนาดที่แตกต่างกัน ก็เห็นว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะมีเวลาการสกอร์ชที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ 20 phr. ส่วนยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 100 เมช. จะมีเวลาการสกอร์ชที่ลดลงอย่างช้าๆ ที่ 10 ถึง 40 phr. และสูงขึ้นเล็กน้อยที่ 50 phr. แต่ในกรณีของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. นั้น ค่าเวลาการสกอร์ชของยางจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ 20 phr. และสูงขึ้นอีกที่ 50 phr. ซึ่งจะเห็นว่า 120 เมช. จะให้เวลาการสกอร์ชที่น้อย สอดคล้องกับเวลาการวัลคาไนซ์ของยาง

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

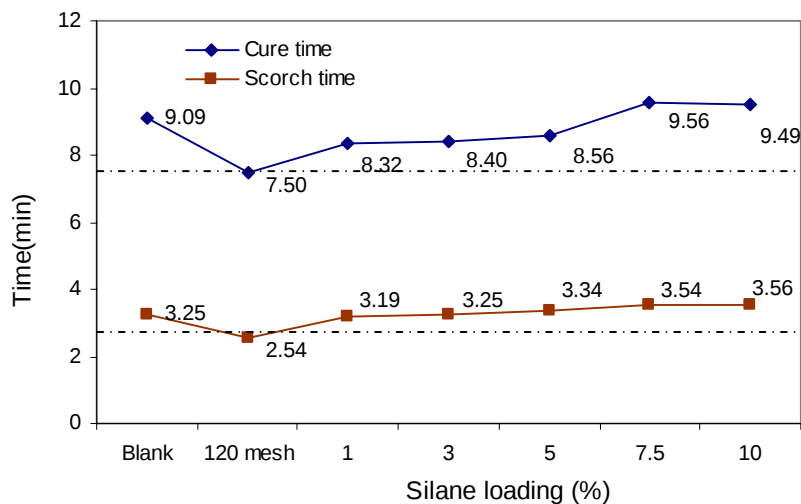


Figure 5.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ที่ ปริมาณ 20 phr.

จาก Figure 5.2 พบว่า ผลของการแปรปริมาณไซเลนที่ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยให้ยางกับสารตัวเติมมา ชิดเกาะกันในยางคอมปอนด์ที่ใช้ Mesocarp ปริมาณ 20 phr. จะทำให้ทั้งเวลาในการคงรูปและเวลาการสุก ก่อนกำหนดของยาง เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณความเข้มข้นของไซเลนที่เพิ่มขึ้น และจะเห็นว่ายางที่ใส่ Mesocarp แต่ไม่ใส่ไซเลนจะลดเวลาในการวัลคาไนซ์และเวลาการสกอ์ชได้ อาจเนื่องมาจากการใส่ไซเลน จะมีการเกิดปฏิกิริยาในการสร้างพันธะเคมีของสารช่วยยึดระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp จึงทำให้เวลา ในการคงรูปเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

- ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมร่วมต่อลักษณะการวัลคาไนซ์

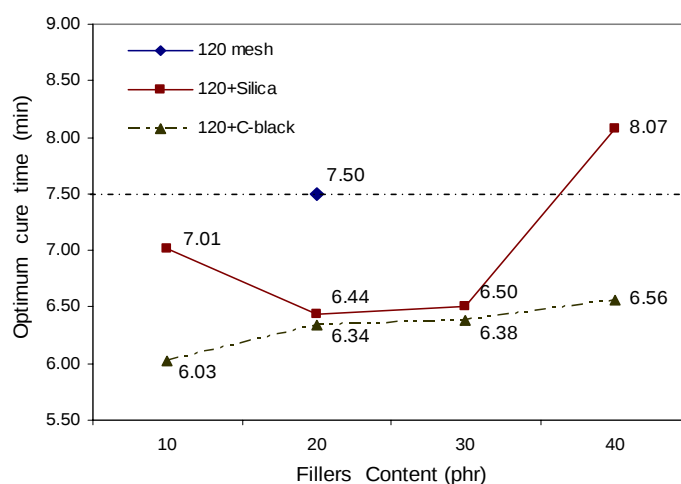


Figure 5.3 เวลาในการวัลคาไนซ์ของยางที่แปรปริมาณสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช.

ปริมาณ 20 phr. และใช้ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp

จาก Figure 5.3 พบว่า ขางคอมเปาน์ดที่แปรปริมาณซิลิกาและเขม่าดำร่วมกับ Mesocarp จะให้เวลาในการคงรูปที่เหมาะสม (tc_{90}) ที่น้อยกว่ายางที่ไม่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมในทุกปริมาณ โดยยางที่แปรปริมาณเขม่าดำจะมีค่า cure time (tc_{90}) ที่เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆตามปริมาณของเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำ จะพบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำจะให้ค่า cure time (tc_{90}) ที่น้อยกว่ายางที่ใช้ซิลิกาในทุกปริมาณ สำหรับยางที่ใช้ซิลิกาจะเห็นว่า ค่าเวลาในการวัลคาไนซ์จะลดลงเรื่อยๆในช่วงการแปรปริมาณที่ 10 ถึง 30 phr. แต่กลับมีค่าเพิ่มขึ้นอีกที่ 40 phr. แสดงว่าเขม่าดำจะเป็นสารตัวเติมที่ช่วยลดเวลา cure time (tc_{90}) ของยางได้ดีกว่าซิลิกา

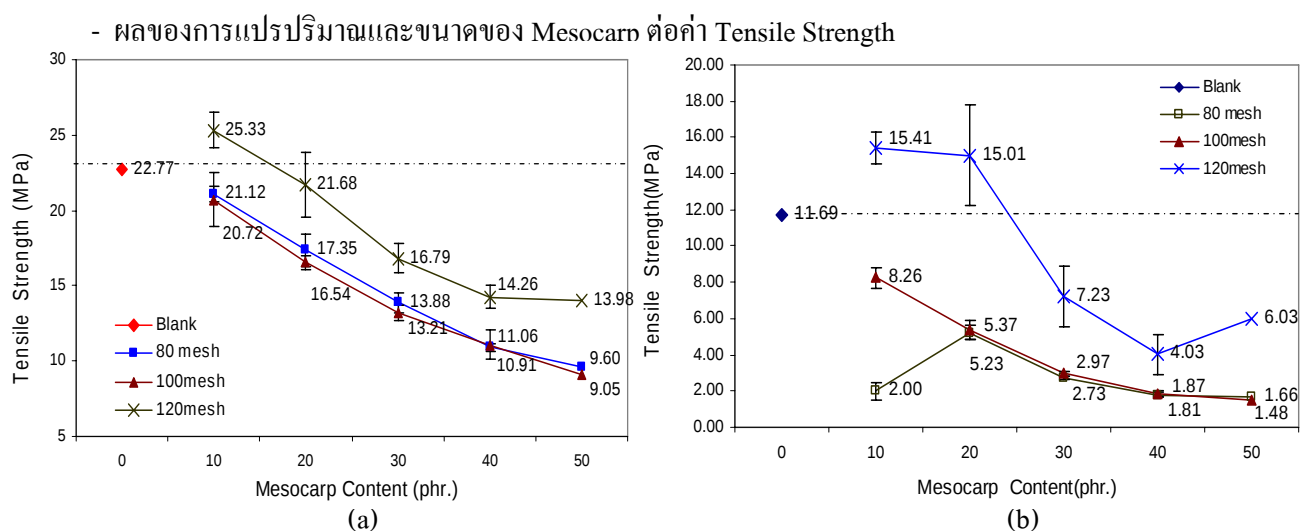


Figure 5.4 สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp

: (a) ก่อนการบ่มแรง (b) หลังการบ่มแรง

จาก Figure 5.4 พบว่า สมบัติความทนต่อแรงดึงของยางคอมเปาน์ดที่มีการเติม Mesocarp จะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของ Mesocarp ซึ่งที่สภาวะการบ่มแรง ภาพ (a) นี้ ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ค่าที่ดีกว่าการใช้ Mesocarp ขนาดอื่นๆในทุกปริมาณ โดยยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. และ 100 เมช. จะให้ค่า Tensile Strength สูงกว่า blank ที่ปริมาณ 10 phr. เท่านั้น และเมื่อเพิ่มปริมาณ Mesocarp มากขึ้น ค่าจะลดลงต่ำกว่า blank อย่างต่อเนื่อง

จากภาพ (b) พบว่า เมื่อทำการบ่มแรงยางคงรูป ค่า Tensile Strength จะต่ำกว่าค่าที่ได้ในสภาวะก่อนการบ่มแรงที่ทุกขนาดและทุกปริมาณการใช้ Mesocarp โดยแนวโน้มของค่าความทนต่อแรงดึงจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น ที่ทุกขนาดและทุกปริมาณเช่นกัน โดยค่า Tensile Strength ที่ได้จากยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. จะมีค่าต่ำกว่า blank ในทุกปริมาณ แต่ยางที่ใช้

Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. จะมีค่าต่ำกว่า blank ในทุกปริมาณ แต่ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ค่า Tensile Strength ดีกว่า blank ที่ปริมาณ 10 และ 20 phr. และจะลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากการเพิ่มปริมาณของ Mesocarp มากขึ้น

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมเปาน์ดต่อค่า Tensile Strength

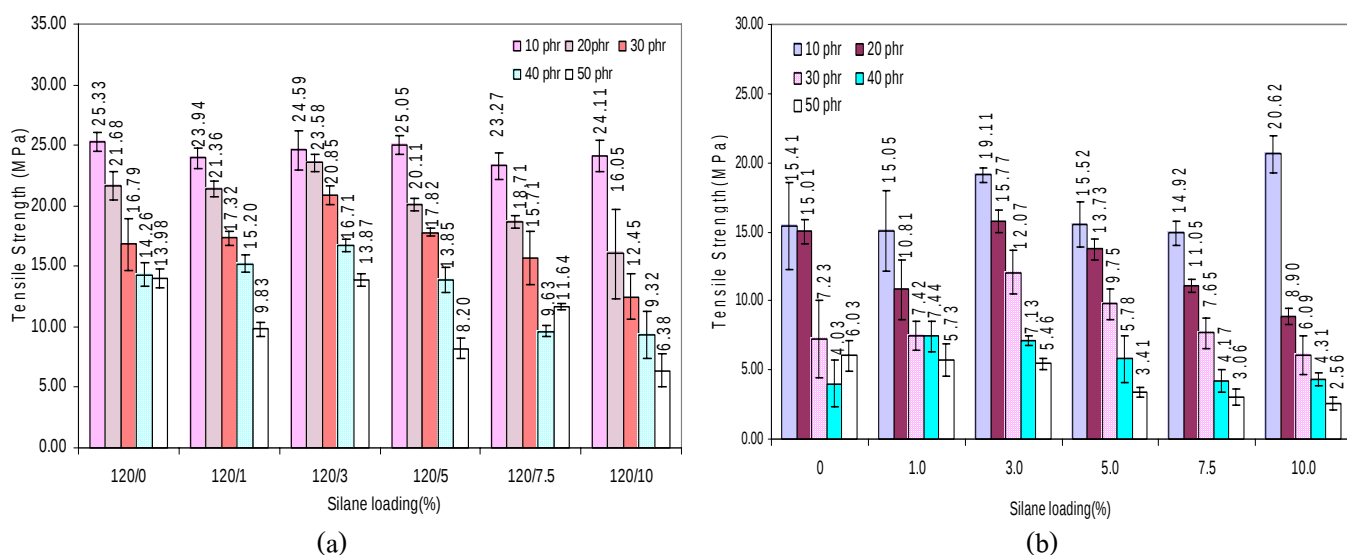


Figure 5.5 แสดงสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่าง ๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง

จาก Figure 5.5 พบว่า ที่สภาวะก่อนการบ่มเร่ง ภาพ (a) ยางที่มีการใส่ไซเลนเป็น 3 % ของปริมาณ Mesocarp จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงที่ดีกว่าการใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียวที่ 20 ถึง 40 phr. แต่ที่ 50 phr. จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าการใช้ไซเลนร่วมกับ Mesocarp ที่ 10 phr. ไม่ได้มีผลในการช่วยทำให้ค่า Tensile Strength เพิ่มขึ้น สำหรับกรณีของยางที่ใส่ไซเลน 1% นั้น จะให้ผลที่ดีกว่าการไม่ใส่ไซเลนที่ 30 และ 40 phr. เท่านั้น จากผลที่ได้นั้นยังแสดงให้เห็นว่า การเติมไซเลนร่วมกับ Mesocarp จะให้ผลที่ดีกว่าการไม่เติมไซเลนที่การเติมเป็น 3 % ของปริมาณ Mesocarp แต่เมื่อมีการเติมไซเลนมากกว่านี้ จะทำให้ค่า Tensile Strength ลดลง อาจเนื่องมาจากการใช้ไซเลนที่มากเกินไป ส่งผลให้ยางนิ่ม จึงทำให้ผลที่ได้มีค่าต่ำลงด้วย

จาก ภาพ (b) พบว่า หลังจากยางผ่านการบ่มเร่ง จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดน้อยลงจากค่าที่ได้ก่อนการบ่มเร่งอย่างชัดเจนในทุกปริมาณของ Mesocarp และ ค่าที่ดีที่สุดคือ ที่การใช้ไซเลน 10 % ในปริมาณ 10 phr. และลดลงอย่างรวดเร็วที่มีการเติม 20 phr. ขึ้นไป แต่ต่างจากกรณีที่ใส่ไซเลนเป็น 3% ซึ่งจะให้ค่า Tensile Strength ที่ดีกว่าการไม่ใส่ไซเลนและการใส่ไซเลนเป็น 1% , 7.5% และ 10% ของปริมาณ

Mesocarp 10 ถึง 30 phr. แต่ที่ใช้ไซเลนเป็น 1% นั้น จะให้ผลที่มากกว่าไซเลนที่ความเข้มข้นอื่นเมื่อใส่ Mesocarp 40 ถึง 50 phr. แสดงว่า ช่วงที่สามารถใส่ไซเลนและยังให้ค่า Tensile Strength ที่ดีหลังการบ่มเร่ง คือ การใส่ 1% ของปริมาณ Mesocarp ช่วง 40 ถึง 50 phr. และ 3% ของ Mesocarp ในช่วง 10 ถึง 30 phr. นั้นเอง

- ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมปอนด์ต่อค่า Tensile Strength

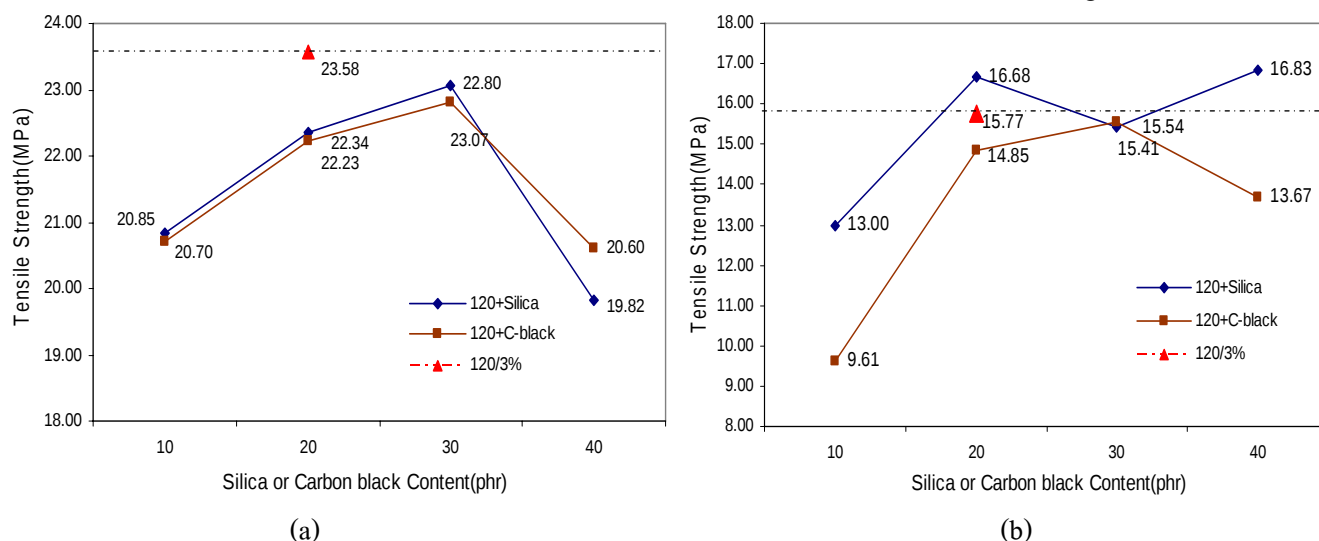


Figure 5.6 แสดงความต้านทานต่อแรงดึงของยางที่มีชนิดและสารตัวเติมร่วมในปริมาณต่างๆร่วมกับ

Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.: (a) ก่อนการบ่มเร่ง
(b) หลังการบ่มเร่ง

จาก Figure 5.6 พบว่า ในภาพ (a) ยางที่ใช้ซิลิกาและยางที่ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางคอมปอนด์ที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำ มีค่าใกล้เคียงกันที่ 10 ถึง 20 phr. แต่ยางที่ใช้ซิลิกาจะมีค่าที่สูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำเพียงเล็กน้อย ที่ 20 และ 30 phr. ส่วนยางที่ใช้เขม่าดำจะให้ผลดีกว่าการใช้ซิลิกาที่ 40 phr. ซึ่งค่าความต้านทานต่อแรงดึงของทั้งสองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น ในช่วง 10 ถึง 30 phr. และลดลงที่ 40 phr. แสดงว่าปริมาณการใช้ซิลิกาและเขม่าดำที่เหมาะสม คือ 10 ถึง 30 phr. สามารถช่วยเพิ่มความต้านทานต่อแรงดึงของยางได้

จาก ภาพ (b) พบว่า หลังทำการบ่มเร่ง ยางคอมปอนด์ที่ใช้ซิลิกาและยางที่ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้ซิลิกามีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ อย่างชัดเจนที่ 10 ถึง 20 phr. และ 40 phr. ส่วนที่ 30 phr. ทั้งซิลิกาและเขม่าดำมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าซิลิกาเป็นสารตัวเติมร่วมที่สามารถช่วยเพิ่มค่าความต้านทานต่อแรงดึงให้กับยางได้ดีกว่าเขม่าดำ

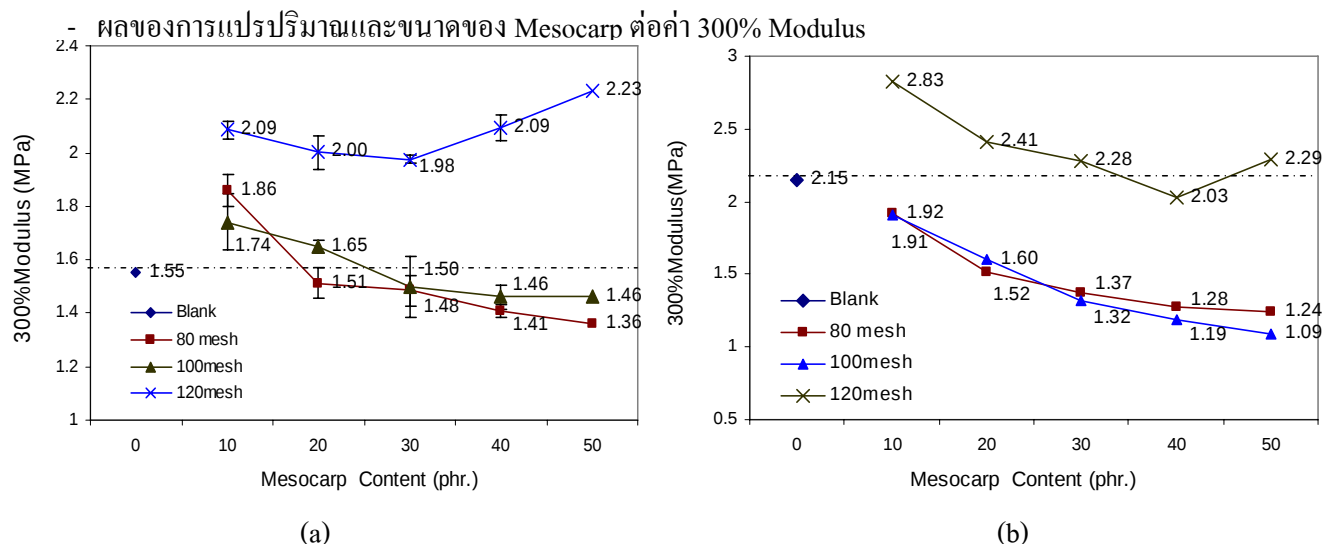


Figure 5.7 แสดง 300% โมดูลัสของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp

: (a) ก่อนการบ่มแรง (b) หลังการบ่มแรง

จาก Figure 5.7 พบว่า ภาพ (a) ที่ก่อนการบ่มแรง ยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช.จะให้ค่า 300% โมดูลัสมากกว่ายางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. อย่างเห็นได้ชัดในทุกปริมาณ โดยที่ขนาด 120 เมช. จะมีค่าลดลงเล็กน้อย จนถึงที่ปริมาณ 30 phr. และจะค่อยๆเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 30-50 phr. สำหรับยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะมีค่า 300% Modulus ที่สูงกว่า blank ที่ 10 phr. ส่วนกรณีของขนาด 100 เมช. จะมีค่าสูงกว่า blank ที่ 10 และ 20 phr. และค่า 300% โมดูลัส จะมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น

จากภาพ (b) พบว่า ในสภาวะหลังการบ่มแรง ยางที่มีการใส่ Mesocarp จะทำให้ค่า 300% โมดูลัสค่อย ๆ ลดลงตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้นทุกขนาดอนุภาค แต่จะพบได้อีกว่า ยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. จะให้ค่า 300% โมดูลัสต่ำกว่า blank ในทุกปริมาณอย่างชัดเจน โดยทั้งสองขนาดจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในทุกปริมาณ ต่างจากขนาดอนุภาค 120 เมช. จะให้ค่าที่สูงกว่า blank ตั้งแต่ปริมาณ 10 ถึง 30 phr. แต่จะต่ำกว่า blank ที่ 40 phr. และสูงขึ้นอีกที่ 50 phr.

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปอนด์ต่อค่า 300% Modulus

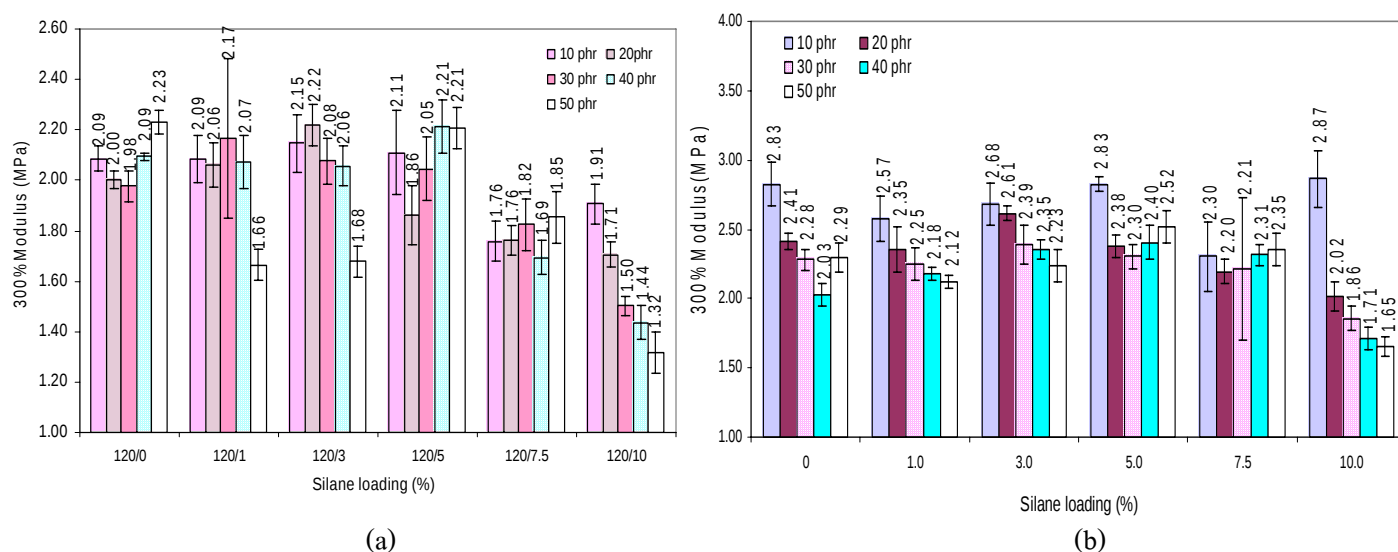


Figure 5.8 แสดงค่า 300% มอดูลัสของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่าง ๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง

จาก Figure 5.8 พบว่า ภาพ (a) ในสภาวะก่อนการบ่มเร่ง ยางที่ใส่ไซเลนแล้วให้ค่า 300 % มอดูลัสมากที่สุด คือ ที่การใช้ไซเลน 3 % ของปริมาณ Mesocarp ที่ 10 และ 20 phr. ส่วนยางที่ใส่ ไซเลน 1% จะให้ค่า 300% มอดูลัส ดีที่สุดที่ 30 phr. แต่ในกรณีที่ใช้ไซเลน 5% จะให้ผลดีที่ 40 และ 50 phr. นอกจากนี้ยังเห็นได้ชัดว่ายางที่ใส่ไซเลน 7.5% และ 10% จะให้ค่า 300% มอดูลัสต่ำกว่าการใส่ไซเลนในปริมาณที่น้อย เพราะการใส่ไซเลนในปริมาณที่มากเกินไป อาจทำให้ยางนี้มจนความแข็งแรงของลดลงและน้อยกว่ายางที่ไม่มีการใส่ไซเลน

จากภาพ (b) พบว่า ค่า 300% มอดูลัสของยางหลังการบ่มเร่ง มีค่ามากกว่าก่อนการบ่มเร่งในทุกปริมาณ เมื่อสังเกตการใส่ไซเลนที่ปริมาณต่างๆ จะพบว่า ที่มีการใส่ไซเลน 10% ของปริมาณ Mesocarp 10 phr. จะให้ค่าดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มที่ปริมาณ 20 phr. ขึ้นไป ค่าที่ได้ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อสังเกตค่า 300% มอดูลัส ของยางที่ใส่ไซเลน 3% จะให้ค่าสูงที่ 20 และ 30 phr. และยางที่ใส่ไซเลน 5% จะให้ค่า 300% มอดูลัสที่ดีที่ ปริมาณ 40 และ 50 phr. แสดงว่าการใส่ไซเลนให้ค่า 300% มอดูลัสที่ดี คือ ไซเลน 10 % ของปริมาณ Mesocarp 10 phr. , 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr. ถึง 30 phr. และ 5% ของปริมาณ Mesocarp 40 และ 50 phr.

- ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมปอนด์ ต่อค่า 300% Modulus

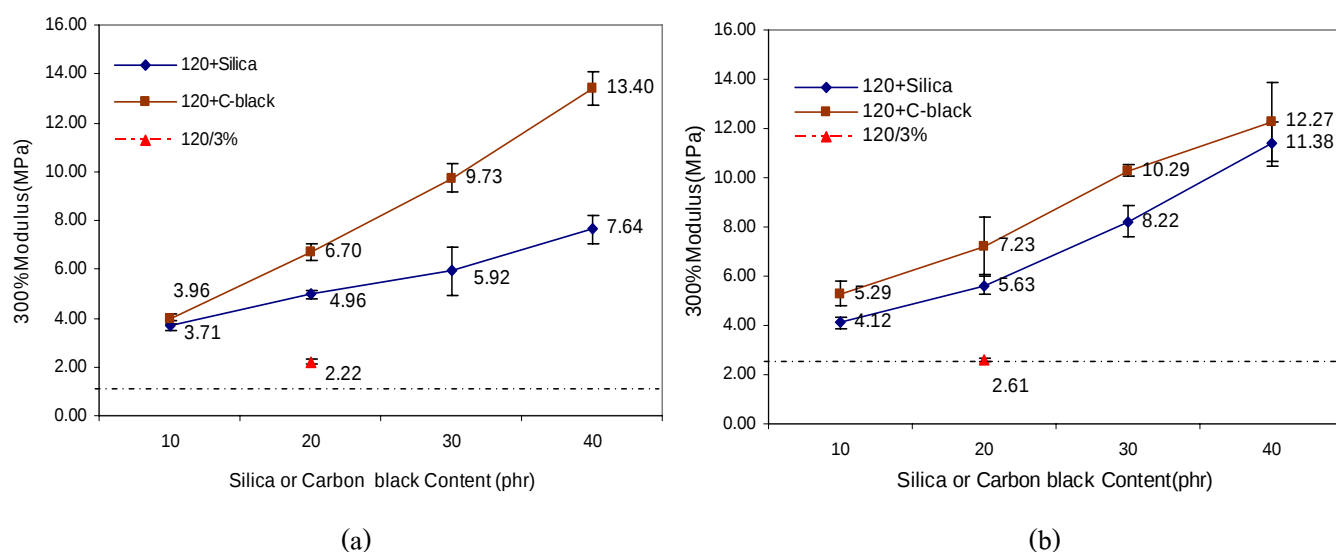


Figure 5.9 ค่า 300% มอดูลัสของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกันร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช.และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.

: (a) ก่อนการบ่มแรง (b) หลังการบ่มแรง

จาก Figure 5.9 พบว่า ที่สภาวะก่อนการบ่มแรง ภาพ (a) ยางคอมปอนด์ที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่า 300% มอดูลัส สูงกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางเขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำมีค่า 300% มอดูลัส สูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกาในทุกปริมาณ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเขม่าดำช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางได้ดีกว่าซิลิกาและผิวของซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์มาก ทำให้มีแรงยึดกับยางไม่ฉีกง่าย จึงทำให้ยางที่ใช้เขม่าดำมีความแข็งแรงกว่าการใช้ซิลิกา และการใช้สารตัวเติมในปริมาณเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของยางก็เพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้ค่า 300% มอดูลัส ที่ได้สูงขึ้น

จากภาพ (b) พบว่า หลังการบ่มแรง ยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่า 300% มอดูลัสสูงกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำมีค่า 300 % มอดูลัสสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกา ในทุกปริมาณอย่างเห็นได้ชัด และมีค่าสูงกว่าก่อนทำการบ่มแรง ในช่วง 10 ถึง 30 phr. อาจเนื่องจากยางเกิดการสุกสมบูรณ์เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น ทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและเขม่าดำให้ความแข็งแรงที่ดีกว่าซิลิกา ดังนั้นการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp สามารถช่วยเพิ่มค่า 300% มอดูลัส ให้กับยางได้ดีกว่าการใช้ซิลิกา

- ผลของการแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Elongation @ break

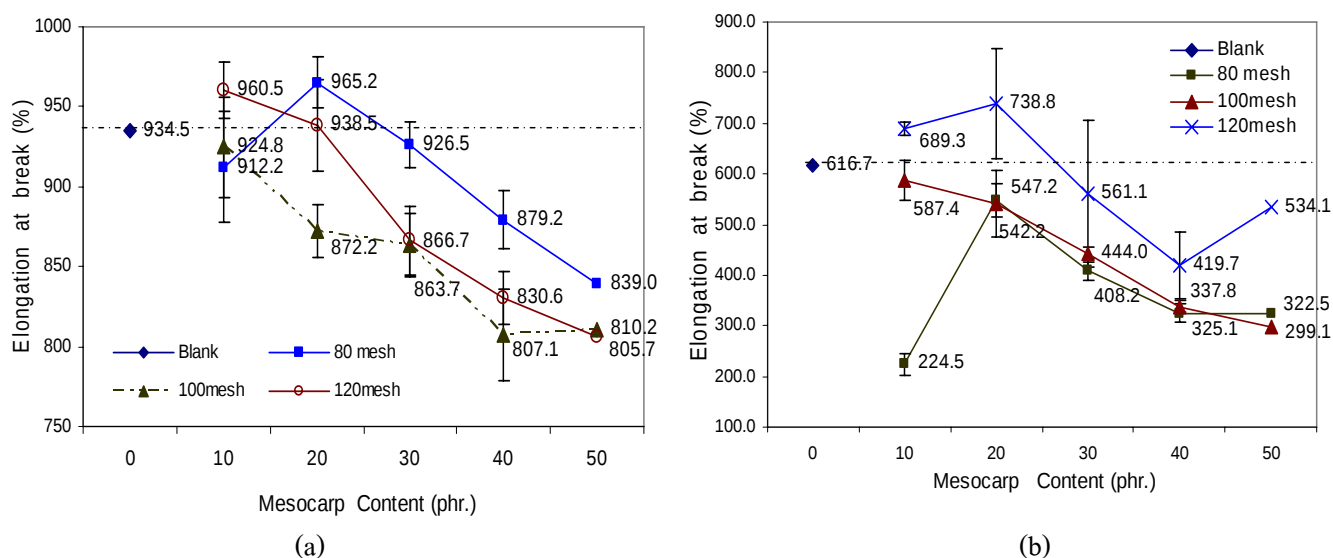


Figure 5.10 ค่า Elongation @ break ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp

: (a) ก่อนการบ่มแรง (b) หลังการบ่มแรง

จาก Figure 5.10 พบว่าสมบัติความสามารถในการยืดจนขาดของยางที่สภาวะก่อนการบ่มแรง เมื่อเปรียบเทียบที่ใช้ Mesocarp 10 phr. พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ค่าดีกว่า blank ขณะที่ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. จะให้ค่าความสามารถในการยืดจนขาดที่น้อยกว่า blank แต่เมื่อเพิ่มเป็นปริมาณ 20 phr. กลับพบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. มีค่าสูงกว่ายางที่ใช้ Mesocarp 120 เมช. และลดลงที่ปริมาณ 30 phr. ขึ้นไป แต่ในกรณีของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะยืดได้น้อยลงตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่วนยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 100 เมช. จะมีค่าสูงกว่าขนาด 80 เมช. ที่ 10 phr. และจะให้ค่าต่ำสุดที่ 20- 40 phr. แต่จะสูงกว่าการใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ที่ 50 phr. เท่านั้น

สำหรับภาพ (b) พบว่าที่สภาวะหลังการบ่มแรง พบว่า blank จะมีความสามารถในการยืดจนขาดมากกว่ายางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ที่ทุกปริมาณ อย่างชัดเจน และพบว่า ยางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะยืดได้ดีกว่า blank ที่ 10 และ 20 phr. แต่ค่านี้จะลดลงอย่างรวดเร็วที่ 30 และ 40 phr. และจะเพิ่มขึ้นอีกที่ 50 phr. แนวโน้มที่เห็นได้ชัดของสมบัตินี้คือ ความสามารถในการยืดจนขาดจะลดลงตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในช่วง 20-50 phr. และค่าที่ดีที่สุดคือ การใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณ 20 phr.

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปอนด์ต่อค่า Elongation @ break

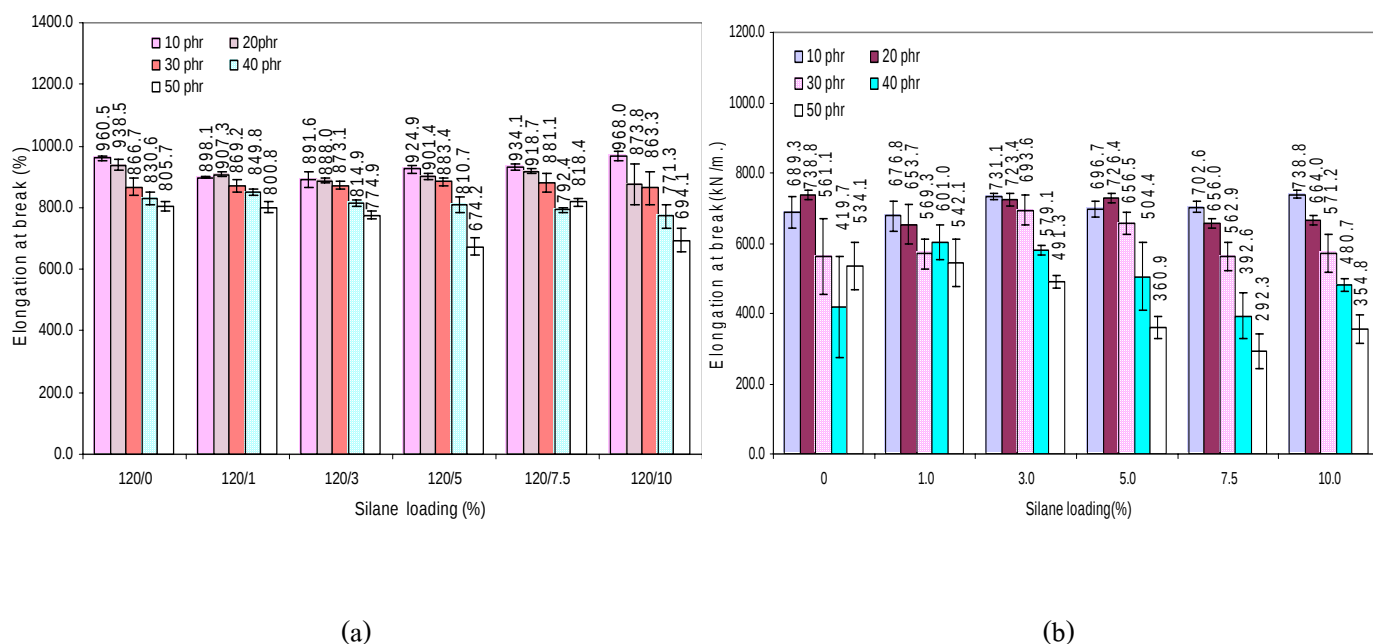


Figure 5.11 ค่า Elongation @ break(%)ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่างๆ : (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง

จาก Figure 5.11 จะพบว่า ความสามารถในการยืดจนขาดของยางก่อนการบ่มเร่งจะลดลงอย่างต่อเนื่องตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Mesocarp แต่อย่างไรก็ตาม การใส่ไซเลนในปริมาณที่แตกต่างกันจะให้ค่าความสามารถในการยืดที่ใกล้เคียงกันมาก ยกเว้นยางที่มีการใส่ไซเลนปริมาณมาก เช่น 5%, 7.5% และ 10% ของปริมาณ Mesocarp ซึ่งจะทำให้ยางยืดจนขาดได้น้อยกว่ายางที่ใส่ไซเลนน้อย เช่น 1% และ 3% จะเห็นได้ชัดเจนในช่วง 40 และ 50 phr.

จากภาพ (b) พบว่า ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของยางหลังทำการบ่มเร่งจะลดน้อยลงจากผลที่ได้ก่อนการบ่มเร่งอย่างเห็นได้ชัดในทุกปริมาณ เมื่อเปรียบเทียบแต่ละปริมาณจะเห็นว่า ยางที่ใส่ไซเลน 10% ของปริมาณ Mesocarp 10 phr. จะให้ค่าสูงสุดและใกล้เคียงกับยางที่ใส่ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp 10 phr แต่ในส่วนของยางที่ใส่ไซเลน 10% จะยืดได้ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณของ Mesocarp เพิ่มขึ้น ส่วนยางที่ใส่ไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp จะยืดได้มากในช่วง 10 ถึง 30 phr. สิ่งที่ได้เห็นได้ชัดคือ การใส่ไซเลนที่มากกว่า 3% จะส่งผลให้ยางที่ผ่านการบ่มเร่งมีค่าการยืดตัวลดลงอย่างรวดเร็วตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นในการเชื่อมโยงพันธะที่มากขึ้น เพราะ Si-69 สามารถให้อะตอมกำมะถันอิสระแก่ยางได้

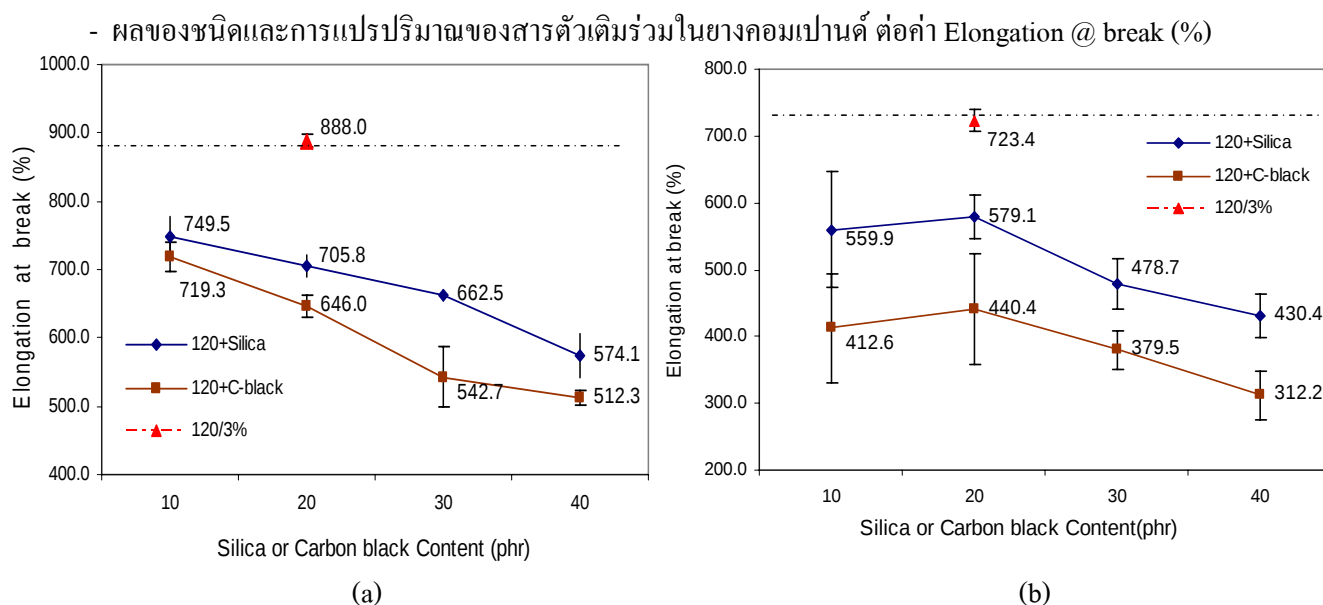


Figure 5.12 ค่า Elongation @ break(%) ของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช.และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.

: (a) ก่อนการบ่มเร่ง (b) หลังการบ่มเร่ง

จาก Figure 5.12 พบว่า ที่สภาวะก่อนการบ่มเร่งในภาพ (a) ยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของยางลดลงและมีค่าต่ำกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้ซิลิกาจะมีความสามารถในการยืดจนขาดสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำที่ทุกปริมาณ โดยค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากซิลิกาสามารถผสมเข้ากับยางและ Mesocarp ได้ดีกว่าเขม่าดำจึงช่วยเพิ่มความแข็งแรงได้ดีกว่า จึงทำให้มีค่าความสามารถในการยืดจนขาดสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ นอกจากนี้ค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงอาจเกิดจากการใส่ทั้งซิลิกาและเขม่าดำในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ยางมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจึง ทำให้ยางมีความสามารถในการยืดจนขาดลดลง

จากภาพ (b) พบว่า หลังทำการบ่มเร่ง ยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าความสามารถในการยืดจนขาดต่ำกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ค่าความสามารถในการยืดจนขาดของยางที่ใช้ซิลิกาสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำที่ทุกปริมาณอย่างชัดเจน โดยมีค่าเพิ่มขึ้นที่ 10 และ 20 phr. และมีการลดลงตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น ที่ 20 ถึง 40 phr. แสดงว่า ซิลิกาสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการยืดจนขาดในยางที่มีการใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ได้ดีกว่าการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วม

- ผลของการแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Tear Strength

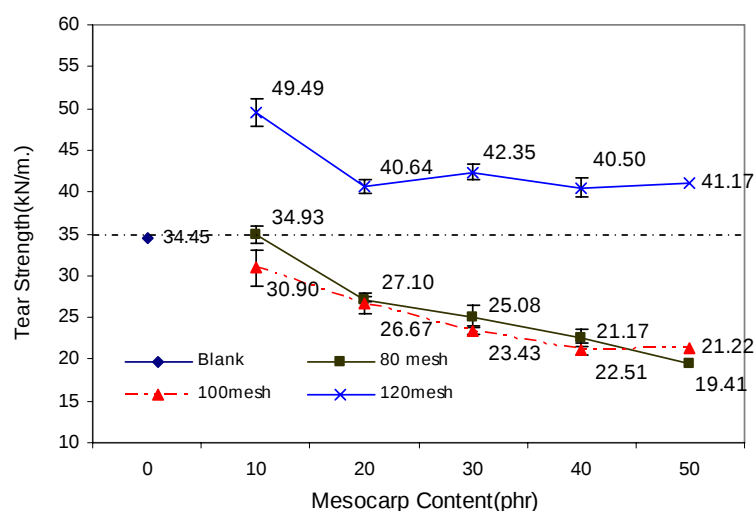


Figure 5.13 แสดงค่า Tear Strength ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp

จาก Figure 5.13 พบว่า ค่าความทนต่อการฉีกขาดของยางที่มีการเติม Mesocarp ค่าที่ได้จะลดลงอย่างช้าๆ ตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับ blank จะพบว่า ยางที่มีการใส่ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ค่า Tear Strength ที่สูงกว่าและดีกว่าการใส่ Mesocarp 80 และ 100 เมช. อย่างชัดเจนในทุกปริมาณ โดยช่วง 10 ถึง 20 phr. จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Mesocarp ที่ 30 phr. ขึ้นไป จะทำให้ค่าลดลงอย่างช้า ๆ แต่ยังเห็นว่ายางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะให้ค่าที่สูงกว่า blank ที่ 10 phr. เท่านั้น ส่วนที่ขนาดอนุภาค 100 เมช. จะให้ค่าที่ต่ำกว่าขนาดอนุภาค 80 เมช. ช่วง 10 ถึง 40 phr. และจะสูงกว่า 80 เมช. ที่ 50 phr. เท่านั้น

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปอนด์ต่อค่า Tear Strength

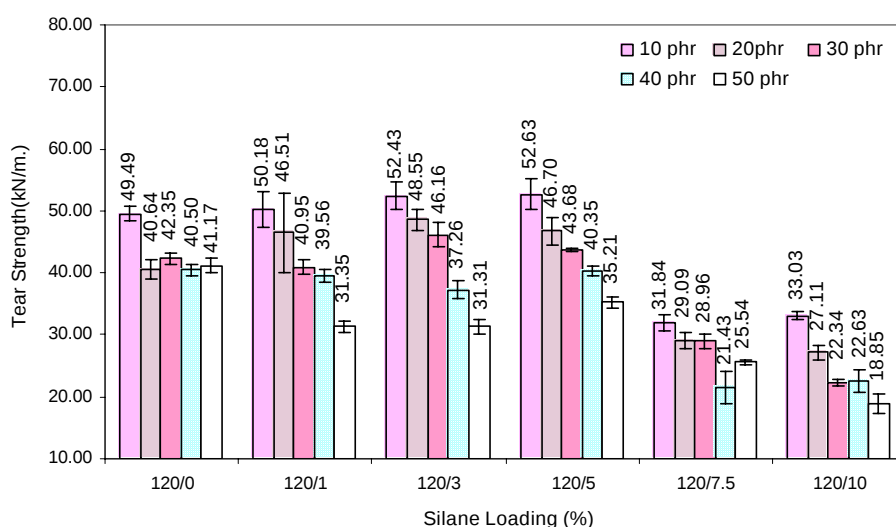


Figure 5.14 แสดงสมบัติ Tear Strength ของยางที่แปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120

จาก Figure 5.14 พบว่า ยางที่มีการใส่ไซเลนจะให้ค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณไซเลน อาจเนื่องมาจากยางนี้มียางทำให้มีแรงต้านการฉีกขาดน้อยลง และการเติมไซเลนที่ช่วยเพิ่มค่า Tear Strength แก่ยาง คือ ที่ปริมาณการใส่ไซเลน 5% ของปริมาณ Mesocarp 10 phr. และที่การใส่ไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 และ 30 phr. ซึ่งเป็นปริมาณไซเลนที่สามารถใส่เพื่อช่วยเพิ่มค่า Tear Strength ให้แก่ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ได้

- ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมพอนด์ ต่อค่า Tear Strength

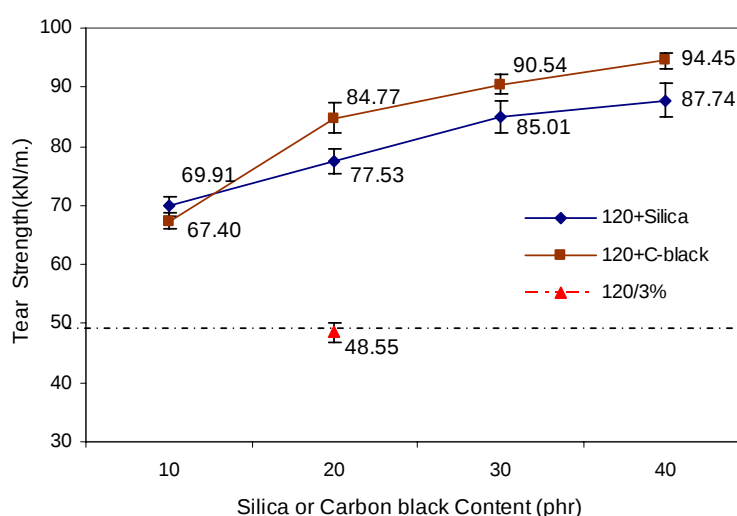


Figure 5.15 ค่า Tear Strength ของยางที่มีชนิดและปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.

จาก Figure 5.15 พบว่า ยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้ซิลิกากับยางที่ใช้เขม่าดำ พบว่า ยางที่ใช้เขม่าดำมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกาที่ 20 ถึง 40 phr. แต่ที่ 10 phr. มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งค่าที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซิลิกาและเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเขม่าดำและซิลิกาสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงของยางได้ เมื่อใส่ในปริมาณมากขึ้นความแข็งแรงของยางก็เพิ่มขึ้นด้วย แต่เขม่าดำสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางได้ดีกว่าซิลิกา จึงทำให้มีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ

- ผลของการแปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp ต่อค่า Hardness

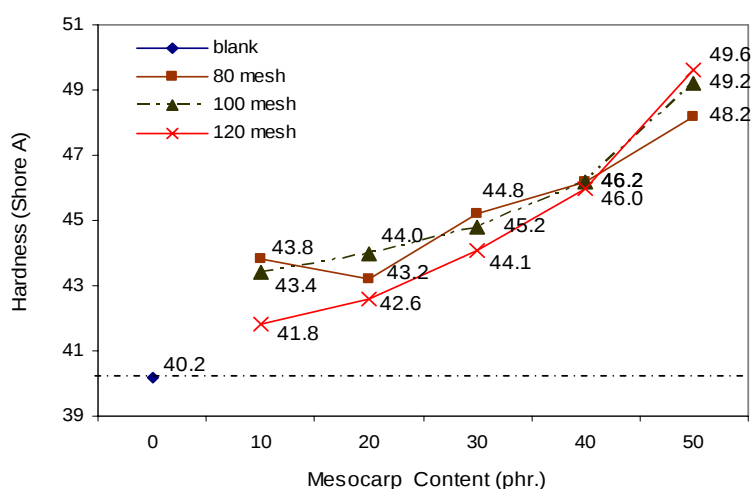


Figure 5.16 แสดงค่า Hardness ของยางที่แปรปริมาณและขนาดของ Mesocarp

จาก Figure 5.16 พบว่า ค่าความแข็งของยางคอมปาวด์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น และมีค่ามากกว่า blank ในทุกขนาด เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแต่ละขนาดของ Mesocarp พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะมีค่าความแข็งที่น้อยกว่ายางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ที่ปริมาณ 10 ถึง 40 phr. แต่จะมีค่าสูงกว่าทั้งสองขนาดที่ 50 phr. เท่านั้น โดยที่ทั้งสามขนาดนี้จะให้ค่าความแข็งใกล้เคียงกันมากที่สุดที่ 40 phr.

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนในยางคอมปาวด์ต่อค่า Hardness

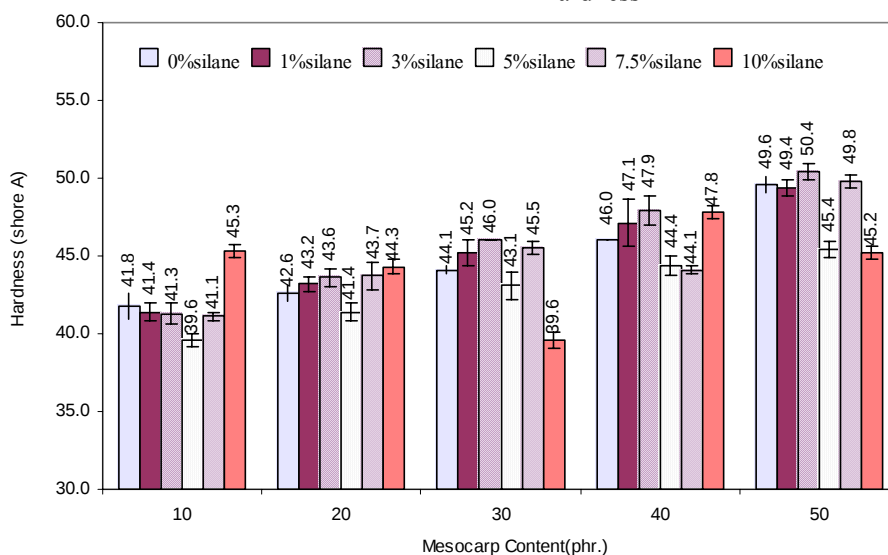


Figure 5.17 แสดงค่า Hardness ของยางที่แปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณต่างๆ

จาก Figure 5.17 พบว่า ค่าความแข็งของยางที่ใส่ไซเลน ในแต่ละความเข้มข้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Mesocarp ที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นที่มีการใส่ไซเลน 10% ของปริมาณ Mesocarp จะให้ค่าความแข็งที่ไม่สม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟใส่ไซเลนที่ทุกปริมาณ พบว่า ยางที่ใส่ไซเลน 5% ของปริมาณ Mesocarp จะให้ค่าความแข็งน้อยสุดในยางที่มีการใส่ไซเลน แต่ที่น่าสังเกตคือ การใส่ไซเลนจะทำให้ค่าความแข็งของยางนั้นสูงกว่า blank อาจเนื่องจาก Si-69 สามารถปล่อยอะตอมกำมะถันอิสระแก่ยางได้จึงทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อมโยงพันธะสูงมากกว่า blank ได้

- ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมในยางคอมปอนด์ ต่อค่า Hardness

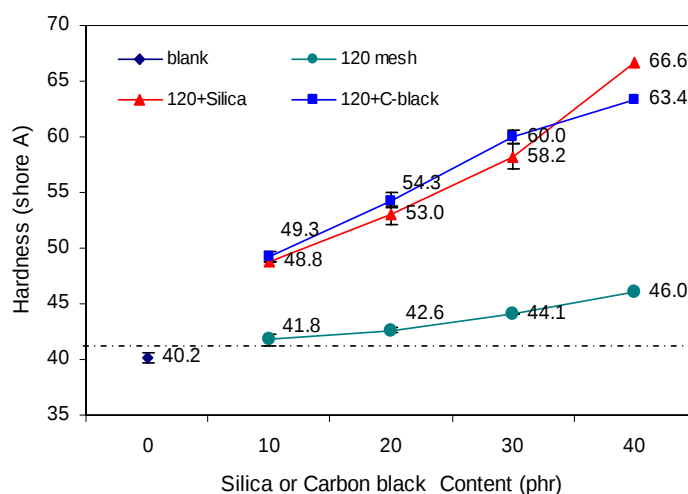


Figure 5.18 แสดงค่า Hardness ของยางที่มีชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช.และไซเลน 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr.

จาก Figure 5.18 พบว่า ความแข็งของยางที่มีการใส่สารตัวเติมร่วมจะให้ความแข็งที่มากกว่ายางที่ใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว และเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมร่วม โดยยางที่ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมจะให้ค่าความแข็งที่มากกว่ายางที่ใช้ซิลิกาในช่วง 10-30 phr.

- ผลของขนาด Mesocarp ต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ

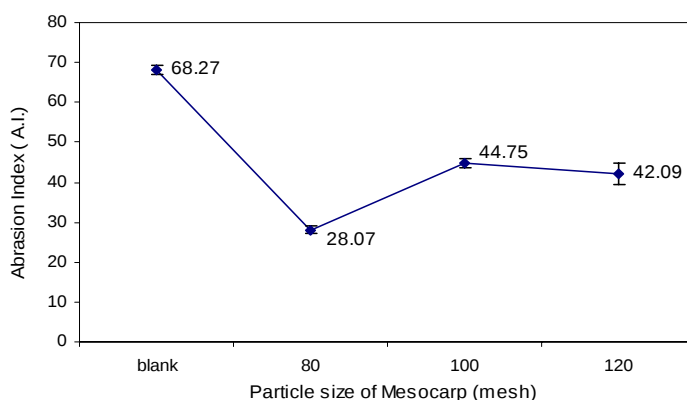


Figure 5.19 แสดง Abrasion Index ของยางที่มีขนาดของ Mesocarp ต่างกัน ปริมาณ 20 phr.

จาก Figure 5.19 พบว่า ค่าดัชนีการสึกหรอของยางคอมปอนด์ที่ไม่มีการเติม Mesocarp จะมีค่า A.I. สูงกว่ายางที่มีการใช้ Mesocarp ที่ทุกขนาด เมื่อเปรียบเทียบขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันพบว่าขนาดอนุภาค 100 และ 120 เมช. จะให้ค่าที่สูงกว่าการใช้ขนาดอนุภาค 80 เมช. เนื่องจากสารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถกระจายตัวได้ดีกว่าที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ ทำให้ยางคอมปอนด์ที่ได้มีค่าความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น

- ผลของการแปรปริมาณไซเลนต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ

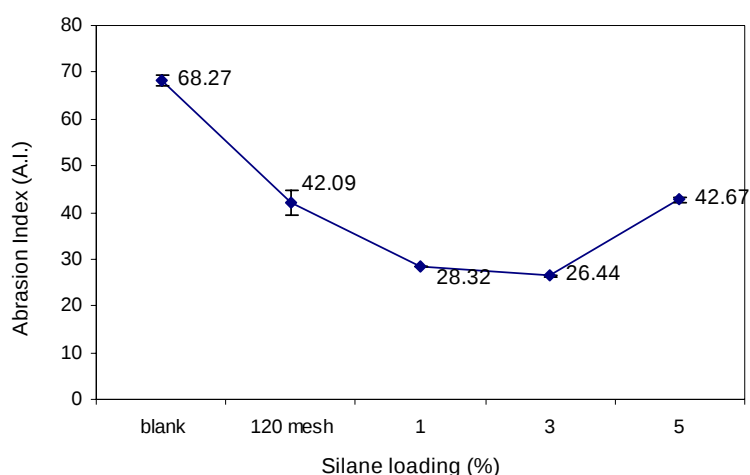


Figure 5.20 แสดงค่า Abrasion Index ของยางที่มีการแปรปริมาณไซเลนร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ปริมาณ 20 phr.

จาก Figure 5.20 พบว่า ยางคอมปอนด์ที่ไม่ใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม มีค่าดัชนีการสึกหรอสูงกว่าการใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. หรือการใช้ร่วมกับไซเลนในทุกปริมาณความเข้มข้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้ไซเลนในปริมาณที่แตกต่างกันพบว่า การใช้ไซเลนเป็น 1% และ 3% ร่วมกับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. จะทำให้ค่าดัชนีการสึกหรอลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ Mesocarp ที่ไม่ใส่ไซเลน อาจเนื่องจากเป็นปริมาณความเข้มข้นที่ไม่เพียงพอในการทำให้ยางและสารตัวเติมผสมเข้ากันให้ดีขึ้น แต่เมื่อใช้ไซเลน 5% ค่าดัชนีการสึกหรอจะเพิ่มขึ้น แสดงว่าเป็นปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสมทำให้ยางกับ Mesocarp ผสมเข้ากันได้ดีขึ้น และ Silane coupling agent มีหน้าที่ช่วยปรับปรุงพื้นผิวระหว่างสารตัวเติมและเนื้อยางและปรับปรุงพันธะระหว่างสารตัวเติมหรือสารเสริมแรงและเนื้อยาง โดยทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างเนื้อยางกับสารเสริมแรงและทำให้สมบัติเชิงกลของ polymer composite ดีขึ้น

- ผลของชนิดและการแปรปริมาณของสารตัวเติมร่วมต่อค่าดัชนีความทนต่อการสึกหรอ

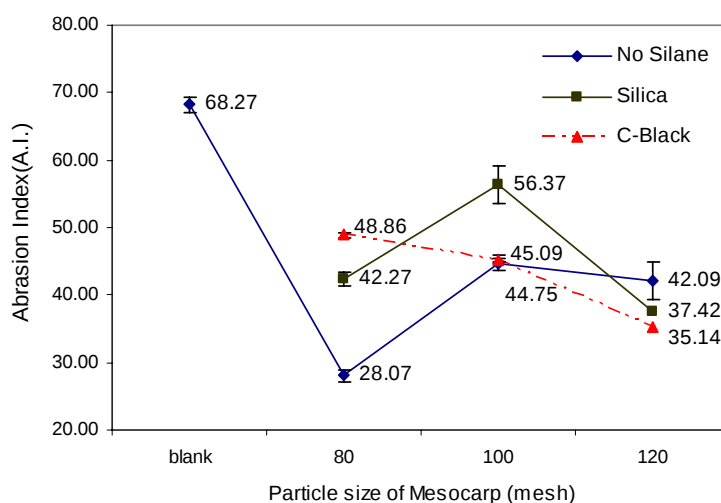


Figure 5.21 แสดง Abrasion Index ของยางที่มีชนิดของสารตัวเติมร่วมต่างกัน ร่วมกับ Mesocarp ปริมาณ 20 phr. ที่มีขนาดต่างกัน

จาก Figure 5.21 พบว่า ค่าดัชนีการสึกหรอของยางคอมเพาเนนด์ที่ไม่มีการเติม Mesocarp จะมีค่าสูงกว่ายางที่มีการใช้ Mesocarp ทุกขนาดอนุภาค และยางคอมเพาเนนด์ที่ใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ขนาด 100 เมช. มีค่าดัชนีการสึกหรอสูงกว่าที่ขนาดอนุภาค 80 และ 120 เมช. ตามลำดับ อาจเนื่องจากซิลิกาสามารถผสมเข้ากันได้ดีที่ขนาดอนุภาค 100 เมช. ที่ปริมาณ 20 phr. จึงทำให้ยางคอมเพาเนนด์ที่มีความต้านทานต่อการสึกหรอที่ได้สูงกว่ายางคอมเพาเนนด์ที่ใช้ ซิลิการ่วมกับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 80 และ 120 เมช.

ยางคอมเพาเนนด์ที่ใช้ เขม่าดำ เป็นสารตัวเติมร่วม Mesocarp. ที่ขนาดอนุภาค 80 เมช. มีค่าดัชนีการสึกหรอสูง กว่าขนาดอนุภาค 100 และ 120 เมช. ตามลำดับ อาจเนื่องจากเขม่าดำสามารถผสมเข้ากันได้ดีกับ Mesocarp ที่มีขนาดอนุภาค 80 เมช. มากกว่าที่อนุภาค 100 และ 120 เมช. และเมื่อใช้ซิลิกาและเขม่าดำ ร่วมกับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 80 เมช. จะทำให้ค่าดัชนีการสึกหรอเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้เขม่าดำจะให้ค่าดัชนีการสึกหรอสูงกว่าการใช้ ซิลิกา อาจเนื่องจากเขม่าดำสามารถผสมเข้ากับยางคอมเพาเนนด์ที่ใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาค 80 เมช. ได้ดีกว่าซิลิกาและเป็นสารเสริมแรงช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพให้ดีขึ้นจึงทำให้ยางมีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงกว่าการไม่ใส่ซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วม

เมื่อใช้ซิลิกา ร่วมกับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 100 เมช. จะให้ค่า ดัชนีการสึกหรอเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงกว่ายางคอมเพาเนนด์ที่มีการใช้เขม่าดำ อาจเนื่องจากซิลิกาสามารถผสมเข้ากับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 100 เมช. ได้ดีกว่าเขม่าดำ และยังเป็นสารเสริมแรงช่วยปรับปรุงสมบัติทางกายภาพให้ดีขึ้นจึงทำให้ยางมีความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น

ส่วนยางที่ไม่มีการเติมซิลิกาหรือเขม่าดำจะมีค่าดัชนีการสึกหรอที่มากกว่ายางที่ใช้ซิลิกาหรือเขม่าดำร่วมกับ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. แสดงว่าการเติมซิลิกาหรือเขม่าดำร่วมกับ Mesocarp ไม่ได้ช่วยให้ยางมีความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะยางที่มีการใช้เขม่าดำซึ่งมีค่าดัชนีการสึกหรอต่ำที่สุด แสดงว่ายางที่ใช้เขม่าดำมีความทนต่อการสึกหรอน้อยกว่ายางที่ใช้ซิลิกา

- การยึดติดระหว่างยางกับอนุภาคของ Mesocarp ที่ขนาดต่าง ๆ

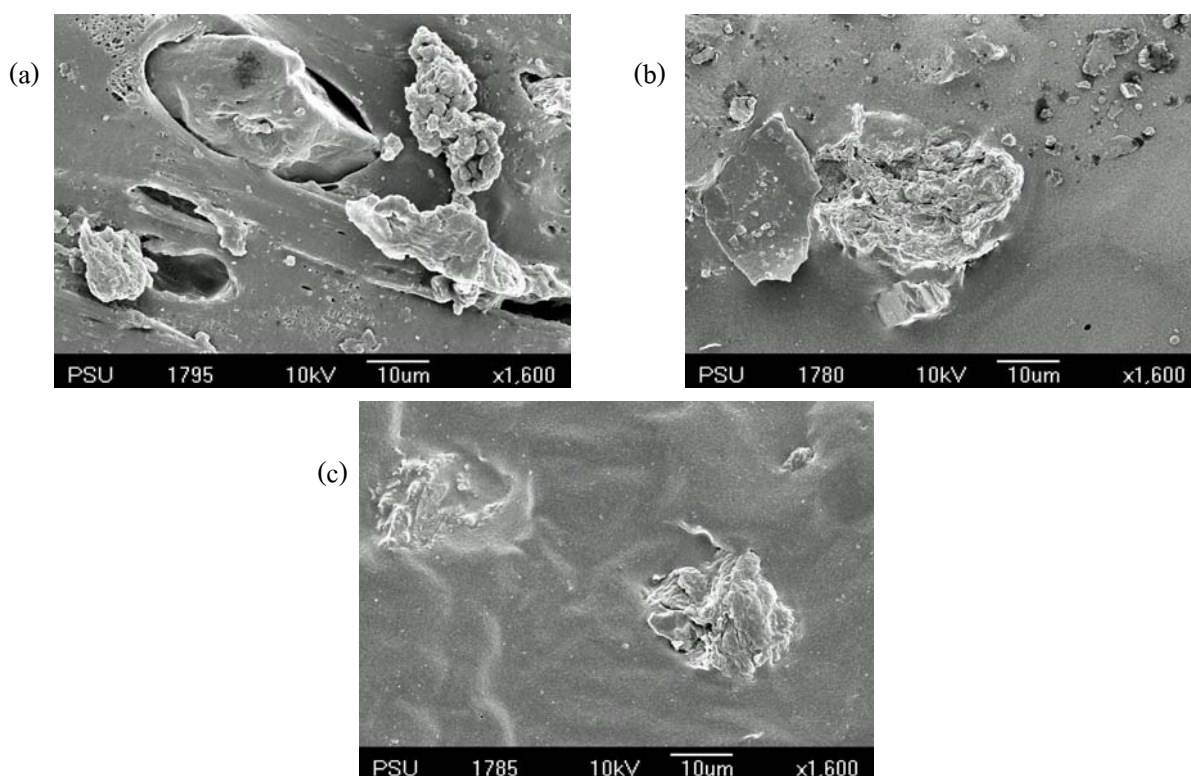


Figure 5.22 แสดงอันตรกิริยาระหว่างยางกับ Mesocarp ปริมาณ 20 phr. ในระบบที่ไม่ใช้ไซเลน :

(a) ขนาดอนุภาค 80 เมช. (b) ขนาดอนุภาค 100 เมช. (c) ขนาดอนุภาค 120 เมช.

จาก Figure 5.22 ภาพ (a) พบว่าความเข้ากันได้ระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp พบว่า จากภาพสามารถแสดงถึงอันตรกิริยาระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ได้อย่างชัดเจน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากช่องว่างที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของอนุภาค Mesocarp ทำให้เห็นว่าการยึดติดกันน้อยมาก จึงส่งผลทำให้สมบัติต่างๆ ของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. ไม่ดีเท่าที่ควรและบริเวณพื้นผิวมีส่วนของ Mesocarp ที่อาจจะแตกหรือหลุดออกมาจากเนื้อยางให้เห็นด้วย

จาก ภาพ (b) พบว่าความเข้ากันได้ระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ซึ่งมีการใช้ Mesocarp ขนาด 100 เมช. พบว่า จากภาพสามารถแสดงถึงอันตรกิริยาระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ได้อย่างชัดเจน คือ

มีการยึดติดที่ดีกว่า Mesocarp ขนาด 80 เมช. เนื่องจากการมีขนาดเล็กกว่า จึงอาจส่งผลทำให้สมบัติต่างๆ ของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 100 เมช. ดีกว่า Mesocarp ขนาด 80 เมช.

ภาพ (c) พบว่าความเข้ากันได้ระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ซึ่งมีการใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. พบว่า จากภาพสามารถแสดงถึงอันตรกิริยาระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ได้อย่างชัดเจน คือ มีการยึดติดที่ดีกว่า Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. เนื่องจากการมีขนาดเล็กมาก ทำให้สมบัติต่างๆ ของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าดีที่สุด

- การกระจายตัวของอนุภาค Mesocarp ขนาด 120 เมช. ที่การใส่ไซเลนปริมาณต่าง ๆ

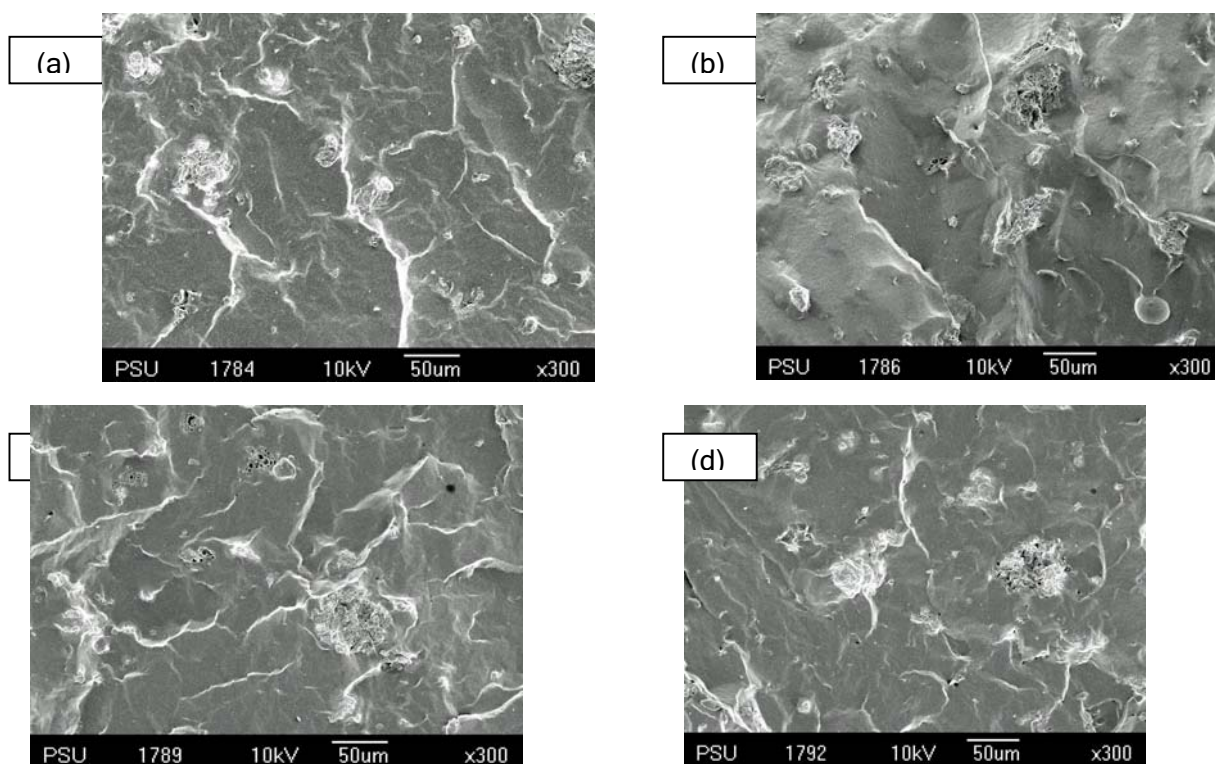


Figure 5.23 แสดงการกระจายตัวของ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. ที่ปริมาณ 20 phr. โดยมีความเข้มข้นของไซเลนเป็น (a) 0% ของปริมาณ Mesocarp (b) 1% ของปริมาณ Mesocarp (c) 3% ของปริมาณ Mesocarp (d) 5% ของปริมาณ Mesocarp

ใน Figure 5.23 จากการเปรียบเทียบกันจะพบว่า ความเข้ากันได้ระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp และการกระจายตัวของ Mesocarp ในยาง ซึ่งมีการใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ทั้งที่ไม่ใส่ไซเลน และใส่ไซเลน สามารถกระจายตัวได้ดีในทุกปริมาณการใส่ไซเลน จากการสังเกตในรูป (a) ซึ่งไม่มีการใส่ไซเลน ยังพบว่า การกระจายตัวของอนุภาค Mesocarp 120 เมช. นั้น จะกระจายได้ดี ดังนั้นการใส่ไซเลนอาจจะ

ไม่ได้ช่วยในเรื่องของการกระจายตัว แต่อาจจะช่วยในเรื่องการยึดติดกันระหว่างยางกับอนุภาคของ Mesocarp

- ลักษณะพื้นผิวของยางที่มีการใช้สารตัวเติมร่วม

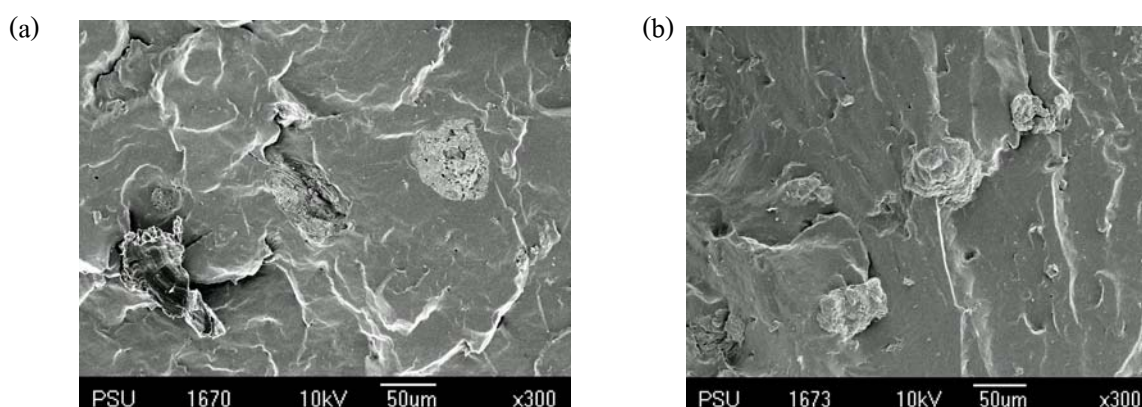


Figure 5.24 แสดงถึงผิวหน้าของยางที่มีการเติมสารตัวเติมร่วมในยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. และไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp 20 phr. : (a) ซิลิกา (b) เขม่าดำ

Figure 5.24 เป็นการเปรียบเทียบความแตกต่างของผิวหน้ายางที่ได้จากการหักชิ้นงานที่เกิดการเปราะในไนโตรเจนเหลว ซึ่งสังเกตได้ว่า ยางที่มีการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมร่วมนั้นจะให้ผิวที่เรียบกว่ายางที่มีการใช้ซิลิกา จึงแสดงถึงความหนาแน่นของเนื้อยางผสมสารเคมีที่ดี การยึดติดระหว่างยางกับ Mesocarp ก็จะดี สมบัติ Tensile Strength ของยางที่ใช้ซิลิกาและเขม่าดำจะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าไม่ต่างกันมากนัก แต่ค่า Tear Strength ของยางที่ใช้เขม่าดำจะให้ค่าที่มากกว่ายางที่ใช้ซิลิกา

6 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ พบว่า ขนาดอนุภาคของ Mesocarp มีผลต่อ Cure time และ Scorch Time คือ ที่ขนาด 120 เมช.จะทำให้ค่าเวลาในการวัลคาไนซ์สั้นลง และสังเกตได้ว่าปริมาณการใส่ไซเลนที่มากขึ้นนั้นจะมีผลต่อลักษณะการวัลคาไนซ์ในลักษณะที่สูงขึ้นอย่างช้าๆ ตามปริมาณไซเลนที่มากขึ้นด้วย ผลของมาเติมสารตัวเติมร่วมกับ Mesocarp ทุกขนาด จะทำให้ค่า cure time ของยางที่ใช้ซิลิกามีค่ามากกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ ในทางกลับกันยางที่ใช้เขม่าดำจะให้ค่า scorch time ที่มากกว่ายางที่ใช้ซิลิกา เพราะยางที่ใช้ซิลิกาจะสุกได้เร็วกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบที่ใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. ร่วมกับซิลิกาหรือเขม่าดำ มีผลทำให้เวลาในการสุกของยางเร็วขึ้นกว่าการใช้ Mesocarp เพียงอย่างเดียว

ค่า Tensile Strength ของยางคอมเพาเนตจะดีทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ซึ่งค่าจะเริ่มลดลงที่ปริมาณการใช้ 20 phr. เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมไซเลนที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 1%, 3%, 5%, 7.5% และ 10% ของปริมาณ Mesocarp พบว่าค่า Tensile Strength จะให้ผลดีที่สุดที่ปริมาณการเติม 3% ของปริมาณ Mesocarp 20-30 phr. เมื่อทำการเติมสารตัวเติมร่วม ก็พบว่า ค่า Tensile Strength ของยางที่ใช้เขม่าดำจะให้ผลที่ใกล้เคียงกับยางที่ใช้ซิลิกา โดยค่าจะไม่ต่างกันมากนัก

ที่การใช้สารตัวเติมในปริมาณและขนาดอนุภาคที่ต่างกัน พบว่า ค่า 300% มอดูลัสของยางคอมเพาเนตจะดีทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงที่ใช้ Mesocarp ที่มีขนาด 120 เมช. และได้ผลที่ดีกว่าการใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ในทุกปริมาณ เมื่อเปรียบเทียบผลของการเติมไซเลนที่ปริมาณต่างๆ กัน คือ 1%, 3%, 5%, 7.5% และ 10% ของปริมาณ Mesocarp พบว่า ค่า 300% มอดูลัสจะให้ผลดีที่สุดที่ปริมาณการเติม 3% ของปริมาณ Mesocarp ที่ 10 – 30 phr. จากการเติมสารตัวเติมร่วม พบว่า ค่า 300% มอดูลัสของยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ Mesocarp นั้นจะมีค่าสูงกว่ายางที่ใช้ซิลิกาอย่างชัดเจนในทุกๆ ปริมาณและทุกขนาดของ Mesocarp ที่ใช้

จากผลการทดลอง พบว่า ค่า Elongation @ Break ของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาค 120 เมช. จะมากกว่าการใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ที่ปริมาณ 10 phr. เท่านั้น แต่เมื่อทำการบ่มแรง กลับพบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะยืดได้ดีกว่ายางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ในทุกปริมาณ ส่วนผลของการใส่ไซเลนร่วมกับ Mesocarp นั้น พบว่า ที่การใส่ไซเลนเป็น 10% ของปริมาณ Mesocarp จะมีความสามารถในการดึงยึดที่ดีที่ปริมาณ 10 phr. ส่วนการใส่ไซเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp ที่ 30 phr. ที่หลังทำการบ่มแรง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางที่ใช้สารตัวเติมร่วม(ซิลิกาหรือเขม่าดำ) พบว่า สมบัตินี้จะดีที่การใช้สารตัวเติมร่วมที่เป็นซิลิกาในทุกๆ ขนาดและทุกปริมาณ

สำหรับค่า Tear Strength ที่ได้ พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ค่า Tear Strength ที่ดีกว่าการใช้ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ในทุกปริมาณ เมื่อทำการแปรปริมาณของไซเลนที่เป็นสารช่วยยึดในยาง พบว่า การใส่ที่เป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp ในยางคอมเพาเนตจะทำให้ยางมีความต้านทานต่อการฉีกขาดที่ดีที่สุด ช่วง 10-30 phr. และสังเกตได้ว่า ยางที่ใช้เขม่าดำร่วมกับ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะส่งผลให้ ค่า Tear Strength ดีกว่ายางที่ใช้ซิลิกาที่ 10-30 phr. ส่วนกรณีที่ใช้ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 100 เมช. ค่า Tear Strength นี้จะดีกว่าซิลิกาที่ 40 phr. และเมื่อใช้ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. ค่านี้จะมากกว่ายางที่ใช้ซิลิกาที่ 20-40 phr.

ความแข็งของยางที่มีการใช้ Mesocarp เป็นสารตัวเติม จะสูงกว่ายางที่ไม่มีการเติม Mesocarp โดยจะมากขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Mesocarp เมื่อเปรียบเทียบความแข็งของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาดต่างกัน พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะมีค่าความแข็งที่น้อยกว่ายางที่ใส่ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ที่ปริมาณ 10 ถึง 40 phr. แต่จะมีค่าสูงกว่าทั้งสองขนาดที่ 50 phr. เท่านั้น จากการแปรปริมาณ

ไชเลน พบว่า ยางที่ใส่ไชเลนเป็น 3% ของปริมาณ Mesocarp จะให้ความแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมากกว่าการใส่ไชเลนปริมาณอื่น ที่ 30-50 phr. ส่วนยางที่ใช้สารตัวเติมร่วมจะพบว่า ยางที่ใช้ซิลิกา ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 120 เมช. จะให้ความแข็งมากกว่าการใส่ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 80 และ 100 เมช. ที่การใส่ซิลิกา 40 phr. แต่ในกรณีของยางที่ใช้ขี้เถ้าจะให้ความแข็งแก่ยางที่มากเมื่อใช้ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 80 เมช. ในปริมาณ 20-30 phr.

จากการสังเกตค่า Abrasion Index ของยางที่มีการใช้ Mesocarp ขนาดต่างกัน พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 100 และ 120 เมช. จะมีค่า A.I. สูงกว่ายางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. และพบว่า ยางที่ใส่ไชเลนเป็น 5% ของปริมาณ Mesocarp จะให้ค่า A.I. ที่สูงกว่าการใส่ไชเลนในปริมาณต่ำ แสดงว่าที่การใส่ไชเลนเป็น 5% จะช่วยเพิ่มความทนต่อการสึกหรอได้ ส่วนยางที่ใช้ขี้เถ้าร่วมกับ Mesocarp ขนาด 80 เมช. จะให้ค่า A.I. ที่ดีกว่าซิลิกา และดีกว่าการใส่ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 100 และ 120 เมช. ส่วนยางที่ใช้ซิลิกา ร่วมกับ Mesocarp จะให้ผลที่ดีที่การใส่ร่วมกับ Mesocarp ขนาด 100 เมช. ซึ่งอาจเป็นขนาดอนุภาคของ Mesocarp ที่เหมาะสมในการจะใส่สารตัวเติมร่วม

สำหรับความเข้ากันได้ของยางกับ Mesocarp ที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน พบว่า ยางที่ใช้ Mesocarp ขนาดอนุภาคต่างกัน จะมีผลต่อการยึดติดกันระหว่างยางกับ Mesocarp ที่ต่างกันด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่การใช้ Mesocarp ขนาด 80 เมช. ยางกับอนุภาค Mesocarp จะมีการยึดติดที่ไม่ดี สังเกตได้จากช่องว่างระหว่างยางกับอนุภาค Mesocarp ที่มีขนาดใหญ่มาก และยังมีส่วนที่หลุดออกมาอยู่บนผิวหน้ายาง ทำให้เกิดรูขึ้น รวมทั้งยังมีส่วนที่แตกของอนุภาคกระจายอยู่บนพื้นผิว แต่เมื่อสังเกตจากการใช้ Mesocarp ที่มีอนุภาคขนาดเล็กลง หรือที่ขนาด 100 และ 120 เมช. พบว่าสามารถกระจายเข้าไปเนื้อยางได้ดีกว่าและสามารถยึดติดกับเนื้อยางได้ดีกว่าขนาด 80 เมช. ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สมบัติต่างๆ ของยางที่ใช้ Mesocarp ขนาด 120 เมช. มีค่าที่ดีกว่าการใช้ Mesocarp ที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ ผลของไชเลนที่ใส่เข้าไปในยางเพื่อช่วยในการยึดติด พบว่า ไม่ได้ช่วยให้การกระจายตัวดีขึ้นแต่อย่างใด ส่วนยางที่ใช้ขี้เถ้ากับยางที่ใช้ซิลิกา จะให้ผิวหน้ายางที่เรียบใกล้เคียงกันจึงทำให้ สมบัติ Tensile Strength ของยางทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยจะไม่แตกต่างกันมากนัก

7 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีศึกษาถึงผลของขนาด Mesocarp ที่มีขนาดเล็กกว่า 120 เมช. เพื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ
- ควรมีการปรับปรุงเครื่องกลั่น
- ควรมีการทดสอบสมบัติอื่นเพิ่มเติม เช่น ทดสอบการบวมพองของยาง เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์สถิติการเกษตร . 2547. สถิติการเกษตรของไทย ปีเพาะปลูก 2547/48. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร
กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ . กรุงเทพมหานคร.
- B.S. 903 : Part A 9 : 1957, Methods of Testing Vulcanized Rubber, Part A9. Determination of
Abrasion Resistance.
- Ismail Hanafi, N. Rosnah and H. D. Rozman . 1998. Curing characteristics and mechanical properties of
short oil palm fibre reinforced rubber composites, Polymer 38, 4059-4064.
- Ismail Hanafi, N. Rosnah and H. D. Rozman. 2001. The effects of partial replacement of oil palm wood
flour by silica and silane coupling agent on properties of natural rubber compounds, J.
Polymer Testing , 33-41.
- P.Sae-oui, C.Sirisinha, U. Thepsuwan, K. Hatthapanit, Polymer Testing 24 (2005) 439-446.
- Scott, J.R. “Physical Testing of Rubber”, Maclaren & Sons LTD.,(1965),p 126