# ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมยาง

พายับ นามประเสริฐ

## สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง (Rubber processing chemicals)

ในการนำยางไปทำผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จะต้องมีการเติมสาร rubber processing chemicals หรือ rubber compounding materials ลงไป โดยมีวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน ได้แก่

1. เพื่อให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น เช่น ในขั้นตอนการผสมยางกับสารเคมี และการขึ้นรูปยาง เป็นต้น

2. เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ

3. เพื่อลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจาก filler บางชนิดมีราคาถูกกว่ายางมาก จึงเติมลงไปเพิ่มเนื้อ

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ดังนี้

**1. Vulcanizing agents หรือ Curing agents**

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อทำให้ยางคงรูป โดยเกิดการเชื่อมข้าม chain (cross-linking) ของยาง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยา vulcanization หรือ curing ตัวอย่างสารจำพวกนี้ ได้แก่ sulphur, sulphur monochloride, selenium, tellurium, thiuram disulphide, zinc oxide, magnesium oxide และสารพวก organic peroxide

**2. Vulcanization accelerators**

เป็นสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา vulcanization ให้เกิดเร็วขึ้นจากชั่วโมงให้เหลือเพียงไม่กี่นาที นอกจากนั้นยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลงและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น accelerators ส่วนมากจะมีไนโตรเจนและซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น mercaptobenzothiazole (MBT), diphenyl guanidine (DPG)

**3. Accelerator activators**

เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อช่วยให้ accelerators ทำงานได้ดียิ่งขึ้น แบ่งออกเป็น inorganic activators ได้แก่พวก metal oxides เช่น zinc oxide, magnesium oxide และ organic activators ได้แก่พวก long chain saturated fatty acids เช่น stearic acid, oleic acid

**4. Retarders**

คือ สารที่ช่วยให้ vulcanization เกิดช้าลง ซึ่งจะทำหน้าที่ตรงข้ามกับ accelerators และ activators โดย retarders จะยับยั้งไม่ให้ยางเกิด vulcanized ในขณะที่กำลังผสมยางกับสารเคมีและในขณะขึ้นรูปยาง หรือเรียกว่าช่วยให้มี processing safety ได้แก่ salicylic acid, benzoic acid, phthalic anhydride

**5. Antioxidants**

เป็นสารที่จัดอยู่ในพวกเดียวกับ antiozonants, antiflex cracking agents และ age resistors คือป้องกันผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปจากการถูกทำให้เสื่อมสภาพ โดยออกซิเจน โอโซน แสงสว่างและความร้อน 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 แต่มันจะทำให้ผลิตภัณฑ์สีตก (staining) ได้ จึงไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อน

**6. Fillers**

ได้แก่สารที่ใส่ลงไปเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพตรงตามความต้องการ หรือเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้ดีขึ้น หรือเพื่อลดต้นทุน fillers แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ reinforcing filler และ extending filler

6.1 Reinforcing filler เป็นสารที่ใส่ลงไปช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีคุณสมบัติเชิงกล (mechanical properties) ดีขึ้น คือ แรงดึงขาด, แรงฉีก, ความทนทานต่อการสึกกร่อน และความแข็งเพิ่มขึ้น สารพวกนี้ ได้แก่ carbon black, silica, zinc oxide

6.2 Extending filler เป็นสารที่ใส่ลงไปเพื่อจุดประสงค์ในการลดต้นทุน แต่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย โดยทำให้คุณสมบัติแรงดึงขาดลดลง และคุณสมบัติเชิงกลอื่น ๆ เกิดการเปลี่ยนแปลงไป ทำให้การผลิตยากหรือง่ายขึ้น เช่น clays, calcium

*ต่อจากฉบับที่แล้ว

carbonate, barytes และ talcum

**7. Peptizers**

เป็นสารที่เติมลงไปแล้วสามารถเกิดปฏิกิริยากับ polymer ทำให้ polymer chain สั้นลง เป็นผลให้ยางอ่อนตัวลงและความหนืดลดลง ช่วยให้การผลิตง่ายขึ้น เช่น aromatic mercaptans (thiophenols)

**8. Plasticizers (Softeners)**

คือสารที่เติมลงไปแล้วทำให้ยางอ่อนตัวลง (โดยไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมี) เพื่อช่วยให้การผลิตง่ายขึ้น เร็วขึ้น และลดอุณหภูมิการผลิตให้ต่ำลง นอกจากนั้นยังช่วยในการอัดแบบ (molding) ขณะทำเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปด้วย เช่น fatty acids, vegetable oils, mineral oils, pine tar และ coal tars

**9. Pigments**

ผงสีเป็นองค์ประกอบตัวหนึ่งที่ใช้ผสมกับยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สีต่าง ๆ เช่น สีขาว ส่วนมากใช้ titanium dioxide, zinc oxide สีแดงใช้ iron oxide นอกจากสีพวก inorganic pigment แล้ว อาจใช้สีพวก organic pigment ก็ได้ แต่สีพวก organic pigment มักไม่ค่อยคงตัว (stable) เหมือนสีพวก inorganic pigment จึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม

**10. Blowing agents**

เป็นสารที่ทำให้เกิดก๊าซ ใช้ในการทำยางฟองน้ำ เช่น sodium bicarbonate, ammonium carbonate, ammonium bicarbonate และสารอินทรีย์ที่มีสมบัติแตกตัวให้ก๊าซไนโตรเจนเมื่อได้รับความร้อน

## องค์ประกอบของยาง (Rubber Compounding)

ยางดิบ (raw rubber) ที่ยังไม่ได้ผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ องค์ประกอบที่ผสมลงไปในยางจะช่วยให้ยางมีคุณสมบัติ เช่น plasticity, elasticity, toughness, hardness, softness, abrasion resistance, impermeability และคุณสมบัติอื่น 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 |

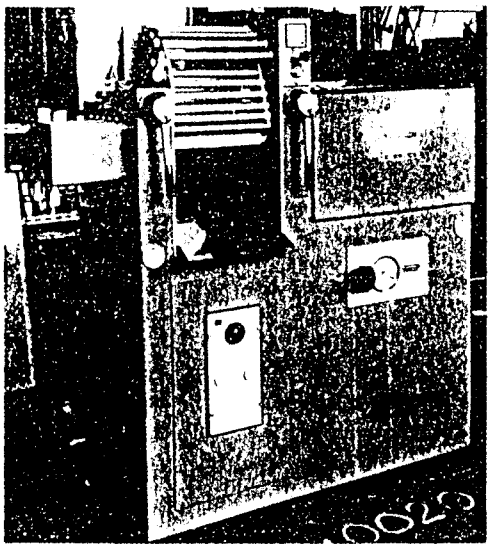
## กระบวนการผลิตภัณฑ์ยาง (Manufacturing processes)

กระบวนการทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ จากยาง สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ตามลำดับ ดังนี้

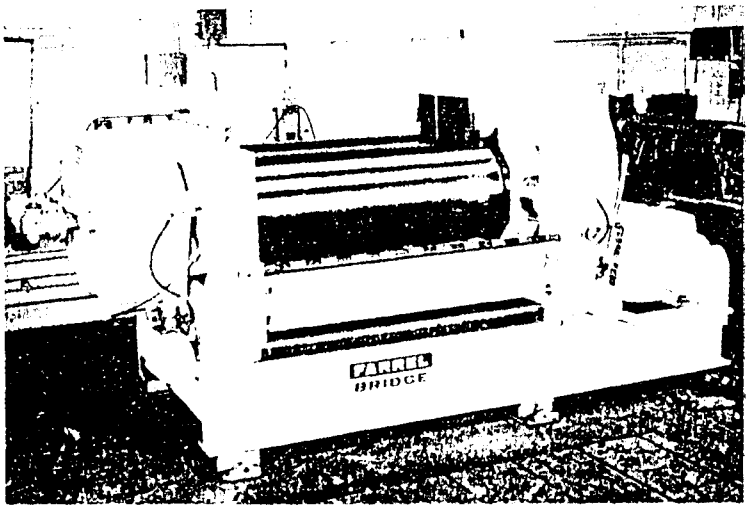
**1. การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)**

ยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ตามสูตร เช่น filler, plasticizer, vulcanizing agent, antioxidant และ pigment จะต้องผสมให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกับยาง โดยขั้นแรกจะต้องนำยางไปบด (masticate) เพื่อให้ยางอ่อนตัวเป็นการเพิ่ม plasticity และลด viscosity ของยาง ซึ่งจะทำให้สารเคมีต่าง ๆ ผสมเข้ากับยางได้ง่ายขึ้น ในการผสมยางกับสารเคมีแต่ละครั้ง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ จะต้องควบคุมสิ่งต่อไปนี้คือ อุณหภูมิและเวลาในการผสม ลำดับของการใส่สารเคมีลงไปผสมกับยาง และต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของยางและสารเคมีที่เป็นองค์ประกอบด้วย เครื่องจักรที่ใช้ในการผสมยางกับสารเคมี มี 2 แบบ คือ open-roll mills (two-roll mills) กับ internal mixer

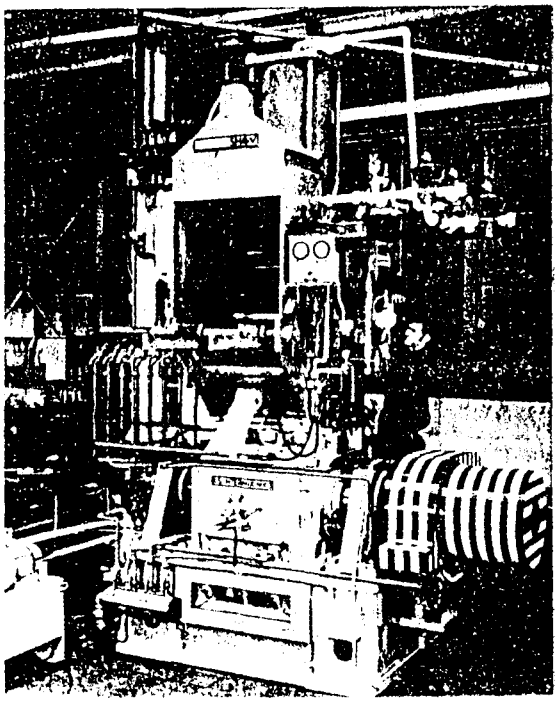
Two-roll mills (รูปที่ 1 และ 2) มีลักษณะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 ลูก วางขนานกันในแนวระนาบ มีสกรูสำหรับปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 ลูก (nip) ลูกกลิ้งทั้งสองลูกจะหมุนด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ถ้าใช้สำหรับยางธรรมชาติ อัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้า (front roll) ต่อลูกกลิ้งหลัง (back roll) จะเท่ากับ 1:1.25 แต่ถ้าเป็นยางสังเคราะห์ การผสมด้วยลูกกลิ้งจะค่อนข้างยาก และอัตราเร็วของลูกกลิ้งหน้าต่อลูกกลิ้งหลังจะเท่ากับ 1:1 (โดยประมาณ) ยางสังเคราะห์มักนิยมผสมด้วย internal mixer ภายในลูกกลิ้งแต่ละลูกจะมีระบบทำความเย็นเพื่อช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้น และมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ อุปกรณ์ความปลอดภัย (safety), ถาดรองรับสารเคมี (tray), ที่กั้นยาง (guides),



**รูปที่ 1** Laboratory mill, (*Courtesy*: Farrel-Bridge, Rochdale.)




**รูปที่ 2** Single mill, (*Courtesy*: Farrel-Bridge, Rochdale.)



**รูปที่ 3**

K5 intermix, (*Courtesy*: Francis Shaw, Manchester.)

มีดตัดยาง (cutting knives), แผ่นขูดยาง (scraper blade)

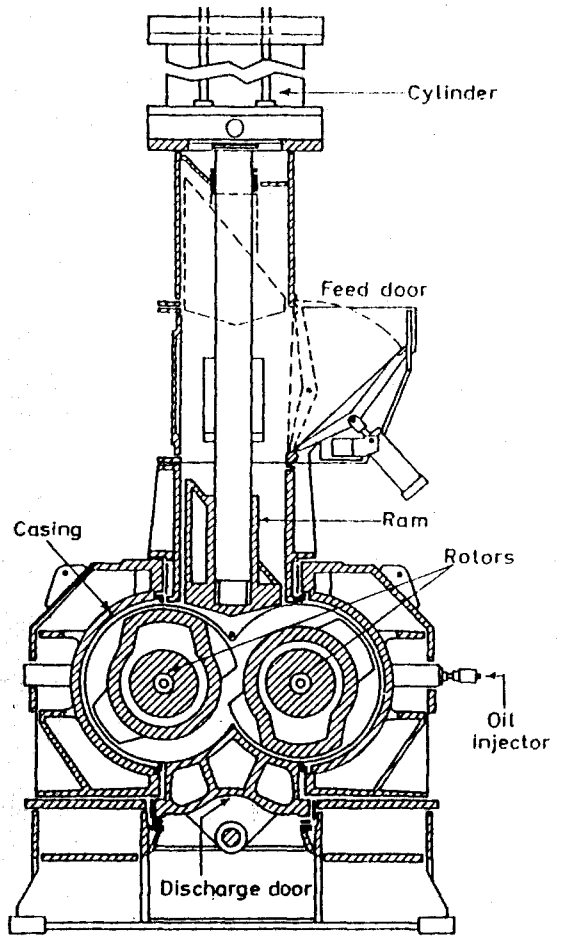
Internal mixer ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 แบบ คือ Shaw Intermix (รูปที่ 3 และ 4) และ Banbury Mixer (รูปที่ 5 และ 6 Internal mixer มีข้อดีกว่า Two-roll mills คือ สามารถผสมยางได้ครั้งละมาก ๆ ใช้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และรักษาความสะอาดได้ง่าย

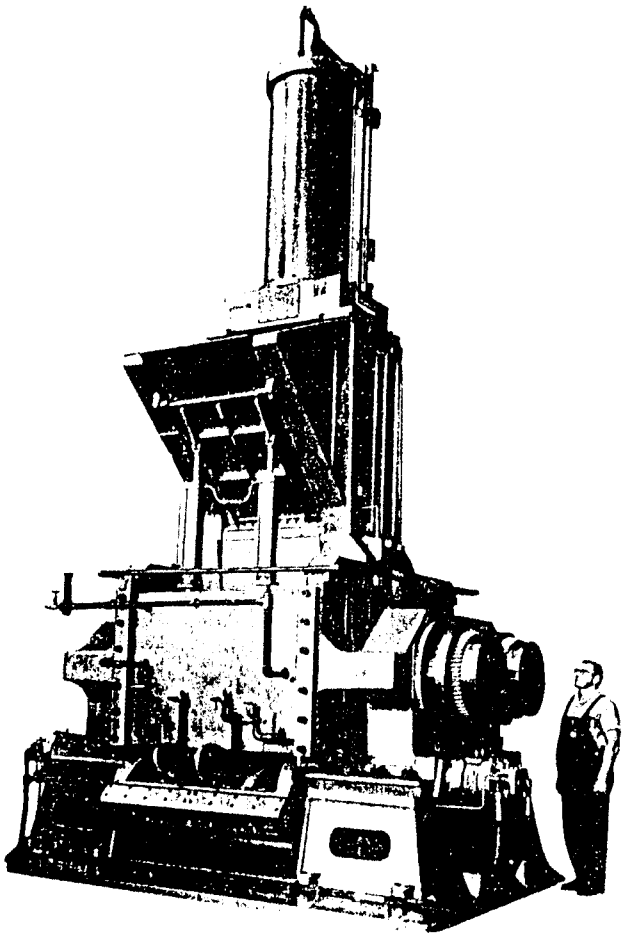
2. การขึ้นรูปยาง (Forming)

ในขั้นนี้ยางที่ผสมกับสารเคมีแล้ว ที่เรียกว่า ยางคอมปาวด์ (compound rubber) จะถูกทำให้มีรูปร่างต่าง ๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งบางครั้งขั้นตอนนี้อาจจะทำไปพร้อม ๆ กับขั้นตอนการทำให้ยางคงรูป (vulcanizing) ด้วยก็ได้ โดยแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีคือ

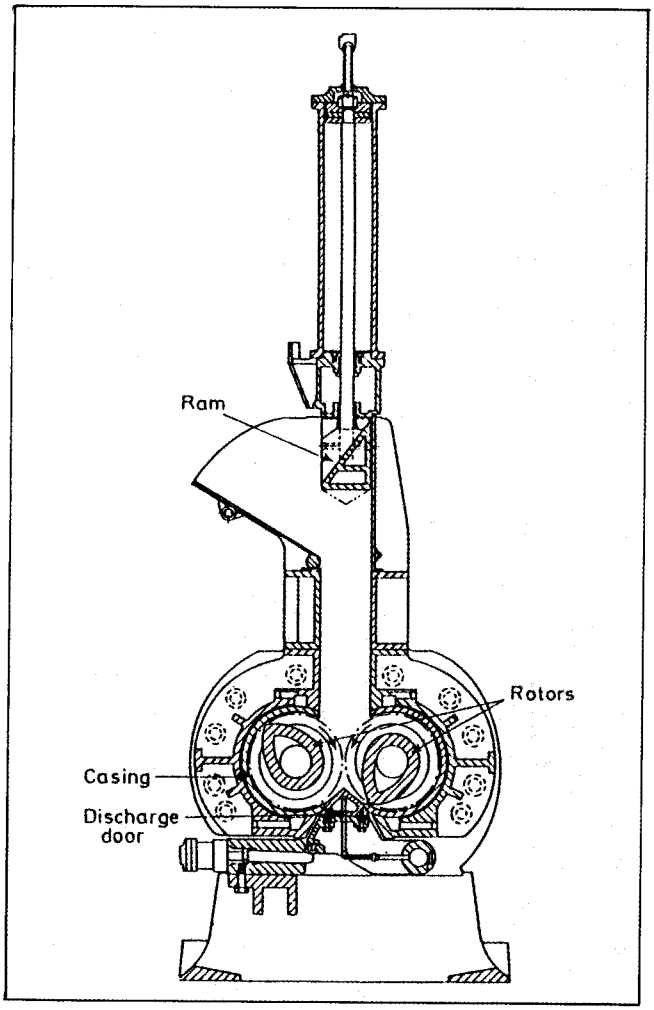
**รูปที่ 4**

***Diagrammatic section of Shaw Intermix. Courtesy Francis Shaw & Co., Ltd.***



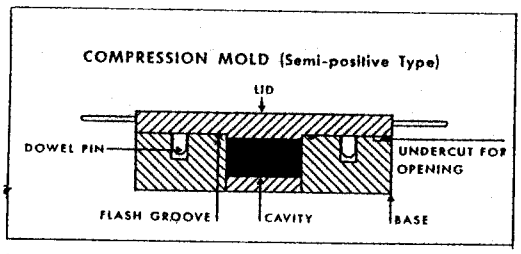


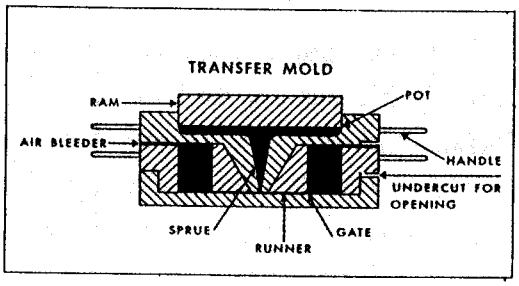
รูปที่ 5 Size F620 Banbury mixer. (Reprinted with the permission of the Farrel Com pany)

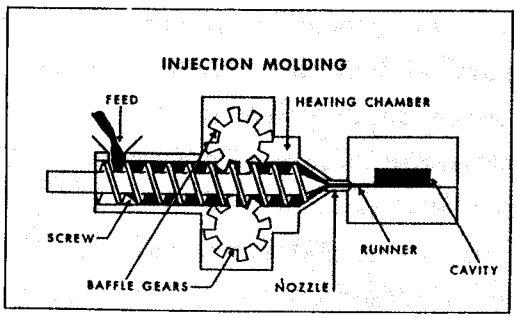



รูปที่ 6 *Diagrammatic section of a Banbury Mixer*

2.1 Molding ทำยางคอมปาวด์ให้เป็นรูปร่างต่าง ๆ และทำให้คงรูปในแม่แบบ (mold) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ compression molding, transfer molding และ injection molding (รูปที่ 7)

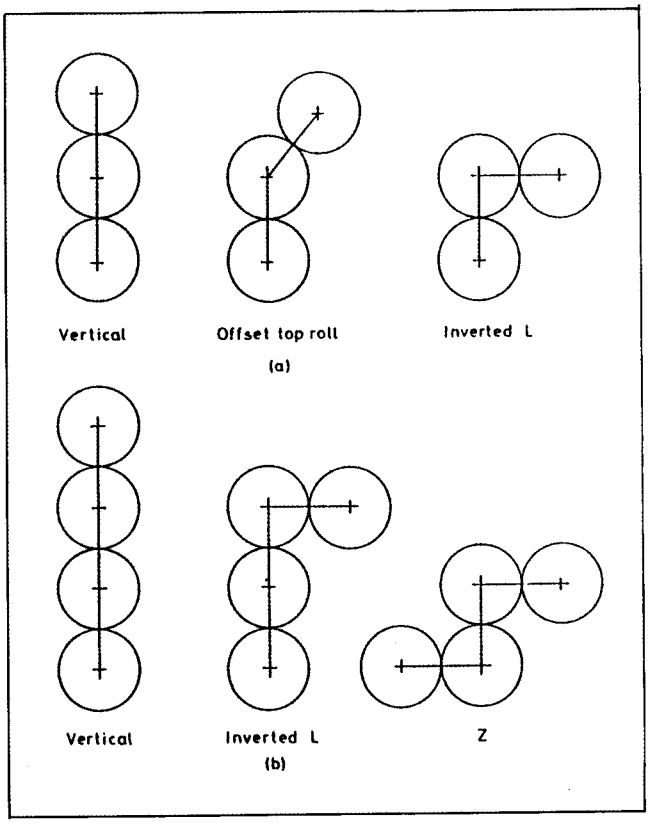


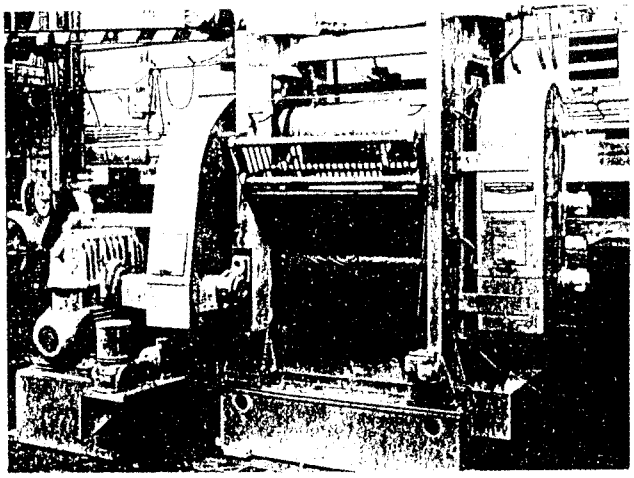




รูปที่ 7 Examples of compression, transfer and injection molding techniques. (Reprinted with the permission of the E.I. du Pont de Nemours & Co., Inc.)

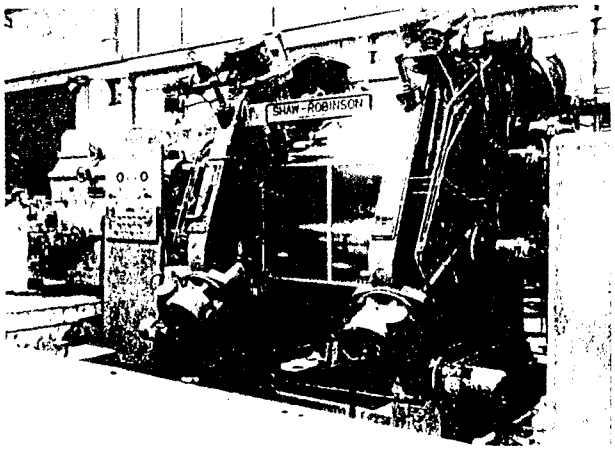
2.2 **Calendering** รีดยางคอมปาวด์ให้เป็นแผ่น หรือฉาบให้ติดกับน้ำ โดยใช้เครื่องรีดยางที่เรียกว่า calender ซึ่งอาจเป็นชนิดที่มีลูกกลิ้งสำหรับรีด 2,3 หรือ 4 ลูกก็ได้ (รูปที่ 8,9 และ 10)




**รูปที่ 8** *Roll configuration of calenders: (a) three- roll calenders, and (b) four-roll calenders*



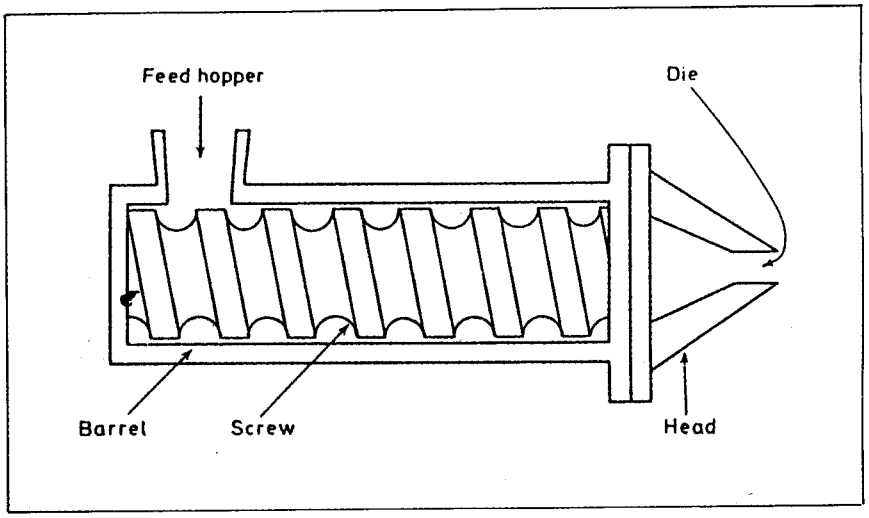
**รูปที่ 9** Three stack calender-16 in.× 36 in. (*Courtesy*: Farrel-Bridge, Rochdale.)



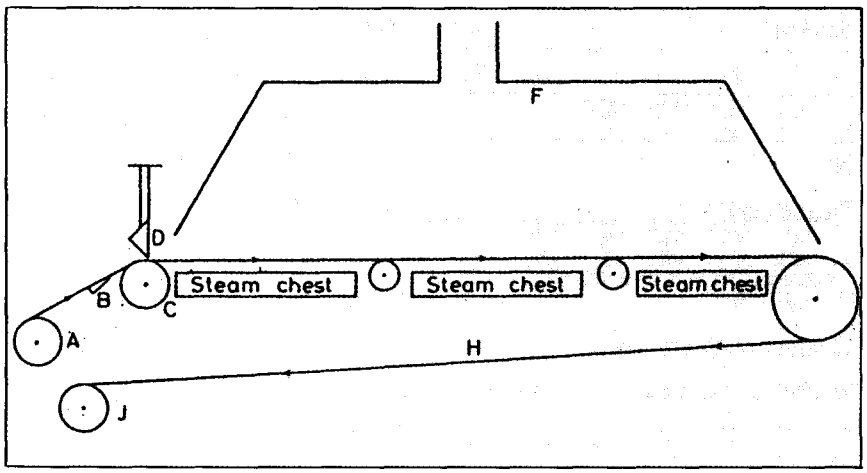

**รูปที่ 10** Four roll Z calender-26 in. × 72 in. (*Courtesy*: Francis Shaw, Manchester.)

2.3 **Extruding** เป็นการอัดดันยางคอมปาวด์ที่ถูกทำให้อ่อนตัวผ่าน die โดยใช้เครื่องอัดดันยางที่เรียกว่า Extruder (รูปที่ 11) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็น profile เช่น ยางในรถยนต์ สายยาง ยางขอบกระจกและขอบประตูรถยนต์ เป็นต้น

2.4 **Spreading** การฉาบยางคอมปาวด์ให้ติดกับน้ำ นอกจากจะทำโดยวิธี calendering แล้ว สามารถใช้วิธี spreading โดยการละลายยางคอมปาวด์ในตัวทำละลาย (solvent) ที่เหมาะสม จนมีลักษณะเป็นของไหลเหนียวข้น (dough like) และฉาบลงบนผ้า (รูปที่ 12) ซึ่งวิธีนี้สามารถทำได้ง่ายกว่าการใช้ calender แต่มักประสบปัญหาเกี่ยวกับตัวทำละลายและการเตรียมยางคอมปาวด์




**รูปที่ 11** *Section of a screw extruder*




**รูปที่ 12** *Diagrammatic sketch of spreading machine. Courtesy ICI Dyestuffs Division*

ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ด้วย

**3. การทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing)**

การทำให้ยางคงรูป (vulcanization) เป็นการทำให้ยางเกิดการเชื่อมข้าม chain (cross-linking) เกิดเป็นโครงสร้างแบบร่างแห (three-dimensional network) ขั้นตอนนี้บางครั้งอาจกระทำไปพร้อมกับขั้นตอนการขึ้นรูปยาง หลักการของ vulcanization คือ การให้ความร้อนแก่ยางคอมปาวด์ที่อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสม โดยอาจใช้ความร้อนจาก ลมร้อน ไอน้ำ แผ่นความร้อนจากไฟฟ้า หรือ microwave ก็ได้

หลังจากผ่านขั้นตอนการทำให้ยางคงรูปแล้ว โดยทั่วไปก็จะนำผลิตภัณฑ์มาขัดและตัดตกแต่งส่วนที่ไม่ต้องการออก ตรวจความเรียบร้อย ตรวจเช็คคุณภาพ (ตรวจ 100% หรือ สุ่มตัวอย่าง) แล้วจึงบรรจุหีบห่อต่อไป

**สูตรตัวอย่าง สำหรับผลิตภัณฑ์ยางบางชนิด**

**Cables**

*Insulation recipe*

| | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Stearic acid | 1 |
| MRX | 10 |
| Antioxidant | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| Talc | 100 |
| Whiting | 50 |
| MBTS | 1 |
| Sulphur | 3 |
| | 271 |

*Sheath*

| | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Carbon black | 45 |
| Rubber process oil | 3 |
| Stearic acid | 3 |
| Antioxidant | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| MBT | 1 |
| Sulphur | 3 |
| | 161 |

**Conveyor belts**

*NR conveyor belt friction recipe*

| | |
|---|---|
| NR | 60 |
| Reclaim | 80 |
| Peptiser | 1 |
| Stearic acid | 1 |
| Pine tar | 2 |
| Antioxidant | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| Black | 30 |
| MBTS | 1 |
| TET | 0.1 |
| Sulphur | 2 |
| | 183.1 |

*NR conveyor belt cover recipe*

| | |
|---|---|
| NR | 80 |
| Reclaim | 40 |
| Peptiser | 1 |
| Stearic acid | 2 |
| Pine tar | 2 |
| Antioxidant | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| Reinforcing black | 30 |
| MBTS | 1 |
| TET | 0.1 |
| Sulphur | 2.5 |
| | 164.6 |

**Ebonite**

*Hard rubber (ebonite) battery box recipe*

| | |
|---|---|
| NR | 25 |
| Reclaim | 150 |
| Pitch (MRX) | 25 |
| Petroleum jelly | 5 |
| Talc | 150 |
| Barytes | 27 |
| MBT | 0.50 |
| Sulphur | 45 |
| | 427.50 |

**Flooring**

*Base flooring recipe*

| | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Peptiser | 1 |
| Zinc oxide | 10 |
| Stearic acid | 2 |
| China clay | 300 |
| MBTS | 1.50 |
| TET | 0.15 |
| Sulphur | 4 |
| | 418.65 |

Colours and pigments may be added as necessary.

## Footwear Recipes

*Black soles and heels*

| | |
|---|---|
| Reclaim | 100 |
| MRX | 4 |
| Pine tar | 2 |
| Carbon black | 50 |
| Zinc oxide | 5 |
| Antioxidant | 1 |
| MBTS | 1.5 |
| Sulphur | 1.25 |
| | 166.25 |

*Brown sole*

| | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Antioxidant | 1 |
| Stearic acid | 2 |
| Zinc oxide | 10 |
| Coumarone resin | 10 |
| China clay | 150 |
| Magnesium carbonate | 40 |
| Red iron oxide | 10 |
| MBTS | 1.5 |
| TET | 0.15 |
| Sulphur | 4 |
| | 328.65 |

*Crepe sole*

| | |
|---|---|
| Pale crepe rubber | 100 |
| Zinc oxide | 1 |
| MBTS | 1.5 |
| Sulphur | 2.5 |
| | 105.0 |

*White sole*

| | |
|---|---|
| Pale crepe rubber | 100 |
| Magnesium carbonate | 100 |
| Zinc oxide | 20 |
| Lithopone | 50 |
| China clay | 100 |
| Stearic acid | 1 |
| Mineral oil | 3 |
| Non-stain antioxidant | 1 |
| MBTS | 1.25 |
| Sulphur | 2.50 |
| | 378.75 |

*Bathing shoe*

| | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Stearic acid | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| Antioxidant | 1 |
| Stearin coated whiting | 25 |
| MBTS | 1 |
| TET | 0.1 |
| Sulphur | 2 |
| | 135.1 |

Colour pigment as required.

### General Purpose Hose Friction Compound

| | |
|---|---|
| Smoked sheet | 30.00 |
| Refined reclaim | 30.00 |
| Peptiser | 0.25 |
| Calcium carbonate flour | 21.50 |
| China clay | 10.75 |
| Resin oil | 2.25 |
| Pine tar | 2.00 |
| Zinc oxide | 2.25 |
| Sulphur | 1.00 |
| | 100.00 |

Specific gravity – 1.23.

### General Purpose NBR Hydraulic Hose Lining (Extrusion)

| | |
|---|---|
| NBR (medium) | 37.50 |
| SRF black | 40.00 |
| Soft black | 8.60 |
| Zinc oxide | 2.25 |
| Antioxidant | 1.00 |
| Rubber process oil | 2.75 |
| DIOS/DAP | 3.00 |
| Dark factice | 3.00 |
| Stearic acid | 0.50 |
| MBTS | 0.75 |
| Sulphur | 0.65 |
| | 100.00 |

Specific gravity—1 31, T/S (MPa) 10.0 (approx) and E/B (%) 250 (approx).

### General Purpose CR Hydraulic Hose Lining (Extrusion)

| | |
|---|---|
| CR (type W) | 30.00 |
| SRF black | 21.00 |
| Soft black | 10.50 |
| China clay | 22.30 |
| Silica | 4.00 |
| Octamine | 0.50 |
| Microcrystalline wax | 1.00 |
| Magnesium oxide | 1.25 |
| DPG | 0.25 |
| Stearic acid | 0.25 |
| Rubber process oil | 5.50 |
| Plasticator | 1.50 |
| Zinc oxide | 1.00 |
| TMT | 0.25 |
| Sulphur | 0.70 |
| | 100.00 |

Specific gravity–1.59, T/S (MPa) 80 (approx) and E/B (%) 200 (approx).

### General Purpose CR Hydraulic Hose Cover (Extrusion)

| | |
|---|---|
| CR (type W) | 37.00 |
| SRF black | 42.00 |
| Magnesium oxide | 1.50 |
| Octamine | 0.75 |
| Stearic acid | 0.20 |
| DIOS/DAP | 8.25 |
| Light brown factice | 7.50 |
| Plasticator | 0.25 |
| Zinc oxide | 1.50 |
| TMT | 0.35 |
| DPG | 0.20 |
| Sulphur | 0.50 |
| | 100.00 |

Specific gravity–1.40, T/S (MPa) 10.0 (approx) and E/B (%) 220 (approx).

**General Purpose Steam Hose Lining and Cover (Extrusion/Calendered)**

| | |
|---|---|
| Smoked sheet | 10.00 |
| SBR | 24.00 |
| SRF black | 20.00 |
| Soft black | 30.00 |
| China clay | 8.65 |
| Zinc oxide | 2.00 |
| Antioxidant | 0.75 |
| Stearic acid | 0.25 |
| Microcrystalline wax | 0.50 |
| Rubber process oil | 1.50 |
| MBTS | 0.25 |
| TET | 2.00 |
| Sulphur | 0.10 |
| | 100.00 |

Specific gravity—1.32, T/S (MPa) 7.0 (approx) and E/B (%) 400 (approx).

**High Pressure Steam Hose Lining and Cover (Extrusion)**

| | |
|---|---|
| Chlorobutly rubber | 43.00 |
| MBTS | 0.50 |
| Zinc oxide | 2.00 |
| Calcium carbonate flour | 23.45 |
| Stearic acid | 0.50 |
| Magnesium oxide | 0.20 |
| SRF black | 25.50 |
| Petroleum jelly | 3.50 |
| TET | 0.50 |
| Sulphur | 0.85 |
| | 100.00 |

Specific gravity—1.34.

**General Purpose Moulded Hose Lining and Cover (Extrusion)**

| | |
|---|---|
| Smoked sheet | 5.00 |
| SBR | 24.00 |
| Paraffin wax | 3.00 |
| Magnesium oxide | 1.25 |
| Antioxidant | 0.50 |
| MBTS | 0.30 |
| Calcium carbonate flour | 49.95 |
| SRF black | 14.00 |
| Rubber process oil | 1.00 |
| Sulphur | 1.00 |
| | 100.00 |

Specific gravity—1.56, T/S (MPa) 6.0 (approx) and E/B (%) 300 (approx).

**General Purpose Hose Red Cover (Extrusion)**

*Under lead cure*

| | |
|---|---|
| Smoked sheet | 20.00 |
| SBR | 20.00 |
| Stearic acid | 0.20 |
| Zinc oxide | 1.50 |
| Calcium carbonate flour | 46.30 |
| Red iron oxide | 8.50 |
| Paraffin wax | 0.75 |
| Microcrystalline wax | 0.75 |
| Antioxidant | 0.50 |
| DPG | 0.10 |
| MBTS | 0.20 |
| TET | 0.20 |
| Sulphur | 1.00 |
| | 100.00 |

Specific gravity—1.52, T/S (MPa) 6.0 (approx) and E/B (%) 400 (approx).

**Proofing**

*Typical general purpose spreading recipe (heater cured)*

| | |
|---|---|
| Rubber | 100 |
| Zinc oxide | 16.5 |
| Fine whiting | 80 |
| Stearic acid | 1 |
| Antioxidant | 1 |
| Sulphur | 2.5 |
| MBTS | 0.5 |
| | 201.5 |

**Mix and Compound Design**

*Low rubber content proofing ricipe (heater cured)*

| | |
|---|---|
| Rubber | 100 |
| Reclaim | 150 |
| Dark factice | 100 |
| Stearic acid | 3 |
| Zinc oxide | 7.5 |
| Fine whiting | 300 |
| Lithopone | 20 |
| Sulphur | 2.5 |
| MBTS | 0.5 |
| | 638.5 |

**Sponge**

| | |
|---|---|
| Brown crepe (well premasticated) | 100 |
| Peptising oil | 10 |
| Rubber process oil | 30 |
| Stearic acid | 8 |
| Zinc oxide | 5 |
| Antioxidant | 1 |
| Stearated whiting | 65 |
| Soft black | 35 |
| Sodium bicarbonate | 15 |
| Sulphur | 2.5 |
| MBTS | 1 |
| TET | 0.2 |
| | 272.7 |

**Tyres**

*NR tyre tread recipe*

| | (A) | (B) |
|---|---|---|
| NR | 100 | 75 |
| Reclaim | — | 50 |
| Peptiser | 1 | 1 |
| Stearic acid | 3 | 3 |
| Pine tar | 1 | 1 |
| Zinc oxide | 3 | 3 |
| Carbon black | 45 | 40 |
| Antioxidant | 1 | 1 |
| MBT | 3 | 3 |
| Sulphur | 1 | 1 |
| | 158 | 178 |

| *Cycle tread recipe* | |
|---|---|
| Reclaim | 100 |
| MRX | 5 |
| Black | 15 |
| Pine tar | 2 |
| Stearic acid | 1 |
| Zinc oxide | 5 |
| MBTS | 1 |
| Antioxidant | 1 |
| Sulphur | 1 |
| | 131 |

| *NR solid tyre recipe* | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Black | 90 |
| Zinc oxide | 10 |
| Process oil | 3 |
| Stearic acid | 2 |
| Accelerator | 1 |
| Antioxidant | 1 |
| Sulphur | 3 |
| | 210 |

**Hot water bottles**

| *Hot water bottle recipe* | |
|---|---|
| NR | 100 |
| Zinc oxide | 5 |
| Antioxidant | 1 |
| Stearin coated whiting | 75 |
| MBTS | 1 |
| TET | 0.1 |
| Sulphur | 2 |
| Colour (pigment) | as necessary |
| | 184.1 |

**Automotive Fuel-Hose Compound**

| | |
|---|---|
| Hycar® 1092-80[a] | 100.0 |
| Zinc oxide | 5.0 |
| Stearic acid | 1.0 |
| Antioxidant | 1.5 |
| Hard clay | 30.0 |
| N774 Black | 90.0 |
| Plasticizer | 15.0 |
| Sulfur | 1.5 |
| Accelerator | 1.5 |
| | 245.5 |

[a]Typically, 80 Mooney viscosity, 33% Acrylonitrile.

Expected properties:

| | |
|---|---|
| Tensile strength, psi | 2000 |
| Elongation, % | 300 |
| Hardness, points | 70 |

**Oil-well-Packer Element**

| | |
|---|---|
| Hycar® 1051[a] | 100.0 |
| Zinc oxide | 5.0 |
| Stearic acid | 1.0 |
| N550 Black | 70.0 |
| Antioxidant | 2.0 |
| Plasticizer | 5.0 |
| Sulfur | 0.4 |
| MBTS | 3.0 |
| ZDMC | 1.5 |
| | 187.9 |

[a]Typically, 75 Mooney, 41% acrylonitrile.

Expected properties:

| | |
|---|---|
| Tensile strength, psi | 2940 |
| Elongation, % | 370 |
| Hardness, points | 78 |

**General-purpose Molding Compound.**

| | |
|---|---|
| Hycar® 1052[a] | 100.0 |
| Zinc oxide | 5.0 |
| Stearic acid | 1.0 |
| Antioxidant | 1.5 |
| N774 Black | 65.0 |
| Plasticizer | 15.0 |
| Sulfur | 1.5 |
| MBTS | 1.5 |
| | 190.5 |

[a]Typically 50 Mooney, 33% acrylonitrile.

Expected Properties:

| | |
|---|---|
| Tensile strength, psi | 2700 |
| Elongation, % | 550 |
| Hardness points | 65 |

## เอกสารอ้างอิง


1. Morton, M., **Rubber technology.** 3rd ed. New York : Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1987.
2. Evans, C.W., **Practical rubber com pounding and processing.** London : Applied Science Publishers Ltd., 1981.
3. Blow, C.M., and Hepburn, C., **Rubber technology and manufacture.** London : Butterworth Scientific, 1982.