

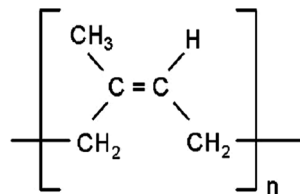
ยางแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่ ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

1. ยางธรรมชาติ (natural rubber, NR)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Braziliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้แปรรูปเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C เวลา 3 วัน เราก็จะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเจือปนสูงและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือชียางเป็นวัตถุดิบ ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นราคายางแท่งจึงสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูง



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติ คือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์

อย่างไรก็ตามยางดิบจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพไม่เสถียรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง กล่าวคือ ยางจะอ่อนนิ่มและเหนียวเหนอะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้งานจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (rubber compound) ที่ได้จะนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วุลคาไนเซชัน (vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียร ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น



ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถังมือยาง ถังยางอนามัย ยางรัดของ

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขึ้นต่ำและมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระป๋องน้ำร้อน เพราะในการแกะขึ้นงานออกจากเบ้าในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงขึ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความทนต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความชื้น เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (antidegradants)) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนต่อสารละลายไม่มีขั้ว น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสิ่งต่างๆ ดังกล่าว

2. ยางสังเคราะห์ (synthetic rubber, SR)

ยางสังเคราะห์ไม่ได้หมายความว่ามีความถึงยางเทียมที่มีลักษณะทางเคมีและสมบัติคล้ายคลึงกับยางธรรมชาติ (cis-1,4-polyisoprene, IR) เท่านั้น แต่ยังรวมถึงยางชนิดต่างๆ ที่สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาเคมี

สาเหตุสำคัญที่ผลักดันให้เกิดการริเริ่มค้นคว้าการผลิตยางสังเคราะห์จนขยายมาเป็นการผลิตเชิงการค้า อาจสรุปได้ดังนี้

- ปัญหาการขาดแคลนยางธรรมชาติที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตอาวุธยุทโธปกรณ์ในช่วงสงครามของประเทศ
- ราคาที่ไม่แน่นอนของยางธรรมชาติ
- ความต้องการยางที่มีคุณสมบัติพิเศษบางประการ เช่น มีความทนต่อน้ำมัน สารเคมี และความชื้นสูงๆ

การผลิตยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตโมโนเมอร์ และขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ยางสังเคราะห์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่ชนิดของโมโนเมอร์ ถ้ายางสังเคราะห์ประกอบด้วยโมโนเมอร์ชนิดเดียวจะเรียกว่า โฮโมโพลิเมอร์ (homopolymer) เช่น ยางโพลิบิวทาไดเอน (polybutadiene, BR) หรือยางโพลิไอโซพรีน (polyisoprene, IR) ยางสังเคราะห์บางชนิดอาจจะประกอบด้วยโมโนเมอร์มากกว่า 1 ชนิด เรียกว่า โคโพลิเมอร์ (copolymer) เช่น ยางสไตรีนบิวทาไดเอน (styrene-butadiene rubber, SBR) ชนิดและโครงสร้างของโมโนเมอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ชนิดและโครงสร้างของโมโนเมอร์ที่สำคัญในการสังเคราะห์ยาง

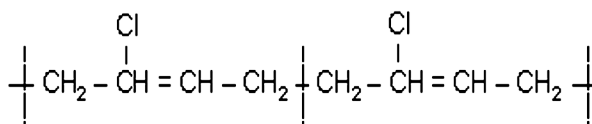
โมโนเมอร์	โครงสร้าง	จุดเดือด (°C)
Ethylene	$\text{CH}_2 = \text{CH}_2$	-104
Propylene	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	-50
Isobutylene	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	-6
1,3-Butadiene	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CH} = \text{CH}_2$	-4.5
Isoprene	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \end{array}$	34
Chloroprene	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{Cl} \\ \\ \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \end{array}$	59
Styrene (Vinylbenzene)	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	145
Vinyl acetate	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{O} - \text{C} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	72
Methyl methacrylate	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{C} - \text{O} - \text{CH}_3 \\ \\ \text{O} \end{array}$	80
Acrylonitrile	$\text{CH}_2 = \begin{array}{c} \text{CH} \\ \\ \text{C} \equiv \text{N} \end{array}$	77

รูปที่ 3 สูตรโครงสร้างของยาง NBR

ยางไนไตรล์ไม่สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด (เช่นเดียวกับยาง SBR) ดังนั้นจึงมีความทนต่อแรงดึงต่ำจำเป็นต้องเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย ส่วนความยืดหยุ่นจะมีค่าใกล้เคียงกับยาง SBR ยางชนิดนี้ส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน เช่น ใช้ทำปะเก็นน้ำมันยาง o-ring ยางเชื่อมข้อต่อ สายพานลำเลียงหรือทำท่อดูดหรือส่งน้ำมัน

- ยางคลอโรพรีนหรือยาง CR (chloroprene rubber)

ยางคลอโรพรีนมีชื่อทางการค้าว่า ยางนีโอพรีน (neoprene) เป็นยางสังเคราะห์จากคลอโรพรีนโมโนเมอร์ (chloroprene monomer) โมเลกุลของยางคลอโรพรีนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างเป็นระเบียบภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ยางชนิดนี้จึงสามารถตกผลึกได้เช่นเดียวกับยางธรรมชาติ ดังนั้นยางคลอโรพรีนจึงมีความทนต่อแรงดึงสูง (โดยที่ไม่ใส่สารตัวเติม) นอกจากนั้นยังมีความทนต่อการฉีกขาดและการขีดข่วนด้วย



Chloroprene unit

รูปที่ 4 สูตรโครงสร้างของยาง CR

ยางคลอโรพรีนที่อยู่ในรูปของแข็งแบ่งออกเป็นประเภทใช้งานทั่วไปและประเภทใช้งานพิเศษ ประเภทใช้งานทั่วไป ได้แก่ เกรด G W และ T และประเภทใช้งานพิเศษ ได้แก่ เกรด AC AD AG และ FB เป็นต้น ซึ่งใช้สำหรับงานเฉพาะ เช่น ทำการยางยางใช้เคลือบ (coating) และ sealants โครงสร้างของยางคลอโรพรีนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการโพลิเมอไรซ์และมีผลโดยตรงต่อกระบวนการตกผลึกหรือต่อความยืดหยุ่นของยาง ถ้าอุณหภูมิการโพลิเมอไรซ์สูงขึ้นจะได้ยางที่มีโครงสร้างที่สม่ำเสมอและยาวมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่ปรกติ ทำให้อัตราการตกผลึกของยางต่ำลง ในทางตรงกันข้ามยางคลอโรพรีนที่ได้จากการโพลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำจะยังมียัตราการตกผลึกสูง ซึ่งสมบัติเช่นนี้เป็นที่ต้องการของการผลิตกาว่าที่ต้องการความเหนียวติดทนที่ อย่างไรก็ตามเกรดนี้ไม่เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ เพราะยางจะแข็งตัวอย่างรวดเร็วและสูญเสียความยืดหยุ่น ดังนั้นยางคลอโรพรีนที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ ไปจึงต้องเป็นเกรดที่ตกผลึกได้น้อย

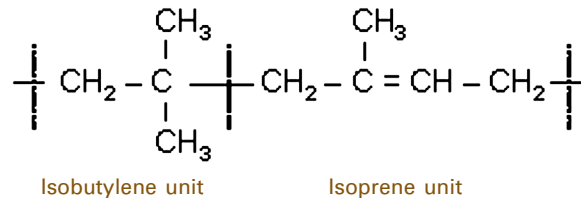
ยางคลอโรพรีนมีสมบัติคล้ายยางธรรมชาติ คือ มีความเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี ทำให้สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบจากหลายชิ้นส่วนได้ดี ยางคลอโรพรีนยังสามารถไหลเข้ามาเชื่อมกันได้ไม่ก่อให้เกิดปัญหารอยต่อของชิ้นงานในระหว่างการขึ้นรูปในเบ้าพิมพ์ เนื่องจากยางคลอโรพรีนเป็นยางที่มีขั้วเพราะประกอบด้วยอะตอมของคลอรีน ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางที่ไม่มีขั้ว พบว่ายางคลอโรพรีนจะทนต่อการบวมพองในน้ำมันได้ดี (แต่ยังด้อยกว่ายาง NBR) นอกจากนี้อะตอมของคลอรีนยังทำใหยางคลอโรพรีนมีสมบัติที่ดีในด้านการทนต่อเปลวไฟ สภาพอากาศ และโอโซน อย่างไรก็ตามอะตอมของคลอรีนก็มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของยาง กล่าวคือ ทำใหยางนำไฟฟ้าได้มากขึ้น ยางคลอโรพรีนจึงจัดอยู่ในกลุ่ม “antistatic” ไม่ใช่กลุ่มที่เป็นฉนวน ดังนั้นยางชนิดนี้จึงไม่สามารถใช้เป็นฉนวนของสายเคเบิลได้แต่อาจใช้เป็นยางปลอกนอกของสายเคเบิลได้

ยางคลอโรพรีนเกรดที่สามารถตกผลึกได้เล็กน้อยถึงปานกลางจะถูกนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสมบัติเชิงกลที่ดี ทนต่อการติดไฟ ทนต่อน้ำมัน สภาพอากาศทั่วไปและโอโซน ซึ่งผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานในลักษณะดังกล่าว ได้แก่ ยางซีล ท่อยางเสริมแรง ยางพันลูกกลิ้ง สายพานยาง สายพานรูปตัววี (V-belt) ยางกันกระแทก (bearing) ยางบุ (lining) พื้นรองเท้า และผลิตภัณฑ์ยางที่ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น ยางขอบหน้าต่าง ขอบหลังคา และยางปลอกสายเคเบิล ส่วนยางคลอโรพรีนเกรดที่ตกผลึกได้มากจะนิยมใช้ในการผลิตกาว่ายาง



- ยางบิวไทล์ (butyl rubber, IIR)

ยางบิวไทล์เป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างโมโนเมอร์ของไอโซพรีน (isoprene) และไอโซบิวทีลีน (isobutylene) โดยมีไอโซพรีนน้อยประมาณ 0.5-3% โมล เพียงเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลด้วยกำมะถันในระหว่างปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันได้เท่านั้น ทั้งนี้เพราะในไอโซพรีนมีพันธะคู่องไวต่อการทำปฏิกิริยา



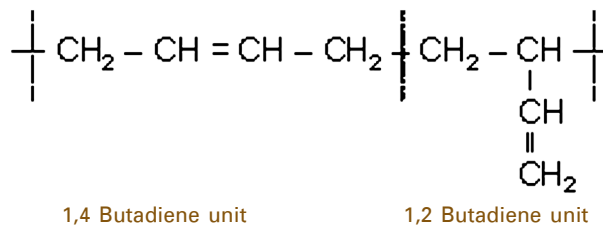
รูปที่ 5 สูตรโครงสร้างของยางบิวไทล์

จากโครงสร้างทางเคมี จะเห็นว่ายางบิวไทล์ประกอบด้วยส่วนที่อิ่มตัว (saturated) เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ยางมีความทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากออกซิเจน โอโซน และความร้อน อย่างไรก็ตามพันธะคู่ที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยก็สามารถทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถันได้ โดยที่การคงรูปจะเกิดได้เร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปริมาณของพันธะคู่ ถ้าเพิ่มปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลการคงรูปก็จะเกิดได้เร็ว ยางจะมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูงขึ้นแต่ความทนต่อโอโซนและสภาพอากาศจะด้อยลง

นอกจากสมบัติการทนต่อออกซิเจน ความร้อน และสภาพอากาศแล้ว ยางบิวไทล์ยังมีความทนต่อน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ได้ดีมาก ทนต่อการกัดและต่าง รวมถึงทนต่อการถูกออกซิไดซ์โดยสารเคมีต่างๆ และสมบัติพิเศษอีกอย่างของยางบิวไทล์ คือ มีการซึมผ่านของก๊าซต่ำมาก (ต่ำกว่ายางธรรมชาติประมาณ 8-10 เท่า) ทำให้ยางบิวไทล์เหมาะสมในการผลิตยางในรถยนต์ ถุงยางลมสำหรับอบยางล้อให้คงรูป (curing bladder) ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ ทำฉนวนหุ้มสายไฟฟ้า แผ่นยางใช้ภายนอกอาคาร เป็นต้น

- ยางบิวทาไดอีน (butadiene rubber, BR)

ยางบิวทาไดอีนเป็นโพลิเมอร์ของบิวทาไดอีนที่มีการจัดเชื่อมต่อกันหลายแบบ เช่น แบบ cis-1,4 tran-1,4 หรือแบบ vinyl-1,2 ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวริเริ่มปฏิกิริยา (initiator) ที่ใช้ในปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน โดยปกติยางบิวทาไดอีนจะไม่ถูกใช้เดี่ยวๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เนื่องจากการบดผสมยางเป็นไปได้ยากโดยเฉพาะเมื่อทำการบดผสมโดยใช้ลูกกลิ้ง (two-roll mill) เพราะยางจะไม่ฟอร์มมรอบลูกกลิ้ง (poor mill banding) ยางชนิดนี้จึงมักใช้บดผสม (blend) กับยางไม่มีขั้วชนิดอื่นๆ เช่น ยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีน



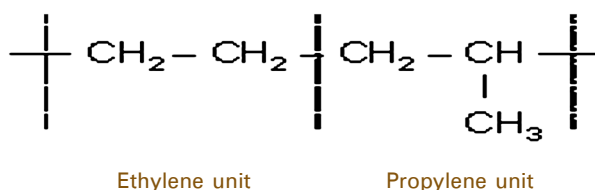
รูปที่ 6 สูตรโครงสร้างของบิวทาไดอีน

ยางบิวทาไดอีนมีสมบัติพิเศษ คือ มีความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) สูงมากแต่มีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ค่อนข้างต่ำ อย่างไรก็ตามการผสมยางชนิดนี้กับยางธรรมชาติและ/หรือยาง SBR จะทำให้ได้ยางคงรูปที่มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น ในทำนองเดียวกันสมบัติบางประการของยางธรรมชาติและยางสไตรีนบิวทาไดอีนก็จะถูกปรับให้ดีขึ้น ได้แก่ ความต้านทานต่อการขัดถูดีขึ้น ยางมีความยืดหยุ่นมากขึ้นและยางจะยังคงสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ (good low temperature flexibility) ด้วยเหตุนี้กว่า 90% ของยางบิวทาไดอีนจึงถูกใช้ร่วมกับยางธรรมชาติและยาง SBR ในการผลิตดอกยาง (tread) ของยางรถยนต์เพราะนอกจากจะทำให้ดอกยางมีความต้านทานต่อการขัดถูสูงขึ้นแล้ว ความร้อนสะสมที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งานก็ต่ำลง ยางจะมีความต้านทานต่อการฉีกขาดในบริเวณร่อง (resistance to groove cracking) สูงขึ้น นอกจากนี้ยางผสมที่ได้จากการเติมยางบิวทาไดอีนจะทนต่อการเสื่อมเมื่อทำให้คงรูปเกินจุดสูงสุด (reversion resistance on overcure) ในระหว่างกระบวนการผลิต และที่สำคัญยางชนิดนี้ยังช่วยให้ยางล้อรมีสมบัติการต้านการหมุน (rolling resistance) ลดลง ทำให้ลดการสิ้นเปลืองน้ำมันขณะขับเคลื่อนรถ อย่างไรก็ตามการเติมยางบิวทาไดอีนลงไปปริมาณมากเกินไปจะทำให้การเกาะถนนของล้อเสียไป โดยเฉพาะในถนนที่เปียก ด้วยเหตุนี้จึงต้องผสมยางบิวทาไดอีนในการผลิตโครงยาง (carcass) แก้มยาง (sidewall) และยางบริเวณโครงลวด (bead compound)

ยางบิวทาไดอีนยังถูกใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความทนต่อการสึกหรอหรือทนต่อการขูดถูที่ดี เช่น ยางพื้นรองเท้า ยางสายพานลำเลียง นอกจากนี้ยังใช้ในการผลิตยางกันกระแทก สายพานส่งกำลัง (transmission belt) ยางกันสะเทือน (shock absorber pads) เป็นต้น

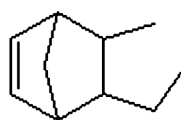
- ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีนหรือยาง EPDM (ethylene-propylene diene rubber)

ในระยะแรกเริ่มที่ได้มีการสังเคราะห์โพลิเมอร์จากการทำปฏิกิริยาโคโพลิเมอไรเซชันระหว่างโมโนเมอร์ของเอทิลีน (ethylene) กับโพรพิลีน (propylene) จะได้โพลิเมอร์ที่มีลักษณะการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) เรียกว่า ยางอีพีเอ็ม (EPM) แต่เนื่องจากในโมเลกุลไม่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัว (ไม่มีพันธะคู่) ดังนั้นการทำให้ยางคงรูปจึงต้องใช้เพอร์ออกไซด์ (peroxide) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาชนิดใหม่โดยการเติมโมโนเมอร์ตัวที่สาม คือ ไดอีน (diene) ลงไปเล็กน้อยในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชัน ทำให้ได้ยางที่มีส่วนที่ไม่อิ่มตัวอยู่ในสายโมเลกุล จึงสามารถคงรูปได้ด้วยกำมะถัน ยางชนิดนี้ คือ ยางอีพีดีเอ็ม (EPDM)

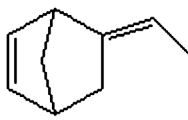


รูปที่ 7 สูตรโครงสร้างของยางอีพีดีเอ็ม

ยางอีพีดีเอ็มมีหลายเกรดแต่ละเกรดแตกต่างกันที่สัดส่วนของเอทิลีนและโพรพิลีน รวมถึงปริมาณของไดอีน โดยทั่วไปยางชนิดนี้จะมีเอทิลีนอยู่ 45-85% โมล และปริมาณของไดอีนอยู่ในช่วง 3-11% โมล ชนิดของไดอีนที่ใช้อย่างกว้างขวางมี 3 ชนิด คือ Dicyclopentadiene (DCPD) Ethylidene Norbornene (ENB) และ trans-1,4-hexadiene (1,4 HD) โดยชนิดที่ใช่มากที่สุด คือ ENB เพราะจะทำให้โมเลกุลของยางว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาครุ่ด้วยกำมะถัน (sulfur vulcanization)



Dicyclopentadiene (DCPD)



Ethylene Norbornene (ENB)



Trans-1,4-Hexadiene (HX หรือ 1,4 HD)

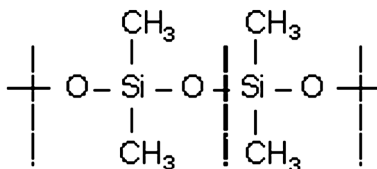
รูปที่ 8 สูตรโครงสร้างของไดอีนที่มีอยู่ในยางอีพีดีเอ็ม

จากลักษณะโครงสร้างโมเลกุลจะเห็นว่ายางอีพีเอ็มและยางอีพีดีเอ็มเป็นยางไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่ทนต่อน้ำมันหรือสารละลายที่ไม่มีขั้ว และเนื่องจากการจัดเรียงตัวของโมโนเมอร์ในสายโมเลกุลเป็นแบบไม่มีรูปแบบ (random) ทำให้ได้โพลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous) ยางชนิดนี้จึงไม่ตกผลึกส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงค่อนข้างต่ำและต้องอาศัยสารเสริมแรง (reinforcing filler) เข้าช่วย อย่างไรก็ตามในยางที่มีสัดส่วนของเอทิลีนสูงจะมีสมบัติตกผลึกได้บ้างจึงส่งผลให้ยางมีความแข็งแรงในสภาพยังไม่คงรูปสูง (high green strength) สามารถที่จะเติมน้ำมันและสารตัวเติมได้มากซึ่งเป็นจุดเด่นของยางชนิดนี้ เพราะในบางครั้งอาจเติมสารตัวเติมได้มากถึง 2 เท่าของปริมาณยางที่ใช้ แต่ข้อเสียของยางที่มีปริมาณเอทิลีนสูง คือ การบดผสมยางที่อุณหภูมิต่ำจะทำได้ยากและสมบัติของยางที่อุณหภูมิต่ำจะไม่ดีเพราะการตกผลึกของยางจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง

ยาง EPDM มีพันธะคู่ในโมเลกุลน้อยมาก ดังนั้นจึงทนต่อการเสื่อมสภาพจาก อากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด และความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสารเคมี กรด และด่าง ได้ดีอีกด้วย ยางชนิดนี้ส่วนมากจึงนิยมใช้ในการผลิตยางชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง แก้มยางรถยนต์ (sidewall) ท่อยางของหม้อน้ำรถยนต์ (radiator hose) เป็นต้น ยาง EPDM ยังถูกใช้ในการผลิตท่อของเครื่องซักผ้า ฉนวนหุ้มสายเคเบิล และใช้ผสมกับพลาสติกเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของพลาสติก เช่น เพิ่มความเหนียวและความทนต่อแรงกระแทก (impact resistance)

- ยางซิลิโคน (silicone rubber, Q)

แกนสายโซ่หลัก (main chain) ของยางซิลิโคนไม่ได้ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนเหมือนยางชนิดอื่นๆ แต่จะประกอบด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) ยางซิลิโคนมีหลายเกรดแต่เกรดที่ใช้กันมากที่สุดจะเป็นโพลิเมอร์ของ dimethyl siloxane



รูปที่ 9 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน

ยางซิลิโคนเป็นยางที่มีแรงดึงดูระหว่างโมเลกุลต่ำ ส่วนใหญ่จึงไม่อยู่ในรูปของแข็ง แต่จะอยู่ในรูปของเหลวที่มีความหนืดสูงมาก และค่าความหนืดก็ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ยางซิลิโคนจะมีสมบัติความยืดหยุ่นดีจำเป็นต้องทำให้คงรูปโดยกระบวนการวัลคาไนซ์ด้วยเพอร์ออกไซด์

เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะระหว่าง Si-O สูงกว่า C-C และไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ยางซิลิโคนจึงทนต่อสภาพอากาศ โอโซน แสงแดด และความร้อนได้ดีกว่ายางที่เป็นพอลิไฮโดรคาร์บอน ยางชนิดนี้จึงเป็นยางชนิดพิเศษที่สามารถใช้งานได้ในพื้นที่อุณหภูมิสูงมากๆ (และต่ำมากๆ) อย่างไรก็ตามยางซิลิโคนมีค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความต้านทานต่อการขัดถู (abrasion resistance) และความทนต่อแรงกระแทก (impact resistance) ต่ำมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารเสริมแรง เช่น ซิลิกาช่วย ยางซิลิโคนมีความเป็นฉนวนที่ดีมาก มีอัตราการซึมผ่านของก๊าซและของเหลวสูง (ประมาณ 100 เท่าของยางบิวไทล์) แต่ว่ายางชนิดนี้ไม่ทนต่อกรดและด่าง สารเคมีจำพวกเอสเทอร์ คีโตน และอีเทอร์

การใช้งานของยางซิลิโคนจะถูกจำกัดอยู่ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่สามารถใช้ยางชนิดอื่นๆ ได้ เพราะยางชนิดนี้มีราคาสูงมาก ส่วนใหญ่จะใช้ในการผลิตยางที่เป็นชิ้นส่วนของเครื่องบินและรถยนต์ ใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิล และใช้ในงานทางการแพทย์และเภสัชกรรมรวมถึงผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร



ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมบัติของยางคงรูประหว่างยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์

สมบัติ	ชนิดของยาง							
	NR	IR	SBR	BR	NBR	CR	IIR	EPDM
ความทนต่อแรงดึง (ไม่มีสารเสริมแรง)	1	2	5	6	5	3	4	5
ความทนต่อแรงดึง (มีสารเสริมแรง)	1	2	2	4	2	2	3	3
การยืดตัวสูงสุด	1	1	2	3	2	2	2	3
ความต้านทานต่อการขาด (มีสารเสริมแรง)	4	4	3	1	2	3	4	3
ความทนต่อการฉีกขาด	2	2	3	5	3	2	3	3
การกระเดื่องตัว	2	2	3	1	3	3	6	3
ความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ	2	2	3	2	3	3	2	2
ความทนต่อความร้อน	5	5	4	4	3	3	3	2
ความทนต่อการเกิดออกซิเดชัน	4	4	3	2	3	2	2	1
ความทนต่อแสง UV	4	4	3	3	3	2	2	1
ความทนต่อโอโซนและสภาพอากาศ	4	4	4	3	3	2	2	1
ความทนต่อน้ำมัน	6	6	5	6	1	2	6	4
ความทนต่อน้ำมันเชื้อเพลิง	6	6	6	6	2	3	6	5
ความทนต่อการกรด	3	3	3	3	4	2	2	1
ความทนต่อต่าง	3	3	3	3	4	2	2	1
ความทนต่อการติดไฟ	6	6	6	6	6	2	6	6
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	1	1	2	2	5	4	2	2
การซึมผ่านของก๊าซ	5	5	4	4	2	3	1	4

* 1 = ดีมากที่สุด 6 = ด้อยที่สุด