

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เรื่องที่ 2

การทำผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางวางถนนจำกัดความเร็วด้วยยางพารา

โดย

นายกาจพันธ์ สกุลแก้ว

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

และผู้ร่วมดำเนินการ

นายพชัย นามประเสริฐ

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

นางสาวเดือนเพ็ญ วนิชพิมลอนันต์

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เลขหมู่ ๑๗ ๗๖
๐๑ ๑๓
เลขทะเบียน ๑๓๙๑๐
วันที่ ๑๕/๑๑/๖๖

เรื่องที่ 2

การทำผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็วด้วยยางพารา

โดย

นายกาจพันธ์ สกุดแก้ว

นักวิทยาศาสตร์ 6ว

และผู้ร่วมดำเนินการ

นายพยับ นามประเสริฐ

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

นางสาวเดือนเพ็ญ วณิชทิมลอนันต์

นักวิทยาศาสตร์ 7ว

โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ
กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการทำผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้น และยางขวางถนนจำกัดความเร็วด้วยยางพารา จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อแปรรูปยางพาราให้มีมูลค่าเพิ่ม และเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการทำ ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ยางพาราและยางรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวาง ถนนจำกัดความเร็วที่มีคุณภาพดี ทนทาน รับน้ำหนักได้ดี มีความยืดหยุ่น ความปลอดภัยในการใช้งานสูง ราคาไม่แพง และนำไปถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมยางที่สนใจนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

การศึกษาดังกล่าวนี้ ได้ทดลองเพื่อหาสูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการทำบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว โดยใช้ยางแผ่นรมควัน ยางรีไซเคิล แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ผลิตได้ภายในประเทศมากกว่า 90% และสารเคมีประมาณ 10% ผลจากการศึกษา ได้สูตรยางที่เหมาะสมในการผลิตเชิงพาณิชย์จำนวน 10 สูตร แบ่งเป็น

สูตรยางชั้นล่าง : 5 สูตร คือ LO 1, LO 2, LO 3, LO 4 และ LO 5

สูตรยางชั้นบน : 5 สูตร คือ UP 1, UP 2, UP 3, UP 4 และ UP 5

โดยสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาอย่างคงรูปคืออุณหภูมิ 150°C เวลา 10 นาที ยางทั้ง 10 สูตรมีคุณสมบัติเชิงกล ได้แก่ Tensile strength (MPa), Ultimate elongation (%), Modulus at 50% elongation (MPa), Hardness (Shore A), และ Compression set (%) อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับบล็อกยางปูพื้น และยางขวางถนนจำกัดความเร็วที่ทำการศึกษาในครั้งนี้

การศึกษานี้ได้มีการออกแบบและจัดทำแบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น จำนวน 5 แบบ และยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 1 แบบ และได้ถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมยางขนาดเล็ก, ขนาดกลาง และผู้สนใจรับเทคโนโลยีไปผลิตในเชิงพาณิชย์จำนวน 4 ราย ได้แก่

- บริษัท บางกอกคาสเตอร์อินดัสตรี จำกัด
- บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด
- บริษัท อัลลายด์ คอนสตรัคชั่น เคมิคอล จำกัด
- คุณชินนอรส แต่สุวรรณ

และยังคงทำการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ให้แก่ผู้สนใจรายอื่นๆ ต่อไป

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	i
สารบัญ	ii
สารบัญตาราง	iii
สารบัญรูป	iv
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วัตถุประสงค์	3
2.2 สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง	8
2.3 องค์ประกอบของสูตรยาง	10
2.4 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง	10
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์เครื่องมือและวิธีดำเนินการ	18
3.1 วัสดุและสารเคมี	18
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	19
3.3 วิธีดำเนินการ	19
บทที่ 4 ผลการทดลอง	21
บทที่ 5 วิจารณ์ผล และสรุปผลการศึกษาทดลอง	29
กิตติกรรมประกาศ	32
บรรณานุกรม	33
ภาคผนวก ก ส่วนประกอบของยางสูตรต่างๆ	34
ภาคผนวก ข สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	35
ภาคผนวก ค อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาของยางสูตรต่างๆ	37
ภาคผนวก ง การทดสอบสมบัติเชิงกล	48
ภาคผนวก จ สถานที่ตั้งของบริษัทที่จำหน่ายยางและสารเคมี	55

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ก	แผนการดำเนินงาน	2
1	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ	3
2	วัตถุดิบยางและสารเคมี	18
3	สมบัติเชิงกลของยางสูตรต่างๆ เปรียบเทียบกับยางของสถาบันวิจัยยาง(สว.ยาง) และของโรงงานที่จำหน่ายในท้องตลาด	25
4	ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์	26
5	ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง	27
6	ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง(รวมค่าสาธารณูปโภค)โดยใช้อัตราส่วนของยางชั้นบน ต่อยางชั้นล่าง 1 : 3	27
7	ตัวอย่างต้นทุนต่อก้อนของผลิตภัณฑ์ยาง(1/4 ของยางชั้นบน(สูตร UP1) และ 3/4 ของยางชั้นล่าง(สูตร LO1)	28
8	ราคาต้นทุนบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว	30

สารบัญรูป

รูปที่	คำบรรยายได้รูป	หน้า
1	Laboratory Mill	11
2	Single Mill	11
3	K5 Intermix	12
4	Diagrammatic Section of Shaw Intermix	12
5	Size F620 Banbury Mixer	13
6	Diagrammatic Section of a Banbury Mixer	13
7	Example of Transfer, Compression and Injection Molding Techniques	14
8	Roll Configuration of Calenders : (a) Three-Roll Calenders, and (b) Four-Roll Calenders	15
9	Three Stack Calender –16 in. x 36 in.	15
10	Four Roll Z Calender – 26 in. x 72 in.	16
11	Section of a Screw Extruder	16
12	Diagrammatic Sketch of Spreading Machine	17
13	แผนผังแสดงกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง	20
13 ก	แบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น	21
13 ข	แบบพิมพ์ยางขวางถนนจำกัดความเร็ว	22
14 ก	บล็อกยางปูพื้นต้นแบบ	23
14 ข	ยางขวางถนนจำกัดความเร็วต้นแบบ	24
ค-1	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 1 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 0.92 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 3.14 นาที	38
ค-2	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 2 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.42 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 2.53 นาที	39
ค-3	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 3 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.21 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.29 นาที	40
ค-4	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 4 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.00 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.08 นาที	41
ค-5	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 5 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.19 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.28 นาที	42

รูปที่	คำบรรยายได้รูป	หน้า
ค-6	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 1 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.22 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.28 นาที	43
ค-7	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 2 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.86 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.25 นาที	44
ค-8	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 3 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 2.47 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 7.29 นาที	45
ค-9	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 4 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 2.50 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 5.11 นาที	46
ค-10	Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 5 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 3.22 นาที, ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 7.03 นาที	47
ง-1	เครื่อง Spring Type Hardness Tester Type A	48
ง-2	ขั้นตอนทดสอบสำหรับทดสอบโมดูลัสที่ความยืด 50 %, ความต้านแรงดึง และความยืดขณะขาด	49
ง-3	Compression Set Apparatus	53

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาทดลอง

ประเทศไทยถึงแม้จะเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราอันดับ 1 ของโลก แต่มีการใช้ยางพาราทำเป็นผลิตภัณฑ์ภายในประเทศน้อยมาก เพียงไม่ถึงร้อยละ 10 ของปริมาณการผลิตยางพาราทั้งหมด ส่วนที่เหลือส่งออกในรูปของยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และน้ำยางข้น เมื่อเกิดภาวะวิกฤติทางเศรษฐกิจ การใช้ยางพาราทั้งภายในประเทศและต่างประเทศลดลงมาก ปัญหาที่ตามมาคือยางพาราล้นตลาด และราคาตกต่ำ แม้ว่ารัฐบาลจะใช้เงินจำนวนมากซื้อยางพาราเพื่อพยุงราคาไปแล้วก็ตาม แต่ก็เป็นการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าชั่วคราวเท่านั้น หากได้มีการสนับสนุนและส่งเสริมให้มีการใช้ยางพาราภายในประเทศให้มากขึ้นโดยการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ จะเป็นการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มของยางพาราให้สูงขึ้น และยังเป็นการเพิ่มการจ้างงานและลดการพึ่งพาดตลาดต่างประเทศในการส่งออกยางพาราให้น้อยลงด้วย แนวทางการแก้ปัญหาในระยะยาวจึงควรสนับสนุนให้มีการนำยางพารามาทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางให้มากขึ้น โดยส่งเสริมให้เกิดโรงงานอุตสาหกรรมยางเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งช่วยโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางที่มีอยู่แล้ว ทางด้านเทคโนโลยีการผลิตเพื่อเพิ่มศักยภาพให้โรงงานสามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และมีผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่มีความหลากหลาย มีคุณภาพดีเป็นไปตามมาตรฐานสากล สามารถแข่งขันได้

ผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็วเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ใช้ยางพาราและยางรีไซเคิล(ยางรถยนต์รีไซเคิล) เป็นวัตถุดิบประมาณร้อยละ 60 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีศักยภาพทางด้านการตลาดสูง ทั้งตลาดในประเทศและต่างประเทศ กรมวิทยาศาสตร์บริการจึงได้ให้ความสนใจในการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมยางและผู้สนใจนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อแปรรูปยางพาราให้มีมูลค่าเพิ่มขึ้น

1.2.2 เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีการทำผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ยางพาราและยางรีไซเคิลเป็นวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ทนทาน รับประทานได้ดี มีความยืดหยุ่นและความปลอดภัยในการใช้งานสูง

1.2.3 เพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราในประเทศให้มากขึ้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 กำหนดคุณลักษณะ (Specification) ที่เหมาะสม

1.3.2 ออกแบบผลิตภัณฑ์

- 1.3.3 พัฒนาสูตรและเทคโนโลยีการผลิต
- 1.3.4 จัดทำแบบพิมพ์(Mold) และผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Pilot product)
- 1.3.5 ทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และประสิทธิภาพการใช้งาน
- 1.3.6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีแก่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง และผู้สนใจ
- 1.3.7 สรุปผลการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.4.1 ได้สูตรและเทคโนโลยีการทำบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 10 สูตร
- 1.4.2 เป็นการนำยางพารามาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม
- 1.4.3 ช่วยรักษาสภาพแวดล้อม เนื่องจากใช้ยางรีไซเคิลเป็นส่วนผสมในการทำผลิตภัณฑ์ด้วย
- 1.4.4 ทำให้ยางพารามีราคาสูงขึ้น เกษตรกรมีรายได้เพิ่มมากขึ้น
- 1.4.5 เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมยางทำให้เกิดการขยายตัว สอดคล้องกับการพัฒนาประเทศ โดยส่วนรวม
- 1.4.6 มีการใช้ยางพาราในประเทศมากขึ้น

1.5 ระยะเวลาดำเนินการ

ตุลาคม 2543 ถึง กันยายน 2545

ตาราง ก : แผนการดำเนินงาน

รายละเอียดของแผนงาน	ความก้าวหน้าของผลงานวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม			
	ปีที่ 1 (ปี 2544)		ปีที่ 2 (ปี 2545)	
	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12	เดือนที่ 1-6	เดือนที่ 7-12
1. ศึกษาเพื่อกำหนดคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด	←→			
2. ออกแบบผลิตภัณฑ์ 5 แบบ	←→			
3. พัฒนาสูตรและเทคโนโลยีการผลิต 10 สูตร	←→	←→		
4. จัดทำ/ทำแบบพิมพ์ 5 แบบ		←→		
5. ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและติดตามผล 5 โรงงาน			←→	←→
6. สรุปผลการวิจัย 1 เรื่อง				←→

←→ แผนงานวิจัยทั้งโครงการที่วางไว้ ←→ ผลงานวิจัยที่ดำเนินการจนถึงปัจจุบัน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัตถุดิบยาง ⁽²⁾

วัตถุดิบยาง แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือยางธรรมชาติ (Natural Rubber) และยางสังเคราะห์หรือยางเทียม (Synthetic Rubber)

2.1.1 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพารา (Hevea Brasiliensis) ต้นยางพาราปลูกกันมากในประเทศไทย มาเลเซีย และ อินโดนีเซีย น้ำยาง (Latex) ที่ได้มาจากต้นยางพารามีลักษณะเป็นน้ำสีขาวคล้ายน้ำนม โดยมีอนุภาคของยางแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ อนุภาคของยางมีรูปร่างคล้ายทรงกลมหรือรูปลูกแพร์ มีขนาด 0.05 – 5 ไมครอน ความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความเป็นกรด – ด่าง ประมาณ 6.5 – 7.0 น้ำยางจากต้นยางมีส่วนประกอบดังนี้

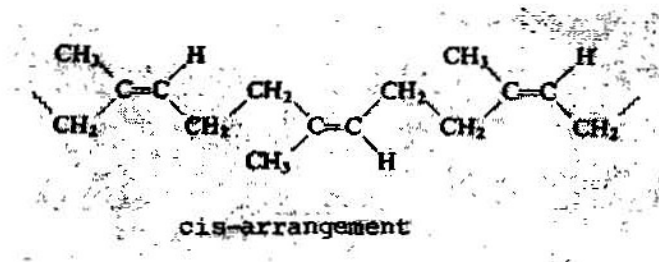
ตารางที่ 1 : ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content)	33
สารกลุ่มโปรตีนและไขมัน	1 – 1.2
สารกลุ่มคาร์โบไฮเดรต	1
เถ้า	น้อยกว่า 1
น้ำ	64

ยางธรรมชาติสามารถนำไปแปรรูปได้หลายลักษณะ ได้แก่

1. น้ำยางข้น (Concentrated Latex)
2. ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet)
3. ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet)
4. ยางเครพ (Crepe Rubber)
5. ยางแท่ง (Block Rubber)

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยเพียงชนิดเดียว โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วย คาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม (C₅H₈) มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (Isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะจัดเรียงตัวเป็นแบบ cis-1,4-Polyisoprene



ยางธรรมชาติ มีสมบัติทนแรงดึงและแรงฉีกได้สูง มีการยืดหยุ่นสูง การสะสมความร้อน (heat built up) น้อย ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ สายพาน ยางพองน้ำ กาวยาง ถุงมือยาง และอื่น ๆ

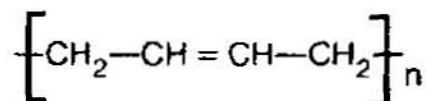
2.1.2 ยางสังเคราะห์

ยางสังเคราะห์นี้ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี ยางสังเคราะห์จึงมีมากมายหลายชนิด แต่ละชนิดมีสูตรโครงสร้างและสมบัติแตกต่างกัน ดังจะได้กล่าวถึงดังต่อไปนี้

2.1.2.1 Synthetic Polyisoprene (IR)

เนื่องจากยาง IR มีสูตรโครงสร้างเหมือนกับยางธรรมชาติเป็น cis - 1,4 - Polyisoprene ดังนั้น ยาง IR จึงมีสมบัติคล้ายกับยางธรรมชาติมาก ประโยชน์ในการใช้งานก็คล้ายกัน เช่น ทำยางรถยนต์ ท่อ ยาง หุ่นมยางสำหรับเด็กและยางที่ใช้กับเครื่องจักรกลต่าง ๆ

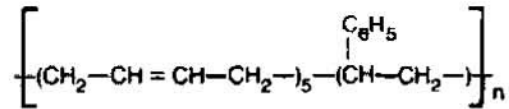
2.1.2.2 Polybutadiene (BR)



BR

ยาง BR มีสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดีมาก ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์

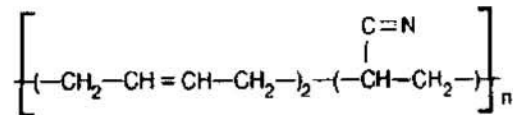
2.1.2.3 Styrene-Butadiene Copolymer (SBR)



SBR

ยาง SBR เป็น Copolymer ของ Butadiene กับ Styrene โดยใช้ Butadiene มากกว่าร้อยละ 50 Copolymer จะมีสมบัติเป็นยาง แต่ถ้าใช้ Styrene มากกว่าร้อยละ 50 Copolymer ที่ได้จะมีสมบัติเป็นพลาสติก ซึ่งใช้ทำสีพลาสติก (Latex Paint) SBR มีสมบัติที่สำคัญคือ ทนต่อการสึกกร่อนได้ดี (High Abrasion Resistance) ประโยชน์ใช้ทำยางรถยนต์ประเภทยางรถยนต์นั่งธรรมดา และยางเรเดียล ทำสายพาน ท่อยาง ยางพื้นและเส้นรองเท้า

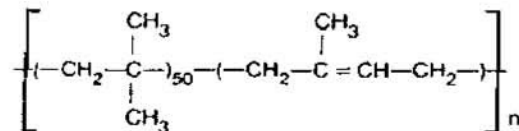
2.1.2.4 Acrylonitrile-Butadiene Rubber หรือ Nitrile Rubber (NBR)



NBR

ยาง NBR มีสมบัติทนทานต่อน้ำมันและสารเคมีต่าง ๆ จึงใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี เช่น ชิ้นส่วนของรถยนต์ และเครื่องจักรกลต่าง ๆ อุปกรณ์การพิมพ์ อุปกรณ์ไฟฟ้า

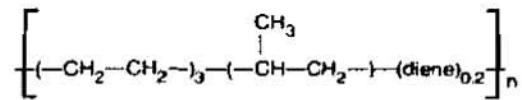
2.1.2.5 Isobutylene-Isoprene Copolymer หรือ Butyl Rubber (IIR)



IIR

ยาง IIR เป็น Copolymer ของ Isobutylene กับ Isoprene ร้อยละ 2-3 เพื่อให้โครงสร้างมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (double bond) ร้อยละ 2-3 ซึ่งพันธะที่ไม่อิ่มตัวนี้ทำให้ยาง IIR สามารถเกิดการคงรูป (Vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ ยาง IIR มีสมบัติพิเศษคือสามารถป้องกันการซึมผ่านของอากาศได้ดี และทนทานต่อสภาวะแวดล้อมได้ดีด้วย ประโยชน์ใช้ทำยางในรถยนต์ และผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการความคงทนต่อสภาพลมฟ้าอากาศได้ดีด้วย

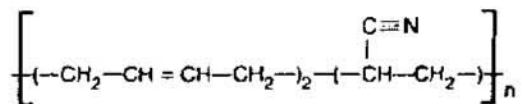
2.1.2.6 Ethylene – Propylene – Diene Terpolymer (EPDM)



EPDM

ยาง EPDM จะมีพันธะที่ไม่อิ่มตัว (Double Bond) อยู่ร้อยละ 2-3 จึงสามารถทำให้คงรูป (Vulcanization) ด้วยกำมะถันได้ Diene ที่ใช้เช่น Butadiene, Cyclopentadiene, Dicyclopenta Diene และ 1-4 Hexadiene เป็นต้น ยาง EPDM มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม ความร้อนและสารเคมีต่าง ๆ ประโยชน์ทำท่ออย่างสำหรับรถยนต์ ยางขอบกระจก ขอบประตูรถยนต์ หุ้มสายไฟฟ้า สายเคเบิล สายพานลำเลียง

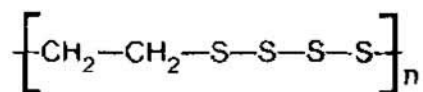
2.1.2.7 Polychloroprene หรือ Neoprene (CR)



CR

ยาง CR มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม น้ำมันและความร้อนได้ดี และมีสมบัติเชิงกลดี ประโยชน์ใช้ทำท่ออย่าง สายพาน หุ้มสายเคเบิล ยางชิ้นส่วนเครื่องจักร และยางชิ้นส่วนยานยนต์

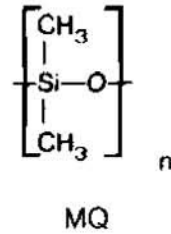
2.1.2.8 Polysulphide rubber หรือ Thiokol (OT)



OT

ยาง OT เตรียมได้จาก Condensation polymerization ของ Organic Dihalide กับ Alkaline Polysulphide มีสมบัติต่อสภาวะแวดล้อมและน้ำมันได้ดี ประโยชน์ใช้เคลือบด้านในของถังน้ำมันทำซีเมนต์ ทำ sealant และลูกกอล์ฟสำหรับงานพิมพ์

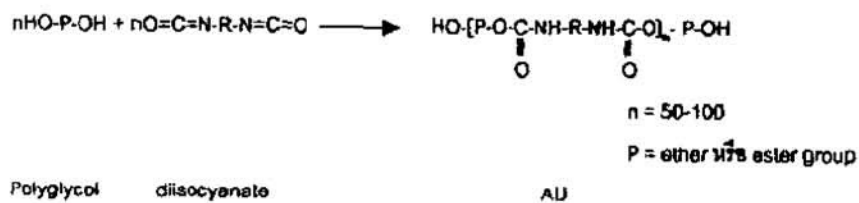
2.1.2.9 Silicone Rubber หรือ Polysiloxanes (MQ)



ยาง MQ เป็น Inorganic-Organic Polymer มีราคาแพง มีสมบัติทนความร้อนได้สูงมาก ไม่ละลายในน้ำและแอลกอฮอล์ ทนสารเคมี ทิดไฟยากและไม่เป็นพิษ ใช้ประโยชน์ อาทิ ทำสายพานสำหรับลำเลียงอาหาร จุกขวดยา หัวนมสำหรับเด็ก

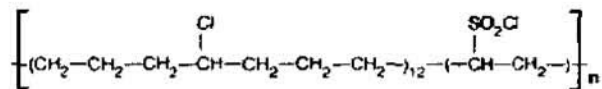
2.1.2.10 Urethane rubber หรือ Polyurethane (AU)

Polyurethane เตรียมจากปฏิกิริยาของ Polyglycol กับ Organic Diisocyanate ปฏิกิริยา เป็นดังนี้



Urethane Rubber มีสมบัติทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ทนความร้อน ทนตัวทำละลาย ทนออกซิเจน และ โอโซน ประโยชน์ใช้ทำยางตัน Flexible Foam และ Elastic Fiber

2.1.2.11 Chlorosulfonated polyethylene หรือ Hypalon (CSM)



ยาง CSM มีสมบัติทนต่อสภาวะแวดล้อม ทนความร้อน ทนสารเคมี ทนน้ำมันและทนต่อการสึกกร่อนได้ดี ใช้ทำสายพานลำเลียง อุปกรณ์รถยนต์

นอกเหนือจากยาง 2 ชนิดที่กล่าวมาแล้ว คือ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ยังมียางอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญเท่าเทียมกัน เพราะเป็นการนำยางที่เสียแล้วกลับมาใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางได้ใหม่ อีก คือ Reclaimed Rubber การ Recycle ยางเก่าจะช่วยประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม

2.1.2.12 Reclaimed Rubber

เป็นยางที่ได้จากการนำยางที่เสียหรือยางที่ใช้จนหมดสภาพแล้วกลับมาผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยใช้พลังงานกล พลังงานความร้อนและกระบวนการทางเคมี ทำให้พันธะที่เชื่อมข้าม Chain ของยางแตกออกซึ่งเรียกว่า Devulcanization ทำให้ยางกลับมีสภาพเหมือนกับยางดิบอีกครั้งหนึ่ง สามารถนำไปใช้ผสมในอัตราส่วนประมาณ 10-30 ส่วนต่อยางใหม่ 100 ส่วน เพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางต่อไปได้

2.2 สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง (Rubber Processing Chemicals)⁽²⁾

ในการนำยางไปทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจะต้องมีการเติมสาร Rubber Processing Chemicals หรือ Rubber Compounding Materials ลงไป โดยมีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน ได้แก่

- เพื่อให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เช่น ในขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี และการขึ้นรูปยาง เป็นต้น
- เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตรงตามความต้องการ
- เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจาก Filler บางชนิดมีราคาถูกกว่ายางมาก จึงเติมลงไปเพื่อเพิ่มเนื้อ

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

2.2.1 สารทำปฏิกิริยายางคงรูป (Vulcanizing Agents หรือ Curing Agents)

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อทำให้ยางคงรูป โดยเกิดการเชื่อมข้าม Chain (Cross-Linking) ของยาง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยา Vulcanization หรือ Curing ตัวอย่างสารจำพวกนี้ได้แก่ Sulphur, Sulphur Monochloride, Selenium, Tellurium, Thiuram Disulphide, Zinc Oxide, Magnesium Oxide และสารพวก Organic Peroxide

2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป (Vulcanization Accelerators)

เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา Vulcanization ให้เกิดเร็วขึ้นจากชั่วโมงให้เหลือเพียงไม่กี่นาที นอกจากนั้นยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลง และทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น Accelerators ส่วนมากจะมี ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น Mercaptobenzothiazole (MBT), Diphenyl guanidine (DPG)

2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป (Accelerator Activators)

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อช่วยให้ Accelerators ทำงานได้ดียิ่งขึ้น แบ่งออกเป็น Inorganic พวก long chain Saturated Fatty Acids เช่น Stearic Acid, Oleic Acid เป็นต้น

2.2.4 สารหน่วงปฏิกิริยายางคงรูป (Retarders)

คือ สารที่ช่วยให้ Vulcanization เกิดช้าลง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรงข้ามกับ Accelerators และ Activators โดย Retarders จะยับยั้งไม่ให้อายุเกิด Vulcanized ในขณะที่กำลังผสมยางกับสารเคมีและในขณะที่ขึ้นรูปยางหรือเรียกว่าช่วยให้มี Processing safety ได้แก่ Salicylic Acid, Benzoic Acid, Phthalic Anhydride เป็นต้น

2.2.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Antioxidants)

เป็นสารที่จัดอยู่ในพวกเดียวกับ Antiozonants, Antiflex Cracking Agents และ Age Resisters คือ ป้องกันผลิตภัณฑ์ยางจากการถูกทำให้เสื่อมสภาพโดย ออกซิเจน โอโซน แสงสว่าง และ ความร้อน Antioxidants แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ สารพวก Amines เช่น Alkylated Diphenylamines, Alkylated หรือ Arylated p-Phenylenediamines และสารพวก Phenols เช่น Substituted Phenols, Bisphenol โดย Antioxidants พวก Amines เป็น Antioxidants ที่แรงกว่าพวก Phenols และจะทำให้ยางเปลี่ยนสี (Staining) ได้ จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีอ่อน

2.2.6 สารเติมแต่งสมบัติยาง (Fillers)

ได้แก่ สารที่ใส่ลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามความต้องการ หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น หรือเพื่อลดต้นทุน

Fillers แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Reinforcing Filler และ Extending Filler

- Reinforcing Filler เป็นสารที่ใส่ลงไปช่วยให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ดีขึ้น คือ แรงดึงขาด แรงฉีก ความทนทานต่อการสึกกร่อนและความแข็งเพิ่มขึ้น สารพวกนี้ได้แก่ Carbon Black, Silica, Zinc Oxide

- Extending Filler เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อจุดประสงค์ในการลดต้นทุน แต่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางด้วย โดยทำให้สมบัติแรงดึงขาดลดลง และสมบัติเชิงกลอื่น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้กระบวนการผลิตยากหรือง่ายขึ้น สารพวกนี้ได้แก่ Clays, Calcium Carbonate, Barytes และ Talcum

2.2.7 สารทำปฏิกิริยาให้ยางนิ่ม (Peptizers)

เป็นสารที่เติมลงไปแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยากับ Polymer ทำให้ Polymer Chain สั้นลง เป็นผลให้ยางอ่อนตัวลงและความเหนียวลดลง ช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้นแต่ขณะเดียวกันก็มีผลให้สมบัติเชิงกลของยางลดลงด้วย เช่น Aromatic Mercaptans (Thiophenols) เป็นต้น

2.2.8 สารช่วยใหยางนิ่ม (Plasticizers หรือ Softeners)

คือสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ยางอ่อนตัว (โดยไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี) เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เร็วขึ้น และช่วยลดอุณหภูมิการผลิตให้ต่ำลง นอกจากนั้นยังช่วยในการขึ้นรูปยาง (Molding) ขณะทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป และทำให้ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีความแข็งแรงลดลงด้วย เช่น Fatty Acids, Vegetable Oils, Mineral Oils, Pine Tar และ Coal Tars

2.2.9 ผงสี (Pigments)

ผงสีเป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งที่ใช้ผสมกับยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีต่าง ๆ เช่น สีขาว ส่วนมากใช้ Titanium Dioxide, Zinc Oxide สีแดงใช้ Iron Oxide นอกจากสีพวก Inorganic Pigment แล้วอาจใช้สีพวก Organic Pigment ก็ได้ แต่สีพวก Organic Pigment มักไม่ค่อยคงตัว (Stable) เหมือนสีพวก Inorganic pigment ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม

2.2.10 สารทำให้ยางเกิดฟอง (Blowing Agents)

เป็นสารที่ทำให้เกิดก๊าซ ใช้ในการทำยางพองน้ำ เช่น Sodium Bicarbonate, Ammonium Carbonate, Ammonium Bicarbonate และสารอินทรีย์ที่มีสมบัติแตกตัวให้ก๊าซไนโตรเจนเมื่อได้รับความร้อน

2.3 องค์ประกอบของสูตรยาง (Rubber Compounding Formular)⁽²⁾

ยางดิบ (Raw Rubber) ที่ยังไม่ได้ผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ องค์ประกอบที่ผสมลงไปในยางจะช่วยให้ยางมีสมบัติ เช่น Plasticity, Elasticity, Toughness, Hardness, Softness, Abrasion Resistance, Impermeability และสมบัติอื่น ๆ เหมาะสมกับความต้องการ เพื่อนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่าง ๆ

สูตรพื้นฐานของยาง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ในอัตราส่วน ดังนี้

Rubber	100
Sulfur	2.5 -3.5
Activator	1-5
Accelerator	0.5 -1.5
Antioxidant	1-2
Filler	As Required
Softener	5-10

2.4 กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง (Manufacturing Processes)⁽²⁾

กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากยาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ตามลำดับ ดังนี้

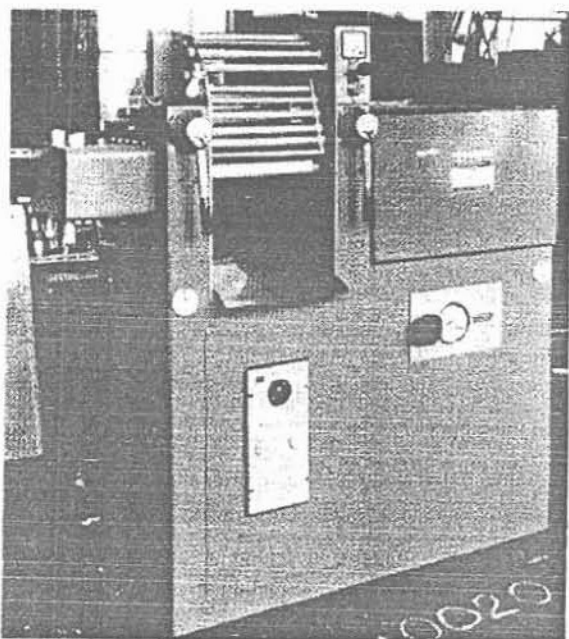
2.4.1 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

ยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ตามสูตร เช่น Filler, Plasticizer, Vulcanizing Agent, Antioxidant และ Pigment จะต้องผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับยางโดยขั้นแรกจะต้องนำยางไปบด (Masticate) เพื่อให้ยางอ่อนตัวเป็นการเพิ่ม Plasticity และลด Viscosity ของยางซึ่งจะทำให้สารเคมีต่าง ๆ ผสมเข้ากับยางได้ง่ายขึ้น ในการผสมยางกับสารเคมีแต่ละครั้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ จะต้องควบคุมสิ่งต่อไปนี้คือ อุณหภูมิและเวลาในการผสม ลำดับของการใส่สารเคมีลงไปผสมเคมีลงไปผสมกับยางและต้องคำนึงถึงสมบัติของยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วย เครื่องจักรที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมี มี 2 แบบ คือ Open-Rolls Mill (Two-Rolls Mill) กับ Internal Mixer

Two-rolls mill (รูปที่1 และ รูปที่2) มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 ลูก วางขนานในแนวระนาบ มีสกรูสำหรับปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก (Nip) ลูกกลิ้งทั้งสองลูกจะหมุนด้วยความเร็วที่

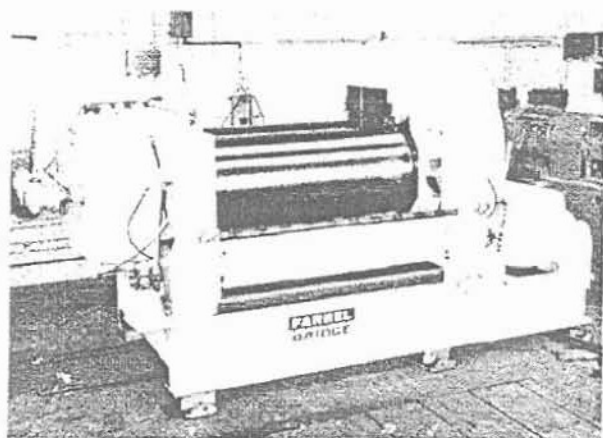
แตกต่างกัน ถ้าใช้สำหรับยางธรรมชาติ อัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้า (Front roll) ต่อลูกกลิ้งหลัง (Back roll) จะเท่ากับ 1:1:25 แต่ถ้าเป็นยางสังเคราะห์การผสมด้วยลูกกลิ้งจะค่อนข้างยาก และอัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้า ต่อลูกกลิ้งหลังจะเท่ากับ 1:1 (โดยประมาณ) ยางสังเคราะห์มักนิยมผสมด้วย Internal Mixer ภายในลูกกลิ้ง แต่ลูกกลิ้งจะมีระบบทำความเย็นเพื่อช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ความปลอดภัย (Safety), ถาดรองรับสารเคมี (Tray), ที่กั้นยาง (Guides), มีดตัดยาง (Cutting Knives), แผ่นขูดยาง (Scraper Blade)

Internal Mixer ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Shaw Intermix และ Banbury Mixer, Internal Mixer มีชื่อดีกว่า Two-rolls Mill คือสามารถผสมยางได้ครั้งละมาก ๆ ใช้งาน สะดวก รวดเร็ว และรักษาความสะอาดได้ง่าย



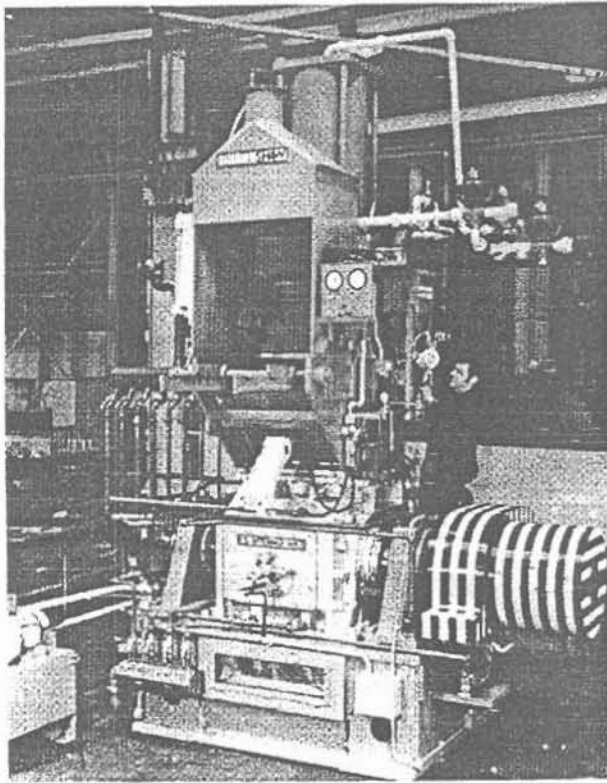
รูปที่ 1 : Laboratory Mill

(Courtesy : Farrell – Bridge,
Rochdale.)



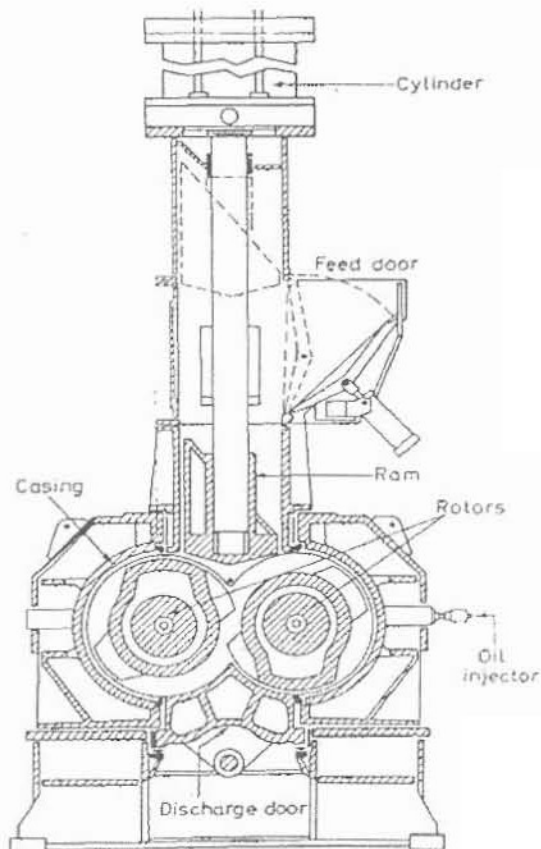
รูปที่ 2 : Single Mill

(Courtesy : Farrell – Bridge,
Rochdale.)



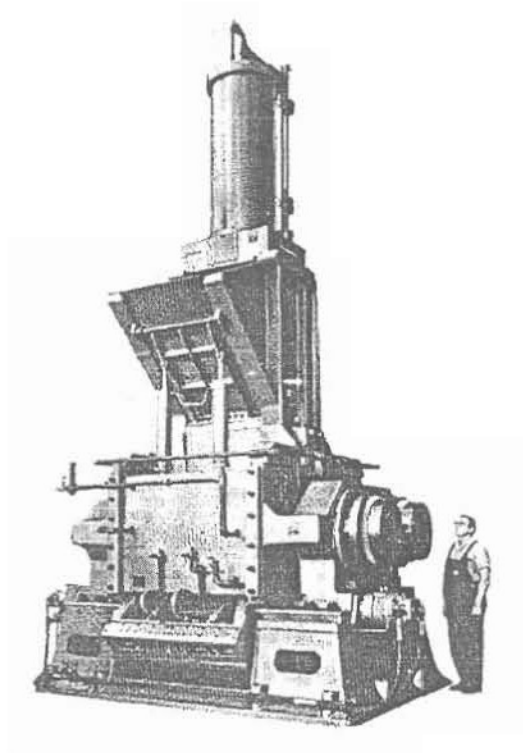
รูปที่ 3 : K5 Intermix

(Courtesy : Francis Shaw,
Manchester.

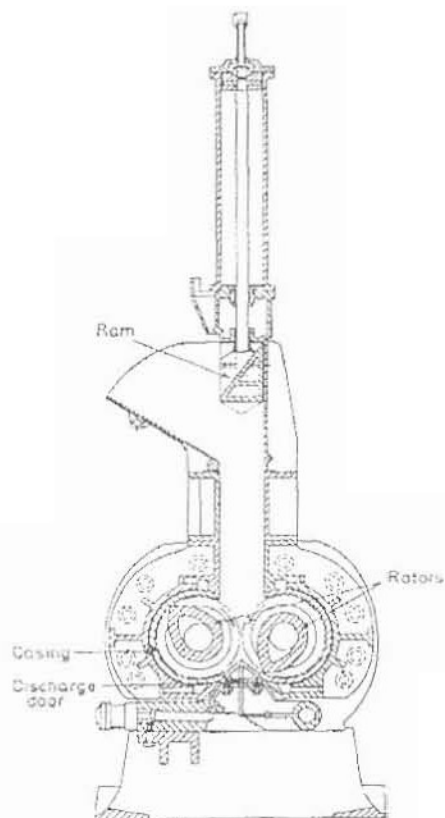


รูปที่ 4 : Diagrammatic Section

of Shaw Intermix
(Courtesy : Francis
Shaw & Co., Ltd.)



รูปที่ 5 : Size F620 Banbury Mixer
(Reprinted, with the permission
of the Farrel Company)

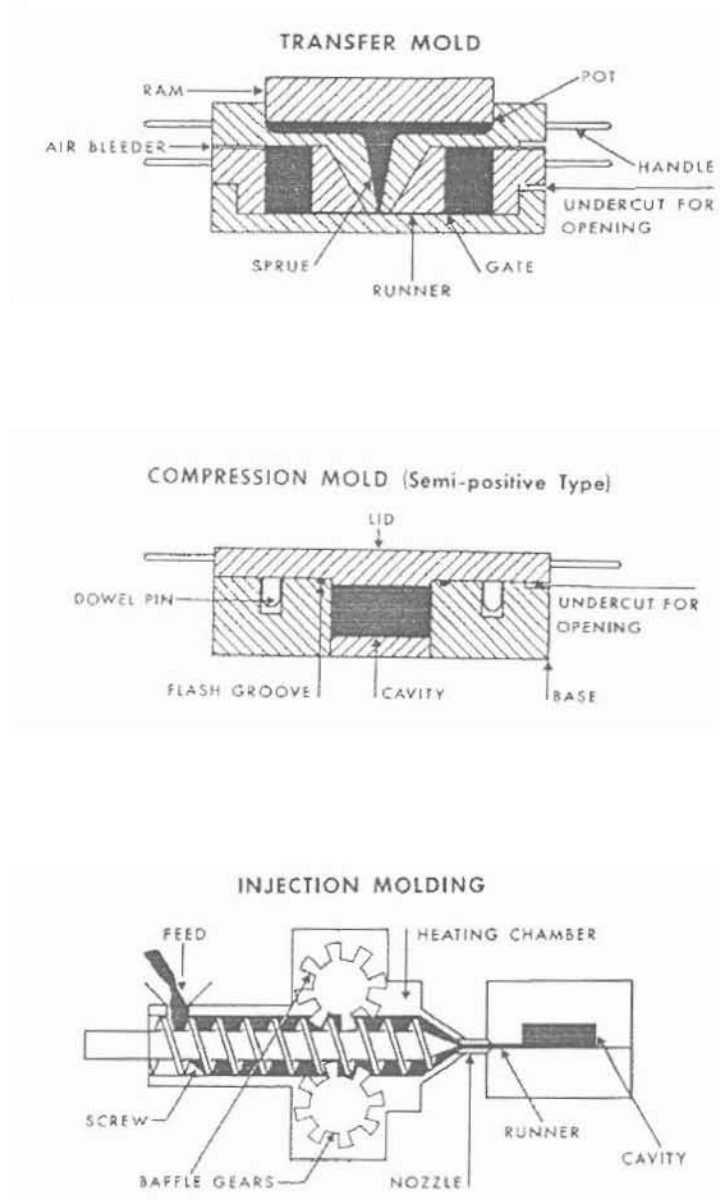


รูปที่ 6 : Diagrammatic Section of
a Banbury Mixer

2.4.2 การขึ้นรูปยาง (Forming)

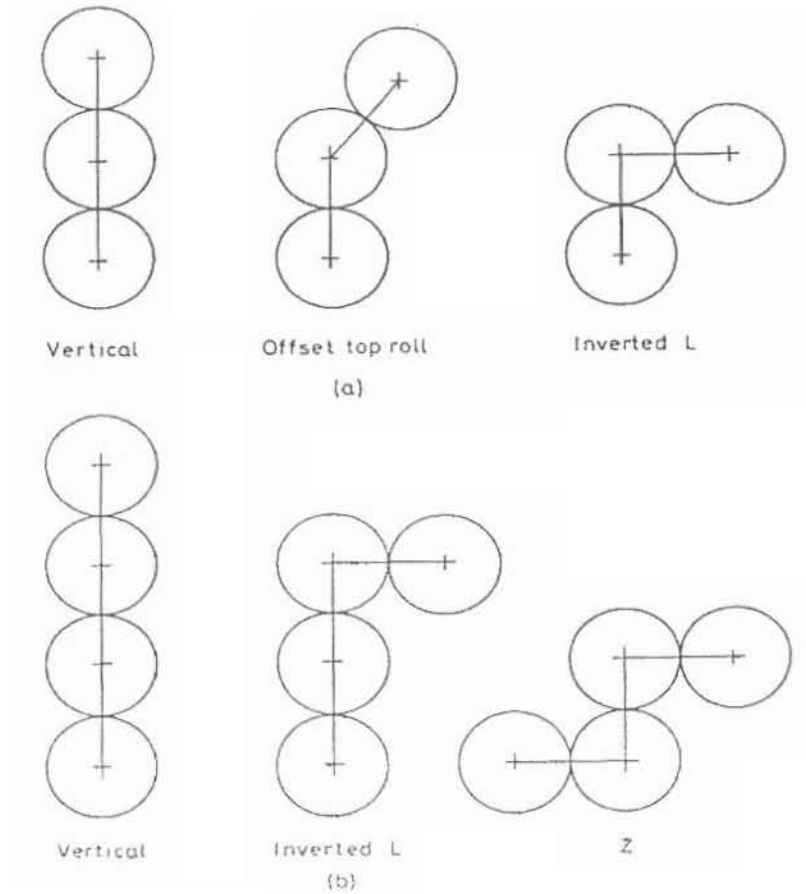
ในขั้นนี้ยางที่ผสมกับสารเคมีแล้ว ที่เรียกว่า ยางคอมปาวด์ (Compounded Rubber) จะถูกทำให้มีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งบางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะทำไปพร้อม ๆ กับขั้นตอนการทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing) ด้วยก็ได้ โดยแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีคือ

2.4.2.1 Molding เป็นการทำให้ยางคอมปาวด์ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ และทำให้คงรูปในแบบแม่พิมพ์ (Mold) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ Transfer Molding, Compression Molding และ Injection Molding (รูปที่ 7)

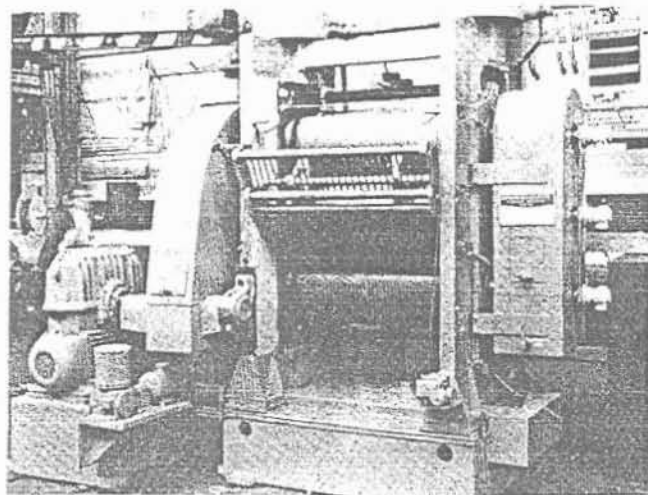


รูปที่ 7 : Example of Transfer, Compression and Injection Molding Techniques (Reprinted with the Permission of the E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc.)

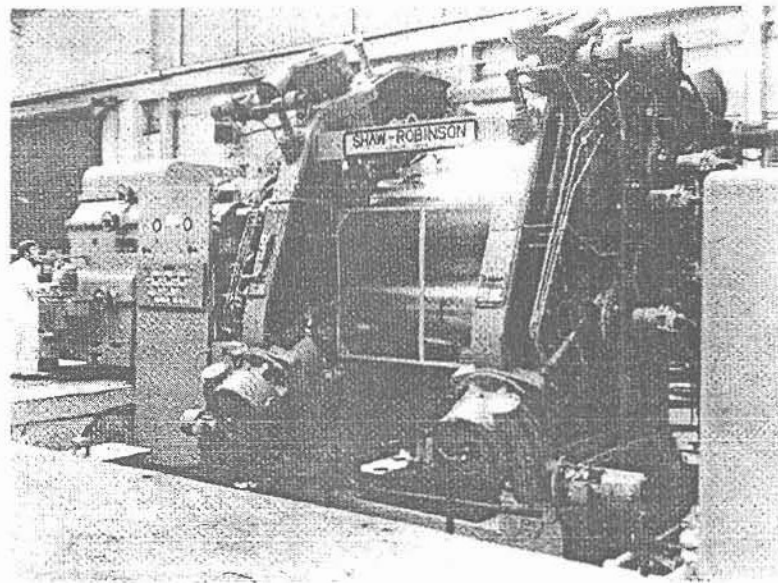
2.4.2.2 Calendering เป็นการรีดยางคอมปาวด์ให้เป็นแผ่นหรือฉาบยางให้ติดกับผืนผ้า โดยใช้เครื่องรีดยางที่เรียกว่า Calender ซึ่งอาจเป็นชนิดที่มีลูกกลิ้งสำหรับรีด 2, 3, หรือ 4 ลูกก็ได้ (รูปที่ 8, 9 และ 10)



รูปที่ 8 : Roll Configuration of Calenders : (a) Three-Roll Calenders, and (b) Four-Roll Calenders

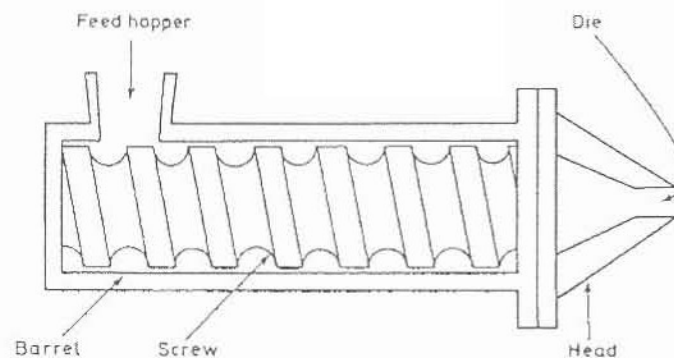


รูปที่ 9 : Three Stack Calender -16 in. × 36 in. (Courtesy : Farrel - Bridge, Rochdale.)



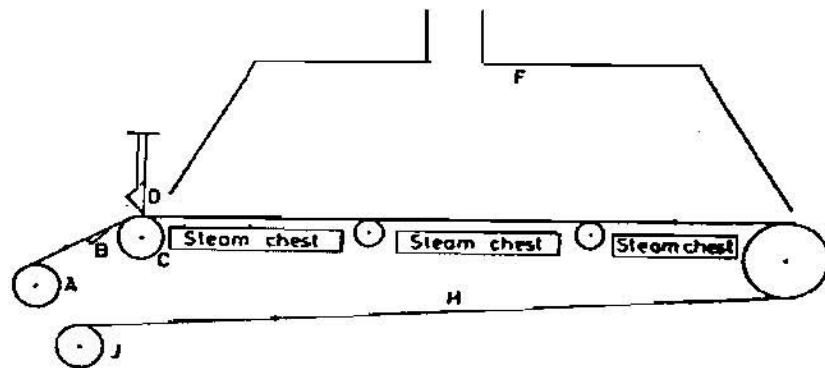
รูปที่ 10 : Four Roll Z Calender – 26 in. × 72 in. (Courtesy : Francis Shaw, Manchester.)

2.4.2.2 Extruding เป็นการอัดต้นยางคอมปาวด์ที่ถูกทำให้อ่อนตัวผ่าน Die โดยใช้เครื่องอัดต้นยางที่เรียกว่า Extruder ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะหน้าตัดมีขนาดเล็กแต่มีความยาวมาก (Profile) เช่น ยางในรถยนต์ สายยาง ยางขอบกระจก และขอบประตูรถยนต์ เป็นต้น



รูปที่ 11 : Section of a Screw Extruder

2.4.2.3 Spreading เป็นการฉาบยางคอมปาวด์ให้ติดกับผืนผ้า ซึ่งนอกจากจะทำโดยวิธี Calendering แล้ว สามารถใช้วิธี Spreading โดยการละลายยางคอมปาวด์ในตัวทำละลาย (Solvent) ที่เหมาะสม จนมีลักษณะเป็นของไหลเหนียวข้น (Dough Like) และฉาบบนผืนผ้า ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายกว่าการใช้ Calender แต่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับตัวทำละลายและการเตรียมยางคอมปาวด์ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย



รูปที่ 12 : Diagrammatic Sketch of Spreading Machine (Courtesy : ICI Dyestuffs Division)

2.4.3 การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing)

การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing) เป็นการทำให้ยางเกิดการเชื่อมข้ามสายโซ่โมเลกุล (Cross-Linking) เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแห (Three-Dimensional Network) ขั้นตอนนี้บางครั้งอาจกระทำไปพร้อมกับขั้นตอนการขึ้นรูปยางก็ได้ หลักการของ Vulcanization คือการให้ความร้อนแก่ยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม โดยอาจใช้ความร้อนจาก ลมร้อน ไอน้ำ ผ่านความร้อนจากไฟฟ้า หรือ Microwave ก็ได้

ปฏิกิริยายางคงรูปจะเกิดได้สมบูรณ์หรือไม่ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 2 ประการ คือ

2.4.3.1 ชนิดและปริมาณของสารเคมีในระบบการทำให้ยางคงรูป ซึ่งต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของยางด้วย เช่น ยางนีโอพรีน ใช้ Zinc Oxide และ Magnesium Oxide เป็นสารทำปฏิกิริยายางคงรูป ใช้ Ethylene Thiourea และ Tetramethyl Thiuram Disulphide เป็นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป และใช้ Stearic Acid เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยายางคงรูป

2.4.3.2 อุณหภูมิ และเวลาที่เกิดปฏิกิริยายางคงรูป ซึ่งต้องเหมาะสมกับสารเคมีที่ใช้ในข้อ 2.4.3.1 ด้วย ภายหลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปแล้ว โดยทั่วไปก็นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาขัดและตัดตกแต่งส่วนที่ไม่ต้องการออก ตรวจสอบความเรียบร้อย ตรวจสอบเชิงคุณภาพ (ตรวจ 100 % หรือสุ่มตัวอย่าง) แล้วจึงบรรจุหีบห่อเพื่อจำหน่ายต่อไป

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์เครื่องมือและวิธีดำเนินการ

3.1 วัสดุและสารเคมี

ตารางที่ 2 : วัตถุดิบยางและสารเคมี

ยางและสารเคมีที่ใช้	คุณสมบัติ	ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี	ผู้จำหน่าย
ยางแผ่นรมควันชั้น 3	ยางดิบ	RSS 3	Polyisoprene	บริษัท ไทยบารุง เคมีเคิล จำกัด
ยางแท่ง STR 5L	ยางดิบ	STR 5L	Polyisoprene	บริษัท ไทยบารุง เคมีเคิล จำกัด
ยางรีเคลม	ยางรีไซเคิล	ยางรีเคลม		โรงงานอาเซียนอุตสาหกรรมยางไทยรีเคลม
Calcium carbonate	สารเติมแต่งสมบัติยาง	CCP-401	Calcium Carbonate	บริษัท บูณคุณภาพ จำกัด
White Clay	สารเติมแต่งสมบัติยาง	Hard Clay	Kaolinite	ห้างหุ้นส่วนจำกัด ยงวิเชียร
MBTS	สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	Oncel-DM (G)	2,2-Dithio-bis-benzothiazole	บริษัท โคชิน (ประเทศไทย) จำกัด
DPG	สารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	Soxinoi DG	Diphenyl Guanidine	บริษัท โคชิน (ประเทศไทย) จำกัด
Zinc Oxide	สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	Zinc Oxide (ZnO) 99.5% MIN	Zinc Oxide	บริษัท เกาดเมน (ประเทศไทย) จำกัด
Stearic Acid	สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป	Stearic Acid Rubber Grade 101	Stearic Acid	บริษัท เกาดเมน (ประเทศไทย) จำกัด
AnoxT	สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	ANOX T Powder	Alkylated Phenol	บริษัท เตมส์อินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น จำกัด
กำมะถัน	สารทำให้ยางคงรูป	Sulphur Powder	Sulphur	บริษัท โคชิน (ประเทศไทย) จำกัด
Naphthenic Oil	สารช่วยให้ยางนิ่ม	Oil (Process H200)	Naphthenic oil	บริษัท สก็ร์คอม อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
สีแดง	เพิ่มสีสัน	Bayferrox [®] 4920/403 (สีแดง)	Synthetic iron oxide α -Fe ₂ O ₃	บริษัท ยูโรเซี่ย เทคดิง จำกัด
สีเหลือง	เพิ่มสีสัน	Bayferrox [®] 130 (สีเหลือง)	Synthetic Iron Oxide α -FeOOH	บริษัท ยูโรเซี่ย เทคดิง จำกัด
สีเขียว	เพิ่มสีสัน	Chrome Oxide Green GX	Chrome Oxide Cr ₂ O ₃	บริษัท ยูโรเซี่ย เทคดิง จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.2.1 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two-Rolls Mill) Banbury, Kneader
- 3.1.2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิกพร้อมแผ่นให้ความร้อน (Hydraulic Press with Heated Plates)
- 3.1.2.3 แบบพิมพ์ (Mold)
- 3.1.2.4 เครื่องวัดอัตราการคงรูปของยาง (Rheometer)
- 3.1.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tension Tester)
- 3.1.2.6 เครื่องทดสอบความทนต่อแรงอัดของยาง (Compression Set Apparatus)
- 3.1.2.7 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester)
- 3.1.2.8 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)
- 3.1.2.9 เครื่องมือวัดความหนา (Thickness Gauge)
- 3.1.2.10 แบบตัด (Cutting Die)

3.3 วิธีดำเนินการ

3.3.1 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

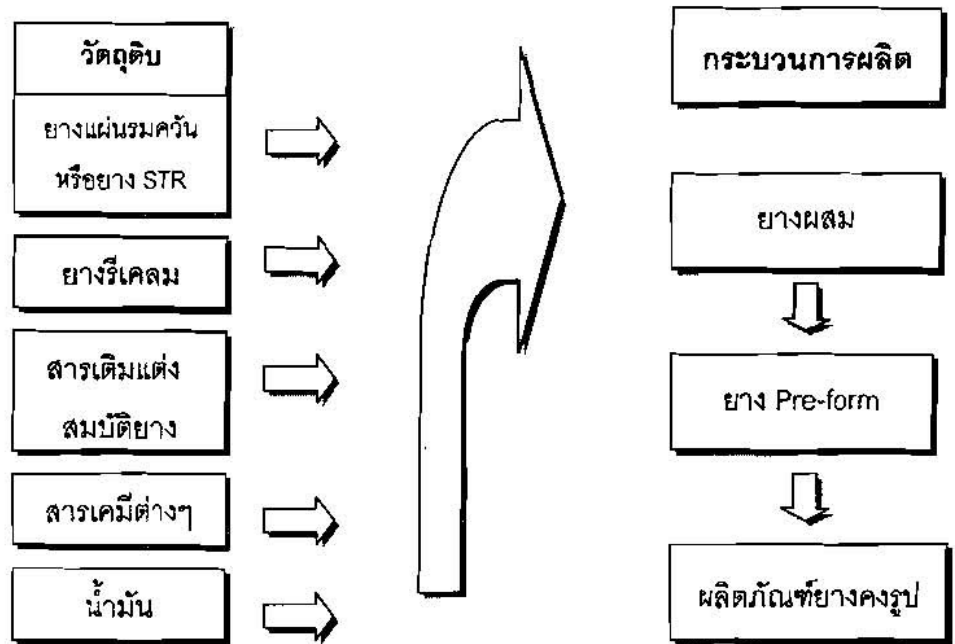
- 3.3.1.1 ชั่งยางแผ่นรมควันชั้น 3 หรือยางแท่ง STR 5L, ยางรีเคลม และสารเคมีต่างๆ ตามสูตร
- 3.3.1.2 บดผสมยางแผ่นรมควันชั้น 3 และยางรีเคลมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องบดผสมยางแบบลูกกลิ้ง (หรือ เครื่อง Banbury, Kneader)
- 3.3.1.3 เติม CaCO_3 , White Clay และ Naphthenic Oil
- 3.3.1.4 เติม สารกระตุ้นสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป ได้แก่ ZnO และ Stearic Acid
- 3.3.1.5 เติมสารเร่งปฏิกิริยายางคงรูป ได้แก่ MBTS และ DPG และสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Anox T)
- 3.3.1.6 เติมกำมะถัน
- 3.3.1.7 รีดยางผสมสารเคมีด้วย Two-roll Mill ให้มีขนาดเหมาะสมเพื่อเตรียมชิ้นยางใส่ในแบบพิมพ์

- หมายเหตุ**
1. ในการผสมยางคอมปาวด์เพื่อการวิจัย ใช้เครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้งที่กรมวิทยาศาสตร์บริการ
 2. ในการผสมยางคอมปาวด์เพื่อทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ใช้เครื่อง Kneader ที่สถาบันวิจัยยางบางเขน และเครื่อง Banbury ที่บริษัท NCR รับเบอร์อินดัสตรี จำกัด

3.3.2 การขึ้นรูป และการทำให้ยางคงรูป (Forming and Vulcanizing)

3.3.2.1 นำยางผสมสารเคมีที่ตัดได้ขนาดพอเหมาะใส่ลงในแบบพิมพ์ โดยใส่ยางชั้นล่าง 3 ส่วน และยางชั้นบน 1 ส่วน

3.3.2.2 ขึ้นรูปยางในแบบพิมพ์ และทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาคงรูป ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิค พร้อมให้แผ่นความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C นาน 10 นาที สำหรับบล็อกยางปูพื้น และ 160°C นาน 20 นาที สำหรับยางขวางถนนจำกัดความเร็ว



รูปที่ 13 : แผนผังแสดงกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ยาง

3.3.3 การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางคงรูป

ยางคงรูปที่ได้จะต้องเก็บไว้อย่างน้อย 1 วัน จึงนำมาทดสอบสมบัติเชิงกลดังต่อไปนี้

- 3.4.1 ความแข็ง (Durometer Hardness)
- 3.4.2 โมดูลัสที่ความยืด 50 % (Modulus at 50 % Elongation)
- 3.4.3 ความต้านแรงดึง (Tensile strength)
- 3.4.4 ความยืดขณะขาด (Elongation at Break)
- 3.4.5 การเร่งอายุการใช้งาน (Accelerated Aging)
- 3.4.6 การยุบตัวจากแรงอัด (Compression Set)

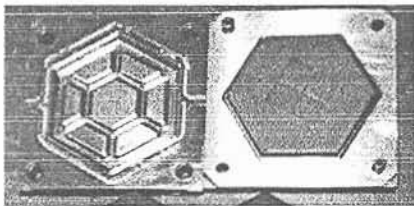
บทที่ 4

ผลการทดลอง

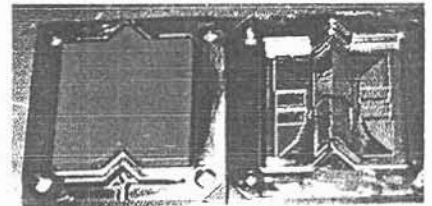
4.1 แบบพิมพ์และผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

4.1.1 ได้ออกแบบและจัดทำแบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น จำนวน 5 แบบและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 1 แบบ ดังนี้

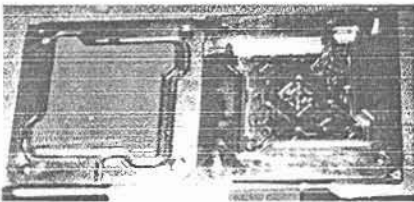
แบบที่ 1 : แบบหกเหลี่ยม



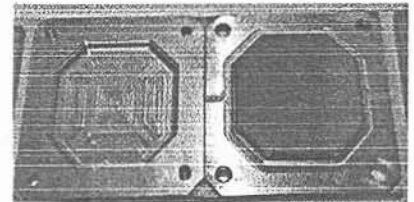
แบบที่ 2 : แบบสี่เหลี่ยมต่อตรงกลาง



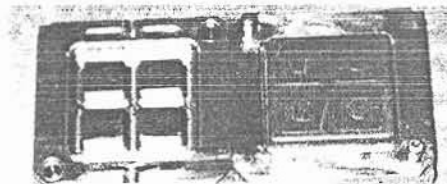
แบบที่ 3 : แบบสี่เหลี่ยมต่อตรงมุม



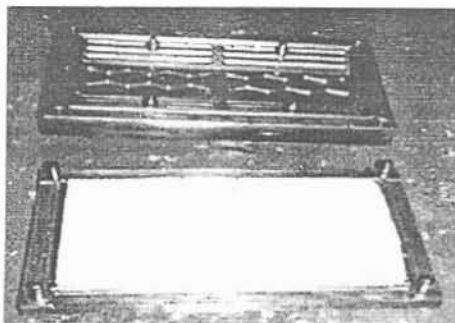
แบบที่ 4 : แบบแปดเหลี่ยม



แบบที่ 5 : แบบหกเหลี่ยมเล็ก



รูปที่ 13 ก : แบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น



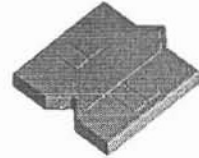
รูปที่ 13 ข : แบบพิมพ์ยางวางถนนจำกัดความเร็ว

4.1.2 ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์ดินแบบบล็อกยางปูพื้น จำนวน 5 แบบ และยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 1 แบบ ดังนี้

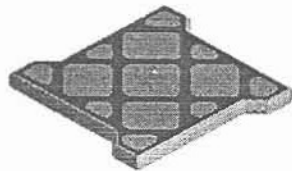
แบบที่ 1 : แบบหกเหลี่ยม



แบบที่ 2 : แบบสี่เหลี่ยมต่อตรงกลาง



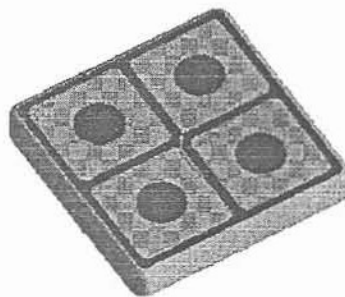
แบบที่ 3 : แบบสี่เหลี่ยมต่อตรงมุม



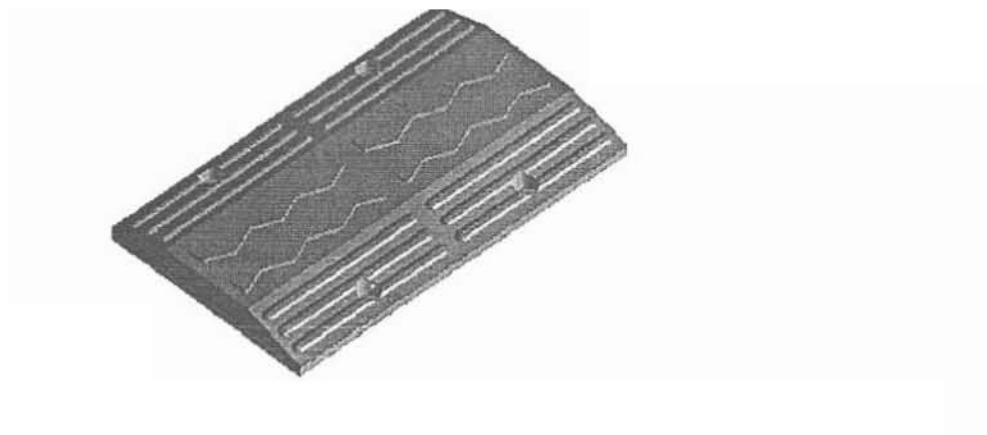
แบบที่ 4 : แบบแปดเหลี่ยม



แบบที่ 5 : แบบสี่เหลี่ยมเล็ก



รูปที่ 14 ก : บล็อกยางปูพื้นดินแบบ



รูปที่ 14 ข : ยางขวางถนนจำกัดความเร็วต้นแบบ

ตารางที่ 3 : สมบัติเชิงกลของยางสูตรต่างๆ เปรียบเทียบกับยางของสถาบันวิจัยยาง (สว.ยาง) และของโรงงานที่จำหน่ายในท้องตลาด

สูตร	Hardness (Shore A)		Tensile Strength (MPa)		Modulus at 50% Elongation (MPa)		Elongatin at Break (%)		Compression Set (%)
	Unaged	Aged	Unaged	Aged	Unaged	Aged	Unaged	Aged	
บดดอกยาง สว. ยาง	74	73	6.1	5.8	4.1	5.2	150	90	49
บดดอกยางโรงงาน	65	64	2.2	1.9	-	-	47	29	16
ยางขวางถนนโรงงาน	79	79	4.9	4.5	3.0	3.6	237	146	26
สูตรยางชิ้นล่าง จำนวน 5 สูตร คือ LO 1 - LO 5									
LO 1	80	80	3.8	3.3	2.9	2.9	241	191	33
LO 2	80	84	5.7	5.5	4.5	5.3	191	74	67
LO 3	68	70	7.3	5.6	1.9	2.5	333	269	26
LO 4	82	87	5.5	5.5	5.1	5.3	125	83	76
LO 5	73	78	10.2	7.7	4.3	5.3	245	113	64
สูตรยางชิ้นบน จำนวน 5 สูตร คือ UP 1 - UP 5									
UP 1	65	68	9.0	7.3	2.0	2.0	423	423	27
UP 2	55	60	10.8	9.9	1.2	1.6	494	459	20
UP 3	66	71	7.7	7.6	2.0	2.0	410	354	48
UP 4	70	73	6.3	5.7	1.3	1.8	343	315	36
UP 5	50	54	8.3	7.5	1.6	1.6	542	501	29

4.2 ต้นทุนในการผลิตบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

ตารางที่ 4 : ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์

เครื่องจักร	ราคา/หน่วย (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)	ค่าเสื่อม/ก้อน (บาท/กก.)
เครื่องบดผสมชนิดเดออร์ ขนาดความจุ 75 ลิตร	2,400,000	20	120,000	0.52
เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นิ้ว	2,000,000	20	100,000	0.43
เครื่องอัดยางขนาด 30 นิ้ว	800,000	20	80,000	0.34
แบบพิมพ์บล็อกยาง 5 ชุด และ ยางขวางถนนจำกัดความเร็ว 1 ชุด	500,000	20	25,000	0.11

กำลังผลิต

กำลังผลิต 96 ก้อนต่อชั่วโมง หรือ 768 ก้อนต่อวัน

(วันทำงาน 1 ปี 300 วัน) กำลังผลิต/ปี = 230,400 ก้อน

แรงงาน 5 คน (150 x 5) = 750 บาท

1. ต้นทุนคงที่

ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร/อุปกรณ์ = 1.40 บาท/กิโลกรัม

2. ต้นทุนแปรผัน

ค่าจ้างแรงงาน = 0.97 บาท/กิโลกรัม

ค่าวัตถุดิบ (ยาง + สารเคมี) ดู ตารางที่ 3

ค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมเครื่องจักร (5% ต่อปี) = 0.06 บาท/กิโลกรัม

ค่าน้ำ + ค่าไฟ = 5.61 บาท/กิโลกรัม

ตารางที่ 5 : ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง

สูตร	ราคาวัตถุดิบ(บาท)/กิโลกรัม	ราคารวมค่าสาธารณูปโภค(บาท)/กิโลกรัม
RB (สถาบันวิจัยยาง)	15.00	26.13
RB (โรงงาน)	-	37.50
RSH (โรงงาน)	-	40.00
LO 1	10.63	18.69
LO 2	13.78	21.84
LO 3	14.14	22.20
LO 4	16.92	24.98
LO 5	18.71	26.77
UP 1	13.27	21.33
UP 2	15.15	23.21
UP 3	16.36	24.42
UP 4	17.89	25.95
UP 5	20.14	28.20

RB = บล็อกยางปูพื้น

RSH = ยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

ตารางที่ 6 : ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง (รวมค่าสาธารณูปโภค) อัตราส่วนของยางชั้นบนต่อยางชั้นล่าง 1 : 3

หน่วย : บาท/กิโลกรัม		สูตรยางชั้นล่าง				
		LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	LO 5
สูตรยางชั้นบน	ราคายาง	14.02	16.38	16.65	18.74	20.08
UP 1	5.33	19.35	21.71	21.98	24.07	25.41
UP 2	5.80	19.82	22.18	22.45	24.54	25.88
UP 3	6.11	20.12	22.49	22.76	24.84	26.18
UP 4	6.49	20.51	22.87	23.14	25.22	26.57
UP 5	7.05	21.07	23.43	23.70	25.79	27.13

ตารางที่ 7 : ตัวอย่างต้นทุนต่อก้อนของผลิตภัณฑ์ยาง ($\frac{1}{4}$ ของยางชั้นบน(สูตร UP 1) และ $\frac{3}{4}$ ของยางชั้นล่าง (สูตร LO 1))

รูปแบบ/ชนิด	น้ำหนักต่อก้อน(กรัม)	ราคาต้นทุน(บาท)/ก้อน (รวมค่าสาธารณูปโภค)
บล็อกยางปูพื้น		
- รูปแบบที่ 1 (ทกเหลี่ยม)	1189	23
- รูปแบบที่ 2 (สี่เหลี่ยมตัดตรงกลาง)	1363	26
- รูปแบบที่ 3 (สี่เหลี่ยมต่อตรงมุม)	1648	32
- รูปแบบที่ 4 (แปดเหลี่ยม)	1456	28
- รูปแบบที่ 5 (สี่เหลี่ยมเล็ก)	487	10
ยางขวางถนนจำกัดความเร็ว	84200	163

บทที่ 5

วิจารณ์ผลและสรุปผลการศึกษาทดลอง

5.1 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการศึกษาทดลองได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์บล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว โดยทำเป็นยาง 2 ชั้น เพื่อให้ราคาต้นทุนถูกลง มีความคงทนสวยงาม และมีคุณภาพดี ตรงตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

สูตรยางชั้นบน และชั้นล่างได้ทำการศึกษาโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของยางและสารเติมแต่งสมบัติยาง ทั้ง Calcium Carbonate, White Clay และสารเคมีอื่นๆ ในปริมาณที่ต่างกัน แล้วนำไปทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำยางคงรูปด้วยเครื่อง Rheometer และขึ้นรูปยางเพื่อทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเชิงกล จนได้ยางที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ และทดสอบคุณสมบัติการใช้งานจนมั่นใจในคุณภาพ ประสิทธิภาพ และความทนทานในการใช้งาน

แม้ว่าราคาบล็อกยางปูพื้นจะสูงกว่าอิฐบล็อกก็ตาม แต่บล็อกยางปูพื้นมีความปลอดภัยในการใช้งานสูงกว่าอิฐบล็อกมาก โดยเฉพาะเมื่อนำไปใช้ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุสูง เช่น บ้านพักคนพิการ บ้านพักคนชรา โรงพยาบาล สนามกีฬา สนามเด็กเล่น และทางเดินเท้า ซึ่งบล็อกยางปูพื้นจะสามารถช่วยประหยัดค่ารักษาพยาบาลอันเกิดจากอุบัติเหตุต่างๆ ลงได้มาก จึงทำให้มีความคุ้มค่ามากกว่าการใช้อิฐบล็อก

ในส่วนของยางขวางถนนจำกัดความเร็ว นอกจากจะทำให้มีความสวยงาม มองเห็นได้ง่ายชัดเจนแล้ว ยางขวางถนนจำกัดความเร็วยังมีความยืดหยุ่นสูง จะช่วยรักษารถยนต์ไม่ให้เกิดการสึกหรอ หรือเสียหาย เมื่อวิ่งข้าม ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมรถยนต์ได้อีกทางหนึ่งด้วย

5.2 สรุปผลการศึกษาทดลอง

5.2.1 ได้กำหนดคุณลักษณะ (Specification) ของยางที่ใช้ทำบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว ดังต่อไปนี้

	ยางชั้นล่าง	ยางชั้นบน
ความแข็ง, Shore A	70-80	50-70
โมดูลัสที่ความยืด 50%, MPa	< 4	< 2
ความต้านแรงดึง, MPa	> 5	> 7
ความยืดขณะขาด, %	> 200	> 400
การยุบตัวจากแรงอัด, %	< 40	< 40
การเร่งอายุ ที่ 70 °C เวลา 168 ชั่วโมง		
ความแข็งเพิ่มขึ้น, Shore A	≤ 5	≤ 5

	ยางชั้นล่าง	ยางชั้นบน
ความต้านแรงดึงลดลง, %	≤ 15	≤ 15
ความยืดขณะขาดลดลง, %	≤ 40	≤ 40

5.2.2 ได้ออกแบบบล็อกยางปูพื้น จำนวน 5 แบบ และยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 1 แบบ

5.2.3 ได้สูตรและสภาวะการผลิตที่เหมาะสมสำหรับการทำบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว จำนวน 10 สูตร คือ

สูตรยางชั้นล่าง : LO 1, LO 2, LO 3, LO 4, และ LO 5

สูตรยางชั้นบน : UP 1, UP 2, UP 3, UP 4, และ UP 5

สภาวะที่เหมาะสมในการทำให้ยางคงรูปคือที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 10 นาที

5.2.4 ได้จัดทำแบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น จำนวน 5 แบบพิมพ์ และยางขวางถนนจำกัดความเร็วจำนวน 1 แบบพิมพ์

5.2.5 ได้ทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบบล็อกยางปูพื้นจำนวน 5 แบบ และยางขวางถนนจำกัดความเร็วจำนวน 1 แบบ

5.2.5.1 ได้ทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

5.2.5.2 ได้คำนวณต้นทุนการผลิตบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็วดังนี้

ตารางที่ 7 : ราคาต้นทุนของบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

รูปแบบ/ชนิด	ต้นทุน เฉพาะวัตถุดิบ, บาท/ก้อน	ราคาต้นทุนทั้งหมด, บาท/ก้อน
บล็อกยางปูพื้น		
รูปแบบที่ 1 (หกเหลี่ยม)	14.80	23
รูปแบบที่ 2 (สี่เหลี่ยมคอกกลาง)	16.97	26
รูปแบบที่ 3 (สี่เหลี่ยมต่อมุม)	20.52	32
รูปแบบที่ 4 (แปดเหลี่ยม)	18.13	28
รูปแบบที่ 5 (สี่เหลี่ยมเล็ก)	6.07	10
ยางขวางถนนจำกัดความเร็ว		
ชนิดสีดำ	99.54	145
ชนิดสีเหลือง	133.79	181

5.2.6 ถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตบล็อกยางปูพื้น และยางขวางถนนจำกัดความเร็วให้แก่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก, ขนาดกลาง และผู้สนใจรับไปผลิตในเชิงพาณิชย์ จำนวน 4 ราย ได้แก่

1. บริษัท บางกอกคาสเตอร์อินดัสตรี จำกัด
2. บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด
3. บริษัท อัลลายด์ คอบสเตอร์ชั่น เดมิคอลล จำกัด
4. คุณจิโนรส แต่สุวรรณ

ซึ่งยังไม่ครบตามแผนงานการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่กำหนดไว้จำนวน 5 ราย เนื่องจากรายที่ 5 ได้ขอเลื่อนการรับการถ่ายทอดออกไปเป็นเดือนตุลาคม 2545

การศึกษาวิจัยได้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ถึงแม้จะมีปัญหาและอุปสรรคที่คาดไม่ถึงอยู่บ้าง เช่น เครื่องมือ/เครื่องจักรเสีย ความไม่สะดวกในการขอใช้เครื่องมือ/เครื่องจักรนอกสถานที่ และ ปัญหาโรงงานอุตสาหกรรมบางที่ขอรับการถ่ายทอดเทคโนโลยียังไม่พร้อม เป็นต้น แต่ปัญหาต่างๆ เหล่านี้ก็ได้รับการแก้ไขจนสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

กิตติกรรมประกาศ

สถาบันวิจัยยาง บางเขน

อนุเคราะห์ แบบพิมพ์บล็อกยางปูพื้น, เครื่องจักร/อุปกรณ์ และสถานที่ สำหรับการทดลอง ในระหว่างที่เครื่องจักรของกรมวิทยาศาสตร์อยู่ระหว่างการซ่อมแซม และการทดลองทำผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

บริษัท ยูโนเด็ตรับเบอร์ จำกัด

อนุเคราะห์ ตัวอย่าง บล็อกยางปูพื้น และยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

บริษัท ปูนคุณภาพ จำกัด

อนุเคราะห์ Calcium Carborate จำนวน 5 ตู

บริษัท NCR รับเบอร์อินดัสตรี จำกัด

อนุเคราะห์ การบดผสมยางด้วยเครื่อง Banbury

ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมเซรามิก กรมวิทยาศาสตร์บริการ

อนุเคราะห์ ออกแบบบล็อกยางปูพื้นและยางขวางถนนจำกัดความเร็ว

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทดสอบ

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

อนุเคราะห์ จัดทำแบบพิมพ์

ผู้อำนวยการกองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ตลอดโครงการ 2 ปี

บรรณานุกรม

1. Japanese Standards Association. **Physical Testing Methods for Vulcanized Rubber.**
JISK 6301. 1995
2. พายัพ นามประเสริฐ. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง.** วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ.
ฉบับที่ 128 มกราคม 2535 และ ฉบับที่ 129 พฤษภาคม 2535
3. ส่วนอุตสาหกรรมยาง, สถาบันวิจัยยาง, **เอกสารเผยแพร่ การผลิตอิฐยาง 9 ตุลาคม 2541**

ภาคผนวก ก

ส่วนประกอบของยางสูตรต่างๆ

ส่วนประกอบ	สูตรยางชั้นล่าง					สูตรยางชั้นบน				
	LO 1	LO 2	LO 3	LO 4	LO 5	UP 1	UP 2	UP 3	UP 4	UP 5
ยางแผ่นรมควันชั้น 3	50	50	50	50	50	100	100	100	100	100
ยางวีคอดม	50	50	50	50	50	-	-	-	-	-
CaCO ₃	200	100	100	-	-	200	150	100	100	50
White Clay	-	100	-	200	100	-	-	100	-	50
Naphthenic Oil	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Stearic Acid	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Antioxidant	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MBTS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DPG	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sulphur	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Colour Pigment	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5
Wax	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5

ภาคผนวก ข

สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. Vulcanizing Agents หรือ Curing Agents (สารวัลคาไนซ์ยาง)

ช่วยให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง

Sulphur เป็นสารไม่เป็นพิษ มีกลิ่น สีเหลือง ความถ่วงจำเพาะ 2.07 จุดเดือด 238 °F มีความบริสุทธิ์ 99.5% และมีเถ้าไม่เกิน 0.5% ความละเอียด 98% ผ่าน 325-Mesh Screen, Free-Flowing powder และละลายใน acetone, Carbon Disulphide, Sulphur Chloride, Benzene และ Turpentine.

2. Vulcanization Accelerators (สารตัวเร่ง)

ช่วยให้ยางวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น

2.1 Mercaptobenzothiazole Disulphide หรือ MBTS

เป็นสารมีกลิ่น ไม่เป็นพิษ สี Pale Yellow Free-Flowing Powder ความถ่วงจำเพาะ 1.54 จุดเดือด 160 °C ความละเอียด 99.5% ผ่าน 100 Mesh Screen มีเสถียรภาพดีมาก

2.2 Diphenyl Guanidine หรือ DPG

สีขาว ถึง Pinkish-White มีกลิ่นเล็กน้อย ความถ่วงจำเพาะ 1.17-1.23 ปริมาณเถ้า ไม่เกิน 0.3% ความละเอียด 0.05% Retained on 100-Mesh Screen จุดเดือด 146 °C ละลายใน Acetone, Benzene, Ethanol, Ethyl Acetate, และ Methylene Chloride มีเสถียรภาพในการเก็บรักษาเป็นอย่างดี ไม่เป็นอันตราย

3. Accelerator Activators (สารกระตุ้นตัวเร่ง)

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของตัวเร่ง

3.1 Zinc Oxide

ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษ สีขาว ความถ่วงจำเพาะประมาณ 5.6 มีหลายความบริสุทธิ์ และหลายความละเอียด

3.2 Stearic Acid

สีขาว มีทั้งเป็นผง และ เกล็ด ไม่มีพิษ ความถ่วงจำเพาะ 0.84 จุดเดือด 126-133 °F มีกลิ่น Mild Fat

4. Antidegradants (สารป้องกันการเสื่อมสภาพ)

ป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยา Oxidation

Antioxidants (Anox T)

สี Light Yellow-Orange ความถ่วงจำเพาะ 0.91-0.93 ละลายใน สาร Organic ทัวไป และ ไม่ละลายในน้ำ

5. Fillers (สารตัวเติม)

- ช่วยเสริมความเหนียวและแข็งแรง
- ช่วยเพิ่มเนื้อผลิตภัณฑ์
- ช่วยลดต้นทุนการผลิต

5.1 Calcium Carbonate

ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ สีขาว ความถ่วงจำเพาะ 2.65-2.95 มีหลายความบริสุทธิ์และหลายความละเอียด

5.2 White Clay

ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ แห้ง สีขาว ความถ่วงจำเพาะ ประมาณ 2.60 มีหลายความบริสุทธิ์และหลายความละเอียด

6. Processing Aids (สารช่วยการแปรรูป)

ช่วยให้ยางแปรรูปได้ง่ายขึ้น มีความหนืดลดลง

6.1 Naphthenic Oil

สีเหลืองอ่อน ความถ่วงจำเพาะ 0.9279

7. Pigments (สารให้สี)

ใช้สี Inorganic ดังต่อไปนี้

- Synthetic iron oxide α -Fe₂O₃ (สีแดง)
- Synthetic iron oxide α -FeOOH (สีเหลือง)
- Chrome oxide Cr₂O₃ (สีเขียว)

ภาคผนวก ค

อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาของยางสูตรต่างๆ

สูตร	Max torq (dNm)	Min torq (dNm)	ts1 (min)	ts2 (min)	tc10 (min)	tc50 (min)	tc90 (min)
ยางชั้นล่าง							
LO 1	66.64	2.08	0.83	0.92	1.03	1.44	3.14
LO 2	33.66	6.70	1.31	1.42	1.44	1.94	2.53
LO 3	79.37	2.16	1.10	1.21	1.46	2.29	4.29
LO 4	86.89	4.02	0.92	1.00	1.22	2.06	4.08
LO 5	93.89	10.95	1.14	1.19	1.36	1.97	4.28
ยางชั้นบน							
UP 1	21.03	0.21	1.16	1.22	1.22	2.14	4.28
UP 2	88.08	2.53	1.78	1.86	2.03	2.64	4.25
UP 3	11.85	0.53	2.33	2.47	2.34	3.45	7.29
UP 4	94.93	2.53	2.39	2.50	2.69	3.19	5.11
UP 5	68.65	3.05	3.03	3.22	3.53	4.39	7.03

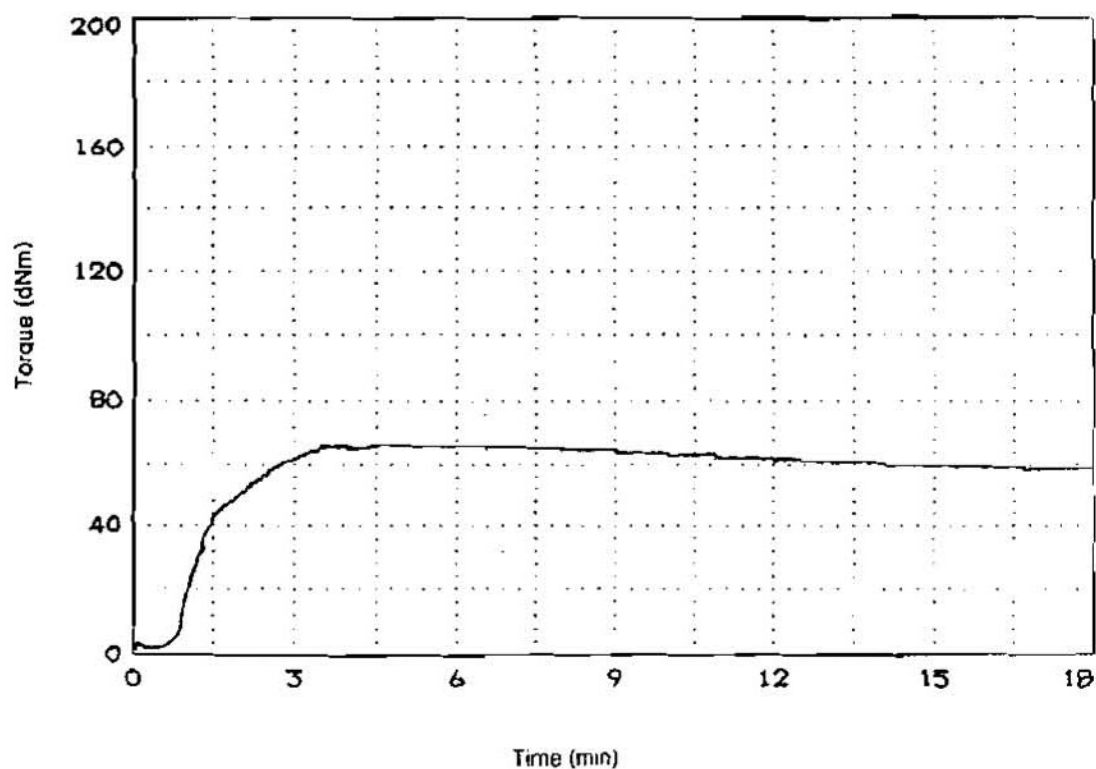
Rheometer Summary Report

Rubber Technology Division

Friday March 16, 2001

COMPOUND ID: LO 1	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+03/16/01	LO 1	66.64	2.08	0.83	0.92	1.03	1.44	3.14	P



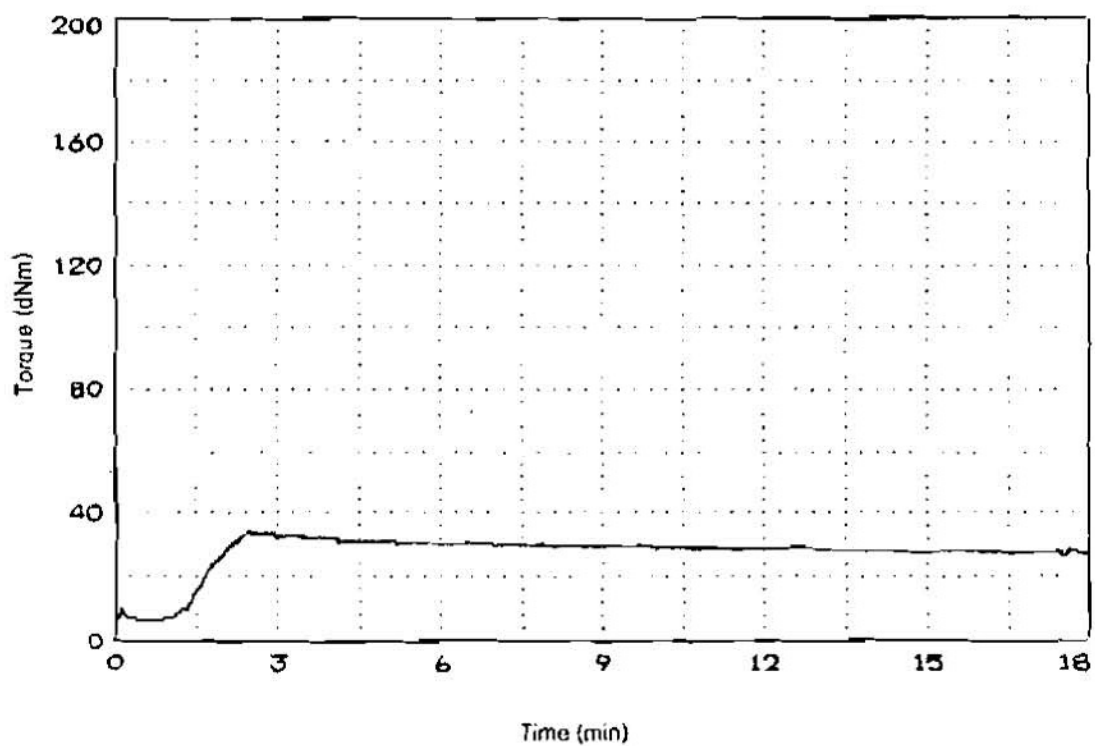
รูปที่ ค-1 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 1 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 0.92 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 3.14 นาที

Rheometer Summary Report
Rubber Technology Division

Friday April 20, 2001

COMPOUND ID: LO 2 R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE
R CHART BANCE: 200 dNm R CHART SPEED: 20 min. R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC R TEMPERATURE: 150 C

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+04/20/01	LO 2	33.66	6.70	1.31	1.42	1.44	1.94	2.53	P



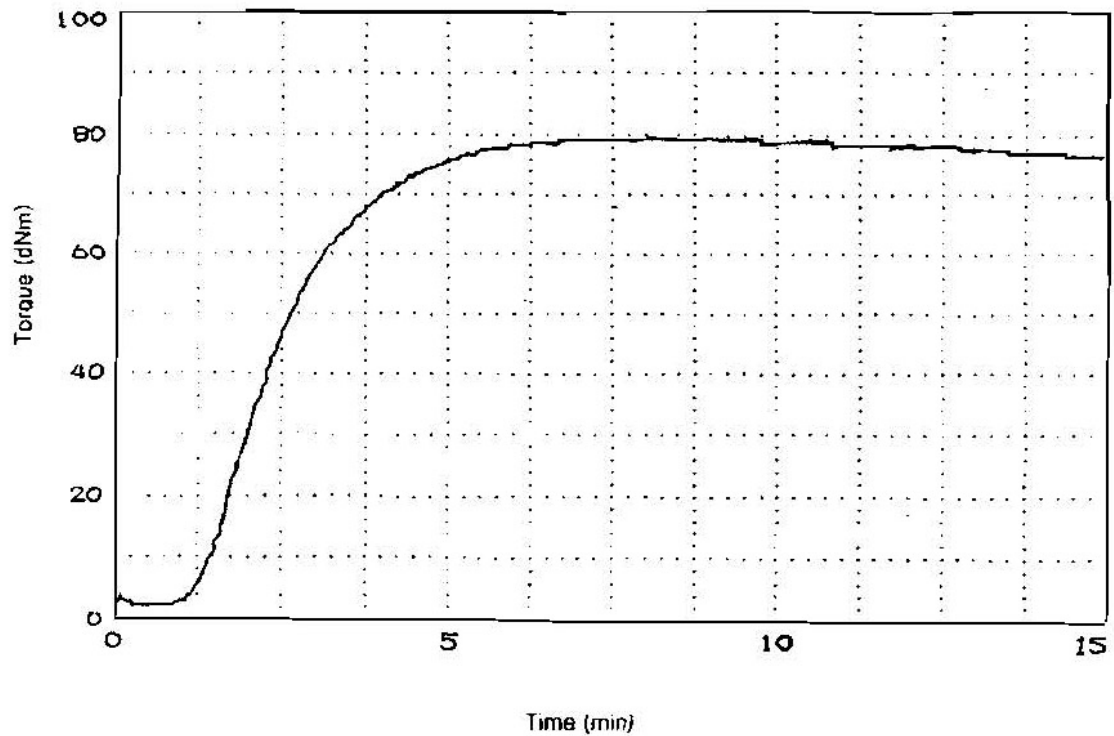
รูปที่ ค-2 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 2 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.42 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 2.53 นาที

Rheometer Summary Report Rubber Technology Division

Monday January 22, 2001

COMPOUND ID: LO 3	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 100 dNm	R CHART SPEED: 15 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
01/22/01	LO 3	79.37	2.16	1.10	1.21	1.46	2.29	4.29	P



รูปที่ ค-3 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 3 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.21 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.29 นาที

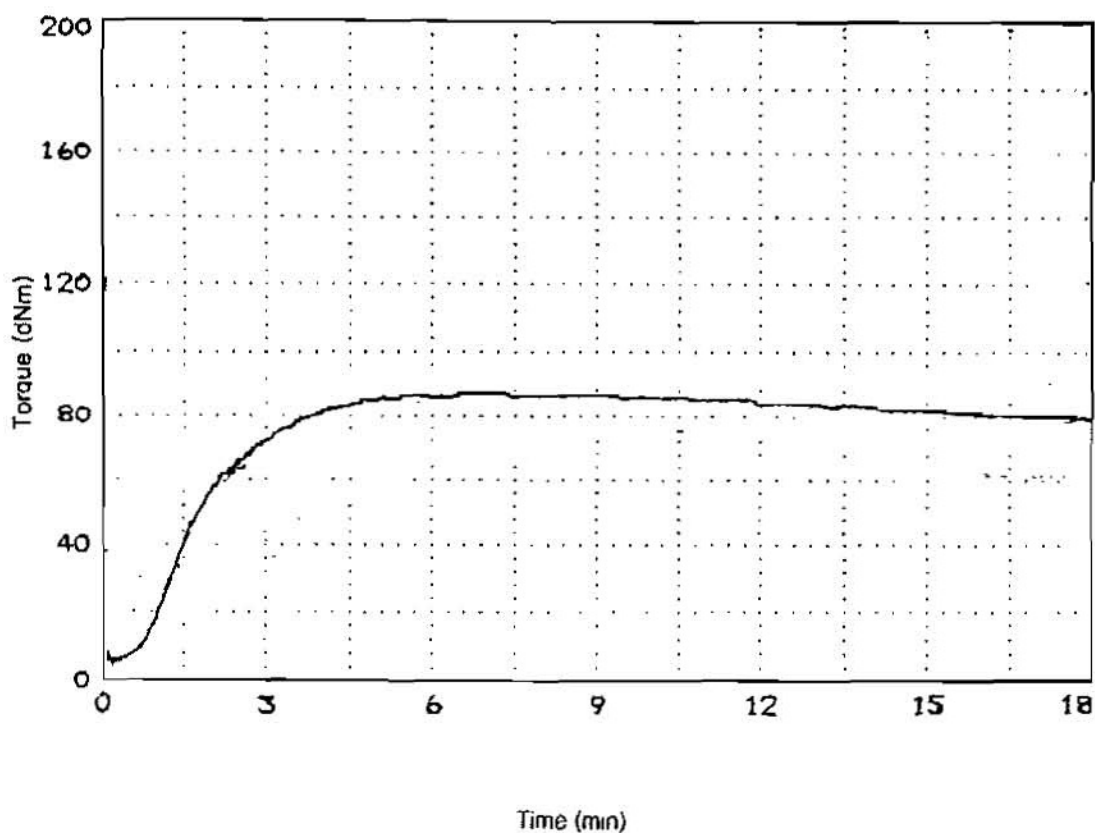
Rhometer Summary Report

Rubber Technology Division

Monday January 29, 2001

COMPOUND ID: LO 4	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+01/29/01	LO 4	86 89	4.02	0.92	1.00	1.22	2.06	4.08	P



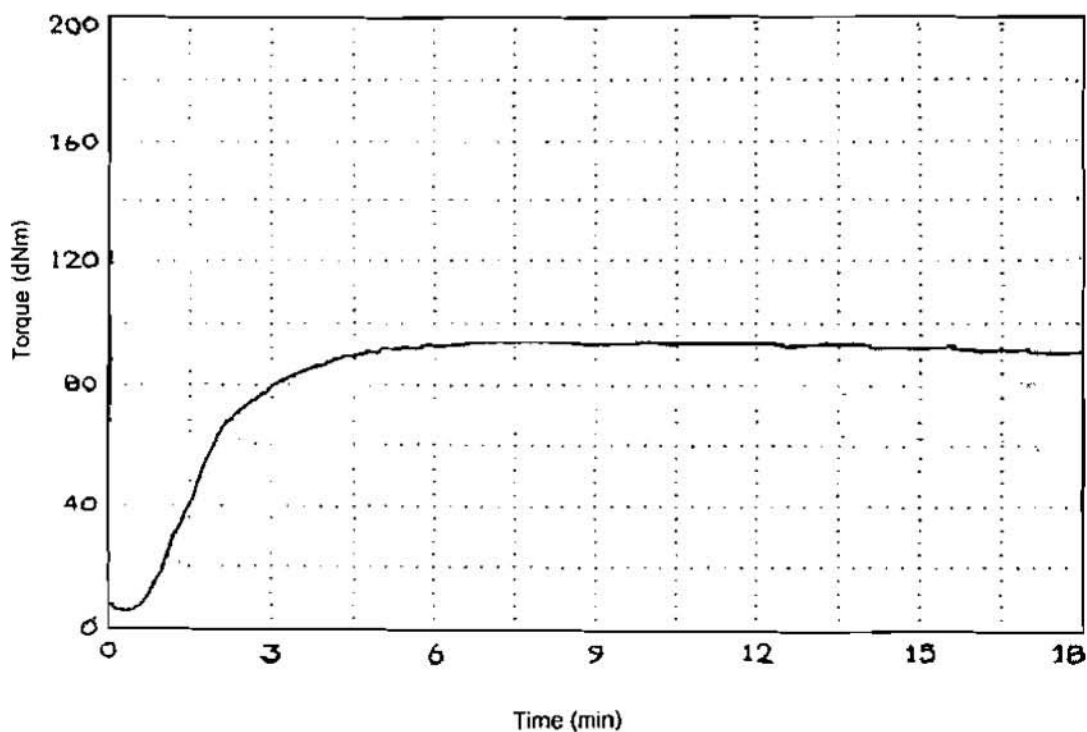
รูปที่ ค-4 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 4 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.00 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.08 นาที

Rheometer Summary Report
Rubber Technology Division

Monday January 29, 2001

COMPOUND ID: LO 5	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+01/29/01	LO 5	93.89	10.95	1.14	1.19	1.36	1.97	4.28	P



รูปที่ ค-5 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร LO 5 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.19 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.28 นาที

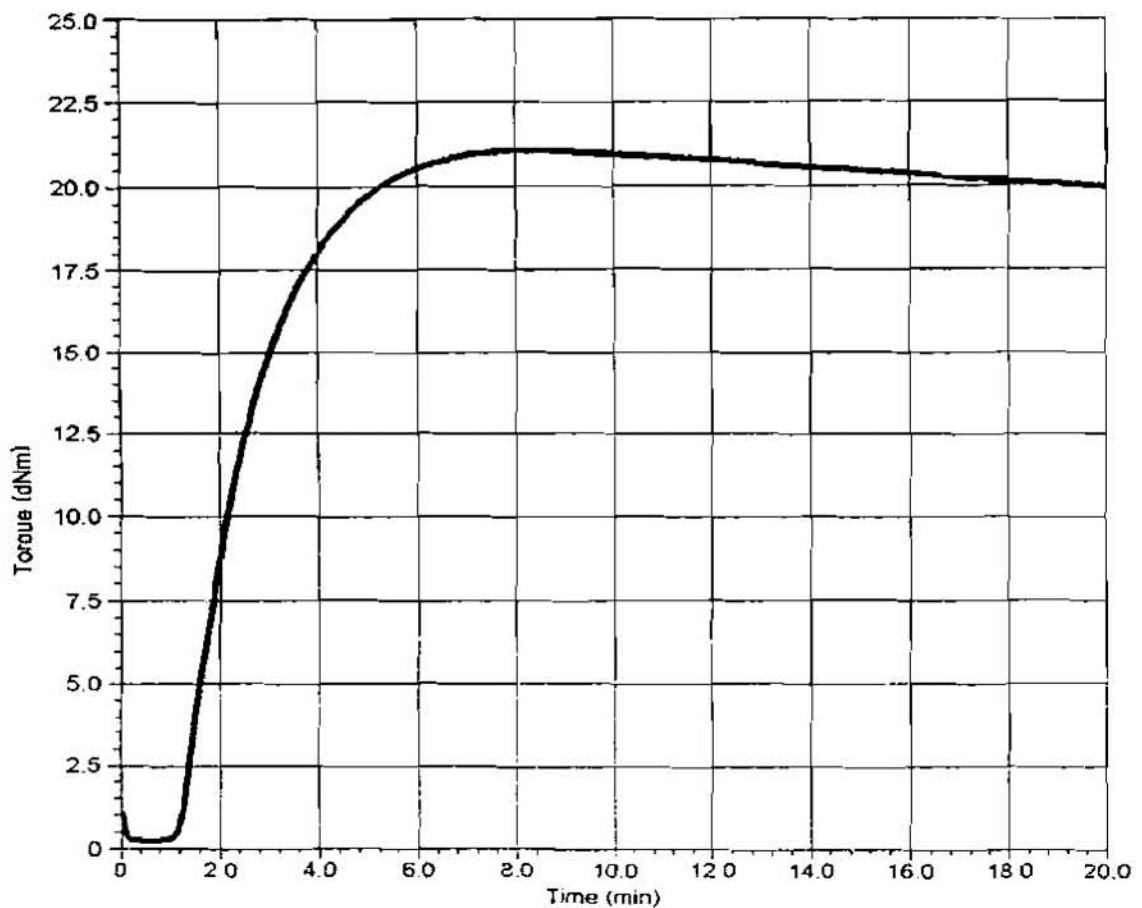
Rheometer Summary Report

Rubber Technology Division

Thursday March 30, 2001

COMPOUND ID: UP 1	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 250 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+03/30/01	UP 1	21.03	0.21	1.16	1.22	1.22	2.14	4.28	P



รูปที่ ค-6 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 1 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.22 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.28 นาที

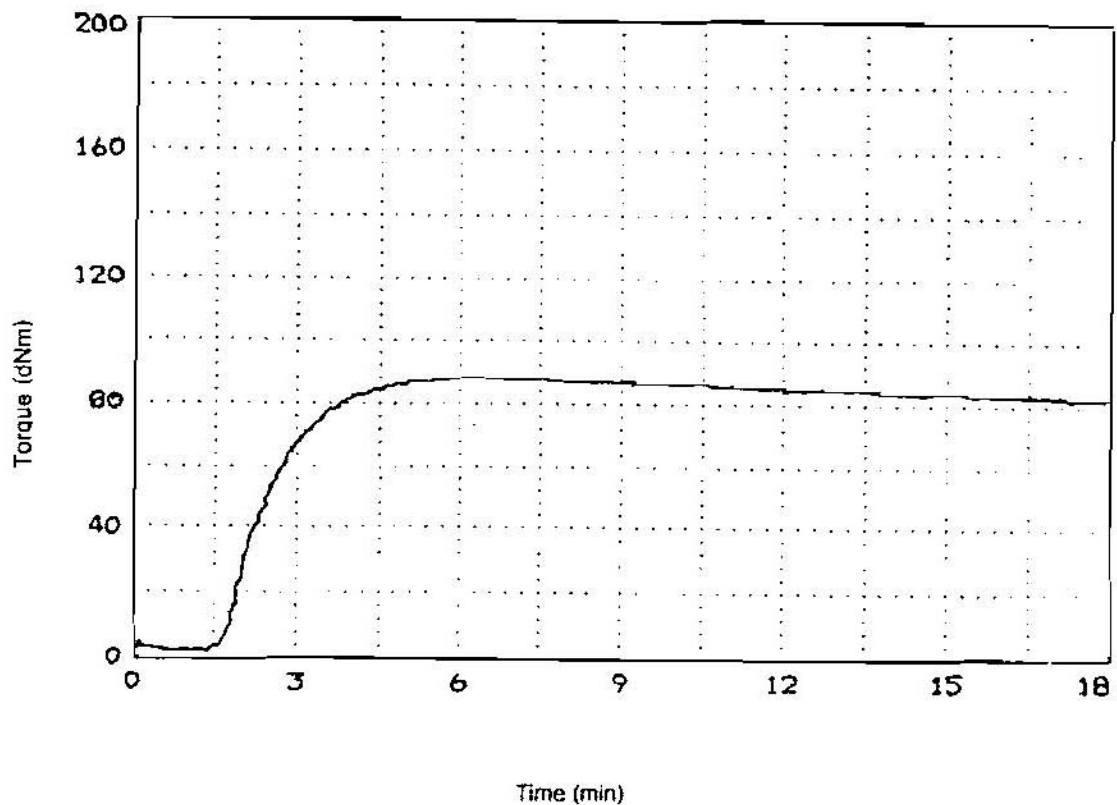
Rheometer Summary Report

Rubber Technology Division

Friday March 16, 2001

COMPOUND ID: UP 2	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+03/16/01	UP 2	88.08	2.53	1.78	1.86	2.03	2.64	4.25	P



รูปที่ ค-7 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 2 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 1.86 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 4.25 นาที

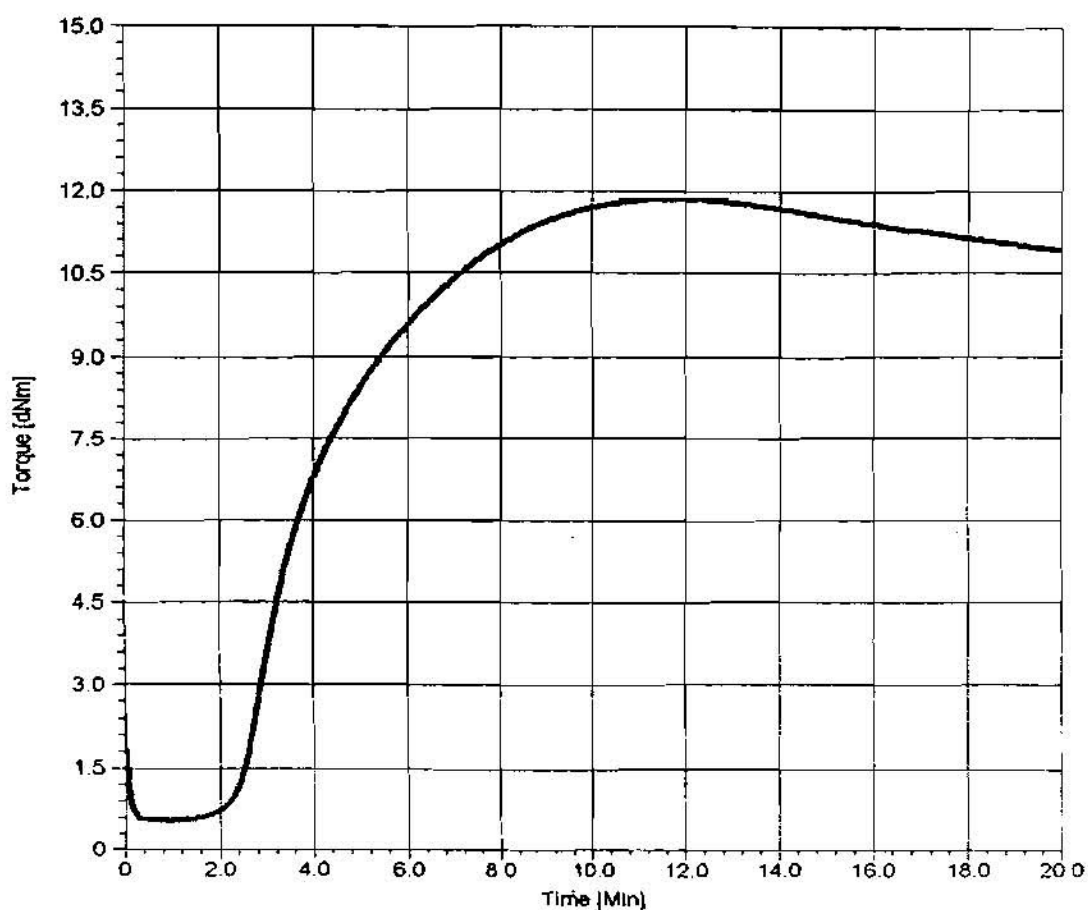
Rheometer Summary Report

Rubber Technology Division

Thursday March 30, 2001

COMPOUND ID: UP 3	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 150 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+03/30/01	UP 3	11.85	0.53	2.33	2.47	2.34	3.45	7.29	P



รูปที่ ค-8 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 3 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 2.47 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 7.29 นาที

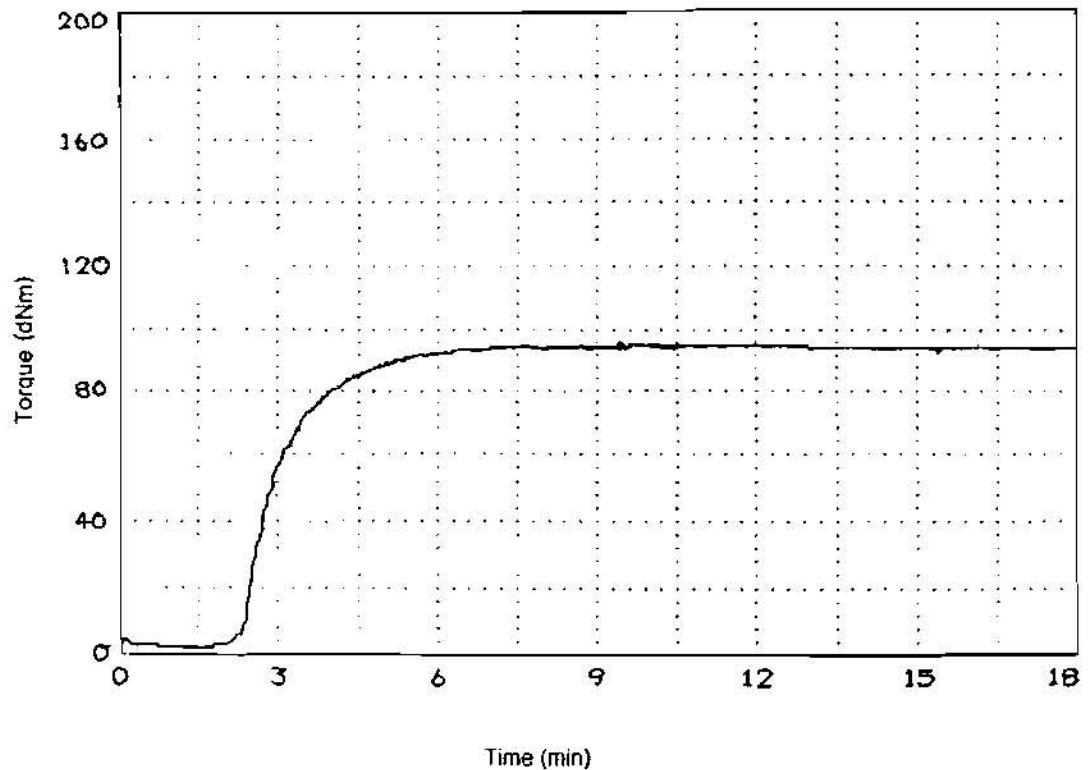
Rheometer Summary Report

Rubber Technology Division

Monday February 26, 2001

COMPOUND ID: UP 4	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+02/26/01	UP 4	94.93	2.53	2.39	2.50	2.69	3.19	5.11	P



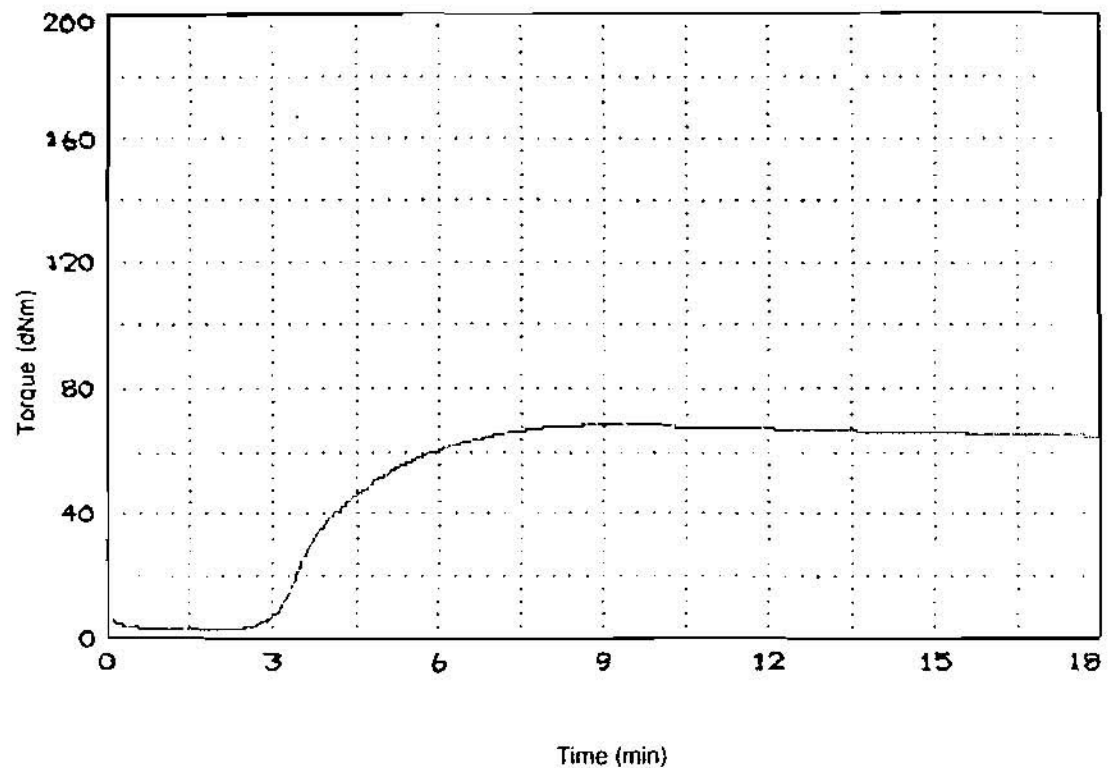
รูปที่ ค-9 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 4 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 2.50 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 5.11 นาที

Rheometer Summary Report
Rubber Technology Division

Monday February 26, 2001

COMPOUND ID: UP 5	R DESCRIPTION: SCIENCE SERVICE	
R CHART BANCE: 200 dNm	R CHART SPEED: 20 min.	R DEGREE ARC: 3.00%
R DIE TYPE: MPC	R TEMPERATURE: 150 C	

MIXDATE	TEST ID	MAX TORQ	MIN TORQ	ts1	ts2	tc10	tc50	tc90	P/F
+02/26/01	UP 5	68.65	3.05	3.03	3.22	3.53	4.39	7.03	P



รูปที่ ค-10 : Rheometer Curve ของสูตรยางชั้นล่างสูตร UP 5 : ระยะเวลาเริ่มคงรูป (t_2) 3.22 นาที,
ระยะเวลาคงรูป (t_{90}) 7.03 นาที

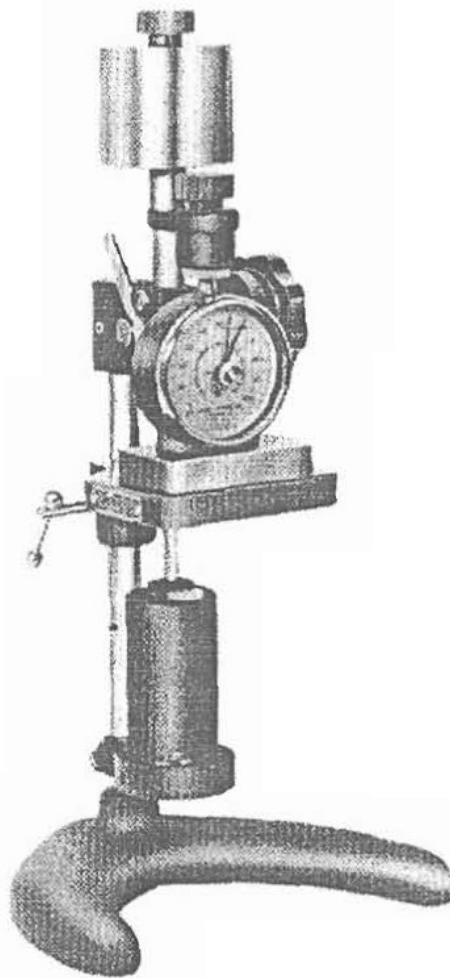
ภาคผนวก ง

การทดสอบสมบัติเชิงกล⁽¹⁾

1. การทดสอบความแข็งของยาง

1.1 เครื่องมือ

เครื่อง Spring Type Hardness Tester Type A (รูป ง-1)



รูปที่ ง-1: เครื่อง Spring Type Hardness Tester Type A

1.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

ตัดแผ่นยางเป็นชิ้นทดสอบ ขนาด กว้าง × ยาว = 7 × 7 ซม. ผิวน้ำทั้ง 2 ด้าน ต้องเรียบ และขนานกัน ถ้าแผ่นยางมีความหนาไม่ถึง 12 มม. ให้ซ้อนกันจนได้ความหนาไม่น้อยกว่า 12 มม.

1.3 วิธีทดสอบ

วางชิ้นทดสอบที่แทนสำหรับวางชิ้นทดสอบของเครื่องวัดความแข็ง ปล่อยให้เครื่องวัดความแข็งกดลงบนชิ้นทดสอบ โดยฐานของเครื่องวัดความแข็งสัมผัสสนิทกับผิวของชิ้นทดสอบ และห่างจากขอบของชิ้นทดสอบอย่างน้อย 5 มม. อ่านค่าที่หน้าปัดเครื่องวัดความแข็งทันทีเป็นค่าความแข็ง การวัดให้วัด ณ จุดต่าง ๆ ไม่ซ้ำกัน 5 จุด

1.4 การรายงานผล

ให้รายงานผลความแข็งเป็นค่าเฉลี่ยจากการวัด 5 ครั้ง หน่วยเป็น Shore A

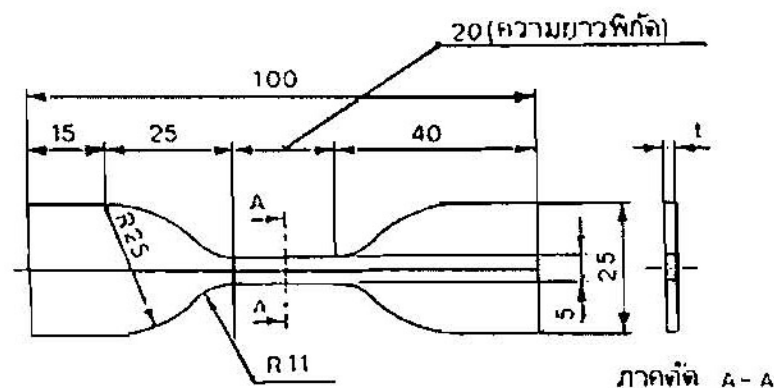
2. โมดูลัสที่ความยืด 50 %, ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด

2.1 เครื่องมือ

เครื่องทดสอบแรงดึง ต้องอ่านค่าแรงดึงสูงสุดได้ โดยมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน \pm ร้อยละ 2 และปากจับต้องเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 500 ± 25 มิลลิเมตรต่อนาที

2.2 การเตรียมชิ้นทดสอบ

2.2.1 ตัดแผ่นยางด้วยแบบตัดเป็นชิ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ มีขนาด และรูปร่าง ดังรูปที่ ง-2



รูปที่ ง-2 : ชิ้นทดสอบสำหรับทดสอบโมดูลัสที่ความยืด 50 %, ความต้านแรงดึง และความยืดขณะขาด

2.2.2 ใช้ชิ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น สำหรับโมดูลัสที่ความยืด 50 %, ความต้านแรงดึงและความยืด
 ณะขาด

2.2.3 วัดความหนาและความกว้างส่วนขนานของชิ้นทดสอบ ดังนี้

(1) เครื่องมือที่ใช้วัดความหนา ต้องวัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร และมีแป้นกดรูปวงกลม
 ผิวหน้าเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร กดชิ้นทดสอบด้วยแรง 0.80 ± 0.12 นิวตัน

(2) การวัดความหนา (t) ให้วัดหลาย ๆ จุด ในช่วงความยาวพิกัดของชิ้นทดสอบ และใช้ค่าต่ำ
 สุดเป็นความหนาของชิ้นทดสอบ ในการวัดจะต้องไม่ให้จุดศูนย์กลางของแป้นกดเลยขอบของชิ้น
 ทดสอบออกไป

(3) ความกว้างส่วนขนานของความยาวพิกัด ให้วัดจากความกว้างของแบบตัด

(4) ทำเครื่องหมายความยาวพิกัด 20 มิลลิเมตร ให้ถูกต้อง และเด่นชัดบนส่วนขนานของชิ้น
 ทดสอบ โดยให้จุดกึ่งกลางของส่วนขนานเป็นจุดกึ่งกลางของความยาวพิกัด

(5) พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบได้คำนวณ ดังนี้

พื้นที่ภาคตัดขวาง = ความหนา \times ความกว้าง ส่วนขนานของความยาวพิกัด

2.3 วิธีทดสอบ

จับชิ้นทดสอบกับปากจับของเครื่องทดสอบแรงดึงให้แน่น และไม่ให้เกิดการบิดในระหว่างทดสอบ ดึงชิ้น
 ทดสอบด้วยอัตราเร็ว 500 ± 25 มิลลิเมตรต่อนาที จนชิ้นทดสอบขาด อ่านค่าแรงดึงที่ความยืด 50%, แรงดึง
 สูงสุด พร้อมทั้งวัดระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวพิกัดขณะชิ้นทดสอบขาด

2.4 วิธีคำนวณ

คำนวณหาโมดูลัสที่ความยืด 50%, ความต้านแรงดึงและความยืดขณะขาด จากสูตรดังต่อไปนี้

2.4.1 โมดูลัสที่ความยืด 50 %

$$50 \% M = F_m / A$$

เมื่อ 50%M คือ โมดูลัสที่ความยืด 50% , เมกะพาสคัล

F_m คือ แรงดึงที่ความยืด 50%, นิวตัน

A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบ ก่อนทดสอบ, ตารางมิลลิเมตร

2.4.2 ความต้านแรงดึง

$$T_B = F_B / A$$

เมื่อ T_B คือ ความต้านแรงดึง, เมกะพาสคัล

F_B คือแรงดึงสูงสุดที่ทดสอบ, นิวตัน

A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบ ก่อนทดสอบ, ตารางมิลลิเมตร

2.4.3 ความยืดหยุ่นขนาด

$$E_g = ((L_1 - L_0) \times 100) / L_0$$

เมื่อ E_g คือ ความยืดหยุ่นขนาด, ร้อยละ

L_1 คือ ระยะระหว่างเครื่องหมายความยาวพิกัดขณะขึ้นทดสอบขนาด, มิลลิเมตร

L_0 คือ ความยาวพิกัด, มิลลิเมตร

2.5 การรายงานผล

ให้จัดเรียงค่าโมดูลัสที่ความยืด 50% ความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่นขนาดของขึ้นทดสอบของตัวอย่างแต่ละชิ้นจากมากไปหาน้อยตามลำดับ แล้วแทนด้วย

$$50\%M_1 > 50\%M_2 > 50\%M_3 \quad \text{สำหรับค่าโมดูลัสที่ความยืด 50\%}$$

$$T_{B1} > T_{B2} > T_{B3} \quad \text{สำหรับค่าความต้านแรงดึง และ}$$

$$E_{B1} > E_{B2} > E_{B3} \quad \text{สำหรับค่าความยืดหยุ่นขนาด แล้วคำนวณค่าเฉลี่ยโดยใช้สูตร ดังต่อไปนี้}$$

$$50\%M = 0.7 (50\%M_1) + 0.2 (50\%M_2) + 0.1 (50\%M_3)$$

$$T_B = 0.7T_{B1} + 0.2T_{B2} + 0.1T_{B3}$$

$$E_B = 0.7E_{B1} + 0.2E_{B2} + 0.1E_{B3}$$

3. เร่งอายุการใช้งาน (Aging)

ให้นำขึ้นทดสอบที่วัดความแข็งแรงเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมขึ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ เช่นเดียวกับข้อ 2.2 แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 °C เป็นเวลา 168 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปทดสอบตามข้อ 1.3 และข้อ 2.3

3.1 เครื่องมือ

3.1.1 เครื่องวัดความแข็ง เช่นเดียวกับของ 1.1

3.1.2 เครื่องทดสอบหาแรงดึง เช่นเดียวกับข้อ 2.1

3.1.3 ตู้อบ ต้องเป็นตู้อบที่เปลี่ยนอากาศภายนอกเข้าไปแทนที่อากาศภายในตู้ในอัตราสูงกว่าหนึ่งปริมาตรของตู้ต่อชั่วโมง และรักษาอุณหภูมิของจุดต่างๆ ภายในตู้อบไม่ให้แตกต่างจากอุณหภูมิของจุดกึ่งกลางของตู้ ± 2 องศาเซลเซียส และมีอุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ภายในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส

3.2 การเตรียมขึ้นทดสอบ

ใช้ขึ้นทดสอบที่วัดความแข็งแรงเรียบร้อยแล้วตามข้อ 1 และเตรียมขึ้นทดสอบรูปดัมป์เบลล์ ตามวิธีในข้อ 2.2

3.3 วิธีทดสอบ

3.3.1 นำชิ้นทดสอบมาเกี่ยวกับที่แขวนในตู้อบโดยไม่ให้เกิดความเค้นและชิ้นทดสอบต้องไม่แตะกับส่วนใด ๆ ของตู้อบ ชิ้นทดสอบทั้งหมดต้องมีน้ำหนักไม่เกิน 1 กรัม ต่อ 10 ลูกบาศก์เซนติเมตรของปริมาตรภายในของตู้อบ ปรับอุณหภูมิภายในตู้ให้ได้ 70 ± 1 องศาเซลเซียส และอบไว้เป็นเวลานาน 168 ชั่วโมง

3.3.2 การทดสอบหาความแข็ง ความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่น ให้ทดสอบภายหลังจากการอบตามข้อ (1) และปล่อยให้เย็น ณ อุณหภูมิห้อง แล้วให้ทำการทดสอบภายในเวลา 16 ถึง 96 ชั่วโมงตามวิธีการทดสอบในข้อ 1.3 และ ข้อ 2.3

3.4 วิธีคำนวณ

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงความแข็ง

$$A_H = H_2 - H_1$$

เมื่อ A_H = ความแข็งเปลี่ยนแปลง, Shore A

H_2 = ความแข็งหลังอบ, Shore A

H_1 = ความแข็งก่อนอบ, Shore A

3.4.2 การเปลี่ยนแปลงความต้านแรงดึงและความยืดหยุ่น

$$A_R = 1/3 ((S_{21} + S_{22} + S_{23}) / (S_{11} + S_{12} + S_{13})) \times 100$$

$$A_C = A_R - 100$$

เมื่อ A_R = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นเฉลี่ยอยู่ %

A_C = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นเปลี่ยนแปลง %

S_{11}, S_{12}, S_{13} = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบก่อนอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย

S_{21}, S_{22}, S_{23} = ความต้านแรงดึงหรือความยืดหยุ่นของชิ้นทดสอบหลังอบโดยเรียงจากมากไปหาน้อย

3.5 การรายงานผล

ให้รายงานค่า

3.5.1 ความแข็งที่เปลี่ยนแปลง, Shore A

3.5.2 ความต้านแรงดึงที่เปลี่ยนแปลง, %

3.5.3 ความยืดหยุ่นที่เปลี่ยนแปลง, %

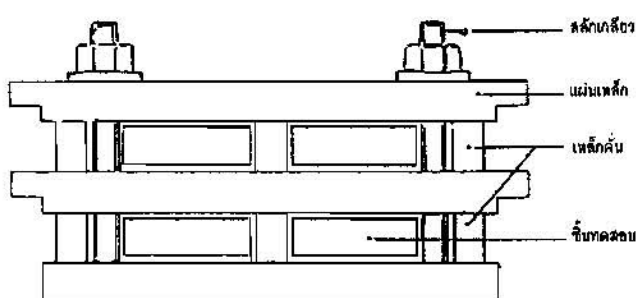
3.5.4 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้เร่งอายุการใช้งาน

4. การทดสอบการยุบตัวจากแรงอัด

4.1 เครื่องมือ

4.1.1 เครื่องอัด

ประกอบด้วยแผ่นเหล็กชุบโครเมียมขัดมัน หรือแผ่นเหล็กที่ไม่เป็นสนิมขัดมันจำนวน 2 แผ่น หรือมากกว่า โดยช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กจะเป็นที่สำหรับวางและอัดขึ้นทดสอบ แผ่นเหล็กจะต้องราบและเรียบ มีความแข็งแรงและไม่งอตัวเมื่อได้รับแรงอัด แผ่นเหล็กจะถูกอัดเข้าหากันโดยการใส่สลักเกลียวชั้นช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กแต่ละคู่ จะมีเหล็กคั่น (Steel Spacer) ซึ่งมีความหนา 9.52 ± 0.01 มิลลิเมตร เพื่อใช้สำหรับตั้งระยะความหนาของขึ้นทดสอบขณะถูกอัดตัว ดังรูป ง-3



รูปที่ ง-3 : Compression Set Apparatus

4.1.2 ตู้อบ

เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในข้อ 3.1.3

4.2 การเตรียมขึ้นทดสอบ

ขึ้นทดสอบมีรูปทรงคล้ายรูปทรงกระบอกสั้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 29.0 มิลลิเมตร และมีความหนา 12.70 ± 0.13 มิลลิเมตร เตรียมได้โดยการขึ้นรูปด้วยแบบพิมพ์ หรือเจาะด้วยแบบตัดสำเร็จรูป ซึ่งเวลาใช้งานจะต้องนำแบบตัดนั้นไปยึดกับเครื่อง Drilling Press ขณะเจาะขึ้นงานให้หล่อลื่นด้วยน้ำยาหรือน้ำสบู่ และต้องไม่ออกแรงกดบนชิ้นงานมากเกินไป ให้เตรียมขึ้นทดสอบจำนวน 3 ชิ้น

4.3 วิธีทดสอบ

4.3.1 เช็ดและทำความสะอาดผิวหน้าของเครื่องอัดที่จะใช้อัดขึ้นทดสอบด้วยผ้าที่สะอาด

4.3.2 วัดความหนาของขึ้นทดสอบ

4.3.3 ใส่ขึ้นทดสอบเข้าไปในช่องว่างระหว่างแผ่นเหล็กแต่ละคู่ แล้วขันสลักเกลียวให้แผ่นเหล็กเคลื่อนเข้าหากันโดยสม่ำเสมอทุกด้าน อัดขึ้นทดสอบเข้าไป จนกระทั่งแผ่นเหล็กแตะกับเหล็กคั่นพอดี

4.3.4 ใส่เครื่องอัดที่อัดขึ้นทดสอบไว้แล้วเข้าไปในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดระยะเวลาทดสอบ ให้รับนำเครื่องอัดออกมาจากตู้อบ แล้วคลายสลักเกลียวออก

วางชิ้นทดสอบไว้บนพื้นผิวที่เป็นฉนวนความร้อน (เช่น ไม้) ที่อุณหภูมิ 23 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของชิ้นทดสอบอีกครั้ง

4.4 วิธีคำนวณ

ค่าการยุบตัวจากแรงอัด

$$C = (t_0 - t_1 / t_0 - t_s) \times 100$$

เมื่อ	C	คือ การยุบตัวจากแรงอัด, ร้อยละ
	t_0	คือ ความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดครั้งแรก, มิลลิเมตร
	t_1	คือ ความหนาของชิ้นทดสอบที่วัดครั้งหลัง, มิลลิเมตร
	t_s	คือ ความหนาของเหล็กคั่น, มิลลิเมตร

4.5 การรายงานผล

4.5.1 รายงานค่าเฉลี่ยการยุบตัวจากแรงอัด เป็นร้อยละ

4.5.2 อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ทดสอบ

ภาคผนวก จ

สถานที่ตั้งของบริษัทที่จำหน่ายยางและสารเคมี

1. บริษัท ไทยบำรุง เคมีเค็ด จำกัด
757/28 ตรอกวัดจันทร์โน ถนนสาธุประดิษฐ์
แขวงบางโพงพาง เขตยานนาวา กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ : 0-2284-2297, 0-2683-7751-54
แฟกซ์ : 0-2294-5689
2. โรงงานอาเซียนอุตสาหกรรม ยางไทยริเครม
88/37 หมู่ 7 ตำบลบางบอน
อำเภอบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10150
โทรศัพท์ : 0-2415-1610, 0-2415-3212
แฟกซ์ : 0-2415-4878
3. บริษัท ปูนคุณภาพ จำกัด
408/86 อาคารพหลโยธินเพลส ถนนพหลโยธิน
สามเสนใน พญาไทย กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ : 0-2619-0074-82
แฟกซ์ : 0-2619-0350) 0-2619-0084
4. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ยงวิเชียร
315 ซอยเทวีวรญาติ ถนนวรจักร แขวงเทพศิรินทร์
เขตป้อมปราบ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ : 0-2223-8523, 0-2224-3873,
0-2224-9346
แฟกซ์ : 0-2224-9345
5. บริษัท โคชั่น (ประเทศไทย) จำกัด
69/6 ซ. ประชาอุทิศ 13 หมู่ 8 ถนนประชาอุทิศ
แขวงราษฎร์บูรณะ เขตราษฎร์บูรณะ
กรุงเทพฯ 10140
โทรศัพท์ : 0-2873-1111, 0-2873-1112-7
แฟกซ์ : 0-2873-1118-9, 0-2428-5866 (ฝ่ายขาย)
6. บริษัท เกรดแมน (ประเทศไทย) จำกัด
61 ซอยพัฒนาการ 50 แขวงสวนหลวง
เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์ : 0-2722-8989, 0-2722-9740-54
แฟกซ์ : 0-2722-8988
7. บริษัท เคมีลูบอินเตอร์เทรด คอร์ปอเรชั่น
จำกัด
69/13 ซอยประชาอุทิศ 13 หมู่ 8
ถนนประชาอุทิศ ราชบุรณะ กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ : 0-2428-3178, 0-2428-6794
แฟกซ์ : 0-2873-1118-9
8. บริษัท ลักซ์เคมี อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด
9/2 ถนนสุขุมวิท ซอย 56 (ซอยสายทิพย์)
บางจาก กรุงเทพฯ 10250
โทรศัพท์ : 0-2331-0120-4, 0-2331-3693
แฟกซ์ : 0-2331-6140
9. บริษัท ยูโรเซีย เทรคดิ่ง จำกัด
62/129 หมู่ 1 ถนนเพชรเกษม
บางแคเหนือ เขตบางแค กรุงเทพฯ
โทรศัพท์ : 0-2455-6358, 0-2455-4758
แฟกซ์ : 0-2804-8204