

บทที่ 2

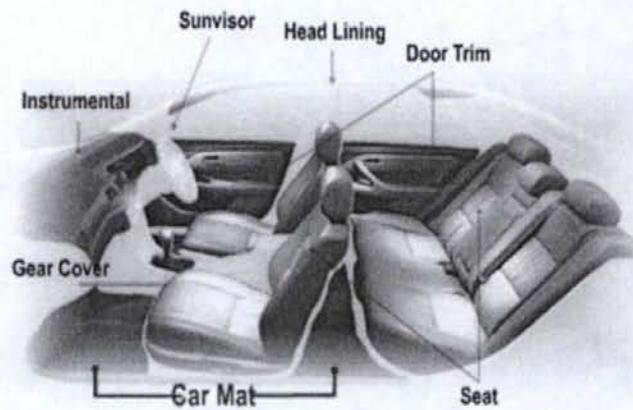
ทฤษฎี

อุตสาหกรรมหนังเทียมมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ เช่น ในอุตสาหกรรมรถยนต์ มีความจำเป็นในการนำหนังเทียมไปใช้เป็นวัสดุในการหุ้มเบาะและตกแต่งภายในรถยนต์ ในอุตสาหกรรมการผลิตเฟอร์นิเจอร์ เครื่องประดับ เครื่องนุ่งห่ม เครื่องใช้สำนักงาน รวมไปถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

หนังเทียมที่ใช้อยู่ในปัจจุบันผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์หรือพีวีซี (Polyvinyl chloride, PVC) ซึ่งเป็นพลาสติกราคาถูก มีสมบัติเหมาะสมต่อการใช้งานมาก จึงเป็นที่นิยม แต่อย่างไรก็ตาม พลาสติกพีวีซีสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ในกระบวนการผลิตมีความจำเป็นต้องใส่สารเติมแต่งหลายชนิด และสารเติมแต่งเพื่อให้พีวีซีเสถียรเหล่านี้มีความเป็นพิษต่อผู้บริโภคปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต และสิ่งแวดล้อมเมื่อกลายเป็นขยะพลาสติก พีวีซีเองเมื่อถูกความร้อนจะสลายตัวให้กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) ซึ่งเป็นอันตรายต่อการใช้งานและสิ่งแวดล้อมเช่นเดียวกัน ทำให้ในปัจจุบันมีข้อกำหนดในบางประเทศที่หลีกเลี่ยงการใช้พลาสติกพีวีซีในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น ในอุตสาหกรรมรถยนต์ อุปกรณ์ภายในรถยนต์ที่มีโอกาสจะได้รับความร้อนจะใช้วัสดุที่ไม่เกิดการสลายตัวให้สารที่เป็นพิษ จึงมีความต้องการที่จะศึกษาค้นคว้าวัสดุที่ปลอดภัยนำมาทดแทนการใช้พลาสติกพีวีซี

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเตรียมวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนพลาสติกพีวีซี โดยเลือกศึกษาจากวัสดุ 3 ประเภทที่มีสมบัติใกล้เคียงกับพีวีซีเมื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ คือ (1) พอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยาง อีพดีเอ็ม (EPDM) ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) (2) การใช้เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน (Thermoplastic polyolefin, TPO) และ (3) การใช้เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (Thermoplastic polyurethane, TPU) โดยในระยะแรกจะมุ่งเน้นที่การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยาง อีพดีเอ็ม ยางธรรมชาติ และพลาสติกพอลิโพรพิลีน จากนั้นศึกษาสมบัติของวัสดุเปรียบเทียบกับ TPO และ TPU รวมทั้งศึกษาการแต่งเติมกลิ่นเพื่อเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเตรียมวัสดุที่นำมาใช้ทดแทนพลาสติกพีวีซี โดยเลือกศึกษาจากวัสดุ 3 ประเภท คือ (1) พอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยาง อีพดีเอ็ม (EPDM) ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) และพลาสติกพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) (2) การใช้เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน (Thermoplastic polyolefin, TPO) และ (3) การใช้เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทน (Thermoplastic polyurethane, TPU) โดยในระยะแรกจะมุ่งเน้นที่การเตรียมพอลิเมอร์ผสมระหว่าง ยาง อีพดีเอ็ม ยางธรรมชาติ และพลาสติกพอลิโพรพิลีน จากนั้นศึกษาสมบัติของวัสดุเปรียบเทียบกับ TPO และ TPU รวมทั้งศึกษาการแต่งเติมกลิ่นเพื่อเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนภายในรถยนต์ที่ทำจากหนังเทียม

2.1 พอลิโอเลฟินด์ อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin Elastomer, POEs)

Polyolefin elastomer (หรือ POEs) ชื่อทางการค้าเรียกว่า Exact Plastomer เป็นพอลิเมอร์ตัวใหม่ที่ใช้เมตาโลซีน (Metallocene) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการพอลิเมอร์ไรเซชัน Polymer และ POE สามารถเข้ามาแทน Polymerทางการค้าซึ่งประกอบด้วย Ethylene Propylene Rubber (EPR), Ethylene Vinyl Acetate (EVA), Styrene-Block Copolymer (SBC) และ Polyvinyl Chloride (PVC) โดยทั่วไป POEs จะเข้ากันได้กับวัสดุที่มี โอลิฟินด์ (Olefinic) เป็นส่วนประกอบ ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนแรงกระแทกให้กับพลาสติกได้เป็นอย่างดี และผลิตภัณฑ์ที่เป็น คอมปาวด์ (compound) POEs ก็กลายเป็นผู้นำของวัสดุในการนำมาใช้งานเป็นชิ้นส่วนรถยนต์ทั้งภายนอกและภายใน โดยการปรับปรุงสมบัติการทนแรงกระแทกของพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) เพื่อผลิตเป็นสายไฟ (wire) สายเคเบิล (Cable)

โดยทั่วไป POEs ซึ่งเป็น โคพอลิเมอร์ (Copolymer) ระหว่าง Ethylene - Butene หรือ Ethylene - Octene ซึ่งสมบัติของผลิตภัณฑ์จะกว้างมาก มีทั้งสมบัติของอสัณฐาน (amorphous) และมีสมบัติเป็นผลึก (Crystalline) และน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ต่ำถึงสูง

2.1.1 สมบัติของ POEs

POEs มีสมบัติเชิงกลที่ดี มีความยืดหยุ่น ความเหนียว สามารถรีดเป็นแผ่นได้ที่อุณหภูมิต่ำ ทนต่อกรด-ด่าง ความหนาแน่นต่ำ ทนต่อแรงกระแทกและการโค้งงอได้ดี ด้านทานรังสี UV และโอโซน และเนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีความอิมพัค จึงเสถียรต่อความร้อน รวมทั้งเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมาก และเป็นพอลิเมอร์ที่สามารถนำมารีไซเคิลใหม่ได้ด้วยสมบัติเด่นๆ เหล่านี้ ทำให้ POEs ถูกนำมาใช้งานที่หลากหลาย ด้วยกระบวนการผลิตที่ง่ายในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ จึงมีความสมดุลในด้านราคาด้วย

POEs เริ่มนำมาใช้งานหลากหลาย และผลที่ได้มาจากตลาดของ Global เริ่มต้นความต้องการอยู่ที่ 200 เมตริก (metric) โดยเริ่มก่อตั้งในปี 1990 มีการเพิ่มปริมาณความต้องการขึ้นเป็น 2 เท่า ขึ้นเมื่อกลางปี 2000 และมีโครงการขยายการผลิตขึ้น

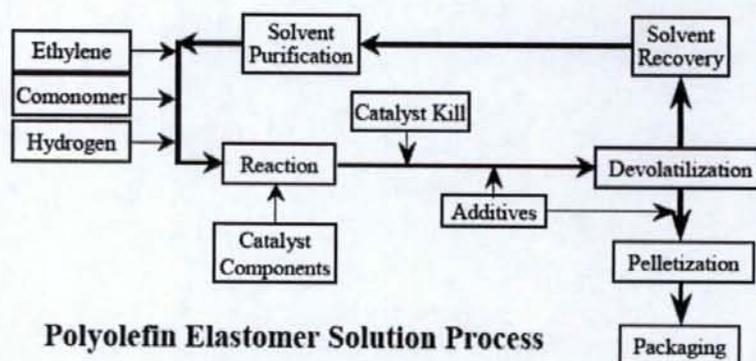
2.1.2 ปฏิริยาเคมีและกระบวนการผลิต

Polyolefin elastomer เป็น Copolymer ของ Ethylene และ Alpha-olefin เช่น Butene หรือ Octene ตัวเร่งปฏิริยา Metallocene ทำให้ปฏิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันเป็นไปอย่างคัดเลือก (Selective) ทำให้การจัดเรียงลำดับของ Ethylene และ Comonomer เป็นไปอย่างต่อเนื่อง และการเพิ่มปริมาณของ Comonomer จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ของ Polymer ที่มีความยืดหยุ่นสูง และการแทรกตัวของ Comonomer ในโครงสร้างพอลิเมอร์จะมีผลต่อความเป็นผลึกของพอลิเมอร์ นอกจากนี้น้ำหนักโมเลกุลของ Copolymer ยังช่วยในการกำหนดเงื่อนไขในกระบวนการขึ้นรูปและสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะเพิ่มความเหนียว (Toughness) ให้กับพอลิเมอร์

POEs ซึ่งผลิตโดยใช้ metallocene catalyst บริสุทธิ์ เป็นปฏิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันโดยตัวเร่งปฏิริยาประเภท Single - Site (ด้านเดียว) หรือ Constrained Geometry Catalyst ซึ่งมีโลหะทรานซิชัน โดยทั่วไปเป็นโลหะกลุ่ม 4B เช่น Ti, Zn หรือ Hf อยู่ระหว่างโครงสร้างวงแหวน Cyclopentadiene หนึ่งวงหรือมากกว่า จัดเรียงตัวเป็นโครงสร้างโมเลกุลที่ชัดเจนตำแหน่งการเข้าทำปฏิริยา Polymerization ลักษณะของตัวเร่งทำให้เกิดปฏิริยา Polymerization เพียงด้านเดียวของตัวเร่งปฏิริยาและทำให้สามารถควบคุมโครงสร้างของ Ethylene Copolymer ซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิริยา Metallocene เทคนิคกระบวนการนี้สามารถใช้ในการผลิต Ethylene Propylene Rubber

ตัวเร่งปฏิริยา Metallocene สามารถนำมาใช้ในกระบวนการ Polymerization ได้หลายแบบเช่น Emulsion, Solution และ gas phase ซึ่งประสิทธิภาพของตัวเร่งปฏิริยาหนึ่งหน่วยสามารถทำให้เกิดพอลิเมอร์เป็นล้านๆ หน่วย กระบวนการ Polymerization เป็นปฏิริยาคายความร้อนมาก ดังนั้นอุปกรณ์ในการถ่ายโอนความร้อนจากก๊าซ หรือสารละลายต้องมีประสิทธิภาพสูง ถึง Reactor จำเป็นต้องมีคุณภาพดีเพื่อที่จะสามารถควบคุมปฏิริยาได้

กระบวนการหลังจากปฏิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันใน Reactor แล้วยังจะเกี่ยวข้องกับการเติมสารเติมแต่ง (Additive) และการแยกพอลิเมอร์ออกจากปฏิริยา แต่เนื่องจากตัวเร่งปฏิริยามีประสิทธิภาพสูง เพราะฉะนั้นไม่จำเป็นต้องแยกตัวเร่งปฏิริยาออก ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถบรรจุในรูปการตัดเม็ด ซึ่งสามารถทำได้ตั้งแต่บรรจุในถุง หรืออาจบรรจุในตู้ Container เนื่องจากมีความเสถียรสูงมาก

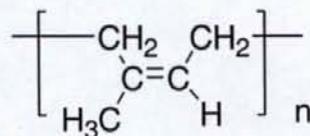


Polyolefin Elastomer Solution Process

รูปที่ 2 แสดงกระบวนการผลิต Polyolefin Elastomer

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 % เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated Latex) ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1,4-Polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain Induced Crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion Resistance) สูง



รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูงเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติพิเศษด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนแ่้มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสมยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber Compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

2.2.1 สมบัติของยางธรรมชาติ

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติที่ดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat Build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

3) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double Bond) อยู่มาก ทำให้ยางมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซน โดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตจึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของ Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารเคมี น้ำมันหรือสารละลายไม่มีขี้ต่างๆ

2.2.2 สารเคมีสำหรับวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ

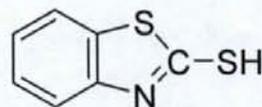
1) กำมะถัน (Sulphur) เป็นสารวัลคาไนซ์ มีลักษณะทั่วไปเป็นสีเหลือง มีความถ่วงจำเพาะ 2.06 เมื่อนำกำมะถันใส่เข้าไปในยางแล้วนำยางนั้นมาให้ความร้อน ก็จะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น ซึ่งจะทำให้ยางมีสมบัติที่ดีขึ้น เมื่อร้อนจะไม่เหลว เมื่อเย็นจะไม่แข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่เหนียว ไม่ละลายในตัวทำละลาย เป็นต้น เนื่องจากกำมะถันทำให้โมเลกุลของยางเชื่อมต่อกัน ซึ่งเกิดการเชื่อมต่อกันระหว่างโมเลกุล

2) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ใช้เป็นสารกระตุ้นเป็นผงสีขาว มีความถ่วงจำเพาะ 5.4 - 5.8 เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายได้ในกรดและด่าง ซิงค์ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นช่วยเสริมให้สารเร่งปฏิกิริยาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซิงค์ออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์มักใช้ร่วมกับสารกระตุ้นประเภทอินทรีย์กลุ่มกรดไขมัน เช่น กรดสเตียริก เมื่อใช้กระตุ้นปริมาณน้อยสามารถทำให้ปฏิกิริยาการคงรูปของยางเกิดได้สมบูรณ์ สารเร่งกลุ่มต่างๆ จำเป็นต้องมี ซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริก วัลคาไนซ์ในปริมาณตั้งแต่ 3 - 5 Phr

3) กรดสเตียริก (Stearic Acid, Sta) เป็นสารกระตุ้นจะเป็นสารที่ช่วยให้สารตัวเร่งทำงาน ถ้าใส่ปนเข้ากับซิงค์ออกไซด์ จะทำให้การทำงานของตัวเร่งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ขางธรรมชาติจะมีกรดไขมันอยู่บ้างจำนวนเล็กน้อยซึ่งอยู่ในรูปของกรดสเตียริก แต่กรดไขมันที่มีอยู่ในธรรมชาติมีอยู่ปริมาณแตกต่างกันมาก ซึ่งขึ้นกับวิธีการเตรียมยาง ดังนั้นขางธรรมชาติแต่ละก้อนอาจมีปริมาณกรดไขมันต่างกันก็ได้ ซึ่งเป็นผลให้อัตราการวัลคาไรน์ซ์ (Cure) ของยางแตกต่างกัน การผสมสารเคมีในขางธรรมชาติทุกครั้งมักใส่ปริมาณกรดสเตียริกประมาณ 1-4 ส่วน เพื่อลดอัตราการวัลคาไรน์ซ์ (Cure) ที่แตกต่างกันลดลง

4) เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล (Mercaptobenzothiazoles, MBT) เป็นสารตัวเร่งที่อยู่ในหมู่โรฮาโซล เป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางที่ตั้งทิ้งไว้มีอายุการใช้งานที่นานขึ้น มีความต้านทานต่อการสึกหรอสูงและง่ายต่อการป้องกันการเกิดการสุกก่อนกำหนดในขางสามารถวัลคาไรน์ซ์ (Cure) ได้ทุกรูปแบบของการวัลคาไรน์ซ์ เช่น ด้วยเครื่องอัด ใอน้ำ อากาศร้อน เป็นสารตัวเร่งความเร็วปานกลางแบบห่วงปฏิกิริยา ทำให้กระบวนการผลิตดำเนินไปอย่างปลอดภัย

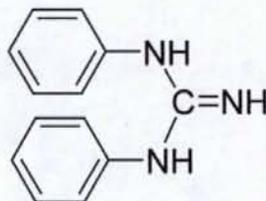
MBT มักมีการใช้ร่วมกับสารตัวเร่งอื่น เช่น MBT/TMTD ซึ่งต้องกระตุ้นวัลคาไรน์ซ์ซิงค์ออกไซด์และกรดสเตียริก นอกจากทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งแล้วยังมีสมบัติทำให้ยางนุ่ม ขณะบดผสมจึงช่วยในการแปรรูปยางได้ดี มักจะใส่ลงในขางขณะที่เริ่มต้นการบดผสมขาง สามารถเกิดการกระตุ้นให้เร็วขึ้นโดยการใช้ร่วมกับสารตัวเร่งกลุ่มกัวนิดีน แต่การกระตุ้นทำให้เกิด Scorch Time สั้นลง ถ้าหากใช้ MBT ร่วมกับ Basic Accelerator เช่น DPG จะให้ผลสูงสุดและความเร็วในการวัลคาไรน์ซ์ ที่เร็วกว่าที่จะใช้ MBT เดี่ยวๆ การเสริมประสิทธิภาพและให้ผลที่ดีกว่าเดิม (เกิดปรากฏการณ์ Synergism) ทำให้สมบัติทางด้านกายภาพดีกว่าใช้สารตัวเร่งตัวใดตัวหนึ่งเดี่ยวๆ ข้อเสียจะเกิดสีเหลืองขึ้นและมีรสขม ไม่สามารถใช้กับอุปกรณ์ที่ต้องสัมผัสอาหารหรือต้องการสีใส



รูปที่ 4 แสดงสูตร โครงสร้างของ เมอร์แคปโทเบนโซไทอะโซล (Mercaptobenzothiazoles, MBT)

5) ไดฟีนิล กัวนิดีน (Diphenyl Guanidine, DPG) เป็นสารตัวเร่งที่อยู่ในหมู่กัวนิดีน ใช้เป็นสารตัวเร่งเสริม ให้สมบัติการวัลคาไรน์ซ์ที่ช้ามากๆ ขางที่วัลคาไรน์ซ์ด้วยกัวนิดีนจะให้ค่าโมดูลัสที่สูงและโมดูลัสอาจเพิ่มขึ้นเมื่อตั้งทิ้งไว้หลังวัลคาไรน์ซ์ แล้วการเกิดความร้อนต่ำ การใช้งานใช้เป็นสารตัวเร่งเสริมให้กับกลุ่มโรฮาโซลเพื่อหวังผลทางด้านการเกิดการกระตุ้น โดยการใส่สารตัวเร่งวัลคาไรน์ซ์ความเร็วต่ำกว่าเป็นตัวเสริมเข้าไป ซึ่งสารตัวเร่งวัลคาไรน์ซ์ร่วมนี้ ให้ผลดีกว่าสารเร่งวัลคาไรน์ซ์เดิมทั้งสอง เมื่อใช้ไดฟีนิลกัวนิดีนเป็นสารตัวเร่งหลักจะไม่วัลคาไรน์ซ์โดยใช้อากาศร้อน เพราะจะจับตัวกันเข้าเกินไป การทำงานของกัวนิดีนต้องมีซิงค์ออกไซด์ แต่ไม่จำเป็นต้องมีกรดไขมัน เพราะจะทำให้การวัลคา

ไนซ์ ซ้ำลงไป และถ้าใช้มากเกินไปจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางลดต่ำ ลงโคพีนิวทัวนิตินจะละลายในยางได้ดี แต่จะตกสี มีกลิ่น และให้รสขม จึงไม่เหมาะที่จะใช้ในยางที่สัมผัสอาหาร



รูปที่ 5 สูตรโครงสร้างของโคพีนิว ทัวนิติน (Diphenyl Guanidine, DPG)

2.2.3 สมบัติของยางวัลคาไนซ์

- 1) **ความแข็ง** ยางธรรมชาติสามารถวัลคาไนซ์ให้มีความแข็งต่างๆ กัน ได้มาก ตั้งแต่นุ่มมาก (30-50 IRHD) (IRHD ย่อมาจาก International Rubber Hardness Degree) ไปจนถึงความแข็งของอีโบนินด์ (98 IRHD) การปรับความแข็งของยางทำได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารตัวเติม หรือปริมาณกำมะถันซึ่งปริมาณกำมะถัน 1-20 phr จะทำให้ยางมีลักษณะความแข็งคล้ายหนัง (Leatherlink)
- 2) **ความต้านทานแรงดึง** ยางธรรมชาติมีโครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอ สามารถตกผลึกได้เมื่อดึง จึงทำให้ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง และความต้านทานต่อการฉีกขาดสูง
- 3) **ความสามารถในการดึงยืด** ยางธรรมชาติที่ไม่ใช้สารตัวเติมจะสามารถยืดได้ถึงประมาณ 100%หรือมากกว่านั้น ความสามารถในการยืดตัวของยางธรรมชาติจะลดลงตามปริมาณของสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และตามปริมาณพันธะวัลคาไนซ์ สมบัติในการยืดตัวได้สูงนี้ ทำให้ยางธรรมชาติสามารถใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความยืดสูง เช่น สายยางยืด ขากรัดของ ลูกโป่ง เป็นต้น
- 4) **ความต้านทานการฉีกขาด** ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ดี ทำให้มีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่ายางสังเคราะห์อื่น ๆ ยกเว้นยางพอลิยูรีเทนที่เชื่อมโยงพันธะด้วยไอโซไซยานเนต ความต้านทานการฉีกขาดจะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพร่วมด้วย
- 5) **ความสามารถในการกระด้างตัว** ยางธรรมชาติมีความกระด้างตัวสูงกว่ายางอื่น ๆ ยกเว้นยางบิวทาไดอินเท่านั้น ความกระด้างตัวของยางธรรมชาติสูงถึงประมาณร้อยละ 70 เมื่อไม่มีสารตัวเติมอยู่ด้วย ความกระด้างจะลดลงตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น
- 6) **การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ** ความสามารถในการห้งงอไปมาได้ที่อุณหภูมิต่ำ ค่าอุณหภูมิแข็งคล้ายแก้ว มีค่าประมาณ -72°C ทำให้มีสมบัติเช่นที่เหนือกว่ายางชนิดอื่น ๆ
- 7) **ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ** มีพันธะคู่ที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อใช้กำมะถันเป็นตัววัลคาไนซ์แต่จะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ดังนั้นยางธรรมชาติจึงไม่เหมาะใช้งานที่อุณหภูมิสูงและมีโอโซนอยู่ด้วย

8) ความทนทานต่อความร้อน ยางธรรมชาติไม่เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิถึง 70 °C เป็นระยะเวลาานานผลต่ออายุการเสื่อมของยาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นยางบาง ซึ่งมีพื้นที่สัมผัสกับบรรยากาศเป็นบริเวณกว้างและไม่ใช้ในกรณีที่ต้องยึดยางในบรรยากาศที่มีโอโซนอยู่ด้วย แอนติออกซิแดนท์และแอนติโอโซนแนนท์ (รวมทั้งซีฟี่ง) จะใช้เป็นสารช่วยป้องกันยางธรรมชาติต่อการเสื่อม

2.3.4 การประยุกต์ใช้งานของยางธรรมชาติ

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการนำยางธรรมชาติชนิดต่าง ๆ ไปใช้ประโยชน์ [5]

ชนิด	การใช้งาน	หมายเหตุ
STR XL, STR 5L, ADS, RSS1 Pale Crepe	ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์, ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการแต่งเติมสีเส้น เส้นด้ายยาง ยืด กาวยาง เทปติดพื้นรองเท้า	เป็นยางที่มีความสะอาดมีสีจาง โดยเฉพาะยาง STR 5L ส่วน RSS ก่อนข้างแข็งมาก
STR 20, RSS2, 3, 4, 5	ยางรถยนต์ ยางล้อรถรวมทั้งผล ยางอะไหล่ ยางที่งานวิศวกรรมและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป	เป็นยางสีคล้ำ ใช้ผสมกับสารตัวเติม เช่นใช้เขม่าดำกับยางแผ่นรมควันชั้น 4, 5 ทำให้สมบัติด้าและคุณภาพด้า
Skim Rubber	ผลิตภัณฑ์คุณภาพต่ำ เช่น ยางปูพื้น ยางล้อรถเข็น ยางกันกระแทก เป็นต้น	ใช้ผสมกับยางคุณภาพสูง เพื่อลดต้นทุน มีสีอ่อน ต้องการเติมแต่งสี ได้เปรียบในการเกิดการคงรูปได้เร็ว และมีความแข็งสูง แต่สมบัติทางกายภาพด้า
น้ำยางข้น	- ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ลูกโป่ง ถุงมือ ถุงยางอนามัย หัวนม - ผลิตภัณฑ์ตีฟอง เช่น ที่นอน หมอน ตุ๊กตาฟองน้ำ ผลิตภัณฑ์หล่อแบบ เช่น ตุ๊กตายาง หุ่นการศึกษา - ผลิตภัณฑ์เส้นด้ายยืด ท่อยาง กาว	สามารถออกสูตรสารเคมีผสมน้ำยางให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและแข็งแรงมาก โคนไม่ต้องเติมสารเสริมความแข็งแรง
น้ำยางคงรูป	- ผลิตภัณฑ์จุ่มแบบ เช่น ลูกโป่ง ถุงมือ ฯลฯ - ผลิตภัณฑ์หล่อแบบต่างๆ ผลิตภัณฑ์เชื่อมเส้นใย เป็นต้น	มีการเติมสีเคมี เพื่อให้ใช้งานได้สะดวก และเติมสารกันยางเสื่อมสภาพในกระบวนการขึ้นรูป

2.4 พอลิเมอร์ผสม (Polymer Blends)

พอลิเมอร์ผสม หมายถึง พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิด หรือมากกว่ามาผสมกันทางกายภาพด้วยวิธีต่างๆ โดยไม่เกิดพันธะโควาเลนต์ ทั้งนี้องค์ประกอบที่เป็นส่วนน้อยต้องมีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก จากนั้นนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์โดยการอัดรีด (Extrusion) หรือการอัดแบบ (Molding) พอลิเมอร์หรือโคพอลิเมอร์ที่ผสมกันแล้ว อาจจะรวมเข้ากันได้ (Miscible) หรือเข้ากันไม่ได้ (Immiscible) พอลิเมอร์ที่เข้ากันไม่ได้สามารถปรับปรุงการเข้ากันได้โดยเติมสารช่วยผสม (Compatibilizers)

2.4.1 จุดประสงค์ของการทำพอลิเมอร์ผสม

สำหรับการผสมเทอร์โมพลาสติกพอลิเมอร์ เป็นการเคลื่อนย้ายความหนาแน่นของสายโซ่พอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อเชื่อมกันของพอลิเมอร์ ทำให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Blend) ระดับความเป็นเนื้อเดียวกันขึ้นอยู่กับธรรมชาติขององค์ประกอบและเทคนิคการผสม

วิธีการผสมสามารถแบ่งได้เป็น 4 วิธีดังนี้ คือ

1. การผสมทางกล (Mechanical Blending) ปกติจะใช้กับการผลิตพอลิเมอร์ผสมที่มีลักษณะการกระจายหยาบมากๆ สมบัติของเบลนด์อยู่ที่อิทธิพลของความเร็วของการผสม (Speed of Mixing) และอุณหภูมิของการผสม (Temperature of Mixing)

2. การผสมแบบละลาย (Solution Blending) เหมาะกับพอลิเมอร์ที่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายธรรมดา การผสมให้ได้ระดับความเป็นโมเลกุลที่คืนันขึ้นอยู่กับราคาของตัวทำละลาย

3. พอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ส่วนใหญ่ในการผลิตพอลิเมอร์ไรเซชันแบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) พอลิเมอร์จะถูกทำให้อยู่ในรูปของลาเทกซ์ขนาดจุลภาค ตามด้วยการกำจัดน้ำออกไปเราจะได้การกระจายและการแจกแจงของเฟสที่ไม่ต่อเนื่องกัน (Discrete phase) ที่ดี

4. การผสมด้วยการทำปฏิกิริยา (Reactive blending) เป็นวิธีการใหม่ที่ใช้ปรับปรุง วัสดุที่มีความเข้ากันไม่ได้สูง เช่น การทำปฏิกิริยาของโคพอลิเมอร์หลายฟังก์ชันนัล (Multifunctional copolymer)

2.4.2 สมบัติของพอลิเมอร์ที่ได้หลังจากนำพอลิเมอร์มาผสมกัน

1. เพื่อเพิ่มสมบัติการไหลเมื่อหลอมตัว โดยเพิ่มช่วงการหลอมตัวและความยืดหยุ่นสำหรับพอลิเมอร์ที่ต้องขึ้นรูปด้วยการเป่า (Blow molding) และขึ้นรูปด้วยความร้อน (Thermoforming)

2. เพื่อเพิ่มค่ามอดูลัส การเติมพลาสติกลงในอีลาสโตเมอร์จะทำให้ยางมีความเหนียวมากขึ้น เช่น การเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) ลงในยางอะครีโลไนไตร์-บิวทาไดอีน (Acrylonitrile-Butadiene Rubber)

3. เพื่อเพิ่มความแข็งแรง การเติมพอลิฟอสฟีนลงใน เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอนอเมอร์ (Ethylene-propylene-diene termonomer) หรือเติมพอลิไวนิลคลอไรด์ลงในยางไนไตรล์จะได้พลาสติกอีลาสโตเมอร์ที่มีความแข็ง การเติมพอลิเมอร์ร่วมสไตรีน - บิวทาไดอีน หรือ ฟีนอริกเรซินลงในยางในระหว่างการผสมจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความเหนียว ซึ่งเป็นการเสริมแรงให้กับยาง

4. เพื่อช่วยในการหล่อลื่น สามารถเพิ่มการหล่อลื่นให้กับพลาสติกจำพวกวิศวกรรมที่ใช้สำหรับทำเกียร์และฝาประกบเพลา (Bearing) ได้ด้วยการเติมผงพอลิเตตระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene) ลงไปประมาณร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก ลงในอะซิตัล (Acetal) หรือ พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) หรือไนลอน 6,6

5. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำได้ โดยใช้ยางบิวทิล (Butyl Rubber) หรือ เอทิลีน-พรอพิลีน-ไดอีน-เทอร์มอโนเมอร์

6. เพื่อหน่วงการคิดไฟ โดยการเติมพอลิเมอร์ที่มีความสามารถในการทนต่อการคิดไฟมากกว่าลงไป เช่น การเติมคลอริเนตลงในพอลิเอทิลีน

7. เพื่อเพิ่มความทนทานต่อแรงกระแทก ทำได้ด้วยการเติมพอลิเมอร์ออสันฐานซึ่งจะทำหน้าที่รับแรงกระแทก

8. เพื่อเพิ่มความต้านทานการขีดถู

9. เพื่อเพิ่มอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วและเพิ่มอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน (Heat deflection temperature)

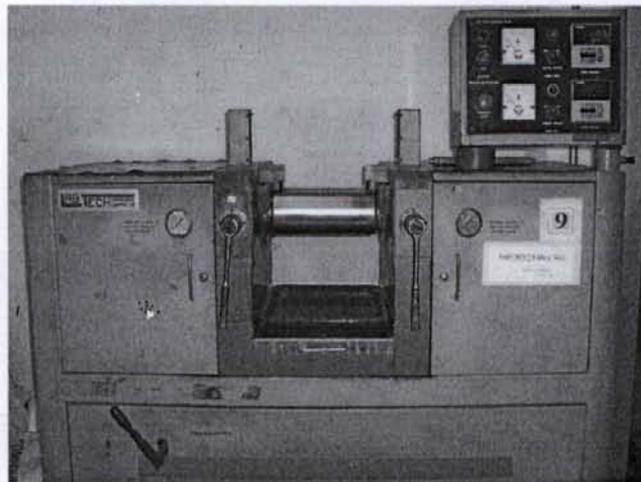
10. เพื่อช่วยเพิ่มความใส โดยการเติมพอลิเมอร์ประเภทอะคริลิก เช่น พอลิเมทิลเมทาไครเลตลงในพอลิไวนิลิดีนฟลูออไรด์ เพื่อลดความเป็นผลึก

11. เพื่อเพิ่มการทนทานต่อสารเคมี

12. เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต

2.5 เครื่องผสมสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill)

การบดขย้างให้ نرم และการบดผสม (Mastication and Mixing) ปกติแล้วยางดิบอย่างเดียวนั้นมีขีดจำกัดในการใช้งาน เพราะจะอ่อนนุ่มและเหนียวเมื่อร้อนแต่จะแข็งเปราะเมื่อเย็น การใช้ประโยชน์ของยางจำเป็นต้องผสมกับสารเคมีต่างๆ และบางครั้งอาจใช้ยางตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปผสมกัน การบดผสมยางกับสารเคมีหรือในวงการอุตสาหกรรมยางเรียกว่า “การตียาง” นั้นนับเป็นกระบวนการที่สำคัญมากในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง เพราะเป็นขั้นตอนหนึ่งที่จะทำให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการผลิตผลิตภัณฑ์ยางตามคุณภาพที่ต้องการ ความเข้าใจหลักการทางวิชาการอย่างถูกต้องของการผสมยางกับสารเคมี ขณะบดขย้างโมเลกุลของยางจะถูกฉีกขาดออกจากกันทำให้โมเลกุลเล็กลง เป็นเหตุให้ยางอ่อนตัวลง สามารถผสมกับเคมีได้ตามต้องการ



รูปที่ 6 แสดงเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง

2.5.1 ส่วนประกอบของเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง

ลักษณะทั่วไปของเครื่องประกอบด้วยลูกกลิ้งสองลูกวางเรียงกันในแนวนอนขนานกัน ลูกกลิ้งสามารถปรับเข้าออกได้ด้วยสกรูตรงด้านหน้าของเครื่องบด ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้ตามต้องการ ลูกกลิ้งบดยางจะต้องมีความแข็งแรงทนทานต่อการใช้งานสูง โดยเฉพาะทนต่อการชุบฉีดด้วยมิดดิลยางที่กดลงบนผิวลูกกลิ้งขณะบดยาง ลูกกลิ้งทำจากเหล็กหล่ออย่างดี ผิวลูกกลิ้งทำจากโครเมียมแข็งทำให้ทนต่อการชุบฉีดได้ ลูกกลิ้งบดยางมีตั้งแต่ขนาดเล็ก 2.5 ซม. จนถึงขนาด 2.5 เมตร ความยาวของลูกกลิ้งกับเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกกลิ้งจะเป็นสัดส่วนกัน

1) ระบบทำความร้อน

ภายในลูกกลิ้งจะมีระบบทำความร้อนให้ลูกกลิ้ง เพื่อช่วยทำให้ยางนุ่มบดยางได้ง่ายขึ้น และประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการบดยาง ระบบทำความร้อนมีหลายแบบดังนี้

- 1.1 ระบบทำความร้อนด้วยน้ำและไอน้ำผสม
- 1.2 ระบบทำความร้อนด้วยไอน้ำและทำให้เย็นตัวด้วยน้ำ
- 1.3 ระบบทำความร้อนน้ำมันเป็นสื่อกลาง
- 1.4 ระบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้า

ลักษณะของลูกกลิ้งที่ใช้ระบบความร้อนแบบไอน้ำหรือน้ำร้อนที่นิยมใช้มี 2 แบบคือ Core Roll กับ Drill Roll

Core Roll ลูกกลิ้งแบบนี้ภายในกลวง ตรงกลางมีท่อนำไอน้ำหรือน้ำร้อนจากปลายด้านหนึ่งของลูกกลิ้งเข้าไปจนเกือบสุดของลูกกลิ้งแล้วปล่อยให้ไหลย้อนกลับในส่วนที่เป็นช่องว่างหรือรูแกนกลางของลูกกลิ้ง เพื่อถ่ายเทความร้อนหรือความเย็นจากผิวลูกกลิ้ง

Drill Roll ภายในลูกกลิ้งจะมีท่อน้ำหรือไอน้ำจำนวนหนึ่งอยู่ใต้ผิวลูกกลิ้งต่อกับท่อแกนกลาง ตัวนำความร้อนจะไหลผ่านท่อกลางของลูกกลิ้ง และแยกออกสู่ท่อที่อยู่ใต้ผิวลูก Drill Roll จึงสามารถควบคุมอุณหภูมิของลูกกลิ้งและยางได้ดีกว่า Core Roll

ลูกกลิ้งแบบทำความร้อนด้วยไฟฟ้าภายในลูกกลิ้งประกอบด้วยตัวทำความร้อนอยู่ตลอดตามแนวยาวลูกกลิ้ง และภายในลูกกลิ้งจะมีท่อหล่อน้ำเย็น เพื่อคลายความร้อนที่เกิดขึ้นขณะบดยาง เพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่

2) ความเร็วของผิวลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งสองลูกหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากันความเร็วของผิวลูกกลิ้งตัวหน้าช้ากว่าตัวหลัง ทำให้เกิดแรงเฉือนขึ้น อัตราส่วนระหว่างความเร็วของลูกกลิ้งตัวหน้ากับลูกกลิ้งตัวหลังเรียกว่า Friction Ratio โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1.25 : 1 ในกรณีที่ลูกกลิ้งมีความเร็วที่เท่ากัน Friction Ratio เท่ากับ 1 ไม่มีแรงเฉือน การบดยางจะผ่านไปอย่างเดียวไม่มีแรงฉีกขาดของโมเลกุล

$$\text{Friction Ratio} = \frac{\text{rear roll speed}}{\text{front roll speed}} \quad (2-1)$$

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการบดยางขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องบด ความเร็วลูกกลิ้งและปริมาณยางที่ใช้ ความเร็วผิวลูกกลิ้งขึ้นอยู่กับขนาดลูกกลิ้ง โดยปกติแล้วลูกกลิ้งขนาดเล็กหมุนเร็วกว่าลูกกลิ้งขนาดใหญ่ แต่เวลาคำนวณจะคำนวณความเร็วของผิวลูกกลิ้งที่วิ่งผ่านช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ความเร็วในการหมุนของลูกกลิ้งเป็นสิ่งสำคัญ ถ้าลูกกลิ้งหมุนเร็วจะได้ผลผลิตที่สูง แต่ใช้พลังงานมาก และต้องตัดยางมากทำให้ตัดไม้ทันเกิดอันตรายได้ ความเร็วผิวของลูกกลิ้งลูกหน้าประมาณ 40-100 ฟุต/นาที ลูกกลิ้งเล็กมีความเร็วผิวน้อยกว่าลูกกลิ้งใหญ่

ด้านใต้ของลูกกลิ้งเป็นถาดรองสารเคมีที่ตกจากลูกกลิ้งขณะบดผสมยางบนลูกกลิ้ง บนลูกกลิ้งจะมีแผ่นกั้นยางที่ใช้กันระยะของลูกกลิ้ง แผ่นกั้น (Guide) เป็นแผ่นทองเหลืองหรือไม้ยึดติดอยู่บนลูกกลิ้งมีส่วนเว้าโค้งพอดีกับลูกกลิ้ง เพื่อป้องกันไม่ให้ยางขยายออกนอกลูกกลิ้งแผ่นนี้ปรับเลื่อนได้ตามแนวยาวบนลูกกลิ้งตามที่ต้องการ เพื่อช่วยควบคุมขนาดของก้อนยางบนลูกกลิ้ง (Bank) ได้ และป้องกันยางขยายออกนอกลูกกลิ้ง ทำให้ตกลงไปในช่องลูกกลิ้งที่เป็นลูกปืนทำให้ยางเปราะเป็อนน้ำมันหล่อลื่นได้

3) ระบบความปลอดภัย เครื่องบดสองลูกกลิ้งทำงานโดยลูกกลิ้งทั้งสองหมุนเข้าหากันนำยางและสารเคมีเข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งจะบีบ กด และฉีกยางออก การหมุนเข้าหากันอาจจะนำเอาสิ่งที่ไม่ใช่ยางและสารเคมีเข้าไปในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งได้เป็นอันตรายต่อคนและเครื่อง จึงมีเครื่องป้องกันอันตรายต่อคนและเครื่อง โดยใช้ระบบการตัดไฟให้เครื่องหยุดทำงานทันที เพื่อป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้น บางเครื่องลูกกลิ้งจะหมุนกลับประมาณ 1 รอบ ระบบความปลอดภัยมีหลายแบบเช่น

- แบบเหล็กกั้น มีลูกกรงเหล็กปิดกั้นลูกกลิ้งไว้ เพื่อไม่ให้มือที่ใช้ทำงานผ่านพ้นระดับความปลอดภัยของเครื่อง ด้านหน้าลูกกรงเหล็กเปิดออกได้ เปิดขึ้นลูกกลิ้งไม่ทำงาน

- แบบใช้อุปกรณ์ตัดไฟ เป็นแบบสวิทช์ มี 2 จุด จุดแรกเป็นแบบบาร์อยู่บนลูกกลิ้งใช้มือคิงบาร์ เมื่อต้องการหยุดเครื่อง จุดที่ 2 เป็นฝาขึ้นออกมาจากตัวเครื่องบด ไขเข้ากระแทกเมื่อต้องการให้เครื่องหยุด หรือถ้าเป็นเครื่องขนาดใหญ่ในตำแหน่งนี้จะเป็นบาร์กั้นด้านหน้าเหนือถาดไม่ให้ผู้ทำงานขึ้นตัวเข้าไปติดกับลูกกลิ้ง

การบดขาง (Mastication) หมายถึง การเคี้ยวเป็นการบดขางหรือบดย่อยขางให้โมเลกุลของขางที่มีขนาดใหญ่ให้มีขนาดที่เล็กลง ขางที่ถูกบดจะถูกเปลี่ยนแปลงสมบัติจากขางที่แข็งเป็นขางที่อ่อนตัวหรือนิ่มลง มีพลาสติกซีดีสูงขึ้น ความแข็งลดลง

ปกติขางธรรมชาติมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่มากซึ่งสูงเกินไปไม่เหมาะในการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และมีสมบัติยืดหยุ่นได้ จึงต้องบดขางให้มีโมเลกุลที่เล็กลง ลดความยืดหยุ่น การแตกหักของโมเลกุลเกิดขึ้นได้ทั้งทางกล เช่น การฉีกขาดเนื่องจากแรงเฉือน บีบ อัด ของเครื่องบดขาง หรือเกิดขึ้นทางเคมี เช่น สารเคมีและความร้อนทำให้เกิดการออกซิเดชันของโมเลกุลขาง

2.5.2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการบดขาง

1. ลูกกลิ้ง เช่นความเร็วผิวลูกกลิ้ง ขนาดของเครื่องบด พลังงานที่ใช้ ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้ง Friction Ratio ของลูกกลิ้ง เส้นผ่านศูนย์กลางของลูกกลิ้ง

2. อุณหภูมิของลูกกลิ้งและขาง

3. สภาวะรอบนอกและสารเคมี

เมื่อขางผ่านเข้าไปในเครื่องผสมขางสองลูกกลิ้ง ที่มีความเร็วผิวลูกกลิ้งที่ไม่เท่ากัน ลูกกลิ้งจะกด อัด บีบ และเฉือนขางทำให้โมเลกุลของขางแตกออกจากกัน เมื่อขางถูกบดครั้งแรกขนาดของโมเลกุลจะลดลงอย่างรวดเร็ว และตามจำนวนครั้งของการผ่านขางเข้าไปในลูกกลิ้งที่อุณหภูมิ 70 °C (อุณหภูมิการบดขางมีอิทธิพลต่อความอ่อนตัวของขาง)

การบดขางที่อุณหภูมิสูงโมเลกุลของขางถูกออกซิไดซ์ ขณะที่บดย่อยทำให้โมเลกุลขางแตกตัวลงอย่างรวดเร็ว ส่วนที่อุณหภูมิต่ำโมเลกุลขางจะถูก คิง บีบ เฉือน อย่างรวดเร็วและรุนแรงขณะที่ขางผ่านผ่านเข้าลูกกลิ้งเป็นผลทำให้โมเลกุลของขางฉีกขาดด้วยแรงกลในกรณีที่อุณหภูมิสูงแต่ไม่มากพอที่จะทำให้โมเลกุลถูกออกซิไดซ์ แต่ความร้อนทำให้ขางนิ่มลงขางจึงสามารถไหลได้ขณะที่บดขางผ่านลูกกลิ้ง ทำให้ประสิทธิภาพการฉีกขาดด้วยแรงกลลดลงสภาวะรอบนอกของการบดขางมีผลต่อการฉีกขาดของโมเลกุลของขาง เมื่อบดขางในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือโอโซน โมเลกุลของขางจะเกิดการแตกหักได้ง่าย

2.5.3 การบดขางผสมสารเคมี

ขางดิบหรือขางไม่คงรูปสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ง่ายไม่เหมาะกับการใช้งาน จึงต้องทำให้ขางคงรูปเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติให้เหมาะกับการใช้งาน ขั้นตอนแรกของการกระบวนการแปรรูปขางทำให้ขางคงรูป

คือ การบดขยงผสมสารเคมี ขั้นตอนการบดขยงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การบดขยงขยง เมื่อบดขยงขยงให้มีพลาสติกซีดีที่เหมาะสมจะใส่สารเคมีต่างๆ เข้าไปผสมในขยง ขยงที่บดผสมสารเคมีสารเคมีแล้ว เรียกว่า Compound หรือ Mix หรือ Rubber Compound แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1. ขยงที่ผสมสารเคมีทุกขยง ยกเว้น ซัลเฟอร์อย่างเดีขยง สามารถเก็บไว้ได้เมื่อต้องการใช้ก็นำมาผสมกับซัลเฟอร์แล้วก็วัลคาไนซ์
2. ขยงที่ผสมสารเคมีแล้ว รวมทั้งซัลเฟอร์พร้อมที่จะวัลคาไนซ์

1. การเตรียมขยงและสารเคมี ก่อนบดขยงต้องชั่งขยงและสารเคมี สัดส่วนของขยงกับสารเคมีที่ใช้จะแน่นอนตามสูตร เมื่อต้องการบดผสมขยงในลูกกลิ้งที่สามารถกำหนดน้ำหนักตามที่ต้องการได้คำนวณน้ำหนักขยงที่บด โดยให้คิดเป็นจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรขยงที่ต้องการ ตัวคูณที่นำมาคูณ เรียกว่า Batch Factor ดังสมการ 2.2

$$\text{Batch Factor} = \frac{\text{Batch size (w1)}}{\text{Total phr (w2)}} \quad (2-2)$$

กำหนด

Batch size คือ ต้องการผสมสารเคมีทั้งหมด 2,900 กรัม

Total phr คือ น้ำหนักของสูตรขยงหนัก 260.25 กรัม

แทนค่าในสมการ (2-2)

$$\begin{aligned} \text{Batch Factor} &= \frac{2900}{260.25} \\ &= 11.14 \end{aligned}$$

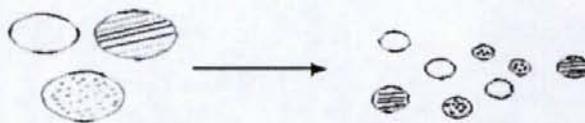
ดังนั้น Batch Factor คือ 11 นำ 11 ไปคูณปริมาณของสารเคมีทุกตัวจะได้เป็นสารเคมีที่ต้องการซึ่ง

การบดขยงจะต้องผสมให้สารเคมีเข้าไปผสมอยู่ในเนื้อขยงสม่ำเสมอจะเป็นเนื้อเดียวกันโดยตลอด เพื่อให้สมบัติทางกายภาพที่สม่ำเสมอและดีที่สุดสำหรับสูตรขยงผสมนั้นๆ การที่สารเคมีจะกระจายเข้าไปในขยงได้อย่างสม่ำเสมอได้ขึ้นอยู่กับขนาดของ Batch ระยะเวลาของการบดขยงขยงและการบดผสมสารเคมี การที่สารเคมีจะกระจายเข้าไปในขยงได้ดีขึ้น ขึ้นอยู่กับพลาสติกซีดีของขยง ถ้าขยงแข็งเกินไป สารเคมีไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปในขยงได้ แต่ถ้าขยงนิ่มเกินไป สารเคมีเกาะกันเป็นก้อนจะไม่ถูกบดให้แตกกระจายออกได้ ถ้าหยุดบดขยงผสมสารเคมีขณะที่สารเคมียังเกาะติดกันเป็นก้อน ขยงจะห่อหุ้มสารเคมีที่เกาะกันเป็นก้อนนี้ไว้แน่นจนเกิดเป็นพันธะคู่ของขยง ไม่สามารถแตกกระจายออกไปอีกเมื่อ

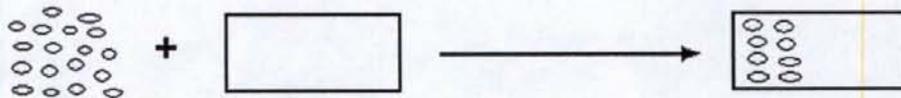
นำยางนั้นมาบดใหม่ การบดยางผสมสารเคมีทุกครั้งควรจะต้องบดให้แตกกระจายและผสมเข้ากันจนยางเป็นเนื้อเดียวกัน

2. ขั้นตอนการผสมสารเคมีกับยางมี 4 แบบ คือ

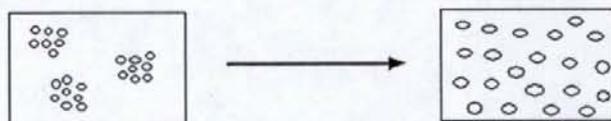
1. เป็นลักษณะของชั้นยางและสารเคมี จะถูกแบ่งให้เป็นชิ้นเล็กลง เป็นกระบวนการก่อนเกิดการแยกกันระหว่างยางกับสารเคมี ยางจะต้องถูกฉีกย่อยเปลี่ยนจากก้อนยางที่เย็นและแข็งให้อยู่ในสถานะที่อ่อนตัวและมีขนาดของโมเลกุลเล็กลงโดยอาศัยเครื่องบดยาง ความร้อน จนกระทั่งมีความหนืดหรือพลาสติกซิตีที่เหมาะสม



2. เป็นลักษณะของสารเคมีที่แทรกตัวเข้าไปในยาง เมื่อใส่สารเคมีผสมลงไปในยาง สารเคมีถูกบดให้แตกจะแทรกตัวเข้าไปในยาง เกิดการผสมกันขึ้นระหว่างยางกับสารเคมี



3. เป็นการกระจายของสารเคมีในยาง สารเคมีที่เกาะเป็นก้อนอยู่ในยางจะถูกแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในขณะที่ยางแผ่นเข้าลูกกลิ้ง ทำให้เกิดการแตกตัวของสารเคมีให้กระจายออกไปในเนื้อยาง การบดผสมจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ ทำให้สารเคมีกระจายอยู่ในเนื้อยางอย่างสม่ำเสมอ



4. เป็นการบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน สารเคมีกระจายอยู่ในเนื้อยางแล้วทำให้กระจายเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ



ประสิทธิภาพของการบดยางผสมสารเคมีให้กระจายได้ดีในยางขึ้นอยู่กับขนาดของก้อนยางที่เหลืออยู่บนลูกกลิ้ง การตัดม้วนยาง การตัดยาง และระยะเวลาการผสม

2.5.4 ลำดับการใส่สารเคมี

1. ให้ใส่สารเคมีลงในยางหลังจากที่ยางพ่นลูกกลิ้งแล้วและมีผิวเริ่มเรียบ ถ้ามีสารช่วยย่อยยาง ให้ใส่ลงไปก่อนจะช่วยให้ยางนุ่มเร็วขึ้น สารเร่งปฏิกิริยา เช่น MBT ก็มีสมบัติเร่งให้ยางนุ่มเร็วขึ้น
2. สารเคมีที่มีปริมาณน้อยกระจายได้ยากเพื่อให้ได้มีเวลาในการบดผสมได้เป็นเวลานาน เช่น สารเร่งปฏิกิริยา สารกระตุ้น กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์ สารป้องกันการเสื่อมสภาพ ใส่ลงในลำดับต้นๆ เพื่อจะได้บังคับให้กระจายได้ในยางได้ดี
3. สารเพิ่มน้ำมันหรือไข ควรใส่สลับกันเพื่อควบคุม
4. สารวัลคาไนซ์ซึ่งเอเจน เช่น ซัลเฟอร์ ที่ใส่ในยางธรรมชาติให้ใส่ท้ายสุดเนื่องจากขณะบดยางผสมสารเคมีต้องใช้ลูกกลิ้งร้อนทำให้ยางนุ่มเพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรและความร้อนยังเกิดขึ้นขณะที่บดยาง เนื่องจากเกิดการแตกหักของโมเลกุลยางเสียดสีกัน ถ้าใส่สารวัลคาไนซ์ลงไปในส่วนผสมของยาง การบดผสมอาจจะทำให้เกิดการคงรูปขึ้นในระหว่างการบดผสม (Scorch = การที่ยางเริ่มทำปฏิกิริยากับสารเคมีจนเกิดการคงรูปขึ้น เมื่อยางเริ่มสุกจะไม่สามารถนำไปแปรรูปได้อีก)

2.6 ยางอีพีเอ็ม และ อีพีดีเอ็ม (Etylene-Propylene Rubber, EPM and EPDM)

การโคพอลิเมอร์ไรซ์ (Copolymerize) มอโนเมอร์เอทธิลีน (Ethylene) กับ โพรพิลีน (Propylene) และใช้ Catalyst ชนิดซีเกลอร์แนตตา (Ziegler - Natta) จะได้พอลิเมอร์มีลักษณะ Amorphous และเป็นยางเรียกว่า EPMs แต่เนื่องจากในโมเลกุลจะไม่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated parts) ดังนั้น การทำให้ยางคงรูปจึงต้องใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Peroxide)

ในระหว่างกระบวนการพอลิเมอร์ไรซ์ (Polymerization process) มอโนเมอร์เอทธิลีน (Ethylene) กับ โพรพิลีน (Propylene) ถ้าเติม "Diene" เป็นมอโนเมอร์ตัวที่สามลงไปจะทำให้ได้ยางที่สามารถทำให้คงรูปด้วยซัลเฟอร์ได้ ยางดังกล่าว คือ EPDMs

ในปี 1963 และ 1985 ได้มีการขยายการผลิต EPM และ EPDM ตามลำดับ เกรดหลักๆของ EPMs ที่ผลิตเชิงการค้าประกอบด้วย 40 % ถึง 80% โดยน้ำหนัก หรือ 45-85 mole % ของ Ethylene และเกรดที่สำคัญที่สุดประกอบด้วย 50-70 mole %

- ในการผลิตยาง EPM และ EPDM ตัวบ่งชี้ถึงคุณภาพของยางที่สำคัญ ได้แก่
- สัดส่วนของ Ethylene และ Propylene (Amorphous or segmented grades)
 - Co- หรือ Terpolymerisation (EPM หรือ EPDM)
 - ชนิดและปริมาณของมอโนเมอร์ตัวที่สาม (Termonomer) (สมบัติของการคงรูป และสมบัติของยางที่คงรูปแล้ว)
 - น้ำหนักโมเลกุล (ความแตกต่างด้าน Mooney viscosity และ Processibility)
 - การผสมกับน้ำมัน (Processability, ราคา)

การผลิตยาง EPM และ EPDM

ในการ Copolymerize มอโนเมอร์ Ethylene กับ Propylene ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ประเภท Vanadium containing catalysts กรณี Solution polymerization ใช้ตัวทำละลายประเภท Aliphatic hydrocarbons เช่น Pentane หรือ Hexane ส่วน Suspension polymerization ไม่ใช้ตัวทำละลาย แต่ปริมาณของ Propylene ที่เกินพอจะทำหน้าที่แทนตัวทำละลาย

การเลือกชนิดมอโนเมอร์ตัวที่สามเป็นเรื่องสำคัญมากประการแรก และสองจุดพันธะคู่ (Double bonds) ของ Diene ควรมีความไวต่อปฏิกิริยาต่างกัน เพื่อพันธะคู่จุดที่หนึ่งจะทำหน้าที่ Copolymerize กับจุดที่สองที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาและอยู่ในสายโซ่พอลิเมอร์โมเลกุล ซึ่งจะทำให้พันธะคู่ที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยานี้สามารถเกิดปฏิกิริยาการคงรูป (Vulcanization) ในภายหลังได้ นอกจากนี้พันธะคู่จุดที่สองจะต้องมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาในการคงรูปได้สูง อย่างไรก็ตามปัจจัยเรื่องราคาเป็นปัจจัยสำคัญ ดังนั้น ความต้องการทั้งหลายดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้จำกัดชนิดของมอโนเมอร์ตัวที่สามแคบลง และที่ใช้นั้นกว้างขวางมีเพียง 3 ชนิด โดยชนิดที่ใช้นั้นมากที่สุดคือ Ethylidene Norbornene (ENB) เพราะผสมเข้ากันง่ายและมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาที่ยางจะคงรูป

สมบัติของยาง EPM และ EPDM

1. ปริมาณของ Ethylene-propylene (E-P)

ปกติจะรายงานปริมาณของ E-P เป็นน้ำหนัก-เป็นเปอร์เซ็นต์ของ Ethylene ซึ่งแปรตั้งแต่ 75 ถึง 45 % การกระจายของมอโนเมอร์เป็นแบบ Random ซึ่งทำให้ได้ พอลิเมอร์ชนิด Amorphous พอลิเมอร์ที่มีปริมาณ Ethylene มาก จะมีสมบัติตกผลึก (Crystallinity) ได้บ้าง จึงมีผลให้ยางมีความแข็งแรงในสภาพยังไม่คงรูปสูง (Higher green strength) สามารถที่เติม สารตัวเติมและน้ำมันได้มาก จนทำให้ได้ยางที่มีความต้านแรงดึงสูง ข้อเสียเปรียบของการที่พอลิเมอร์มีปริมาณ Ethylene สูง คือการบดผสมยางที่อุณหภูมิต่ำ จะมีความยาก และสมบัติของยางที่อุณหภูมิต่ำก็ไม่ดี เนื่องจากการตกผลึกของยางมักเพิ่มสูงขึ้นเมื่อสภาพอุณหภูมิต่ำลง ฉะนั้นจึงมักเก็บยางที่มีปริมาณ Ethylene มากภายใต้สภาวะอุ่นเพื่อลดปัญหาเรื่องการบดผสม

2. น้ำหนักโมเลกุล และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล

การบ่งชี้เกี่ยวกับน้ำหนักโมเลกุลของยางมักรายงานเป็นค่าความหนืด Mooney viscosity (ML) กรณียาง EPDM มักหาค่านี้ที่อุณหภูมิสูง ปกติ ใช้ 125 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ก็เพื่อจะละลายหรือกำจัด ส่วนของปริมาณ Ethylene ที่มาก ที่จะเกิดการตกผลึกทำให้บิดบังค่าน้ำหนักโมเลกุลที่แท้จริง Mooney viscosity แปรค่าตั้งแต่ 20 ถึง 100 การผลิตยางที่น้ำหนักโมเลกุลสูง เพื่อการเติมน้ำมัน (25-100 Phr) ควรเก็บยางผสมน้ำมันไว้ในที่ที่ไม่ถูกแสง UV เพราะแสงจะทำให้ น้ำมันเร่งการเกิดออกซิเดชันกับยาง

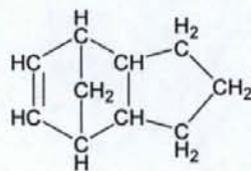
ข้อได้เปรียบของยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลมาก เช่นเดียวกับกรณีที่ยางมีปริมาณ Ethylene มาก คือสมบัติแรงดึงสูง และความแข็งแรงของยาง ที่ไม่คงรูปจะดี และยังคงเติมสารตัวเติมรวมทั้งน้ำมันได้มาก ข้อเสียเปรียบ คือบดผสมยาก สารเคมีกระจายยาก

พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลกระจายกว้างขวางจะบดและขึ้นรูปได้ง่าย มีความแข็งแรงของยางที่ยังไม่คงรูปดี แต่ผสมสารตัวเติมและน้ำมันได้ไม่มาก มีข้อเสียเปรียบ คือ อัตราการทำให้คงรูปช้า และมีสถานะการคงรูปไม่ดี มักจะใช้ EPDM ที่มีน้ำหนักโมเลกุลกระจายน้อย เพราะบดผสมและขึ้นรูปได้ง่าย ทำให้คงรูปเร็วกว่า และสถานะการคงรูปดีกว่า

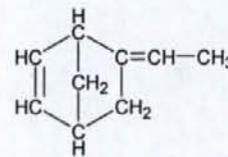
3. ชนิดและปริมาณของ Diene

มอนอเมอร์ตัวที่สามที่มักใช้คือ DCPD, ENB และ 1,4-HD แม้ว่ามอนอเมอร์เหล่านี้จะใช้เพื่อช่วยให้พอลิเมอร์สามารถจะเกิดการคงรูปได้ด้วยซัลเฟอร์ก็ตามแต่ เนื่องจากมอนอเมอร์ทั้ง 3 ชนิดมีโครงสร้างที่ต่างกัน ดังนั้น จึงทำให้ยางที่มีสมบัติด้านการคงรูปแตกต่างกัน

แม้ว่ามอนอเมอร์ ENB จะราคาแพงมากที่สุด แต่ก็ใช้กันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะ ENB ผสมเข้ากันในระหว่างการพอลิเมอร์ไรซ์ได้โดยง่าย และพันธะคู่ที่ติดเข้าไปกับโครงสร้างโมเลกุลของพอลิเมอร์ก็ยังไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของคงรูปด้วยซัลเฟอร์ (Sulphur vulcanization) พอลิเมอร์ที่ใช้มอนอเมอร์ 1,4 HD เตรียมจะทำให้คงรูปได้ช้ากว่าเมื่อใช้ ENB แต่สมบัติบางอย่างของยางดีกว่า ได้แก่ ด้านการทนความร้อน พอลิเมอร์เหล่านี้ปกติจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่ลิเนียร์ (Linear) จึงมีสมบัติการบดผสมและขึ้นรูปได้ง่ายข้อได้เปรียบของการใช้มอนอเมอร์ DCPD ในการเตรียมพอลิเมอร์ คือราคาถูกและใช้ผสมในการพอลิเมอร์ไรซ์ได้ง่ายเช่นเดียวกับ ENB แต่จะใช้ยางที่อัตราการทำให้คงรูปช้าที่สุด



Dicyclopentadiene (DCPD)



Ethylidene Norbornene (ENB)

สารเคมีสำหรับยาง EPM และ EPDM

1. สารป้องกันยางเสื่อม (Protective agents)

สูตรยางผสมของ EPM จะไม่ค่อยใช้สารป้องกันยางเสื่อม แต่กรณีของยาง EPDM เนื่องจากมีส่วนของโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวอยู่ด้วย จึงจำเป็นต้องใช้สารป้องกันยางเสื่อมด้วย ถ้าต้องการได้สมบัติพิเศษ โดยเฉพาะด้านทนการเสื่อมอายุใช้งาน และถ้ายอมให้ยางสีตกได้ก็สามารถใช้สารป้องกันยางเสื่อมพวก Aromatic amines เช่น P-Phenylene diamine ทั้ง EPM และ EPDM ไม่ต้องการใช้สารป้องกันโอโซน

2. สารตัวเติม (Fillers)

เนื่องจากทั้งยาง EPM และ EPDM เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ตกผลึก (Non-crystallizing polymers) จึงมีความต้องการสารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing filler) เมื่อต้องการสมบัติที่ดี ด้านสมบัติทางกล (Mechanical properties) ยาง EPM/EPDM เกรดที่มี Mooney viscosity สูงสามารถเติมสารตัวเติมได้มาก

(เช่น 200 ถึง 400 Phr) และเติม Plasticizer (เช่น 100 ถึง 200 Phr) ก็ยังได้ยางที่มีสมบัติต่างๆ ไปได้
อย่างไรก็ตามยางที่มี Mooney viscosity เท่าๆกัน EPDM จะเติมสารตัวเติมได้มากกว่า EPM

การลดต้นทุนในกระบวนการผลิตยางสีจางหรือยางสีดำ สามารถใช้สารตัวเติมบางชนิด เช่น
Calcined clay หรือแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ที่อนุภาคละเอียด สารตัวเติมเป็นสารที่
ช่วยในเรื่องของราคา และเป็นสารที่เข้ากระจายเข้ากับยางได้ง่าย นอกจากนี้ก็ยังไม่มีผลกระทบต่อ
ปฏิกิริยาการคงรูปของยาง ตัวเติมชนิด Calcined clay ยังช่วยให้ยางลดการดูดซึมน้ำอีกด้วย ซึ่งเป็นปัจจัย
จำเป็นในกรณีการทำผลิตภัณฑ์ยางหุ้มสายเคเบิล Calcium carbonate ชนิดที่อนุภาคละเอียด มีข้อดี
สำหรับใช้ทำยางนึ่งที่ต้องการทนการฉีกขาดในสภาพที่อุณหภูมิสูง แม้ว่า Hard clay จะช่วยเสริมแรง
ได้ดี แต่มีผลในการชะลอการคงรูปของยาง ดังนั้นจึงไม่ค่อยนิยมใช้ การใช้ Hard และ Calcined clay
ร่วมกัน จะช่วยในการปรับสมบัติทางกลและราคาให้เหมาะสมได้ Soft clay และแคลเซียมคาร์บอเนต
(Calcium carbonate) ชนิดธรรมดา ไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้ EPM/EPDM เช่น กรณีใช้กับยาง
อื่นๆ สารตัวเติมเหล่านี้จะใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตสำหรับยางที่ไม่เน้นสมบัติทางกลของยางมากนัก
และมักใช้สารเหล่านี้กันในผลิตภัณฑ์ยางฟอง (Sponge products)

3. สารช่วยในกระบวนการผลิต (Processing aids)

3.1 สารทำให้ยางนึ่ง (Softeners) ที่ใช้กับ EPM/EPDM อย่างกว้างขวางคือ น้ำมันแนฟทา
นิก (Naphthenic oils) สำหรับการผลิตยางที่จะใช้ในสภาพที่อุณหภูมิสูง หรือใช้กับยางที่จะทำให้คงรูป
ด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) มักใช้พาราฟินิก (Paraffinic oils) ที่มีจุดระเหยต่ำ อย่างไรก็ตาม
เนื่องจากพาราฟินิก (Paraffinic oils) จะซึมออกจากยางคงรูปที่ใช้ EPDM เมื่ออยู่ในสภาพอุณหภูมิต่ำ
หรือซึมออกจากยางคงรูปที่ใช้ High-ethylene-EPDMs ฉะนั้นจึงมักใช้น้ำมันผสมระหว่าง พาราฟิน
(Paraffinic) กับแนฟทานิก (Naphthenic) นอกจากนี้ น้ำมันแนฟทานิก (Naphthenic- oils) จะรบกวน
ปฏิกิริยาการคงรูปของยางด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) อะโรมาติก (Aromatic- oil) จะช่วยลดสมบัติ
ทางกลและรบกวนปฏิกิริยาการคงรูปของยางด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) ดังนั้นจึงไม่แนะนำการใช้
Aromatic oil กับ EPM/EPDM

3.2 สารช่วยกระบวนการบดผสม EPM/EPDM โดยเน้นการกระจายตัวของสารตัวเติมใช้
Stearic acid, Zinc soaps of fatty acids, or Fatty alcohol residue ส่วนของ Calcium ช่วยกระบวนการขึ้น
รูปโดย Extrusion และ Injection ได้ดี (Best extrudability and injection flow)

3.3 ระบบสารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing systems) ยาง EPM สามารถทำให้ยางคงรูปได้
ด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxides) และด้วยการใช้รังสี แต่ยาง EPDM สามารถใช้เปอร์ออกไซด์ (Peroxides)
หรือซัลเฟอร์ และสารตัวเร่งทำให้ยางคงรูปได้ แม้ว่า Methyl group ใน Propylene จะขัดขวางปฏิกิริยา
การเกิดการเชื่อมโยงโมเลกุลด้วย Peroxide และทำให้เกิดการขาดกันของสายโซ่โมเลกุล (Chain
scission) แต่โคพอลิเมอร์ (Copolymer) ของ Propylene กับ Ethylene สามารถที่จะเกิดการการเชื่อมโยง
โมเลกุลได้ด้วย Peroxides เมื่อมีปริมาณของ Ethylene มากพอเพียง

อนึ่งถ้าต้องการทำให้ยางคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) และต้องการได้องศาของการคงรูป (Degree of crosslinking) สูง ควรใช้ยางที่มีอย่างน้อย 50 Mole% ของ Ethylene ซึ่งกระจายอย่างดีตลอดของสายโมเลกุล การปรับประสิทธิภาพของการใช้เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) ทำให้ยาง EPM คงรูปโดยใช้สารที่เรียกว่าโคเอเจนต์ (Coagents) ซึ่งได้แก่ ซัลเฟอร์ Triallyl cyanulate, Ethylene glycol dimethacrylate โมโนเมอร์ตัวที่สามมีผลต่อการคงรูปด้วย Peroxides คือ โมโนเมอร์ชนิด DCPD จะทำให้ EPDM มีลักษณะการคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์สูงกว่า EPM ฉะนั้น การผลิตฉนวนหุ้มสายเคเบิล ซึ่งไม่ต้องการให้มีซัลเฟอร์อิสระ และมักใช้การคงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ จึงนิยมใช้ยาง EPDM ที่มีโมโนเมอร์ตัวที่สาม เป็น DCPD มากกว่าการใช้ยาง EPM

ระบบการคงรูปสำหรับ EPDM (Vulcanizing System for EPDM)

1. Organic peroxide

การใช้โมโนเมอร์ในการพอลิเมอร์ไรซ์ยางนี้ ก็เพื่อให้ได้ยางที่สามารถก่อให้เกิดการคงรูปได้ด้วยซัลเฟอร์ หรือเพื่อการแก้ปัญหาเกี่ยวกับต้องใช้เปอร์ออกไซด์ ทำให้ยาง EPM คงรูป แต่อย่างไรก็ตามถ้าเปรียบเทียบกับยาง EPDM ที่คงรูปด้วยซัลเฟอร์กับด้วยเปอร์ออกไซด์ จะพบว่าการใช้เปอร์ออกไซด์ให้ยางที่มีการทนต่อความร้อนได้ดีกว่า การด้านการยุบตัว (Compression-set) ดีกว่าและสมบัติด้านไฟฟ้าและเสถียรด้านสีดีกว่า ยางจะไม่คกสี (Non-staining) และลดปัญหาเรื่องการแยกตัวของสารเคมีมาอยู่ที่ผิว (Blooming) ปฏิกริยาของการเชื่อม โยงโมเลกุลยาง EPDM เกิดได้ง่ายกว่าในยาง EPM และสามารถใช้เปอร์ออกไซด์ปริมาณเพียงเล็กน้อยในยาง EPDM

2. Sulphur and Accelerators

การทำให้ยาง EPDM คงรูปด้วยระบบที่ใช้ซัลเฟอร์เหมือนกับยางสังเคราะห์อื่นๆ ก็สามารถใช้สารตัวเร่งต่างๆ ไป หลักการเลือกใช้สารตัวเร่งและการใช้สารตัวเร่งร่วมกันขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ วิธีการของกระบวนการผลิต สมบัติของยางที่ต้องการ และราคา อย่างไรก็ตามมักใช้สารตัวเร่งที่ใช้กันโดยทั่วไป คือใช้สารกลุ่ม Thiazole (MBT หรือ MBTS) ร่วมกับ Thiuram และ/หรือ Dithiocarbamate และอาจใช้ระบบสารประกอบที่สลายตัวให้ซัลเฟอร์ (Sulphur donor-type accelerators) แทนการใช้ซัลเฟอร์โดยตรงเมื่อต้องการให้ยางมีสมบัติทนความร้อน และทนการยุบตัวในสภาพใช้งานหนัก สำหรับงานผลิตผลิตภัณฑ์โดยการอัดพิมพ์บางงาน การแยกตัวของสารตัวเร่งออกมาที่ผิวยาง อาจเป็นปัญหาได้ จึงจำเป็นต้องใช้สารตัวเร่งในปริมาณน้อยที่สุด ชิดจำกัดปริมาณของสารตัวเร่งทั่วไปโดยประมาณคือ

MBT, MBTS, CBS, ZMBT, ZDBDP	3.0 Phr
ZDBDC, DTDM	2.0 Phr
ZEDEC, ZDMDC, TDEDC, TMTD	0.8 Phr
DPTT, TMTM, TETD, FDMDC	0.8 Phr

อัตราการคงรูป (Crosslinking rate) ของยาง EPDM ขึ้นอยู่กับชนิดของโมโนเมอร์ตัวที่สาม ENB จะให้ยางคงรูปได้เร็วที่สุด และ 1, 4-HD จะทำให้ยางคงรูปเร็วกว่า DCPD

สมบัติโดยทั่วไปของยาง EPDM

ยาง EPDM และ EPDM มีค่าความหนาแน่นที่อุณหภูมิห้องค่อนข้างต่ำกว่ายางชนิดอื่นๆ คือประมาณ $0.86-0.87 \text{ g/cm}^3$ และมีค่าอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ $-60 \text{ }^\circ\text{C}$ ส่วนสมบัติทางกายภาพอื่นๆ แสดงดังตารางสมบัติทางกายภาพของยาง EPM

สมบัติทางกายภาพ	
ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ($\text{K}/^\circ\text{C}$)	2.2×10^{-4}
ความร้อนจำเพาะ (Cal/g.c.)	0.52
การแพร่ความร้อน (Cm^2/s)	9.2×10^{-4}
การนำความร้อน ($\text{Cal/cm. s. }^\circ\text{C}$)	8.5×10^{-4}
ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Ohm. cm)	$5 - 10 \times 10^{16}$
Dielectric strength (KV/mm)	30-35

ความยืดหยุ่น (Elasticity) : ยาง EPDM มีค่าความยืดหยุ่นสูงกว่ายางสังเคราะห์ชนิดอื่นๆ แต่ยังคงต่ำกว่ายางธรรมชาติ

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) : เนื่องจากการจัดเรียงตัวของมอนอเมอร์ในสายโซ่โมเลกุลเป็นแบบไม่มีรูปแบบ ทำให้ได้พอลิเมอร์อสัณฐาน ยางชนิดนี้จึงไม่สามารถตกผลึกได้ ส่งผลให้ยางมีค่าความทนทานต่อแรงดึงของยางที่ได้รับการเสริมแรงจะสูงหรือต่ำมากน้อยเพียงไรก็ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้

ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) : เมื่อได้รับการเสริมแรงด้วยสารตัวเติมที่เหมาะสม ยาง EPDM จะมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ

ความทนทานต่อการกดอัด (Compression set) : ยาง EPDM มีค่า Compression set ต่ำมาก โดยเฉพาะในยางเกรดที่มี ENB ในปริมาณที่สูงและได้รับการคงรูปด้วยระบบเปอร์ออกไซด์หรืออาจคงรูปด้วยระบบกำมะถันที่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความว่องไวสูงๆ แต่ว่าค่า Compression set ของยางที่คงรูปด้วยระบบเปอร์ออกไซด์จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่ค่า Compression set ของยางที่คงรูปด้วยระบบกำมะถันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น

สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) : ยาง EPDM มีสมบัติเชิงพลวัตที่ดีมากและมีความต้านทานต่อการล้าตัวสูง โดยเฉพาะในยางที่ได้รับการคงรูปด้วยระบบกำมะถันซึ่งจะมีสมบัติเชิงพลวัตใกล้เคียงกับยาง SBR

ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ (Aging properties) : ยาง EPDM มีพันธะคู่ในโมเลกุลน้อยมาก ดังนั้นยางชนิดนี้จึงทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาพอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และความร้อนได้เป็นอย่างดี (ดีกว่ายาง SBR และ NBR แต่ด้อยกว่ายางซิลิโคน) นอกจากนี้ยาง EPDM

ยังทนต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากสารเคมี กรด และด่าง ได้ดีอีกด้วย ความทนทานต่อการเสื่อมสภาพดังกล่าวขึ้นอยู่กับปริมาณของไดอินที่มีอยู่ในโมเลกุล ยาง EPDM เกรดที่มีปริมาณไดอินต่ำ ๆ จะมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพสูง (จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพ) แต่ในยางเกรดที่มีปริมาณไดอินค่อนข้างสูง อาจจำเป็นต้องเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากออกซิเจนและแสงแดดลงไปด้วย อย่างไรก็ตาม ยางชนิดนี้ทุกเกรดมีความทนทานต่อโอโซนดีมาก จึงไม่จำเป็นต้องเติมสารป้องกันโอโซน (Antiozonants) ลงไป ส่วนระบบการคงรูปก็มีผลกระทบโดยตรงต่อความทนทานต่อการเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนและโอโซนของยาง เพราะยางที่คงรูปด้วยระบบเพอร์ออกไซด์จะมีความทนทานต่อความร้อนและโอโซนสูงกว่ายางที่คงรูปด้วยระบบกำมะถัน

ความทนทานต่อน้ำมันและสารเคมี : จากลักษณะโครงสร้างโมเลกุล จะเห็นว่ายาง EPM และ EPDM เป็นยางไม่มีขั้ว ดังนั้น ยางจึงไม่ทนน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (เช่นเดียวกับยางธรรมชาติและยาง SBR) แต่จะทนต่อตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี ยางชนิดนี้จึงทนต่อกรด ด่าง น้ำ อัลกอฮอล์ น้ำมันไฮดรอลิก และตัวทำละลายที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบได้เป็นอย่างดี มีความทนทานต่อน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ได้ปานกลาง แต่ไม่ทนต่อตัวทำละลายที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ กรดอินทรีย์เข้มข้น ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรง (Aliphatic hydrocarbon solvents) และตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีวงแหวน (Aromatic hydrocarbon solvents) เป็นต้น

ความเป็นฉนวน (Insulation) : ยางชนิดนี้มีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงมาก ดังนั้น ยางจึงมีความเป็นฉนวนสูงและยังรักษาสมบัติการเป็นฉนวนได้ดีแม้ที่อุณหภูมิสูงๆ นอกจากนี้ ยางชนิดนี้ยังดูดซึมน้ำได้น้อยมาก จึงเหมาะสำหรับใช้ในการผลิตยางหุ้มสายเคเบิลในกรณีที่สายเคเบิลนั้นต้องสัมผัสกับน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างยาง EPM กับยาง EPDM พบว่ายาง EPM มีความเป็นฉนวนสูงกว่ายาง EPDM เล็กน้อย

การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) : ยาง EPDM มีสมบัติด้านการหักงอที่อุณหภูมิต่ำดีใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ

อุณหภูมิการใช้งาน (Service temperature) : ยาง EPDM ที่ได้รับการคงรูปด้วยกำมะถันจะมีอุณหภูมิสูงสุดในการใช้งานต่ำกว่ายางที่ได้รับการคงรูปด้วยเพอร์ออกไซด์ โดยทั่วไป ยาง EPDM สามารถนำไปใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -40°C ถึง 150°C ปกติยางจะทนต่ออุณหภูมิที่ 165°C ได้นาน 1 เดือน หรือที่ 125°C ได้นาน 1 ปี และที่ 100°C ได้นาน 5 ปี ทั้งนี้สมบัติความทนทานต่อความร้อนของยางยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆด้วย เช่น การเลือกใช้ชนิดของสารป้องกันการเสื่อมสภาพและปริมาณของไดอินในยาง เป็นต้น

การผสมกับยางชนิดอื่น (Blending)

การผสม EPM หรือ EPDM กับยางอื่นๆ ได้กลายเป็นเรื่องสำคัญ เพราะทำให้สามารถปรับปรุงสมบัติการทนโอโซนให้กับยางที่เป็นไดอิน (Diene) อื่นๆ ได้ เช่น NR, IR, BR, SBR หรือ NBR ผสมกับ EPDM ประมาณ 30% โดยน้ำหนัก เนื่องจากกระบวนการทำให้ยางคงรูปของยางผสมอาจ

เป็นปัญหาได้ เพราะระบบการคงรูปที่ต่างกันของยางที่ผสมกัน จึงจำเป็นต้องเลือก High-ENB-EPDM grades และ ใช้สารตัวเร่งการคงรูปสารตัวเร่งการคงรูปที่มีความไวต่อปฏิกิริยามากหรือใช้ เปอร์ออกไซด์ (Peroxides) การผสม EPDM กับ NBR เป็นความสนใจของผู้ใช้ที่ไม่ต้องการใช้ยางที่ไม่มี Cl_2 เช่น CR จะนำ EPDM/NBR ผสมมาใช้แทน CR กรณีที่ต้องการสมบัติความทนสภาพอากาศและทนน้ำมัน EPDM เกรดที่มีส่วนของโมเลกุลที่ไม่อิ่มตัวน้อย หรือ EPM สามารถผสมกับยางที่มีโมเลกุลอิ่มตัวได้ เช่น การผสม EPM หรือ EPDM กับ Polyolefins ที่บางครั้งได้ทำ Pre-crosslinked แล้ว เพื่อการผลิตยาง "Thermoplasticelastomers" (TPE) "elastomer-modified plastomers" (EMP)

การบดผสมและกระบวนการผลิต (Compounding and processing)

การบดผสมยาง EPM/EPDM กับสารเคมีโดยปกติใช้เครื่องบดผสมระบบปิด เช่น Banbury หรือบางครั้งอาจใช้เครื่องบดระบบเปิด 2-Roll mill การใช้ลูกกลิ้งบดยางจะนิยมใส่ยางที่มี Viscosity ต่ำ พวกเกรด Higher-propylene EPDM ยางเกรดที่มี Viscosity สูง และมี Ethylene มากจะบดด้วยลูกกลิ้ง ยาก ลักษณะเช่นนี้มักจะใช้สารตัวเติมและน้ำมันมากจึงไม่สะดวกที่จะบดบนลูกกลิ้ง

ยาง EPDM ทุกเกรดบดในเครื่องบดระบบปิดได้ การบดผสมเพียงขั้นตอนเดียว (Single mixing procedure) ใช้ได้กับสูตรผลิตภัณฑ์บางสูตรยางเกรดต่างๆ มีผลกับการเลือกชนิดสารตัวเติม และสถานะของเครื่องบดเหล่านี้เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเทคนิคและประสิทธิภาพของการบดผสม

วิธีการผสมที่มักใช้กันคือเติมสารต่างๆในครั้งเดียว "One shot" ซึ่งมักจะเติมแบบ "Up-side down" (ใส่ยางในตอนสุดท้าย ภายหลังเติมสารตัวเติม, น้ำมันและสารอื่นๆแล้ว) การบดประมาณ 3-7 นาที (ขึ้นอยู่กับสถานะทางกลของเครื่องบด) โดยวิธีการบดเช่นนี้ปกติจะคัม (Dump) ยางผสมสารออก เมื่ออุณหภูมิขึ้นถึงประมาณ 115-130 °C วิธีการนี้จำกัดการใช้กับสูตรยางที่มีปริมาณ Ethylene ปานกลาง-ต่ำ และผสมกับสารตัวเติมพวก Mineral และ/หรือ Semi-reinforcing เช่น เขม่าดำ ชนิด SRF, GPF, FEF

สำหรับสูตรยางที่ใช้ยางซึ่งมี Ethylene มากหรือ EPDM ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากเหมาะสำหรับสูตรยางที่ใช้ Reinforcing filler (HAF, ISAF) วิธีการแบบที่เติมสารต่างๆในครั้งเดียว หรือเติมแบบ "UP-SIDE DOWN" จะไม่เหมาะสมเพราะจะทำให้การกระจายของสารต่างๆไม่ทั่วถึงได้ ถ้าจะให้สารต่างๆกระจายตัวได้ดีในกรณีเช่นนี้ต้องใช้วิธีเติมเขม่าดำเพียงบางส่วนบดผสมกับยางและใช้น้ำมันผสมด้วยเพียงเล็กน้อยแล้วจะเติมส่วนที่เหลือในภายหลัง ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของขั้นตอนการเติมสารเพิ่มมากกว่าครั้งเดียว

การขึ้นรูปยางที่ใช้ยาง EPM หรือ EPDM เช่นเดียวกับการใช้ยางอื่นๆ ซึ่งสมบัติการไหล (Rheological behaviour) ของยางจะเป็นปัจจัยสำคัญ และสมบัตินี้ขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลรวมทั้งส่วนประกอบ (สัดส่วนของ Ethylene/propylene)

1. Extrusion

ยางเกรดที่มี Ethylene ปริมาณมากเหมาะสมกับกระบวนการ Extrusion เพราะมีสมบัติด้านความแข็งแรงของยางยังไม่คงรูปสูงและรักษาขนาดได้ดี กรณีที่ใช้ Extruder ชนิด Hot-feed (Short

barrel) ยางที่จะป้อนเข้าเครื่องจะต้องอุ่นบนลูกกลิ้งก่อน ดังนั้นเครื่องแบบนี้ต้องการยางผสมสารเคมีที่สามารถฟอร์มรอบลูกกลิ้งได้ง่าย นั่นคือยางที่มีความแข็งแรงมากและยางที่หนืดมากจะฟอร์มรอบลูกกลิ้งได้ยาก และมักห้อย (Bagging) ได้ลูกกลิ้ง ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาเช่นนี้ โดยใช้ยางเกรดที่มี Ethylene น้อย หรือใช้ยางที่มีความหนืดต่ำผสมกับเกรดที่มี Ethylene มาก

โดยทั่วไปแล้วนิยมนำมาใช้ Extruder ชนิด Cold feed เพราะไม่เพียงแต่เพื่อหลีกเลี่ยงการอุ่นยางดังกล่าวข้างต้น แต่เพื่อการควบคุมกระบวนการผลิตที่ดีกว่า สูตรยางส่วนใหญ่ควรใช้ Extrude screw อุณหภูมิสูงกว่าส่วนของ Barrel โดยทั่วไปอุณหภูมิการ Extrude ยาง EPDM จะสูงกว่าการ Extrude ยางอื่นๆ

2. Molding

การขึ้นรูปโดยการอัดเข้าพิมพ์สามารถใช้แบบธรรมดาหรือการฉีด (Compression or transfer or injection molds) ซึ่งนิยมนำมาใช้ยางเกรดที่มี Ethylene ระดับปานกลางถึงสูง อย่างไรก็ตาม กรณีที่ต้องการใช้สารตัวเติมมากๆ ก็อาจจะใช้ยางเกรดที่มี Ethylene มากเพียงชนิดเดียวหรืออาจใช้ผสมเพียงบางส่วน ข้อควรพิจารณาตัดสินใจเลือกชนิดของยาง คือเรื่องของการไหล

ยางผสมสารเคมีที่ใช้ EPDM มีความเหมาะสมในการขึ้นรูปโดยการฉีดเข้าพิมพ์ถ้าออกสูตรยาง EPDM ให้เหมาะสมสามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็วและไหลได้ดีและไม่เกิด Reversion เพื่อให้ยางคงรูปที่อุณหภูมิสูง

3. Calendaring

การเลือกยางสำหรับขึ้นรูปโดย Calendaring ควรเลือกเกรดที่มี Propylene ระดับปานกลางถึงสูง ถ้าต้องการเติมสารตัวเติมน้อยก็ควรเลือกยางที่มีความหนืดต่ำ มี Propylene มากหรือเลือกยางที่มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลมากและมี propylene ระดับกลางถึงมาก ถ้าต้องการเติมสารตัวเติมปานกลางถึงมากควรใช้ยางที่มีความหนืดมาก