

การเตรียมยางไมโครเซลลูลาร์จากยางธรรมชาติ

นางสาวดาริน นิลทรงกลด



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974 - 333 - 477 - 7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION OF MICRO CELLULAR RUBBER FROM NATURAL RUBBER



Miss Darin Nilsonglod

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Chemical Technology

Department of Chemical Technology

Faculty of Science

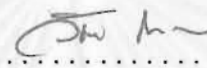
Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974 - 333 - 477 - 7


หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเตรียมยางไมโครเซลลูโลสจากยางธรรมชาติ
โดย นางสาวดาริน นิลทรงกลด
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

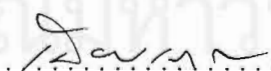

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย โพธิ์พิจริต)

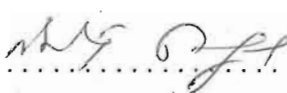
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ภัทรพรรณ ประศาสน์สารกิจ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูชาติ บารมี)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เพ็ชรพรรณ ทศคร)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

ดาวริน นิลทรงกลด : การเตรียมยางไมโครเซลลูลาร์จากยางธรรมชาติ (PREPARATION OF MICRO CELLULAR RUBBER FROM NATURAL RUBBER) อ.ที่ปรึกษา :
 วศ.ดร.ชูชาติ บารมี , อ.ที่ปรึกษาร่วม : นางวราภรณ์ ขจรไชยกูล, 102 หน้า.
 ISBN 974 – 333 – 477 – 7

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับชนิดของสารฟู่ที่ใช้ทำให้เกิดฟองเป็นรูพรุนแบบปิด ให้ได้ตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056, type 2 ; class A โดยใช้ยางธรรมชาติชนิด STR 20 เป็นวัตถุดิบหลัก และทดลองบดผสมกับยางสังเคราะห์ ชนิด SBR 1500 สารฟู่ที่ใช้มี 4 ชนิดด้วยกันคือ Opencell-100 , Supercell-D80 , Unifoam AZ-H40 และ Porofor TSH PLV โดยทำการศึกษาสูตรที่ใช้ในการบดผสมยาง อุณหภูมิ เวลา ขนาด วิธีในการคงรูปร่างฟอง ปริมาณยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์ที่เหมาะสมในการผลิตยางฟองและทดสอบสมบัติเชิงกลตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 , type 2 ; class A โดยทำการคงรูปร่างฟองที่อุณหภูมิ 150, 160 และ 170°C แปรปริมาณขนาดของยางเป็น 50% ของบ้ำพิมพ์ , 75% ของบ้ำพิมพ์ และเต็มบ้ำพิมพ์ คงรูปร่างฟองด้วยวิธีใช้เครื่องอัดแบบ single step และ two step และคงรูปร่างฟองด้วยวิธีการอบไอน้ำ แปรปริมาณยางธรรมชาติต่อยางสังเคราะห์เป็น 100 : 0 , 90 : 10 , 80 : 20 , 70 : 30 , 60 : 40 , 50 : 50 และ 0 : 100 ตามลำดับ

จากการวิจัยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคงรูปร่างฟอง คือที่อุณหภูมิ 150°C โดยเตรียมยางขนาด 75% ของบ้ำพิมพ์ ทำการคงรูปด้วยเครื่องอัดแบบ single step และสูตรที่ผ่านตามาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 คือสูตรที่มีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 100 : 0 โดยใช้สารฟู่ชนิด Opencell-100 , Supercell-D80 และ Unifoam AZ-H40 และสูตรที่มีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 โดยใช้สารฟู่ชนิด Supercell-D80



ภาควิชา เคมีเทคนิค
 สาขาวิชา เคมีเทคนิค
 ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต นิลทรงกลด
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4072258623 : MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: BLOWING AGENTS / MICRO CELLULAR RUBBER .

DARIN NILSONGLOD : THESIS TITLE. PREPARATION OF MICRO CELLULAR RUBBER FROM NATURAL RUBBER . THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SHOOSHAT BARAME, Ph.D. THESIS COADVISOR : VARAPORN KAJORNCHAIYAKUL, 102 pp. ISBN 974-333-477-7.

This work studied the type of blowing agent which could produce the closed-cell sponge and met the requirement of ASTM D1056, Type 2; Class A. NR in the form of STR20 was used as base material and blended with SBR1500. Four types of blowing agent, i.e. Opencell-100, Supercell-D80, Unifoam AZ-H40 and Porofor TSH PLV were observed. The conditions to be studied were the formulation of test's rubber mix, temperature, time, size, method of vulcanisations, ratio of NR to SBR blend and physical properties testing based upon standard ASTM D1056, Type 2; Class A. Temperature of vulcanisation were 150, 160 and 170 °C, size of rubber's blank for filling mould were 50% , 75% and full of mould. The method of vulcanisation were pressing with single step, two step and open cure in autoclave. Vary the ratio of NR to SBR were 100 : 0, 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50 and 0 : 100.

It was showed that the optimum temperature of vulcanisation micro cellular rubber was 150°C. The rubber vulcanised by pressing with single step and suitable size of rubber's blank was 75% of mould. Ratio of NR : SBR ; 100 : 0 using blowing agents type Opencell-100, Supercell-D80 and Unifoam AZ-H40 and ratio of NR : SBR; 90 : 10 using Supercell-D80 were met requirement of ASTM D1056, Type 2; Class A.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา เคมีเทคนิค
สาขาวิชา เคมีเทคนิค
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อผู้ประดิษฐ์ .. ดาริน นิลสงloed ..
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชาติ บารมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และนางวราภรณ์ ขจรไชยกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และช่วยเหลือการวิจัยเป็นอย่างดีมาตลอด ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและตรวจวิทยานิพนธ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านของสาขาวิชาเคมีเทคนิคและสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติการของอุปกรณ์ทดลอง อุปกรณ์วิเคราะห์และทดสอบ ตลอดจนการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านอุปกรณ์การวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย ดังรายนามต่อไปนี้

1. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ให้ความอนุเคราะห์ในการทำงานตลอดการวิจัย
2. ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบค่าความดูดซับน้ำ ด้วยเครื่อง Vacuum dryer
3. บริษัทไทยปักษ์ใต้ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์ให้ยางธรรมชาติ ชนิด STR 20
4. บริษัท BSTE Co.,Ltd. ให้ความอนุเคราะห์ให้ยางสังเคราะห์ ชนิด SBR 1500
5. บริษัท A.F.Goodrich ให้ความอนุเคราะห์ให้สารฟูลินิด Opencell-100, Supercell-D80 และ Unifoam AZ-H40 และสารกระตุ้นสารฟูลินิด
6. บริษัท Bayer Thai ให้ความอนุเคราะห์ให้สารฟูลินิด Porofor TSH PLV
7. บริษัท Tenma Factice MFG. Co., Ltd. ให้ความอนุเคราะห์ให้แฟคตีส

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านกำลังทรัพย์และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ดาริน นิลทรงกลด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ท
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	2
1.2 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 วารสารปริทัศน์	3
2.1 ยางธรรมชาติ	3
2.1.1 ประเภทของยางธรรมชาติ	3
2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของยางธรรมชาติ	5
2.1.3 ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ยางธรรมชาติ	6
2.1.4 การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ	7
2.2 ยางสังเคราะห์	7
2.2.1 ประเภทของยางสังเคราะห์	7
2.2.2 ยาง SBR	8
2.2.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของ SBR	10
2.2.4 การใช้ประโยชน์	11
2.3 พอลิเมอริ์นผสม	13
2.3.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอริ์นผสม	13
2.3.2 วิธีการผสม	13
2.3.3 ยางผสม NR / SBR	13
2.4 Cellular rubber	14
2.5 Micro cellular rubber	14

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2 2.6 สารที่ใช้ผสมยาง	15
2.6.1 สารทำให้ยางคงรูป	15
2.6.2 สารเร่งให้ยางคงรูป	16
2.6.3 สารกระตุ้นสารเร่ง	19
2.6.4 สารแอนติออกซิแดนซ์	21
2.6.5 สารตัวเติม	23
2.6.6 พลาสติกไซเซอร์	24
2.6.7 แฟคตัส	29
2.6.8 สารฟู	30
2.6.9 สี	34
2.7 การออกแบบสูตรส่วนผสม	34
2.8 กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง	35
2.8.1 การบดยาง	35
2.8.2 การคงรูป	36
2.8.3 การทำให้ยางคงรูป	36
2.9 งานวิจัยที่ผ่านมา	37
3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	38
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	38
3.1.1 ยางธรรมชาติชนิดยางแท่ง STR 20	38
3.1.2 ยางสังเคราะห์ชนิด SBR 1500	38
3.1.3 สารฟู	39
3.1.4 สารทำให้ยางคงรูป	41
3.1.5 สารเร่งให้ยางคงรูป	41
3.1.6 สารกระตุ้นสารเร่ง	41
3.1.7 สารช่วยในกรรมวิธีการผลิต	41
3.1.8 สารแอนติออกซิแดนซ์	42
3.1.9 สารตัวเติม	42
3.1.10 สารอื่นๆ	42

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 3.2 อุปกรณ์การทดลอง	42
3.2.1 อุปกรณ์การคงรูปตัวอย่างทดลอง	42
3.2.2 อุปกรณ์ในการวิเคราะห์และทดสอบ	45
3.3 วิธีดำเนินการทดลอง	46
3.3.1 กำหนดสูตรที่ใช้ในการบดผสมยาง	46
3.3.2 การคงรูปตัวอย่างทดลอง	51
3.3.3 การทดสอบสมบัติ	53
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	54
4.1 การบดยาง	54
4.2 การหาอุณหภูมิและปริมาณ blank ของยางที่เหมาะสมในการคงรูปยาง ฟอง	56
4.3 การหาวิธีที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง	62
4.4 การหาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง	67
4.5 หาขนาดของยางที่ใช้ในการคงรูปยางฟองเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล	68
4.6 หาน้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง เพื่อให้ได้ยางฟองที่ มีลักษณะรูพรุนเล็กละเอียด มีขนาดรูพรุนสม่ำเสมอและผ่านตามาตร ฐานยางฟอง ASTM D1056 ,Type 2, Class A	68
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 สรุปผลการทดลอง	82
5.1.1 การบดยางให้นิ่มและการบดผสมยางกับสารเคมี	82
5.1.2 ความหนืดของยางดิบและความหนืดของยางผสมสารเคมี	82
5.1.3 การคงรูปของยางผสมสารเคมี	82
5.1.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	82
5.1.5 สูตรที่เหมาะสมในการผลิตยางฟองตามมาตรฐาน ASTM D1056 ,Type 2 ; Class A	83
5.2 ข้อเสนอแนะ	83

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
รายการอ้างอิง	84
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก การทดสอบยางแท่ง STR.	87
ภาคผนวก ข การคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ใช้	94
ภาคผนวก ค ลักษณะปรากฏของยางฟองที่ผ่านการคงรูป	96
ภาคผนวก ง การเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ	100
ประวัติผู้เขียน	102



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	มาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์	4
2.2	ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของยางธรรมชาติ	5
2.3	สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ	6
2.4	สัดส่วนของการใช้ยางธรรมชาติในประเทศไทย ปี 2541	6
2.5	การใช้ประโยชน์จากอิมัลชันเอสปีอาร์	12
2.6	ประสิทธิภาพของแอนติออกซิแดนซ์ต่อความต้านทานต่อการเสื่อมของยาง	23
2.7	Solubility parameter ของยาง	25
2.8	Solubility parameter ของพลาสติกไฮเซอร်ทั่วไป	26
2.9	สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้กับยาง	27
2.10	ความเข้ากันได้ระหว่างยางชนิดต่างๆ กับน้ำมัน	28
2.11	ผลของกรดต่อการสลายตัวของ DPT	32
2.12	สูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยาง	34
2.13	ตัวอย่างขนาดปริมาณยางที่จะบดได้และกำลังของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง	35
3.1	สมบัติทางเคมีของยางแท่งชนิดเอสทีอาร์ 20	38
3.2	สมบัติยางเอสปีอาร์ 1500	39
3.3	สมบัติของ Opencell-100	40
3.4	สมบัติของ Supercell-D80	40
3.5	สมบัติของ Unifoam AZ-H40	40
3.6	สมบัติของ Porofor TSH PLV	41
3.7	สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองแปรปริมาณสารอื่นๆ (ในสูตร A1-A12)	46
3.8	สูตรทดลองที่แปรปริมาณสารต่างๆ (ในสูตร A1-A12)	47
3.9	สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองแปรปริมาณสารอื่นๆ (ในสูตร B1-B34)	48
3.10	สูตรทดลองที่แปรปริมาณสารต่างๆ (ในสูตร B1-B34)	48
4.1	ค่าความหนืดของยางดิบที่ผ่านการบดให้นิ่มที่เวลาต่างๆกัน	54
4.2	สมบัติตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056, Type 2: Class A.	55
4.3	ความหนาแน่นของยางสูตร A1-A3 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยใช้เครื่องอัด	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.4 ลักษณะของยางพองที่ผ่านการคงรูปแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	57
4.5 ความหนาแน่นของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร A4-A6 แบบ single step โดยใช้เครื่องอัด	60
4.6 สมบัติเชิงกลของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร A7-A9	61
4.7 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส โดยใช้เบ้าสี่เหลี่ยมจัตุรัส.....	62
4.8 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปโดยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที	63
4.9 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	64
4.10 ความหนาแน่นของยางสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	64
4.11 ความหนาแน่นของยางสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two step ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	65
4.12 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two step ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	65
4.13 ความหนาแน่นของยางที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยใช้ autoclave ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที	66
4.14 เวลาในการคงรูปยางสูตร A17 และ A18	67
4.15 เวลาในการคงรูปยางสูตร A19, A20, A21 และ A22	67
4.16 ขนาดที่ใช้ในการคงรูปยาง	68
4.17 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพอง เพื่อทดสอบตามมาตรฐานยางพอง ASTM D1056 , Type 2;Class A	69
4.18 สมบัติเชิงกลของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร B1-B4	69
4.19 ค่าความหนืดของยางที่ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.20 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปร่างฟองสูตร B9-B12	71
4.21 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปร่างฟองสูตร B13-B14.....	71
4.22 เวลาและน้ำหนักที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการคงรูปร่าง เพื่อทดสอบตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056	72
4.23 ผล Mooney Viscosity (ML 1+4/100°C)	72
4.24 ผลเวลาในการคงรูปร่างฟองสูตร B15-B34 ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส	73



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1 เครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่	42
3.2 เครื่องบดผสมแบบปิด	43
3.3 เครื่องอัดคงรูปร่างแบบไฮดรอลิก	44
3.4 เบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยม	44
3.5 เบ้าพิมพ์วงกลม	45
4.1 ค่าความเหน็ดของยางดิบที่ผ่านการบดให้นุ่มที่เวลาต่างๆ กัน	54
4.2 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank 50% เบ้า	57
4.3 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank 75% เบ้า	58
4.4 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank เต็มเบ้า	58
4.5 ผล Compression Deflection 25% Deflection	74
4.6 ผล Water Absorption	75
4.7 ผลค่า Tensile Properties	76
4.8 ผล Tear Strength	78
4.9 ผล Hardness	79
4.10 ผล Rebound Resilience	80
4.11 ผล Density	81



ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลก มีปริมาณการผลิตเกือบ 2 ล้านตันต่อปี โดยมีส่วนแบ่งในตลาดโลกประมาณ 30 % มีการส่งออกยางธรรมชาติประมาณ 90 % ของผลผลิต และนำรายได้เข้าประเทศปีละประมาณ 60,000 ล้านบาท ขณะเดียวกันอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางซึ่งใช้ยางธรรมชาติที่ผลิตได้ประมาณ 8 - 10 % ของผลผลิต หรือประมาณ 150,000 ตัน ร่วมกับยางสังเคราะห์ซึ่งนำเข้าไปในรูปแบบของยางชนิดต่างๆ ได้แก่ SBR , BR, IIR, NBR, CR และ EPDM ประมาณปีละ 80,000 ตัน อุตสาหกรรมนี้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อใช้งานในประเทศและเพื่อส่งออก ซึ่งการส่งออกผลิตภัณฑ์ยางนำรายได้เข้าประเทศปีหนึ่งๆ ประมาณ 20,000 ล้านบาท จากมูลค่าการส่งออกยางธรรมชาติและส่งออกผลิตภัณฑ์ยาง เป็นที่น่าสังเกตว่าแม้การใช้ยางทั้งชนิดยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์รวมกันประมาณปีละ 230,000 ตันและส่งออกเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเพียงบางส่วน คือประมาณ 10% ของการผลิตรวมยังมีมูลค่าการส่งออกสูงประมาณหนึ่งในสามของการส่งออกยางดิบ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปยางมีความสำคัญ เพราะสามารถเพิ่มมูลค่าให้ยางดิบได้มาก จึงควรได้รับการผลักดันสนับสนุนการขยายตัวของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางเป็นอย่างมาก (1) และปัจจุบันอุตสาหกรรมอะไหล่ยางรถยนต์ในประเทศไทยได้ขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการบริโภคยางเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดการนำเข้าของยางสังเคราะห์เพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งเห็นได้จากสถิติการเพิ่มขึ้นของการนำเข้าของยางสังเคราะห์ตั้งแต่ปี 2537 - 2541 เป็น 71, 86, และ 86 พันเมตริกตันตามลำดับ ส่วนหนึ่งของยางสังเคราะห์นี้จะเป็นยาง EPDM (Ethylene - Propylene terpolymer) ซึ่งนำมาใช้เป็นอะไหล่ยางรถยนต์ประเภทที่เป็นฟองน้ำ เช่นขอบกระจกรถยนต์ ยางหุ้มท่อแอร์ เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน แต่ยางสังเคราะห์ที่นำมาเป็นวัตถุดิบนั้นมีราคาค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ดังนั้นหากสามารถนำยางธรรมชาติที่มีอยู่ภายในประเทศมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตได้ ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตลงและยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางธรรมชาติอีกด้วย และเนื่องจากการผลิตยางฟองสามารถใช้วัตถุดิบได้ทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ แต่การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้ยางธรรมชาติมาผลิตยางฟองชนิด micro cellular นั้นยังค่อนข้างน้อยมาก งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเกี่ยวกับชนิดของสารฟู่ (blowing agents) ที่ใช้ทำให้เกิดฟองเป็นรูพรุนแบบปิดโดยใช้ยางธรรมชาติและยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 ศึกษาสมบัติในกระบวนการผลิต (processibility)

- การบดยางให้นิ่ม (mastication) และการบดผสมยางกับสารเคมี (mixing)
- ความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางดิบและของยางผสมสารเคมี

(compound rubber)

- การคงรูปของยางผสมสารเคมี (vulcanisation characteristics)
- เงื่อนไข (ความดัน, อุณหภูมิ, เวลา ฯลฯ) การขึ้นรูปยางฟองโดยอัดเข้าเบ้า

พิมพ์ (moulding)

1.1.2 ศึกษาสูตรและเทคนิคการผลิตที่สามารถผลิตยางฟองตามมาตรฐาน ASTM D1056 สำหรับ Type 2, Closed Cell Expanded (class A)

1.2 ความสำคัญหรือประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1 สามารถเผยแพร่ข้อมูลสูตรและเทคนิคการใช้ยางแท่ง STR 20 ในการผลิตยางฟองชนิด micro cellular

1.2.2 ผู้ประกอบการสามารถใช้ประโยชน์ในการผลิตเชิงพาณิชย์ได้

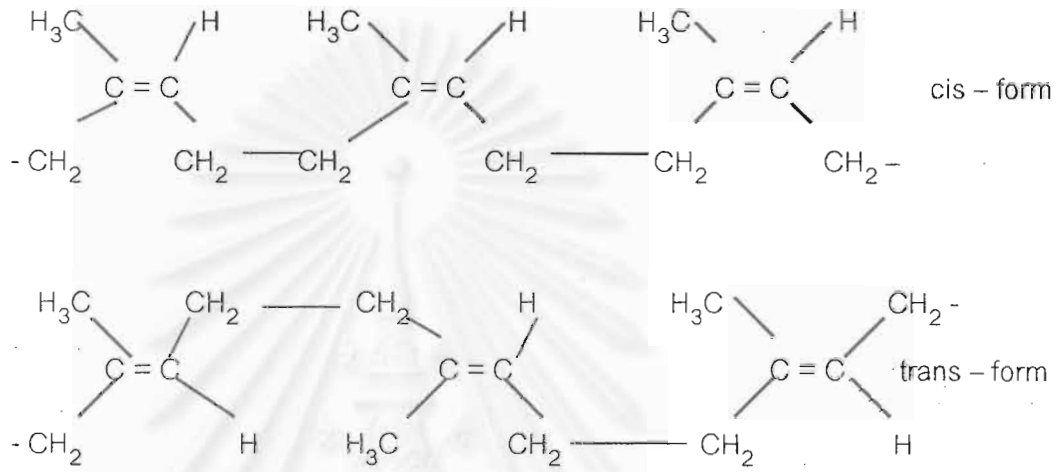
1.2.3 ทำให้เกิดการใช้อย่างธรรมชาติภายในประเทศเพิ่มมากขึ้น

1.2.4 เพิ่มมูลค่าอย่างธรรมชาติ

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

มีสูตรเป็นไอโซพรีน (C₅H₈) มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาวเป็น (C₅H₈)_n หรือ

$-(CH_2 - C(CH_3)=CH - CH_2)_n-$ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15 - 20,000 การเชื่อมต่อกันเป็นโมเลกุล ยาวนั้นอาจเชื่อมต่อกันได้ 2 แบบคือ cis - form หรือ trans - form ดังนี้



สำหรับยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา Hevea Braziliensis และ Guayule อยู่ในรูป cis - form ส่วนยางที่ได้จากยางชนิด Gutta - percha และ Balata อยู่ในรูป trans - form

คำว่า cis และ trans ต่างกันตรงความสามารถในการเรียงตัวให้เป็นระเบียบ ซึ่งทำให้เกิด การตกผลึกคือ trans - form จะตกผลึกได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิห้อง ส่วน cis - form เมื่อโมเลกุลจัด ตัวจะทำให้เกิดการตกผลึกบางส่วน ดังนั้น trans - form จะแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสมบัติเป็น ยาง แต่ cis - form ยังคงมีสมบัติเป็นยาง (2)

2.1.1 ประเภทของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ

1. น้ำยาง
2. ยางแห้ง ซึ่งยังแบ่งออกได้เป็นดังนี้
 - ยางแผ่นรมควัน
 - ยางแผ่นผึ่งแห้ง

- ยางเครพ
- ยางที่ซีอาร์ (Technically Classified Rubber ; TCR)
- ยางฮีเวียครัม (Heveacrumb Rubber)
- ยางพิเศษ (Special Type)
- ยางธรรมชาติที่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโมเลกุล (Modified NR)
- ยางสำหรับการผลิตยางล้อรถยนต์ (Tyre Rubber)
- ยางแท่ง (Technically Specified Rubber , TSR) ในการแบ่งชั้นคุณภาพ

จะยึดหลักของความสกปรกเป็นใหญ่ มาตรฐานของยางแท่งประเทศไทย เรียกว่า Standard Thai Rubber (STR) ตารางที่ 2.1 แสดงข้อกำหนดในมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแบ่งชั้นออกเป็น STR 5L , STR 5 , STR 10 , STR 20 , STR XL , STR 5CV , STR 10CV และ STR 20CV จะแบ่งตามปริมาณของสิ่งสกปรกเป็นเกณฑ์

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานยางแท่งของประเทศไทย

Criterion	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5CV	STR 10	STR 10CV	STR 20	STR 20CV
	Latex		Latex / Sheets		Lump / Sheets			
Dirt retained on 44 μ L aperture (max. % wt)	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
Ash (max.%wt)	0.40	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
Nitrogen (max.%wt)	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Volatile matter*(max.%wt)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Initial Plasticity (Po) (min)	35	35	30	-	30	-	30	-
Plasticity Retention Index (PRI) (min.)	60	60	60	60	50	50	40	40
Colour Lovibond Scale (Individual value, max.)	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
Mooney Viscosity ML (1' + 4') 100°C	-	-	-	**	-	**	-	**
Colour Coding Marker	blue	green	green	light green	brown	brown	red	red
		light	light	white on background	brown	white on background	red	white on background

Note

Provision of Rheograph with basic cure data as consumer or ACS 1 based recipe will be offered as additional test

* Producer limit is not more than 0.50%

** Producer limit of 70(+7,-5), 60(+7,-5) and 50(+7,-5) for STR 5CV; 60(+7,-5) for STR 10CV and 65(+7,-5) for STR 20CV

การที่จะเลือกใช้อย่างชั้นใดนั้น จะต้องคำนึงถึงลักษณะของงานที่จะนำไปใช้ด้วย เช่น ถ้าผลิตภัณฑ์ต้องการคุณภาพสูงก็ต้องใช้อย่างที่มีมาตรฐานสูงขึ้นตาม (3,4,5)

2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของยางธรรมชาติ

สมบัติทางเคมี

ยางธรรมชาติที่ผลิตขึ้นโดยทั่วไปมีส่วนประกอบของไฮโดรคาร์บอนยางเป็นส่วนใหญ่ และมีสารพวกที่ไม่ใช่ยาง (non-rubber substances) เป็นส่วนน้อย สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้ถึงแม้จะมีในปริมาณน้อยแต่ก็มีผลกับปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ยาง และยังมีผลต่อสมบัติของผลผลิตขั้นสุดท้ายด้วย จากการวิเคราะห์ตัวอย่างของยางธรรมชาติได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ผลการวิเคราะห์ทางเคมีของยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	เฉลี่ย (%)	ต่ำ - สูง (%)
ความชื้น (Moisture)	0.5	0.3 - 1.0
ผลที่สกัดด้วยอะซิโตน (Acetone Extract)	2.5	1.5 - 4.5
โปรตีน (Protein)	2.5	2.0 - 3.0
ผงเถ้า (Ash)	0.3	0.2 - 0.3
ยางไฮโดรคาร์บอน (Rubber Hydrocarbon)	94.2	
รวม	100.0	

สมบัติทางกายภาพ

สมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนที่ไม่ใช่เนื้ออย่างจริงๆ และยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของการเกิดการตกผลึก ยางธรรมชาติจะเกิดการตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส และจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของยางจาก 0.92 ไปเป็น 0.95 สมบัติทางกายภาพบางอย่างโดยเฉลี่ยของยางธรรมชาติแสดงในตารางที่ 2.3 (4,6)

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางธรรมชาติ

Density	0.92 g / cm ³
Refractive index (20°C)	1.52
Coefficient of cubical expansion	0.00062/°C
Cohesive energy density	63.7 cal./cc.
Heat of combustion	10,700 cal./g
Thermal conductivity	0.00032 cal./sec*cm*°C
Dielectric constant	2.37
Power factor (1,000 cycles)	0.15 – 0.2
Volume resistivity	10 ¹⁵ ohms/cc.
Dielectric strength	1,000 volts/mil

2.1.3 ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ใช้ยางธรรมชาติ

โดยปกติแล้วยางธรรมชาติจะถูกเลือกใช้ในการผลิตวัสดุสำเร็จรูปที่ต้องการสมบัติเกี่ยวกับการกระดอนสูง (high resilience) ความร้อนสะสมต่ำ (low heat built – up) หรือเมื่อต้องการความแข็งแรงของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ (green strenght) ความเหนียวติดกันเอง การสะดวกของกรรมวิธีการผลิต (easy processing) การรักษาความแข็งแรง สัดส่วนของการใช้ยางธรรมชาติในประเทศไทย ปี 2541 แสดงในตารางที่ 2.4 (4)

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนของการใช้ยางธรรมชาติในประเทศไทย ปี 2541

วัสดุสำเร็จรูป	เปอร์เซ็นต์
ถุงมือ	36
ยางยานพาหนะ	27.4
ยางยืด	4
ยางรัดของ	4
ท่อยาง	3
ยางรถจักรยาน – จักรยานยนต์	9.6
อื่น ๆ	16

2.1.4 การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติ

1. ยางแห้ง การใช้ยางธรรมชาติในงานผลิตผลิตภัณฑ์ล้อยานพาหนะและอะไหล่ จะมีปริมาณมากที่สุด รองลงมาเป็นการใช้ในงานชิ้นส่วนเครื่องกล รองเท้าและส่วนประกอบของรองเท้า และผลิตภัณฑ์อื่นๆ

ชนิดของยางแห้งที่ใช้ในปริมาณมากที่สุด คือ ยางแผ่นรมควันชั้น 3 รองลงมาคือ ยางแห้งเอส.ที.อาร์. 20 ส่วนยางคุณภาพดี เช่น เอส.ที.อาร์. 5 แอล , ยางเครพสีจาง ใช้มากในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการแพทย์ ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการใส่สีสรรต่างๆ ส่วนงานผลิตผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในงานเครื่องกล ท่อยาง รองเท้ายาง มักใช้ยางเอส.ที.อาร์. 20 , 50 หรือ เครพสีน้ำตาล

2. น้ำยางข้น ผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้น้ำยางข้นในกระบวนการผลิต ได้แก่ ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบพิมพ์, ผลิตภัณฑ์น้ำยางในอุตสาหกรรมพรม, ผลิตภัณฑ์ยางพองน้ำ, สายยางยืด, ท่อยางและกาว เป็นต้น (7)

2.2 ยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber, SR)

ยางสังเคราะห์ได้เริ่มผลิตขึ้นมาเพื่อใช้แทนยางธรรมชาติในสงครามโลกครั้งที่ 1 เนื่องจากเกิดปัญหาขาดแคลนและราคาแพง สาเหตุมาจากการขยายตัวด้านอุตสาหกรรมยางมีความต้องการมากกว่าปริมาณการผลิตและอีกประการเกิดจากปัญหาการขนส่งไม่สะดวก แหล่งผลิตอยู่ไกลจากแหล่งใช้ยาง

2.2.1 ประเภทของยางสังเคราะห์

มีการจัดแบ่งยางสังเคราะห์ตามลักษณะการใช้งานเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. ยางสังเคราะห์ที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางทั่วไป (General Purpose Synthetic Rubber) เป็นยางที่ใช้แทนยางธรรมชาติไม่ทนทานน้ำมัน ไม่ทนทานความร้อนสูง อาจมีสมบัติบางประการดีเด่นกว่ายางธรรมชาติ เช่นทนทานต่อการเสื่อมสภาพ ทนทานต่อการซึมผ่านของแก๊ส ทนทานต่อการขีดสี ยางสังเคราะห์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
IR	Synthetic Polyisoprene Rubber
SBR	Styrene – Butadiene Rubber
BR	Polybutadiene Rubber
IIR	Butyl Rubber
EPDM	Ethylene – Propylene terpolymer

2. ยางสังเคราะห์ที่สามารถใช้ผลิตวัตถุสำเร็จรูปที่ต้องการสมบัติพิเศษ (Special purpose synthetic rubber) ได้แก่ยางที่ทนทานต่อน้ำมัน ทนทานต่อตัวทำละลาย ทนทานต่อความร้อน เป็นต้น การผลิตยางสังเคราะห์ประเภทนี้มีปริมาณน้อยกว่าประเภทแรก ยางสังเคราะห์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่

ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม
CR	Chloroprene or Neoprene Rubber
NBR	Acrylonitrile – Butadiene (Nitrile) Rubber
CSM	Chlorosulphonate Polyethylene Rubber
ACM	Polyacrylic Rubber
EPM	Fluorocarbon Rubber
SI	Silicone Rubber
AU and EU	Polyurethane Rubber, Polyether Rubber
TR	Polysulphide (Thiokol) Rubber
-	Polypropylenesulphide Rubber
-	Nitroso Rubber

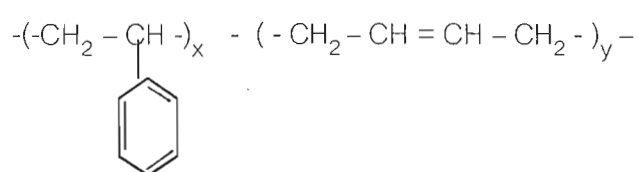
อนึ่งการเรียกชื่อย่อของยางต่างๆ ดังกล่าว เป็นการเรียกชื่อตามระบบซึ่งกำหนดขึ้นโดย ASTM (American Society for Testing and Materials)

2.2.2 SBR (Styrene Butadiene Rubber)

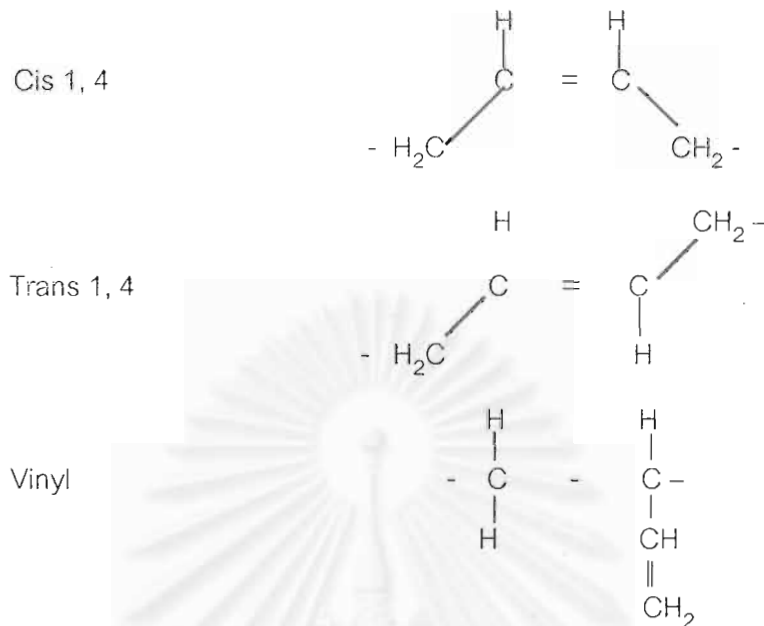
เป็นยางสังเคราะห์ที่ใช้กันมากและสำคัญที่สุด ประกอบด้วยมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ สไตรีนและบิวทาไดอีน ซึ่งมีส่วนประกอบของสไตรีน 23.5% และ บิวทาไดอีน 76.5% โดยกระบวนการสังเคราะห์อิมัลชัน ถ้าสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 50°C เรียกว่ายางร้อน หรือสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 4°C เรียกว่ายางเย็น

ยางเย็นจะมีโมเลกุลค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่แตกต่างกันมาก และให้สมบัติความทนทานต่อแรงดึงและความทนทานต่อการเสียดสีตามที่ต้องการ ส่วนยางร้อนมีความเหมาะสมและง่ายสะดวกต่อการบดผสม มีความร้อนสะสมเกิดขึ้นต่ำ การทำให้ยางคงรูปจะสุกเร็วกว่าปกติ และไม่คอยพันลูกกลิ้ง

ยาง SBR มีการจัดตัวเป็นแบบ random มีสูตรโครงสร้างดังนี้



Butadiene ที่เข้ารวมตัวอาจอยู่ในรูป cis หรือ trans ปนกัน butadiene จะมี 18% cis, 65% trans และ 17% vinyl คือมีสูตรดังนี้



จากโครงสร้างจะเห็นได้ว่า

1. การจัดตัวของโมเลกุลไม่เป็นระเบียบ ทำให้ tensile strength ต่ำ เวลาใช้งานต้องใช้ reinforcing filler เข้าช่วย
2. SBR จะ crosslink กับกำมะถันหรือ peroxide ได้เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ แต่เนื่องจากไม่มี CH_3 - กรุปที่จะ activated ตงพันธะคู่ ทำให้การ crosslink ช้ากว่ายางธรรมชาติเล็กน้อย และปริมาณของ butadiene เมื่อเทียบกับ Isoprene จะน้อยกว่า เพราะมี styreneแทรก ดังนั้นปริมาณของกำมะถันที่ใช้จะน้อยลง
3. การทนน้ำมันเหมือนยางธรรมชาติทุกประการ
4. ค่า resilience จะต่ำกว่ายางธรรมชาติ
5. SBR มีพันธะคู่อยู่ ดังนั้นจึงถูก attack ได้ด้วย O_2 และ O_3 เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ

ปัจจัยที่ใช้ในการแบ่งเกรดของยาง SBR มีดังนี้

1. ชนิดของกระบวนการสังเคราะห์ คือ สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำ (ยางร้อนและยางเย็น)
2. ชนิดของสารที่ทำให้แขวนลอยในกระบวนการสังเคราะห์
3. ชนิดของสารที่ทำให้คงตัวในกระบวนการสังเคราะห์
4. ปริมาณและชนิดของน้ำมันที่ผสม

5. ปริมาณและชนิดของเขม่าดำ

6. ชนิดของสารที่ทำให้จับตัว

7. ความหนืดของยาง

ยาง SBR แบ่งเกรดตามมาตรฐานสากลออกเป็นเกรดต่างๆ ดังนี้

SBR 1000 : เป็นยางร้อน

SBR 1100 : เป็นยางร้อน + เขม่าดำ

SBR 1200 : เป็นยางที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แบบโซลูชัน

SBR 1500 : เป็นยางเย็น

SBR 1600 : เป็นยางเย็น + เขม่าดำ + น้ำมันไม่เกิน 14 ส่วน

SBR 1700 : เป็นยางเย็น + น้ำมันในระดับ 37.5 หรือ 50 ส่วน

SBR 1800 : เป็นยางเย็น + เขม่าดำ + น้ำมันเกิน 14 ส่วน

SBR 1900 : ยางที่มีสไตรีนสูง

SBR 2000 : น้ำยางเอส บี อาร์ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูง

SBR 2100 : น้ำยางเอส บี อาร์ ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ (2,3,4,6,8)

2.2.3 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของ SBR (9)

“ Hot ” and “ Cold ” SBR

ยางเอสบีอาร์ที่ผลิตโดยอิมัลชันพอลิเมอไรเซชัน – E – SBR มีจำหน่ายช่วงความหนืด Mooney, ML 1 + 4 at 100 °C ตั้งแต่ 30 – 120 ซึ่งความหนืดนี้มาจากน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 250,000 – 800,000

ยางที่มีความหนืดต่ำจะบดให้พ่นลูกกลิ้งได้ง่าย รีดเรียบง่าย หดตัวน้อย อัตราการอัดผ่านได้สูง (high rate of extrusion) และผิวของยางที่อัดออกมา (extrudate) เรียบดีกว่ายางที่มีค่าความหนืดสูง

ยางเอสบีอาร์ที่มีความหนืดสูงจะมีความแข็งแรงของยางที่ยังไม่คงรูปสูง (high green strength) ไม่ค่อยเกิดรูพรุนในยางที่อัดคงรูปแล้ว และยังสามารถเติมสารตัวเติมและน้ำมันได้มาก ซึ่งได้เปรียบในด้านราคาต้นทุน

ยางเอสบีอาร์ที่น้ำหนักโมเลกุลสูง เมื่อทำให้คงรูปแล้วจะมีสมบัติการกระดองดี สมบัติทางกลปรับดีขึ้น โดยเฉพาะความต้านทานแรงดึง และการยุบตัว (tensile and compression set)

เอสบีอาร์ที่ความหนืดเท่าๆ กัน “ cold “ rubber จะบดผสมและผ่านกระบวนการผลิตได้ง่ายกว่า “ hot “ rubber โดยเฉพาะการพ่นรอบลูกกลิ้งง่ายกว่า การหดตัวน้อย หลังจากผ่าน

calender ผิวของยางผสมเรียบดี การที่ " cold " rubber ไม่ค่อยมีโครงสร้างแบบกึ่งก้านทำให้ได้เปรียบในด้านการบดผสมในเครื่องบดระบบปิดที่อุณหภูมิสูงได้

ในยาง " cold " SBR ส่วนของบิวทาไดอีน ประกอบด้วยโครงสร้างแบบต่างๆ (โดยเฉลี่ย) : 9% cis - 1,4 ; 54.5% trans - 1,4 ; และ 13% of 1,2 structure ในระดับที่มี 23.5% bound styrene ค่า Tg (glass transition temperature) ของยางเอสปีอาร์ประมาณ - 50°C เมื่อปริมาณ styrene เพิ่มขึ้น ค่า Tg จะสูงขึ้น และสมบัติการกระดอนจะลด อย่างไรก็ตามสมบัติของกระบวนการผลิตจะปรับปรุงดีขึ้น (เช่น extrusion rate, green strength , surface smoothness) ที่ระดับ styrene สูงมาก เช่น styrene resins สถานะของยางเกือบสูญเสียอย่างสมบูรณ์ และการใช้พอลิเมอร์ลักษณะนี้จะเป็นสารตัวเติมที่ช่วยเพิ่มความแข็งให้ผลิตภัณฑ์ได้แก่ พกยางพื้นรองเท้า

ยางที่มีค่า Tg ต่ำมาก เช่น cis - 1,4 BR จะมีลักษณะด้านการกระดอนสูง และทนการสึกหรอดี แต่การเกาะพื้นเปียกไม่ดี ในทางตรงกันข้ามยางที่มี styrene มาก จะมีค่า Tg สูง เช่น SBR 1516 หรือ SBR 1712 มีสมบัติการกระดอนต่ำ ไม่ทนต่อการสึกหรอ แต่มีสมบัติการเกาะพื้นเปียกดีมาก

2.2.4 การใช้ประโยชน์

มีการใช้ยางเอสปีอาร์ผสมกับยางปีอาร์อย่างกว้างขวาง (ประมาณ 75% ของการใช้ยางเอสปีอาร์) ในการผลิตล้อรถยนต์นั่ง ล้อรถบรรทุกขนาดเล็ก แต่ในการผลิตยางล้อรถบรรทุกขนาดใหญ่และรถแข่ง จะไม่ใช้ยางเอสปีอาร์ เพราะสมบัติด้านการเกิดความร้อนสะสมสูง เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติหรือยางปีอาร์ การใช้ในงานผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้แก่ สายพาน ผลิตภัณฑ์อัดเข้าพิมพ์ พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อยาง ยางหุ้มลูกกอล์ฟ ผลิตภัณฑ์ยางทางการแพทย์ ภาชนะหีบห่ออาหาร เป็นต้น ตารางที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากอิมัลชันเอสปีอาร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการใช้ประโยชน์จากอิมัลชันเอสบีอาร์ (10)

E-SBR Grade	Emulsi - fier	ML 1+4 (100 °C)	Colour	Oil		Carbon Black		การใช้ประโยชน์
				Grade	PHR	Grade	PHR	
1500	R	50 - 52	S	-	-	-	-	ใช้งานทั่วไปในการผลิตยางล้อรถยนต์นั่ง และผลิตภัณฑ์ใช้งานเทคนิคต่างๆ
1502	F	50 - 52	NS	-	-	-	-	ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์สีจาง ใช้ผสมยางอื่นๆ เพื่อให้ได้สมบัติการไหลได้ดีในการขึ้นรูปโดยเทคนิคฉีดหรือรีดเรียบ
1507	F	30 - 35	NS	-	-	-	-	
1509	F	30 - 35	NS	-	-	-	-	เนื่องจากมีไดอาน้อย จึงมีสมบัติการดูดซับน้ำน้อย เหมาะที่จะใช้ผลิตสายไฟ และงานผลิตภัณฑ์ทางไฟฟ้า
1516	F	40	NS	-	-	-	-	เนื่องจากมี styrene สูง จึงเหมาะสมในงานฉีดและงานอัดเข้าพิมพ์ ซึ่งจะได้ชิ้นงานมีผิวดี
1573	R	115	NS	-	-	-	-	ใช้ผลิต break and transmission pads, สายพาน, กาว
1707	R	49 - 55	NS	NAPH	37, 5	-	-	ใช้ผลิตยางสี ยางไล พื้นรองเท้า ยางปูพื้น
1712	F	49 - 55	S	HAR	37, 5	-	-	ใช้ผลิตดอกยางสำหรับยางล้อรถยนต์นั่ง ผลิตสายพานและผลิตภัณฑ์ยางสีคล้ำ
1778	F	49 - 55	NS	NAPH	37, 5	-	-	เช่นเดียวกับ 1707 และใช้ผลิตจนวนสายเคเบิล
1609	R	61 - 68	S	HAR	5, 0	N 110	40	ใช้กับงานผลิตดอกยางสำหรับยางล้อ
1808	F	48 - 58	S	HAR	47, 5	N 330	76	ผลิตส่วนดอกยางสำหรับยางล้อ ส่วน camel back ผลิตภัณฑ์ใช้งานไฟฟ้า
1843	F	86	NS	NAPH	15, 0	N 770	100	ผลิตชิ้นส่วนที่ใช้งาน dynamic เช่นสายพานรูปตัว V

R = resin acid

S = staining

NAPH = naphthenic

F = fatty acid blend

NS = non - staining

HAR = highly aromatic oil

2.3 พอลิเมอร์ผสม (Polymer blend)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง ยางหรือพอลิเมอร์ที่มาจากหรือนำมาซึ่งหรือพอลิเมอร์สองชนิดขึ้นไปมาผสมรวมกัน เพื่อให้ได้สมบัติตามความต้องการ ตัวอย่างเช่น การใช้พีวีซีผสมกับยางไนไตรล์, ยางธรรมชาติกับยางเอส บี อาร์ และยางบิวทาไดอีนผสมกับยางธรรมชาติ เป็นต้น

2.3.1 วัตถุประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม

1. ลดต้นทุน
2. ช่วยในการแปรรูป
3. ให้ได้สมบัติที่ต้องการ

2.3.2 วิธีการผสม

วิธีการผสมสามารถผสมได้หลายวิธี เช่น ผสมในรูปของน้ำยาง , ผสมในรูปของสารละลาย , ผสมในรูปของยางผงและวิธีการผสมทางกล โดยวิธีการผสมทางกลนั้นจะต้องผสมพอลิเมอร์ที่มีความหนืดเท่าๆ กัน ดังนั้นการจะผสมยางสังเคราะห์กับยางธรรมชาติจำเป็นที่จะต้องบดยางธรรมชาติให้หนืดเท่ากับยางสังเคราะห์เสียก่อน

เมื่อยางสองชนิดที่มีอัตราความเร็วในการวัลคาไนซ์ต่างกันมาผสมกัน จะต้องเตรียมยางในรูปของ masterbatch เสียก่อน นั่นคือยางแต่ละชนิดจะต้องใส่สารเคมีวัลคาไนซ์และตัวเติมให้ครบเสียก่อน แล้วจึงค่อยนำทั้ง 2 ส่วนมาผสมกันภายหลัง

ในการผสมยางธรรมชาติกับยางเอสบีอาร์ พบว่าการผสมในเครื่องผสมสองลูกกิ้งจะให้ผลดีกว่าการผสมในเครื่องผสมแบบปิด เพราะจะทำให้ส่วนผสมเข้ากันได้ดีกว่า

2.3.3 ยางผสม NR / SBR

เนื่องด้วยยางเอสบีอาร์มีความเป็นขั้วต่ำ (low polarity) จึงสามารถผสมกับยางที่ไม่มีขั้ว (non – polar) ได้ และยางผสม NR / SBR มีบทบาทที่สำคัญอย่างมากในวงการผลิตยางล้อรถและผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น สายพานยาง ยางอะไหล่บางชนิด เป็นต้น โดยที่การผสมยางมีวัตถุประสงค์ของการนำสมบัติที่เด่นของยางแต่ละชนิดมารวมกัน กรณีนี้ก็เป็นกรนำสมบัติเด่นของยางธรรมชาติในด้านความร้อนสะสมต่ำ และความยืดหยุ่นในการประกอบชิ้นส่วน รวมทั้งความแข็งแรงของยางดิบ (green strength) เสริมให้กับยางเอสบีอาร์ ซึ่งก็มีความเด่นเหนือยางธรรมชาติในด้านความทนทานต่อการสึกหรอ การบดผสมที่ง่าย และเนื่องจากการผสมสารต่างๆ เมื่อทำผลิตภัณฑ์จากยางเอสบีอาร์ค่อนข้างเหมือนกับกรณีของยางธรรมชาติมาก ยกเว้นปริมาณการใช้สารแตกต่างกัน ดังนั้นเทคโนโลยีของยางผสม NR / SBR จึงค่อนข้างทำได้สะดวกและง่าย และเป็นเทคโนโลยีที่ทำกันมาช้านานในวงการผลิตยางล้อ สัดส่วนของการผสม NR / SBR แปรไป

ตามวัตถุประสงค์ของสมบัติของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามกรณีของการผลิตยางล้อ โดยเฉพาะเมื่อมีการเริ่มต้นของการพัฒนายางล้อชนิดเรเดียล (radial) ในยุโรป ตั้งแต่ปี 1970 เป็นต้นมา การประกอบยางชนิดนี้มี stress มาก ซึ่งทำให้เกิดแนวโน้มในการแยกของชั้นส่วนประกอบขณะทำการประกอบยางก่อนการอบให้คงรูป (green , uncure tyre) ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สูตรยางที่มี green strength สูง นั่นคือสูตรยางที่มีปริมาณยางธรรมชาติมาก จึงทำให้สัดส่วนของการใช้ยางธรรมชาติในการผลิตยางเรเดียลเพิ่มขึ้น

ในอุตสาหกรรมล้อดอกยาง ได้ปรากฏเด่นชัดที่จำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติแทนบางส่วนของยางเอสปีอาร์ เพื่อการปรับปรุงด้านความเหนียวติดของยางล้อดอกที่ยังไม่ได้อบให้คงรูป ซึ่งในการศึกษาได้พบว่า การใช้ 20% ของยางธรรมชาติแทนยางเอสปีอาร์ สามารถปรับ bond strength ให้เพิ่มได้ 2 – 4 เท่า และการใช้ 40% ของยางธรรมชาติแทนยางเอสปีอาร์ สามารถปรับ bond strength ได้เพิ่มขึ้นถึง 20 – 100 เท่า (9)

2.4 Cellular rubber

เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูพรุน ซึ่งผลิตขึ้นจากยางธรรมชาติทั้งจากยางแห้งและจากน้ำยาง โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. foam rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากน้ำยาง
2. sponge rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากยางแห้ง
3. expanded rubber ผลิตภัณฑ์จะผลิตจากยางแห้ง

ความแตกต่างระหว่าง sponge rubber และ expanded rubber คือ sponge rubber จะให้โครงสร้างที่มีรูพรุนแบบเปิด ส่วน expanded rubber จะให้โครงสร้างที่มีรูพรุนแบบปิด ซึ่งสามารถแยกได้จากสมบัติการดูดซับน้ำ (water absorption properties) โดยวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้าดูดน้ำได้น้อยกว่า 10% จัดเป็น expanded rubber แต่ถ้าดูดน้ำได้มากกว่า 15% จัดเป็น sponge rubber (11)

2.5 Micro cellular rubber

จัดเป็นยางฟองน้ำที่มีรูพรุนแบบปิด เป็นยางที่มีขนาดเซลล์เล็กมาก มีความสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์พื้นรองเท้า ซึ่งต้องการความเบา สวมใส่สบาย ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำขอบประตูรถยนต์ ซีลหรือแผ่นที่รับน้ำหนักไม่มาก (12)

2.6 สารที่ใช้ผสมยาง (13)

มีหน้าที่จำเพาะช่วยให้ยางมีสมบัติตามต้องการ ทั้งในระหว่างการผลิต การวัลคาไนซ์และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน โดยปกตินิยมบอกปริมาณสารที่ใช้ผสมยางทุกชนิดที่ใส่เข้าไปในยาง โดยเทียบกับยาง 100 ส่วน และจะมีหน่วยเป็น phr (parts per hundred of rubber)

สารที่ใช้ผสมยางสามารถแบ่งออกเป็น 6 ชนิดดังนี้

2.6.1 สารทำให้ยางคงรูป (vulcanising agent)

ชนิดของสารทำให้ยางคงรูป แบ่งออกได้ 5 ชนิดด้วยกันคือ

2.6.1.1 ยางคงรูปโดยใช้กำมะถัน

2.6.1.2 ยางคงรูปโดยใช้ซีลีเนียม (selenium) , เทลลูเรียม (tellurium)

2.6.1.3 ยางคงรูปโดยใช้สารให้กำมะถัน

2.6.1.4 ยางคงรูปโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์

2.6.1.5 ยางคงรูปโดยใช้สารอื่นๆ

สารทำให้ยางคงรูปที่นิยมใช้มากที่สุดสำหรับยางธรรมชาติ ได้แก่กำมะถัน ส่วนยางสังเคราะห์อื่นๆ ก็ใช้สารทำให้ยางคงรูปแตกต่างกันตามชนิดของยาง

การใช้งานและสมบัติ

กำมะถันที่ใช้กับยางต้องมีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 99.5 มีเถ้าไม่เกินร้อยละ 0.5 และจะต้องไม่มีกรดปนอยู่เพราะจะทำให้การคงรูปยางช้าลง โดยปกติแล้วกำมะถันที่ใช้ต้องมีอนุภาคนาโนเล็ก การละลายของกำมะถันในยางขึ้นกับชนิดของยาง สำหรับยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์ กำมะถันจะละลายได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกำมะถันจะละลายได้มากขึ้น ในการผสมกำมะถันเข้าไปในยางที่อุณหภูมิสูง กำมะถันจะละลายได้มากขึ้น แต่เมื่อตั้งทิ้งไว้กำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะตกผลึกออกมา ผลึกนั้นอาจตกอยู่ในเนื้อยางหรือออกมาที่ผิวยางก็ได้ ซึ่งเรียกว่าการบลูม (bloom) จะทำให้เกิดปัญหาที่ทำให้ยางต่อยางไม่ติดกัน ยางที่จะทำให้องค์รูปได้ด้วยกำมะถันจะต้องเป็นยางที่มีพันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น ยางธรรมชาติ, ยางบิวทาไดอีน, ยางเอสปีอาร์, ยางบิวไทล์, ยางไนไตรล์และยางคลอโรบิวไทล์ และการใส่กำมะถันในจำนวนสารเคมีทั้งหมด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการ cure ก่อนกำหนด

การทำให้ยางคงรูป เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงยางซึ่งอยู่ในสภาพไม่คงตัว ให้เป็นยางที่สามารถรักษารูปทรงไว้ได้ทั้งในลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็งกระด้าง โดยการใช้สารทำให้ยางคงรูป ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา การทำให้ยางคงรูปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสำคัญ 4 ประการ คือ

1. ยางเปลี่ยนโครงสร้างจากแบบเชิงเส้นเป็นแบบร่างแห ทำให้ยางเปลี่ยนจากสภาพพลาสติกเป็นสภาพอีลาสติกที่มีความแข็งแรงมากขึ้น
2. ทำให้ผลิตภัณฑ์ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หลายๆ ชนิด
3. ทำให้สมบัติเชิงกล เช่นความทนแรงดึง ความต้านทานการขาดฉุดและความต้านทานการฉีกขาดเพิ่มขึ้น
4. มีความต้านทานความร้อน แสงเพิ่มขึ้น สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้างขึ้น

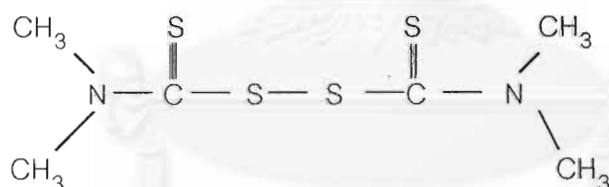
2.6.2 สารเร่งให้ยางคงรูป (Accelerator)

ชนิดของสารเร่งให้ยางคงรูป

- 2.6.2.1 ไดไธโอคาร์บาเมต (Dithiocarbamate accelerators)
- 2.6.2.2 แซนเทท (Xanthate accelerators)
- 2.6.2.3 ไธยูแรม (Thiuram accelerators)
- 2.6.2.4 ไธอาโซล (Thiazole accelerators)
- 2.6.2.5 ซัลฟีนาไมด์ (Sulphenamide accelerators)
- 2.6.2.6 สารเร่งที่เป็นต่าง

TMTD ((Tetramethyl thiuramdisulphide)

เป็นสารตัวเร่งให้ยางคงรูปที่อยู่ในหมู่ของไธยูแรม และเป็นตัวที่นิยมใช้มากที่สุด ในหมู่นี้ มีสูตรโครงสร้างดังนี้



ชื่อทางการค้าคือ Vulkacit thiuram ของ Bayer

Thiurad ของ Monsanto

Vulcafor TMTD ของ Vulnax

การใช้สารตัวเร่งหมู่ไธยูแรมสามารถใช้ได้ 2 วิธีดังนี้

1. กรณีใช้เป็นตัวเร่ง

ไธยูแรมจัดเป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วสูงพิเศษสำหรับยางธรรมชาติ แต่ในกระบวนการแปรรูปยาง ยางจะ scorch และ cure ช้ากว่าพวกไดไธโอคาร์บาเมต สำหรับในหมู่ไธยูแรม TMTD เป็นตัวที่ cure เร็วที่สุด ยางที่ใช้ไธยูแรมเป็นตัวเร่งสามารถวัลคาไนซ์ได้หลายวิธี เช่น วัลคาไนซ์โดยใช้เครื่องอัดไอน้ำและอากาศร้อน เนื่องจากไธยูแรม cure ช้ากว่าไดไธโอคาร์บาเมตเล็กน้อย ทำให้การไหลในเครื่องอัดเกิดขึ้นได้

2. กรณีใช้เป็นตัวเร่งเสริม

ในบางครั้งอาจใช้ไฮยูแรมเป็นตัวเร่งเสริมกระตุ้นตัวเร่งอื่นๆ เช่น ไฮโอไซลและซัลฟิโนไมด์ได้ แต่สำหรับการใช้ไฮยูแรมกับซัลฟิโนไมด์แล้ว จะทำให้ไฮยูแรมเริ่มต้น cure ช้าลงไป แต่เวลาในการ cure สมบูรณ์จะสั้นลง

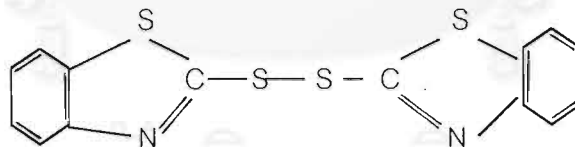
การใช้งานและสมบัติ

การใช้ไฮยูแรมจะต้องมีซิงค์ออกไซด์อยู่ด้วย เพื่อให้ประสิทธิภาพสูงสุด แต่ไม่จำเป็นต้องมีกรดไขมันก็ได้ อุณหภูมิที่ใช้ในการ cure ไม่ควรเกิน 125 – 135 องศาเซลเซียส เพราะถ้าเกินกว่านี้จะทำให้ยางสุกเกินไปได้ง่าย การใช้ไฮยูแรมเป็นตัวเร่งในยางโดยใช้ไฮยูแรมปริมาณมาก กำมะถันน้อย จะทำให้ยางสามารถทนทานต่อความร้อนดีขึ้น มี compression set ต่ำ รวมทั้ง hysteresis ต่ำ ซึ่งหมายถึงมี heat build up ต่ำด้วย แต่ถ้าหากใช้ไฮยูแรมอย่างเดียวโดยไม่มีกำมะถันเลย จะทำให้ยางมีค่าโมดูลัสต่ำ ถ้าต้องการให้มีค่าโมดูลัสสูงขึ้นควรใส่กำมะถันเข้าไปด้วยเล็กน้อย ถ้าต้องการยางที่มี compression set ต่ำและทนความร้อนด้วย ให้ใช้ TMTD สูง และกำมะถันน้อย แต่การใช้กำมะถันต่ำกว่าปกติ (ปกติกำมะถันใช้ 2.5 phr) จะทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงต่ำกว่าปกติไปด้วย

ไฮยูแรมไม่มีรส ไม่มีกลิ่น สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่โปร่งใส สีขาวหรือสีต่างๆ ใช้ทำอุปกรณ์ที่สัมผัสกับอาหารได้ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ไฮยูแรมมากได้แก่ ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ อนามัย เกสซกรรม รองเท้ายาง เครื่องว่ายน้ำ ผ้าใบอเนกประสงค์และสินค้าทางอุตสาหกรรมทั่วไป

MBTS (Dibenzothiazyl disulphide)

MBTS เป็นสารตัวเร่งที่อยู่ในหมู่ไฮโอไซล มีสูตรทางเคมีดังนี้



ชื่อทางการค้า Vulcafor MBTS ของ Vulnax

Thiofide ของ Monsanto

Vulkacit DM ของ Bayer

การใช้งานและสมบัติ

เมื่อเปรียบเทียบยางที่ใช้ตัวเร่งกลุ่มไฮโอไซลกับไดไฮโอคาร์บาเมตและไฮยูแรมแล้วจะพบว่า ต้องใช้ไฮโอไซลปริมาณมากกว่าและใช้กำมะถันปริมาณมากกว่า จึงจะให้ยางที่มีค่าโมดูลัสพอๆ กับเมื่อใช้ไดไฮโอคาร์บาเมตหรือไฮยูแรม รวมทั้งอุณหภูมิในการ cure ก็สูงกว่าด้วย ถ้าใช้ไฮโอไซลเป็นตัวเร่งชนิดเดียว ยางที่ได้จะมีความปลอดภัยในกระบวนการผลิตมากกว่าพวกสารตัว

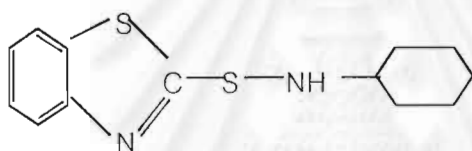
เร่งความเร็วสูงพิเศษอื่นๆ ดังนั้นไฮอาโซลบางที่จึงจัดไว้ในกลุ่มของสารตัวเร่งความเร็วสูงปานกลาง ยางในกลุ่มไฮอาโซล MBTS จะมี scorch time ยาวที่สุด

ยางผสมสารเคมีที่ใช้ไฮอาโซลสามารถ cure ได้ทุกรูปแบบของการวัลคาไนซ์ อย่างไรก็ตามการที่เป็นแบบ delay action ในการวัลคาไนซ์ ทำให้ไฮอาโซลเหมาะแก่การ cure โดยใช้เครื่องอัดเป็นอย่างยิ่ง MBTS เป็นตัวที่ช่วยให้ยางนิ่มในการผสมยาง ดังนั้นจึงช่วยในการแปรรูปยางได้ดี จึงมักใส่ลงในยางขณะที่เริ่มต้นการบดผสมยาง ตัวเร่งกลุ่มไฮอาโซลสามารถกระตุ้นให้เร็วขึ้นได้โดยใช้ตัวเร่งที่เป็นต่าง แต่การกระตุ้นนี้ทำให้ scorch time สั้นลงไปด้วย การใช้ไฮอาโซลในปริมาณที่มากและกำมะถันในปริมาณที่น้อย จะมีผลทำให้ยางทนทานต่อความร้อนขึ้น

ตัวเร่งพวกไฮอาโซลจำเป็นต้องใช้ซึ่งคือออกไซด์และกรดไขมันร่วมด้วย สำหรับกรดไขมันแล้วยังมีความยาวโซ่ยาว จะทำให้ความว่องไวในปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ตัวเร่งไฮอาโซลมีรสขม ดังนั้นจึงไม่อาจใช้เป็นตัวเร่งในยางที่ต้องสัมผัสกับอาหาร

CBS (N-cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide)

CBS มีสูตรทางเคมีดังนี้



มีจุดหลอมเหลว 96 องศาเซลเซียส

ชื่อทางการค้า Vulkacit CZ ของ Bayer

Santo cure ของ Monsanto

Vulcafor CBS ของ Vulnax

ซัลฟิनाไมด์เป็นตัวเร่งที่ delayed action หรือ scorch time ยาวกว่าพวกไฮอาโซล การใส่ตัวเร่งซัลฟิनाไมด์เพิ่มขึ้นทำให้ scorch time สั้นลงบ้างแต่ทำให้ cure time สั้นลงมากและโมดูลัสสูงขึ้นมากด้วย ในบางครั้งถ้าใช้ซัลฟิनाไมด์ในปริมาณสูง กำมะถันในปริมาณต่ำ จะใช้ระบบการ cure ที่เรียกว่า low sulphur cure หรือ EV system ซึ่งทำให้มีค่า compression set ต่ำ, Hysteresis ต่ำและ aging ดีขึ้น

เนื่องจากว่าซัลฟิनाไมด์ให้ delayed action ทำให้การ cure ในเบ้าพิมพ์ดี เพราะมีเวลาพอให้ยางไหลได้เต็มพิมพ์ แต่ไม่เหมาะแก่การ cure แบบใช้อากาศร้อน

การผสมซัลฟิनाไมด์ลงในยาง

ซัลฟิनाไมด์ส่วนใหญ่มักจะเป็นผง การผสมลงในยางทำได้ไม่ยาก ถ้าหากนำซัลฟิनाไมด์ผสมกับสารตัวเติมก่อนแล้วค่อยๆ ใส่ลงในยาง การทำเช่นนี้จะทำให้สารเคมีกระจายในยางดีขึ้น การกระจายของซัลฟิनाไมด์จะง่ายขึ้น ถ้าให้อุณหภูมิในการผสมเกินจุดหลอมเหลวของ

ซัลฟิโนไมด์เอง

การใช้งานและสมบัติ

ซัลฟิโนไมด์เป็นตัวเร่งที่ทำให้ยางมีค่าโมดูลัสสูงมาก และมีสมบัติเชิงกลดี รวมทั้งให้ flat cure และ aging ดีมาก การใช้ซัลฟิโนไมด์จำเป็นต้องใช้ซิงค์ออกไซด์อย่างน้อย 3 phr เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ส่วนกรดไขมันก็จำเป็นเช่นเดียวกัน การใส่กรดไขมันเข้าไปนั้นจะช่วยให้สารตัวเติมกระจายในยางได้ง่ายขึ้น การใช้ซัลฟิโนไมด์ผสมกับไธยูแรมโดซัลไฟด์พร้อมทั้งกำมะถันปริมาณเล็กน้อย จะให้ยางที่มี compression set ต่ำกว่า, aging ดีกว่ายางที่ใช้กำมะถันและซัลฟิโนไมด์เพียงอย่างเดียว แต่ความต้านทานต่อการสึกหรอและ hysteresis จะเลวกว่าเล็กน้อย ซัลฟิโนไมด์ส่วนใหญ่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องรับแรงเค้นสูงๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางกันชน สายพานลำเลียง และอุปกรณ์ของยางที่ใช้ทางเชิงกล ซัลฟิโนไมด์ใช้ได้ทั้งยางธรรมชาติ ยางเอส บี อาร์ ยางไนไตรล์และยางบิวไทล์

2.6.3 สารกระตุ้นสารเร่ง (Activator)

สารกระตุ้น คือ สารที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สารกระตุ้นอาจเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่เป็นสารกระตุ้นที่สำคัญและนิยมใช้ คือ ซิงค์ออกไซด์ สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์ที่สำคัญคือพวกกรดไขมัน เช่นกรดสเตียริก สารกระตุ้นมีสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อใส่เข้าไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ยางมีโมดูลัสสูงขึ้น และบางครั้งถ้าไม่มีสารกระตุ้นก็จะไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น

ชนิดของสารกระตุ้นมีดังนี้

1. สารกระตุ้นที่เป็นสารอนินทรีย์

- ซิงค์ออกไซด์
- เลดออกไซด์
- มักนีเซียมออกไซด์

2. สารกระตุ้นที่เป็นสารอินทรีย์

- กรดสเตียริก
- กรดปาล์มมิติก
- กรดลอริก

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide)

โดยทั่วไปนิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3-5 phr แต่ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็ก ก็สามารถลดขนาดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ ซึ่งจะทำให้ได้ยางที่มีค่าโมดูลัสสูง และได้ยางที่มีลักษณะโปร่งใส ปริมาณซิงค์ออกไซด์ถ้าใส่เกิน 1 phr จะไม่ละลาย

ในยาง และทำให้ยางขุนขาวได้ ถ้าใช้ซิงค์ออกไซด์ปริมาณมากกว่า 5 phr ขึ้นไปมักมีจุดมุ่งหมายอื่นนอกจากจะใช้เป็นสารกระตุ้น คือถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กจะทำให้ยางมีค่าโมดูลัสสูงขึ้น สามารถรักษารูปร่างขณะทำการ cure ในเบ้าพิมพ์เปิดได้ (open cure) นอกจากนั้นการใช้ซิงค์ออกไซด์ปริมาณสูง ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางรวดเร็วขึ้น เหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการ cure แบบใช้อากาศร้อน

กรดไขมัน

ชนิดของกรดไขมัน

1. กรดสเตียริก
2. กรดโอเลอิก
3. กรดปาล์มมิติก
4. กรดลอริก
5. เกลือของกรด

การใช้งานและสมบัติ

กรดไขมันเป็นสารที่จำเป็นในการใช้เป็นสารกระตุ้นสำหรับสารเร่งบางตัว โดยเฉพาะพวกไฮโอไซล กรดไขมันที่ใช้ส่วนมากเป็นของผสมของกรดอลิฟาติกอิ่มตัวที่มีคาร์บอน 12 ถึง 18 อะตอม ซึ่งประสิทธิภาพของการกระตุ้นขึ้นกับความยาวของโมเลกุล ดังนั้นถ้าโมเลกุลสั้นๆ จะมีผลในการกระตุ้นน้อยมาก ปริมาณการใช้กรดไขมันในการผสมเข้าไปในยางจะขึ้นกับชนิดของยาง ถ้ายางชนิดใดมีกรดไขมันอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ในปริมาณน้อยมาก

สำหรับยางธรรมชาติจะมีกรดไขมันอยู่บ้างแล้วเป็นจำนวนเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในรูปของกรดสเตียริก แต่กรดไขมันที่มีอยู่ในยางธรรมชาติมีปริมาณแตกต่างกันมาก ซึ่งขึ้นกับวิธีการเตรียมยาง ดังนั้นยางธรรมชาติแต่ละก้อนอาจมีปริมาณกรดไขมันต่างกันก็ได้ ซึ่งเป็นผลให้อัตราการ cure ของยางต่างกัน ดังนั้นโดยทั่วไปการผสมสารเคมีในยางธรรมชาติทุกครั้งมักใส่กรดสเตียริก ประมาณ 1-4 ส่วนเพื่อลดอัตราการ cure ที่แตกต่างกัน

สำหรับยางสังเคราะห์ที่ทำการโพลีเมอไรซ์แบบอิมัลชัน ถ้าสบู่ที่ใช้ทำจากกรดไขมัน ยางสังเคราะห์นั้นก็ไม่จำเป็นต้องใส่กรดไขมันเข้าไปเพิ่มเติมมาก แต่ถ้าใช้สบู่โรซิน (Rosin soap) จำเป็นต้องใช้กรดไขมันเพิ่มขึ้น

สำหรับยางสังเคราะห์ที่ทำการโพลีเมอไรซ์แบบสารละลาย (solution polymerisation) จะไม่มีกรดไขมันอยู่ในยางเลย จึงต้องการกรดไขมันมากขึ้นเป็นพิเศษ

ประสิทธิภาพของกรดไขมันจะขึ้นอยู่กับความยาวโซ่ของคาร์บอนและขึ้นอยู่กับ acid number ของกรดไขมันด้วย

2.6.4 สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant)

เนื่องจากยางเป็นสารอินทรีย์ที่เสื่อมสลายได้เมื่อดังตั้งทิ้งไว้หรือขณะใช้งาน การเสื่อมสลายของยางนี้เรียกว่า "Degradation" กระบวนการเสื่อมสภาพของยางสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 6 แบบดังนี้

1. เสื่อมสลายเนื่องจากตั้งทิ้งไว้นาน
2. ถูกออกซิไดส์เนื่องจากการกระตุ้นของโลหะคะตาไลส์
3. เสื่อมสลายเนื่องจากความร้อน
4. เสื่อมสลายเนื่องจากแสง
5. เสื่อมสลายเนื่องจากการหักงอไปมา
6. เกิดรอยแตกเนื่องจากบรรยากาศ

ชนิดของสารแอนติออกซิแดนท์

แอนติออกซิแดนท์แบ่งตามสูตรทางเคมีได้ดังนี้

1. สารประกอบอะมีนและอนุพันธ์
2. สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์
3. Imidazol derivative

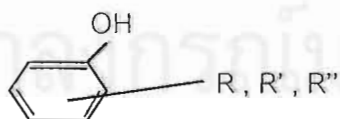
สารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์

สารแอนติออกซิแดนท์ชนิดนี้เป็นที่น่าสนใจ เพราะไม่ตกสีหรือตกสีน้อยมาก ทำให้ใช้กับยางสีได้ โดยแบ่งออกเป็นหลายชนิดด้วยกัน

ชนิดของสารประกอบฟีนอลและอนุพันธ์

1. Substituted phenol
2. Phenolic sulphides
3. Phenol-aldehyde condensate
4. Hydroquinone derivatives

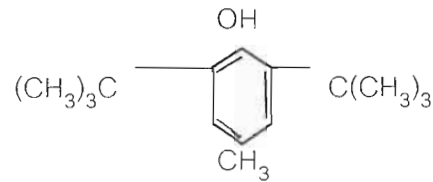
Substituted phenol มีสูตรทางเคมีเป็น



โดยที่ R ส่วนใหญ่เป็นอัลคิลกรุป ตัวอย่างเช่น

2,6-di-tert-butyl-p-cresol บางทีเรียก 2,6-di-tert-butyl-4-methylphenol

มีสูตรทางเคมีเป็น



ชื่อทางการค้า Antigene BHT ของ Sumitomo
 Vulkanox KB ของ Bayer
 Ionol ของ Shell
 BHT ของ Monsanto
 Antage BHT ของ Kawaguchi
 Permanax BHT ของ Vulnax

การใช้งานและสมบัติ

สารแอนติออกซิแดนท์ชนิด substituted phenols นี้ มีสมบัติดังนี้

ไม่ตกสีเลย

การเป็นสารแอนติออกซิแดนท์ : ค่อนข้างเลว

อายุการเก็บ : พอใช้ถึงปานกลาง

การทนความร้อน : เลวถึงปานกลาง

ความต้านทานต่อการหักงอ : เลวถึงพอใช้

การตกสี : ดีมากถึงดีเลิศ

ความต้านทานต่อทองแดงและมันганиส : เลว

ผลของแอนติออกซิแดนท์ที่มีผลต่อสมบัติความต้านทานต่อการเสื่อมของยางดังแสดงในตารางที่ 2.6

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 ประสิทธิภาพของแอนติออกซิแดนท์ต่อความต้านทานต่อการเสื่อมของยาง

ชนิดของแอนติออกซิแดนท์	ชนิดของการเสื่อม					
	ตามธรรมชาติ	ความร้อน	หักงอ	โอโซน*	ตกสี	โลหะหนัก
Ketone-amine condensate	4	4-6	1-5	1	1-2	2
Aldehyde-amine condensate	2-4	4	1-2	1	1-3	1
Phenyl-naphthalamine	4	4	4	1	1	2
Diphenylamine derivatives	3-4	3	2-5	2-5	1-3	1
p-phenylenediamine derivative	4	4	1-4	3-5	1-2	4-5
Substituted phenol	2-3	1-3	1-2	1	5-6	1
Phenolic sulphides	3-4	3	1-2	1	3-5	2
Phenol/Aldehyde condensate	4	4	2-3	1	4-5	2-3

หมายเหตุ 1 = เลว

2 = พอใช้

3 = ปานกลาง

4 = ดี

5 = ดีมาก

* ข้อมูลเพิ่มเติมจากหนังสือ (10)

2.6.5. สารตัวเติม (filler)

สารตัวเติม หมายถึงสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยาง อาจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามการผลิตและแบ่งตามลักษณะ

ชนิดของสารตัวเติม

การแบ่งชนิดของสารตัวเติมตามลักษณะ แบ่งได้ 3 ลักษณะคือ

1. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเม็ด (particulated filler)

1.1 สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ เช่น เขม่าดำ

1.2 สารตัวเติมไม่เสริมประสิทธิภาพ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต

2. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเส้นใย (fibrous filler) เช่น ใยฝ้าย ใยไม้

3. สารตัวเติมที่มีลักษณะเป็นเรซิน (resinous filler)

แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃)

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมชนิดไม่เสริมประสิทธิภาพ ซึ่งจะมีราคาถูก มีอนุภาคขนาดใหญ่ประมาณตั้งแต่ 10,000 Å ขึ้นไป แคลเซียมคาร์บอเนตที่เกิดในธรรมชาติอยู่ในรูปของซอล์คกับหินปูน หรืออาจอยู่ในรูปของ dolomite CaMg (CO₃)₂ แคลเซียมคาร์บอเนตที่

ใช้ในยางอาจเป็นพวกที่มีจากธรรมชาติหรือสังเคราะห์โดยกระบวนการทำให้ตกตะกอน แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดที่ใช้ในยางแบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

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

การใช้งานและสมบัติ

สำหรับยางธรรมชาติแล้ว การใช้แคลเซียมคาร์บอเนตจะให้ความต้านทานต่อแรงดึงตกลงทันที และแคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้ยางมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่ายางที่ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตขนาดอนุภาคปานกลาง

สำหรับยางเอสปีอาร์ ปกติเป็นยางที่มีค่าของความต้านทานต่อแรงดึงโดยทั่วไปต่ำ ถ้าใช้แคลเซียมคาร์บอเนตต้องใช้ชนิดที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ซึ่งจะทำให้มีความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าเดิมเล็กน้อย แต่ถ้าใช้อนุภาคขนาดปานกลางจะไม่ทำให้ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเลย

จุดมุ่งหมายของการใช้สารตัวเติมในยางมีหลายประการ คือ

1. เพื่อลดต้นทุน
2. เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติทางฟิสิกส์ของยาง
3. เพื่อช่วยในกระบวนการผลิต
4. เพื่อลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
5. เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้า
6. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.6.6. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers)

พลาสติไซเซอร์ คือสารที่ใส่เข้าไปในยางหรือพลาสติก เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มความสามารถในการใช้งาน โดยทำให้ความแข็งของยางหรือพลาสติกลดลงและช่วยให้แปรรูปได้ง่ายขึ้น

ประเภทของพลาสติไซเซอร์

พลาสติไซเซอร์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของการทำงาน ดังนี้

1. Chemical plasticizers เมื่อใส่ลงในยางจะทำให้ยางนิ่มและลดเวลาของการบดยางลง
2. Physical plasticizers เมื่อใส่ลงในยางจะเป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้น

ในการที่จะดูว่าพลาสติกไฮเซอริโดเป็นพลาสติกไฮเซอริโดที่เหมาะสมกับยางนั้น อาจดูได้ที่ค่า solubility parameter โดยตัวอย่างค่า solubility parameter ของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์แสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 solubility parameter ของยาง (14)

ยาง	solubility parameter (cal cm ^{-3 1/2})
ยางบิวไทล์	7.60
ยางเออีลีน-โพรไพลีน	8.0
ยางบิวทาไดอิน	8.20
ยางธรรมชาติ	8.25
ยางเอส.บี.อาร์	8.29
ยางคลอโรพรีน	9.26
ยางพีวีซี	9.7
ยางไนไตรล์ (40% acrylonitrile)	9.92

พลาสติกไฮเซอริโดที่สำคัญจะมี solubility parameter ดังแสดงในตารางที่ 2.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 solubility parameter ของพลาสติกไฮเซอริทั่วไป (15)

ชนิดของพลาสติกไฮเซอริ	Solubility parameter ($\text{cal cm}^{-3/2}$)
Paraffinic oils	7.5 (approx.)
Aromatic oils	8.0 (approx.)
Camphor	7.5
Di-iso-octyl adipate	8.7
Dioctyl sebacate	8.7
Di-isodecylphthalate	8.8
Dibutyl sebacate	8.9
Diethyl hexylphthalate	8.9
Di-iso-octylphthalate	9.3
Dibutyl phthalate	9.4
Triphenyl phosphate	9.8
Tritolyl phosphate	9.8
Dibenzyl ether	10.0
Triacetin	10.0
Dimethyl phthalate	10.5

การเลือกใช้พลาสติกไฮเซอริให้เหมาะสมกับชนิดของยางก็คือ การเลือกพลาสติกไฮเซอริให้มี solubility parameter ใกล้เคียงกับยางมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่การใช้งานจริงๆ นั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยอีกหลายประการ เช่น ราคา การระเหย ความเป็นพิษ สีและการตกสี (staining) เป็นต้น

ชนิดของพลาสติกไฮเซอริ

พลาสติกไฮเซอริสามารถแบ่งได้เป็นชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1. ยางสน
2. ผลิตภัณฑ์จากถ่านหิน
3. เรซินและกรดอินทรีย์
4. ผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม
5. น้ำมันเอสเทอร์

ผลิตภัณฑ์จากน้ำมันปิโตรเลียม

น้ำมันที่ใช้กับยางนี้ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ แต่ก็มีกำมะถัน ออกซิเจนและไนโตรเจนปนอยู่บ้างเล็กน้อย โครงสร้างของคาร์บอนและไฮโดรเจนในน้ำมันแตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็นพวกใหญ่ๆ ได้ 3 พวกคือ

1. อโรมาติก (Aromatic)
2. แนฟทีนิก (Naphthenic)
3. พาราฟินิก (Paraffinic)

ตัวอย่างสมบัติของน้ำมันอโรมาติก แนฟทีนิกและพาราฟินิก ดังแสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สมบัติบางประการของน้ำมันที่ใช้กับยาง

สมบัติ	พาราฟินิก	แนฟทีนิก	อโรมาติก
ความหนืด (เซนติสโตก)			
ที่ 40 °C	19.7	110.2	763.5
ที่ 100 °C	4.0	8.0	17.0
ความถ่วงจำเพาะที่ 15 °C	0.861	0.932	1.018
V.G.C.	0.809	0.885	0.980
ดรรชนีหักเห	1.4751	1.5167	1.5804
ปริมาณร้อยละของคาร์บอนที่เป็น			
อโรมาติก	3.5	21	45
แนฟทีนิก	31	37	18
พาราฟินิก	65.5	42	37
Aniline Point, °C	96.0	75.0	38.2

การเลือกใช้น้ำมันให้เหมาะกับยางและงาน โดยเฉพาะในงานที่จำเป็นต้องใช้น้ำมันในปริมาณมากๆ นั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงผลดังต่อไปนี้

1. ความเข้ากันได้ระหว่างยางกับน้ำมัน
2. สมบัติของยางที่วัลคาไนซ์
3. สีของยางและความคงทนของสี
4. การขนถ่ายเคลื่อนย้ายและการใช้สี

ตัวอย่างการเข้ากันได้ของน้ำมันกับยางชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ความเข้ากันได้ระหว่างยางชนิดต่างๆ กับน้ำมัน (16)

ยาง	น้ำมันพาราฟินิก	น้ำมันแนฟทีนิก	น้ำมันอโรมาติก
ยางธรรมชาติ	ดี (5-10)	ดี (5-15)	ดีมาก (5-15)
ยางเอส.บี.อาร์	ดี (5-10)	ดีมาก (5-15)	ดีมาก (5-50)
ยางคลอโรพรีน	เลว (-)	ดี (5-25)	ดีมาก (10-50)
ยางไนไตรล์	เลว (-)	เลว (-)	ดี (5-30)
ยางบิวทาไดอีน	ดี (5-10)	ดี (10-20)	พอใช้ (5-37)
ยางบิวไทล์	ดี (10-25)	ดี (10-25)	พอใช้ (ไม่ใช้)
ยางอีพีดีเอ็ม	ดี (10-50)	ดีมาก (10-25)	พอใช้ (10-50)
ยางอีพีเอ็ม	ดี (10-50)	ดีมาก (10-50)	พอใช้ (10-50)
ยางซิลไฟด์	เลว (-)	เลว (-)	ดี (5-25)

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงปริมาณของน้ำมันที่ใช้ปกติต่อยาง 100 ส่วน

การใช้งานและสมบัติ

ปริมาณของน้ำมัน โดยทั่วไปน้ำมันใส่เข้าไปในยางเพื่อให้ยางนิ่มและช่วยในการแปรรูป การใส่น้ำมันเข้าไปในยางจะทำให้ความแข็งของยางและโมดูลัสของยางลดลง ถ้าใส่น้ำมันเข้าไปมากๆ จะทำให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและ E.B. ลดลงอีกด้วย

ความหนืดของน้ำมัน ขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลของน้ำมัน ยิ่งน้ำมันมีโมเลกุลสูงความหนืดก็สูงตามไปด้วย น้ำมันที่มีความหนืดมากการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำจะไม่ค่อยดี เพราะจะทำให้ยางสูญเสียสภาพความยืดหยุ่นได้ง่าย น้ำมันพาราฟินิกจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยกว่าน้ำมันอื่นๆ เรียกว่า "high viscosity index" ดังนั้นถ้าหากน้ำมันพาราฟินิกไม่มีปัญหาเกี่ยวกับการเข้ากันได้ดีกับยางแล้ว การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ ควรจะเลือกใช้น้ำมันพาราฟินิก

ส่วนประกอบของน้ำมัน จะมีผลต่อความต้านทานต่อแรงดึง โดยพบว่ายางเมื่อใช้เขม่าดำและน้ำมันผสมเข้าไป น้ำมันอโรมาติกจะทำให้ยางมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าน้ำมันแนฟทีนิก และทำนองเดียวกันน้ำมันแนฟทานิกจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าน้ำมันพาราฟินิก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเขม่าดำกระจายได้ดีโดยการใช้ น้ำมันอโรมาติก แต่ถ้าหากให้เวลาในการผสมนานขึ้นแล้ว จะพบว่าน้ำมันพาราฟินิกก็จะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงขึ้นได้เช่นกัน

ความเสถียรของน้ำมัน น้ำมันพาราฟินิกเป็นน้ำมันที่คงทนต่อความร้อนและแสง

2.6.7. แพลคติส (Factices)

แพลคติสเป็นของแข็งเตรียมจากน้ำมันไม่อิ่มตัวมาทำการ crosslink กัน น้ำมันดังกล่าวอาจเป็นน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ก็ได้ โดยที่น้ำมันดังกล่าวควรมีไอโอดีนัมเบอร์ (Iodine number) อยู่ในช่วง 80 – 185

ชนิดของแพลคติส

แพลคติสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกันดังนี้

1. แพลคติสสีดำ (Dark factice)
2. แพลคติสสีทอง (Golden factice)
3. แพลคติสสีขาว (White factice)

แพลคติสสีขาว เตรียมโดยการนำน้ำมันมาผ่าน S_2Cl_2 เข้าไปให้เกิดการ crosslink น้ำมันที่อุณหภูมิห้อง ระหว่างเกิดปฏิกิริยาจะมีกรดเกลือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และคลอรีนออกมาด้วย สารเหล่านี้มีฤทธิ์เป็นกรด จะทำให้ยางที่ใช้แพลคติสวัลคาไนซ์ช้า ดังนั้นต้องนำแพลคติสสีขาวมาขจัดเอาสารที่เป็นกรดเหล่านี้ออกไป โดยใช้ไอน้ำพ่นผ่านแพลคติส และเติมสารที่เป็นด่างเช่น โซเดียมคาร์บอเนตหรือแคลเซียมออกไซด์ลงไปทำลายกรดที่เหลือค้างอยู่

บางครั้งการเตรียมแพลคติสจะมีการเติมสารอื่นๆ ลงไปในแพลคติสด้วย เช่น mineral oil และซีฟี่เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ราคาของแพลคติสถูกลง แต่คุณภาพของแพลคติสก็ลดลงด้วย

การใช้งานและสมบัติ

กลิ่น แพลคติสสีขาวจะได้กลิ่นแสบจมูก

ความถ่วงจำเพาะ แพลคติสสีขาวมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02 – 1.30

ความเป็นกรด - เบส แพลคติสสีขาวจะมีฤทธิ์เป็นกลางหรือเบสเล็กน้อย

แก้ว แพลคติสสีขาวมีปริมาณแก้วมาก

ผลของแพลคติสที่มีต่อยางมี 2 ลักษณะคือ

1. ปรับปรุงลักษณะของผลิตภัณฑ์ยาง การใส่แพลคติสลงในยางจะทำให้ยางที่ออกมาผิวเรียบ รักษารูปทรงของยางได้ดีขณะวัลคาไนซ์ ดังนั้นยางขอบกระจกหน้าต่าง ขอบประตูและอื่นๆ ที่ใช้วิธีการเอ็กซ์ทรูด (extrude) จึงมักใส่แพลคติสเข้าไปช่วยเสมอ การใส่แพลคติสลงในยางจะทำให้สามารถควบคุมความหนาของยางในการรีดเป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแผ่น (calender) ได้ดีอีกด้วย ส่วนแพลคติสสีขาวมีการใช้ในกรณีพิเศษคือ ใส่ลงในยางสีขาวหรือสีอื่นๆ ที่ไม่ใช่สีดำ และใส่ลงไปเพื่อให้ยางนิ่ม เช่นในกรณีทำยางลบดินสอเป็นต้น รวมทั้งใช้ในกรณีผสมกับยางที่จะวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิห้องด้วย S_2Cl_2 อีกด้วย

2. ช่วยในการแปรรูปยาง การใส่แพลคติสลงในยางจะทำให้ยางนิ่มลง ลดพลังงานของยางในการผสมสารเคมีเข้าไปในยาง ช่วยให้งางที่มีสารตัวเติมมากๆ ลดการเกิดรอยย้อย

(baging) ทำให้พันลูกกึ่งได้ดี ในขณะที่เดียวกันยางที่ใช้สารตัวเติมน้อยๆ การใช้แฟคตีสจะทำให้ยางไม่เหนียวติดลูกกึ่งได้ดี ในขณะที่เดียวกันยางที่ใช้สารตัวเติมน้อยๆ การใช้แฟคตีสจะทำให้ยางไม่เหนียวติดลูกกึ่งอีกด้วย นอกจากนั้นการใช้แฟคตีสยังช่วยลดระยะเวลาการผสมยางเข้ากับสารเคมีอีกด้วย

การใช้แฟคตีสยังช่วยการเอ็กซ์ทรูชันของยางให้ดีขึ้น และรักษารูปทรงได้ รวมทั้งจะช่วยลดการซึมของกำมะถันที่ผิวของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์อีกด้วย ในการ cure ยางที่หนาๆ การใช้แฟคตีสจะช่วยลดการเกิดการเป็นรูพรุนของยางได้

2.6.8 สารฟู (Blowing agent)

สารฟูคือสารเคมีที่ใส่เข้าไปในยาง เมื่อให้ความร้อนแก่ยางในขณะที่ทำการวัลคาไนซ์ โมเลกุลของสารฟูจะแตกสลายและให้ก๊าซออกมา ซึ่งจะทำให้ยางเป็นรูพรุนในรูปแบบของฟองน้ำ (sponge) หรือ microcellular rubber

ชนิดของสารฟู

สารฟูสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ ได้ดังนี้

1. สารฟูชนิดอนินทรีย์
2. สารฟูชนิดอินทรีย์

สารฟูชนิดอินทรีย์

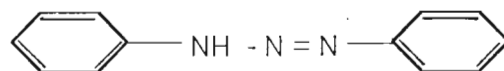
สารอินทรีย์นั้นสามารถละลายในยางได้ดี ทำให้การกระจายของสารฟูเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ฟองอากาศที่อยู่ในยางก็จะกระจายทั่วถึงกันตลอด สารฟูชนิดอินทรีย์แบ่งออกเป็นกลุ่มตามโครงสร้างดังนี้

1. Azocompounds
2. Nitroso compounds
3. Sulfonyl hydrazide-compounds

สารฟูชนิด Azo-compounds

สารฟูชนิดนี้มีสูตรทั่วไปโดยมีหมู่ $-N=N-$ อยู่ ได้แก่

1. Diazoaminobenzene ตัวย่อว่า DAB มีสูตรโครงสร้างเคมีเป็น



การใช้งานและสมบัติ

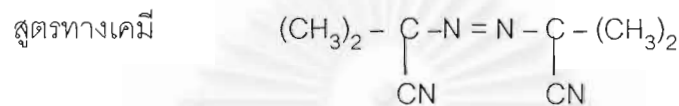
สารเคมีตัวนี้เป็นสารอินทรีย์ตัวแรกที่ให้ก๊าซไนโตรเจนออกมา ลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีเหลืองทอง สลายตัวพร้อมหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 90 – 95 °C และให้ก๊าซไนโตรเจนออกมา

113 – 115 มิลลิลิตร / กรัม DAB สามารถละลายในยางได้ประมาณ 8 phr

ดังนั้นจะทำให้ได้ฟองอากาศที่กระจายทั่วถึงกัน การใช้ DAB สูงถึง 15 phr ในยางก็ไม่เกิดการซึมออกมาที่ผิว DAB ไม่มีผลต่อการวัลคาไนซ์ของยางที่ใช้สารตัวเร่งพวกอัลดีไฮด์ – อะมีน ซึ่งใช้วัลคาไนซ์อีโบนินต์ ดังนั้นจึงใช้ทำยางกันแผ่นแบตเตอรี่ DAB จะให้ยางออกมาเป็นสีน้ำตาล จึงไม่เหมาะจะใช้ทำยางสีต่างๆ ได้

การใช้ DAB มักทำเฉพาะยางที่ใช้ในอุตสาหกรรมเท่านั้นไม่ใช้กับอุปกรณ์เครื่องเรือนภายในบ้าน เพราะ DAB เป็นสารที่ทำให้ผิวหนังระคายเคืองได้ และใช้ในปริมาณตั้งแต่ 2 phr ขึ้นไป

2. Azo-diisobutyronitrile หรือ 2,2' - azobisisobutyronitrile



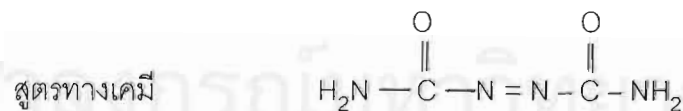
ชื่อย่อเรียก AZDN

การใช้งานและสมบัติ

AZDN เป็นสารที่ให้ก๊าซไนโตรเจน 136 มิลลิลิตร / กรัม ลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว ความถ่วงจำเพาะ 1.10 ละลายในยางได้ดีมาก มีความเสถียรมาก ที่อุณหภูมิ 90 °C จะสลายตัวได้ร้อยละ 33 ภายในเวลา 1 ชั่วโมง แต่ที่อุณหภูมิ 40 °C จะสลายตัวประมาณร้อยละ 2.5 ในระยะเวลา 1 อาทิตย์ ดังนั้นการเก็บรักษาต้องทำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 °C

AZDN เป็นสารที่ติดไฟได้ง่าย และจะเผาไหม้ได้รวดเร็วจนหมด (ตัวของมันเองเมื่อมีการกระทบจะไม่ทำให้ไฟติด ตัวอย่างเช่น การผสมในเครื่องบดสองลูกกลิ้ง) ไม่มีผลในการวัลคาไนซ์ยางและไม่มีผลต่ออายุของยางด้วย ข้อเสียของมันคือของเหลือจากปฏิกิริยาการสลายตัวเป็นพิษ (เป็นไซยาไนด์) ดังนั้นสารนี้ต้องใช้ในรูปแบบเป็น paste (ปนกับน้ำมัน) ไม่ใช่ในรูปแบบผง และห้องปฏิบัติงานควรมีลมถ่ายเทได้ดี ยางที่ผลิตออกมาต้องมีการล้างด้วยน้ำอุ่นเพื่อชะล้างสิ่งเป็นพิษออกไป

3. Azo – dicarbonamide Azo – bisformamide (ABFA)



การใช้งานและสมบัติ

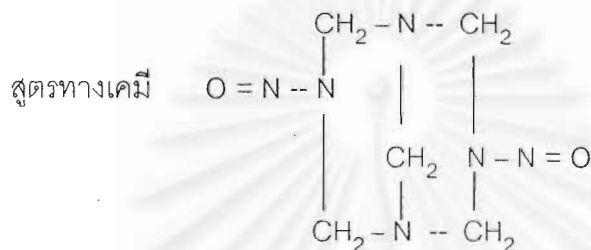
ABFA ที่บริสุทธิ์จะมีสีเหลืองส้ม มีจุดหลอมเหลวและจุดสลายตัวประมาณ 230 °C ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.65 สลายตัวในอากาศที่อุณหภูมิ 195 – 205 °C ให้ก๊าซออกมา 220 มิลลิลิตร / กรัม สามารถละลายในยางได้ดี ABFA แตกต่างจากสารฟู่อื่นที่ไม่ช่วยในการลูกใหม่ และตัวมันไม่ติดไฟด้วย การสลายตัวให้ก๊าซร้อยละ 32 โดยน้ำหนัก และในก๊าซมีไนโตรเจน 65% คาร์บอนมอนอกไซด์ 32% และคาร์บอนไดออกไซด์ 3% (17)

ABFA สลายตัวที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นในการใช้งานจริงจึงต้องเลือกสารที่ช่วยในการกระตุ้น เพื่อให้การแตกตัวเกิดขึ้นได้ที่อุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ยาง โดยอาจใช้ซิงค์ออกไซด์ โกลคอลลหรือ ยูเรียช่วยกระตุ้น และในกรณีที่มีตัวใดตัวหนึ่งดังกล่าวจะทำให้ ABFA แตกตัวที่อุณหภูมิประมาณ 140 – 150 °C ได้ ABFA และสิ่งสลายตัวที่เหลือไม่เป็นพิษและไม่ทำให้ผิวหนังระคายเคือง จึงสามารถใช้กับอุตสาหกรรมอาหารได้ด้วย และยังให้ผลผลิตยางที่ไม่มีกลิ่นและสีอีกด้วย

สารฟูซนิต Nitroso compound

สูตรทั่วไปของไนโตรโซ คือ -- N - N = O

ตัวอย่างได้แก่ Dinitroso - pentamethylene tetramine



ตัวย่อคือ DNPT หรือ DPT หรือ DNP

การใช้งานและสมบัติ

เป็นสารฟูที่ใช้ทำรองเท้าฟองน้ำ ฟองน้ำขอบประตูรถยนต์และลูกบอลฟองน้ำ เป็นต้น โดยใช้ในปริมาณ 1 – 2 phr ยกเว้นกรณีทำ microcellular rubber จะใช้ 3 – 5 phr

DPT จะสลายตัวที่อุณหภูมิ 207°C ส่วน DPT ทางการค้าจะสลายตัวราวๆ 190 – 200°C ถ้ามีกรดอยู่ด้วยจะสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำ ถ้าใช้กรดแก่จะสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำลงไปอีก ดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ผลของกรดต่อการสลายตัวของ DPT (18)

กรด	Pka	อุณหภูมิในการสลายตัว
Hydrochloric acid	< 1.0	ที่อุณหภูมิห้องพร้อมกับติดไฟ
Oxalic acid	1.19	60 – 70
Salicylic acid	2.97	100
Phthalic acid	2.89	115
Benzoic acid	4.20	130
Boric acid	9.14	130
Fatty acid	> 10	180

DPT เมื่อสลายตัวจะให้ก๊าซต่างๆ กัน เช่น ไนโตรซอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ ออกซิเจน น้ำและฟอร์มัลดีไฮด์ ข้อควรระวังคือ DPT เป็นตัวออกซิไดส์ต้องระวังอย่าให้ถูกกับสารรีดิวซ์ เช่นพวกไฮโอฟินอลหรือเมอร์แคปไทด์ มิฉะนั้นจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรุนแรงที่อุณหภูมิในการแปรรูปยางได้ DPT เป็นสารที่ติดไฟและก่อประกายไฟได้ง่ายด้วย เช่น มีการเสียดสีบนลูกกลิ้ง เป็นต้น ดังนั้น DPT มักใช้ปนกับสารอื่นเสมอ เพื่อลดอันตรายเกี่ยวกับเรื่องไวไฟนี้ สารที่ใช้ปนนั้นอาจเป็นซิลิกาหรือเคลย์ เป็นต้น

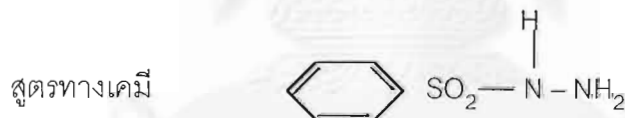
อนึ่ง DPT เป็นสารที่ไวในการทำปฏิกิริยากับกรดตัวนั้นมักจะใส่ต่างเข้าไปปนกับ DPT ด้วย เช่น การใช้สารออกไซด์หรือไฮดรอกไซด์ของแคลเซียม ซิงค์หรือแมกนีเซียมเพื่อให้เป็นสเตบิไลเซอร์ (Stabiliser) ของ DPT

DPT และสิ่งที่เหลือจากการสลายตัวของ DPT ไม่ค่อยเป็นพิษและมีฤทธิ์ทำให้ผิวหนังระคายเคืองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจาก DPT เป็นสารที่สลายตัวในอุณหภูมิสูงจึงมักใช้กรด Salicylic หรือกรด Phtalic เป็นตัวช่วยลดอุณหภูมิการสลายตัวของ DPT แต่ผลผลิตที่ออกมาจะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นปลาและกรดจะทำให้ยางวัลคาไนซ์ช้าลงไปอีกด้วย

นอกจากจะใช้กรดเป็นตัวลดอุณหภูมิการสลายตัวของ DPT แล้ว สารที่เป็นต่าง เช่น ยูเรียหรือสารผสมที่มียูเรียอยู่ ก็สามารถใช้เป็นตัวควบคุมการสลายตัวของ DPT ได้เช่นกัน

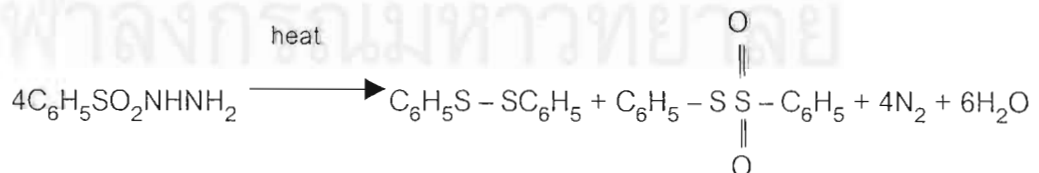
สารฟูซนิต Sulfonyl hydrazide

สารฟูในกลุ่มนี้ตัวที่สำคัญในทางการค้า ได้แก่ Benzenesulfonyl hydrazide (BSH)



การใช้งานและสมบัติ

BSH ที่บริสุทธิ์มีความถ่วงจำเพาะ 1.43 สลายตัวที่อุณหภูมิ 104 °C ส่วน BSH ทางการค้าจะสลายตัวให้ก๊าซที่ 90 °C และ BSH 1 กรัมจะให้ก๊าซไนโตรเจน 115 - 130 มิลลิลิตร และให้ไอน้ำ 195 มิลลิลิตร โดยมีปฏิกิริยาการสลายตัวดังนี้



BSH เป็นผงสีเหลืองอ่อน สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำมาก ทำให้ต้องควบคุมอุณหภูมิของการแปรรูป การใช้งานจะใช้กับยางที่นิ่มมากและจะไม่ให้ความร้อนในขณะผสม

2.6.9 สี (Colouring materials)

ยางที่ใช้งานทั่วไปมักจะมีสีดำอันเนื่องมาจากการใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม แต่ยังมีงานบางอย่างที่ไม่ต้องการยางที่มีสีดำ ดังนั้นเพื่อให้ยางเหล่านี้มีสีต่างๆ ตามต้องการจำเป็นต้องใส่สารมีสีเข้าไป

ลักษณะสีที่ต้องการควรจะเป็นสีที่มีประสิทธิภาพ คือใช้เพียงปริมาณน้อยก็ให้สีที่เห็นชัดเจน ทนทานต่อแสง ทนทานต่อความร้อนและไม่ตกสี

ชนิดของสี สีแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. สีอนินทรีย์ (Inorganic colouring materials)
2. สีอินทรีย์ (Organic colouring materials)

2.7 การออกแบบสูตรส่วนผสม

การออกแบบสูตรผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดนั้น มีหลักเกณฑ์สำคัญที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

1. จะต้องมีการเริ่มต้นของกระบวนการที่ถูกต้องและแม่นยำ เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการ
2. ออกแบบสูตรที่ให้ผลผลิตในราคาที่ต้องการ
3. ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้และความสะอาดในกระบวนการผลิต

โดยปกติการใช้ปริมาณสารต่างๆ จะใช้สัดส่วนต่างๆ ตัวอย่าง 100 ส่วนเป็นเกณฑ์ ดังนั้นสูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยางจึงประกอบด้วยสารต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2.12 สูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยาง

ส่วนผสม	ส่วน
ยาง	100
ซัลเฟอร์	2.5 – 3.5
สารกระตุ้นสารเร่ง	1 – 5
สารเร่งให้ยางคงรูป	0.5 – 1.5
สารเพิ่ม	ตามที่ต้องการ
สารช่วยทำให้ยางนิ่ม	5 – 10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	1 – 2

จากส่วนผสมของสารต่างๆ ตามสูตรพื้นฐานที่กล่าวข้างต้นนี้ จะเห็นได้ว่าปริมาณการใช้สารแต่ละชนิดนั้นไม่ได้จำกัดแน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิต

2.8 กระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง เริ่มจากการออกแบบสูตรส่วนประกอบยางและสารเคมี ขั้นต่อไปเป็นการบดยางให้นิ่ม (Mastication) ในกรณีที่ใช้ยางธรรมชาติ และการบดผสมยางกับสารเคมี (mixing) ซึ่งทั้ง 2 กระบวนการนี้จะใช้เครื่องจักรบด ซึ่งมี 2 แบบ คือ เครื่องบดระบบเปิด (Open mill , 2 – roll mill) และเครื่องบดผสมแบบปิด (Internal mixer) จากนั้นนำยางที่บดผสมกับสารเคมีแล้ว (Compound rubber) ไปขึ้นรูป (Forming) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ แล้วอบให้ยางคงรูป (Vulcanisation) และตกแต่งขึ้นผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย.

2.8.1 การบดยาง

2.8.1.1 เครื่องมือกลที่ใช้ (Machinery)

เครื่องมือกลที่ใช้บดยางให้นิ่มและใช้บดยางกับสารเคมีต่างๆ แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

ก. เครื่องบดผสมระบบเปิด (Open mill mixer)

เครื่องบดระบบเปิด ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูกเรียงในแนวนอนและขนานกัน ลูกกลิ้งหน้าจะมีสกรูสำหรับปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งทั้งสอง ขนาดของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้งที่ใช้ในปัจจุบัน มีขนาดต่างๆ ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ตัวอย่างขนาดปริมาณยางที่จะบดได้และกำลังของเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง

ขนาดของลูกกลิ้ง ^{A/} (นิ้ว)	ปริมาณยางที่บดได้ ^{B/} (ปอนด์)	กำลังของเครื่องบด (แรงแม้า)
6 X 13	1.25 – 2	7.5
8 X 16	2.5 – 4	10 – 15
10 X 20	5 – 8	15 – 20
12 X 24	10 – 18	30 – 40
14 X 30	20 – 30	40 – 55
16 X 42	30 – 50	70 – 75
18 X 48	45 – 70	75 – 100
22 X 60	75 – 125	125 – 150
24 X 72	125 – 200	150 – 200
26 X 84	150 – 250	150 – 200
28 X 84	175 – 300	200 – 250

^{A/} เส้นผ่านศูนย์กลาง X ความยาว

B/ คิดเทียบจากยางผสมสารเคมีแล้ว และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.00 (จาก M. Morton, Rubber Technology, 2 nd , ed., Van Nostrand Reinhold Company, (1973), p. 22)

ข. เครื่องบดผสมระบบปิด (Internal mixer)

เครื่องบดผสมระบบปิด สามารถบดผสมยางกับสารเคมีได้ในปริมาณมากกว่าเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เครื่องบดระบบปิดมีความเหมาะสมและจำเป็นอย่างยิ่งกับการบดผสมในปริมาณมาก โดยเฉพาะกับการบดผสมที่มีส่วนผสมของสารพวกเขม่าดำ เพราะช่วยแก้ปัญหาเรื่องการฟุ้งกระจายของเขม่าดำ

2.8.1.2 การบดยางให้นิ่มและการบดผสมยางกับสารเคมี

ยางธรรมชาติจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบดให้นิ่มก่อนที่จะบดผสมสารเคมี เพราะยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมาก การบดยางให้นิ่มเสียก่อนนั้นเป็นการทำให้โมเลกุลฉีกขาด น้ำหนักโมเลกุลเล็กลง ยางสังเคราะห์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยมีการควบคุมน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องบดให้นิ่มก่อน

การบดยางให้นิ่ม คือ การบดยางล้วนๆ และอาจใช้สารเคมีผสมพวก Softener ช่วยเร่งด้วย เมื่อยางนิ่มพอเหมาะแล้วจึงทำการผสมสารเคมีบดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ ลงบดผสมยางนั้นจะต้องจัดลำดับการเติมไว้อย่างถูกต้อง สารผสมที่มีขนาดอนุภาคใหญ่และผสมกับยางจะถูกเติมลงไปก่อน สารเคมีพวกเร่งให้ยางเกิดการคงรูปจะถูกจัดไว้ลำดับสุดท้าย

ยางที่ได้บดผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้ว จะถูกเก็บไว้อย่างน้อย 24 ชั่วโมงก่อนการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

2.8.2. การคงรูป

การคงรูปยางที่ได้ผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ สรุปได้ 4 วิธี คือ

1. การใช้แม่พิมพ์
2. การอัดผ่านได
3. การใช้เครื่องคาเล็นเดอร์
4. การฉาบสารละลายยางบนผ้า

2.8.3. การทำให้ยางคงรูป

การทำให้ยางคงรูป คือ การทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลและเป็นผลให้เพิ่มความหยุ่นตัว และลดความเสียรูปทรงของยางเมื่อปล่อยยางให้เป็นอิสระจากแรงที่กระทำให้เสียรูป วิธีที่ทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธี ดังนี้

ก. ทำให้ยางคงรูปโดยเครื่องอัด (Vulcanisation in press) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัดหรือแบบกึ่งฉีด

ข. ทำให้ยางคงรูปแบบเปิด (Open cure) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ไม่ต้องการความแน่นอนของรูปร่างโดยแม่พิมพ์

2.9 งานวิจัยที่ผ่านมา

ดร.ชลดา เลวิชและสาโรช ช่างชุม (19) ได้ทำการศึกษานิตและปริมาณของสารฟูและสารกระตุ้นในยาง พบว่าสารฟูชนิด Azodicarbonamide (ADC) มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงคือประมาณ 190 – 240 °C การทำให้อุณหภูมิของการสลายตัวลดลง ทำโดยการใส่ ADC ร่วมกับสารฟูอื่นที่มีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่า และโดยการใช้สารกระตุ้น (kicker) การใช้ ADC ร่วมกับ DNPT และ OBSH ทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 150 – 180 °C และ 120 – 135 °C ตามลำดับ โดยที่ปริมาตรแก๊สและความดันไม่ลดลงมากนัก ในขณะที่การใช้สารกระตุ้นนั้นทำให้อุณหภูมิการสลายตัวลดลงเหลือประมาณ 130 – 145 °C แต่จะทำให้ปริมาตรแก๊สและความดันลดลงอย่างชัดเจน เมื่อศึกษาลักษณะการขยายตัวของยางโดยใช้เครื่อง Dynamic Mechanical Analyzer (DMA – 7) นั้นพบว่าการขยายตัวของยางไม่เพียงขึ้นอยู่กัปริมาณก๊าซที่ได้จากสารฟู แต่ความเหนียวของยางคอมเพาต์และการวัลคาไนซ์ยังเป็นปัจจัยสำคัญด้วยเช่นกัน เมื่อควบคุมความเหนียวและลักษณะการวัลคาไนซ์ พบว่า ADC ทำใหยางมีการขยายตัวมากที่สุด และเมื่อใช้ AC3000F กับ DNPT และ OBSH เปอร์เซนต์การขยายตัวมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการใช้ AC3000F ร่วมกับสารอื่นพบว่าซิงค์แอซีเตตทำให้เปอร์เซนต์การขยายตัวของยางเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

A DUTTA AND M. CAKMAK (20) ได้ทำการศึกษาการเกิดฟองของวัลคาไนซ์ PP / EPDM โดยใช้สารฟู (blowing agents) จากการเกิดฟองในยาง EPDM ระหว่างการ curing โดยใช้สารฟู 2 ชนิด คือ azodicarbonamide และ p – toluene sulfonyl semicarbazide (PTSC) พบว่าการใช้สารฟูชนิด PTSC จะป้องกันการแตกตัวของสารฟูระหว่างการผสม ทำให้ฟองที่ได้มีความหนาแน่นต่ำประมาณ 0.55 g / cm³ ที่ 1 phr CBA / activator combination ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการใช้ fully – vulcanized dynamically cured blends และที่ 4 phr CBA และ 3 phr activator ความหนาแน่นของฟองลดไปประมาณ 0.4 g / cm³ ซึ่งใกล้เคียงกับการขยายปริมาตร 250%

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุดิบที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย

3.1.1 ยางธรรมชาติ ชนิดยางแท่ง STR 20

ยางแท่งชนิด STR 20 ผลิตโดยบริษัทไทยปักษ์ใต้ จำกัด สมบัติทางเคมีของยางแท่ง STR 20 แสดงในตารางที่ 3.1 โดยทดสอบตามวิธีทดสอบยาง เอสทีอาร์ ภาคผนวก ก ตารางที่ 3.1 สมบัติทางเคมีของยางแท่งชนิด STR 20

Properties	Results
Dirt retained on 45 μ aperture (max. % wt.)	0.121
Ash (max. % wt.)	0.50
Volatile matter (max. % wt.)	0.37
Nitrogen (max.% wt.)	0.22
Initial Plasticity (Po) (min.)	34
Plasticity Retention Index (PRI) (min.%)	61.8
Colour Lovibond Scale (Individual value, max.)	-
Mooney Viscosity ML(1+4) @ 100 °C	76.8

3.1.2 ยางสังเคราะห์ ชนิด SBR 1500

ผลิตโดยบริษัท BSTE Co.,Ltd. ยางSBR มีหลายเกรดแต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือก SBR 1500 ซึ่งมีสีคล้ำ เนื่องจากยางธรรมชาติที่เลือกมีสีคล้ำเหมือนกัน สมบัติต่างๆ ของยาง SBR 1500 แสดงในตารางที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 สมบัติยาง SBR 1500

Properties	Unit	SBR 1500
Volatile Matter	% , max	0.75
Ash	% , max	0.75
Bound ST	%	22.5 – 24.5
Raw Mooney viscosity, ML 1+4 @ 100°C		47 – 57
Organic Acid	%	5.00 – 7.25
Compound Mooney viscosity, ML1+4@ 100°C		72 – 86
300% Modulus (25 min. @ 145 °C)	kgf / cm ²	82.6 – 129.5
300% Modulus (35 min. @ 145 °C)	kgf / cm ²	124 – 170
300% Modulus (45 min. @ 145 °C)	kgf / cm ²	145 – 190
Tensile strength	kgf / cm ²	260 – 340
Elongation	%	480 – 660
Compounding Recipe (by weight)		
SBR		100
HAF Black (IRB # 6)		50
Zinc Oxide		3
Stearic Acid		1
Accelerator (TBBS)		1
Sulfur		1.75

3.1.3 สารฟู่

งานวิจัยนี้ใช้สารฟู่ 4 ชนิดด้วยกัน คือ

- Open cell – 100 ผลิตโดยบริษัท A.F. Goodrich สมบัติต่างๆ ของสาร

ฟู่แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สมบัติของ Open cell – 100

Properties	Results
Trade name	Supercell – 100
Composition	DPT , Promoter & Inhibitor
Appearance	White powder
Decomposition point (°C)	108 – 110 °C
Gas volume (ml / g)	138 ml / g

- Super cell – D 80 ผลิตโดยบริษัท A.F. Goodrich สมบัติต่างๆ ของสาร
ฟูแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สมบัติของ Super cell - D80

Properties	Results
Trade name	Supercell – D80
Composition	DPT (80%)
Appearance	Yellow fine powder
Decomposition point (°C)	202 – 206 °C
Gas volume (ml / g)	210 ml / g

- Unifoam AZ – H 40 ผลิตโดยบริษัท A.F. Goodrich สมบัติต่างๆ ของสาร
ฟูแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สมบัติของ Unifoam AZ – H 40

Properties	Results
Trade name	Supercell – H 40
Composition	Azodicarbonamide (AZC)
Appearance	Orange fine powder
Decomposition point (°C)	200 – 203 °C
Gas volume (ml / g)	240 ml / g

- Porofor TSH PLV ผลิตโดยบริษัท Bayer Thai สมบัติต่างๆ ของสารฟูแสดง
ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สมบัติของ Porofor TSH PLV

Test	Results	Specifications
Decomposition point	108.0	Min. 105 °C
Substance content	98.25	Min. 97%
Volatile matter	0.22	Max. 0.5%
Screen	0.063	mm.
Sieve residue	0.23	Max. 0.3%

3.1.4 สารทำให้ยางคงรูป

ในงานวิจัยนี้ใช้กำมะถัน ซึ่งผลิตโดยบริษัท Loxley Public Co., Ltd.

3.1.5 สารเร่งให้ยางคงรูป

ในงานวิจัยนี้ใช้ TMTD : Tetrathiyuram disulphide ซึ่งผลิตโดยบริษัท Flexsys Co.,Ltd.

MBTS : Dibenzothiazyl disulphide ซึ่งผลิตโดยบริษัท Flexsys Co.,Ltd.

CBS : N – cyclohexyl benzthiazyl sulphenamide ซึ่งผลิตโดยบริษัท Flexsys Co.,Ltd.

3.1.6 สารกระตุ้นสารเร่ง

ในงานวิจัยนี้ใช้ ซิงค์ออกไซด์ ชนิด Active ซึ่งผลิตโดยบริษัท Univentures public Co.,Ltd.

กรดสเตียริก ซึ่งผลิตโดยบริษัท อิมพีเรียล จำกัด

3.1.7 สารช่วยในกรรมวิธีการผลิต

ในงานวิจัยนี้ใช้ Paraffinic oil ซึ่งผลิตโดยบริษัท Gurny Mooning peter chemical Co.,Ltd.

Factice ซึ่งผลิตโดยบริษัท Tenma factice MFG. Co., Ltd.

Wax ซึ่งผลิตโดยบริษัท Flexsys Co.,Ltd.

3.1.8 สารแอนติออกซิแดนซ์

ในงานวิจัยนี้ใช้ BHT ซึ่งผลิตโดยบริษัท ITOCHU (Thailand)

3.1.9 สารตัวเติม

ในงานวิจัยนี้ใช้ CaCO_3 ซึ่งผลิตโดยบริษัท FK. Co., Ltd.

3.1.10 สารอื่นๆ

- สี ซึ่งผลิตโดยบริษัทกิงไฟบูลย์เคมีภัณฑ์
- ยูเรีย ซึ่งผลิตโดยบริษัท A.F. goodrich
- TiO_2 ซึ่งผลิตโดยบริษัท Dupont Co., Ltd.

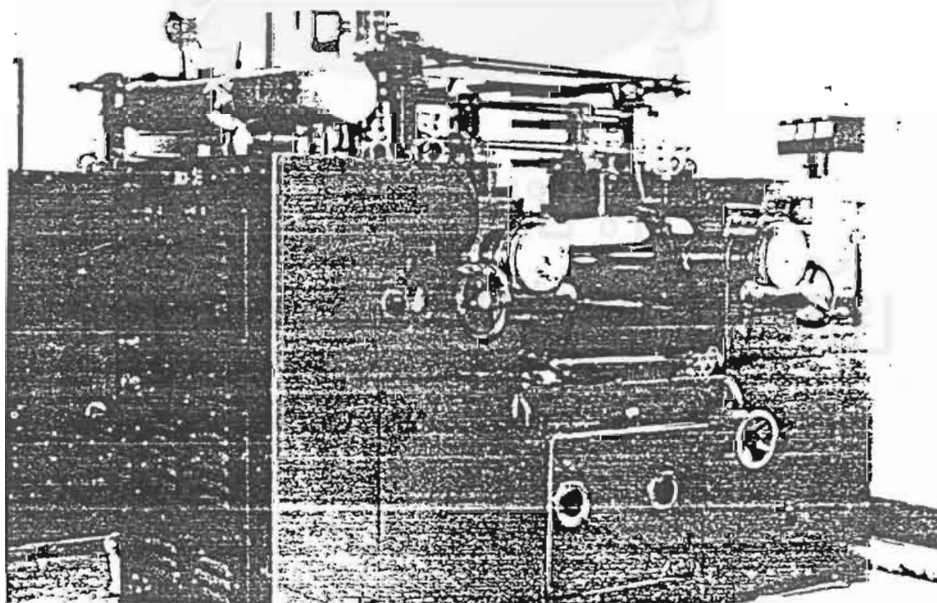
3.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแบ่งเป็นอุปกรณ์การคงรูปตัวอย่างและอุปกรณ์การวิเคราะห์และทดสอบ

3.2.1 อุปกรณ์การคงรูปตัวอย่างทดลอง

ก. เครื่องบดผสมยาง

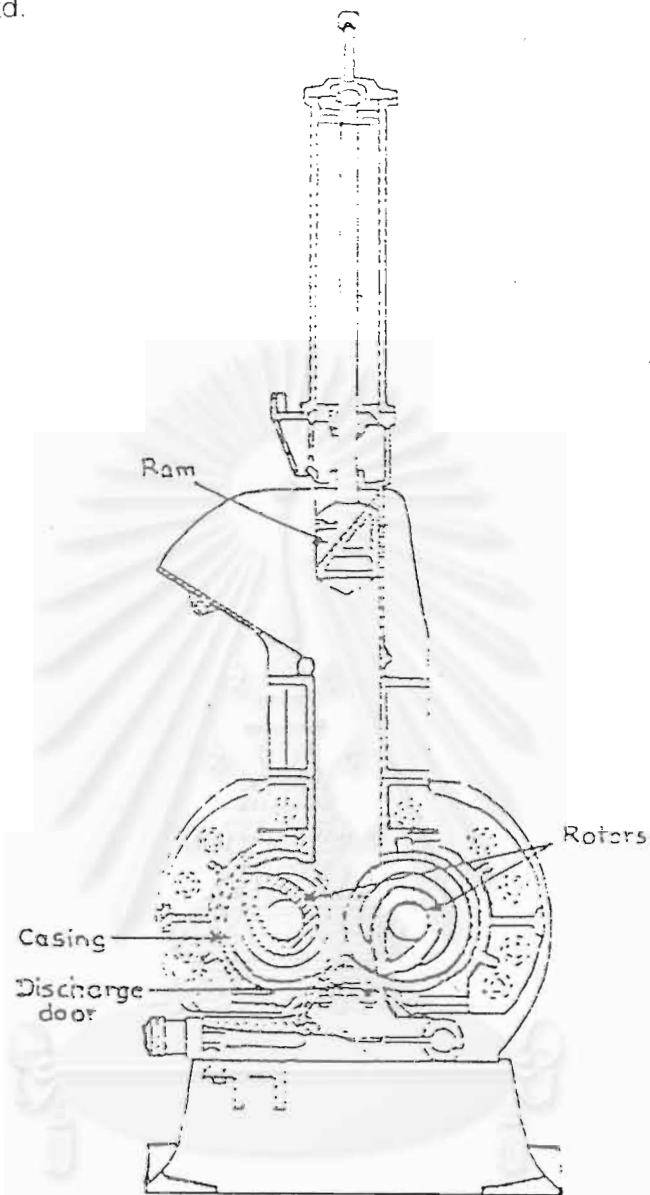
เครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่ รุ่น R11 - 3FF ผลิตโดยบริษัท KODAIRA SEISAKUSHO CO., LTD.



รูปที่ 3.1 เครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่

เครื่องบดผสมแบบปิด Type 50 ผลิตโดยบริษัท KNEADER MACHINERY

Co.,Ltd.



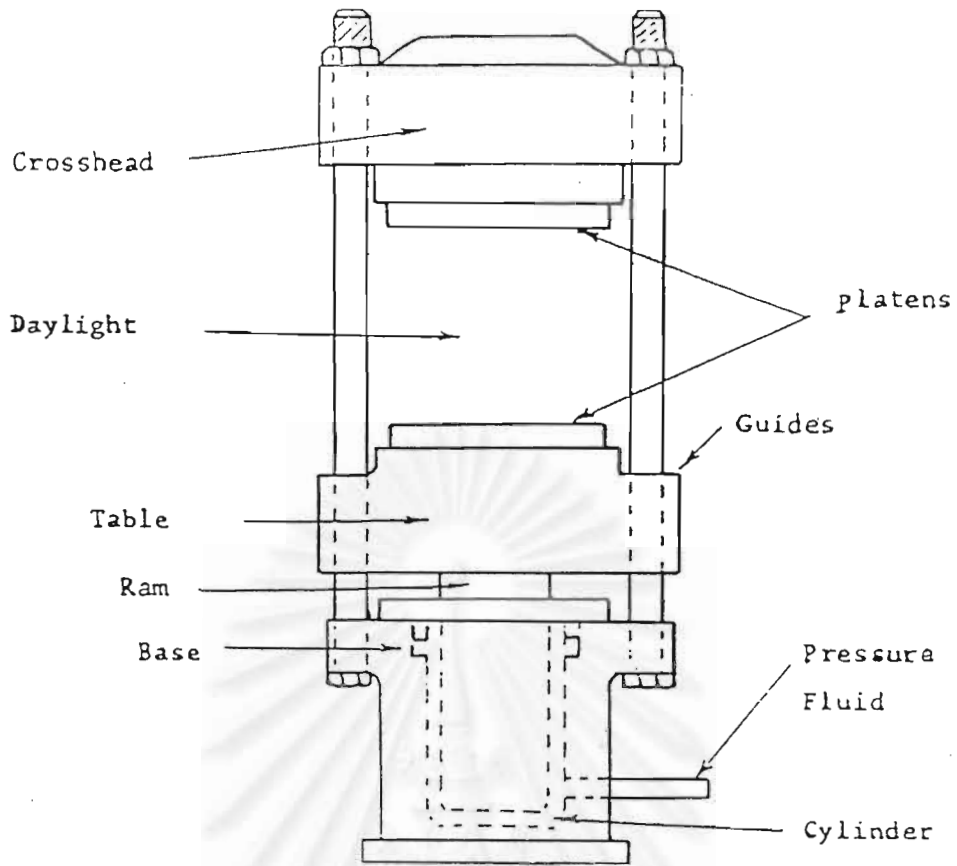
รูปที่ 3.2 เครื่องบดผสมแบบปิด

ข. เครื่องอัดคงรูปยางแบบไฮดรอลิก

เครื่องอัดคงรูปยางแบบไฮดรอลิก รุ่น G15H - 15 - X ผลิตโดยบริษัท WABASH MPI ใช้สำหรับคงรูปยางเพื่อดูการขยาย, เวลา และน้ำหนักที่เหมาะสม

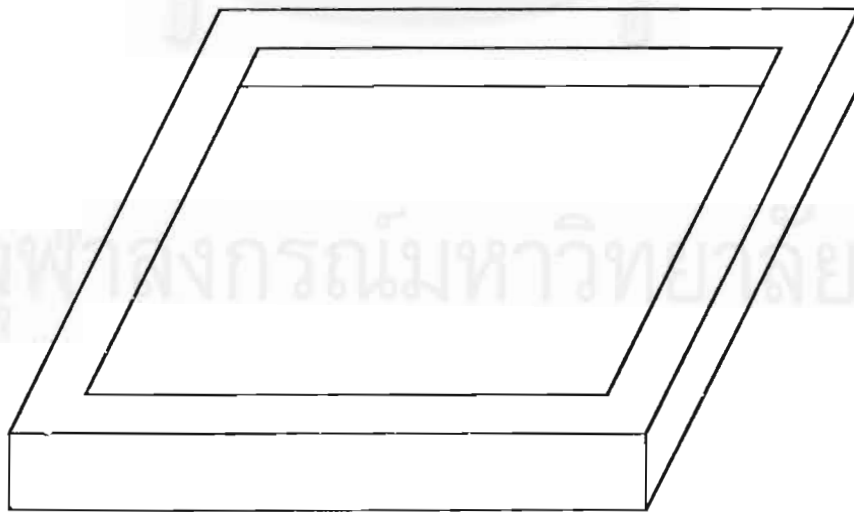
เครื่องอัดคงรูปยางแบบไฮดรอลิก รุ่น V 75 H - 18 - BPX ผลิตโดยบริษัท WABASH MPI ใช้สำหรับคงรูปยางเพื่อทดสอบ Tensile, Tear, resilience

เครื่องอัดคงรูปยางแบบไฮดรอลิก ชนิดเครื่อง 500 NO. 205.35 ผลิตโดย โรงงานชัยเจริญการช่าง

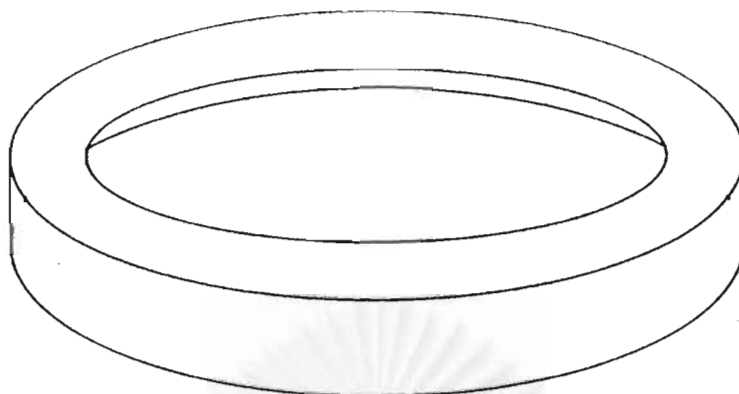


รูปที่ 3.3 เครื่องอัดยางแบบไฮดรอลิก

- ค. เครื่องคงรูปร่างแบบอบไอน้ำ Autoclave
- ง. เครื่องอบ Hot air oven
- จ. แบบพิมพ์ในการคงรูปร่าง



รูปที่ 3.4 เบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.5 เบ้าพิมพ์วงกลม

3.2.2. อุปกรณ์ในการวิเคราะห์และทดสอบ

- ก. เครื่องวิเคราะห์หาความหนืดของยาง ใช้เครื่อง Mooney Viscometer ผลิตโดยบริษัท Tech Pro. Inc.
- ข. เครื่องวิเคราะห์หาเวลาในการคงรูปของยาง ใช้เครื่อง Rheometer ผลิตโดยบริษัท Monsanto รุ่น MDR 200
- ค. เครื่องวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่น รุ่น EW-120SG ผลิตโดยบริษัท Mirage Trading Co.,Ltd.
- ง. เครื่องวิเคราะห์หาความต้านทานแรงดึง ใช้เครื่อง Instron Calibration Laboratory
- จ. เครื่องทดสอบหาแรงกดของยาง ใช้เครื่อง LLoyD instrument รุ่น 50K
- ฉ. เครื่องทดสอบความแข็งของยาง ใช้เครื่อง Durometer hardness system รุ่น 716 ผลิตโดยบริษัท Shore Instrument & MFG. Co., Ltd.
- ช. เครื่องตัดตัวอย่างแบบใช้กำลังลม รุ่น SDAR – 100 – N ผลิตโดยบริษัท Intro Cuterprise Co., Ltd.
- ซ. เครื่องวิเคราะห์ความทนการฉีกขาด ใช้เครื่อง Peel / Lap shear adhesive Test ผลิตโดยบริษัท Lloyd instruments
- ฅ. เครื่องมือทดสอบการกระดอนของยาง ใช้เครื่อง Rebound Resilience Tripsometer
- ญ. เครื่องมือทดสอบหาการดูดซับน้ำ ใช้เครื่อง Vacuum dryer

3.3 วิธีดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง แบ่งได้เป็นดังนี้คือ

3.3.1 สูตรที่ใช้ในการบดผสมยาง

สำหรับสูตรที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ตอน คือ

ก. สูตรที่ใช้ในการบดผสมยางธรรมชาติ

ข. สูตรที่ใช้ในการบดผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์สไตรีนบิวทาไดอีน

ในอัตราส่วนต่างๆ ดังตารางที่ ถึง 3.7 – 3.10

ตารางที่ 3.7 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองแปรปริมาณสารอื่น ๆ (ในสูตร A1 – A22)

Ingredients	Test Mix (phr)
STR 20	100
ZnO	5
Stearic acid	2
Factice	30
CaCO ₃	70
Wax	1
Sulfur	2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 สูตรพื้นฐานที่ใช้ในการทดลองแปรปริมาณสารอื่น ๆ (ในสูตร B1 – B34)

Ingredients	Test Mix (phr)
ZnO	5
Stearic acid	2
CaCO ₃	70
TiO ₂	4.5
Factice	30
Wax	1
BHT	1.7
MBTS	1
TMTD	0.5
CBS	1.6
Sulfur	2
Colour	2.2

ตารางที่ 3.10 สูตรทดลองที่แปรปริมาณสารต่าง ๆ (B1 – B 34)

Ingredients	Test Mix (phr)											
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12
STR20	100	100	100	100	80	80	80	80	80	80	80	80
SBR1500	-	-	-	-	20	20	20	20	20	20	20	20
Paraffinic Oil	25	25	25	25	25	25	25	25	15	15	15	15
Open cell – 100	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-
Super cell – D80	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-
Unifoam AZ – H40	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
Porofor TSH PLV	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5
Urea	-	-	5	5	-	-	5	5	-	-	5	5

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

Ingredients	Test Mix (phr)									
	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22
STR20	80	80	-	-	-	-	90	90	90	90
SBR1500	20	20	100	100	100	100	10	10	10	10
Paraffinic Oil	15	10	15	15	15	15	15	10	15	15
Open cell – 100	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-
Super cell – D80	5	3	-	5	-	-	-	3	-	-
Unifoam AZ – H40	-	-	-	-	5	-	-	-	5	-
Porofoor TSH PLV	-	-	-	-	-	5	-	-	-	5
Urea	-	-	-	-	5	5	-	-	5	5

ตารางที่ 3.10 (ต่อ)

Ingredients	Test Mix (phr)											
	B23	B24	B25	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	B33	B34
STR20	70	70	70	70	60	60	60	60	50	50	50	50
SBR1500	30	30	30	30	40	40	40	40	50	50	50	50
Paraffinic Oil	15	10	15	15	15	10	15	15	15	10	15	15
Open cell – 100	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-
Super cell – D80	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-
Unifoam AZ – H40	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5	-
Porofoor TSH PLV	-	-	-	5	-	-	-	5	-	-	-	5
Urea	-	-	5	5	-	-	5	5	-	-	5	5

3.3.1.1 ขั้นตอนในการบดผสมยาง

1. กำหนดหาน้ำหนักของวัตถุดิบที่จะใช้ในการบดยาง ตามภาคผนวก ข.
2. นำยางไปหาค่าความหนืดของยางเริ่มต้น
3. วัดอุณหภูมิลูกกลิ้งก่อนและหลังบด
4. บดยางให้ نرم ในเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่
5. วัดอุณหภูมิเครื่องบดผสมแบบปิดก่อนและหลังบด
6. บดผสมสารเคมี

7. บดผสมกับสารฟูและกำมะถัน ในเครื่องบดผสมลูกกลิ้งคู่
8. ชั่งน้ำหนักยางหลังบด
9. รีดยางให้เป็นแผ่น
10. ทดสอบหาเวลาในการคงรูปยางและความหนืดของยาง
11. นำไปคงรูปที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ เพื่อศึกษาการเกิดฟองและการสุกของยาง
12. นำไปทดสอบสมบัติต่างๆ

โดยสูตร A1-A3 ทำการบดยางให้นิ่มนาน 390 นาทีในเครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิประมาณ 70°C แล้วนำมาบดผสมสารเคมีในเครื่องบดผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ ประมาณ 70°C โดยการนวดยางเปล่านาน 2 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำมันพาราฟินิกนาน 2 นาที ใส่ฟลัคติสนาน 2 นาที ใส่กรดสเตียริก , wax และ ZnO นาน 2 นาที จากนั้นใส่ BHT, MBTS และ TMTD นาน 2 นาที นำยางออกจากเครื่องบดมารีดบนลูกกลิ้ง แล้วแบ่งยางผสมกับสารฟูและกำมะถันบนลูกกลิ้งนาน 6 นาที โดยต้องทำการหาปริมาณของสารฟูและกำมะถันที่จะต้องใช้ก่อน ตามภาคผนวก ข.

สูตร A4-A6 ทำการบดยางให้นิ่มนาน 600 นาทีในเครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิประมาณ 70°C ใส่สีและฟลัคติสนาน 7 นาที แล้วนำบดผสมสารเคมีในเครื่องบดผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ ประมาณ 70°C ใส่ TiO_2 , ZnO , กรดสเตียริก , MBTS , TMTD , BHT และ wax นาน 3 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำมันพาราฟินิก นาน 3 นาที นำยางมาบดบนลูกกลิ้ง แล้วแบ่งผสมกับสารฟูและกำมะถันทำบนลูกกลิ้ง นาน 6 นาที

สูตร A7-A9 ทำการบดยางให้นิ่มนาน 360 นาทีในเครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่ที่อุณหภูมิประมาณ $30-40^{\circ}\text{C}$ แล้วทำการบดยางกับสีบนลูกกลิ้ง นาน 3 นาที ใส่ฟลัคติสนาน 4 นาที นำใส่เครื่องบดผสมแบบปิดที่อุณหภูมิ ประมาณ 70°C ใส่ TiO_2 , ZnO , กรดสเตียริก , MBTS , TMTD , BHT และ wax นาน 3 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนตและน้ำมันพาราฟินิก นาน 3 นาที นำยางมารีดบนลูกกลิ้ง แบ่งผสมสารฟู , กำมะถันและยูเรียบนลูกกลิ้ง นาน 6 นาที

สูตร A10-A12 ทำการบดยางที่อุณหภูมิ ประมาณ $30-40^{\circ}\text{C}$ บนลูกกลิ้งคู่ทั้งหมด โดยบดยางกับน้ำมันครึ่งหนึ่งและสี นาน 30 นาที ใส่ฟลัคติสและน้ำมันที่เหลือ นาน 7 นาที ใส่ TiO_2 , ZnO , กรดสเตียริก , MTBS , TMTD , BHT และ wax นาน 8 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต นาน 11 นาที แบ่งผสมกับสารฟูและกำมะถัน นาน 6 นาที

สูตร A13-A16 ทำการบดยางที่อุณหภูมิ ประมาณ $30-40^{\circ}\text{C}$ บนลูกกลิ้งคู่ทั้งหมด โดยบดยางกับน้ำมันครึ่งหนึ่งและสี นาน 20 นาที ใส่ฟลัคติสและน้ำมันที่เหลือ นาน 8 นาที ใส่ TiO_2 ,

MBTS , TMTD , wax , กรดสเตียริก , ZnO และ BHT นาน 8 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต นาน 12 นาที แบ่งผสมกับสารฟูและกำมะถัน นาน 6 นาที

สูตร A17-A18 ทำการบดยางที่อุณหภูมิประมาณ 30-40 °C บนลูกกลิ้งทั้งหมด โดยบดยางกับน้ำมันครึ่งหนึ่งและสี นาน 3 นาที ใส่ฟลาคติสและน้ำมันที่เหลือ นาน 3 นาที ใส่ TiO₂ , ZnO , กรดสเตียริก , MBTS , TMTD , wax และ BHT นาน 4 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต นาน 6 นาที ใส่ยูเรีย นาน 1 นาที ใส่สารฟูและกำมะถัน นาน 2 นาที

สูตร A19-A22 ทำการบดยางที่อุณหภูมิ ประมาณ 30-40°C บนลูกกลิ้งทั้งหมด โดยบดยางกับน้ำมันครึ่งหนึ่งและสี นาน 3 นาที ใส่ฟลาคติสกับน้ำมันที่เหลือ นาน 6 นาที ใส่ TiO₂, ZnO, กรดสเตียริก, MBTS, TMTD, BHT, wax และ CBS นาน 4 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต นาน 6 นาที ใส่สารฟูและกำมะถัน นาน 2 นาที

สูตร B1-B34 ทำการบดยางที่อุณหภูมิ ประมาณ 30-40 °C บนลูกกลิ้งคู่ทั้งหมด โดยนำยางธรรมชาติ STR 20 และยางสังเคราะห์ SBR 1500 ไปหาค่าความหนืดของยางเริ่มต้นก่อน จากนั้นทำการปรับค่าความหนืดของยางทั้ง 2 ชนิดให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยบดยาง STR 20 นาน 3 นาที และบดยาง SBR 1500 นาน 1 นาที แล้วนำยางทั้ง 2 ชนิดมาบดผสมกัน นาน 1 นาที ใส่น้ำมันครึ่งหนึ่งและสี นาน 20 นาที ใส่ฟลาคติสและน้ำมันที่เหลือ นาน 8 นาที ใส่ TiO₂, กรดสเตียริก, ZnO, MBTS, TMTD, CBS, BHT และ wax นาน 6 นาที ใส่แคลเซียมคาร์บอเนต นาน 12 นาที แบ่งผสมสารฟูและกำมะถัน นาน 4 นาที

3.3.2 การคงรูปตัวอย่างทดลอง

การคงรูปตัวอย่างทดลอง แบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

ก. การคงรูปตัวอย่างโดยการอัดคงรูป โดยแบ่งเป็น 2 แบบดังนี้

- การคงรูปตัวอย่างโดยการอัดคงรูปแบบ single step โดยคงรูปยางด้วยเครื่องอัดคงรูปแบบไฮดรอลิกจนยางสุก
- การคงรูปตัวอย่างโดยการอัดคงรูปแบบ two step โดยคงรูปยางด้วยเครื่องอัดคงรูปแบบไฮดรอลิกก่อน แล้วนำมาอบต่อในตู้อบ (hot air oven) จนสุก

ข. การคงรูปตัวอย่างโดยการอบไอน้ำ ด้วยเครื่อง autoclave

ในการทดลองได้ทำการคงรูปตัวอย่างดังนี้

สูตร A1-A3 คงรูปแบบ single step โดยใช้เบ้าพิมพ์รูปวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม. โดยแปรขนาดขึ้นงานออกเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดยางเต็มเบ้า มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม.

- ขนาดยาง 75% ของเบ้า มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 ซม. หนา 1.2 ซม.
- ขนาดยาง 50% ของเบ้า มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 ซม. หนา 0.8 ซม.

ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150 , 160 และ 170 °C โดยต้องชั่งน้ำหนักยางก่อนทำการคงรูปทุกครั้ง และบันทึกอุณหภูมิก่อนและหลังการคงรูป เวลาและขนาดหลังการคงรูปยางทุกครั้ง

สูตร A4-A6 คงรูปแบบ single step โดยใช้เบ้าพิมพ์วงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม. โดยแปรขนาดชิ้นงานออกเป็น 4 ขนาด คือ

- ขนาดยางเต็มเบ้า
- ขนาดยาง 87.5% ของเบ้า
- ขนาดยาง 75% ของเบ้า A
- ขนาดยาง 75% ของเบ้า B

ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150 , 160 และ 170 °C

สูตร A7-A9 คงรูปแบบ single step โดยใช้เบ้าพิมพ์วงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม. ชิ้นงานมีขนาด 75% ของเบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 ซม. หนา 1.1 ซม. ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150 และ 160°C

สูตร A10-A12 แบ่งการคงรูปเป็น 2 แบบ คือ

- คงรูปแบบ single step โดยใช้เบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความยาวด้าน 12.8 ซม. หนา 1.2 ซม. ชิ้นงานมีขนาดความยาวด้าน 7 , 9 และ 10 ซม. หนา 0.8 ซม. ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150 และ 160°C โดยใช้เวลา 20 , 25 และ 30 นาที
- คงรูปด้วยวิธีอบไอน้ำ โดยไม่ใช้เบ้าพิมพ์ ชิ้นงานมีขนาดความยาวด้าน 5 ซม. หนา 1.1 ซม. ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C ใช้เวลา 30 นาที

สูตร A13-A16 แบ่งการคงรูปเป็น 3 แบบ คือ

- คงรูปแบบ single step โดยใช้เบ้าพิมพ์วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม. ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 และ 5.8 ซม. หนา 0.8 ซม. ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C
- คงรูปแบบ two step โดยใช้เบ้าพิมพ์วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม. ชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.8 ซม. หนา 0.8 ซม. ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C ใน hot air oven
- คงรูปด้วยวิธีอบไอน้ำ โดยไม่ใช้เบ้าพิมพ์ ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C โดยใช้

สูตร B9-B34 คงรูปแบบ single step โดยใช้ใบพิมพ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความยาวด้าน 12.8 ซม. หน้า 1.2 ซม. โดยแปรปริมาณขนาดของยางก่อนคงรูป ทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C

3.3.3 การทดสอบสมบัติ

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดสอบสมบัติออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. สังเกตลักษณะปรากฏของยางพองที่ผ่านการคงรูป โดยสังเกตจาก

- ลักษณะการสุกของยาง
- ขนาดของรูพรุน
- ความสม่ำเสมอของรูพรุน

ข. ทดสอบเชิงกลโดยใช้เครื่องมือ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

- การทดสอบก่อนคงรูปยาง
 - ทดสอบค่าความหนืดของยาง (Mooney Viscosity) ตาม ISO 289-1
 - ทดสอบหาเวลาในการคงรูปยาง (Rheograph) ตาม ISO 3917
- การทดสอบหลังคงรูปยาง
 - ทดสอบค่าแรงกดที่ 25% ของยาง (Compression Deflection 25% Deflection) ตาม ASTM D1056
 - ทดสอบค่าการดูดซับน้ำ (Water Absorption) ตาม ASTM D1056
 - ทดสอบค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile Properties) ตาม ISO 37
 - ทดสอบค่าความต้านทานการฉีกขาด (Tear Strength) ตาม ISO 34
 - ทดสอบค่าการกระดอนของยาง (Rebound Resilience) ตาม B.S 903 part A8
 - ทดสอบค่าความแข็ง (Hardness) ตาม ASTM D2240 Shore A
 - ทดสอบค่าความหนาแน่น (Density)

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

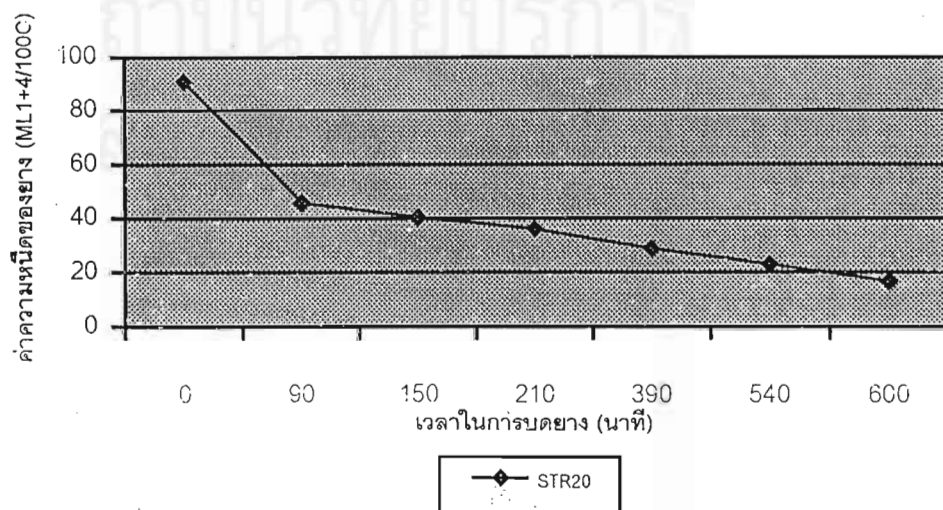
การศึกษากาการเตรียมยางไมโครเซลลูโลสจากยางธรรมชาติ ได้ทำการศึกษาหาสูตรที่ใช้ในการบดผสมยางธรรมชาติและยางธรรมชาติผสมยางสังเคราะห์ แล้วทำการคงรูปด้วยเครื่องอัดแบบ single step และ two step และคงรูปด้วยวิธีอบไอน้ำ พร้อมทั้งทดสอบสมบัติต่างๆ ของยางพอง เพื่อให้ได้สมบัติตามมาตรฐานยางพอง ASTM D1056 , Type 2 ; Class A ตามรายละเอียดผลการทดลองดังนี้

4.1 การบดยาง

เนื่องจากในการผลิตยางพอง วัตถุดิบที่นำมาผลิตจะต้องมีค่าความหนืดต่ำประมาณ 10 – 20 ML 1+4@ 100°C เพื่อสามารถเกิดพองได้ง่ายในการคงรูป จึงต้องทำการบดยางเพื่อให้ยางนิ่มลง โดยศึกษาเวลาในการบดยาง เพื่อให้ได้ค่าความหนืดที่ต้องการ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความหนืดของยาง STR 20 ที่ผ่านการบดให้นิ่มที่เวลาต่างๆ กัน

เวลาในการบดยาง (นาที)	ค่าความหนืดของยาง (ML 1+4@100°C)
0	90.94
90	45.76
150	40.42
210	36.17
390	28.71
540	22.98
600	16.67



รูปที่ 4.1 ค่าความหนืดของยาง STR 20 ที่ผ่านการบดให้นิ่มที่เวลาต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.1 พบว่ายางเมื่อใช้เวลาในการบดนานขึ้น ค่าความหนืดของยางจะลดลง เนื่องจากการบดยางจะทำให้โมเลกุลของยางขาดออกจากกัน โมเลกุลของยางจึงเล็กลง(2) ทำให้ยางนิ่มขึ้นหรือมีค่าความหนืดน้อยลง

เนื่องจากในงานวิจัยจะทำการบดผสมยางเพื่อให้ได้สมบัติตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 , Type 2: Class A ซึ่งมีสมบัติดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมบัติตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 ,Type 2 ; Class A

Basic Requirements			
Grade Number	Compression Deflection 25% Deflection (Limits), KN/m ² (psi)	Oven-Aged 7 days at 70°C (158°F), Change from Original Compression – Deflection Values (Limits),%	Water Absorption max, Weight % (2)
Class A, Non-Oil Resistant			
2A1	15-35 (2-5)	± 30	5
2A2	35-65 (5-9)	± 30	5
2A3	65-90 (9-13)	± 30	5
2A4	90-120 (13-17)	± 30	5
2A5	120-170 (17-25)	± 30	5

(1) 2 is for type 2 – Closed cell rubber

A - Cellular rubber made from natural rubber, reclaimed rubber synthetic rubber, or rubber-like material, alone or in combination where specific resistance to the action of petroleum base oils is not required.

(2) For cellular materials with densities 160 kg/m³ (10 lb/ft³) or less, the value of water absorption allowed is 10% max by weight. For densities of more than 160 kg/m³ (10 lb/ft³) the value of water absorption is 5% max by weight.

จึงต้องทำการกำหนดสูตรที่จะใช้ในการบดผสมยาง เพื่อให้ผ่านตามมาตรฐาน โดยแต่ละสูตรจะมีจุดประสงค์แตกต่างกัน

4.2 การหาอุณหภูมิและปริมาณ blank ของยางที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง

ในการคงรูปยางฟองจะใช้เบ้าพิมพ์ 2 ชนิด คือ

- เบ้าพิมพ์วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม.
- เบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความยาวด้าน 12.8 ซม. หนา 1.2 ซม.

โดยใส่ปริมาณ blank ของยางเป็น 3 ขนาดดังนี้

- ยางเต็มเบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม.
- ยาง 75% เบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 ซม. หนา 1.2 ซม.
- ยาง 50% เบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.3 ซม. หนา 0.8 ซม.

ทำการคงรูปยางฟองที่อุณหภูมิ 150, 160 และ 170 °C แบบ single step

สูตร A1-A3 ทำการศึกษา

- อุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูปยาง โดยทำการคงรูปยางที่อุณหภูมิ 150 , 160 และ 170°C
- ปริมาณ blank ของยางที่จะใส่ในเบ้าพิมพ์ โดยแบ่งเป็นขนาด 50% เบ้า , 75% เบ้าและเต็มเบ้าพิมพ์

ตารางที่ 4.3 ความหนาแน่นของยางสูตร A1-A3 ที่ผ่านการคงรูป แบบ single step โดยใช้เครื่องอัด

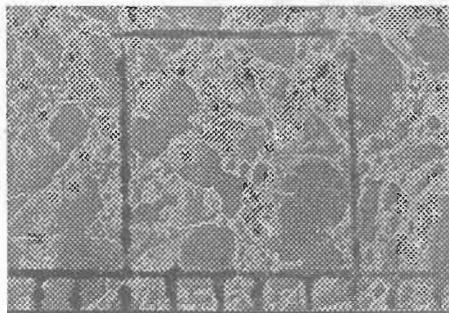
ชนิดสารฟู	ขนาดยาง blank	ความหนาแน่น (g/cm ³)		
		150°C	160°C	170°C
Open cell – 100	เต็มเบ้า	-	-	-
	75% เบ้า	0.52	0.57	0.58
Super cell – D80	เต็มเบ้า	-	-	-
	75% เบ้า	0.53	0.52	0.51
Unifoam AZ – H40	เต็มเบ้า	0.65	0.63	0.64
	75% เบ้า	0.51	0.47	0.49

จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ขนาดยาง blank เท่ากันโดยปริมาตร ยางเมื่อคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C ยางฟองจะมีความหนาแน่นมากที่สุด และที่ปริมาณยางเต็มเบ้าเมื่อใช้สารฟูชนิด Opencell-100 และ Supercell-D80 ยางเมื่อผ่านการคงรูปจะแตกมีรูตรงกลางจึงไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นได้ ลักษณะปรากฏโดยละเอียดของยางฟองที่ผ่านการคงรูปแสดงในภาคผนวก ค.

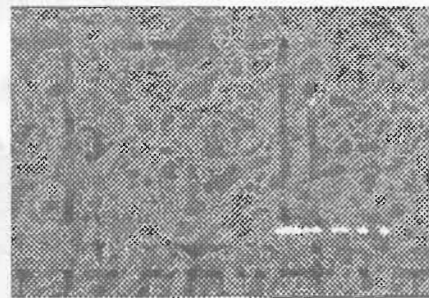
จากการที่สารฟูแต่ละชนิดให้ผลความหนาแน่นของยางที่แตกต่างกัน ทั้งที่เริ่มต้นใช้ปริมาณยางเท่ากันนั้น อาจเนื่องมาจากสารฟูแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชนิดจะให้ชนิดของแก๊สและปริมาณแก๊สที่ต่างกัน คือสารฟูชนิด Open cell – 100 จะให้แก๊ส N₂ 138 ml / g , Super cell – D80 จะให้แก๊ส CO₂ 210 ml / g และ Unifoam AZ – H40 จะให้แก๊ส N₂ 240 ml / g (13)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะของยางฟองที่ผ่านการคงรูปแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150°C

ขนาดยาง	ลักษณะของฟอง			
	Opencell-100	Supercell-D80	Unifoam AZ-H40	Porofor TSH PLV
เต็มเบ้า	ฟองขยายเต็มเบ้า แต่แน่นแข็ง	ฟองขยายเต็มเบ้า แต่แน่นแข็ง	ฟองขยายเต็มเบ้า แต่แน่นแข็ง	ฟองขยายเต็มเบ้า แต่แน่นแข็ง
75% เบ้า	ฟองขยายเต็มเบ้า	ฟองขยายเต็มเบ้า	ฟองขยายเต็มเบ้า	ฟองขยายเต็มเบ้า
50% เบ้า	ฟองขยายไม่เต็มเบ้า	ฟองขยายไม่เต็มเบ้า	ฟองขยายไม่เต็มเบ้า	ฟองขยายไม่เต็มเบ้า



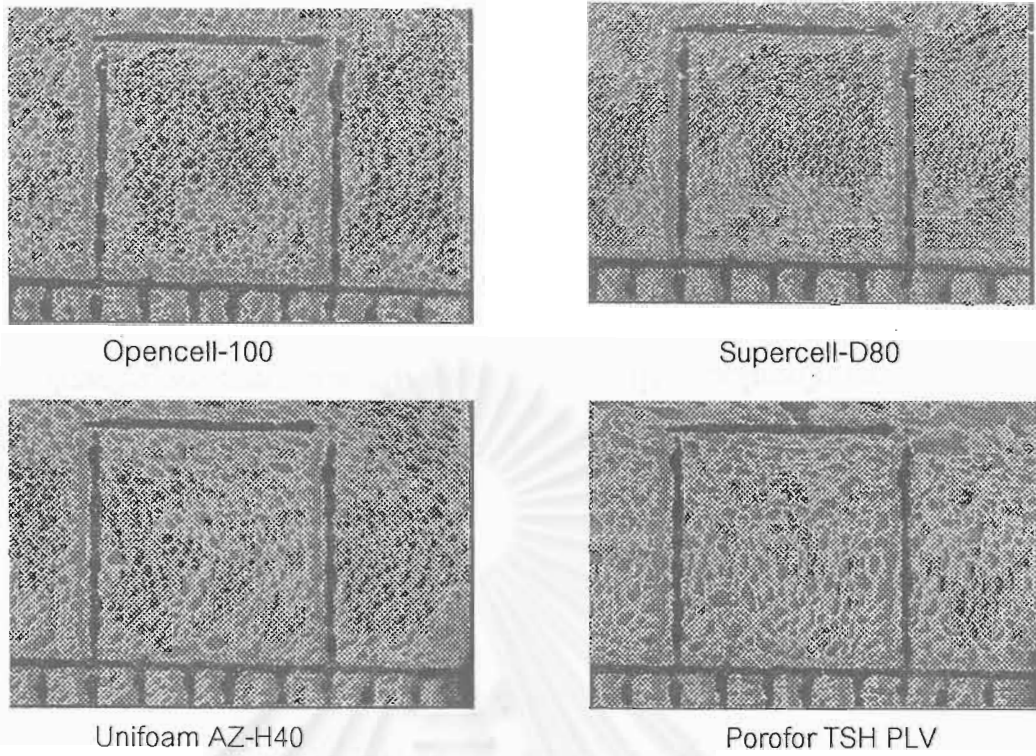
Opencell-100



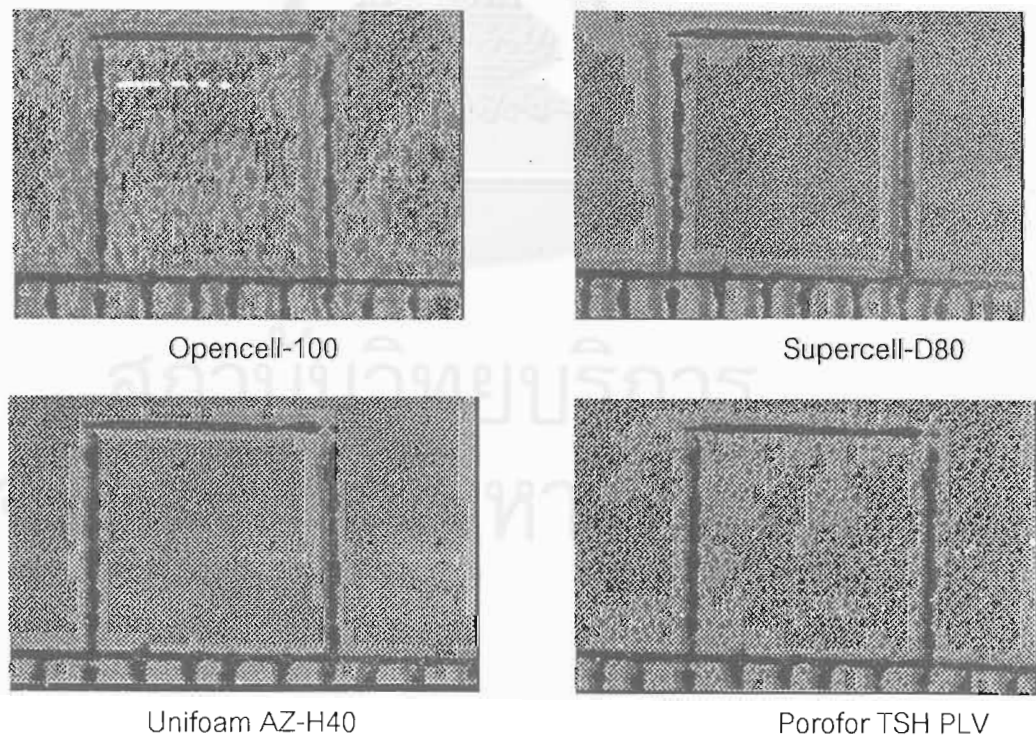
Supercell-D80

รูปที่ 4.2 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank 50% เบ้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank 75% เบ้า



รูปที่ 4.4 ลักษณะของยางฟองที่ปริมาณ blank เต็มเบ้า

เมื่อทำการคงรูปร่างโดยแปรปริมาณยางเริ่มต้นเป็นเต็มเบ้า, 75% เบ้า และ 50% เบ้า จะเห็นว่าที่ยางปริมาณเต็มเบ้าและ 75% เบ้า เมื่อผ่านการคงรูปแล้วจะให้ยางที่มีปริมาณเต็มเบ้า แต่ปริมาณยาง 50% เบ้าจะขยายตัวได้ไม่เต็มเบ้า จึงทำการตัดออกเหลือเพียงยางปริมาณเต็มเบ้าและ 75% เบ้าเท่านั้น

เนื่องจากในการบดผสมสูตร A1-A3 ค่าความหนืดของยางยังสูงอยู่ จึงทำการบดผสมสูตร A4-A6 โดยเพิ่มเวลาในการบดยางให้นิ่ม

สูตร A4-A6 ทำการศึกษา

- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการคงรูปร่าง โดยทำการคงรูปร่างที่อุณหภูมิ 150 , 160 และ 170°C
- ปริมาณ blank ของยางที่จะใส่ในเบ้าพิมพ์ ซึ่งเบ้าพิมพ์มีปริมาตร 53.11 cm³ โดยแบ่งเป็น 4 ขนาด
 1. ยางเต็มเบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 cm. หนา 1.6 cm.
 2. ยาง 87.5% เบ้า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.5 cm. หนา 1.4 cm.
 3. ยาง 75% เบ้า A ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 cm. หนา 1.0 cm.
 4. ยาง 75% เบ้า B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 cm. หนา 1.2 cm.
- ความหนาแน่นของยางที่ผ่านการคงรูป รายละเอียดการหาความหนาแน่นแสดงในภาคผนวก ง.

โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการคงรูปร่าง คืออุณหภูมิที่ทำให้ยางเมื่อผ่านการคงรูปสุกทั่วถึง มีลักษณะปรากฏดี

ปริมาณ blank ของยางที่เหมาะสม คือปริมาณยางที่ใช้ในการคงรูป เพื่อให้ได้ยางฟองที่มีรูพรุนเล็กละเอียด สม่ำเสมอและขยายตัวเต็มเบ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความหนาแน่นของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร A4-A6 แบบ single step โดยใช้เครื่องอัด

ชนิดสารฟู	ขนาดยาง	ความหนาแน่น (g/cm ³)		
		150°C	160°C	170°C
Open cell – 100	เต็มเบ้า	-	0.67	-
	87.5% เบ้า	-	-	0.62
	75% เบ้า A	0.45	0.44	0.50
	75% เบ้า B	0.51	0.52	-
Super cell – D80	เต็มเบ้า	-	0.70	-
	87.5% เบ้า	-	-	0.69
	75%เบ้า A	0.46	0.50	-
	75%เบ้า B	0.59	0.54	-
Unifoam AZ – H40	เต็มเบ้า	-	0.66	-
	87.5% เบ้า	-	-	0.68
	75%เบ้า A	0.43	0.48	-
	75%เบ้า B	0.51	0.63	-

จากตารางที่ 4.5 พบว่าที่ขนาดยางเดียวกัน เมื่อทำการคงรูปที่อุณหภูมิ 150°C ยางฟองจะมีความหนาแน่นน้อยที่สุด และที่อุณหภูมิเดียวกันพบว่าขนาดยาง 75% เบ้า A จะมีความหนาแน่นน้อยที่สุดเมื่อทำการคงรูปในทุกอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการคงรูปอาจขึ้นกับชนิดของสารฟูที่ใช้ว่าจะมีอุณหภูมิในการสลายตัวมากหรือน้อย โดยสารฟูชนิด Open cell – 100 สลายตัวที่อุณหภูมิ 108 - 110°C สารฟูชนิด Supercell – D80 สลายตัวที่อุณหภูมิ 202 - 206°C และสารฟูชนิด Unifoam AZ – H40 สลายตัวที่อุณหภูมิ 200 - 203°C ทั้งนี้สารฟูชนิดที่สลายตัวที่อุณหภูมิสูงจะทำการลดอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวให้ต่ำลงได้ โดยการเติมสารบางอย่างเข้าไปกระตุ้นให้เกิดการสลายตัวเร็วขึ้น เช่น ให้อูเรียและ ZnO กระตุ้นสารฟูชนิด Unifoam AZ-H40 และใช้กรดกระตุ้นสารฟูชนิด Supercell-D80 ให้เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำลง คือที่อุณหภูมิประมาณ 140-150°C (13)

จากการอัดให้ยางคงรูปตามสูตร A4-A6 พบว่าที่อุณหภูมิ 170°C ยางที่ทำการคงรูปจะไม่สุก แม้ว่าจะใช้เวลานานขึ้นแต่ขึ้นงานกลับไม่พองตัวขึ้น หรือพองขึ้นเล็กน้อยแต่ไม่ขยายตัวเต็มเบ้าเมื่อเทียบกับชิ้นงานที่ทำการคงรูปที่อุณหภูมิต่ำลง ซึ่งอาจเป็นเพราะอุณหภูมิสูงเกินไป จึงทำ

การตัดอุณหภูมิ 170 °C ออกเพราะถือว่าไม่เหมาะสมในการคงรูปร่างในงานวิจัยนี้ และที่ขนาดขึ้นงานเต็มเบ้าและ 87.5% เบ้าเป็นปริมาณยงที่มากเกินไป เพราะเมื่อยงคงรูปแล้วลักษณะของขึ้นงานจะแตกและแข็ง ดังนั้นจึงทำการตัดออกและพบว่าขนาดที่เหมาะสม คือ ขนาด 75% เบ้า

เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการบดยงให้นิ่มในสูตร A4-A6 ใช้เวลาถึง 10 ชั่วโมง ซึ่งนานมาก และพบว่าเมื่อบดผสมเสร็จแล้วยางจะละเอียดเครื่องบด จึงทำการทดลองบดผสมยงสูตร A7-A9 ที่อุณหภูมิต่ำลง คือใช้อุณหภูมิประมาณ 30 °C เนื่องจากยังเพิ่มอุณหภูมิในการบดให้สูงขึ้น ยางจะนิ่มช้าลง จนถึงอุณหภูมิ 100°C ที่ยางจะนิ่มลงได้ช้าที่สุด แต่ถ้าบดที่อุณหภูมิเกิน 100°C แล้วยางกลับนิ่มเร็วขึ้น (3) โดยทำการบดยงให้นิ่มประมาณ 6 ชั่วโมง

สูตร A7-A9 ทำการศึกษา

- สมบัติเชิงกลของยางพองที่ผ่านการคงรูป
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการคงรูปร่าง โดยใช้ขึ้นงานขนาด 75% เบ้า มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 ซม. หนา 1.1 ซม. ทำการคงรูปแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150 และ 160°C แต่ผลการทดลองผิดพลาด ลักษณะของยางหลังคงรูปเหนียวไม่เกิดฟอง ขยายตัวแต่ด้านข้าง ไม่ขยายตัวด้านบน

ตารางที่ 4.6 สมบัติเชิงกลของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร A7-A9

Properties	Results					
	Opencell-100		Supercell-D80		Unifoam AZ-H40	
	Unaged	Aging	Unaged	Aging	Unaged	Aging
Tensile Properties						
- Tensile Strength (Mpa)	4.639	3.145	1.61	0.941	2.88	2.385
- Elongation at Break (%)	565.6	475.7	422.8	286.6	447.0	361.1
- 300% Modulus (Mpa)	1.652	1.91	0.963	-	1.626	1.683
Tear Strength (N/mm.)	9.813	11.66	6.091	4.362	9.593	10.48
Hardness (Shore A)	34.1	36.9	15.5	15.3	27.1	33.8
Rebound Resilience (%)	67.9	-	54.9	-	68.8	-

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการทดสอบค่า Tensile Properties และ Tear Strength พบว่ายางเมื่อผ่านการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C นาน 22 ชั่วโมง จะมีค่าต่ำลง เนื่องจากสมบัติของยางธรรมชาติ โดยยางธรรมชาติที่บางๆ จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายเมื่อโดนความร้อน ทำให้เกิดรอยแตกได้ง่ายเมื่อยืด (3) แต่ค่า Hardness พบว่ายางเมื่อผ่านการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C นาน

22 ชั่วโมง จะมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเมื่ออย่างโดนความร้อนจะแข็งตัวขึ้น จึงต้องใช้แรงกดมากขึ้น และสารฟูชนิด Supercell-D80 จะให้ค่าต่ำที่สุดในการทดสอบทุกชนิด

4.3 วิธีที่เหมาะสมในการคงรูปร่างฟอง

โดยทำการคงรูปร่างฟองที่อุณหภูมิ 150°C แบ่งการคงรูปร่างฟองออกเป็น 2 วิธี คือ

- แบบ single step ซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ
 - คงรูปร่างฟองโดยใช้เครื่องอัด
 - คงรูปร่างฟองโดยใช้เครื่องอบไอน้ำ (autoclave)
- แบบ two step โดยคงรูปร่างฟองโดยใช้เครื่องอัด จากนั้นนำไปอบต่อในตู้อบ (hot air oven) จนสุก

เบ้าพิมพ์ที่ใช้ในการคงรูปมี 2 แบบ คือ

- เบ้าพิมพ์วงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 ซม. หนา 1.6 ซม.
- เบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดความยาวด้าน 12.8 ซม. หนา 1.2 ซม.

เนื่องจากในการบดผสมสูตร A7-A9 แม้ว่าจะลดอุณหภูมิในการบดผสมเหลือประมาณ 30 - 40°C แล้วแต่ยังใช้เวลาในการบดอย่างให้นาน จึงทำการบดผสมสูตร A10-A12 โดยเพิ่มปริมาณน้ำมัน เพื่อช่วยให้ยางนิ่มเร็วขึ้น โดยไม่ต้องทำการบดอย่างให้นานก่อน

สูตร A10-A12 ทำการศึกษา

- เวลาและขนาดในการคงรูปร่างแบบ single step โดยทำการคงรูปร่างฟองในเบ้าพิมพ์สี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตารางที่ 4.7 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150°C โดยใช้เบ้าสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ชนิดสารฟู	ขนาดยาง	ความหนาแน่นของยาง (g/cm ³)
Open cell – 100	A	0.78
	B	0.76
Super cell – D80	A	0.85
	B	0.80
Unifoam AZ – H40	A	0.91
	B	0.88

โดย A = ความยาวด้าน 12 cm. หนา 1 cm.

B = ความยาวด้าน 11 cm. หนา 1 cm.

จากตารางที่ 4.7 พบว่าที่ขนาดต่างกัน ยางที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่ายางที่มีขนาดใหญ่ และอาจจะสามารถขยายตัวได้มากกว่ายางที่มีขนาดใหญ่ เพราะมีพื้นที่ว่างเหลือให้ขยายตัวได้มากกว่า และขนาดฟองที่ได้ก็ใหญ่กว่าด้วย

ตารางที่ 4.8 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปโดยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 150 °C นาน 30 นาที

ชนิดสารฟู่	ขนาดยาง	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Open cell – 100	ความยาวด้าน 5 ซม. หนา 1.1 ซม.	0.56
Super cell – D80	ความยาวด้าน 5 ซม. หนา 1.1 ซม.	0.35
Unifoam AZ – H40	ความยาวด้าน 5 ซม. หนา 1.1 ซม.	0.58

จากตารางที่ 4.8 พบว่าสารฟู่ชนิด Super cell – D80 มีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด ที่สารฟู่ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความหนาแน่นแตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากสมบัติของสารฟู่แต่ละชนิด ที่จะให้ปริมาณแก๊สแตกต่างกัน โดยสารฟู่ชนิด Opencell-100 ให้ปริมาณแก๊ส 138 ml/g , Supercell-D80 ให้ปริมาณแก๊ส 210 ml/g และ Unifoam AZ-H40 ให้ปริมาณแก๊ส 240 ml/g (13) สารฟู่ที่ให้ปริมาณแก๊สมาก อาจทำให้ยางฟองมีรูพรุนมาก ความหนาแน่นจึงมากด้วย และยางที่คงรูปด้วยเครื่อง autoclave จะมีค่าความหนาแน่นน้อยกว่ายางที่คงรูปด้วยเครื่องอัด จึงอาจจะขยายตัวได้มากกว่ายางที่คงรูปด้วยเครื่องอัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากยางที่คงรูปด้วยเครื่อง autoclave จะได้รับความร้อนทุกด้าน ยางจะค่อยๆ ขยายตัวอย่างช้าๆ ฟองที่ได้จะมีลักษณะละเอียดและสม่ำเสมอ แต่ยางเมื่อคงรูปเสร็จแล้วจะมีขนาดไม่แน่นอน เนื่องจากไม่มีใบพิมพ์เพียงแต่วางไว้ให้คงรูปโดยอิสระ

ตารางที่ 4.9 ความหนาแน่นของยางสูตร A10-A12 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เบ้าสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ชนิดสารฟู	ขนาดยาง	เวลาที่ใช้ในการคงรูป (min)	ความหนาแน่น (g/cm ³)
Open cell – 100	ความยาวด้าน 7cm. หนา 0.8 cm.	20	0.36
	ความยาวด้าน 9 cm. หนา 0.8 cm.	25	0.31
	ความยาวด้าน 10 cm. หนา 0.8 cm.	30	0.53
Super cell – D80	ความยาวด้าน 7 cm. หนา 0.8 cm.	20	0.33
	ความยาวด้าน 9 cm. หนา 0.8 cm.	25	0.40
	ความยาวด้าน 10 cm. หนา 0.8 cm.	30	0.51
Unifoam AZ – H40	ความยาวด้าน 7 cm. หนา 0.8 cm.	20	0.31
	ความยาวด้าน 9 cm. หนา 0.8 cm.	25	0.37
	ความยาวด้าน 10 cm. หนา 0.8 cm.	30	0.56

จากตารางที่ 4.9 พบว่าเมื่อยางมีขนาดก่อนคงรูปเล็กที่สุด เมื่อผ่านการคงรูปจะมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด และสารฟูชนิด Unifoam AZ-H40 จะมีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวมากที่สุด เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นน้อยที่สุด รองลงมาคือสารฟูชนิด Super cell-D80 และ Open cell-100 ตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณยางมากขึ้น ยางที่ผ่านการคงรูปจะมีค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นด้วย

สูตร A13-A16 ทำการศึกษา

- น้ำหนักและเวลาในการคงรูปแบบ single step และ two step ที่อุณหภูมิ 150°C

ตารางที่ 4.10 ความหนาแน่นของยางสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัด ที่ 150°C

ชนิดสารฟู	น้ำหนักของยางก่อนคงรูป (g)	เวลาในการคงรูป (min)	ความหนาแน่นของยาง (g/cm ³)
Open cell – 100	A 22.8	22	0.46
Super cell – D80	A 22.8	20	0.43
Unifoam AZ – H40	A 22.8	30	0.46
Porofor TSH PLV	A 22.8	30	0.45

หมายเหตุ A มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.8 cm. หนา 0.8 cm.

จากตารางที่ 4.10 พบว่าสารฟูทั้ง 4 ชนิดมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน แต่แตกต่างกันที่ลักษณะของฟองที่เกิดและเวลาที่ใช้ในการคงรูปร่าง ซึ่งเวลาในการคงรูปร่างจะขึ้นกับชนิดของสารฟู

ตารางที่ 4.11 ความหนาแน่นของยางสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two – step ที่อุณหภูมิ 150 °C

ชนิดสารฟู	น้ำหนักก่อนคงรูป (g)	เวลาในการคงรูปร่าง (min)		ความหนาแน่นของยาง (g/cm ³)
		อัด	อบ	
Open cell – 100	23	20	5	0.42
Super cell – D80	23	20	10	0.46
Unifoam AZ – H40	23	30	5	0.43
Porofor TSH PLV	23	30	10	0.50

จากตารางที่ 4.11 พบว่ายางที่มีน้ำหนักก่อนคงรูปเท่ากัน สารฟูทั้ง 3 ชนิดแรกจะมีค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน เมื่อทำการคงรูปแบบ two-step ที่อุณหภูมิ 150 °C แต่สารฟูชนิด Unifoam AZ-H40 และ Porofor TSH PLV จะใช้เวลาในการคงรูปร่างมากกว่าสารฟูชนิด Open cell-100 และ Super cell-D80 เมื่อเปรียบเทียบค่าจากตารางที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าค่าความหนาแน่นจะเปลี่ยนไป อาจเนื่องมาจากวิธีที่ใช้ในการคงรูปร่างฟอง และเวลาที่ใช้ในการคงรูปร่างฟอง

แต่เนื่องจากฟองที่ได้ยังมีขนาดไม่สม่ำเสมอ จึงทำการเพิ่มปริมาณยางให้มากขึ้นในการคงรูป เพื่อให้ยางที่ผ่านการคงรูปมีฟองที่ละเอียดและสม่ำเสมอ โดยตารางที่ 4.12 จะแสดงน้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปร่างสูตร A13-A16

ตารางที่ 4.12 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปร่างสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two step ที่อุณหภูมิ 150 °C

ชนิดสารฟู	น้ำหนักยาง (g)	เวลาในการคงรูป (min)	
		อัด	อบ
Open cell – 100	26	23	5
Super cell – D80	23	20	20
Unifoam AZ – H40	25	33	10
Porofor TSH PLV	25	25	3

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการคงรูปแบบ two-step ที่อุณหภูมิ 150°C สารฟูซนิต Super cell-D80 จะใช้น้ำหนักยางในการคงรูปน้อยที่สุด เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์การขยายตัวมากที่สุด รองลงมาคือสารฟูซนิต Unifoam AZ-H40, Porofor TSH PLV และ Open cell-100 ตามลำดับ และยางที่ผ่านการคงรูปด้วยวิธีนี้จะให้ผลไม่แตกต่างกับการคงรูปแบบ single step เพราะในการคงรูปโดยใช้เครื่องอัดครั้งแรกต้องใช้เวลาจนทำให้ยางสุกเต็มที่ก่อน แล้วจึงนำไปอบได้ ถ้ายางยังไม่สุกเต็มที่เมื่อนำไปอบต่อ ยางจะไม่พองตัวขึ้นแต่จะยุบตัวลงและสุกขึ้นเท่านั้น และการคงรูปยางแบบ two step ยังใช้เวลานานกว่า เพราะต้องนำมาอบต่ออีก

- น้ำหนักและเวลาในการคงรูปยางแบบอิสระโดยใช้เครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 150°C นาน 30 นาที

ตารางที่ 4.13 ความหนาแน่นของยางที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยใช้ autoclave ที่ อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 30 นาที ตามลำดับ

ชนิดสารฟู	น้ำหนักยาง (g)	ความหนาแน่นของยาง (g/cm^3)
Opencell-100	25.9	0.55
	69.2	0.56
Supercell-D80	23	0.30
	59.1	0.37
Unifoam AZ-H40	25	0.59
	59.2	0.58
Porofor TSH PLV	28	0.46
	53.1	0.46

จากตารางที่ 4.13 พบว่าเมื่อทำการคงรูปยางด้วยวิธีการอบไอน้ำโดยใช้ autoclave ยางที่ผ่านการคงรูปจะให้ขนาดพองที่ละเอียดและสม่ำเสมอ โดยยางพองที่ใช้สารฟูซนิต Supercell-D80 จะมีค่าความหนาแน่นต่ำที่สุด แต่พองที่ได้ละเอียดและสม่ำเสมอ ซึ่งที่ค่าความหนาแน่นมีค่าต่ำที่สุด อาจเนื่องมาจากยางพองที่ใช้สารฟูซนิต Supercell-D80 เมื่อคงรูปแล้วจะมีลักษณะนิ่มและขยายตัวมากที่สุด และสารฟูซนิต Unifoam AZ-H40 จะมีค่าความหนาแน่นสูงที่สุด ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากลักษณะของพองที่เกิด ความแข็งและอ่อนนุ่มของเนื้อยาง โดยแสดงลักษณะปรากฏโดยละเอียดในภาคผนวก ค. แต่ยางที่ผ่านการคงรูปด้วยวิธีนี้จะให้ยางที่มีรูป

ร่างไม่แน่นอน จึงไม่เหมาะที่จะทำการคงรูปยางด้วยวิธีนี้ และจากภายในแต่ละสูตรใช้เวลาในการคงรูปนานเกินไป ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม

4.4 หาเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง

เนื่องจากการคงรูปยางฟองสูตร A15-A16 . ยังใช้เวลานานจึงต้องทำการปรับสูตรในการบดผสมยาง โดยเพิ่มปริมาณสารเร่งและสารกระตุ้นสารฟู

สูตร A17-A18 ทำการศึกษา

- เวลาในการคงรูปยาง

ตารางที่ 4.14 เวลาในการคงรูปยางสูตร A17 และ A18

อุณหภูมิ	Tc 90 (min / sec)	
	A17	A18
150 °C	6.47	5.40

จากตารางที่ 4.14 พบว่าเมื่อเพิ่มสารกระตุ้นสารฟูหรือในที่นี้ใช้ยูเรีย จะทำให้ค่าเวลาในการคงรูปยางลดลงได้ เพราะยูเรียจะไปช่วยให้สารฟูเกิดปฏิกิริยาเร็วขึ้น (3)

เนื่องจากสูตร A13, A14, A17 และ A18 ยังมีเวลาในการคงรูปนาน จึงบดผสมสูตร A19-A22 โดยเพิ่มปริมาณสารเร่ง เพื่อให้คงรูปเร็วขึ้น

สูตร A19-A22 เนื่องจากยังมีเวลาในการคงรูปนาน จึงเพิ่มปริมาณสารเร่ง เพื่อให้คงรูปเร็วขึ้นเพื่อศึกษา

- เวลาในการคงรูปยาง

ตารางที่ 4.15 เวลาในการคงรูปยางสูตร A19, A20, A21 และ A22

อุณหภูมิ	Tc90 (min / sec)			
	A19	A20	A21	A22
150 °C	4.21	4.05	3.50	2.52

จากตารางที่ 4.15 เมื่อเพิ่มปริมาณ MBTS, TMTD และ CBS จะทำให้เวลาในการคงรูปยางน้อยลง เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารกระตุ้นสารเร่ง จึงไปทำหน้าที่เร่งให้ ZnO และ Stearic acid ทำปฏิกิริยากับกำมะถันเร็วขึ้น เวลาในการคงรูปยางจึงน้อยลง (3)

4.5 หาขนาดของยางที่ใช้ในการคงรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล

เมื่อทำการปรับสูตรจนได้เวลาในการคงรูปยางพองที่ประมาณ 2-5 นาที จึงทำการบดผสมยางสูตร B1-B4

สูตร B1-B4 ทำการศึกษา

- ขนาดของยางที่ใช้ในการคงรูปเพื่อทดสอบสมบัติเชิงกล

ตารางที่ 4.16 ขนาดที่ใช้ในการคงรูปยาง

สมบัติที่ทดสอบ	ชนิดสารฟู่	ขนาดก่อนคงรูป
Tensile, Tear	Open cell – 100	9.5 x 10 cm. หน้า 2.9 cm.
	Super cell – D80	9.5 x 10 cm. หน้า 2.9 cm
	Unifoam AZ H40	9.5 x 10 cm . หน้า 2.9 cm
	Porofor TSH PLV	11 x 11 cm. หน้า 2.9 cm.
Resilience	Open cell – 100	9 x 9 cm. หน้า 0.6 cm.
	Super cell – D80	10 x 10 cm. หน้า 0.6 cm.
	Unifoam AZ H40	10.5 x 10.5 cm. หน้า 0.6 cm..
	Porofor TSH PLV	11 x 11 cm . หน้า 0.6 cm.

4.6 หาน้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพอง เพื่อให้ได้ยางพองที่มีลักษณะรูพรุนเล็กละเอียด มีขนาดรูพรุนสม่ำเสมอและผ่านตามมาตรฐานยางพอง ASTM D1056 ,Type 2 ; Class A

โดยใช้แป้งพิมพ์สีเหลืองจัดรัส มีขนาดความยาวด้าน 12.8 ซม. หน้า 1.2 ซม. ทำการคงรูปยางแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้ยางปริมาณ 75% ของแป้งพิมพ์เป็นตัวเริ่มต้น แล้วทำการเพิ่มน้ำหนักขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ยางที่มีลักษณะรูพรุนละเอียดและสม่ำเสมอ

- น้ำหนักและเวลาในการคงรูปยางแบบ single step เพื่อให้ผ่านตามมาตรฐานยางพอง ASTM D1056 , Type 2 ; Class A
- สมบัติเชิงกลของยางพอง

ตารางที่ 4.17 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางฟอง เพื่อทดสอบตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 ,Type 2; Class A

ชนิดสารฟู่	น้ำหนักยาง (g)	เวลาในการคงรูปยางฟอง (min)
Opencell-100	160	8
Supercell-D80	140	9
Unifoam AZ-H40	130.7	12
Porofor TSH PLV	160	8

จากตารางที่ 4.17 พบว่าสารฟู่ชนิด Unifoam AZ-H40 จะใช้น้ำหนักในการคงรูปยางน้อยที่สุด เนื่องจากสารฟู่ชนิดนี้ให้ปริมาณแก๊สมากที่สุด คือประมาณ 240 ml/g (13)

ตารางที่ 4.18 สมบัติเชิงกลของยางที่ผ่านการคงรูปสูตร B1-B4

Properties	Results							
	Opencell-100		Supercell		Unifoam AZ		Porofor TSH	
	Unaged	aging	Unaged	aging	unaged	Aging	Unaged	aging
Compression	14.67	15.57	12.96	13.12	10.1	12.12	*11.76	*19.5
Deflection								
25% Deflection (psi)								
Tensile Properties								
- Tensile Strength (Mpa)	3.443	2.091	3.629	2.445	3.538	2.128	4.834	4.165
- Elongation at Break(%)	409.6	161.8	437.8	244.9	417.7	155.8	519.4	391.4
- 300% Modulus (Mpa)	1.691	-	2.234	-	2.578	-	2.398	2.33
Tear Strength (N/mm.)	12.43	7.901	10.681	7.439	10.979	6.907	13.04	13.82
Hardness (Shore A)	29.5	37.5	26.4	36.3	30.4	40.4	31.3	43.9
Rebound	56.3	-	67.3	-	62.8	-	62.4	-
Resilience (%)								

หมายเหตุ * แสดงค่าที่ไม่ผ่านตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 , Type 2; Class A.

จากตารางที่ 4.18 เมื่อทำการทดสอบค่า Compression Deflection 25% Deflection พบว่ายางเมื่อผ่านการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C นาน 7 วันจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยยางเมื่อยังไม่ผ่านการบ่มแรงสารฟลูซนิต Open cell-100 จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟลูซนิต Super cell – D80, Porofor TSH PLV และ Unifoam AZ-H40 ตามลำดับ แต่เมื่อผ่านการบ่มแรงสารฟลูซนิต Porofor TSH PLV จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟลูซนิต Open cell-100, Super cell – D80 และ Unifoam AZ – H40 ตามลำดับ โดยสารฟลูซนิต Porofor TSH PLV ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 เพราะเมื่อผ่านการบ่มแรงแล้วมีความแตกต่างกันเกิน 30% ส่วนค่า Tensile Properties , Tear Strength เมื่อผ่านการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C นาน 22 ชั่วโมง จะมีค่าต่ำลง แต่ค่า Hardness เมื่อผ่านการบ่มแรงที่อุณหภูมิ 100°C นาน 22 ชั่วโมง จะมีค่าเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากในระหว่างการบ่มแรงจะทำให้ยางเกิดการ Crosslink กันเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่า Hardness เพิ่มขึ้น

เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมในการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีแล้ว จึงทดลองบดผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ โดยทำการบดผสมสูตร B5-B8

สูตร B5-B8 ทำการศึกษา

- ความเหนียวของยาง SBR1500 เมื่อผ่านการบดที่เวลาต่างๆ

ตารางที่ 4.19 ค่าความเหนียวของยางที่ผ่านการบดที่เวลาต่างๆ

เวลาในการบดยาง (min)	ความเหนียวของยาง ML1+4 @ 100°C	
	STR 20	SBR 1500
0	82.49	62.49
1	-	54.0
3	54.06	-
5	-	43.0
10	-	39.56
20	-	36.81
27	-	33.87

จากตารางที่ 4.19 พบว่ายาง SBR 1500 เมื่อใช้เวลาในการบดยางให้นานขึ้น ค่าความเหนียวของยางจะลดลง แต่ลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากยาง SBR เป็นยางที่บิดให้ล้มต่อไปได้ยาก (3)

- น้ำหนักและเวลาในการคงรูป แต่การทดลองไม่ได้ผลเนื่องจากยางนิ่มเกินไป จึงไหลออกนอกเบ้าพิมพ์
จึงทำการบดผสมสูตร B9-B12 โดยลดปริมาณน้ำมันลง

สูตร B9-B12 ทำการศึกษา

- น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพองเพื่อใช้ในการทดสอบ
ตารางที่ 4.20 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพองสูตร B9-B12

ชนิดของสารฟู	น้ำหนักยาง (g)	เวลาในการคงรูป (min)
Opencell-100	177	10
Supercell-D80	153.8	13
Unifoam AZ-H40	150	14
Porofor TSH PLV	163.5	10

แต่สูตร B10 เมื่อทำการคงรูปยางแล้วยังไหลออกนอกเบ้าพิมพ์ จึงบดผสมสูตร B13-B14 โดยลดปริมาณน้ำมันและสารฟูลง

สูตร B13-B14 ทำการศึกษา

- น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพองเพื่อใช้ในการทดสอบ
ตารางที่ 4.21 น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางสูตร B13 และ B14

สูตร	น้ำหนักยาง (g)	เวลาในการคงรูปยาง (min.)
B13	166.8	12
B14	130	12

เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมในการคงรูปยาง STR20 ผสมยาง SBR1500 แล้ว จึงทำการบดผสมสูตร B15-B34

สูตร B15-B34 ทำการศึกษา

- น้ำหนักและเวลาที่เหมาะสมในการคงรูปยางพองเพื่อใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 4.22 เวลาและน้ำหนักที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการคงรูปยาง เพื่อทดสอบตาม
มาตรฐานยางฟอง ASTM D1056

NR : SBR	Open cell – 100		Super cell – D80		Unifoam AZ – H40		Porofor TSH PLV	
	Weight of test piece (g)	Cure time (min)	Weight of test piece (g)	Cure time (min)	Weight of test piece (g)	Cure time (min)	Weight of test piece (g)	Cure time (min)
90 : 10	160	12	160	15	160	15	160	10
70 : 30	160	10	160	15	160	15	160	9
60 : 40	160	12	160	18	155	18	155	9
50 : 50	160	16	165	25	160	21	160	10
0 : 100	160	27	170.2	26	160	24	170	12

จากตารางที่ 4.22 พบว่าน้ำหนักยางที่ใช้ในการคงรูปในแต่ละสูตรมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่จะแตกต่างกันที่เวลาในการคงรูป ที่ปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 0 : 100 จะมีเวลาในการคงรูป นานที่สุด อาจเนื่องจากยาง SBR มีโมเลกุลที่เกิดการวัลคาไนซ์ได้ยากกว่ายางธรรมชาติ และไม่มีตัวกระตุ้นตามธรรมชาติเหมือนยางธรรมชาติ จึงทำให้ยางที่มีปริมาณ SBR มากขึ้นจะใช้เวลาในการคงรูปนานขึ้น

- สมบัติเชิงกลของยางฟอง

โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ

ก. การทดสอบสมบัติก่อนคงรูปยาง

ตารางที่ 4.23 ผล Mooney viscosity (ML 1+4 / 100°C)

NR : SBR	Opencell-100	Supercell-D80	Unifoam AZ – H40	Porofor TSH PLV
90 : 10	8.81	12.00	10.31	8.50
70 : 30	15.50	20.56	14.75	10.75
60 : 40	22.00	26.87	25.06	16.94
50 : 50	26.19	36.12	20.25	15.81
0 : 100	48.25	38.12	38.25	28.19

จากตารางที่ 4.23 จะพบว่าเมื่อใช้สารฟุ้งชนิดเดียวกัน สูตรที่มีปริมาณยางธรรมชาติมากที่สุดจะมีค่าความหนืดต่ำที่สุด ส่วนสูตรที่มียางสังเคราะห์ SBR เข้ามาผสมจะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณ SBR ที่ผสม โดยที่ปริมาณ SBR 100% จะมีค่าความหนืดสูงที่สุด

อาจเนื่องมาจากยางธรรมชาติเมื่อทำการบดผสมบนลูกกลิ้งแล้วจะทำให้โมเลกุลของยางฉีกขาดออกจากกันอีก แต่ยาง SBR1500 เมื่อทำการบดผสมบนลูกกลิ้ง โมเลกุลของยางไม่ฉีกขาดออกจากกัน ทำให้ค่าความหนืดของยางเพิ่มขึ้นเมื่อมีปริมาณ SBR1500 เพิ่มมากขึ้น และเมื่อเทียบดูที่ปริมาณการผสม NR : SBR เดียวกัน พบว่าสารฟุ้งชนิด Super cell – D80 จะมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Open cell-100, Unifoam AZ –H40 และ Porofor TSH PLV ตามลำดับ

ตารางที่ 4.24 ผลเวลาในการคงรูปยางฟองสูตร B15-B34 ที่อุณหภูมิ 150°C

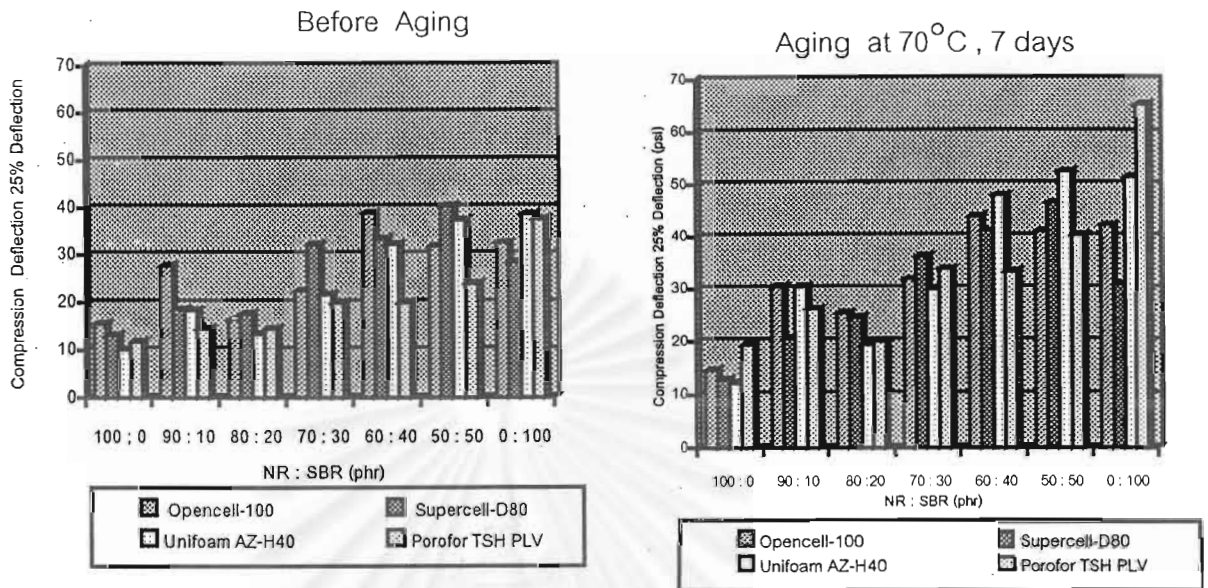
NR : SBR	Cure time ,Tc90(min/sec)			
	Opencell-100	Supercell-D80	Unifoam AZ-H40	Porofor TSH PLV
90 : 10	3.00	4.02	5.31	2.46
70 : 30	3.13	5.11	5.35	2.51
60 : 40	4.10	6.18	6.43	3.23
50 : 50	5.20	8.15	7.28	3.23
0 : 100	9.40	9.05	8.10	4.14

จากตารางที่ 4.24 พบว่าที่อุณหภูมิและสารฟุ้งชนิดเดียวกัน สูตรที่มีปริมาณยางธรรมชาติมากจะมีค่าเวลาในการคงรูปยางน้อยที่สุด ส่วนสูตรที่มีปริมาณยางสังเคราะห์ SBR เข้ามาผสมจะมีเวลาในการคงรูปยางนานขึ้นตามสัดส่วนของปริมาณ SBR ที่ผสม อาจเนื่องมาจากยาง SBR มีโมเลกุลที่ฉีกขาดได้ยาก ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานขึ้นในการคงรูปยาง เมื่อเพิ่มปริมาณยาง SBR ลงไปในสูตร และเมื่อดูที่ปริมาณการผสม NR : SBR เดียวกัน พบว่าสารฟุ้งชนิด Unifoam AZ – H40 จะใช้เวลาในการคงรูปยางนานที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Super cell – D80, Open cell-100 และ Porofor TSH PLV ตามลำดับ

- ปริมาณ NR : SBR ที่เหมาะสมในการบดผสม เพื่อให้ผ่านตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 , Type 2;Class A

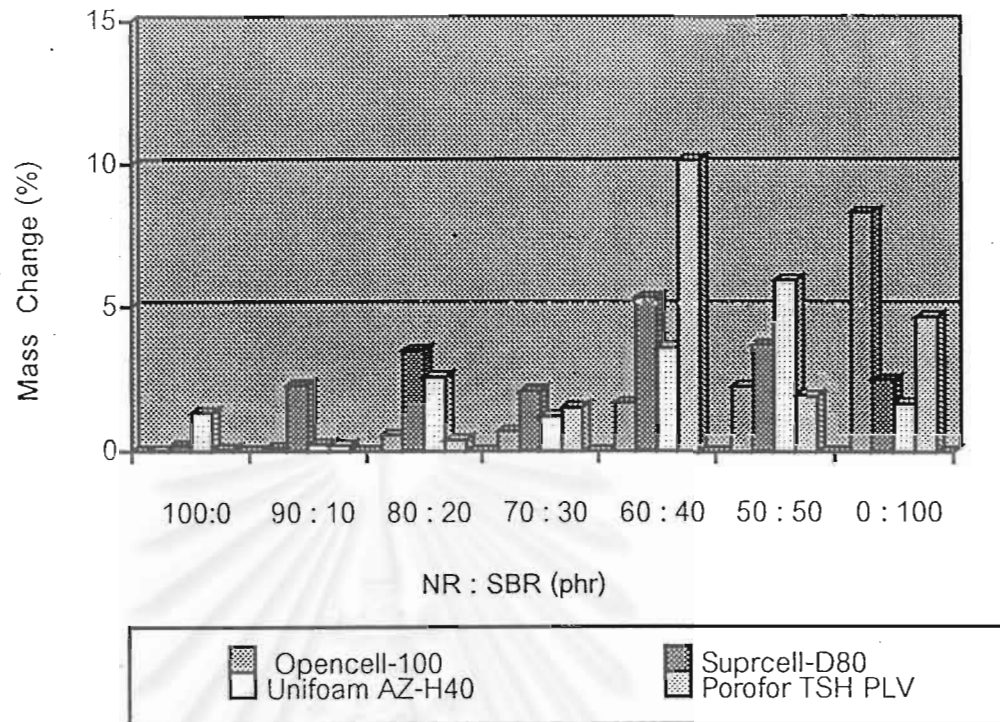
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. การทดสอบสมบัติหลังคงรูปยาง



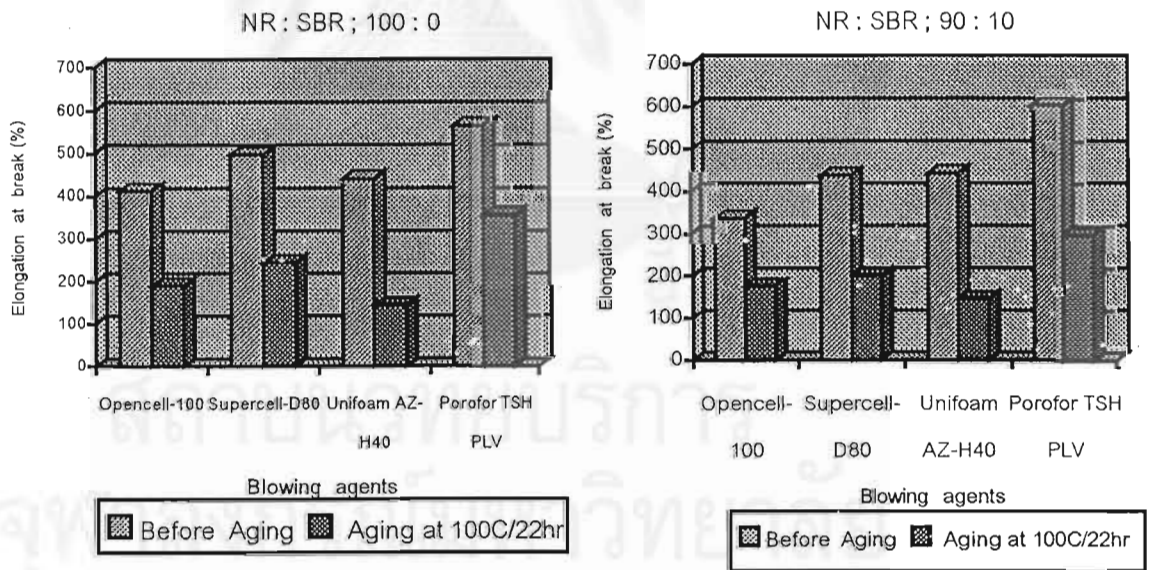
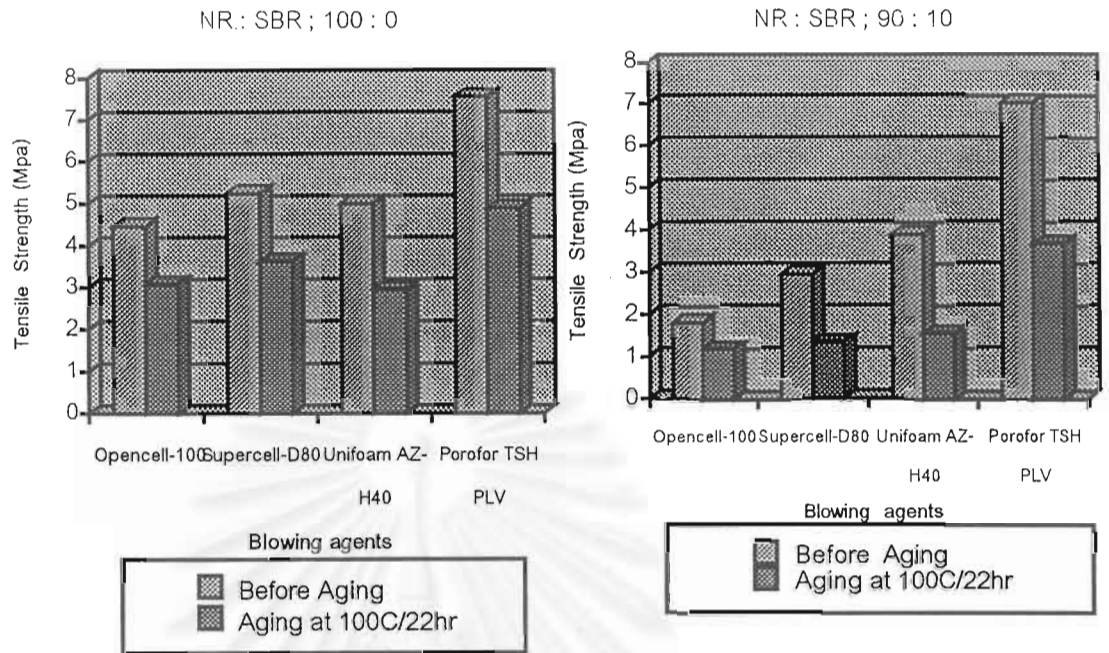
รูปที่ 4.5 ผล Compression Deflection 25% Deflection

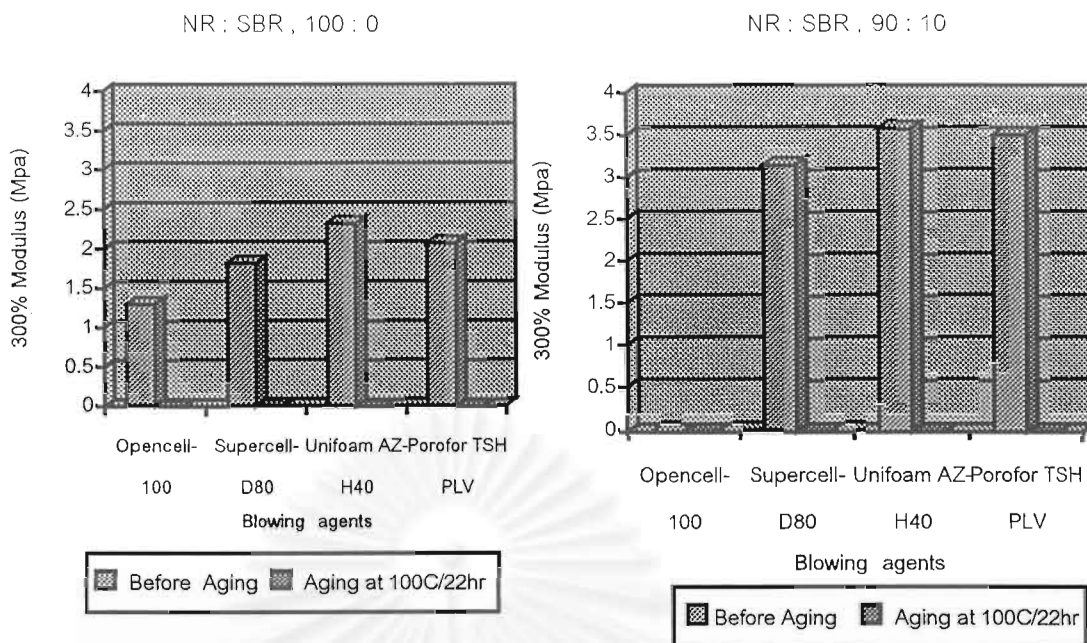
ตามมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 Type 2, Class A ค่าแรงกดต้องอยู่ในช่วง 2 – 25 psi เมื่อทำการทดสอบค่า Compression Deflection 25% Deflection จะแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 7 วัน ส่วนที่สองนำมาหาค่า Compression Deflection 25% Deflection พบว่าเมื่อนำชิ้นงานไปบ่มแรงจะทำให้ค่า Compression Deflection 25% Deflection ที่ทดสอบได้มีค่ามากขึ้น เนื่องจากยางที่ผ่านการบ่มแรงจะแข็งขึ้น ดังนั้นจึงใช้แรงกดมากขึ้นด้วย และเมื่อเพิ่มปริมาณ SBR มากขึ้น จะทำให้ค่าแรงกดมีแนวโน้มมากขึ้น เนื่องจาก SBR ที่น้ำหนักโมเลกุลสูงเมื่อคงรูปแล้วสมบัติทางกลจะปรับดีขึ้น โดยเฉพาะการยุบตัว (9) ซึ่งจะมีเพียง 4 สูตรที่ผ่านตามาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 คือสูตร B32 ซึ่งมีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 โดยใช้สารฟองชนิด Supercell-D80 และสูตร B1, B2 และ B3 ซึ่งมีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 100 : 0 โดยใช้สารฟองชนิด Opencell-100, Supercell-D80 และ Unifoam AZ-H40



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบค่า Water Absorption

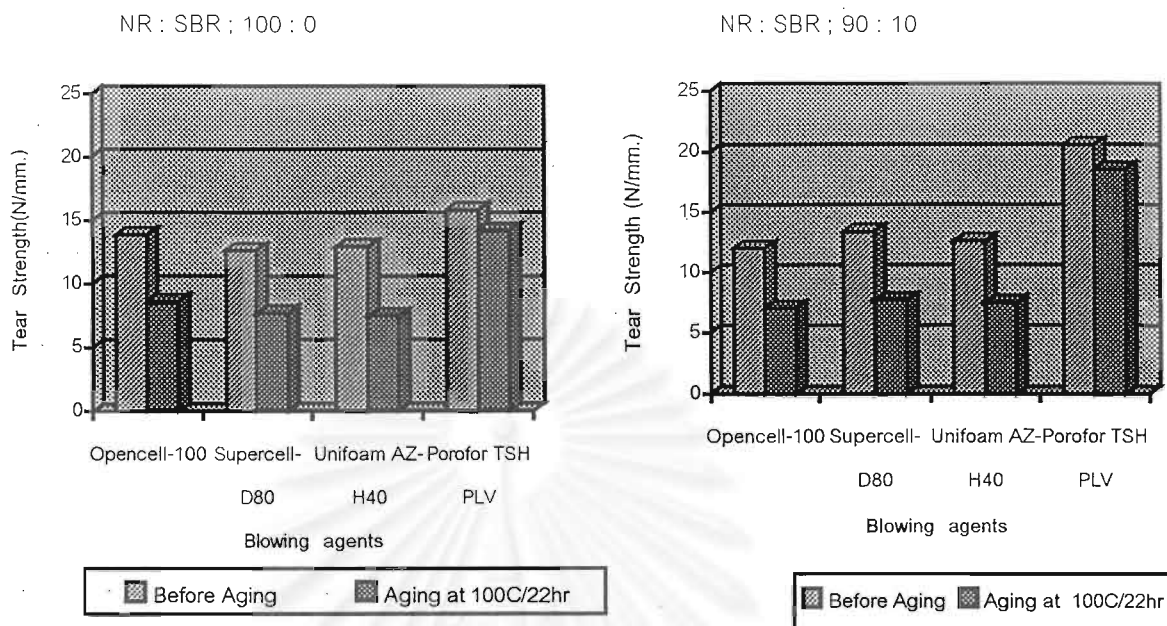
ตามมาตรฐานยางพอง ASTM D1056 , Type 2 : Class A ยางพองสามารถดูดซับน้ำได้ไม่เกิน 5% จากกลุ่มพบว่าเมื่อทำการทดสอบค่า water absorption สูตรทดลองทั้งหมดผ่านตามาตรฐานยางพอง ยกเว้นสูตร B28, B30, B33 และ B15 ซึ่งมีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 60 : 40, 60 : 40, 50 : 50 และ 0 : 100 ที่ไม่ผ่านตามาตรฐานยางพอง ASTM D1056 ,Type 2; Class A





รูปที่ 4.7 ผลค่า Tensile Properties

จากรูปที่ 4.7 พบว่ายางเมื่อผ่านการบ่มแรงจะมีค่า Tensile strength, Elongation at break และ 300% Modulus ต่ำลง เนื่องจากสมบัติของยางเมื่อถูกออกซิไดซ์จะทำให้เกิดรอยแตกได้ง่ายเมื่อยืด (3) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางธรรมชาติกับยางธรรมชาติผสม SBR ที่ปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 100 : 0 และ 90 : 10 จะเห็นได้ว่ายางธรรมชาติ 100% จะให้ค่าที่สูงกว่ายาง NR : SBR เกือบจะทุกตัว เนื่องจากสมบัติของ SBR มีโครงสร้างโมเลกุลไม่เป็นระเบียบเมื่อยืด (2) ทำให้ค่า Tensile strength, Elongation at break และ 300% Modulus มีค่าต่ำลง และสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV จะให้ค่า tensile strength สูงที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Unifoam AZ - H40 , Super cell - D80 และสารฟุ้งชนิด Open cell -100 จะให้ค่าต่ำที่สุด

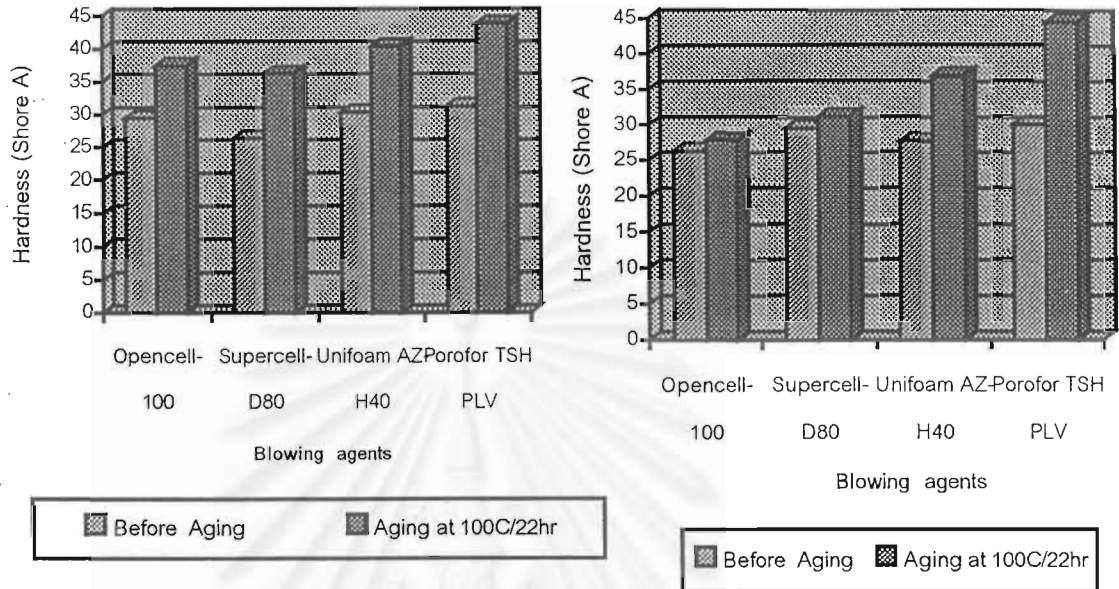


รูปที่ 4.8 ผล Tear Strength

จากรูปที่ 4.8 พบว่ายางเมื่อผ่านการบ่มแรงจะมีค่า Tear strength ต่ำลง เนื่องจากสมบัติของยางเมื่อถูกออกซิไดซ์จะทำให้เกิดรอยแตกได้ง่ายเมื่อยืด (3) และที่ปริมาณยาง NR 100% พบว่าสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Open cell-100, Unifoam AZ – D80 และ Super cell – H40 ตามลำดับ ที่ปริมาณยาง NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 พบว่าสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Super cell – D80, Unifoam AZ – H40 และ Open cell - 100 ตามลำดับ และที่ NR 100% สารฟุ้งชนิด Open cell-100 และสารฟุ้งชนิด Unifoam AZ – H40 จะให้ค่าสูงกว่ายาง NR : SBR ที่ปริมาณ 90 : 10

NR : SBR ; 100 : 0

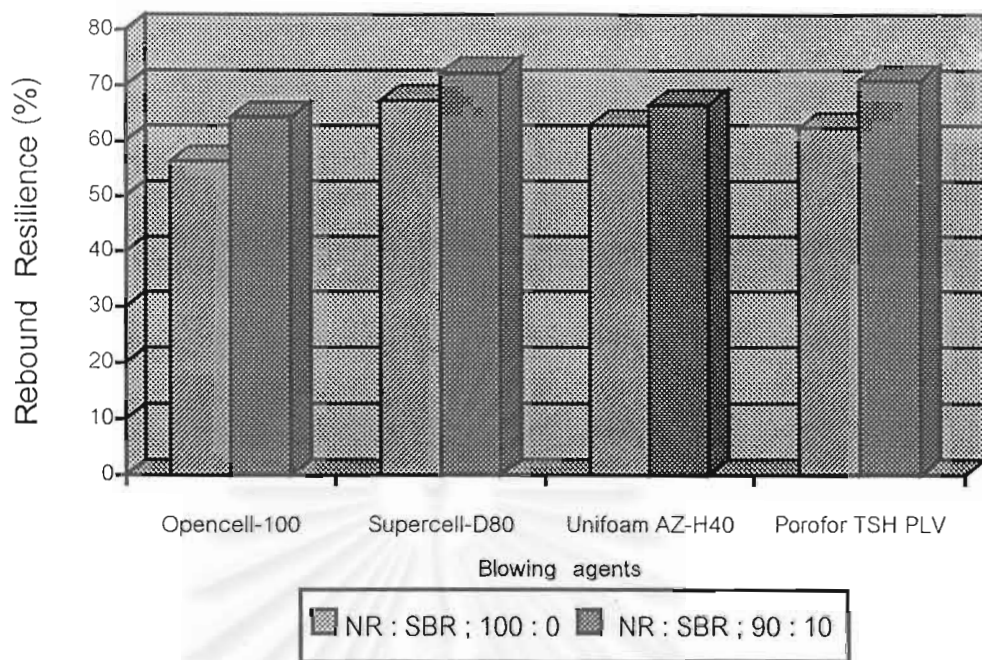
NR : SBR ; 90 : 10



รูปที่ 4.9 ผล Hardness

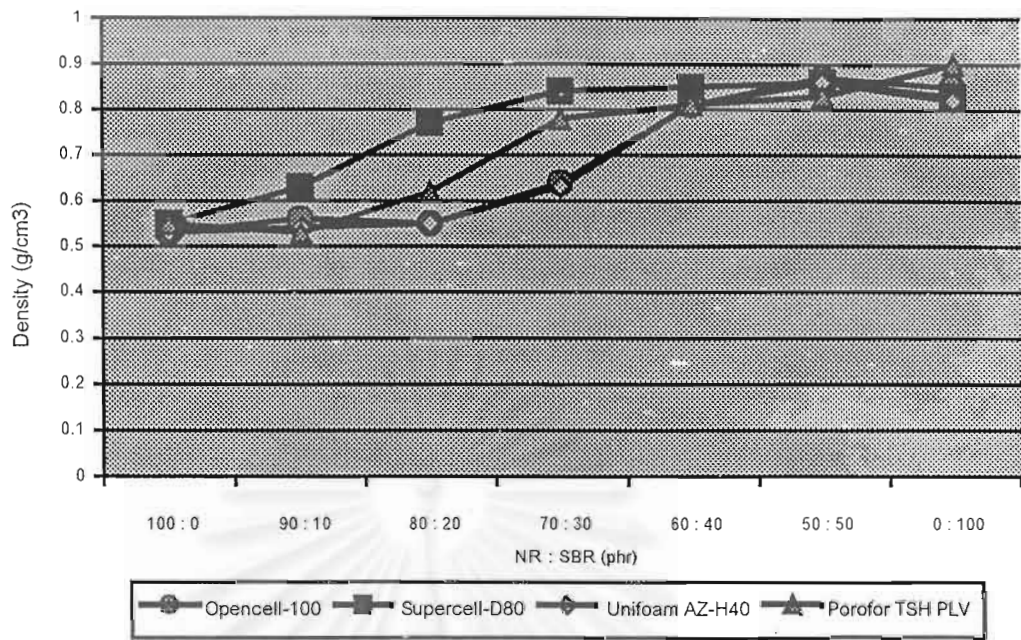
จากรูปที่ 4.9 พบว่ายางเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแรงจะมีค่า Hardness เพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเกิดการ Crosslink เพิ่มเติมมากขึ้นในระหว่างกระบวนการบ่มแรง และที่ปริมาณยาง NR 100% พบว่าสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Unifoam AZ - H40, Open cell - 100 และ Super cell - D80 ตามลำดับ ที่ปริมาณยาง NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 พบว่าสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV จะให้ค่ามากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Super cell - D80, Unifoam AZ - H40 และ Open cell - 100 ตามลำดับ และที่ NR 100% สารฟุ้งชนิด Open cell - 100 และ Porofor TSH PLV จะให้ค่า Hardness สูงกว่ายาง NR : SBR ที่ปริมาณ 90 : 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ผล Rebound Resilience

จากรูปที่ 4.10 พบว่ายางที่มีปริมาณ NR 100% สารฟุ้งชนิด Super cell – D80 จะมีค่าการกระดอนมากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Unifoam AZ – H40 , Porofor TSH PLV และ Open cell – 100 ตามลำดับ และยางที่มีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 สารฟุ้งชนิด Super cell – D80 จะมีค่าการกระดอนมากที่สุด รองลงมาคือสารฟุ้งชนิด Porofor TSH PLV, Unifoam AZ – H40 และ Open cell – 100 ตามลำดับ และเมื่อเทียบสารฟุ้งชนิดเดียวกันพบว่ายางที่มีปริมาณ SBR ผสมอยู่ด้วยจะทำให้ค่าการกระดอนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก SBR ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเมื่อทำการคงรูปแล้วจะมีสมบัติการกระดอนดีขึ้น (9) และอาจเนื่องจากขนาดของรูพรุนและธรรมชาติของยางด้วย



รูปที่ 4.11 ผล Density

จากรูปที่ 4.11 พบว่าที่สารฟุ้งชนิดเดียวกัน เมื่อเพิ่มปริมาณ SBR จะทำให้ค่าความหนาแน่นของยางที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก SBR ที่มีความหนืดสูงจะมีความแข็งแรงของยางที่ยังไม่คงรูปสูง (High green strength) ทำให้ไม่ค่อยเกิดรูพรุนในยางที่อัดคงรูปแล้ว(9) และพบว่าที่ปริมาณ NR : SBR เท่ากัน สารฟุ้งทั้ง 4 ชนิดจะให้ค่าความหนาแน่นไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากในการทดลองให้ยางในปริมาณที่มากในการคงรูป เพื่อให้ได้ลักษณะยางฟองที่มีรูพรุนเล็กละเอียดและมีขนาดรูพรุนสม่ำเสมอ จึงอาจทำให้ค่าความหนาแน่นที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 การบดยางให้นิ่มและการบดผสมยางกับสารเคมี

ในการทดลองเบื้องต้นพบว่าเมื่อทำการบดยางผสมกับสารเคมีในเครื่องบดผสมแบบปิดที่อุณหภูมิประมาณ 70 องศาเซลเซียส ยางจะละเอียดเครื่อง จึงทำการทดลองบดยางให้นิ่มที่อุณหภูมิประมาณ 30 – 40 องศาเซลเซียส บนลูกกลิ้งโดยผสมน้ำมันพาราฟินกลงไปในขั้นตอนการบดยางให้นิ่ม และการบดผสมยางกับสารเคมี พบว่ายางไม่ติดลูกกลิ้ง ดังนั้นวิธีที่เหมาะสมในการบดผสมยางกับสารเคมีในการทดลองนี้ คือการบดผสมยางกับสารเคมีบนเครื่องบดผสมแบบลูกกลิ้งคู่ทั้งหมดที่อุณหภูมิ ประมาณ 30-40 องศาเซลเซียส

5.1.2 ความหนืดของยางดิบและความหนืดของยางผสมสารเคมี

เมื่อเปรียบเทียบความหนืดของยางดิบเมื่อทำการบดยางให้นิ่มที่เวลาต่างๆ กัน พบว่าเมื่อใช้เวลาในการบดยางนานขึ้น ความหนืดของยางดิบจะลดลง (ตารางที่ 4.1 และ 4.19) และเมื่อนำยางดิบมาบดผสมกับสารเคมีค่าความหนืดจะลดต่ำลงอีก (ตารางที่ 4.23)

5.1.3 การคงรูปของยางผสมสารเคมี

จากการทดลองพบว่าวิธีในการคงรูปของยางผสมสารเคมีที่เหมาะสมในการผลิตยางพอง คือการคงรูปยางโดยใช้เครื่องอัดแบบ single step ที่อุณหภูมิ 150°C

5.1.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

ผลสมบัติเชิงกลค่าความต้านทานแรงดึง , ร้อยละการยืดเมื่อขาด , ความยาวเมื่อดึงยืด 300% และความต้านทานการฉีกขาด พบว่าเมื่อนำไปบ่มแรงค่าที่ได้จะลดลง (ตารางที่ 4.26 และ 4.27) และเมื่อเพิ่มปริมาณเอสปีอาร์ลงไปในยางธรรมชาติ ค่าที่ได้จะลดลงเช่นเดียวกัน (รูปที่ 4.7 และ 4.8)

แต่ค่าความแข็งและความต้านทานแรงกด พบว่าเมื่อนำไปบ่มแรงค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.29 และ 4.25) และเมื่อเพิ่มปริมาณเอสปีอาร์ลงไปในยางธรรมชาติ พบว่าค่าความต้านทานแรงกดจะเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งจะลดลง (รูปที่ 4.5 และ 4.9)

ค่าการดูดซึมน้ำ , ค่าการกระดอนและค่าความหนาแน่น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณเอสปีอาร์ลงไปในยางธรรมชาติ ค่าที่ได้จะเพิ่มขึ้น (รูปที่ 4.6 , 4.10 และ 4.11)

5.1.5 สูตรที่เหมาะสมในการผลิตยางฟองตามมาตรฐาน ASTM D1056 ,Type 2 ; Class A

สูตรที่ผ่านมาตรฐานยางฟอง ASTM D1056 ,Type 2 ; Class A คือสูตรที่มีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 100 : 0 โดยใช้สารฟุ้งชนิด Opencell-100, Supercell-D80 และ Unifoam AZ-H40 และสูตรที่มีปริมาณ NR : SBR เท่ากับ 90 : 10 โดยใช้สารฟุ้งชนิด Supercell-D80 (รูปที่ 4.5 และ 4.6)

5.2 ข้อเสนอแนะ

- การคงรูปร่างฟองในงานวิจัยนี้ยังใช้เวลานาน ควรปรับปรุงสูตรในการบดผสมยาง ให้ใช้เวลาในการคงรูปร่างฟองน้อยลง
- ทดลองบดผสมยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่นเพื่อเตรียมยางฟอง
- ทดลองใช้สารฟุ้งชนิดอื่นในการเตรียมยางฟอง

รายการอ้างอิง

1. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. การออกสูตรยางและกระบวนการผลิต (Rubber Compound Design and Manufacturing). เอกสารประกอบการฝึกอบรม หลักสูตรเทคโนโลยียาง (ยางสังเคราะห์) (กรกฎาคม 2541) : 3.
2. บุญธรรม นิธิอุทัย. ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2530.
3. บุญธรรม นิธิอุทัย, พรพรรณ นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย. สารเคมีสำหรับยางและเทคโนโลยีการออกสูตรยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2530.
4. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. วิทยากรขั้นพื้นฐานเกี่ยวกับยางแห้ง. เอกสารทางวิชาการ 5 (ตุลาคม 2523).
5. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. การทดสอบตามมาตรฐานยางแท่งเอสทีอาร์, 2538.
6. เสาวรจน์ ช่างจุลจิตร์. เทคโนโลยีของยาง. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
7. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียาง. สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร, 2541.
8. พลชิต บัวแก้ว. ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์. เอกสารประกอบการฝึกอบรมหลักสูตรเทคโนโลยี (ยางสังเคราะห์) (กรกฎาคม 2541).
9. วราภรณ์ ขจรไชยกูล. เทคโนโลยียางสังเคราะห์ (SR, Synthetic Rubber Technology). ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2542.
10. Monsanto rubber chemicals hand-book , (August 1965),106.
11. C.M. Blow. Rubber technology and manufacture. 2nd ed. Butterworths, 1982.
12. H.T. Stern. Rubber : natural and synthetic. 2nd ed. Maclaren and Sons Ltd., 1967.
13. พรพรรณ นิธิอุทัย. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี, 2528.
14. Blow, C.M. Rubber technology and manufacture. Butterworths, 1971.
15. Brydson, J.A. Rubber chemistry. London: Applied Science Publishers Ltd., 1978.
16. Weindal, H.F. and Terc, R.R. Rubber world.1971.
17. Lasman, H.R. Blowing agents. Encyclopedia of polymer science and technology. 2 (1965) : 547.

18. Lasman, H.R., Op.cit., pp.556.
19. ชลดา เลวิตและสาโรช ช่างชุม. ชนิดและปริมาณของสารฟูและสารกระตุ้นในยาง.
วารสารยางและพอลิเมอร์. 2 (2541).
20. A. Dutta and M. Cakmak. Foaming of Vulcanized PP/EPDM Blends using
Chemical Blowing Agents. Rubber and chemistry technology. 65 (1992) :
pp. 778-791.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
การทดสอบยางแท่ง STR

ก.1 การทดสอบปริมาณสิ่งสกปรก (Determination of Dirt Content)

ปริมาณสิ่งสกปรก หมายถึง ปริมาณของสารที่ได้จากการกรองสารที่ได้จากการกรองด้วยตัวกรอง ที่มีแผ่นตะแกรงกรองขนาดรูตะแกรง 325 เมช (mesh) หรือ 44 ไมครอน (micron) ซึ่งสารที่ได้จากการกรองนั้น ประกอบด้วยสารแปลกปลอมอื่น ๆ เช่น เปลือกไม้ ดิน ใยไม้ ปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกมีความสำคัญต่อกระบวนการแปรรูปและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมการผลิตยางให้มีปริมาณสิ่งสกปรกน้อยที่สุด

เอกสารอ้างอิง

ASTM D1278 – 91 Standard Test Method for Rubber from Natural Sources
Chemical Analysis

วิธีการทดสอบ

1. ละลายยาง นำยางที่เตรียมไว้ 15 กรัม ผ่านเครื่องบด ซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่าง 0.013 นิ้ว จำนวน 2 ครั้ง แล้วนำไปตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งให้ได้น้ำหนักแน่นอนระหว่าง 10.0000 กรัม – 10.0200 กรัม ใส่ในขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งเติมน้ำมันสนจำนวน 250 มิลลิลิตรและสารเคมีเร่งการละลายยางจำนวน 1 มิลลิลิตรไว้ก่อนแล้ว นำขึ้นตั้งไฟที่อุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียส ยกขวดแก้วออกมาแกว่งเป็นระยะเพื่อช่วยเร่งการละลายให้เร็วขึ้น จนยางละลายหมด

2. กรอง เมื่อยางละลายหมด นำสารละลายยางที่ยังร้อนเทผ่านตัวกรองที่สะอาดแห้งและชั่งบันทึกน้ำหนักไว้ก่อนแล้ว การเทสารละลายผ่านตัวกรองพยายามให้เหลือผงไว้ในขวดแก้วให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ล้างสิ่งสกปรกที่เหลือสองครั้ง โดยใช้น้ำมันสนร้อนครั้งละประมาณ 30 – 50 มิลลิลิตร เทน้ำมันร้อนล้างผ่านตัวกรอง

เสร็จแล้วตะแคงขวดแก้ว ฉีดน้ำมันสนเย็นล้างสิ่งสกปรกลงตัวกรองให้หมด เมื่อแน่ใจว่าสิ่งสกปรกจากขวดแก้วถูกฉีดล้างลงตัวกรองหมดแล้วจึงใช้น้ำมันสนร้อนล้างรอบๆ ภายในและภายนอกตัวกรองอีกครั้ง เสร็จแล้วนำตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรกอบแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้นและบันทึกน้ำหนัก

การคำนวณ

ปริมาณสิ่งสกปรกคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสิ่งสกปรก} = \frac{\text{น้ำหนักสิ่งสกปรก} \times 100\%}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบ}}$$

$$\text{หรือ} \quad = \frac{B - A}{W} \times 100\%$$

A = น้ำหนักตัวกรอง หน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนักตัวกรองพร้อมสิ่งสกปรก หน่วยเป็นกรัม

W = น้ำหนักชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นกรัม

ก.2 การทดสอบปริมาณเถ้า (Determination of Ash Content)

เถ้า (ash) ในยางธรรมชาติ ประกอบด้วยเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) พวกคาร์บอเนตออกไซด์ และฟอสเฟตของโพแทสเซียม แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียมและแร่ธาตุอื่นๆ นอกจากนี้ เถ้าอาจเป็นพวกซิลิกา หรือ ซิลิเกต ที่มีอยู่ในยางเองหรือปะปนมาจากข้างนอก ปริมาณเถ้าจะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุที่มีอยู่ในยางดิบ และช่วยบ่งชี้ว่ามีการเติมสารตัวเติม (filler) ลงไปช่วยเพิ่มน้ำหนักยางหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

ASTM D1278-91a Standard Test Method for Rubber from Natural Sources
Chemical Analysis

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งยางที่เตรียมไว้ให้ได้น้ำหนัก 5 กรัม และละเอียด 0.0001 กรัม
2. ห้อยยางด้วยกระดาษกรอง ใส่ในถ้วยทนความร้อน ที่สะอาดแห้ง และบันทึกน้ำหนักไว้แล้ว
3. นำเข้าเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูง ที่อุณหภูมิ 550 + 20 องศาเซลเซียส จนกระทั่งการเผาไหม้สมบูรณ์ใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
4. ทำให้เย็นในโถแก้วดูดความชื้น แล้วชั่งละเอียด 0.0001 กรัม

ก.3 การทดสอบปริมาณสิ่งระเหย (Determination of Volatile Matter Content – VM)

สิ่งระเหยในยางส่วนใหญ่เป็นความชื้น ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้ยางเกิดราได้ง่าย มีกลิ่นเหม็นและเกิดปัญหาระหว่างกระบวนการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์. โดยทำให้ยางสั่นบดผสมกับสารเคมีอื่นได้ยาก

เอกสารอ้างอิง

ASTM D1278-91a Standard Test Method for Rubber from Natural Sources
Chemical Analysis

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งยางที่เตรียมไว้ให้น้ำหนัก 10 กรัม และละเอียด 0.001 กรัม นำไปผ่านเครื่องบดซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่าง 0.02 นิ้ว ถ้ามีชิ้นยางตกหล่นเก็บรวบรวมให้หมด
2. เรียงยาง 15 – 18 ตัวอย่างในภาตอลูมิเนียม นำไปอบในตู้อบ อุณหภูมิ 100 ± 3 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ภาตวางได้ไม่เกิน 7 ชั้น
3. นำยางออกจากตู้อบที่ละภาต และนำยางแต่ละชั้นใส่ในถุงพลาสติก พับปากถุง 3 ครั้ง พับกลางอีกครั้ง แล้วนำไปหนีบไว้กับที่หนีบสำหรับแขวนถุง
4. ปล่อยางในถุงพลาสติกให้เย็น ใช้เวลาประมาณ 30 นาที นำไปให้ชั่งละเอียด 0.001 กรัม

การคำนวณ

ปริมาณสิ่งระเหยคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณสิ่งระเหย} = \frac{\text{น้ำหนักสิ่งระเหย}}{\text{น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ}} \times 100\%$$

$$\text{หรือ} = \frac{A - B}{A} \times 100$$

A = น้ำหนักชิ้นทดสอบก่อนอบ หน่วยเป็นกรัม

B = น้ำหนักชิ้นทดสอบหลังอบ หน่วยเป็นกรัม

ก.4 การทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Determination of Nitrogen Content)

ไนโตรเจนในยางดิบ ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของโปรตีน ดังนั้นปริมาณของไนโตรเจนจึงเป็นตัวบ่งชี้ว่าในยางดิบมีโปรตีนอยู่มากน้อยเพียงใด

การวิเคราะห์หาไนโตรเจน ใช้วิธี Semi – micro kjeldahl โดยย่อยสลายยางด้วยกรดกำมะถันเข้มข้นและสารเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนสารประกอบไนโตรเจนไปเป็นแอมโมเนียมไฮโดรเจนซัลเฟต ปรับสารละลายมาตรฐานกรดกำมะถัน

การกำหนดขีดจำกัดไนโตรเจนในยางแท่ง เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ผลิตนำยางน้ำยาง (Skim latex) ซึ่งมีปริมาณไนโตรเจนสูงมาผลิตยางแท่ง เพราะมีผลให้ยางเกิดการคงรูปเร็วขึ้น (Fast cure)

เอกสารอ้างอิง

ASTM D 3533 – 90 Standard Method of Testing Rubber – Nitrogen Content

วิธีการทดสอบ

1. ชั่งยางที่เตรียมไว้ให้ได้น้ำหนัก 0.1 กรัม ละเอียด 0.0001 กรัม ใส่ในขวดแก้วสำหรับย่อยสลายแบบ micro – kjeldahl เติมส่วนผสมของสารเร่งปฏิกิริยา 0.65 กรัม และกรดกำมะถันเข้มข้นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร
2. ให้ความร้อนจนได้สารละลายใสสีเขียว หรือไม่มีสีและจะต้องไม่มีสีเหลืองปน
3. ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร
4. ถ่ายสารละลายลงในชุดกลั่นซึ่งเตรียมผ่านไอน้ำให้ร้อนไว้แล้ว และล้างขวดแก้วที่ใส่สารละลายนี้ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 2 –3 มิลลิลิตร
5. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 67% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในชุดกลั่นและล้างด้วยน้ำกลั่นไม่เกิน 5 มิลลิลิตร
6. นำขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ที่มีสารละลายกรดบอริก 2% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร และสารละลายเมทิลลวด 2 – 3 หยด รองรับสิ่งกลั่น โดยให้ปลายหลอดแก้วของเครื่องควบแน่นจุ่มอยู่ใต้ผิวของสารละลาย
7. ผ่านไอน้ำเพื่อทำการกลั่นประมาณ 5 นาที
8. เลื่อนขวดแก้วรูปชมพู่ที่รองรับสิ่งกลั่นให้ต่ำลง จนปลายหลอดแก้วของเครื่องควบแน่นอยู่เหนือระดับผิวหน้าของสารละลาย กลั่นต่อไปอีก 1 นาที แล้วใช้น้ำกลั่นฉีดล้างปลายหลอดแก้ว

9. ไตเตรททันทีกับสารละลายกรดกำมะถัน 0.01 นอร์มอล ที่จุดยุติสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน

10. ทำตามวิธีทดสอบทุกอย่างโดยไม่ใส่ตัวอย่าง (blank)

การคำนวณ

ปริมาณไนโตรเจนคิดเป็นร้อยละได้ดังนี้

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(V_1 - V_2) N \times 0.0140}{W} \times 100\%$$

W

V_1 = ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง หน่วยมิลลิลิตร

V_2 = ปริมาณสารละลายกรดกำมะถันที่ใช้ในการไตเตรท blank หน่วยมิลลิลิตร

N = ความเข้มข้นของสารละลายกรดกำมะถัน หน่วยเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักชิ้นทดสอบ หน่วยเป็นกรัม

ก.5 การทดสอบดัชนีความอ่อนตัว (Determination of Plasticity Retention Index – PRI)

ดัชนีความอ่อนตัวของยาง แสดงถึงความต้านทานของยางต่อการแตกหักของโมเลกุลที่อุณหภูมิสูง หรือต่อการออกซิเดชัน (oxidation) ยางที่มีดัชนีความอ่อนตัวสูงแสดงว่ามีความต้านทานต่อการหักของโมเลกุลสูง

เอกสารอ้างอิง

ASTM D 3194 – 84 Standard Method of Testing Rubber from Natural Sources - Plasticity Retention Index (PRI)

วิธีการทดสอบ

- นำยางที่เตรียมไว้ 20 ± 5 กรัม ผ่านเครื่องบดซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่างไว้แล้ว 2 ครั้ง แล้วพักครึ่ง ทำให้เรียบด้วยลูกกลิ้ง ให้ได้ความหนาระหว่าง 3.2 – 3.6 มิลลิเมตร
- ตัดตัวอย่างให้ได้ชิ้นทดสอบ จำนวน 6 ชิ้น แบ่งชิ้นทดสอบเป็น 2 ชุด ชุดละ 3 ชิ้น

3. วางขึ้นทดสอบหมายเลข 1 ระหว่างกระดาษมวนบุหรี่ นำเข้าเครื่องอัดขึ้นทดสอบ โดยเป็นโลหะกลมบนและล่างจะกดให้ขึ้นทดสอบมีความหนา 1 มิลลิเมตร และในเวลาเดียวกัน จะทำให้ร้อน 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 วินาที จากนั้นแรง 10 ± 1 กิโลกรัมจะอัดอย่างเป็นเวลา 15 วินาที อ่านค่าความอ่อนตัวบนหน้าปัด จะได้อ่านค่า P_0

4. นำขึ้นทดสอบหมายเลข 2 เข้าตู้อบซึ่งควบคุมอุณหภูมิแน่นอนที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ± 15 วินาที นำขึ้นทดสอบออกมาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลาประมาณ 30 นาที นำไปหาค่าความอ่อนตัวตามวิธีในข้อ 3 จะได้อ่านค่า P_{30}

การคำนวณ

ค่ามัธยฐาน (medium) ของขึ้นทดสอบ มาคำนวณหาดัชนีความอ่อนตัวได้ดังนี้

$$PRI = \frac{P_{30} \times 100}{P_0}$$

PRI = ดัชนีความอ่อนตัว (Plasticity Retention Index)

P_0 = มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดที่ไม่อบ

P_{30} = มัธยฐานค่าความอ่อนตัวของยางชุดที่อบแล้ว

ก.6 การทดสอบสี (Determination of Color)

สี เป็นสมบัติสำคัญของยางแท่งที่ผลิตจากน้ำยาง เมื่อเปรียบเทียบสีของตัวอย่างยางกับสีมาตรฐาน ต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ เพื่อประโยชน์ในการนำยางไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความใส หรือมีสีต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

ASTM D 315 – 84 Standard Test Method for Rubber Natural Sources – Color

วิธีการทดสอบ

1. นำยางที่เตรียมไว้ 20 ± 5 กรัม ผ่านเครื่องบดซึ่งมีน้ำเย็นผ่านลูกกลิ้งที่ปรับช่องห่างไว้แล้ว 2 ครั้ง แล้วพับครึ่ง ทำให้เรียบด้วยลูกกลิ้ง ให้ได้ความหนาระหว่าง 3.2 – 3.6 มิลลิเมตร
2. ตัดตัวอย่างให้ได้ชิ้นทดสอบ จำนวน 2 ชิ้น แล้วนำมาประกบกัน
3. วางชิ้นทดสอบลงในแบบพิมพ์ ประกบด้วยแผ่นฟิล์มพอลิเอสเตอร์หรือเซลลูโลส แล้วจึงประกบด้วยแผ่นสแตนเลสหรืออลูมิเนียม
4. นำเข้าเครื่องอัดที่ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิ 150 ± 3 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ± 30 วินาที
5. เปรียบเทียบสีชิ้นทดสอบกับสีมาตรฐาน Lovibond



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
การคำนวณหาน้ำหนักที่ใช้ในการบดผสมยาง

ตัวอย่าง

	phr	S.G.	V.	น้ำหนักที่ใช้ (g)
STR20	100	0.92	108.7	1112
ZnO	5	5.57	0.9	55.6
Stearic acid	2	0.85	2.35	22.24
Paraffinic oil	15	0.89	16.85	166.8
Blowing agents	5	1.00	5	55.6
Factice	30	0.82	36.59	333.6
Sulfur	2	2.1	0.95	22.24
MBTS	1.6	1.54	1.04	17.79
TMTD	0.2	1.42	0.14	2.22
BHT	1	1.09	0.92	11.12
Wax	1	1.00	1	11.12
CaCO ₃	70	2.60	26.92	778.4
Total	<u>232.8</u>		<u>201.36</u>	

จาก $V = \text{phr} / \text{S.G.}$

โดย V คือปริมาตรของวัตถุดิบ

phr คือปริมาณของสาร

S.G. คือค่าความถ่วงจำเพาะของสาร

$$\text{ถ.พ.ยางผสม} = \frac{\sum \text{phr}}{\sum V} = \frac{232.8}{201.36} = 1.16$$

$$Q = 0.7 \times 3200 \times \text{ถ.พ.ของยางผสม}$$

โดย Q คือ ความจุของเครื่องบดผสมแบบปิด

0.7 คือ 70% ของปริมาตรเครื่องบดผสมแบบปิด

3200 คือ ปริมาตรเครื่องบดผสมแบบปิด

$$\therefore Q = 0.7 \times 3200 \times 1.16 = 2598.4 \text{ g.}$$

$$\therefore \text{Multiplying factor (M.F.)} = \frac{Q}{\sum \text{phr}} = \frac{2598.4}{232.8} = 11.12$$

$$\therefore \text{น้ำหนักที่ใช้} = \text{M.F.} \times \text{phr}$$

การคำนวณหาปริมาณของสารฟูและกำมะถัน

เมื่อนำยางที่ผ่านการบดในลูกกลิ้งเรียบร้อยแล้วซึ่งน้ำหนักของยางหลังบด แล้วนำมาตัดแบ่งเพื่อผสมสารฟูและกำมะถัน จะคำนวณหาปริมาณสารฟูและกำมะถันได้ดังนี้

ตัวอย่าง น้ำหนักยางหลังบด = 2891 กรัม

แบ่งยางออกเป็น 3 ส่วนเพื่อผสมกับสารฟูและกำมะถันส่วนละ 963.6 กรัม

จากปริมาณ Total phr = 232.8 หักปริมาณสารฟูและกำมะถันออกเหลือ = 225.8

∴ ยางปริมาณ 225.8 กรัม ใช้สารฟู 5 กรัม

ยางปริมาณ 963.6 กรัม ใช้สารฟู $\frac{5 \times 963.6}{225.8} = 21.3$ กรัม

∴ ยางปริมาณ 225.8 กรัม ใช้กำมะถัน 2 กรัม

ยางปริมาณ 963.6 กรัม ใช้กำมะถัน $\frac{2 \times 963.6}{225.8} = 8.3$ กรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แสดงลักษณะปรากฏของยางที่ผ่านการคงรูป

ตารางที่ ค.1 ลักษณะปรากฏของยางฟองสูตร A1-A3 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step

ขนาดยาง	อุณหภูมิที่ใช้ ในการคงรูป (°C)	ชนิดของสารฟู	น้ำหนัก ยางก่อน คงรูป (g)	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
เต็มเบ้า	150	Opencell-100	41.5	ชั้นงานสูงไม่ดี ฟองขึ้นด้านบนและยุบลง แตกตรงกลาง
		Supercell-D80	43.3	ชั้นงานสูง ขยายตัวเต็มเบ้าแตกมีรูตรงกลาง ฟองแน่นแข็ง
		Unifoam AZ-H40	43.2	ชั้นงานสูง ฟองละเอียดค่อนข้างสม่ำเสมอ ยางมากเกินไป แน่นแข็ง
75%เบ้า	150	Opencell-100	21.1	ชั้นงานสูง ขยายเต็มเบ้า บวมตรงกลาง ฟองเล็ก ไม่ค่อยสม่ำเสมอ
		Supercell-D80	22.9	ชั้นงานสูง ขยายตัวเต็มเบ้า
		Unifoam AZ-H40	24.9	ชั้นงานสูงไม่ดี ขยายไม่เต็มเบ้า ฟองเล็ก สม่ำเสมอ
เต็มเบ้า	160	Opencell-100	40.0	ชั้นงานไม่สูง
		Supercell-D80	43.4	ชั้นงานสูง ยางขยายเต็มเบ้า เนื้อแน่นฟอง ละเอียดมาก ขนาดรูพรุนสม่ำเสมอ
		Unifoam AZ-H40	41.5	ชั้นงานสูง ยางขยายไม่เต็มเบ้า เนื้อแน่น ฟองเล็กละเอียด
75% เบ้า	160	Opencell-100	20.8	ชั้นงานสูง ยางขยายไม่เต็มเบ้า ฟองไม่ สม่ำเสมอ
		Supercell-D80	24.4	ชั้นงานสูงไม่ดี ยางขยายไม่เต็มเบ้า
		Unifoam AZ-H40	22.5	ชั้นงานสูง ฟองหยาบไม่สม่ำเสมอ
เต็มเบ้า	170	Opencell-100	45.4	ชั้นงานไม่สูง แตกตรงกลาง ขยายขึ้นด้าน บนและล่าง
		Supercell-D80	43.7	ชั้นงานสูง ขยายตัวเต็มเบ้า ยางมาก มีรู แตกตรงกลาง เนื้อแน่น
		Unifoam AZ-H40	44.5	ชั้นงานสูง ยางมาก ฟองละเอียดสม่ำเสมอ ขยายเต็มเบ้า ขยายด้านบนมาก

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

ขนาดยาง	อุณหภูมิในการคงรูปยาง (°C)	ชนิดของสารฟู	น้ำหนักยางก่อนคงรูป (g)	ลักษณะปรากฏของยางพอง
75% เบ้า	170	Opencell-100	20.9	ขึ้นงานไม่สูง
		Supercell-D80	24.5	ขึ้นงานไม่สูง ยางบวมตรงกลาง
		Unifoam AZ-H40	24.3	ขึ้นงานสูง ยางขยายตัวไม่เต็มเบ้า พองเล็กค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ ค.2 ลักษณะปรากฏของยางพองสูตร A4-A6 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step

ขนาดยาง	อุณหภูมิในการคงรูปยาง (°C)	ชนิดของสารฟู	น้ำหนักยางก่อนคงรูป (g)	ลักษณะปรากฏของยางพอง
75% เบ้า A	150	Opencell-100	19.9	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองใหญ่มาก หยาบไม่สม่ำเสมอ
		Supercell-D80	21.0	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองใหญ่มาก หยาบไม่สม่ำเสมอ
75% เบ้า B	150	Unifoam AZ-H40	23.1	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองเล็กสม่ำเสมอ
		Opencell-100	25.9	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองหยาบ ค่อนข้างสม่ำเสมอ
		Supercell-D80	26.4	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองเล็กละเอียด สม่ำเสมอ ยางนิ่ม
เต็มเบ้า	160	Unifoam AZ-H40	28.0	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองละเอียด สม่ำเสมอ ยางแน่นแข็ง
		Opencell-100	37.6	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองละเอียด สม่ำเสมอ ยางแน่นแข็ง
		Supercell-D80	38.0	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองละเอียดมาก สม่ำเสมอ ยางแน่นแข็ง
75% เบ้า A	160	Unifoam AZ-H40	38.8	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองละเอียด สม่ำเสมอ ยางแน่นแข็ง
		Opencell-100	21.0	ขึ้นงานขยายไม่เต็มเบ้า พองใหญ่ไม่สม่ำเสมอ
		Supercell-D80	21.5	ขึ้นงานสูงไม่ดี ตรงกลางนิ่มติดกัน
		Unifoam AZ-H40	25.5	ขึ้นงานขยายเต็มเบ้า พองใหญ่ค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

ขนาดยาง	อุณหภูมิในการคงรูปร่าง (°C)	ชนิดของสารฟู	น้ำหนักยางก่อนคงรูป (g)	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
75% เบ้า B	160	Opencell-100	26.3	ชิ้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองหยาบไม่ค่อยสม่ำเสมอ
		Supercell-D80	28.2	ชิ้นงานขยายเต็มเบ้า ยางนิ่มตรงกลาง ยางเล็กละเอียด
		Unifoam AZ-H40	30.3	ชิ้นงานไม่สุก
87.5% เบ้า	170	Opencell-100	31.6	ชิ้นงานสุก ขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กไม่สม่ำเสมอ
		Supercell-D80	33.0	ชิ้นงานสุกไม่ดี ขยายเต็มเบ้า ฟองละเอียด ค่อนข้างสม่ำเสมอ
		Unifoam AZ-H40	30.6	ชิ้นงานสุกไม่ดี ขยายเกือบเต็มเบ้า ฟองหยาบไม่สม่ำเสมอ
75% เบ้า A	170	Opencell-100	21.8	ชิ้นงานสุก ขยายเต็มเบ้า ฟองใหญ่หยาบ ไม่สม่ำเสมอ
		Supercell-D80	20.7	ชิ้นงานไม่สุก เหนียวตรงกลางติดกัน ไม่ขยายด้านบน
		Unifoam AZ-H40	22.8	ชิ้นงานไม่สุก เหนียวตรงกลางติดกัน ไม่ขยายด้านบน

ตารางที่ ค.3 ลักษณะปรากฏของยางฟองสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ single step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150°C

ชนิดของสารฟู	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
Opencell-100	ชิ้นงานสุก ขยายเต็มเบ้า ฟองใหญ่ ค่อนข้างสม่ำเสมอ ที่ขอบฟองจะแน่น
Supercell-D80	ชิ้นงานสุกไม่เต็มที่ ขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กละเอียด ขนาดสม่ำเสมอ
Unifoam AZ-H40	ชิ้นงานสุกไม่เต็มที่ ขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กละเอียด ขนาดไม่สม่ำเสมอ
Porofor TSH PLV	ชิ้นงานสุกไม่เต็มที่ ขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กละเอียด ขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ

ตารางที่ ค.4 ลักษณะปรากฏของยางฟองสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150°C แล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 150°C ในตู้อบ

ชนิดของสารฟู	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
Opencell-100	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองใหญ่ไม่สม่ำเสมอ เนื้อยางน้อยเกินไป
Supercell-D80	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กละเอียด สม่ำเสมอ
Unifoam AZ-H40	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองขนาดปานกลาง ค่อนข้างสม่ำเสมอ
Porofor TSH PLV	ชั้นงานสูงไม่เต็มเบ้า ขยายเต็มเบ้า ฟองขนาดค่อนข้างเล็ก สม่ำเสมอ ขอบขยายเต็มที่แต่ตรงกลางนุ่ม

ตารางที่ ค.5 ลักษณะปรากฏของยางฟองสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบ two step โดยเครื่องอัดที่อุณหภูมิ 150°C แล้วอบต่อที่อุณหภูมิ 150°C ในตู้อบ โดยทำการเพิ่มปริมาณยาง

ชนิดของสารฟู	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
Opencell-100	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองค่อนข้างสม่ำเสมอ บริเวณขอบฟองจะมีขนาดใหญ่กว่าด้านใน
Supercell-D80	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองเล็กละเอียด แต่มีฟองอากาศแทรกบ้างเล็กน้อย
Unifoam AZ-H40	ชั้นงานขยายเต็มเบ้า ฟองค่อนข้างสม่ำเสมอ
Porofor TSH PLV	ชั้นงานสูงไม่เต็มเบ้า ขยายเต็มเบ้า ฟองขนาดค่อนข้างละเอียดและสม่ำเสมอ นุ่มด้านบนเล็กน้อย

ตารางที่ ค.6 ลักษณะปรากฏของยางฟองสูตร A13-A16 ที่ผ่านการคงรูปแบบอิสระ โดยเครื่อง autoclave ที่อุณหภูมิ 150°C นาน 30 นาที

ชนิดของสารฟู	น้ำหนัก	ลักษณะปรากฏของยางฟอง
	ยางก่อน คงรูป (g)	
Opencell-100	25.9	ฟองเล็กละเอียด แต่ยังไม่สม่ำเสมอ เนื้อแน่น ไม่ค่อยฟู
	69.2	ฟองเล็กละเอียดมาก ขยายด้านบนมาก ขนาดสม่ำเสมอ เนื้อแน่นแข็ง
Supercell-D80	23	ฟองนุ่ม เล็กละเอียด ขนาดไม่ค่อยสม่ำเสมอ
	29.1	ฟองเล็กละเอียดมาก ขยายด้านบนมาก ขนาดสม่ำเสมอ เนื้อแน่นแต่นุ่ม
Unifoam AZ-H40	25	ฟองค่อนข้างสม่ำเสมอ ไม่ค่อยละเอียด เนื้อแน่นแข็ง ไม่ค่อยขยายด้านบน
	59.2	ฟองหยาบแต่สม่ำเสมอ เนื้อแน่นแข็ง ขยายด้านข้างมาก
Porofor TSH PLV	28	ฟองค่อนข้างนุ่ม เล็กละเอียด ไม่ค่อยสม่ำเสมอ
	53.1	ฟองเล็กละเอียดมาก เนื้อแน่น ขนาดสม่ำเสมอ

ภาคผนวก. ง

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ Tensile Properties

การเตรียมตัวอย่างทดสอบ Tensile Properties มีขั้นตอนดังนี้

1. ตัวอย่าง (Dumbbell) ชิ้นยางที่ใช้ทดสอบจะต้องแบน หนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร และไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ถ้าตัวอย่างยางได้มาจากชิ้นงานผลิตภัณฑ์ ฉวยยางควรเรียบ ไม่มีรอยขรุขระ การตัดให้ตัดตามความยาวของ 'grain' การตัดนั้นต้องตัดให้ขาดในการกด 1 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่ารอยตัดได้ผิวเรียบจริง
2. การขีดเส้นบนตัวอย่างยาง นำตัวอย่างยางที่ได้ตัดเป็นรูป Dumbbell มาวางให้เรียงกับพื้นแล้วขีดเส้น 2 เส้น ให้เส้นนั้นตั้งฉากกับความยาวของ Dumbbell และเส้นดังกล่าวควรอยู่บริเวณตรงกลางของตัวอย่างยางด้วย
3. การวัดความหนาของตัวอย่างยาง ให้วัดความหนาของยาง 3 แห่ง คือตรงกลางของตัวอย่าง และตรงปลายเลยรอยขีดทั้งสอง ให้ใช้ค่า median ของความหนาที่วัดได้ดังกล่าว ถ้าตัวอย่างยางใดมีผลต่างของความหนาดำสุดและสูงสุดเกินกว่า 0.08 มิลลิเมตรแล้ว ไม่ให้ใช้ตัวอย่างนั้นทดสอบ ส่วนความกว้างของยางส่วนที่ทดสอบ ให้ถือเอาตัวเลขกำหนดของ die ในคอคอดของยางนั้น

วิธีการดึงยางทดสอบ

1. การหาค่า Tensile Strength, Tensile Stress และ Elongation at Break

นำตัวอย่างยาง Dumbbell นั้นมาใส่ในระหว่างที่จับ พยายามให้ตัวอย่างยางอยู่ตรงกลางของที่จับพอดี เพื่อให้แรงกระจายบนตัวอย่างยางอย่างสม่ำเสมอ ถ้าหากจับไม่สม่ำเสมอแล้วเวลาดึงยางจะเห็นว่า รอยขีดที่ขนานกันนั้น จะแยกออกไปไม่ขนานกัน ทำให้ค่า Tensile Properties ของยางได้ค่าไม่สูงสุดเท่าที่เป็นจริง

ถ้าไม่กำหนดเป็นอย่างอื่น ให้อัตราการที่ grip แยกจากกันเท่ากับ 8.5 ± 0.8 มิลลิเมตรต่อวินาที เริ่มเดินเครื่อง ให้จดค่าแรงที่ใช้ดึงตามความยืดที่กำหนด จดค่าแรงที่ดึงจนขาด และความยืดของยางในขณะขาด

การคำนวณผล

ค่า Tensile Stress หรือ Modulus คำนวณดังนี้

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

โดยที่ F = แรงที่ใช้

A = พื้นที่หน้าตัดของยางขณะที่ไม่ได้ยืด

ค่า Tensile Strength คำนวณโดยใช้แรง F เท่ากับแรงที่ยืดยางจนขาด ทั้งค่า Tensile Stress และ Tensile Strength ใช้หน่วยเป็น Mpa

ค่า Elongation คำนวณดังนี้

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

โดยที่ L = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืด

L₀ = ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

ค่า Elongation at Break คำนวณโดยใช้ค่า L เท่ากับระยะห่างระหว่างขีดในขณะที่ยางขาดพอดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นางสาวดาริน นิลทรงกลด สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมอาหาร จากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย ปี 2540 ภายหลังจบการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย