



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาวในกระบวนการจุ่มโดยใช้
สารไวความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

Effect of type and quantity of white filler on physical properties product
in dipping process using heat sensitive system

โดย ดร. อรสา ภัทรไพบุญย์ชัย และคณะ

เมษายน 2548

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาวในกระบวนการจุ่มโดยใช้
สารไวความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยาง
Effect of type and quantity of white filler on physical properties product
in dipping process using heat sensitive system

คณะผู้วิจัย

ดร. อรสา ภัทรไพบุญชัย
นางสาว สุภาภรณ์ สุทธิภักดี

สังกัด

สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

กลุ่มโครงการวิจัยขนาดเล็กวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ-มอ.(7)

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปของผู้บริหาร

(Executive Summary)

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นผลของการใช้สารตัวเติมสีขาวต่อความทนทานต่อการฉีกขาดเป็นหลัก นอกเหนือจากสมบัติในเรื่องของความแข็งแรง เพราะผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดทนต่อแรงฉีกขาดได้ไม่เท่ากัน ดังเช่นรองเท้าบูทที่เป็นผลิตภัณฑ์อีกชนิดหนึ่งที่ต้องการสมบัติด้านความทนทานต่อการฉีกขาดโดยเฉพาะในขั้นตอนของกระบวนการผลิตจำเป็นต้องแกะออกจากเบ้าขณะร้อน อีกทั้งการสวมใส่ต้องมีการดึงออกและเข้า ในที่นี้จะทำการผสมสารเคมีลงไปในน้ำยางโดยจะแปรผันตามปริมาณของสารตัวเติมสีขาวแต่ละชนิดได้แก่ ซิลิกา, ดินขาว และ แคลเซียมคาร์บอเนต โดยจะใช้ PVME เป็นสารไวความร้อน ทำการเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้สารไวความร้อน จากนั้นมาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ เช่น ความทนทานต่อการฉีกขาด, ความแข็งแรงในการดึง และ ความคงทนต่อสภาพแวดล้อม ทั้งก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรง นอกจากนั้นทำการศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีต่อความหนาจากการจุ่มในระบบใช้สารไวความร้อน จากผลการทดลองสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนต ทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้น โดยเวลาและอุณหภูมิแบบชุบเท่ากัน และ 30% CaCO_3 ใช้ 20 phr ทำให้อย่างมีความหนาสูงกว่าในปริมาณอื่น ๆ ส่วน 50% CaCO_3 ใช้ 30 phr ทำให้อย่างมีความหนาสูงกว่าปริมาณอื่น ๆ และเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของดินขาว ทำให้ความหนาของยางเพิ่มขึ้น โดยเวลาและอุณหภูมิแบบชุบเท่ากัน ทั้ง 30% Clay และ 50% Clay ใช้ 10 phr ทำให้อย่างมีความหนาสูงกว่าในปริมาณอื่น ๆ สำหรับการใส่ซิลิกา นั้น ใช้ 20% Silca ปริมาณ 10 phr ทำให้อย่างมีความหนาสูงกว่าในปริมาณอื่น ๆ สมบัติน้ำยางคอมพอนด์แบบไวความร้อนที่เหมาะสมในงานวิจัย มีค่า pH 8.0, ความหนืดช่วง 140-200 cps., Chloroform number 2 อุณหภูมิการหล่อเย็นของน้ำยางคอมพอนด์ในช่วง 18-23 °C อุณหภูมิแบบชุบเท่ากับ 80 °C ใช้เวลาในการชุบ 5-30 นาที ปริมาณการใช้สารตัวเติมสีขาวแต่ละชนิดที่ให้สมบัติทางกายภาพและความต้านทานแรงฉีกขาดสูงเป็นดังนี้ แคลเซียมคาร์บอเนต ควรใช้ 30% CaCO_3 ในปริมาณ 20 phr ดินขาว ควรใช้ 30% CaCO_3 ในปริมาณ 20 phr และ ซิลิกา ควรใช้ 30% CaCO_3 ในปริมาณ 20 phr

บทคัดย่อ

โครงการวิจัย : RDG 4850015

ชื่อโครงการวิจัย : ผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาวในกระบวนการจุ่มโดยใช้สารไวความร้อนต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยาง

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

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย : 19 สิงหาคม 2547 – 20 กุมภาพันธ์ 2548

การศึกษาผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาว ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต, ดินขาว และ ซิลิกา ในกระบวนการจุ่มโดยใช้สารไวความร้อน (สารที่ใช้ได้แก่ PVME) ต่อสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ยาง ซึ่งจะแปรปริมาณสารตัวเติมจาก 0-40 phr พบว่าสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง, ระยะยืดจนขาด, 300 % Modulus และความต้านทานต่อแรงฉีกขาด ของแคลเซียมคาร์บอเนต (30% CaCO_3 และ 50% CaCO_3) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อใช้มากที่สุด 20 phr, สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง, ระยะยืดจนขาด, 300% Modulus และความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของ 30% Clay มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อใช้มากกว่า 30 phr , สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง, ระยะยืดจนขาด, 300 % Modulus และความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของแคลเซียมคาร์บอเนต 50% Clay มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อใช้มากกว่า 10 phr , สมบัติความต้านทานต่อแรงดึง, ระยะยืดจนขาด, 300 % Modulus และความต้านทานต่อแรงฉีกขาดของ 20% Silica มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่อใช้มากกว่า 20 phr และความหนาที่ได้ในกระบวนการจุ่มโดยใช้สารไวความร้อน ซึ่งจะแปรปริมาณสารตัวเติมจาก 0-40 phr พบว่า น้ำยางคอมปาวด์ที่ใช้ 30% CaCO_3 จะให้ความหนาที่ดีในปริมาณ 20 phr, 50% CaCO_3 จะให้ความหนาที่ดีในปริมาณ 30 phr, Clay จะให้ความหนาที่ดีในปริมาณ 10 phr (30% และ 50% Clay) และ 20 % Silica จะให้ความหนาที่ดีในปริมาณ 10 phr

คำสำคัญ : สารตัวเติมสีขาว, สารว่องไวต่อความร้อน (PVME), ขบวนการจุ่ม, สมบัติทางกายภาพ

Abstract

Project Code : RDG 4850015

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

Project Period: August 19, 2004 – February 20, 2005

Effect of type and quantity of white filler on physical properties product in dipping process using heat sensitive system Calcium carbonate, Clay and Silica were used as the filler and the loading rang was from 0 to 40 phr. Tensile strength, Elongation at break, 300% Modulus (tensile stress at 300% elongation) and tear strength of Calcium carbonate (30% CaCO_3 and 50% CaCO_3) increase and decrease were used as the loading rang than 20 phr, Tensile strength, Elongation at break, 300% Modulus (tensile stress at 300% elongation) and tear strength of 30% Clay increase and decrease were used as the loading rang than 30 phr, Tensile strength , Elongation at break, 300% Modulus (tensile stress at 300% elongation) and tear strength of 50% Clay increase and decrease were used as the loading rang than 10 phr, Tensile strength, Elongation at break, 300% Modulus (tensile stress at 300% elongation) and tear strength of 20% Silica increase and decrease were used as the loading rang than 20 phr and effect thickness in dipping process using heat sensitive system of latex compound used 30% CaCO_3 the best thickness 20 phr, 50% CaCO_3 the best thickness 20 phr, Clay the best thickness 10 phr (30% and 50% Clay) and 20 % silica the best thickness 10 phr

Key words : White Filler, heat sensitive (PVME), dipping, physical properties

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำหรับทุนวิจัย ที่ทำให้งานวิจัยนี้
สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณสาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่
เอื้อเฟื้อสถานที่ในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ ดร.ครุณี ผ่องสุวรรณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความ
อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ อ. วิริยะ ทองเรือง วิศวกรรมเครื่องกล ที่อนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือในงาน
วิจัยครั้งนี้

ดร. อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย

20 มีนาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปของผู้บริหาร	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ	V
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 นัยางขึ้น	3
2.2 กระบวนการจุ่มน้ำยาง	6
2.2.1 การจุ่มน้ำยางโดยใช้สารไวความร้อน	6
2.3 สารตัวเติม	7
2.3.1 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม	8
2.3.2 ซิลิกา	8
2.3.3 แคลเซียมคาร์บอเนต	10
2.3.4 ดินขาว	13
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
3. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย	
3.1 สารเคมี	17
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	18
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย	19
3.3.1 การเตรียมสารเคมี	19
3.3.2 ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมเพานด์	21
3.3.3 ขั้นตอนการทดลองการจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตัวเติม	24
3.5 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบการทำงานของกรรุ่มแบบใช้สารไวกความร้อน	24
3.5.1 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์	24
3.5.2 ระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ที่มีผลต่อความหนา	25
3.5.3 ศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิแบบซูปต่อความหนาของยาง	25
3.5.4 ศึกษาผลของปริมาณสารไวกความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง	25
3.5.5 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความหนาของยาง	26
3.6 ศึกษาระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมเพานด์ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด ระดับ pH และการวัดคาไนซ์	27
3.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม	27
3.7.1 สมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง	27
3.7.2 สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มยาง	28
3.7.3 300 % Modulus ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง	28
3.7.4 ความสามารถในการยืดเมื่อขาดทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง	28
4. ผลการทดลอง	
4.1 ผลของความเข้มข้นของสารตัวเติม	30
4.2 ระบบการทำงานของกรรุ่มแบบใช้สารไวกความร้อน	32
4.2.1 ผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์	32
4.2.2 ผลของ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ต่อความหนาของยาง	33
4.2.3 ผลของเวลาและอุณหภูมิแบบซูปต่อความหนาของยาง	34
4.2.4 ผลของปริมาณสารไวกความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง	36
4.2.5 ผลของปริมาณของสารตัวเติมต่อความหนาของยาง	37
4.3 ผลของระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมเพานด์ต่อการเปลี่ยนแปลง ความหนืด , ระดับ pH และการวัดคาไนซ์	44
4.4 สมบัติทางกายภาพของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม	48
4.4.1 สมบัติทางกายภาพของแคลเซียมคาร์บอเนต	48
4.4.2 สมบัติทางกายภาพของดินขาว	54
4.4.3 สมบัติทางกายภาพของซิลิกา	59
5. สรุปผลการวิจัย	
5.1 สรุป	65
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อไป	67

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	68
ภาคผนวก	70

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติชั้นชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดแอมโมเนียต่ำที่ผลิตโดยวิธีการปั่น	3
3.1 ลักษณะต่างๆของยางที่ระดับการวัลคาไนซ์ต่างกัน	23
3.2 สูตรน้ำยางคอมเพาด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพาด์	25
3.3 สูตรน้ำยางคอมเพาด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารไวความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง	26
3.4 สูตรน้ำยางคอมเพาด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ต่อความหนาของยาง	26
4.1 ลักษณะสารที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของ CaCO_3	30
4.2 ลักษณะสารที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของ Clay	31
4.3 ลักษณะสารที่เตรียมได้จากความเข้มข้นของ Silica	31
4.4 ขนาดของอนุภาคสาร	32
4.5 ระยะเวลาการบ่มต่อระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางและผลการชุบของพิวน้ำยาง	32
4.6 ความหนาของยางตัวอย่างเมื่อแปรระดับ pH	33
4.7 ผลของเวลาและอุณหภูมิแบบชุบต่อความหนาของยาง	35
4.8 ความหนาของยางเมื่อแปรปริมาณ PVME	36
4.9 ความหนาของยางเมื่อแปรเวลาและปริมาณของ 30% CaCO_3	38
4.10 ความหนาของยางเมื่อแปรเวลาและปริมาณของ 50 % CaCO_3	39
4.11 ความหนาของยางเมื่อแปรเวลาและปริมาณของ 30 % Clay	40
4.12 ความหนาของยางเมื่อแปรเวลาและปริมาณของ 50 % Clay	41
4.13 ความหนาของยางเมื่อแปรเวลาและปริมาณของ 20 % Silica	43
4.14 ระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมเพาด์ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด , ระดับ pH และการวัลคาไนซ์	44
4.15 สมบัติทางกายภาพของ 30 % CaCO_3 ที่ปริมาณต่างๆกัน	48
4.16 สมบัติทางกายภาพของ 50 % CaCO_3 ที่ปริมาณต่างๆกัน	49
4.17 สมบัติทางกายภาพของ 30 % Clay ที่ปริมาณต่างๆกัน	54
4.18 สมบัติทางกายภาพของ 50 % Clay ที่ปริมาณต่างๆกัน	54
4.19 สมบัติทางกายภาพของ 20 % Silica ที่ปริมาณต่างๆกัน	59

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของน้ำยางธรรมชาติ	4
3.1 ลักษณะก้อนยางตามระดับการวัลคาไนซ์	23
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของยางกับเวลาชุบเมื่อแปร pH ของน้ำยางคอมเพานด์	34
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและอุณหภูมิแบบชุบต่อความหนาของยาง	35
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของยางกับเวลาชุบเมื่อแปรปริมาณ PVME	37
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณของ 30 % CaCO_3 ต่อความหนาของยาง	38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณของ 50 % CaCO_3 ต่อความหนาของยาง	39
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณของ 30 % Clay ต่อความหนาของยาง	41
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณของ 50 % Clay ต่อความหนาของยาง	42
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและปริมาณของ 20 % Silica ต่อความหนาของยาง	43
4.9 Tensile strength ของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	50
4.10 % Elongation at break ของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	51
4.11 300 % Modulus ของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	52
4.12 Tear strength ของความเข้มข้นของแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	53
4.13 Tensile strength ของความเข้มข้นของดินขาวที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	55
4.14 % Elongation at break ของความเข้มข้นของดินขาวที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	56
4.15 300 % Modulus ของความเข้มข้นของดินขาวที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	57
4.16 Tear strength ของความเข้มข้นของดินขาวที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	58
4.17 Tensile strength ของความเข้มข้นของซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	59
4.18 % Elongation at break ของความเข้มข้นของซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	60
4.19 300 % Modulus ของความเข้มข้นของซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	61
4.20 Tear strength ของความเข้มข้นของซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมในปริมาณต่างๆกัน	62
4.21 เปรียบเทียบ Tensile strength กับปริมาณสารตัวเติมแต่ละชนิดก่อนบ่มเร่ง	63
4.22 เปรียบเทียบ Tear strength กับปริมาณสารตัวเติมแต่ละชนิดก่อนบ่มเร่ง	63

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในชีวิตประจำวันนี้จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องกับคนเรามากยิ่งขึ้น ดังจะเห็นได้จากผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่ทำมาจากน้ำยาง ไม่ว่าจะเป็นถุงยางอนามัย ถุงมือใช้ในการแพทย์ ได้แก่อุปกรณ์ใช้ในงานศัลยกรรม (surgeon's glove) ถุงมือใช้ในบ้าน (household glove) และถุงมือใช้ในงานไฟฟ้า (electrician's glove) หรือแม้แต่ของเล่นเด็ก เช่น ลูกโป่ง หรือ หุ่นเด็ก ก็ทำมาจากน้ำยางเช่นกัน ซึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากน้ำยางนั้นจะมีส่วนผสมหลายอย่างที่เติมลงไป โดยเฉพาะสารตัวเติมที่ใส่ลงในน้ำยางนั้นก็เพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือเพื่อปรับปรุงสมบัติของน้ำยางให้ดีขึ้น

โดยในปัจจุบันนี้สารตัวเติม ได้ถูกคิดค้นขึ้นมากมายหลายชนิด โดยเฉพาะสารตัวเติมสีขาว ได้แก่ ซิลิกา , แคลเซียมคาร์บอเนต , แมกนีเซียมคาร์บอเนต , ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งได้มีการนำสารตัวเติมสีขาวไปใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกหรือยาง โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางนั้นได้ใส่สารตัวเติมลงไปหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นกับผลิตภัณฑ์ว่าต้องการสมบัติอย่างไร โดยจะเลือกสารตัวเติมให้เหมาะกับผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะชนิดและปริมาณในการใส่สารตัวเติมลงไปจะมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์นั้นไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการเลือกสารตัวเติมที่จะใส่ลงในน้ำยางจึงมีความสำคัญมาก

สารตัวเติม(filler) มีลักษณะเป็นของแข็ง โดยหน้าที่ของสารตัวเติมนั้นก็เพื่อลดต้นทุน, เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ของน้ำยาง, เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต, เพื่อลดการพองตัวในน้ำมัน, เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า และเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของน้ำยาง โดยสารตัวเติมที่ใช้กันทั่วไปมีทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ แต่ส่วนใหญ่มักใช้สารอนินทรีย์

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นที่สารตัวเติมสีขาวในด้านความทนทานต่อการฉีกขาด เพราะผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดทนต่อแรงฉีกขาดได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้เนื่องมาจากผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใส่ลงในน้ำยาง โดยจะต้องหาปริมาณของสารตัวเติมสีขาวแต่ละชนิดที่เติมลงในน้ำยางมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพโดยเน้นด้านความทนทานต่อการฉีกขาดเป็นสำคัญ นอกเหนือจากสมบัติอื่นๆ โดยใช้ระบบ PVME (Polyvinyl methylether) เพื่อให้ได้ความหนาในช่วง 1.5 – 2.00 มม. ซึ่ง PVME เป็นสารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวที่ไวต่อความร้อน (Heat Sensitising coacervants) และในงานวิจัยนี้จะปรับปรุงปริมาณของสารตัวเติมสีขาวที่ใส่ลงในน้ำยางให้เหมาะสมกับชนิดของสารตัวเติมสีขาวนั้นๆ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อแรงฉีกขาดได้ดี ซึ่ง

อุตสาหกรรมที่ใช้สารตัวเติมสีขาวในการเติมลงไปในการผลิตภัณฑ์สามารถใช้เอาผลการวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์ได้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบปริมาณของสารตัวเติมสีขาวแต่ละชนิดต่อสมบัติทางกายภาพด้านความทนทานต่อการฉีกขาด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.) ศึกษาข้อมูลของน้ำยาง
- 2.) ศึกษาสมบัติของน้ำยางคอมเพานด์และปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความหนาของยางโดยใช้ น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูงและใช้สารไวความร้อน โดยศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความหนาดังนี้
 - 2.1 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์
 - 2.2 อิทธิพลของ pH ของน้ำยางคอมเพานด์
 - 2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิแบบหุบและเวลาในการจุ่ม
 - 2.4 อิทธิพลของปริมาณสารไวความร้อน
 - 2.5 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารตัวเติม
- 3.) ศึกษาระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมเพานด์
- 4.) ศึกษาสมบัติทางด้านกายภาพของแผ่นฟิล์มทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ (Output)

- 1.ทราบผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพจากการจุ่มในระบบใช้สารไวต่อความร้อน
- 2.ทราบผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีต่อความหนาจากการจุ่มในระบบใช้สารไวต่อความร้อน
- 3.สามารถนำผลของชนิดและปริมาณสารตัวเติมสีขาวที่มีต่อสมบัติทางกายภาพจากการจุ่มในระบบใช้สารไวต่อความร้อนไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางข้น (Concentrated Latex)

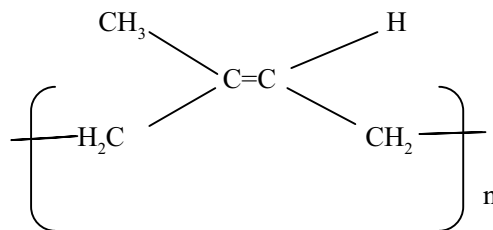
น้ำยางข้นผลิตจากการนำน้ำยางธรรมชาติสด มาผ่านกระบวนการเซนตริฟิวจ์ โดยการปั่นแยกเอาส่วนของน้ำออกให้เหลือปริมาณของเนื้อยางสูงขึ้น สามารถแบ่งชนิดของน้ำยางธรรมชาติข้นออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated NR Latex, HA type) และน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Concentrated NR Latex, LA type) (Gazeley et al., 1900:63-64) ดังในตารางที่

ตารางที่ 2.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติข้นชนิดแอมโมเนียสูงและชนิดแอมโมเนียต่ำที่ผลิตโดยวิธีการปั่น (ตามมาตรฐาน ISO 2004)

	HA	LA
Total solid Content (%) (min)	61.50	61.50
Dry rubber content (%) (min)	60.00	60.00
Non-rubber solid(%)(max)	2.00	2.00
Alkalinity (asNH ₃) (on latex)	0.6 (min)	0.29 (max)
Mechanical stability(s) (min)	650	650
Coagulum content (%) (max)	0.1	0.1
Sludge content (%) (max)	0.1	0.1
Volatile fatty acid number (max)	0.2	0.2
Potassium hydroxide(max) number	0.1	0.1
Colour on visual inspection	No pronounced blue or grey	No pronounced blue or grey
Odour after neutralization with boric acid	No pronounced odour of putrefaction	No pronounced odour of putrefaction

2.1.1 สมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยค่อนข้างสูงคือ ประมาณ 1,000,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงกว้าง แต่เนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลค่อนข้างสม่ำเสมอจึงสามารถตกผลึกได้เมื่อเย็น ทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงมาก มี green strength สูง และมี tack ดี โมเลกุลของยางธรรมชาติประกอบด้วย cis-1,4-polyisoprene เกือบทั้งหมด นอกจากนั้นก็เป็น trans - 1,4-polyisoprene , 1,2 – polyisoprene และ 3,4 – polyisoprene เพียงเล็กน้อย ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Brydson, 1988:81-85)

การที่ยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่ในโครงสร้างทำให้มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมีและสามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน แต่ก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนได้ง่ายเช่นเดียวกัน ซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมของยาง ยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนจึงไม่ทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ แต่มีสมบัติความเป็นฉนวนที่ดี และการที่สายโซ่โมเลกุลยางธรรมชาติสามารถเคลื่อนไหวได้ ทำให้สามารถยืดหยุ่นได้ดี และสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากค่า Glass Transition Temperature (Tg) ของยางธรรมชาติมีค่าประมาณ -72°C (Brydson, 1988:81-85)

นอกจากนี้ Cook (2001) ได้รายงานถึง การเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางบิวทาไดอีน ชนิด High vinyl butadiene rubber เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ และได้มีการรายงานถึงการผสม ผงยางรีไซเคิล (Recycle rubber power, RRP) กับยางธรรมชาติในช่วงปริมาณ 0-50 phr สามารถช่วยปรับปรุงสมบัติความทนทานต่อการบวมพองของยางธรรมชาติ โดย Ismail et al.(2002) แต่ส่งผลให้ความสามารถในการยึดตัวของยางจนขาดมีค่าลดลง และพบว่าการผสม RRP ในปริมาณที่ต่ำกว่า 10 phr มีผลให้ความต้านทานแรงดึงของยาง มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่การผสมในปริมาณมากกว่า 10 phr ส่งผลให้ความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง ส่วน Kumnuantip และ Sombatsompop (2003) รายงานการเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางรีเคลม สามารถช่วยปรับปรุงความต้านทานต่อการบวมพองของยางธรรมชาติ และการเพิ่มสัดส่วนการเบลนด์ของยางรีเคลมส่งผลให้จุดอิ่มตัวของการบวมพอง (Equilibrium swelling) ของยางธรรมชาติมีระยะเวลาน้อยลง

Sombatsompop (1999) รายงานถึงการใส่โฟมพอลิยูรีเทน (Polyurethane foam) ลงในยางธรรมชาติ เหมือนกับการใส่สารตัวเติมชนิดเสริมแรง โดยพบว่าการใส่โฟมพอลิยูรีเทนที่มีเซลล์ขนาดเล็กและมีความชื้นต่ำลงในยางธรรมชาติในปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการแฉิม (Penetration resistance) ของตัวทำละลายเพิ่มขึ้น และมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น นอกจากนี้ Sombatsompop (1998) รายงานว่าความหนาแน่นของยางพองน้ำจากยางธรรมชาติ ไม่เพียงแต่มีค่าขึ้นอยู่กับระดับของการเชื่อมโยง (Crosslink density) แต่ยังขึ้นอยู่กับชนิดของการเชื่อมโยงและความทนทานต่อการบวมพองของยางพองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ มีค่าขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง ชนิด และความหนาแน่นของยางพองน้ำจากยางธรรมชาติ

Unnikrishnan และ Thomas รายงานว่า โทลูอีน สามารถแทรกซึมผ่าน (Penetration) ยางธรรมชาติวัลคาไนซ์ได้ดี (Unnikrishnan and Thomas, 1940 quoted in Sombatsompop 1998 : 220) ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Fickian แต่มีผลต่างกันในกรณีของยาง NBR เนื่องจากการมีสภาพความเป็นขั้วของยาง NBR (Mathai and Thomas, 1996 quoted in Sombatsompop 1998 :221)

2.1.2 การใช้ยางธรรมชาติในรูปของน้ำยางข้น

ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางข้นอาจจำแนกออกเป็นประเภทตามกรรมวิธีการผลิตดังต่อไปนี้ (วรากรณ์,2524)

1.) ประเภทจุ่มแบบพิมพ์ (Latex dipping) เป็นการจุ่มพิมพ์รูปต่าง ๆ ลงในน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว แล้วค่อย ๆ ยกพิมพ์ขึ้น ต้องการให้น้ำยางฉาบพิมพ์หนาแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับกรจุ่มช้า แล้วจึงวัลคาไนซ์ยางนั้น ผลิตภัณฑ์จากการจุ่มแบบพิมพ์ได้แก่ พวงมณีมือยางแบบต่าง ๆ คือถุงมือใช้ในการแพทย์ ถุงมือใช้ภายในบ้าน ถุงมือใช้เกี่ยวกับงานไฟฟ้า ถุงมือใช้เกี่ยวกับงานอุตสาหกรรม เป็นต้น นอกจากถุงมือแล้วก็มีพวกรองเท้าบู๊ท ยางในฟุตบอลแบบไม่มีรอยตะเข็บ ลูกโป่ง และถุงยางอนามัย

2.) ประเภทลงในเบ้าพิมพ์ (Moulding or casting) มีหลักการสำคัญ คือ เทน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้วลงในเบ้า ร่อนน้ำยางจับตัวภายในเบ้า ซึ่งเป็นวิธีที่ตรงกันข้ามกับ ข้อ 1 เมื่อลอกแผ่นยางที่จับเบ้าพิมพ์ออกแล้ว กลับด้านในออก ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากวิธีการนี้ เช่น ตุ๊กตารูปรูปร่างต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์รูปกลวง เช่น ลูกบอลเด็กเล่น เป็นต้น

3.) ยางพองน้ำ (Latex form rubber) ปริมาณการนำน้ำยางข้นไปใช้ผลิตเป็นยางพองน้ำ นับว่ามากกว่าการใช้เพื่อผลิตภัณฑ์รูปอื่น ๆ

4.) ยางฉาบผิว (Latex surface coating)

5.) กาวน้ำยาง (Adhesive)

6.) ยางยืด (Latex thread)

2.2 กระบวนการจุ่มน้ำยาง

วิธีการจุ่มเป็นวิธีที่มีการใช้งานกันมากที่สุดเพื่อทำผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ เนื่องจากให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติความยืดหยุ่นที่สุด และมีความแข็งแรงต่อการดึง ซึ่งการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติเพื่อทำผลิตภัณฑ์มีหลายประเภท เช่น ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากการจุ่ม ยางท่อ ผลิตภัณฑ์จากการหล่อ โฟมยาง และกาวน้ำยาง (Resing , 2000) ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากการจุ่มน้ำยาง เช่น ถุงมือทางการแพทย์ ลูกโป่ง สายสวนปัสสาวะ และถุงยางอนามัย เป็นต้น

ในกระบวนการจุ่มน้ำยางประกอบด้วย การจุ่มแบบโดยตรง ซึ่งไม่มีการใช้สารจับตัวหรือสารที่ก่อการเจล การจุ่มแบบใช้สารไวความร้อนในการทำให้เกิดการเจล และการจุ่มแบบใช้สารช่วยในการจับตัว ซึ่งทั้ง 3 วิธีมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่วิธีที่มีการใช้กันมากคือการจุ่มแบบใช้สารจับตัว โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการจุ่มโดยวิธีนี้ ตัวอย่าง เช่น ลูกโป่ง และถุงมือทางการแพทย์ ซึ่งความหนาของผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.2-0.6 มิลลิเมตร

การจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน (Heat sensitive) ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความหนาบาง ๆ เช่น ใช้เพื่อผลิตห้วนมยาง ยางในลูกฟุตบอล และพวกถุงมือในอุตสาหกรรม ในกระบวนการผลิตจะไม่มีการใช้สารจับตัวแต่ใช้สารไวความร้อนใส่ลงในน้ำยางและจะเกิดการจับตัวอย่างรวดเร็วเมื่อได้รับความร้อน

2.2.1 การจุ่มน้ำยางโดยใช้สารไวความร้อน (Heat sensitive dipping)

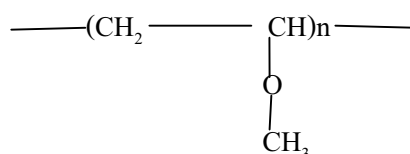
น้ำยาง Heat sensitive หมายถึง น้ำยางคอมพอนด์ที่มีสารเคมีที่ทำให้ยางนั้นสูญเสียความเสถียรอย่างรวดเร็วและเกิดการจับตัวเมื่อได้รับความร้อน น้ำยางคอมพอนด์ปกติจะมีความไวต่อความร้อนเล็กน้อย แต่จะค่อย ๆ สูญเสียความเสถียรเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารที่ทราบกันดีทำให้ยางเป็น Heat sensitive เช่น

1. Zinc oxide + Ammonium salt + Ammonia
2. Enzyme treatments + Zinc oxide
3. Polyvinyl methyl ether (PVME)
4. Polypropylene glycol (PPG)

ซึ่งทั้ง 4 ได้ใช้งานในอุตสาหกรรมแล้วทั้งสิ้น ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ระบบ Heat sensitive เช่น ฟองน้ำรองใต้พรม ผลิตภัณฑ์จากการชุบ เช่น ห้วนม ลูกโป่งตรวจสภาพอากาศ เป็นต้น

2.2.2 ระบบน้ำยางที่ใช้สารไวความร้อน PVME

PVME เป็นสารประเภท non-ionogenic มีสูตรโครงสร้างดังนี้



สาร PVME สามารถละลายได้ดีในน้ำเย็นแต่ไม่ละลายในน้ำร้อน ดังนั้นเมื่อนำไปอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 34 – 35 °C จะเกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ ซึ่งเหตุผลที่ PVME ตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อน คาดว่าเป็นเพราะโมเลกุลของ PVME เกิดการกำจัดน้ำออกโมเลกุล (Progressive Dehydration) เมื่อได้รับความร้อน

กลไกของการเกิด heat-sensitization ของ PVME เชื่อว่าเกี่ยวกับการดูดซับของสารนี้ที่ผิวของอนุภาคน้ำยาง ที่อุณหภูมิห้อง และสูญเสียความเสถียรที่อุณหภูมิสูง การสูญเสียความเสถียรเกิดเนื่องจากการขจัดน้ำของสารนี้ที่จุด Cloud point (อุณหภูมิที่สารตกตะกอนจากตัวกลางที่เป็นน้ำ) และซึ่งคือออกไซด์และ pH เป็นตัวแปรสำคัญที่จะวัดประสิทธิภาพของน้ำยางคอมเพนดที่มี PVME

สารเคมีตัวอื่นที่ใช้ในระบบสารไวความร้อน ตัวอย่างเช่น PPG ซึ่งเกิดการตกตะกอนเมื่อได้รับความร้อนเช่นเดียวกับ PVME แต่กลไกของการเกิดเป็นน้ำยางไวความร้อนแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลและหน่วยซ้ำของพอลิเมอร์

2.3 สารตัวเติม

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปนยาง ตัวอย่างเช่น เชม่าดำ , แคลเซียมคาร์บอเนต , ดินเหนียว , แมกนีเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น สารเหล่านี้ใส่ลงไปเพื่อวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กันดังต่อไปนี้

1. เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยทั่วไปสารตัวเติมจะมีราคาถูกกว่ายาง ปัจจุบันยางน้ำข้นในประเทศไทยราคาประมาณกิโลกรัมละ 30-37 บาท แคลเซียมคาร์บอเนตราคาประมาณกิโลกรัมละ 10 บาท แป้งราคากิโลกรัมละ 8-10 บาท เชม่าดำโดยเฉลี่ยประมาณกิโลกรัมละ 20-25 บาท จะเห็นได้ว่าการลดต้นทุนการผลิตทำได้โดยเติมสารตัวเติมผสมลงไปกับน้ำยาง

2. เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง โดยทั่วไปการใส่สารตัวเติมเข้าไปในยางจะทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นและโมดูลัสสูงขึ้นด้วย ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการสึกหรอ อาจเพิ่มหรือลดลงขึ้นอยู่กับของยางและชนิดของยางและชนิดของสารตัวเติม เช่นถ้ายางธรรมชาติใส่เชม่าดำเป็นสารตัวเติม จะทำให้ยางมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ความต้านทานต่อการสึกหรอสูง แต่ถ้าใส่เชม่าดำมากเกินไปค่าความต้านทานต่อแรงดึงและค่าความต้านทานต่อการสึกหรออาจลดลงได้เช่นกัน

3. ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน ยางจะพองตัวได้ดีในน้ำมันแต่เมื่อใส่สารตัวเติมเข้าไปในยางจะทำให้การพองตัวของยางในน้ำมันลดลง

4. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน ปกติยางจะสลายตัวได้ง่ายถ้าถูกแสงแดด ซึ่งมีอุลตราไวโอเลตอยู่ ถ้าใส่สารกันไม่ให้แสงส่องผ่านเข้าไปในยางได้ เช่น เชม่าดำก็จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของยางขึ้น

นอกจากนี้ยังปรับปรุงสมบัติกายภาพ ความแข็ง ความต้านทานการสึกหรอ เป็นต้น

จากการศึกษางานวิจัยในอดีต พบว่า ได้มีการศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมและสารเติมแต่งประเภทต่าง ๆ ที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ และสมบัติการไหลของยาง ดังเช่น Ismail และ คณะ (1995) ได้ศึกษาอิทธิพลของเกลือโคอะมินในกรดไขมันที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่ผสมซิลิกา จากผลการทดลองโดยทั่วไปพบว่าสมบัติเชิงกล และความต้านทานต่อการบวมตัวของยางมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณเกลือโคอะมินในช่วงระหว่าง 5-7 phr และ 1-3 phr ตามลำดับ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของซิลิกา และความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยง Unnikrishnan และคณะ (1996) ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของสารตัวเติมประเภทเขม่าดำ (carbon black) และซิลิกาในปริมาณที่เท่ากัน ที่มีต่อพฤติกรรม การดูดซับ และการแพร่ ของสารละลายไฮโดรคาร์บอนในยางธรรมชาติ ผลการทดลองโดยทั่วไปพบว่า ยางที่ผสมสารตัวเติมประเภทเขม่าดำดูดซับสารละลายได้ในปริมาณที่น้อยกว่ายางที่ผสมสารตัวเติมประเภทซิลิกา เนื่องจากมีความหนาแน่นของพันธะเชื่อมโยงสูงกว่า และจากงานวิจัยของ Sirisinha และ คณะ (2001) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของสารตัวเติมผสมระหว่าง ซิลิกาและเขม่าดำที่มีต่อสมบัติการไหลและสมบัติเชิงกลของยาง จากผลการทดลองพบว่าค่าความหนืดเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของซิลิกาเพิ่มขึ้น เนื่องจากการรวมกลุ่มกันระหว่างอนุภาคซิลิกา และค่ามอดูลัสเฉือนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากผลการเสริมแรงของซิลิกา

2.3.1 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สารตัวเติมแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบ่งตามการผลิตและแบ่งตามลักษณะ

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามการผลิต แบ่งออกเป็น 5 ชนิดคือ

1. สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติ หรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียด เช่น

- 1.1 แคลเซียมคาร์บอเนต จากหินปูน หินอ่อน เปลือกหอย ซอล์ค
- 1.2 แคลเซียมแลแมกนีเซียมซิลิเกต จากแป้งทัลคัม , dolomite wollastinite
- 1.3 ซิลิกาอสัณฐาน (amorphous silica)
- 1.4 Low volatile bituminous coal
- 1.5 Delayed petrol

2.3.2 ซิลิกา (Silica)

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ดีที่สุดในบรรดาสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ มีสูตรโครงสร้างเป็น SiO_2 และอาจมีน้ำผลึกอยู่ด้วย ซิลิกาที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปที่พบในธรรมชาติแล้วนำมาบดหรือเป็นซิลิกาที่เตรียมขึ้นมา

2.3.2.1 ซิลิกาจากธรรมชาติ มี 2 รูปแบบที่ใช้เป็นสารตัวเติมคือ

1.) แร่ซิลิกาบด (Ground mineral silica) เป็นแร่ซิลิกาบดหรือทรายบดให้ละเอียด มีขนาดอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช (mesh) (หมายถึงตะแกรงที่มี 200 รูในหนึ่งนิ้ว ดังนั้นรูจะมีขนาดกว้าง 0.75

ม.ม. หรือ $750,000^{\circ}$) จะมีขนาดใหญ่มาก ใช้เป็นสารตัวเติม ราคาถูกในยางทนความร้อน เนื่องจากขนาดอนุภาคใหญ่ทำให้คุณสมบัติไม่ดี และมีพื้นที่ผิวที่น้อย ดังนั้นแร่ซิลิกาบดจะไม่มีผลในการ cure

2.) กีเซลคว (Kieselquhr) เป็นพวกโคอะตอมซึ่งนำมาให้ละเอียด

2.3.2.2 ซิลิกาที่เตรียมขึ้น มี 2 วิธีการใหญ่ๆ ด้วยกัน

1.) ตะกอนซิลิกา (Hydrated precipitate silica) เตรียมจากการเอาทรายมาละลายในด่างกลายเป็นสารประกอบซิลิเคต หลังจากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิกากลับมา โดยการควบคุมขนาดอนุภาคให้ได้ตามต้องการ ล้างและทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำปนอยู่ในอนุภาคเรียกไฮเดรทซิลิกา บางทีอาจมีน้ำถึง 15 เปอร์เซ็นต์ ซิลิกาที่ได้จะมีฤทธิ์ตั้งแต่เป็นกลางถึงเป็นกรดเล็กน้อย ขนาดอนุภาคตั้งแต่ $100 \text{ \AA}^0 - 400 \text{ \AA}^0$ แล้วแต่วิธีการ ตัวอย่างซิลิกาในทางการค้าได้แก่

HiSil 233, HiSil EP, HiSil 215

HiSil 233, HiSil EP, HiSil 215 ของบริษัท Pittsburgh Plate Glass Co., U.S.A.

Quso F20 Quso H40 ของบริษัท Pittsburgh Quartz Co.

Ultrasil VN-3 ของบริษัท C.P. Hall Co. of California

2.) Fume silica or Pyrogenic silica เตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่าง SiCl_4 (หรือ SiHCl_3 , silicochloroform) กับไอน้ำในเปลวไฟของไฮโดรเจนและออกซิเจนที่อุณหภูมิสูง $1,400^{\circ}\text{C}$ จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา ซิลิกานี้จะมีไฮดรอกไซด์กลุ่มที่ผิวที่น้อยกว่าซิลิกาแรก และมีเนื้อซิลิกาถึง 99.8% มีน้ำปนอยู่ไม่เกิน 2% มีฤทธิ์เป็นกรด มีขนาดอนุภาคเล็กมาก และมีราคาแพงมาก ใช้กับยางที่มีราคาแพงอยู่แล้ว เช่น ยางซิลิโคนเป็นต้น ดังนั้นซิลิกาที่ใช้เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพที่ใช้กับยางทั่วไปคือตะกอนซิลิกานั่นเอง

2.3.2.3 อิทธิพลของการใช้ซิลิกากับยาง มี 4 หัวข้อใหญ่คือ

1. อิทธิพลเนื่องจากขนาด ซิลิกามีขนาดเล็กพื้นที่ผิวมาก ขณะผสมยางจะเกิดความร้อนสูง อาจเป็นเหตุให้เกิด scorch ได้ง่าย
2. อิทธิพลเนื่องจากความเป็นกรด ผิวของซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ มีฤทธิ์เป็นกรด และสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารเคมีอื่นได้
3. อิทธิพลที่ทำให้ยางแข็ง ซิลิกาจะทำให้ยางผสมสารเคมีที่ยังไม่ cure แข็งมาก
4. อิทธิพลเนื่องจากซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ ซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ ดังนั้นทำให้การเกิดพันธะกับยางซึ่งเป็นสารอินทรีย์จะไม่ดีเท่าที่ควร ทำให้ยางมีโมดูลัส ความต้านทานต่อการสึกหรอ ต่ำกว่ายางที่ใช้เขม่าดำโดยทั่วไป

2.3.2.4 อิทธิพลเนื่องจากขนาดของซิลิกา ซิลิกามีลักษณะเป็นผงสีขาว เบา ร่วน ทำให้การผสมเข้าไปในยางทำได้ไม่ถนัด การผสมจะใช้เวลานานกว่าปกติ ซึ่งจะช่วยให้ยางเกิดการแตกโมเลกุลได้ ทำให้คุณสมบัติของยางตกลง

2.3.2.5 อิทธิพลเนื่องจากความเป็นกรดของซิลิกา ซิลิกาเป็นสารที่มี pH เป็นกรด ซึ่งจะช่วยให้ยาง cure ช้าลงและผิวของซิลิกามีพันธะไฮโดรเจน ดังนั้นจะทำให้เกิดการดูดสารตัวเร่งที่ผิวของซิลิกาได้ ปริมาณสารตัวเร่งจะลดลงทำให้ยาง cure ช้าลง ซึ่งอาจโดยการเพิ่มปริมาณของสารตัวเร่งหรือใส่สารประเภทที่เป็นตัวลดประสิทธิภาพ (deactivator) ลงไป สารเหล่านี้ได้แก่สารประกอบอะมีนและแอลกอฮอล์ สารประกอบอะมีนได้แก่ อะมีนที่เป็นของเหลว เช่น ไดเอทธานอลามีน ไตรเอทธานอลามีน ไดบิลทิลอะมีน ไชโคลเฮกซิลอะมีน ไดไชโคลเฮกซิลอะมีน อะมีนที่เป็นของแข็ง เช่น เฮกซามะทีลีนเตตระมีน (DPG) ไดฟีลนีสกัวนาดีน (DOTG) ประสิทธิภาพเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ สารประเภทแอลกอฮอล์ ได้แก่ เฮกเซนไทรออล กลีเซอรอล เอทิลีนไกลคอล ไตรเอทิลีนไกลคอล (DEG) ไคโพรไพลีนไกลคอล โพรไพลีนไกลคอล 400 ถึง 1,000 ประสิทธิภาพเรียงจากน้อยไปมากตามลำดับ

สารประเภทอะมีนมักจะทำให้ยางเป็นสีน้ำตาล และมีประสิทธิภาพสูงกว่าแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้ได้แก่ DEG การใช้สารลดประสิทธิภาพนี้มักจะใช้ประมาณ 6 เปอร์เซ็นต์ ของสารตัวเติมปริมาณจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของสารตัวเติม และอัตราการ cure ที่ต้องการ ถ้าใช้ปริมาณสูงเกินไปจะทำให้ cure เร็วเกิด scorch ได้ง่าย ถ้าปริมาณต่ำไปก็จะ cure ช้า

2.3.2.6 อิทธิพลที่ทำให้ยางแข็ง ซิลิกาจะทำให้ความแข็งแรงของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์สูง

2.3.2.7 อิทธิพลเนื่องจากซิลิกาเป็นสารอนินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วซิลิกาชนิดที่ได้จากการตกตะกอนและชนิด fume silica มีขนาดอนุภาคเล็ก ดังนั้นจึงทำให้ความต้านทานต่อแรงดึง elongation at break พอ ๆ กับเขม่าดำ แต่ความต้านทานต่อการสึกหรอและโมดูลัสต่ำกว่ายางที่ใช้เขม่าดำ

2.3.3 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)

แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดในธรรมชาติอยู่ในรูปของชอล์กกับปูน หรืออาจอยู่ในรูปของ dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, ankerite $\text{Ca}(\text{MgFe})(\text{CO}_3)_2$ แคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในยางอาจเป็นพวกที่มาจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์โดยกระบวนการทำให้ตกตะกอน

2.3.3.1 แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดที่ใช้ในยางแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่คือ

1. Ground limestone
2. Ground chalk หรือ Whiting
3. Precipitated Whiting
4. Treated Whiting และ treated calcium carbonate

1.) Ground limestone

เป็นผงขนาดเล็ก อนุภาคต่ำ 100 เมช มีขาวหม่น ใช้ผสมในกรณีที่ต้องการให้ยางมีราคาถูกลงมาก การใส่ปริมาณมากจะทำให้ความแข็งแรงของยางเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่านั้น

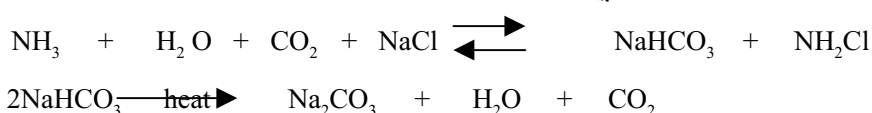
2.) Ground chalk หรือ Whiting

เป็นผงสีขาว มีขนาดอนุภาคต่างๆ กัน เฉลี่ยประมาณ $1,00\text{\AA}^0$ - $10,000\text{\AA}^0$ มีขนาดเล็กกว่า Ground limestone ดังนั้นจะให้ความสูงกว่ายางที่ใช้ Ground limestone แต่เนื่องจากขนาดของอนุภาคของ whiting ยังใหญ่อยู่ ดังนั้นจึงทำให้ความกระด้างของยางสูงแม้จะใส่ปริมาณมาก แต่ความต้านทานต่อแรงดึงกับความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำ

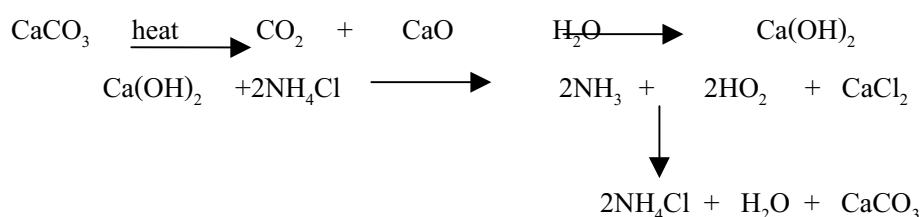
3.) Precipitated Whiting

เตรียมได้หลายวิธี

1. เตรียมโดยขบวนการโซเดียมคาร์บอเนต ขบวนการนี้เป็นผลต่อเนื่องจากการเตรียมโซดาแอช โดยวิธีของ Solvay โดยใช้ ammonia process ปฏิกริยาเคมีเป็นต้น



แคลเซียมคาร์บอเนตจะใช้ในขบวนการดังนี้



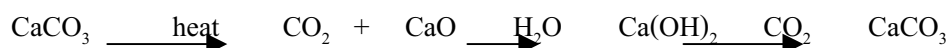
ขบวนการนี้ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในธรรมชาติเป็นตัวเริ่มต้น และ Precipitated Whiting เป็นผลพลอยได้ ดังนั้นจะผลิต Precipitated Whiting มากไม่ได้ วิธีการนี้จะได้อนุภาคตั้งแต่ $300\text{\AA}^0$ - $100,000\text{\AA}^0$ สามารถควบคุมขนาดโดยควบคุมขบวนการตกตะกอนซึ่งเกิดขึ้นกับอุณหภูมิ ความเข้มข้น อัตราความเร็วในการใส่สารเคมี อันดับการใส่สารเคมี รวมทั้งอัตราการกวนด้วย

2. เตรียมโดยขบวนการโซเดียมไฮดรอกไซด์ ขบวนการนี้ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเผาให้แคลเซียมออกไซด์ เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ แล้วจึงนำแคลเซียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมคาร์บอเนต



การผลิตโดยวิธีนี้ค่อยๆ ลดลงเนื่องจากปัจจุบันนี้วิธีการผลิตโซดาแอชนิยมใช้วิธีอิเล็กโทรลิซิสมากขึ้น

3. เตรียมโดยขบวนการ recarbonation ขบวนการนี้ทำโดยการเผาแคลเซียมคาร์บอเนตให้เกิดเป็นแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ นำแคลเซียมออกไซด์มาละลายน้ำจะได้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้นำมาทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในภายหลัง



ผลผลิตที่ได้มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ $2,000 \text{ \AA}^0 - 50,000 \text{ \AA}^0$ การกระจายของขนาดกว้างกว่าแคลเซียมคาร์บอเนตที่ผลิต โดยขบวนการโซเดียมคาร์บอเนตหรือขบวนการโซเดียมไฮดรอกไซด์ ข้อดีคือมีความบริสุทธิ์สูง มีขนาดอนุภาคเล็ก แคลเซียมคาร์บอเนตที่ขายในตลาดโดยวิธีนี้ผลิตโดยบริษัท Hakuenka

มาตรฐานของ Hakuenka CC ของ HM Royal มีดังนี้

ชื่อเรียก precipitated, activated CaCO_3

ถ.พ. 2.64

ลักษณะ เป็นผงสีขาวละเอียด ไม่มีรส ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย 0.032 เป็นสารตัวเติมประเภทกึ่งเสริมประสิทธิภาพ สามารถใส่ยางได้มาก เพื่อให้ได้ ผลิตภัณฑ์ที่ราคาถูกลง โดยมีความแข็งแรงปานกลาง มีสมบัติทางฟิสิกส์ดีกว่าแคลเซียมคาร์บอเนต

2.3.3.2 Treated Whiting และ treated calcium carbonate

เอาแคลเซียมคาร์บอเนตมาเคลือบด้วยกรดสเตียริก แคลเซียมสเตียเรท หรือ โรซิน การนำแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบด้วยสารเหล่านี้ จะทำให้ผสมเข้าไปในสารเหล่านี้ได้ง่ายขึ้น ได้ผิวเรียบ ปริมาณกรดสเตียริกที่ใช้เคลือบประมาณ 0.8-3% ผสมที่อุณหภูมิประมาณ 100°C

แคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิวเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ ผสมในยางได้ง่ายไม่เกิดการจับก้อน ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาปานกลาง มีความกระด้างตัวสูง และความต้านทานต่อแรงดึงดี ใช้ทำผลิตภัณฑ์ เช่น ยางในรถจักรยาน กระเป๋าน้ำร้อน เป็นต้น ตัวอย่างของแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิวที่ใช้ในทางการค้าได้แก่ Winnofil S เป็นแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิวด้วยแคลเซียมสเตียเรท 0.05-1.10 u ความถ่วงจำเพาะ 2.65 ไม่เปียกน้ำ มีเนื้อกรดสเตียริก 2.8%

อนึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตเคลือบผิวอาจจะเป็นแคลเซียมคาร์บอเนตธรรมดาขนาดนำมาบดแล้วเคลือบก็ได้ เช่น OMVA BLE 3, Stan-White 500,600 เป็นต้น

2.3.3.3 สมบัติแคลเซียมคาร์บอเนต

โดยทั่วไปขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดใหญ่ ดังนั้นความต้านทานต่อแรงดึงของมันจึงไม่เท่ากับสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ เช่น เขม่าดำ

2.3.4 ดินขาว (China Clay)

Clay เป็น Hydrated aluminium silicate มีสูตรทางเคมี $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ โดยมีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ซึ่งหินแกรนิตและหิน Feldspar (หินฟีนมา) เมื่อเสื่อมสลายจะกลายเป็น clay + ทราย

การสลายตัวของหิน หิน Feldspar (ในแกรนิต) มีสูตรโครงสร้าง $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ เมื่อสลายตัวจะให้ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{CO}_3$

2.3.4.1 ชนิดของ Clay

แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

1. Kaolin สูตรโครงสร้าง $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ เป็นชนิดที่ใช้สำหรับอุตสาหกรรมยาง
2. Montmorillonite , $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{20}\text{H}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ เป็นพวก Bentonite clay ใช้ในอุตสาหกรรมน้ำยาง ปรับความหนืดของสารเคมีที่จับค
3. Illites เช่น Mica เป็น alkali aluminum silicate , $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$ ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้า เป็นฉนวน

2.3.4.2 Clay ในธรรมชาติ

clay พบได้ทุกหนทุกแห่ง แต่จะมีความบริสุทธิ์มากน้อยต่างกัน ถ้ามี clay อยู่ประมาณ 85 % ในเนื้อสาร จะใช้ทำอิฐได้ ซึ่ง clay ที่เหมาะสมแก่การทำถ้วยชาม อิฐ หรือ การเกษตรยังไม่ดีพอที่จะใช้กับยางได้ เหมือนดินขาวที่ใช้กับยาง มักจะมี kaolin อยู่ 94-98 % ที่เหลือเป็น silica กับ mica clay ที่ขุดจากเหมืองแร่ใหม่ ยังนำไปใช้งานไม่ได้ เพราะจะมีความชื้นอยู่ประมาณ 15-20 % และจะมีเม็ดทราย (grit แปลว่า หินกรวด กรวดทราย ขี้ผง) ปนอยู่

Grite เป็นเม็ดทราย ที่มีขนาดไม่ผ่านตะแกรงขนาด 325 mesh ยางที่มี grit สูง จะมีค่า T.S. ต่ำ และ flex cracking ต่ำ และ clay ที่ดีต้องมี grit ไม่เกิน 0.35 %

2.3.4.3 ชนิดของดินขาวที่ใช้ในยาง

1.) ดินขาวชนิดละเอียด Hard clay

- มีสีค่อนข้างขาว เป็นผงละเอียด
- มีเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค $2500 \text{ \AA}$
- ให้ค่าโมดูลัสสูง
- เพิ่มความต้านทานต่อแรงดึง , ความต้านทานต่อการฉีกขาด , ความต้านทานต่อการสึกหรอ
- สามารถรักษารูปทรงยางที่ไม่วัลคาไนซ์ได้ดีพอสมควร
- นับว่าเป็น white filler ที่ดีที่สุดรองมาจาก ซิลิกา

การใช้งาน ใช้รักษารูปทรงของยางไม่วัลคาไนซ์ เช่น ยางท่อ และ แหวนยางพนักขวด ใช้ทำผลิตภัณฑ์ ที่ต้องการความสึกหรอเป็นสำคัญ เช่น พื้นรองเท้า ส้นรองเท้า ยางจักรยาน และ สายพาน

2.) ดินขาวชนิดหยาบ Soft clay

- สีไม่ขาว มีขนาดอนุภาคใหญ่
- เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค 10000 – 20000 Å
- ให้ค่าโมดูลัสต่ำ , ความต้านทานการสึกหรอต่ำ
- Viscosity ของยางไม่วัลคาไนซ์ ต่ำ

การใช้งาน ใช้ลดต้นทุน ที่ความต้านทานต่อการสึกหรอไม่ใช่เป็นสิ่งสำคัญ เช่น tire bead insulation , ตุ๊กตา , ชั้นยางเคลือบผ้าใบของรถจักรยาน , และผลิตภัณฑ์ใช้ในครัวเรือนอื่น ๆ แต่ใช้ไม่ได้กับผลิตภัณฑ์ที่มีสีใส

3.) Calcined Clay

ที่อุณหภูมิ 450 – 625 °C โมเลกุลของน้ำที่ติดอยู่กับ clay จะระเหยหลุดออกไปได้ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ clay ที่เอาน้ำออกไป เรียก calcined clay จะ inert และ ไม่ค่อยจะเป็น hydrophilic ไม่ค่อยดูดความชื้น เหมาะสำหรับการเป็นสารตัวเติมในงานทำฉนวนปกอสายไฟฟ้า แต่ว่าให้สมบัติกายภาพไม่ค่อยดีเท่าใดนัก

ข้อเสีย Calcined Clay คือ การเผาต้องการพลังงาน ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

4.) Chemical Modified Clay

ผิวของอนุภาค clay อาจจะมีการ treat ด้วย amines , fatty acids , oils และ silanes เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านการผสมการ cure และการยึดติดกันระหว่างยางกับอนุภาค clay ซึ่ง clay ที่เคลือบ amine จะ cure ดีขึ้นและ clay ที่เคลือบ fatty acids หรือ oils จะช่วยการผสมได้ง่ายขึ้นและเร็วขึ้น

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารตัวเติมในยางส่วนใหญ่จะทำในรูปที่ใช้กับยางแห้ง ดังนั้นจะนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์กับน้ำยางเพื่อให้ได้สมบัติตามที่ต้องการดังนี้:

จากการศึกษาอิทธิพลของปริมาณของสารตัวเติม ซิลิกาและแคลเซียมคาร์บอเนต และสารตัวเติมผสม ที่มีต่อสมบัติการผสม สมบัติเชิงกล กายภาพ และโครงสร้างจุลภาค ของ โฟมธรรมชาติในระบบวัลคาไนซ์ปกติ (สมเจตน์และคณะ , 2003)

จากการศึกษา wet silica ที่มีพื้นที่ผิว 150-250 m²/g ถ้าใช้ wet silica ที่มีพื้นที่ผิวน้อยกว่า 150 m²/g จะทำให้ physical strength หายไป และหายไป และหากใช้ wet silica ที่มีพื้นที่ผิวที่มากกว่า 250 m²/g จะทำให้มีความหนืดเพิ่มมากขึ้น การใส่ wet silica ลงไปด้วยจะช่วยต้านทานการติดไฟ และมีการใช้ sodium ion 0.35 % ที่ 25 °C ทำการวัลคาไนซ์ที่

180 °C เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นทำการเคลือบด้วยวิธีที่ใช้ใบมีด (knife coater) ผลการทดลองที่ได้มีการซึมผ่านของอากาศ และมีการยึดติดที่ดีขึ้น (Fujiki ,et al ., 2002)

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ สำหรับยางที่ไม่ใช่สีดำ เช่น รองเท้า ยางบาสเก็ตบอล หรือยางขอบยาง เป็นต้น ซิลิกาเป็นผงเบา ฟูกระจายได้ง่าย ทำให้การผสมทำได้ยากกว่าสารตัวเติมอื่น นอกจากนั้นการใส่ซิลิกาเข้าไปจะทำให้ยางแข็งขึ้นมากอาจจะทำให้เกิดความร้อนและ scorch ได้ง่าย ซิลิกามีผิวเป็นกรด และมีขนาดอนุภาคเล็ก ทำให้มันดูดสารตัวเร่ง ทำให้การวัลคาไนซ์ช้าลงไปได้ ดังนั้นควรจะสารที่เป็นด่างลงไป สารเหล่านั้นมีชื่อเรียกว่า deactivator ได้แก่ เอพทีลีน เฮกซะเมทิลลีนเตตราซีน แกวนาซีน และไตรเอทธานอลามีน เป็นต้น โดยที่ปริมาณการให้ของสารเหล่านี้ประมาณ 6 % ของซิลิกาที่ใช้ (ร.ศ.พรพรรณ นิธิอุทัย)

การเตรียมคอกยางรถยนต์ ที่มีการใส่สารตัวเติมเข้าไปในนั้น ส่วนใหญ่สารตัวเติมที่ใช้จะเพิ่มคุณภาพเชิงกล ด้านความแข็งแรงและ modulus ซึ่งจะมีผลต่อขนาดอนุภาค , พื้นผิว , โครงสร้าง และ surface activity โดยอิทธิพลของสารตัวเติมที่มีต่อสมบัติของยางสามารถสรุปได้ดังนี้

1. เพิ่มพื้นที่ผิว (การลดลงของขนาดอนุภาค) โดยจะส่งผลให้ความยืดหยุ่นลดลง แต่ความนุ่มของยาง , ความต้านทานต่อการดึง , ความทนทานต่อการสึกหรอ , ความต้านทานต่อการฉีกขาด และ hysteresis จะเพิ่มขึ้น
2. เพิ่ม surface activity มากขึ้น (คงสภาพของผิวหน้า) โดยจะส่งผลให้ความทนทานต่อการสึกหรอ , การดูดซึมของสารเคมีหรือการเกิดปฏิกิริยา , modulus และ hysteresis มีมากขึ้น
3. เพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง โดยจะส่งผลให้ความนุ่มของยาง , modulus และ hysteresis มีมากขึ้น แต่ความต้านทานต่อการฉีกขาด และความยืดหยุ่นจะลดลง

ส่วนสมบัติทางฟิสิกส์ของสารตัวเติมจะมีความสัมพันธ์กับสายโซ่ที่ยึดติดโดยจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้าง (Pan ,et. Al October 1,2002)

ยางคอมปาวด์ที่ใช้ silica เป็นสารตัวเติมนั้น ส่วนใหญ่จะนำยางที่ได้นี้ไปใช้กับพาอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับรถ ซึ่ง silica จะลด rolling resistance และเพิ่ม road traction (Brack May 11,2004)

สมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมีของยางผสมนั้นจะขึ้นกับ ส่วนประกอบของยาง , การวัลคาไนซ์ , สารตัวเติม และ สารเร่งปฏิกิริยาซึ่งการแพร่กระจายของสารตัวเติมและสีจะมีลักษณะที่เหมือนกันโดยจะแทรกเข้าไปในยาง รวมทั้งการลดลงของขนาดทั้ง 2 ลักษณะพิเศษของสารตัวเติมต่อการแพร่กระจายในยางต่อสมบัติทางฟิสิกส์ และสมบัติทางเคมีจะเพิ่ม yiled ของผลิตภัณฑ์ (Hergenrother ,et al March 30,2004)

จากการศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมต่อสมบัติของ Tensile strength และ Tear resistance ของ SMR L/ENR 25 และ SMR L/SBR โดยใช้ระบบ semi-efficient ในการวัลคา

ไนซ์ สารตัวเติมที่ใช้ได้แก่ Carbon black (N 330) , Silica (Vulcasil C) , และ Calcium carbonate โดยใช้ในปริมาณตั้งแต่ 0-40 phr และใช้เครื่อง Monsanto Tensometer (Model T 10) ในการทดสอบหาค่า Tensile strength , M 300 (tensile stress at 30% elongation) และ Tear strength โดยมีอัตราการฉีกที่ 50 cm/min พบว่าเมื่อใช้ Carbon black และ Silica ค่า elongation at break จะลดลง แต่ Tensile strength , M300 และ Tear strength เพิ่มขึ้น แต่ผลของ Calcium carbonate มีค่าตรงกันข้าม ยางที่เติม Carbon black และ Silica จะมีสมบัติดีกว่าที่เติม Calcium carbonate ในยาง SMR L/ENR 25 จะมี Tensile strength , M300 และ Tear strength สูงกว่า แต่ elongation at break ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับยาง SMR L/SBR ในกรณีที่ใช้ Carbon black และ Silica (B.T. Poh , et al ., 2002)

จากการศึกษา Cure time (t_{90}) , Tensile strength และ Tear strength โดยใช้ Silica coupling และมี MPTS เป็น coupling ที่ใช้ในยาง NR , NBR และ SBR โดยใช้ระบบ semi-efficient ในการวัลคาไนซ์ (semi-EV) โดยผสมใน Brabender plastic-corder และ two - roll mill ภายใต้สภาวะเดียวกัน พบว่าที่ใช้เครื่อง Brabender โดยไม่มีการเติม MPTS ช่วง t_{90} ในยาง NBR และ NR จะมีค่าลดลง แต่ SBR จะมีค่าเพิ่มขึ้น และในกรณีที่เติม MPTS ช่วง t_{90} ในยาง NBR , NR และ SBR จะมีค่าลดลง เนื่องจากสมบัติของ MPTS จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์ของ Sulphur โดยทั่วไปแล้วค่าของ Tensile strength และ Tear strength ของยาง NBR และ SBR ที่ผสมใน Brabender จะดีกว่า two - roll mill แต่จะไม่ค่อยมีผลต่อยาง NR (M.Nasir , et al ., 1988)

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการวิจัย

3.1 สารเคมี

3.1.1 น้ำยางข้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Concentrated Latex) ผลิตโดยบริษัทจะนะน้ำยาง

3.1.2 กำมะถัน (Sulphur) สูตรทางเคมี S_8 เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เป็นผงสีเหลือง เตรียมในรูป 50% dispersion ใช้สำหรับเป็นการวัลคาไนซ์

3.1.3 ซิงออกไซด์ (Zinc oxide) สูตรทางเคมี ZnO เป็นชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีขาว เตรียมในรูป 50% dispersion ใช้สำหรับเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์

3.1.4 ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-diethyldithiocarbamate, ZDC) มีลักษณะเป็นผงสีขาว เตรียมในรูป 50% dispersion ใช้สำหรับเป็นสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์

3.1.5 สารป้องกันการเสื่อมของยาง (Wing stay L) มีลักษณะเป็นผงสีขาวเตรียมในรูป 50% dispersion

3.1.6 Bentonite clay ชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง มีลักษณะเป็นผงสีเทาใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของสารเคมีเพื่อเตรียม dispersion

3.1.7 Vultamol เป็นเกลือของ Alkylated naphthalene sulphonic acid มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน เป็นสารช่วยให้สารที่กำลังบด เกิดการกระจายตัวสม่ำเสมออยู่ในรูป dispersion

3.1.8 Terric มีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว เตรียมในรูป 15%

3.1.9 คลอโรฟอร์ม (Chloroform) สูตรทางเคมี $CHCl_3$ มีน้ำหนักโมเลกุล 119.39 ใช้ทดสอบระดับวัลคาไนซ์ของน้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารเคมีแล้ว

3.1.10 สารละลายฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde solution) สูตรเคมี CH_2O น้ำหนักโมเลกุล 30.03 เป็นของเหลวเข้มข้น 35-40 %

3.1.11 Polyvinyl methylether (PVME) เป็นสารไวความร้อน มีลักษณะเป็นของเหลวหนืดสีเหลือง เป็นสารประเภท non-ionogenic เมื่อนำไปอุ่นให้ร้อนจะเกิดการตกตะกอนโดยสมบูรณ์ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น $34-35^{\circ}C$ เนื่องจาก PVME เกิดกระบวนการกำจัดน้ำออกจากโมเลกุล (Progressive dehydration) เตรียมในรูปสารละลาย 10% dispersion

3.1.12 DEG (Diethylene glycol) เป็นของเหลวสีเหลืองใสเพื่อช่วยในการ cure ของซิลิกา

3.1.13 ซิลิกา (Silica) มีสูตรโครงสร้างเป็น SiO_2 ชื่อทางการค้า HiSil 215 ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ดีที่สุดในบรรดาสารตัวเติมที่ไม่ใช้สีขาว ซิลิกามีฤทธิ์เป็นกรด มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ $100 \text{ \AA}^0 - 400 \text{ \AA}^0$

3.1.14 แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ขนาดอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตมีขนาดใหญ่ ดังนั้นความต้านทานต่อแรงดึงของมันจึงไม่เท่ากับสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ เช่น เหมาดำ แคลเซียมคาร์บอเนต มีลักษณะเป็นผงสีขาว โดยใช้เกรด coated CaCO_3

3.1.15 ดินขาว (Clay) มีสูตรทางเคมี $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ มีความถ่วงจำเพาะ 2.60 ลักษณะเป็นผงสีขาวอมเทาอ่อนเป็นดินขาวชนิดละเอียด Hard clay เป็นสารตัวเติมที่ตรงมาจากซิลิกา โดยใช้เกรด china clay

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องชั่ง รุ่น metterToledo BD202 มีความละเอียด ± 0.01 กรัม มีความสามารถชั่งได้สูงสุด 3000 กรัม

3.2.2 ชุดกวนผสมสารเคมีกับน้ำยาง ใช้กวนผสมสารเคมีกับน้ำยาง เพื่อเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ ประกอบด้วยมอเตอร์ที่มีแกนหมุนติดล้ออย่างกลมหมุนบนจานที่ต่อกับแกนของใบพัดกวนผสม ความเร็วในการกวนผสม 75 รอบต่อนาที

3.2.3 ตู้อบอากาศร้อน (Hot air oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง $25-200^\circ\text{C}$

3.2.4 เครื่องวัดความหนืด Brookfield viscometer ยี่ห้อ Brookfield ประกอบด้วยแกนหมุน (spindle) 7 ขนาด คือ RV 1-RV 7 ความเร็วแกนหมุน 4 ระดับ คือ 10, 20, 50 และ 100 รอบต่อนาที

3.2.5 เครื่องบดผสมสารเคมี (Ball mill) ใช้ในการบดสารเคมีให้อยู่ในรูป dispersion ภาชนะในการบดผสมเป็นขวดพลาสติกทรงกระบอกขนาดความจุ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีฝาปิดสนิทเพื่อป้องกันการรั่วซึม ภายในบรรจุลูกแก้ว (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม.) ประมาณครึ่งหนึ่งของขวด ใส่สารเคมีให้มีปริมาตรรวมลูกแก้วประมาณ 75% ของขวด

3.2.7 ตะแกรงกรองน้ำยาง ใช้กรองน้ำยางที่บ่มแล้วก่อนนำมาเตรียมขึ้นทดสอบ

3.2.8 เครื่องวัด P_H (P_H meter) รุ่น HI 9321 microprocesson ผลิตในประเทศโปรตุเกสใช้วัดความเป็นกรด-ด่างของน้ำยางคอมปอนด์

3.2.9 เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง ผลิตโดย Lloyds instruments Ltd รุ่น 1000s จัดจำหน่ายโดยบริษัทอินโทรเอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด มีโหลดเซลล์เป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงที่วัด สามารถดึงหรือกดได้ด้วยแรงตั้งแต่ $0.04 - 50,000$ นิวตัน ระยะเคลื่อนที่วัดได้สูงสุด 1,000 มิลลิเมตร

3.2.10 แบบชุบ (Former) โดยใช้หลอดแก้วต้มให้ร้อนที่อุณหภูมิทำการทดลอง

3.2.11 เครื่องวัดความแข็งแบบ Shore A ใช้ในการวัดความแข็งของยาง มีระบบสปริงเป็นตัวกดเข็มลงไปบนยางจนกระทั่งเป็นแผ่นกดสัมผัสกับผิวของยางโดยใช้ระบบให้น้ำหนักคงที่เป็นตัวกดเครื่องไปบนชิ้นยางทดสอบซึ่งในแบบ Shore A ใช้น้ำหนักในการกด 822 กรัม ลักษณะปลายเข็มกดจะเป็นแบบกรวยปลายตัด

3.3 วิธีการดำเนินการ

ในงานวิจัยนี้จะทำการแปรปริมาณของสารตัวเติมสีขาวได้แก่ ซิลิกา , แคลเซียมคาร์บอเนต และดินขาว โดยใช้ระบบสูญเสียความเสถียรด้วยความร้อนซึ่งระบบนี้สามารถทำให้ยางมีความหนามาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ต้องการความหนาของยาง 1.5-2.0 มม. โดยใช้วิธีการจุ่มน้ำยางคอมพอนด์แล้วนำมาทำแผ่นฟิล์มและทดสอบสมบัติทางกายภาพ เพื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารตัวเติมสีขาว โดยมีขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้คือ

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับสารตัวเติม , น้ำยาง , สารไวความร้อน (PVME) และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เตรียมสารเคมี
3. เตรียมสูตรน้ำยางคอมพอนด์
4. ศึกษาความเข้มข้นของสารตัวเติม
5. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบการทำงานของกรรจุ่มแบบใช้สารไวความร้อนที่มีต่อความหนาของยาง
6. ศึกษาระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมพอนด์
7. ศึกษาสมบัติทางกายภาพของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม

3.3.1 การเตรียมสารเคมี

1. กำมะถัน เตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Sulphur	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

2. สารตัวเร่ง ZDC เตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ZDC	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. ชิงค์ออกไซด์ เตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
ZnO	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4. สารป้องกันการเสื่อม Wing stay L เตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Wing stay L	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ในการเตรียมกัมมะถัน สารตัวเร่ง และสารป้องกันการเสื่อมมีวิธีการเตรียม โดยนำลูกแก้วใส่ในประมาณครึ่งขวดที่ใช้ในการเตรียม โดยคำนวณให้ปริมาณสารเคมีกับน้ำและลูกแก้วไม่เกิน 75% ของปริมาณความจุของขวดในรูป 50% dispersion

5. ซิลิกาเตรียมในรูป 20% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Silica	20.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	78.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

6. แคลเซียมคาร์บอเนตเตรียมในรูป 30% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
CaCO ₃	30.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
น้ำกลั่น	68.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

7. แคลเซียมคาร์บอเนตเตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
CaCO ₃	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

8. ดินขาว เตรียมในรูป 30% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Clay	30.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	68.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

9. ดินขาว เตรียมในรูป 50% dispersion โดยใช้สูตรดังนี้

ชนิดสารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)
Clay	50.0
Bentonite clay	1.0
Vultamol	1.0
น้ำกลั่น	48.0

นำสารเคมีที่ชั่งแล้วไปบดผสมด้วยเครื่องบดผสม(Ball mill) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง

10. เตรียมสารไวความร้อน (Heat sensitive Agent) ในรูป 10% โดยนำ PVME ความเข้มข้น 65% จำนวน 15.4 กรัม ละลายน้ำและปรับปริมาตรเป็น 100 ลูกบาศก์เซนติเมตรด้วยขวดวัดปริมาตร

3.3.2 ขั้นตอนการผสมน้ำยางคอมปาวด์

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาระบบการทำงานของกรูมแบบใช้สารไวความร้อน โดยนำน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง มาทำการผสมสารเคมี ตามขั้นตอนดังนี้คือ

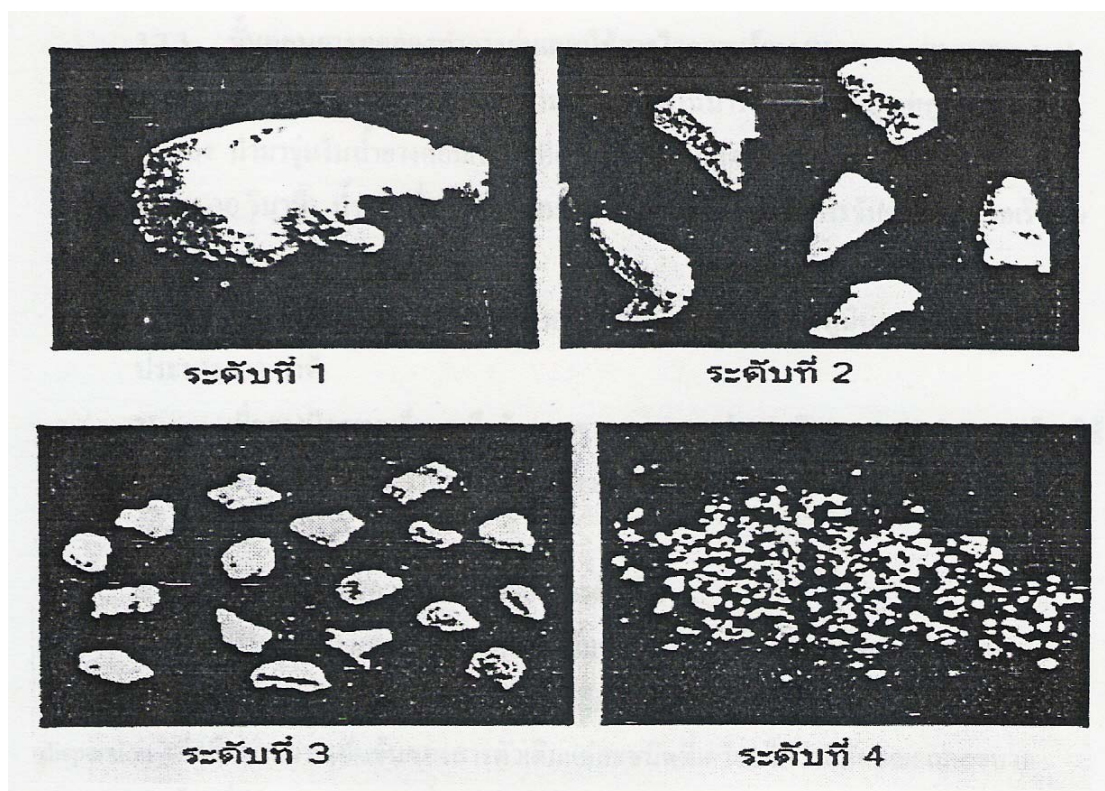
1. คำนวณหาน้ำหนักน้ำยางและสารเคมีที่ต้องการใช้
2. นำน้ำยางที่ผ่านการกรองมาจนเป็นเวลา 5 นาที

3. ใส่สารเพิ่มความเสถียรลงในน้ำยาง โดยค่อย ๆ เติม stabiliser เพื่อรักษาความเสถียรของน้ำยาง กวนให้เข้ากันประมาณ 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ stabiliser กระจายตัวในน้ำยาง
4. ใส่สารป้องกันการเสื่อม (Wing stay L) กวนให้เข้ากันประมาณ 5 นาที
5. ใส่สารตัววัลคาไนซ์ (ZDC , Sulphur) กวนให้เข้ากันประมาณ 10 นาที
6. ใส่สารตัวเติม กวนให้เข้ากัน
7. ใส่ซิงค์ออกไซด์ กวนให้เข้ากัน กวนต่ออีก 48 ชั่วโมง
8. ปรับลดอุณหภูมิของน้ำยางคอมปาวด์ลงโดยนำมาเก็บที่อุณหภูมิประมาณ 20 °C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วจึงเติมสารไวความร้อน (PVME) โดยค่อย ๆ เติมและควบคุมอุณหภูมิของน้ำยางคอมปาวด์ที่ 20 °C กวนเป็นเวลา 20 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
9. ปรับระดับ pH ของน้ำยางคอมปาวด์ด้วยสารละลายฟอสฟอรัส โดยค่อย ๆ เติมให้ pH ของน้ำยางคอมปาวด์ได้เท่ากับ 8.0
10. ก่อนนำน้ำยางคอมปาวด์ไปใช้งานต้องทำการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยาง , ค่าความหนืดและระดับ pH ของน้ำยางคอมปาวด์
11. เมื่อระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปาวด์ได้ประมาณ 2-3 (chloroform No.) จึงนำไปใช้งานในการจุ่ม เพื่อหาความหนาที่ได้จากการจุ่ม

3.3.2.1 ระดับวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปาวด์ด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform test)

ระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางบ่งบอกถึงระดับการเชื่อมโยงของโซ่โมเลกุลของน้ำยาง ซึ่งทำการวัดโดยการจับตัวอย่างด้วยคลอโรฟอร์ม และในการทดสอบโดยใช้คลอโรฟอร์มมีวิธีการคือ

นำน้ำยางคอมปาวด์และคลอโรฟอร์มมาอย่างละเท่า ๆ กัน ประมาณ 10 กรัม ผสมกันในจานแก้วแล้วกวนจนน้ำยางจับตัวหมด ตั้งทิ้งไว้ 2-3 นาที แล้วนำมาทดสอบระดับของการวัลคาไนซ์โดยการดึง สามารถจัดได้ 4 ระดับ โดยระดับที่สามารถใช้งานได้คือระดับที่ 2-3 คือเมื่อดึงยางมีความเหนียวและดึงขนาดที่ความยาวสั้น แสดงลักษณะของก้อนยางดังรูป 3.1 ซึ่งระดับการวัลคาไนซ์ของน้ำยางสามารถจัดได้ 4 ระดับ ดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะก่อนยางตามระดับการวัลคาไนซ์

ตารางที่ 3.1 ลักษณะต่าง ๆ ของยางที่ระดับการวัลคาไนซ์ต่างกัน

Chloroform number	ระดับการวัลคาไนซ์	ลักษณะก่อนยาง
No. 1	ไม่เกิดการวัลคาไนซ์	ยางจับตัวเป็นก้อนใหญ่ เมื่อดึงจะเหนียว สามารถดึงออกเป็นเส้นยาวได้
No. 2	เกิดการวัลคาไนซ์เล็กน้อย	ยางจับตัวเป็นก้อน และมีความเหนียวอยู่ เมื่อดึงจะขาดที่ความยาวสั้น
No. 3	การวัลคาไนซ์ปานกลาง	ยางกระจายเป็นชิ้นเล็ก ๆ ไม่เหนียวติดกัน
No. 4	เกิดวัลคาไนซ์เต็มที่	ยางจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ ไม่รวมตัวเป็นก้อน

3.3.3 ขั้นตอนการทดลองทำการจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน (Heat sensitive dipping)

- 1) ใช้แบบชุบหลอดแก้วที่ทำความสะอาดคัมในน้ำร้อนที่ระดับอุณหภูมิที่ทำการทดลอง นำมาจุ่มในน้ำยางคอมปอนด์ที่ควบคุมอุณหภูมิตามการทดลอง จับเวลาของการจุ่ม (5-30 วินาที) น้ำยางเมื่อได้รับความร้อนจากแบบชุบจะเกิดการจับตัวอย่างรวดเร็วบนแบบชุบ
- 2) ทิ้งไว้ให้ยางคงรูปประมาณ 5 นาที แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 °C ประมาณ 30 นาที
- 3) เมื่อยางมีความแข็งแรงจึงตัดออกจากแบบชุบ ทำการวัดความหนาของยาง โดยใช้เครื่องมือโครมิเตอร์ วัดความหนาของชิ้นงาน โดยวัดเป็นค่าความหนาเฉลี่ยของตัวอย่าง 3 ชิ้น ทดสอบ

3.4 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารตัวเติม

ทำการเตรียมสารที่มีความเข้มข้น 10 % , 30% , 50% dispersion ของแคลเซียมคาร์บอเนตและดินขาวตามลำดับ ส่วนซิลิกาเตรียมที่ความเข้มข้น 10% , 20% , 30% dispersion เพื่อศึกษาความเข้มข้นของสารตัวเติมแต่ละชนิดที่เตรียมได้ว่ามีลักษณะและขนาดอนุภาคอย่างไร ที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

3.5 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อระบบการทำงานของการจุ่มแบบใช้สารไวความร้อน

โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาของยางและสมบัติของน้ำยางคอมปอนด์ มีรายละเอียดและขั้นตอนการทดลองดังนี้ คือ

1. ระยะเวลาการบ่มต่อสมบัติของน้ำยางคอมปอนด์แบบไวความร้อน
2. ระดับ pH ของน้ำยางคอมปอนด์ที่มีผลต่อความหนาของยาง
3. เวลาจุ่มและอุณหภูมิแบบชุบต่อความหนาของยาง
4. ปริมาณสารไวความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง
5. ความเข้มข้นของสารตัวเติม
6. ปริมาณสารตัวเติมต่อความหนา
7. ระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมปอนด์

3.5.1 ระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมปอนด์

โดยเตรียมน้ำยางคอมปอนด์ตามสูตรในตารางที่ 3.2 แล้วทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.2 ในขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 7 จากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องโดยการแปรเวลาบ่มคือ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง เพื่อศึกษาเวลาการบ่มน้ำยางคอมปอนด์ที่อุณหภูมิห้องต่อสมบัติการวัลคาไนซ์ของน้ำยางคอมปอนด์เมื่อครบกำหนดนำน้ำยางคอมปอนด์มาเติมสารไวความร้อนโดยทำตามขั้นตอนที่ 8 จนถึงขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นนำน้ำยางคอมปอนด์มาทำการจุ่มตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.3

ตารางที่ 3.2 สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของระยะเวลาการบ่มน้ำยางคอมเพานด์

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง
60% น้ำยางข้น (HA)	100
15% Terric dispersion	0.5
50% Sulphur dispersion	2
50% ZDC dispersion	0.8
50% ZnO dispersion	0.5
50% Wing stay L dispersion	1
10% PVME	1

3.5.2 ระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ที่มีผลต่อความหนาของยาง

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.2 จากนั้นทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.2 โดยปรับลดระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์ด้วยสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ ที่ระดับ pH เท่ากับ 9.0 , 8.5 , และ 8 แล้วจึงนำไปทำการชุบโดยใช้อุณหภูมิแบบชุบเท่ากับ 80 °C เป็นเวลา 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 วินาที ทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.2.2 นำไปอบเพื่อให้ยางคงรูปในตู้อบอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที จึงนำมาวัดความหนาของยาง

3.5.3 ศึกษาผลของเวลาและอุณหภูมิในแบบชุบต่อความหนาของยาง

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.2 ทำตามขั้นตอนในหัวข้อ 3.3.2 ปรับระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์เท่ากับ 8.0 ทำการจุ่มน้ำยางโดยแปรอุณหภูมิแบบชุบเท่ากับ 60 °C, 70 °C, 80 °C และ 90 °C ที่เวลาการจุ่ม 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที แล้วนำไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาวัดความหนาของยางที่ได้

3.5.4 ศึกษาผลของปริมาณสารไวความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.3 และทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.2 ปรับระดับ pH เท่ากับ 8.0 โดยแปรปริมาณ PVME เท่ากับ 0, 0.5 , 1.0 และ 1.5 phr แล้วทำการจุ่มด้วยแบบชุบอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 วินาที แล้วนำไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาทีแล้วนำมาวัดความหนาของยางที่ได้

ตารางที่ 3.3 สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของปริมาณสารไวความร้อน (PVME) ต่อความหนาของยาง

สารเคมี	สูตรที่(น้ำหนักแห้ง)			
	1	2	3	4
60% น้ำยางชั้น (HA)	100	100	100	100
15% Terric dispersion	0.5	0.5	0.5	0.5
50% Sulphur dispersion	2.0	2.0	2.0	2.0
50% ZDC dispersion	0.8	0.8	0.8	0.8
50% ZnO dispersion	0.5	0.5	0.5	0.5
50% Wing stay L dispersion	1.0	1.0	1.0	1.0
10% PVME	0	0.5	1.0	1.5

3.5.5 ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติมต่อความหนาของยาง

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.4 ทำตามขั้นตอนในหัวข้อ3.3.2 โดยแปรชนิดและปริมาณตามตาราง โดยปรับระดับ pH ของน้ำยางคอมเพานด์เท่ากับ 8.0 ทำการจุ่มน้ำยางโดยใช้อุณหภูมิแบบชุบเท่ากับ 80 °C ที่เวลาจุ่ม 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที แล้วนำไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาวัดความหนาของยางที่ได้

ตารางที่ 3.4 สูตรน้ำยางคอมเพานด์ที่ใช้ในการศึกษาผลของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ต่อความหนาของยาง

สารเคมี	สูตรที่(น้ำหนักแห้ง)				
	1	2	3	4	5
60% น้ำยางชั้น (HA)	100	100	100	100	100
15% Terric dispersion	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50% Sulphur dispersion	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
50% ZDC dispersion	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
50% ZnO dispersion	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
50% Wing stay L dispersion	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
10% PVME	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

สารเคมี	สูตรที่(น้ำหนักแห้ง)				
	1	2	3	4	5
สารตัวเติม (20% Silica, 30% CaCO ₃ , 30% Clay, 50% CaCO ₃ , 50% Clay	0	10	20	30	40

3.6 ศึกษาระยะเวลาการเก็บน้ำยางคอมเพานด์ต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด ระดับ pH และการวัดคาบในซ์

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.2 และทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.2 ปรับระดับ pH เท่ากับ 8.0 โดยแบ่งน้ำยางคอมเพานด์ออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนที่ 1 ทำการจุ่มด้วยแบบชุบอุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 5 , 10 , 15 , 20 , 25 และ 30 วินาที อีกส่วนไม่ผ่านการจุ่ม โดยทำการเก็บน้ำยางทั้ง 2 ส่วนไว้ที่อุณหภูมิ 20 °C

3.7 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของชนิดและปริมาณของสารตัวเติม

โดยเตรียมน้ำยางคอมเพานด์ตามสูตรในตารางที่ 3.4 แล้วทำตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 3.3.2 เพื่อทำแผ่นฟิล์มโดยใช้หลอดทดลองจุ่มน้ำยางคอมเพานด์ซึ่งใช้อุณหภูมิแบบชุบ 80 °C ที่เวลาจุ่ม 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 วินาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปอบเพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 45 นาที เพื่อเตรียมแผ่นฟิล์มยางที่มีความหนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร แล้วนำแผ่นฟิล์มมาทดสอบสมบัติต่าง ๆ คือ

สมบัติที่ทดสอบ

- 1.) ความต้านทานแรงดึงทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง
- 2.) ความต้านทานแรงฉีกขาด
- 3.) 300%Modulusทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง
- 4.) ความสามารถในการยืดเมื่อขาดทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

3.7.1 สมบัติความต้านทานแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมตามหัวข้อที่ 3.3.7 เป็นรูปคัมเบล โดยใช้ die C และนำตัวอย่างอีก 4 ชิ้น ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนด นำยางออกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน นำไปดึงให้ยืดด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงที่ใช้ดึงยางจนขาด โดยทดสอบแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง นำมาคำนวณสมบัติความต้านทานแรงดึง

การคำนวณ

$$\text{Tensile strength} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงจนขาด (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (มม.²)

3.7.2 สมบัติความต้านทานแรงฉีกขาดของแผ่นฟิล์มยาง

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมตามหัวข้อที่ 3.3.7 เป็นมุม โดยใช้ die B ตัวอย่าง นำไปดึงให้ขาดด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงที่ใช้ดึงยางจนขาด โดยทดสอบแผ่นฟิล์มยาง นำมาคำนวณสมบัติความต้านทานแรงฉีกขาด

การคำนวณ

$$T_s = F/d$$

เมื่อ T_s เป็นความต้านทานการฉีกขาด (KN/m)

F เป็นแรงดึงจนขาด (N)

d เป็นความหนาของชิ้นทดสอบ (mm.)

3.7.3 300%Modulusทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมตามหัวข้อที่ 3.3.7 เป็นรูปคัมเบล โดยใช้ die C และนำตัวอย่างอีก 4 ชิ้น ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนด นำยางออกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน นำไปดึงให้ขาดด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงที่ 300%Modulus โดยทดสอบแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง นำมาคำนวณสมบัติความต้านทานแรงดึง

การคำนวณ

$$300\% \text{ Modulus} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงที่ใช้ดึงยางให้ยืดออกเป็นระยะ 300% จากระยะเดิม (นิวตัน)

A คือ พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (มม.²)

3.7.4 ความสามารถในการยืดเมื่อขาดทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง

ตัดตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมตามหัวข้อที่ 3.3.7 เป็นรูปคัมเบล โดยใช้ die C และนำตัวอย่างอีก 4 ชิ้น ไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 7 วัน เมื่อครบกำหนด นำยางออกตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 วัน นำไปดึงให้ขาดด้วยเครื่อง Tensile Testing Machine โดยใช้ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตร/นาที อ่านแรงที่ใช้ดึงยางจนขาด โดยทดสอบแผ่นฟิล์มยางทั้งก่อนและหลังบ่มเร่ง นำมาคำนวณสมบัติความต้านทานแรงดึง

การคำนวณ

$$\% \text{Elongation} = 100 * (L - L_0) / L_0$$

เมื่อ L คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืด

L_0 คือ ระยะระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม