

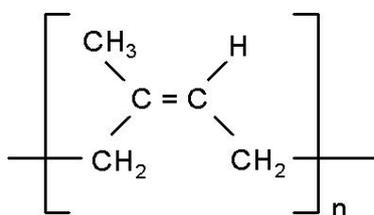
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1. ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้นยางพารา ซึ่งมีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มแม่น้ำอะเมซอน ประเทศบราซิล และทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียนแดงเผ่ามายันในอเมริกากลางได้รู้จักการนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงในน้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ต่อมาในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มารี่ เดอลา คอนดามีน (Charles Merie de la Condamine) ได้ให้ชื่อเรียกยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาว่า "คาโอชู" (Caoutchouc) ซึ่งแปลว่าต้นไม้ร้องไห้ และให้ชื่อเรียกของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมันซึ่งไหลออกมาจากต้นยางเมื่อกรีดเป็นรอยแผลว่า ลาเทกซ์ (latex) และใน พ.ศ. 2369 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้รายงานว่ายางธรรมชาติเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรเอมไพริคัล คือ C_5H_8 หลังจากนั้นจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้ใช้งานได้กว้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด น้ำยางที่กรีดได้จากต้นเรียกว่า น้ำยางสด (field latex) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 มีความหนาแน่น ประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร ความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสด แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35% และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง 65% (ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 55% ส่วนของลู่ทอยด์ 10%) น้ำยางสดที่กรีดได้จากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางขณะกรีดยางจะลงไปปนในน้ำยางและกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลง ดังนั้นน้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ ซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับ ตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นจนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเซรัม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาง ไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติจึงมีการใส่สารเคมีลงไปปนในน้ำยาง เพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ เป็นต้น เพื่อที่รักษาน้ำ ยางไม่ให้เสียสูญเสียสภาพ การผลิตยางธรรมชาติหรือการนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยางและรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำ มาแยกน้ำ ออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของเนื้อยางขึ้นตอนหนึ่งก่อนด้วยวิธีการต่างๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือการใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ ในขณะที่การเตรียมยางแห้งนั้นมักจะใช้วิธีการใส่กรดอะซิติกลงในน้ำยางสด ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน เกิดการแยกชั้นระหว่างเนื้อยางและน้ำ ส่วนน้ำที่ปนอยู่ในยางจะถูกกำจัดออกไปโดยการรีดด้วยเครื่องรีด 2 ลูกกลิ้ง (Barlow, 1988)

ยางธรรมชาติมีชื่อเรียกทางเคมีคือ *cis*-1,4-polyisoprene ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรง ใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่อัลฟาเมทิลีนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถันและทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนต้ออกซิแดนท์และแอนตีโอโซนเนอร์ร่วมด้วย ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดีมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ประมาณ $-72\text{ }^{\circ}\text{C}$ สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อมีแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไปยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติติดกันเหนียวติดกัน (tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น (Barlow, 1988)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

2.2 น้ำมันช่วยการแปรรูป (Processing oil) หรือสารช่วยการผสม (Process aids)

สารช่วยผสม (Process aids) สามารถจำแนกได้ตามหน้าที่ดังนี้ (พรพรรณ, 2528)

Softener คือ สารที่ใช้ในการคอมปาวด์ยางเพื่อทำให้ยางวัลคาไนซ์มีความนิ่ม หรือช่วยให้แปรรูปได้ง่ายขึ้น ซึ่งสามารถใส่ได้สูงถึงครึ่งหนึ่งของน้ำหนักยาง

Plasticizer คือ สารที่ใช้เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำให้กับยางวัลคาไนซ์

ได้มีการศึกษาการทำงานของ softener และ plasticizer ในยางคอมปาวด์ โดยเลือกศึกษาในยางธรรมชาติ และใช้เบนซีนเป็นตัวทำละลาย ซึ่งสายโซ่ของยางธรรมชาติจะดูดซับเบนซีนไว้ ทำให้ยางธรรมชาติเสียสภาพความเป็นยาง ปกติแล้วเบนซีนจะไม่ใช้เป็น softener แต่จะใช้ในการศึกษาแทนน้ำมันสนและน้ำมันดิน ได้มีการนำทฤษฎีต่างมาอธิบายการทำงานของ plasticizer และ softener ดังนี้

ทฤษฎีแรกเป็นทฤษฎีที่เรียกว่า Lubricity theory ซึ่งอธิบายว่าพอลิเมอร์จะคล้ายกับผ้าที่ยังไม่ถูกทอ โดยเฉพาะเส้นใยผ้าจะคล้ายกับสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งมีการเรียงตัวแบบสุม ทำให้เกิดการพันกันจึงเคลื่อนตัวได้ยาก ถ้ามีการใส่ plasticizer ลงไป plasticizer จะไปแทรกอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแยกกัน จึงสามารถเคลื่อนตัวได้ง่ายขึ้น และอาจเกิดการผิดรูปได้

Gel theory เป็นทฤษฎีที่อธิบายว่า gel จะทำหน้าที่เหมือน network คือจะเป็นตัวยึดระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ การใส่ plasticizer ลงไปจะทำให้ gel เกิดการพองตัว จึงเกิดการผิดรูปได้ง่ายขึ้น

Free-volume theory เป็นทฤษฎีที่เสนอหน้าที่ plasticizer ที่อุณหภูมิต่ำกว่า glass transition temperature (T_g) ของพอลิเมอร์ ซึ่งกล่าวว่าการเพิ่ม free-volume จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและโครงสร้างของพอลิเมอร์

ในการจัดประเภทของ softener และ plasticizer โดยแบ่งตามแหล่งที่มาของสาร ซึ่งได้แก่ (พรพรรณ, 2528)

1. Petroleum
2. ผลิตภัณฑ์จากต้นสน (Pine tar and pine product)
3. เรซินสังเคราะห์ (Synthetic resins)
4. เอสเทอร์ (Ester)
5. น้ำมันและไขมันธรรมชาติ (Natural fats and oils)

ผลิตภัณฑ์จากต้นสน (Pine products)

ผลิตภัณฑ์จากต้นสนที่ได้จากการเจาะต้นสนเรียกว่า น้ำมันสน (Turpentine) แต่ถ้าได้จากดอกไม้ของต้นสน จะเรียกว่า steam-distilled หรือต่อมาเรียกว่า wood turpentine น้ำมันสนทั้งสองชนิดนี้ประกอบด้วย “terpene” ซึ่งเป็น oligomer ของ isoprene ที่มากเกินพอ และมีโครงสร้างทั่วไปคือ $(C_5H_8)_n$

1. Terpene solvent มี flash point 115-118 °F ถ้าทำการผสมใน internal mixer อาจเกิดอันตรายได้ และเนื่องจาก terpene solvent ไม่มีสีและไม่มีกลิ่น จึงนิยมนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสอาหาร

2. Pine tar เป็นเศษที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันสน ใช้เป็น softener ในยางธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้ได้สูงกว่า 5 phr อีกทั้งยังช่วยในการกระจายตัวของเขม่าดำ ยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ และสามารถใช้กับงานที่ต้องทำการประกอบขึ้นส่วนก่อนวัลคาไนซ์ได้ แต่เนื่องจาก pine tar มีสีคล้ำจึงไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีสวยได้

3. Terpene ชนิด β -pinene ที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้วจะได้เป็นเรซิน (resin) ซึ่งจะมีตั้งแต่เป็นของไหลจนถึงของแข็งเปราะ ซึ่งจะมีความเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และจะมีความเหนียวเมื่อนิ่ม มีมวลโมเลกุลต่ำประมาณ 550-2200 โดยจะมีมวลโมเลกุลสูงต่ำผสมกันไป ซึ่งจะมีความเสถียรต่อความร้อนและรังสี UV

Terpene resin สามารถใช้ผสมในยางธรรมชาติ SBR IIR CR petroleum hydrocarbon น้ำมันพืช และ wax ได้ โดยเฉพาะ terpene resin ที่เป็นของเหลว สามารถใช้เป็น tackifier ได้ดีมาก และเนื่องจากเป็นเรซินที่ไม่มีความเป็นพิษ จึงสามารถใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหารได้ terpene resin ที่ใช้ทั่วไปจะอยู่ในรูป chewing gum

เรซินสังเคราะห์ (Synthetic resin)

เรซินสังเคราะห์ที่ใช้ในบางส่วนใหญ่เป็นพวก Coumarone indene (CI) resin และ Petroleum hydrocarbon resin แต่เนื่องจาก CI resin ไม่เพียงพอสำหรับใช้งาน จึงได้สังเคราะห์เรซินจากตัวทำละลาย naphtha เข้มข้น ที่ได้จากการกลั่นถ่านหิน และผลพลอยได้เป็นถ่านหินแข็ง (Coke)

ตัวทำละลาย naphtha เข้มข้น และโดยเฉพาะใน coumarone indene resin ซึ่งการที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัว ทำให้สามารถพอลิเมอร์ไรซ์ (Polymerize) ได้ด้วยกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) แต่ล่าสุด

ได้มีการใช้ BF_3 หรือ BF_3 etherates เพราะให้เรซินที่มีสีใสมากกว่า หลังจากทำการพอลิเมอไรซ์แล้ว สามารถกำจัดสารตัวเร่ง (Catalyst) ได้โดยใช้ alkaline หรือปูนขาวล้าง ส่วนของเรซินที่ได้สามารถแยกออกมาโดยใช้วิธีการกลั่นด้วยไอน้ำ เพื่อแยกเอา naphtha ที่ไม่เกิดปฏิกิริยาออก

1. Coumerone indene เป็นพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ที่มีอยู่ใน indene ซึ่งมีมวลโมเลกุลต่ำ มีสีใสและคงที่ มีความหนาแน่น 1.10-1.15 และค่า softening point สูงถึง 150°C ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะนำ coumarone resin ไปเพิ่มความนิ่มให้กับยาง แต่สามารถใช้เป็น plasticizer ได้ coumarone resin สามารถช่วยให้สี (pigments) กระจายตัวได้ดี และให้สมบัติได้ stress-strain ที่สูงขึ้น สิ่งสำคัญคืออุณหภูมิที่ใช้ในการผสมจะต้องสูงพอ เพื่อที่สามารถหลอมเรซินได้ ตัวอย่างการใช้ CI resin ในสูตรยางทำสายฉีด โดยใช้ CI resin 20 phr, white filler 215 phr และยาง SBR 100 phr

2. Hydrocarbon resin เป็นเรซินที่มีสีเหลืองซีดจนถึงสีน้ำตาลเข้ม และมีลักษณะเป็นของเหลว มีค่า softening point ต่ำกว่า 10°C จนถึงมีลักษณะแข็งเปราะ มีค่า softening point ตั้งแต่ $180-190^\circ\text{C}$ hydrocarbon resin สามารถแบ่งได้ 2 ชนิด คือ aliphatic olefin resin มีคาร์บอน 5 อะตอม มีความถ่วงจำเพาะ 0.98 ใช้เป็น tackifier และอีกชนิดหนึ่งคือ aromatic resin มีคาร์บอน 9 อะตอม มีความถ่วงจำเพาะ 1.05-1.08 เรซินชนิดนี้นอกจากจะเป็น tackifier แล้ว ยังสามารถเสริมแรงได้อีกด้วย อีกทั้งยังมีสมบัติที่ไม่ตกสี จึงเหมาะที่จะใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการสีสดใสหรือสีขาว

3. Phenolic resin เป็นเรซินที่เตรียมจากการพอลิเมอไรซ์ของ phenol, formaldehyde, cresol และ aldehyde ที่มากเกินไป โดยใช้กรดหรือเบสเป็นตัวเร่ง (catalyst) ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดอย่างซับซ้อนและไม่สามารถผันกลับได้ โดยทั่วไปจะใช้เรซินชนิดนี้ในยางธรรมชาติ, SBR, CR, NBR และ BR ซึ่งจะทำให้หน้าที่เป็นเรซินเสริมแรง, tackifier, processing aid และยังช่วยให้ยางติดผ้าได้ดีขึ้น โดยเฉพาะการใช้ในยาง NBR การใช้ phenolic resin 50 phr จะให้ค่า tensile strength 3100 psi, elongation at break 300% และความแข็ง 94 shore A

เอสเทอร์ (Esters)

เอสเทอร์ เตรียมจากปฏิกิริยาการควบแน่นระหว่างกรดกับแอลกอฮอล์ แต่เนื่องจากเอสเทอร์มีราคาที่สูง จึงจะใช้ก็ต่อเมื่อต้องการยางที่มีสมบัติเด่นเฉพาะเท่านั้น เช่นการเพิ่มความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ ในยาง CR BR และ NBR เอสเทอร์พลาสติกไซเซออร์ ที่ใช้ทั่วไปได้แก่ dioctyl adipate dioctyl sebacate และ butyl oleate โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนนำไปผสมกับยางนั้นคือ ความเข้ากันได้ ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติของยางที่อุณหภูมิต่ำ, อัตราการวัลคาไนซ์ และความต้านทานต่อโอโซน อีกทั้งยังสามารถลดการเกิดเชื้อราในยางคอมปาวด์ได้อีกด้วย

Natural fat และ oil

ในยางคอมปาวด์ บางครั้งอาจมีการผสมน้ำมันพืช ไขมัน หรือส่วนของ pine product ลงไป เช่น ในยาง CR มีการผสมน้ำมันไม่อิ่มตัวลงไป เช่น น้ำมันจากเมล็ดป่าน rapeseed และ safflower oil เพื่อให้ได้สมบัติตามต้องการ นั่นคือ ให้ยางมีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ ทนการฉีกขาดและทนโอโซน ส่วนน้ำมันพืชจะใช้เป็น oil vulcanized หรือเรียกว่า factice โดยทั่วไปรู้จักกันในชื่อ white subs หรือ brown subs ซึ่ง “sub” หมายถึง substitute และปัจจุบันได้มีการใช้ solid vulcanized oil ใน rubber itself

และได้มีการใช้น้ำมันจากสัตว์และน้ำมันพืชที่ไม่อิ่มตัวร่วมกับ S_2Cl_2 (sulfur monochloride) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ เช่น ยางลบดินสอที่ใช้ในงานศิลปะ ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีสดใส เรียกว่า white subs และถ้าใช้น้ำมันเหล่านี้ร่วมกับกำมะถัน จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีดำ เรียกว่า brown subs สารพวก oil vulcanized จะช่วยให้ยางคอมปาวด์ไหลได้ง่ายขึ้น และยังลดการเกาะกลุ่มกันของพลาสติกไซเซออร์ อีกทั้งยังช่วยให้ยางที่ไม่วัลคาไนซ์สามารถคงรูปร่างได้ดีขึ้น และเนื่องจาก factice ชนิดนี้สามารถใช้กับยางสังเคราะห์ได้หลากหลาย จึงสามารถทำผลิตภัณฑ์ยางนิ่มที่มีความแข็งต่ำกว่า 40 Shore A ได้ ตัวอย่างเช่น การออกสูตรยาง CR ให้มีความแข็ง 10 Shore A โดยใช้ไขมัน 100 phr และ factice 50 phr บ่อยครั้งที่มีการใช้ factice ชนิดนี้ในสารยึดติดแบบใช้ความดัน ซึ่งจะช่วยป้องกันการไหลเนื่องจากความร้อนหรือความเย็น และมีการใช้ในยางลบ โดยทั่วไปจะใช้ประมาณ 2-3 phr ในยาง 1 phr จะได้อย่างลบที่มีความสามารถลบรอยดินสอได้โดยไม่ทำลายเนื้อกระดาษ

น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils)

ในช่วงแรกน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils) เป็นน้ำมันผสมยางชนิดเหลว เนื่องจากมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตามเมื่อคุณภาพของน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils) ได้มีการพัฒนา ทำให้ได้น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils) ที่ไม่ได้ช่วยเพียงช่วยเรื่องการแปรรูปเท่านั้น แต่ยังสามารถช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของยางได้

วัตถุประสงค์การใช้น้ำมันในการยางคอมปาวด์ มี 3 ประการ ได้แก่ (Whelan and Lee, 1979)

1. ใช้เป็นน้ำมันช่วยแปรรูป (processing aid) ของพอลิเมอร์ขณะทำการบดผสม (milling, mixing) และการเอ็กซ์ทรูด (extruding) โดยทำให้เกิดการหล่อลื่นของโมเลกุลยาง
2. ใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เช่น ความยืดหยุ่น (elasticity), เพิ่มความโค้งงอ และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ
3. ลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์ยาง

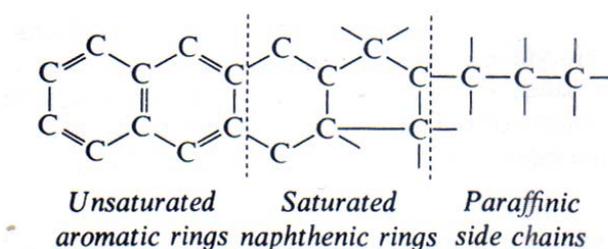
ชนิดของน้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils)

น้ำมันที่ใช้กับยางโดยทั่วไปเป็นส่วนที่ได้มาจากปิโตรเลียม ซึ่งมีจุดเดือดสูง เป็นน้ำมันที่ได้กลั่นเอาน้ำมันที่ใช้กับรถยนต์และน้ำมันก๊าดออกไป น้ำมันที่ได้มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลที่กว้าง น้ำมันที่ใช้กับยาง แยกได้ 3 ชนิด ได้แก่

1. น้ำมันอะโรมาติก (aromatic oil)
2. น้ำมันแนฟทีนิก (naphthenic oil)
3. น้ำมันพาราฟินิก (paraffinic oil)

น้ำมันอะโรมาติกจะมีสูตรโครงสร้างที่แสดงส่วนวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว น้ำมันแนฟทีนิกแสดงส่วนวงแหวนที่อิ่มตัว และน้ำมันพาราฟินิกแสดงส่วนแขนงของสายโซ่ (side chains)

ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ชนิดโมเลกุลในน้ำมัน

ในน้ำมันอะโรมาติกมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นวงแหวนมาก ขณะที่น้ำมันแนฟทีนิกมีส่วนของโครงสร้างวงแหวนที่ไม่มีพันธะคู่ ในน้ำมันพาราฟินิกมีส่วนของวงแหวนเล็กน้อยต่อโมเลกุล แต่มีจำนวนแขนงของสายโซ่ (side chains) มาก

อะโรมาติกและพาราฟิน

สารเหล่านี้เป็นสารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ จากนั้นนำไปแยกโดยการสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากนั้นทำการแยกตัวทำละลายออก ส่วนของอะโรมาติกสามารถที่จะกลั่นให้ได้น้ำมันอะโรมาติกชั้นสูง (high-grade aromatic oil) และส่วนกากเหลือทิ้งสามารถนำไปบรรจุในยาง มะตอยราดถนน (alphaltenes) ได้ การกำจัดตัวทำละลายทำให้ส่วนของน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่มีส่วนประกอบของ อะโรมาติก และไม่มีส่วนของยางมะตอยราดถนน (alphaltenes) แต่จะมีการบรรจุโครงสร้างที่เป็นเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) เพียงเล็กน้อย

ถึงอย่างไรก็ตาม ส่วนนี้ประกอบด้วยน้ำมันแปรรูปชนิดพาราฟินิก ที่มีการกลั่นเพื่อกำจัดไข (Waxes) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ใช้ต้นทุนสูง แต่ราคาโดยรวมของน้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการลดไข (Waxes) ไม่มีผลต่อราคาของน้ำมันพาราฟินิก เพราะผลจากมูลค่าของไข (Waxes) ที่ได้

แนฟทีนิก

น้ำมันนี้ผลิตโดยการกลั่น เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีส่วนของยางมะตอยราดถนน (alphaltenes) มีส่วนของเฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) ปรากฏระหว่างโครงสร้างวงแหวน และน้ำมันแนฟทีนิกโดยธรรมชาติจะปราศจากไข

ชนิดของน้ำมันดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำมันแนฟทีนิกมีความขาดแคลน อาจส่งผลให้เป็นน้ำมันที่ราคาสูง

การวิเคราะห์น้ำมันสำหรับยาง (Analysis of Rubber Oils)

การตัดสินความแตกต่างของน้ำมันแต่ละชนิดมีความสำคัญ เพื่อให้ทราบถึงสัดส่วนของอะโรมาติก แนฟทีนิก และพาราฟินิก แต่ไม่สามารถหาสัดส่วนที่แท้จริงได้

การวิเคราะห์น้ำมันโดยทั่วไป จำแนกได้ 2 วิธี (Whelan and Lee, 1979)

1. การวิเคราะห์เชิงโมเลกุล (Molecular-type analysis)
2. การวิเคราะห์เชิงคาร์บอน (Carbon-type analysis)

การวิเคราะห์เชิงโมเลกุล (Molecular-type analysis)

เป็นการแยกน้ำมันตามความแตกต่างของโมเลกุล โดยการดูดซับบนซิลิกาเจล (silica gel) หรือดิน (clays) เป็นต้น หรืออาจใช้วิธีทางเคมีผ่านการใช้สารจำพวกกรด ได้แก่ กรดซัลฟูริก ซึ่งมีมาตรฐานการทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM D 2006 และ ASTM D 2007

เทคนิคนี้สามารถแยกน้ำมันออกเป็น 4 กลุ่ม

1. กลุ่มโมเลกุลที่ไม่มีความเป็นไฮโดรคาร์บอน (non-hydrocarbon molecules)
 กลุ่มนี้จะประกอบด้วยธาตุไนโตรเจน ซัลเฟอร์ หรือ ออกซิเจน ซึ่งบางครั้งเรียกว่า เฮเทอโรไซคลิก (heterocyclic) หรือสารพหุมีขั้ว (polar compound) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของน้ำมันที่กระจายอยู่ในพอลิเมอร์ระหว่างการจัดเก็บภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด และยังสามารถบ่งบอกถึงผลกระทบต่ออัตราการวัลคาไนซ์
2. กลุ่มโมเลกุลอะโรมาติก (aromatic molecules)
 เป็นกลุ่มที่มีผลต่อคุณสมบัติของยางมากกว่ากลุ่มอื่นๆ ซึ่งจะปรากฏ 2 ถึง 3 วงแหวน จะแสดงให้เห็นถึงความเข้ากันได้ของน้ำมันและยาง
3. กลุ่มโมเลกุลที่อิ่มตัว (saturated molecules)
 โมเลกุลที่อิ่มตัวจะมีความเฉื่อยสูง ไม่มีขั้ว และไม่สามารถแยกด้วยวิธีการดูดซับหรือวิธีการใช้กรด เป็นกลุ่มที่ประกอบด้วยวงแหวนที่อิ่มตัวเกาะอยู่กับสายโซ่พาราฟิน มีความเสถียรต่อการเกิดออกซิเดชัน (oxidation) และมีความต้านทานต่อการตกสีโดยสาเหตุจากความร้อนและแสงแดด
4. ไช (waxes)
 กลุ่มนี้จัดเป็นกลุ่มที่มีคุณภาพต่ำ อาจส่งผลให้เกิดปัญหาการสพรั่งของไช (blooming) เพราะความไม่ละลายในยาง แต่มักใช้สารกลุ่มนี้ในการป้องกันการรอยแตกจากโอโซน (prevent ozone cracking)
 ASTM D 2226 ได้มีการจำแนกน้ำมันเหล่านี้ออกเป็นระบบ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจำแนกน้ำมันตาม ASTM D 2226

		Asphaltenes, % max	Polar compounds, % max	Saturates, %
Type I.	Highly aromatic	0.75	25	20 max
Type II.	Aromatic	0.5	12	20.1–35 max
Type III.	Naphthenic	0.3	6	35.1–65 max
Type IV.	Paraffinic	0.1	1	65 min

การวิเคราะห์เชิงคาร์บอน (Carbon-type analysis)

การวิเคราะห์เชิงโมเลกุลมีข้อเสียต่างๆเช่น ไม่มีนิยามที่ชัดเจนเกี่ยวกับระดับอะโรมาติก หรือคุณลักษณะของแนฟทีนิก ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์เชิงโมเลกุลในโครงสร้างวงแหวนที่ไม่อิ่มตัว จะให้ผลเป็นอะโรมาติกร้อยละ 100 หรือไม่มีอะตอมคาร์บอนมาแทนที่แขนงสายโซ่ของพาราฟินิก (paraffinic side chains) ซึ่งถ้าแขนงสายโซ่ (side chains) มีความเข้ากันได้ดีกับยาง ควรจะให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้แตกต่างกับกรณีไม่มีส่วนแขนงสายโซ่

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคาร์บอน จะให้ค่าเฉลี่ยของวัสดุนั้น โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพของคอมพาวด์บริสุทธิ์ (pure compounds) กับน้ำมันไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยโมเลกุลหลายชนิด โดยเกี่ยวข้องกับความหนืด/ความถ่วงจำเพาะคงที่ (viscosity/gravity

constant, VGC) และการขีดขวางการหักเหแสง (refractivity intercept) ซึ่งจะไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล แต่ขึ้นกับข้อมูลทางกายภาพที่ได้มาจากการปฏิบัติการทดลอง

ความหนืด/ความถ่วงจำเพาะคงที่ (viscosity/gravity constant, VGC) เป็นค่าแสดงถึงชนิดของน้ำมันแปรรูปร่าง โดยคำนวณความเป็นอะโรมาติกจากสมการดังนี้

$$VGC = \frac{10G - 1.0752 \log(V - 38)}{10 - \log(V - 38)}$$

โดยที่ G คือ ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน ที่ 15°C

V คือ ความหนืดของน้ำมัน ที่ 38°C (หน่วยเป็น Saybolt)

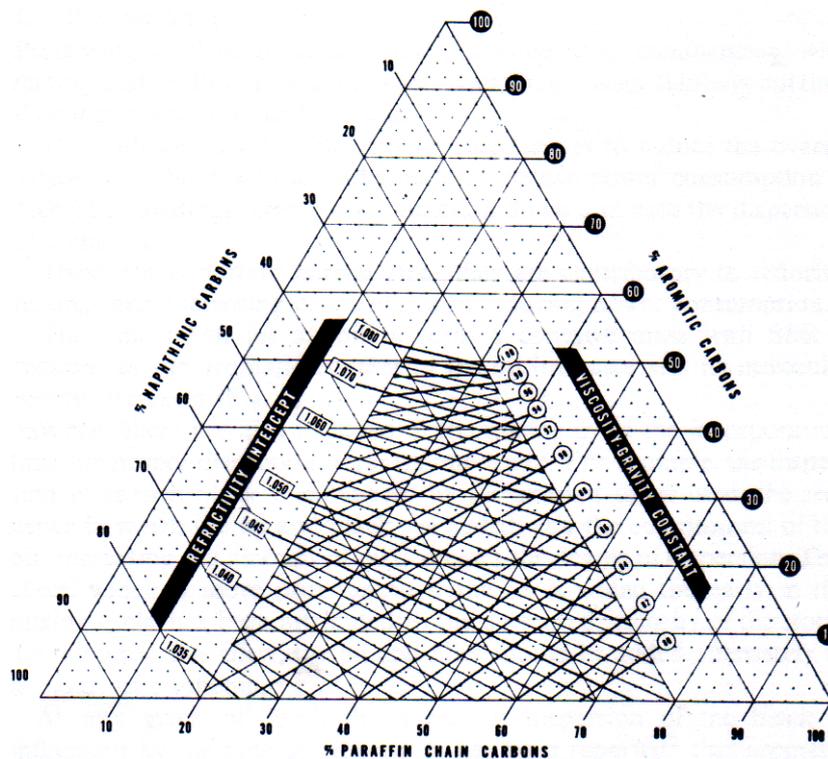
การขีดขวางการหักเหแสง (refractivity intercept) หาได้จากสมการดังนี้

$$\text{Refractivity intercept} = N_D^{20} - 0.5d^{20}$$

โดยที่ N_D^{20} คือ ดัชนีหักเหแสง ที่อุณหภูมิ 20°C สำหรับเส้น sodium D

d^{20} คือ ความหนาแน่น ที่อุณหภูมิ 20°C

เมื่อค่าทั้งสองเป็นค่าคงที่ของน้ำมัน และมีการใช้กราฟสามเหลี่ยม (triangular graph) ดังรูปที่ 2.3 เพื่อแสดงสัดส่วนของคาร์บอนอะตอมในโครงสร้างอะโรมาติก แนฟทีนิก และพาราฟีนิก สามารถนำไปใช้อ้างอิงกับรูปที่ 1 ซึ่งมีคาร์บอนรวม 20 อะตอม ประกอบด้วย 10 คาร์บอนอะตอมในวงแหวนอะโรมาติก คิดเป็นร้อยละ 50 มี 7 คาร์บอนอะตอมในวงแหวนแนฟทีนิก คิดเป็นร้อยละ 35 และมี 3 คาร์บอนอะตอมในแขนงสายโซ่พาราฟีนิก คิดเป็นร้อยละ 15



รูปที่ 2.3 กราฟสามเหลี่ยม (Whelan and Lee, 1979)

การวิเคราะห์เชิงคาร์บอนจะให้ค่าประมาณของระดับความเป็นอะโรมาติก และได้มาจากการทดสอบทางกายภาพ ซึ่งวิธีวิเคราะห์เชิงคาร์บอนและเชิงโมเลกุล จะมีการอ้างอิงข้อมูลจากการทดสอบของน้ำมันแปรรูปยาง และทั้งสองวิธีสามารถใช้เป็นตัวเครื่องมือเปรียบเทียบน้ำมันที่ได้มาจากแต่ละแหล่งกำเนิด คุณสมบัติของน้ำมันแปรรูปยางทั้ง 3 ชนิด ที่ปัจจุบันยังมีการใช้กันอยู่ในเชิงพาณิชย์ แสดงข้อมูลได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของน้ำมันแปรรูปยางแต่ละชนิด (Whelan and Lee, 1979)

	<i>Paraffinic</i>	<i>Naphthenic</i>	<i>Aromatic</i>
Viscosity (cSt)			
At 40°C	19.7	110.2	763.5
At 100°C	4.0	8.0	17.0
Specific gravity at 15°C	0.861	0.932	1.018
VGC	0.809	0.885	0.980
Refractive index	1.4751	1.5167	1.5804
Refractivity intercept	1.0457	1.0503	1.0721
Carbon-type analysis			
C _A	3.5	21	45
C _N	31.0	37	18
C _P	65.5	42	37
Molecular-type analysis, weight %			
Asphaltenes	0	0	0
Polar compounds	0.4	2.8	7.8
Aromatics	12.1	42.8	80.0
Saturates	87.5	54.4	12.2
Aniline point, °C	96.0	75.0	38.2

สารหล่อลื่น (Lubricants) (Barlow, 1988)

กรดสเตียริก(stearic acid) ซิงค์สเตียเรท(zinc stearate) และจารบี(wool grease) สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการไหลของยางคอมปาวด์ได้ แคลเซียมสเตียเรท(calcium stearate) มักใช้เป็น dusting agent และ parting agent สำหรับแบเรียมสเตียเรท(Barium stearate) แคดเมียมสเตียเรท(Cadmium stearate) และตะกั่วสเตียเรท(Lead stearate) เคยมีการใช้ แต่ปัจจุบันได้ถูกถอนออกจากระบบเนื่องจากมีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม สารที่มีความจำเป็นอื่นๆ ต่อการหล่อลื่น ได้แก่ กรดไขมัน(fatty acids) เกลือของกรดไขมัน(fatty acid salts) เอสเทอร์ของกรดไขมัน(fatty acid esters) เอไมด์ของกรดไขมัน(fatty acid amides) และแอลกอฮอล์ไขมัน(fatty alcohols) แต่สารพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น พาราฟิน(paraffin wax) มีความสำคัญต่อการใช้เป็นสารหล่อลื่นมาก พบว่าพอลิเอทิลีน(polyethylene) และพอลิโพรพิลีน(polypropylene) น้ำหนักโมเลกุลต่ำ สามารถทำหน้าที่คล้ายไข(wax)ได้ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สารหล่อลื่นรูปแบบใหม่ (Barlow, 1988)

<i>Processing Additives – Modern Lubricants</i>	
• Fatty Acid Esters	• Metal Soaps
• Fatty Alcohols	• Fatty Acid Amides
• Polyethylene Waxes	• Organosilicones

Schill และ Seilacher ได้ทำการคิดค้นออร์แกโนซิลิโคน(organosilicones) ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นรูปแบบใหม่ที่มีความสำคัญ และตลาดมีความนิยมใช้กันในปัจจุบัน สำหรับกรดไขมัน(fatty acid) และกรดสเตียริก(stearic acid) พบว่ามีการใช้งานที่กว้างขวางขึ้น ซึ่งใช้ในการปรับปรุงความสามารถในการแปรรูปของคอมปาวด์ ใช้ปรับปรุงการบ่ม(curing) ใช้เป็นอิมัลซิไฟเออร์(emulsifier) ในพวกลายสังเคราะห์

เพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำ และยังใช้ลดความเหนียวติดของคอมปาวด์ ซึ่งกรดไขมันเหล่านี้ได้มาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ ดังตารางที่ 2.4 และ 2.5 มีคาร์บอนอะตอมอยู่ในช่วง 16-18 ตัว (C₁₆-C₁₈) แต่บางครั้งมีการใช้กรดไขมันที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น ซึ่งจะระเหยได้ง่าย เช่น กรดลอริก ซึ่งมีคาร์บอนอะตอม 12 ตัว (C₁₂) สำหรับกรดไขมันที่มีสายโซ่ยาวกว่า จะให้ความเข้ากันได้ดีกับยางมากกว่า แต่หายากและราคาแพง ซึ่งไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมยาง

ตารางที่ 2.4 วัตถุดิบที่ใช้เตรียมกรดไขมัน เพื่อทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น (Barlow, 1988)

Lubricants Important Raw Materials for Fatty Acids	
Castor oil	Cotton oil
Coconut oil	Groundnut oil
Herring oil	Linseed oil
Olive oil	Palm oil
Palm kernel oil	Rape seed oil
Soya bean oil	Sunflower oil
Tallow	

ตารางที่ 2.5 สารหล่อลื่นจากกรดไขมันที่สำคัญ (Barlow, 1988)

Lubricants Important Fatty Acids		
Fatty acid	Chain length	Double bonds
Palmitic acid	C 16	0
Stearic acid	C 18	0
Oleic acid	C 18	1
Erucic acid	C 22	1
Ricinoleic acid *)	C 18	1
Linoleic acid	C 18	2
Linolenic acid	C 18	3

*) 12-Hydroxyoleic acid

ความเข้ากันได้ระหว่างกรดสเตียริกกับยางสังเคราะห์มีความจำกัด จึงต้องการสารพิเศษที่ช่วยแก้ปัญหาความซับซ้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป จึงนำไปสู่การค้นหาสารหล่อลื่นชนิดใหม่ สารหล่อลื่นส่วนใหญ่เป็นส่วนผสมของกลีเซอไรด์(glycerides) จากน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ แสดงดังตารางที่ 4 การนำสารผสมกลีเซอไรด์ (glycerides) ของกรดไขมัน มาผ่านกระบวนการสบอนนิฟิเคชัน (saponification) ทำให้ได้คาร์บอนสายโซ่ยาวที่กระจายตัวและความไม่อึดตัวสูง

กรดไขมันที่สำคัญได้แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งกระบวนการแยก(separation) และการทำให้บริสุทธิ์(purification) ทำให้เกิดลักษณะเฉพาะของกรดไขมัน ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสารหล่อลื่นในกระบวนการแปรรูปยาง

fatty acid esters เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ต่างๆ มีความยาวของสายโซ่คาร์บอนต่อกัน 20-34 ตัว (C₂₀-C₃₄) เป็นสารหล่อลื่นที่ดี ช่วยให้คอมปาวด์เกิดการเปียกผิว(wetting) และการกระจายตัว(dispersion) และเอสเทอร์สามารถเกิดขึ้นเองธรรมชาติ เช่น

Carnauba wax นิยมใช้เป็นสารหล่อลื่นสำหรับยางฟลูออรีเนต (fluorinated rubbers) โดยสกัดได้จากใบของต้น Carnauba palm มักใช้ประโยชน์กันด้านการขัดเงา

- Montan wax เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการสกัดถ่านหินสีน้ำตาลด้วยสารละลาย

Metal soaps เตรียมจากปฏิกิริยาระหว่างเกลือของกรดไขมันที่ละลายน้ำ(water-soluble fatty acid salts) กับเกลือของโลหะ เช่น $ZnCl_2$ อาจเตรียม Metal soaps ได้จากปฏิกิริยาของกรดไขมันกับโลหะออกไซด์(metal oxide) ไฮดรอกไซด์(hydroxide) หรือคาร์บอเนต(carbonate) ได้โดยตรง

โดยส่วนใหญ่ Metal soaps จะป็นพวก Zinc soaps และ Calcium soaps แต่ Zinc soaps จะเป็นที่ยอมรับมากกว่า เนื่องจาก Calcium soaps มีผลน้อยต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (cross-linking reaction) และยางสุกได้ง่ายในกรณีใช้ในยางคอมปาวด์ที่มีสารจำพวกฮาโลเจน (halogen) บรรจุอยู่ เช่น ยางคลอโรพรีน (ยาง CR) หรือ ยางฮาโลบิวทิล (halo-butyl) ซึ่ง Metal soaps ส่วนใหญ่ขึ้นกับกรดไขมันที่มี C16-C18 เนื่องจากสามารถละลายได้ดีในยางและมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารหล่อลื่นชนิดอื่นที่บรรจุพวกเกลือของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ส่วนใหญ่ทราบดีว่าซิงค์สเตียเรท (zinc stearate) มักใช้เป็นสารก่อผง (dusting agent) ในยางไม่มีขี้ขี้ที่ยังไม่ผ่านการบ่มแรง เนื่องจากความเป็นผลึกสูงของยางดังกล่าว ทำให้มีความจำกัดในความเข้ากันได้กับซิงค์สเตียเรท (zinc stearate) ทำให้เกิดการสพร้ง(bloom)ขึ้น ส่งผลให้เกิดการแยกของเนื้อพอลิเมอร์ขึ้น

โดยทั่วไป Metal soaps จะทำหน้าที่เป็นสารก่อให้เกิดการเปียกผิว(wetting agents) ภายใต้อิทธิพลของอัตราการเนียนสูง ส่งผลให้คอมปาวด์สามารถไหลได้ แต่หากปราศจากการเนียน จะทำให้คอมปาวด์มีความหนืดสูง สำหรับสบู่ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว ได้มีการศึกษาพบว่าสามารถทำหน้าที่เป็น physical peptizer, chemical peptizer, สารหล่อลื่น และมีความเข้ากันได้ดีกับยาง

Fatty alcohols เตรียมจากปฏิกิริยารีดักชัน(reduction)ของกรดไขมัน ในความจริงแล้ว fatty alcohol มักไม่นิยมใช้ในการแปรรูปยางคอมปาวด์ แต่มักใช้ในหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายใน (internal lubricants) และสารลดความหนืด บางครั้งใช้เป็นสารช่วยการกระจาย(dispersing agent) โดยทั่วไปจะเข้ากันได้ดีกับยางคอมปาวด์ ยกเว้น Stearyl alcohol (1-octadecanol) ที่มีความเข้ากันได้อย่างจำกัด และอาจมีผลให้เกิดการสพร้ง (bloom)

Fatty acid amides เตรียมจากปฏิกิริยาของกรดไขมันหรือเอสเทอร์ของกรดไขมันกับแอมโมเนีย(ammonia)หรือเอมีน(amine) ซึ่งสารประกอบเอไมด์(amides) ของกรดสเตียริกและกรดโอเลอิก มักใช้เป็นสารหล่อลื่นในพวกเทอร์โมพลาสติก(thermoplastics) ตัวอย่างเช่น Ethylene-bis-stearamide (EBS) มีจุดหลอมเหลวสูง $140^{\circ}C$ ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นในยางคอมปาวด์

Organosilicones จัดเป็นสารหล่อลื่นชนิดใหม่ เตรียมมาจากปฏิกิริยาการควบแน่น (condensation) ของกรดไขมันดัดแปลง(fatty acid derivative) กับซิลิโคน(silicones) ซึ่งมีความเข้ากันได้ดีกับกลุ่มสารอินทรีย์ และทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นที่ดีเยี่ยม แต่ทั้งนี้ขึ้นกับโครงสร้างของ Organosilicones ให้เหมาะสมกับอีลาสโตเมอร์ ซึ่งจะให้ความเสถียรต่อความร้อนสูง เนื่องจากมีความเข้ากันได้ดีมาก แต่จะไปลดการความเหนียวติด(adhesion) โดยทั่วไปการใช้ซิลิโคนในอุตสาหกรรมยาง จะสามารถปรับปรุงการรีด (calendering) และการแกะออกจากเบ้าได้ง่าย (demolding)

Polyethylene และ Polypropylene waxes ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ซึ่งกระจายตัวได้ง่ายในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ สามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและ release agents และยังช่วยการเอ็กทูดซ์(extrusion)และการรีด(calendering) ของคอมปาวด์แห้ง และลดความเหนียวติดของคอมปาวด์ที่มีความหนืดต่ำ ซึ่งสารดังกล่าวจะเข้ากันได้จำกัดกับยางที่มีขี้ขี้ เช่น ยางCR หรือ ยางNBR หากใช้ในปริมาณสูงจะมีปัญหาด้านความเหนียวติด ซึ่ง Polyethylene wax มักใช้เป็นส่วนประกอบในสารหล่อลื่น และมักใช้ Polypropylene wax เป็นสารหล่อลื่นในอุตสาหกรรมพลาสติก

ผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น graphite, molybdenum disulphide และ fluorocarbon สามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นได้ ซึ่งสารเหล่านี้ยังไม่เป็นที่นิยมใช้มากนัก

2.3 ค่าพื้นฐานต่างๆของน้ำมัน (AOAC, 1990)

ค่าสaponification (Saponification value)

ค่าสaponification (Saponification value) คือจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอกกับไขมันจำนวน 1 กรัม ค่าสaponification จะแสดงให้เห็นถึงขนาดหรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไขมัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำหรือขนาดของโมเลกุลเล็กหรือจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลน้อยจะใช้ต่างในการ neutralize มาก ทำให้มีค่าสaponification สูง ในทางตรงกันข้ามไขมันหรือน้ำมันที่มีโมเลกุล ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงหรือขนาดของโมเลกุลใหญ่หรือจำนวนคาร์บอน ใน โมเลกุลมากจะใช้ต่างในการ neutralize น้อย ทำให้มีค่าสaponification ต่ำ

ค่าปริมาณกรด (Acid value)

ค่าปริมาณกรด คือมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องการสำหรับทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลางในน้ำหนักตัวอย่าง 1 กรัม

ค่ากรดไขมันอิสระ (Free fatty acid)

ค่ากรดของไขมันหมายถึงจำนวนมิลลิกรัมของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาพอกกับไขมันอิสระที่มีอยู่ในกรดไขมันจำนวน 1 กรัม ค่าที่ได้อาจแสดงในรูปร้อยละของกรดไขมันอิสระ ค่ากรดของไขมันอาจเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าไขมันถูกย่อยด้วยเอนไซม์ไลเปสเกิดเป็นกรดไขมันอิสระมากน้อยเท่าใด ถ้ามีกรดสูงแสดงว่ามีกรดไขมันอิสระมาก ไขมันจะเหม็นหืนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส

ค่าไอโอดีน (Iodine Value ; IV)

ค่าไอโอดีน (Iodine Value ; IV) คือจำนวนมิลลิกรัมของไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับไขมัน 100 กรัมทางปฏิบัติหาค่าโดยวิธีของวิจัน (Wijs method) กรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในไขมัน จะทำปฏิกิริยาไอโอดีน ณ ตำแหน่งพันธะคู่ของโมเลกุล ปฏิกิริยาสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในที่มืด แต่จะเกิดอย่างช้าๆถ้ามีพันธะคู่มากก็จะใช้ไอโอดีนในการทำปฏิกิริยามาก ดังนั้นปริมาณไอโอดีนที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้ความไม่อิ่มตัว

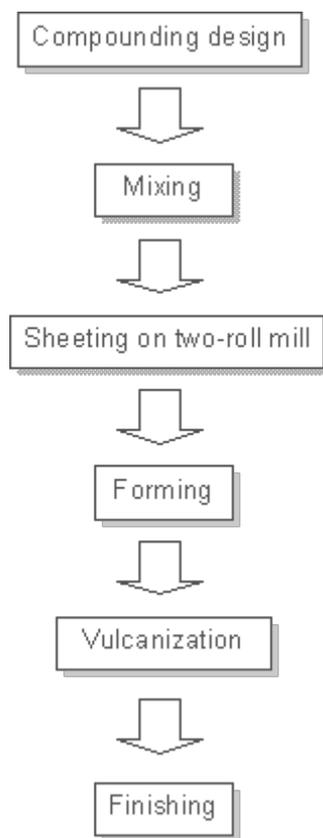
2.4 คอมปาวด์ยางธรรมชาติ (Rubber compound)

คอมปาวด์ยางธรรมชาติ คือ ยางดิบที่ผสมสารเคมียาง ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางจำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายชนิดผสมกับยางเพื่อเพิ่มสมบัติการใช้งาน เช่น ความแข็งแรง ความยืดหยุ่น ความทนสภาพอากาศ ขั้นตอนการเลือกใช้สารเคมียางที่เหมาะสมเพื่อผสมกับยาง เรียกว่าการออกสูตรยาง

การออกสูตรยาง

การออกสูตรยางจะต้องรู้สมบัติของยางแต่ละชนิดเป็นอย่างดี กล่าวคือต้องรู้ข้อดีและข้อเสียของยางที่มาใช้ เช่น ยางธรรมชาติมีข้อดีคือมีความแข็งแรงของเนื้อยางล้วน(pure gum)ดีมาก นั่นคือไม่ต้องเติมสารเสริมแรงก็สามารถให้ความแข็งแรงได้ดีในขณะเดียวกันยาง EPDM มีความแข็งแรงของน้ำยางล้วนๆสู้ยางธรรมชาติไม่ได้ แต่มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากโอโซนและสภาพอากาศที่ดีกว่า เป็นต้น ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการผสมยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มาใช้ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติที่

ดีของยางแต่ละชนิดและยังมีผลต่อการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย ดังที่กล่าวไว้แล้วว่ายางดิบมีสมบัติที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ได้โดยตรง จำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆ เพื่อปรับสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ และนำยางคอมปาวด์ที่ผสมได้ไปผ่านกระบวนการคงรูป (vulcanization) ทำให้ยางมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3-D network) หรือที่เรียกว่าการเกิด crosslink ระหว่างโมเลกุลของยางโดยทั่วไป กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางพอสรุปได้ดังนี้ ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางโดยทั่วไป

สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agent or curing agent) (Barlow, 1988)

สารกลุ่มนี้จะทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้ยางอยู่ในสถานะที่ยืดหยุ่นได้สูงหรืออาจใช้คำว่า “คงรูป” แต่ตามโรงงานมักเรียกกันว่า “ยางสุก” สารทำให้ยางคงรูปแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (sulphur) นิยมใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีพันธะคู่ในโมเลกุล และระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) ซึ่งนิยมใช้ในยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ นอกจากนี้ 2 ระบบดังกล่าว ยังมีการใช้สารคงรูปพวกโลหะออกไซด์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์และสังกะสีออกไซด์ (MgO/ZnO) ในยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางนีโอพรีน

• ระบบยางคงรูปโดยกำมะถัน (sulphur vulcanization system) เป็นระบบที่เหมาะสมสำหรับการทำใหยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลสูงคงรูป เช่น ยางธรรมชาติหรือยาง SBR เพราะพันธะคู่คือบริเวณที่เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเซชันด้วยกำมะถัน การทำใหยางคงรูปด้วยกำมะถันจะทำให้ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่มีความทนทานต่อความร้อนต่ำ

- ระบบเปอร์ออกไซด์ (peroxide system) ระบบนี้สามารถใช้ในการทำให้ยางเกือบทุกชนิดคงรูป โดยเฉพาะยางสังเคราะห์ที่ไม่มีหรือมีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำ ยางที่คงรูปด้วยระบบนี้ จะมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีนัก ต้นทุนสูงกว่าระบบการคงรูปด้วยกำมะถัน และยางคงรูปที่ได้มักมีกลิ่นของ acetophenone ซึ่งเป็นผลพลอยได้ (by-product) จากการทำปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน แต่ว่ายางจะมีความทนทานต่อความร้อนสูง

- สารเร่งให้ยางคงรูป (accelerator) เช่น TMTD (tetramethyl thiuram disulphide) MBT (2-mercaptobenzothiazole) และ CBS (n-cyclohexylbenzothiazole-2-sulphenamide) เป็นต้น

- สารกระตุ้นสารเร่ง (activator) ได้แก่ สารอนินทรีย์พวกซิงค์ออกไซด์ (ZnO) สารอินทรีย์พวกกรดสเตียริก (stearic acid) และสารที่เป็นต่าง

สารป้องกันยางเสื่อม (antidegradants)

เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของยางทั่วไป โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีพันธะคู่อยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นยางจึงมีสภาพที่อ่อนแอต่อการถูกปัจจัยต่างๆ เช่น โอโซน แสงแดด ออกซิเจนทำลายให้เสื่อมสภาพการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างของสารในกลุ่มป้องกันยางเสื่อมสภาพ ได้แก่ IPPD (N-Isopropyl-N'-phenyl-p-phenylene diamine) TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-dihydroquinoline, polymerized) และ BHT (2,6-Di-tert-Butyl-p-cresol) เป็นต้น

สารตัวเติม (filler)

สารตัวเติมเป็นสารที่ใช้ผสมกับยางเพื่อช่วยเสริมแรง (reinforcement) ให้ผลิตภัณฑ์ยางหรือเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต สารตัวเติมที่ช่วยเสริมแรงจะเรียกว่า สารเสริมแรง (reinforcing filler) ซึ่งจะเป็นสารที่มีขนาดอนุภาคที่เล็กมาก (มีพื้นที่ผิวสูง) ได้แก่ ผงเขม่าดำ (carbon black) เกรดต่างๆ และผงเขม่าขาวหรือ ซิลิกา เป็นต้น ส่วนสารตัวเติมที่ไม่ช่วยเสริมแรง (inert filler or non-reinforcing filler) แต่นิยมใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิต ได้แก่ ดินขาว (clay) แป้ง แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

สารช่วยในกระบวนการผลิต (processing aids)

สารกลุ่มนี้ทำหน้าที่เฉพาะตัวต่างๆกัน เช่น สารที่ช่วยให้ยางนิ่มในระหว่างการบดผสม ได้แก่ พวคน้ำมัน (oils) และสารเคมีย่อยยาง (peptizer) เช่น pepton22 สารบางตัวช่วยควบคุมไม่ให้ยางมีความหย่นตัว (nerve) สูงมากเกินไปเพราะจะทำให้สารเคมีที่เป็นผงเข้าเนื้อยางได้ยากในระหว่างการบดผสม เพราะยางจะพันลูกกลิ้งยาก สารพวกนี้ ได้แก่ factice เป็นต้น สารกลุ่มอื่นๆ (miscellaneous ingredients) สารกลุ่มนี้โดยทั่วไปแล้วไม่จำเป็นต้องใช้ในการออกสูตร แต่ในบางกรณีที่ต้องการให้ยางมีสมบัติพิเศษบางประการจำเป็นต้องมีการเติมสารเคมีบางตัวเข้าช่วย

- สารหน่วง (retarder) จะใช้เมื่อต้องการชะลอไม่ให้ยางที่กำลังบดผสมคงรูปเสียก่อน (scorch) หรือที่เรียกว่า ยางตาย ตัวอย่างของสารหน่วงได้แก่ benzoic acid หรือ salicylic acid เป็นต้น

- สารทำให้เกิดฟอง (blowing agent) ใช้สำหรับการทำให้ยางฟูในการทำยางพองน้ำ ตัวอย่างของสารกลุ่มนี้ได้แก่ สาร sodium bicarbonate หรือ dinitrosopentamethylene tetramine เป็นต้น

- สารทำให้เกิดสี (pigments) อาจเป็นสีอนินทรีย์ เช่น cadmium sulphide (ให้สีแดงเข้ม-ส้มและเหลือง) chromium oxide (ให้สีเขียวขุ่น) และ titanium dioxide (ให้ยางมีสีขาว มีความสว่าง หรือช่วยให้ยางสีต่างๆ มีสีที่สดขึ้น) ส่วนสีที่เป็นสีอินทรีย์ จะให้สีสดทนต่อความร้อนได้ดีกว่าสี อนินทรีย์

การออกสูตรยางจะกำหนดปริมาณสารต่างๆ ในสัดส่วนต่อยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) และเรียกเป็น phr หรือ pphr (part per hundred of rubber)

ตารางที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบและสารเคมีต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน (พรพรรณ, 2528)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ยาง (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (rubber)	100
กำมะถัน (sulphur)	2.5-3.5
สารกระตุ้น (activator)	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (accelerator)	0.5-2.0
สารตัวเติม (filler)	(ตามที่ต้องการ)
สารทำให้ยางนิ่ม (plasticizer, peptizer)	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antidegradant)	1-2

การบดยางให้นิ่ม (mastication)

เมื่อได้สูตรที่เหมาะสมแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การบดผสมสารเคมีต่างๆ ให้เข้ากับเนื้อยาง สมบัติของยางที่สำคัญสำหรับการบดผสมคือความหนืด (viscosity) ถ้ายางมีความหนืดสูงจะทำให้การบดผสมเป็นไปได้ยากเนื่องจากสารเคมีจะเข้าผสมกับยางได้ยากและจะใช้พลังงานในการบดผสมสูง ด้วยเหตุนี้ก่อนการใส่สารเคมีลงไปจึงต้องมีการลดความหนืดโดยการบดยางให้นิ่ม (mastication) ในบางกรณีอาจมีการเติมสารช่วยย่อยโมเลกุลหรือ peptiser เพื่อให้ยางนิ่มเร็วขึ้น โดยทั่วไปการบดยางจะกระทำในเครื่องบดซึ่งอาจใช้เครื่องบดระบบปิด (internal mixer) หรือเครื่องบดระบบเปิด (two-roll mill) ขั้นตอนนี้อย่างถูกทำให้ให้นิ่มโดยโมเลกุลของยางถูกทำให้ฉีกขาด เพราะแรงเฉือนจากเครื่องบดและจะใช้ระยะเวลาในการบดนานเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความหนืดเริ่มต้นของยาง ถ้ายางมีความหนืดสูงมาก (โดยเฉพาะยางธรรมชาติ) ก็ต้องบดนาน อุณหภูมิของการบดควรต่ำกว่า 100 °C เพื่อป้องกันยางเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน

การผสมยางกับสารเคมี (mixing)

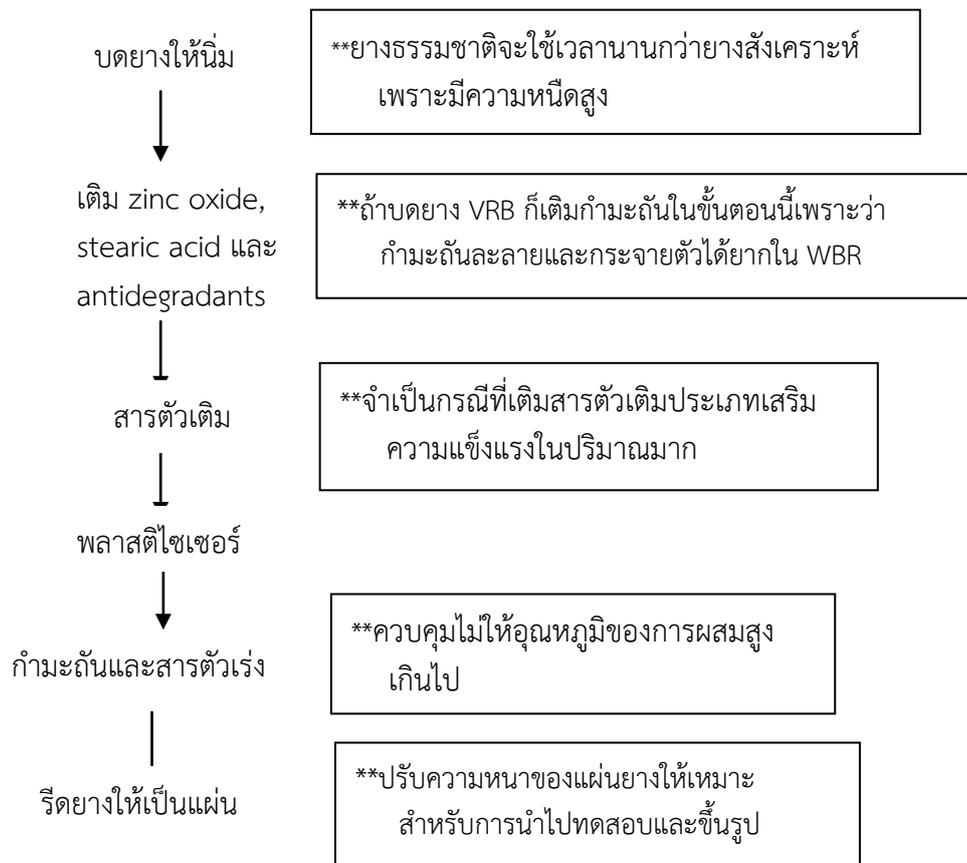
เครื่องมือที่ใช้ในการบดผสมโดยทั่วไปมี 2 ระบบ คือ เครื่องบดระบบปิด (internal mixer) เช่น เครื่องนวด (kneader) เครื่อง banbury เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.5 และเครื่องบดระบบเปิด เช่น เครื่องบดผสมแบบ 2 ลูกกลิ้ง (two-roll mill) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 เครื่องบดผสมระบบปิด(Internal mixer) รูปที่ 2.6 เครื่องบดระบบเปิด(Two-roll mill)

ขั้นตอนการบดผสม (mixing step)

ในการบดผสมยางอย่างมีประสิทธิภาพและบดยางให้มีความสม่ำเสมอในคุณภาพนั้น ลำดับ ขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ ต้องเป็นไปตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง หลักการโดยทั่วไปคือหลังจากการบดยางให้นิ่มก็จะเติมสารที่บดให้กระจายในเนื้อยางได้ยากก่อน เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (stearic acid) ผงเขม่าดำ เพราะช่วงนี้อุณหภูมิในการบดยังต่ำและยางมีความหนืดสูง แรงกระทำเชิงกลจึงมีมาก จากนั้นจึงเติมสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง สารอื่นๆ และน้ำมัน สารที่แนะนำให้เติมลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่ง กำมะถัน และสารป้องกันยางตาย (scorch) ยางที่ได้หลังจากที่ผสมสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้วจะเรียกว่า ยางคอมปาวด์ (rubber compound) รูปที่ 2.7

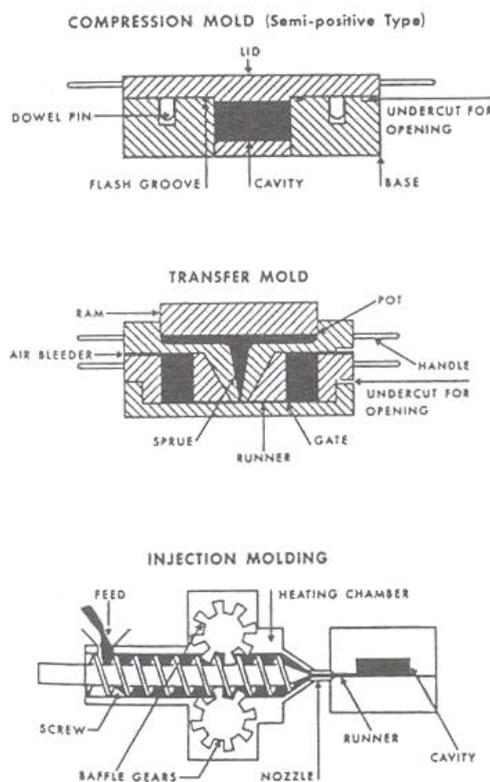


รูปที่ 2.7 ลำดับการผสมยางโดยทั่วไป

การขึ้นรูปยาง (forming)

เทคนิคหลักๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูปยางคอมปาวด์ให้เป็นผลิตภัณฑ์มี 3 วิธี คือ (Barlow, 1988)

- การใช้แม่พิมพ์ (moulding) การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยาง เป็นการขึ้นรูปยางพร้อมๆ กับการเกิด ปฏิกิริยาครูป (vulcanization) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด แม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปมีหลายแบบ ได้แก่ แบบอัด (compression mould) แบบกึ่งฉีด (transfer mould) และแบบฉีด (injection mould) รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์แบบต่างๆ

แม่พิมพ์แบบอัด เป็นแม่พิมพ์แบบง่าย ราคาถูก ใช้กันอย่างกว้างขวางในการทำผลิตภัณฑ์ทั่วไป ลักษณะของแม่พิมพ์แบบอัดประกอบด้วยฝา 2 ชั้นที่ยึดกันด้วยสลักฝาด้านหนึ่งจะเป็นช่องรูปร่างของผลิตภัณฑ์ซึ่งเวลาอัดยางจะใส่ยางลงในฝานี้ เมื่อนำอีกฝานึงปิดลงและวางพิมพ์ในเครื่องอัดพร้อมทั้งให้ความร้อน ยางจะไหลเต็มช่องของแม่พิมพ์ ส่วนแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดยังมีส่วนประกอบของแม่พิมพ์มากกว่า 2 ส่วน ยางจะถูกอัดจากส่วนของแม่พิมพ์ที่เรียกว่า Pot เข้าไปยังช่องของแม่พิมพ์ที่เป็นรูปร่างของผลิตภัณฑ์ โดยแม่พิมพ์แบบกึ่งฉีดยังสามารถใช้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อนได้ แม่พิมพ์แบบฉีดเป็นแบบที่ได้รับการพัฒนามาจาก 2 แบบแรก ซึ่งจะประกอบด้วยเครื่องที่เป็นส่วนทำให้ยางนิ่มแล้วฉีดยางเข้าพิมพ์ เครื่องฉีดและแม่พิมพ์แบบนี้ราคาสูงมาก แต่จะให้อัตราเร็วในการผลิตสูง เหมาะกับการผลิตชิ้นส่วนที่ซับซ้อนและมีปริมาณการผลิตสูง

- การอัดผ่านตาย (extrusion) การอัดยางผ่านตาย (die) ที่มีรูปร่างต่างๆ ตามลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยเครื่องอัดหรือต้นยาง ซึ่งเครื่องอัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่อาศัยแรงอัดจากแรม (ram) และชนิดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของสกรู (screw) ชนิดหลังเป็นชนิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวางและเรียกกันว่า extruder ผลิตภัณฑ์ยางที่ขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคนี้ได้แก่ ท่อยาง ยางหุ้มสายเคเบิล และยางรัดของ เป็นต้น โดยปกติยางที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะต้องผ่านการอบให้ยางคงรูปในหม้ออบไอน้ำหลังจากต้น ยางออกจากตายแล้ว

- การใช้เครื่อง calender ซึ่งเครื่อง calender คือเครื่องที่ประกอบด้วยชุดของลูกกลิ้งจำนวน 2 หรือ 3 หรือ 4 ลูก ที่ทำจากเหล็กหล่ออย่างดี ผิวหน้าขัดเรียบ ปกติจะใช้เครื่อง calendar ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่เป็นแผ่นเรียบ มีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอหรือเพื่อการ ฉาบยางบางๆ ลงบนผ้าหรือ

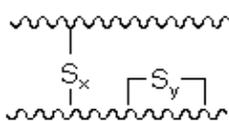
แผ่นใยลวด (coating) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ สายพานลำเลียง ยางแผ่นเรียบใช้ในงานปูพื้นต่างๆ เช่น ยางแผ่นปูอ่างน้ำ ยางบุถัง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้ จำเป็นต้องผ่านกระบวนการอบให้คงรูปก่อนนำไปใช้งาน

การทำให้ยางคงรูป (vulcanization or curing)

การทำให้ยางคงรูปหรือทำให้ยางสุกคือการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างสายโมเลกุลหรือที่เรียกกันว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน เกิดเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ส่งผลให้ยางเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากค่อนข้างอ่อน (มีความเป็นพลาสติกสูง) ไปเป็นยางที่มีความยืดหยุ่นดีและแข็งแรง มีสมบัติเชิงกลที่เสถียรและไม่ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมากนักและทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนและแสงแดดได้ดียิ่งขึ้น จึงสามารถนำยางไปใช้ได้อย่างกว้างขวาง (Barlow, 1988)

• ระบบทำให้ยางคงรูปด้วยกำมะถัน (sulphur vulcanization system) เป็นระบบที่ใช้อย่างกว้างขวางกับยางที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลไม่อิ่มตัว (unsaturation) ระบบนี้จำเป็นต้องมีสารตัว กระตุ้น (activator) เช่น ซิงค์ออกไซด์ และกรดสเตียริก สำหรับสารตัวเร่งปฏิกิริยา (accelerator) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปสัดส่วนของการใช้กำมะถัน/สารตัวเร่งมีความสำคัญ เพราะเป็นตัวกำหนดชนิดของพันธะเคมีที่เกิดขึ้น เช่นถ้าใช้ปริมาณกำมะถันมากและใช้สารตัวเร่งน้อย เรียกว่าระบบธรรมดาหรือ conventional vulcanization (CV system) ซึ่งจะมีพันธะเคมีแบบ polysulphide crosslinks และแบบ cyclic แต่ถ้าใช้ปริมาณกำมะถันน้อยและใช้สารตัวเร่งมากจะได้พันธะเคมีส่วนใหญ่เป็นแบบ monosulphide crosslinks เรียกกระบวนนี้ว่าระบบประสิทธิภาพหรือ efficient vulcanization (EV system) นอกจากนี้ 2 ระบบดังกล่าวยังมีอีกกระบวนหนึ่งเรียกว่า ระบบกึ่งประสิทธิภาพ (semi-EV system) ซึ่งจะอยู่กึ่งกลางระหว่าง 2 ระบบข้างต้น

พันธะเคมีแบบ polysulphide จะให้ยางที่มีสมบัติเชิงกลดีแต่ไม่ทนต่อความร้อน ในขณะที่ยางที่มีพันธะแบบ mono- หรือ disulphide จะให้สมบัติเชิงกลที่ด้อยกว่า แต่ยางจะเสถียรต่อความร้อนได้ดี



รูปที่ 2.9 พันธะเคมีหรือการเชื่อมโยงของสายโมเลกุลยางด้วยกำมะถัน

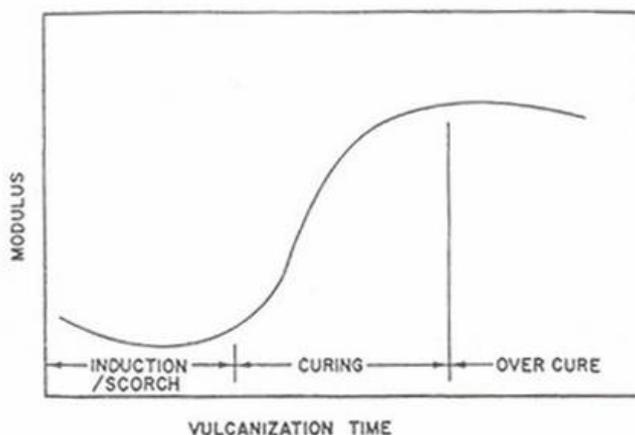
การใช้สารประกอบพวกนี้เป็นสารคงรูปมีข้อดีคือ ลดปัญหาการเกิดการบลูม (bloom) และเนื่องจากปฏิกิริยาจะไม่เกิดจนกว่ากำมะถันจะสลายตัวออกมา ดังนั้นจึงลดปัญหาการเกิดยาง scorch สารพวกนี้ยังก่อให้เกิดพันธะเคมีแบบ monosulphide เป็นส่วนใหญ่ทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้ดีมาก

- ระบบทำให้ยางคงรูปด้วยสาเหตุที่ไม่มีกำมะถัน (sulphur donor vulcanization system)
 1. โลหะออกไซด์ เช่น ZnO ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปของยางนีโอพรีน โดยนิยมใช้ร่วมกับ MgO เพื่อเป็นตัวจับอะตอมคลอรีนที่เกิดขึ้น
 2. สารประกอบที่มีหมู่ฟังก์ชัน 2 หมู่ (difunctional group compound) เช่น ใช้ epoxy resin ในยางไนไตรล์ใช้ quinone dioximes ในยางบิวไทล์และใช้ diamines ในยาง fluoroelastomer

3. เปอร์ออกไซด์ เป็นสารคงรูปที่สำคัญสำหรับยางที่มีโมเลกุลอิ่มตัว (saturated) หรือโมเลกุลที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อปฏิกิริยาในการสร้างพันธะเคมีเชื่อมโมเลกุล เช่น ยาง EPM เป็นต้น ในทำนองเดียวกันเปอร์ออกไซด์ก็สามารถใช้เป็นสารคงรูปสำหรับยางที่ไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ ยาง SBR และยาง NBR ได้ และจะทำให้ยางเหล่านี้ทนต่อความร้อนได้ดี สารกลุ่มนี้ไม่ได้เข้าไปเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยาง แต่จะทำให้โมเลกุลของยางเกิดเป็นเรดิคัล (radicals) แล้วฟอร์มพันธะเคมีแบบคาร์บอน-คาร์บอนระหว่างสายโมเลกุลของยาง

2.5 การทดสอบปฏิกิริยาของรูป (vulcanization test)

ปัจจุบันได้มีการใช้เครื่องมือเพื่อติดตามลักษณะการคงรูปของยาง เครื่องมือดังกล่าว ได้แก่ oscillating disc rheometer (ODR) หลักการของเครื่อง คือยางตัวอย่างจะถูกวางบน rotor และถูกอัดระหว่างแผ่นอัดที่ร้อนและมีแรงอัด จากนั้น rotor ก็แกว่ง (oscillate) เล็กน้อยจากการขับเคลื่อนของมอเตอร์ เครื่องก็จะวัดแรงต้าน (torque) ของ rotor ที่ใช้ในการแกว่งยาง และจะพลอตกราฟระหว่างแรงต้านกับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของยางในระหว่างปฏิกิริยาของรูป

จากกราฟจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของยางในระหว่างปฏิกิริยาของรูปแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ

1. ขั้นการเริ่มต้น (induction period) ในขั้นนี้ความหนืดของยางจะลดลงเนื่องจากความร้อน แต่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาการคงรูป
2. ขั้นการเกิดพันธะเคมี (curing of vulcanization) เชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลซึ่งอัตราความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิ ชนิดของยาง และระบบของสารที่ใช้ทำให้ยางคงรูป
3. ขั้นการผ่านจุดที่ยางคงรูปเต็มที่ (overcure) ในขั้นนี้ ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงจะเริ่มหมดไปจนถึงจุดเต็มที่ซึ่งยางจะแข็งหรือมีค่าโมดูลัสสูงสุด และถ้าหากให้ความร้อนกับยางต่อไปยางอาจจะแข็งเพิ่มมากขึ้น (marching) หรืออาจจะอ่อนลง (reversion) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของยาง

เทคนิคการทำให้ยางคงรูป

การเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ตัวอย่างเช่น

- การทำให้ยางคงรูปด้วยเครื่องอัด ใช้ทำผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัดหรือแบบกึ่งฉีด การทำให้ยางคงรูปแบบเปิด (open cure) ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ไม่ต้องการความแน่นอนของรูปร่างตามรูปร่างของแม่พิมพ์ การใช้คำว่า เปิด ชี้ให้เห็นว่า ความร้อนที่ทำให้ยางคงรูปนั้น หมุนเวียนอย่างอิสระ

ภายในตู้อบ (hot air curing) หรือหม้อนึ่ง (open steam curing) วิธีการที่จะยึดให้ยางที่ยังไม่คงรูปมีรูปร่างตามต้องการนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะและชนิดของผลิตภัณฑ์ เช่น ใช้แก๊สอะลูมิเนียมสโตนีตรูปร่างของท่อยางที่จะนำไปตัดเป็นยางวงรัดของ เป็นต้น การทำให้ยางคงรูปโดยระบบต่อเนื่อง (continuous vulcanization) ซึ่งอาศัยความร้อนจากแหล่งต่างๆ เช่น จากไอน้ำที่มีความดันสูง (high pressure steam) ความร้อนจากอ่างเกลือหลอม (molten salt bath) ความร้อนจากลูกแก้วกลมขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศร้อน (fluidized bed) รวมถึงการใช้ความร้อนจากไมโครเวฟ เป็นต้น วิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความยาวต่อเนื่องกันมากๆ เช่น ท่อยาง สายเคเบิล เป็นต้น

2.6 การทดสอบสมบัติของยางคงรูปคอมปาวด์ยางธรรมชาติ (Annicelli and Baddorf, 2009)

สมบัติพื้นฐานของยางคงรูปที่ต้องทดสอบ ได้แก่ สมบัติการดึงยาง (tensile properties) เช่น ค่าความทนทานต่อแรงดึง (tensile strength) ค่าโมดูลัส (modulus) และค่าความยืดสูงสุด (elongation at break) สมบัติการทนทานต่อการฉีกขาด (tear strength) ความแข็ง (hardness) การหักงอ (flex cracking) การล้าตัว (fatigue) การต้านทานโอโซน (ozone resistance) การกระเด็น (rebound resilience) ความทนทานต่อการขัดสี (abrasion resistance) การยุบตัว (compression set) การเกิดความร้อนสะสม (heat build-up) เป็นต้น

การหาค่าความต้านทานแรงดึงและความยืดของยาง

ค่า tensile ของยางขึ้นอยู่กับลักษณะของยางและสภาวะการทดสอบ ได้แก่ อัตราความเร็วในการยืด อุณหภูมิ ความชื้น ลักษณะตัวอย่างและรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ และสภาวะแวดล้อมการทดสอบ

ความยืด Elongation คือ การเพิ่มความยาวของยางอันเนื่องมาจากมาจากแรงดึง ความยืดขาด Ultimate elongation คือ ความยืดของยางในขณะที่ยางขาด

Tensile set คือ การเพิ่มความยาวของยางภายหลังการยืด และตั้งไว้ในระยะเวลาที่กำหนด ค่าที่ได้แสดงเป็นร้อยละของความยาวเดิม

ความเครียด (Strain) เป็นความเครียดที่ปรากฏภายใต้แรงที่มากกระทำต่อเนื้อของวัสดุจนวัสดุเกิดรับแรงนั้นไว้ไม่ไหว ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างไปในทิศทางของแรงที่มากกระทำ เช่น เกิดการยืดตัวออก (Elongation) หรือหดตัวเข้า (Contraction) โดยแบ่งชนิดของความเครียดได้เป็นดังนี้ คือ

1. Tensile strain หมายถึง ความเครียดแรงดึงที่เกิดจาก Tensile force ที่มากกระทำต่อชิ้นงาน
2. Compressive strain หมายถึงความเครียดแรงกด หรือ ความเครียดแรงอัด
3. Shear strain หมายถึงความเครียดแรงเฉือน เป็นความเครียดที่เกิดจาก Shear force

ความเครียด (strain) = ความยาวที่เปลี่ยนไป(l) / ความยาวเดิม (l₀)

ความเค้น (Stress) หมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้ ความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้นสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

ความเค้น = แรง / พื้นที่ตั้งฉากกับแนวแรง N/mm^2

ความเค้นจึงสนใจเฉพาะแรงกับพื้นที่หน้าตัด ส่วนความเครียดสนใจเฉพาะรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปเท่านั้น

มอดูลัสของยัง (Young's modulus) หรือ มอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of elasticity หรือ elastic modulus) เป็นค่าบอกระดับความแข็งแรงแรงของวัสดุ ค่ามอดูลัสของยังหาจาก ค่าลิมิตของอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเค้น (stress) ต่อความเครียด (strain) ที่ค่าความเค้นน้อยสามารถหาจากความชันของกราฟความสัมพันธ์ ความเค้น-ความเครียดที่ได้จากการทดลองดึง ค่ามอดูลัสของยัง ตั้งชื่อตาม ชาวอังกฤษ โทมัส ยัง ซึ่งเป็นทั้งนักฟิสิกส์ แพทย์ แพทย์นรี เวช และผู้ที่ศึกษาวิชาเกี่ยวกับวัฒนธรรมและวัตถุโบราณของอียิปต์ หน่วย SI ของมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่น คือ ปาสกาล (pascal)

การคำนวณ

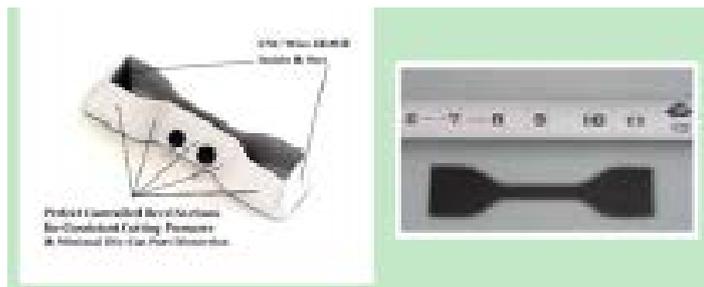
$$Y = \text{ความเค้น/ความเครียด} = \frac{\sigma}{\epsilon} = (F \div A) / (\Delta L \div L) = (F \cdot L) / (A \cdot \Delta L)$$

โดย ค่า

- Y = มอดูลัสของยัง มีหน่วยเป็น ปาสกาล (Pa) หรือ นิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2)
- σ = ความเค้นตามยาว
- ϵ = ความเครียดตามยาว
- F = แรง ในหน่วย นิวตัน
- A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง ในหน่วย ตารางเมตร
- ΔL = ส่วนที่ยืดออกของวัสดุ ในหน่วย เมตร
- L = ความยาวปกติของวัสดุ ในหน่วย เมตร

2.7 การทดสอบสมบัติเชิงกล (Tensile properties)

การทดสอบสมบัติเชิงกลของยางจะต้องใช้เครื่องมือที่สามารถดึงยาง โดยให้ที่จับยางนั้นเคลื่อนที่ออกจากกันด้วยความเร็วสม่ำเสมอเท่ากับ $500 \pm 50 \text{ mm/min}$ ระยะห่างสูงสุดของที่จับยางจะต้องไม่น้อยกว่า 700 mm เครื่องดึงจะต้องสามารถวัดแรงได้ถูกต้องโดยผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2 \%$ แล้วจะต้องแสดงค่าแรงดึงสูงสุดในการดึงจนขาดได้ Dies แบบที่ใช้ตัดยางเพื่อใช้ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.11 ด้านในของ die ในส่วนที่ลดขนาดเพื่อตัดจะขัดและจัดให้ตั้งฉากกับระนาบที่เกิดการคมมีดที่ตัด die จะต้องคม ไม่มีรอยบิ่นเพื่อต้องป้องกันไม่ให้ขอบยางที่ตัดเป็นริ้ว Die ตามมาตรฐาน ISO 37-1977 มีลักษณะเป็นรูป Dumb-bell Grips ที่จับยางควรจะเป็นแบบขนานโดยอัตโนมัติและแรงกดจะต้องสม่ำเสมอตลอดชิ้นงานเมื่อดึงยางแรงขึ้นแรงกดบนยางต้องมากขึ้นตามเพื่อกันยางหลุดและจะต้องให้ยางขาดในส่วนของยางที่คอดขนาดด้วย



รูปที่ 2.11 Dies สำหรับใช้ตัดคอมปาวด์ยางธรรมชาติ

การเลือกตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

1. เนื่องจาก grain ของยางมีผลต่อค่า Tensile stain ของยาง ดังนั้นควรตัดตัวอย่างตามแนวยางให้ขนานกับทิศทางของยางที่รีดออกจากลูกกลิ้งรีดยาง
2. การเลือกขนาดของตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของยาง ตัวอย่างยางยาวจะใช้ในกรณียางยืดได้น้อย เพื่อที่จะทำการวัดได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง Dumb-bell ขึ้นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องแบนหนาไม่ต่ำกว่า 1.5 มม. และไม่เกิน 3 มม. ถ้าตัวอย่างยางได้จากชิ้นงานผลิตภัณฑ์ผิวยางควรเรียบไม่มีรอยขรุขระเป็นต้น การตัดให้ตัดตามยาวของ grain การตัดนั้นจะต้องตัดให้ขาดในการกด 1 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่ารอยตัดได้ผิวเรียบจริง ถ้าไม่กำหนดชนิดของ die ก็ให้ใช้ die type 1 การขีดเส้นบนตัวอย่างยาง นำตัวอย่างยางที่ได้ตัดเป็นรูป Dumb-bell มาวางให้เรียบกับพื้นแล้วขีดเส้น 2 เส้นให้เส้นนั้นตั้งฉากกับความยาวของ Dumb-bell และเส้นดังกล่าวควรอยู่บริเวณตรงกลางของตัวอย่างยางด้วย สำหรับกรณีของ die 1 ให้ระยะห่างไม่ต่ำกว่า 20 มม. และ 10 มม. การวัดความหนาของตัวอย่าง ให้วัดความหนาของยาง 3 แห่ง คือ ตรงกลางของตัวอย่างใดมีผลต่างของความหนาต่ำสุดและสูงสุดกว่า 0.08 มม.

การทดสอบการต้านทานแรงฉีกขาด

ความต้านทานต่อความฉีกขาดของยางเป็นความต้านทานของยางวัลคาไนซ์ต่อการดึงให้ยางฉีกขาดตรงจุดอ่อนแอที่สุด (Tear test) ความสำคัญของการทดสอบความต้านทานต่อความฉีกขาด ซึ่งในการนำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้งานนั้น ความล้มเหลว (failure) ของการใช้งานของยางในบางครั้งอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการฉีกหรือขาดเกิดขึ้นมากกว่าที่เสียหายเนื่องจากการสึกหรอ ดังนั้นการทดสอบความต้านทานต่อความฉีกขาดนั้นนับเป็นเรื่องสำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์ยางเนื่องจากความต้านทานการฉีกขาดอาจเกิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ขนาดและรูปร่างขึ้นทดสอบ อัตราความเร็วในการดึง อุณหภูมิ จุดอ่อน เช่นรอยฉีกขาดเดิมในยางเอง ปริมาณและชนิดของสารตัวเติม

ความแข็ง (Hardness)

ค่าความแข็งของวัสดุเป็นสมบัติทางกลของสารที่มีความสำคัญต่อการควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบกระบวนการผลิต ไปจนถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รอยกดบนชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบสมบัติความแข็งนั้นจะเป็นตัวบ่งบอกความแข็งความยืดหยุ่น ลักษณะโครงสร้างหรือองค์ประกอบของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี ความแข็งของโลหะสามารถวัดได้โดยการใช้โลหะกลมที่แข็งกดกระแทกไปบนผิวของโลหะจนเกิดการยุบตัวที่ผิวของโลหะนั้น โดยการควบคุมแรงที่กดและขนาดของลูกโลหะ ขนาดของการยุบตัวจะเป็น

ตัวบ่งบอกถึงความแข็งของโลหะนั้น ดังนั้นการวัดขนาดของรอยยุบหลังนำลูกกลมออกจึงเป็นส่วนหนึ่งของวิธีการวัดความแข็งของโลหะ ความแข็งของยางสามารถวัดได้โดยวิธีเดียวกัน คือใช้แรงกดเข็มหรือลูกกลมไปลงบนผิวยางและยางค่อยุบตัวยุบตัวนั้น แต่ยางมีความยืดหยุ่น ดังนั้นการวัดจะต้องกระทำขณะที่ยังคงกดแรงนั้นไว้ ระยะการยุบตัวของยางนอกจากขึ้นอยู่กับสมบัติความแข็งแล้วยังขึ้นอยู่กับ

ก) ขนาดและลักษณะของแรงที่เกิด แรงสปริงกดจะไม่คงที่ยิ่งสปริงมากเท่าไรแรงที่กระทำต่อยางยิ่งมากเท่านั้นแรงน้ำหนักกดจะคงที่เป็นที่ยอมรับในมาตรฐานวัดความแข็ง การใช้แรงกดมากทำให้ยางยุบตัวมาก กรณียางแข็งมากจะยุบตัวน้อยเมื่อถูกกด ยางที่แข็งจะวัดรอยยุบตัวได้ยากต้องทดสอบด้วยแรงกดสูง ISO กำหนดมาตรฐานการวัดความแข็งเป็น 3 มาตรฐาน คือ ISO 48-1979 สำหรับยางแข็งปกติ (30-95 IRHD) ISO 1400-1975 สำหรับยางนิ่ม (10-35 IRHD) และ ISO 1818-1975 สำหรับยางแข็งพิเศษ (85-100 IRHD)

ข) รูปร่างและขนาดของตัวกด รูปร่างมี 2 แบบคือ แบบกรวยกับกับโลหะกลมขนาดของตัวกดขึ้นอยู่กับความแข็งของยางกรณีที่ยางแข็งมากจะใช้ตัวกดขนาดเล็ก ยางนิ่มใช้ตัวกดขนาดใหญ่

ค) ความหนาของยาง ถ้ายางบางเกินไปแรงที่กดจะมีผลไปถึงพื้นที่รองรับทำให้ยางแข็งกว่าความเป็นจริงตามฐานจะกำหนดไว้ที่ 8-10 mm. เครื่องทดสอบแบบ micro-test จะใช้ความหนา 1.6-2.0 mm.

ง) ระยะเวลาที่กด ยางเป็นวัสดุประเภทวิสโคอีลาสติก มีการไหลของโมเลกุลดังนั้นเมื่อทำการกดยางลงไปในระยะแรกยางจะยุบตัวลงไปเนื่องจากแรงนั้น แต่เมื่อตั้งแรงกดต่อไปโมเลกุลของยางจะไหลต่อไปอีกทำให้การยุบตัวจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดความแข็งตามมาตรฐานจะต้องกำหนดระยะเวลาที่อ่านค่าความแข็งหลังจากที่กดน้ำหนักลงไปแล้ว จากมาตรฐานจะ กำหนดให้อ่านค่าความแข็งหลังจากที่ได้กดน้ำหนักลงไป 30 วินาที

ระบบการวัดความแข็งของยาง

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Durometer กับ IRHD (Internation Rubber Hardess Degree) ทั้ง 2 ระบบนี้ได้กำหนดไว้ว่าให้มีค่าความแข็งต่ำตั้งแต่ 0-100 ตัวเลขต่ำแสดงว่ายางนิ่ม

การวัดความแข็งแบบ Durometer พัฒนาขึ้นโดย Shore Company การวัดบอกมาในรูปของ Shore สเกลเครื่องวัดความแข็งแบบ Shore Durometer แบ่งได้เป็น Shore A สำหรับยางวัลคาไนซ์ทั่วไป Shore B สำหรับยางแข็ง Shoer C สำหรับยางและพลาสติกแข็งปานกลาง Shoer D สำหรับยางและพลาสติกที่แข็ง Shoer O สำหรับยางนิ่มพิเศษ Shore OO สำหรับยางพองน้ำ และ Shore OOO สำหรับยางพองน้ำที่นิ่มมากๆ ระบบการวัดความแข็งแบบ Shore Durometer ใช้การกดแบบสปริงเป็นตัวกดเข็มลงไปบนยางจนแป้นแผ่นกดสัมผัสกับผิวยาง แต่การใช้มือกดบางครั้งแป้นสัมผัสหน้ายางแล้วแต่ยังกดลงไปอีกทำให้ได้ความแข็งมากกว่าความเป็นจริง จึงควรใช้ระบบน้ำหนักคงที่เป็นตัวกด สปริงที่ใช้กดมีค่าแรงคิดเป็นน้ำหนักแตกต่างกันแล้วแต่ความแข็ง เช่น น้ำหนัก 822 กรัมสำหรับ Shore A, B และ O คิดเป็นแรงสปริง (N) = $0.55+0.075X$ ค่าที่อ่านได้ น้ำหนัก 4500 กรัมสำหรับ Shore C และD คิดเป็นแรงสปริง (N) = $0.4445X$ ค่าที่อ่านได้น้ำหนัก 133 กรัม สำหรับ Shore OO คิดเป็นแรงสปริง (N) = $0.203 + 0.00908X$ ค่าที่อ่านได้จะเห็นได้ว่า Shore A , B และ O นั้น ถ้าค่าที่อ่านได้เป็น 0 แสดงว่ามีแรงกดเท่ากับ 0.55 N ลักษณะปลายเข็มเป็นแบบกรวยปลายตัดถ้ายางแข็งจะใช้แบบปลายเข็มที่แหลม ถ้ายางนิ่มมากจะใช้ที่กดเป็นแป้นแทนเข็มประกวยหัวตัด ใช้กับเครื่อง Shore A และ C เข็มกรวยหัวแหลม 30 องศา ใช้กับ Shore B เข็มทรงกลมใช้กับ Shore O และ OO

การวัดความแข็งแบบ IRHD

การวัดความแข็งแบบ IRHD (Internation Rubber Hardness Degree) ได้มีการพัฒนาภายหลังการวัดความแข็งแบบ Shore Durometer ดังนั้นเพื่อกันการสับสน ความแข็งแบบ IRHR จึงยึดแนวของ Shore A ไว้ซึ่งทำให้ค่าที่วัดได้แบบ IRHD จะมีค่าใกล้เคียงกับ Shore A มากที่สุด เครื่องมือที่ใช้วัดความแข็งแบบ IRHD เป็นเครื่องมือที่มีลักษณะที่สำคัญ 3 ประการดังนี้

1. เข็มที่ใช้กดเป็นโลหะทรงกลมขนาดตามความแข็งของยาง

- ยางนิ่มใช้ลูกโลหะกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.00 mm³
- ยางแข็งปกติใช้ลูกโลหะกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.50 mm.
- ยางแข็งใช้ลูกโลหะกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 mm²

2. แรงที่ใช้กดเป็นน้ำหนักโดยตรงไม่ใช่สปริงกด

3. การกดจัดให้มี 2 จังหวะ

จังหวะแรกเป็นระยะที่ทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างยางและเข็มกด ซึ่งจังหวะนี้เรียกว่า preload จะใช้น้ำหนักน้อยกว่ากับ 0.3 ± 0.02 นิวตัน

จังหวะสองเป็นการกดโดยใช้น้ำหนักจริงเพื่อให้เกิดการยุบตัว ลง ในยาง น้ำหนักที่กด 5.40 ± 0.01 นิวตัน ในจังหวะนี้จะทำการวัดระยะยุบตัวภายหลังจากที่กดไว้ 30 นาที

รูปเครื่องวัดความแข็ง แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เครื่องวัดความแข็ง

Hardness Tester

ความแข็ง คือ คุณสมบัติของวัสดุที่สามารถต้านทานหรือทนต่อการเสียรูปแบบพลาสติก โดยปกติเกิดจากการทำให้เป็นรอยจากการกด อย่างไรก็ตามความแข็งอาจรวมถึง ความต้านทานต่อการตัด การขีด การขีด และการตัดการวัดความแข็ง ความแข็งไม่ใช่คุณสมบัติเนื้อแท้ของวัสดุที่กำหนดได้ด้วยค่าจำกัดความที่แน่นอนบนหน่วยพื้นฐานของมวล ความยาว และเวลา ค่าคุณสมบัติความแข็งคือผลของกระบวนการวัดที่กำหนดความแข็งของวัสดุได้ถูกประเมินมาอย่างยาวนาน โดยความต้านทานต่อการขีดและการตัด ตัวอย่างเช่น วัสดุ B ขีดวัสดุ C เป็นรอยต่อไม่สามารถขีดวัสดุ A เป็นรอย ในทางกลับกัน วัสดุ A ขีดวัสดุ B เป็นรอยเล็กน้อยและขีดวัสดุ C เป็นมาก การทดสอบความแข็งโดยการเปรียบเทียบมีข้อจำกัดในการใช้งานและไม่สามารถให้ข้อตัวเลขที่แม่นยำหรือกำหนดสเกลเฉพาะสำหรับวัสดุและโลหะสมัยใหม่วิธีโดยปกติเพื่อหาค่าความแข็งคือ การวัดจากความลึกหรือพื้นที่ของรอยกดที่เหลือทิ้งไว้จากหัวกดที่มีรูปร่าง ภาระ (load) และเวลาที่เจาะจง วิธีมาตรฐานหลัก 3 มาตรฐาน สำหรับการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งและ

ขนาดของรอยกด คือ รีอเคลเวลล์ บริเนลล์และวิกเกอร์ แต่ละวิธีของมาตรฐานได้ถูกแบ่งเป็นสเกล กำหนดโดยภาระที่ใช้และลักษณะของหัวกด ด้วยเหตุผลของการใช้งานและการสอบเทียบ ความแข็งของวัสดุจึงกลายเป็นปัจจัยสำคัญ ในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การคำนวณน้ำหนัก ความดัน หรืออุณหภูมิ เพื่อที่จะดูว่าวัสดุที่มีความสามารถในการยืดหยุ่นได้หรือไม่เป็น สิ่งที่ยุ่งยาก การวัดค่าความแข็งเป็นหนึ่งในวิธีการดังกล่าวที่ดูเหมือนจะเป็นวิธีที่ง่ายและดีที่สุด Hardness Tester จึงเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าความแข็งนั่นเอง

Durometer เครื่องมือวัดและทดสอบความแข็งของยางและพลาสติก (Hardness Durometer type scale) ความแข็งความสามารถในการต้านการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ อันเนื่องจากการกระแทก , การกด และการขีดข่วนของสิ่งที่แข็งกว่า

-**การใช้งาน** ทดสอบความแข็งของยางและพลาสติก Method Direct Verification of Hardness Durometer scale A, B, E, C, D, O, DO

-**หลักการทำงาน** Durometer เป็นเครื่องมือวัดที่มี spring loaded ในการจ่ายแรงเพื่อวัดความลึกเมื่อกดลงเนื้อของ material. แล้วเปลี่ยนค่าความลึกเป็นหน่วยในการวัด Scale Type

เครื่องวัดความแข็งของยาง (Durometer Type A)

ค่าความแข็งคือผลจากการวัดที่มีรูปแบบภายใต้เงื่อนไขของการใช้แรงและชนิดของหัวกดกระทำลงบนพื้นที่ผิวงของวัสดุ ได้รับการบรรจุเข้าสู่ระบบมาตรฐานและมีความหลากหลายของระบบและหน่วยของการวัด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุเป็นสำคัญ ใช้เป็นตัวชี้บอกถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์และใช้เป็นเครื่องมือหลักในการควบคุมคุณภาพการผลิต จึงเกิดเป็นนิยามที่มาจากพื้นฐานการตรวจสอบที่หลากหลายในปัจจุบัน ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อกำหนดในทางฟิสิกส์ได้ดังนี้

1. เป็นการต้านทานการเคลื่อนที่ของแรงกด หรือน้ำหนักที่กดลงโดยเครื่องมือ
2. เป็นการดูดกลืนพลังงานภายใต้การอัดและการสะท้อนอันเนื่องมาจากความแข็งของวัสดุ
3. เป็นการต้านทานการขีดขูด, ตัด หรือ เจาะ
4. เป็นการต้านทานการทำให้เกิดรอย

2.8 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฐิติมน และคณะ (2552) นำเสียของโรงงานปาล์มมีปริมาณกรดไขมันอิสระสูงกว่า 70% สารไม่ทราบองค์ประกอบประมาณ 17% ส่วนที่เหลือได้แก่ ไตรกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์และโมโนกลีเซอไรด์ ถ้าไม่มีการกำจัดสารไม่ทราบองค์ประกอบก่อนที่จะนำมาผลิตไบโอดีเซลก็จะทำให้คุณภาพของไบโอดีเซลที่ได้ไม่ผ่านตามมาตรฐาน งานวิจัยนี้ศึกษาการแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบออกโดยการทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันที่อุณหภูมิ (70 80 และ 90 องศาเซลเซียส) เวลาในการทำปฏิกิริยา (30 60 และ 90 นาที) และอัตราส่วนน้ำมันต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อน้ำ (1:1:10, 1:1:25, 1:1:50, 1:2:10, 1:2:25, 1:2:50, 1:3:10, 1:3:25 และ 1:3:50) จนได้สบู่แข็ง จากนั้นนำไปสกัดแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบด้วยไดเอทิลอีเทอร์แล้วทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันให้กลับมาเป็นกรดไขมันอิสระ จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการแยกสารไม่ทราบองค์ประกอบมากกว่าสัดส่วนสารเริ่มต้นและเวลาในการทำปฏิกิริยาตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิ 90

องศาเซลเซียส เวลาในการทำปฏิกิริยา 60 นาที และสัดส่วน 1:2:25 เป็นสภาวะดำเนินการที่ดีที่สุดโดยให้ผลได้กรดไขมันสูงที่สุด 96 เปอร์เซ็นต์ และลดสารไม่ทราบองค์ประกอบได้ 89 เปอร์เซ็นต์

ปรีวัฒน์ (2547) ศึกษาผลการใช้ไขมันพืชเป็นพลาสติกไซเซอรในยางคอมปาวด์ต่อสมบัติของยางคอมปาวด์ ไขมันที่ใช้มีไขมันมะพร้าว ไขมันปาล์มและ ไขมันเมล็ดยางพาราเปรียบเทียบกับน้ำมันสปีนดีล โดยทำการแปรปริมาณไขมันเป็น 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 phr ใน ยาง 2 ชนิดคือยางธรรมชาติ STR 5L และยางสังเคราะห์ SBR 1502 ใช้ระบบวัลคาไนซ์ 3 ระบบ คือระบบคอนเวนชันนอล ระบบเคมีเอวี ผลที่ได้คือสมบัติในยางธรรมชาติ STR 5L ไขมัน ทั้งสามชนิดให้ค่าความเหนียวนี้ ความแข็ง ความร้อนสะสม ระยะยืดขาดและความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงกว่าน้ำมันสปีนดีล ส่วนค่าความต้านทานต่อแรงดึงน้ำมันพืชทั้งสามชนิดจะให้ค่าใกล้เคียงกับน้ำมันสปีนดีล การสึกหรอบแบบ DIN abrasion ไขมันให้ค่าที่ดีกว่าน้ำมันสปีนดีล การผิรูปร่างจากการกดน้ำมันมะพร้าวให้ค่าที่ต่ำกว่าน้ำมันสปีนดีล สมบัติการบ่มเร่ง ความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขาด น้ำมันมะพร้าวสามารถรักษาสมบัติที่คงอยู่หลังการบ่มเร่งได้ดีกว่าน้ำมันสปีนดีล ส่วนความต้านทานต่อการฉีกขาดน้ำมันสปีนดีลจะให้สมบัติหลังการบ่มดีกว่าน้ำมันพืช สมบัติในยางสังเคราะห์ SBR 1502 เปรียบเทียบกับยางธรรมชาติ STR 5L ค่าความเหนียวนี้ ความแข็ง 100% และ 300% โมดูลัส ยางสังเคราะห์ SBR 1502 จะให้ค่าสูงกว่ายางธรรมชาติ STR 5L แต่ความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดขาดและความต้านทานต่อการฉีกขาดจะด้อยกว่ายางธรรมชาติ STR 5L สมบัติการผิรูปร่างจากการกดและความร้อนสะสมน้ำมัน พืชจะให้ค่าที่ด้อยกว่าน้ำมันสปีนดีล แต่ความต้านทานต่อแรงดึง น้ำมันพืชจะให้ค่าที่สูงกว่าน้ำมันสปีนดีล ระยะยืดขาดน้ำมันเมล็ดยางพาราให้ค่าที่สูงกว่าน้ำมันสปีนดีล (ในยางสังเคราะห์ SBR 1502) สมบัติหลังการบ่มเร่งในยางสังเคราะห์ SBR 1502 น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันเมล็ดยางพารา สามารถรักษาความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขาด หลังการ บ่มเร่งได้ ดีกว่าน้ำมันสปีนดีล ผลของระบบวัลคาไนซ์ น้ำมัน มะพร้าวให้สมบัติที่ดีที่สุดในระบบวัลคาไนซ์แบบคอนเวนชันนอลและอีวี ส่วนน้ำมันเมล็ดยางพาราให้สมบัติที่ดีที่สุดในระบบวัลคาไนซ์แบบเคมีเอวี (พิจารณาจาก % ที่คงอยู่หลังการบ่มเร่ง)

ไศภิน (2548) เตรียมอนุพันธ์ของน้ำมันมะพร้าวในรูปเมทิลเอสเทอร์โดยใช้น้ำมันมะพร้าวทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชันกับเมทานอล มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตร้อยละ 90 กรดไขมันเตรียมโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้ผลผลิตร้อยละ 86 หลังจากนั้นนำกรดไขมันไปทำปฏิกิริยาเอสเตอร์ฟิเคชันกับไอโซบิวทานอลและเอทิลีนไกลคอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตเป็นไอโซบิวทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์ร้อยละ 83 และ 84 ตามลำดับ ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของสารที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy หลังจากนั้นทำการเตรียมคอมปาวด์ยางธรรมชาติโดยใช้น้ำมันมะพร้าว เมทิลเอสเทอร์ ไอโซบิวทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์เป็นพลาสติกไซเซอรเปรียบเทียบกับน้ำมันสปีนดีล เตรียมยางคอมปาวด์ธรรมชาติ ตามสูตรในมาตรฐาน ASTM D3184-89 นำยางคอมปาวด์ไปทดสอบสมบัติวัลคาไนซ์และสมบัติเชิงกล พบว่าน้ำมัน มะพร้าว เมทิลเอสเทอร์ ไอโซบิวทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดขาดและความต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูงกว่าน้ำมันสปีนดีล แต่มีค่าความแข็งต่ำกว่า น้ำมันมะพร้าวและ ไกลคอลเอสเทอร์ มีค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 200% สูงกว่าน้ำมันสปีนดีล สมบัติหลังการบ่มเร่ง พบว่าน้ำมันมะพร้าว เมทิลเอสเทอร์ ไอโซบิวทิล เอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์ รักษา สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขาดดีกว่า น้ำมันสปีนดีล น้ำมันมะพร้าว รักษา สมบัติด้านความต้านทานต่อแรงฉีกขาดดีกว่า น้ำมันสปีน ดีล น้ำมันมะพร้าว เมทิลเอสเทอร์ และไกลคอลเอสเทอร์รักษาสมบัติด้านความแข็งดีกว่า น้ำมันสปีน ดีล น้ำมันมะพร้าวและไกล คอลเอสเทอร์มีค่าโมดูลัสที่ระยะยืด 200% ก่อนและหลังบ่มเร่งใกล้เคียงกันมากกว่า

น้ำมันสปีน เดิล ดังนั้นไกลคอลเอสเทอร์และเมทิลเอสเทอร์จึง สามารถใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในยางคอมพาวด์ทดแทนน้ำมันสปีนเดิลได้

สถาพร (2548) เติร์ยมอนุพันธ์ของน้ำมันถั่วเหลืองในรูปแบบเมทิลเอสเทอร์โดยใช้ น้ำมันถั่ว เหลือง ทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตร้อยละ 96 กรดไขมันเตรียมโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ได้ผลผลิตร้อยละ 66 หลังจากนั้นนำกรดไขมันไปทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันกับไอโซบิวทานอลและเอทิลีนไกลคอลโดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้ผลผลิตเป็นไอโซบิวทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์ร้อยละ 81 และ 95 ตามลำดับ ตรวจสอบโครงสร้างโมเลกุลของสารที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค FT-IR spectroscopy หลังจากนั้นทำการเตรียมคอมพาวด์ยางธรรมชาติโดยใช้น้ำมันถั่วเหลือง เมทิลเอสเทอร์ ไอโซบิวทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์เป็นพลาสติกไซเซอร์เปรียบเทียบกับน้ำมันสปีนเดิล เติร์ยมยางคอมพาวด์ตามสูตรในมาตรฐาน ASTM D3184-89 นำยางคอมพาวด์ไปทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์ และสมบัติเชิงกล พบว่าเมทิลเอสเทอร์ ไอโซบิวทิลเอสเทอร์ และไกลคอลเอสเทอร์ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงและระยะยืดขาดสูงกว่าน้ำมันสปีนเดิล แต่มี ค่าความแข็งต่ำกว่าน้ำมันสปีนเดิล น้ำมันถั่วเหลือง เมทิลเอสเทอร์และไกลคอลเอสเทอร์ ให้ค่าความต้านทานต่อแรงฉีกขาดสูงกว่าน้ำมันสปีนเดิล ส่วนค่า 200% มอดูลัสน้ำมันถั่วเหลืองเมทิลเอสเทอร์และไอโซบิวทิลเอสเทอร์ จะให้ค่าใกล้เคียงกับน้ำมันสปีนเดิล สมบัติหลังการบ่มเร่ง พบว่า เมทิลเอสเทอร์และน้ำมันถั่วเหลือง สามารถรักษาสมบัติที่คงอยู่หลังการบ่มเร่งด้าน ความ ต้านทานต่อแรงดึง ระยะยืดขาดและความแข็งได้ดีกว่าน้ำมันสปีนเดิล และน้ำมันสปีนเดิลสามารถรักษาสมบัติที่คงอยู่ด้านความต้านทานต่อการฉีกขาดดีกว่าเมทิลเอสเทอร์และไอโซบิวทิลเอสเทอร์ ส่วนค่า 200% มอดูลัส น้ำมันสปีนเดิล น้ำมันถั่วเหลืองและเมทิลเอสเทอร์ สามารถ รักษาสมบัติที่คงอยู่หลังการบ่มเร่งได้ใกล้เคียงกัน พลาสติกไซเซอร์ทุกชนิดสามารถรักษาสมบัติที่คงอยู่หลังการบ่มเร่งด้านความแข็งใกล้เคียงกัน สามารถใช้เมทิลเอสเทอร์ทดแทนน้ำมันสปีนเดิลได้ดีที่สุด

Ismail and Anuar (2000) การศึกษาถึงผลของกรดไขมันของน้ำมันปาล์มและปริมาณคาร์บอนแบลคที่มีต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการเคียว การคืนรูป และการล้า ของยางคอมพาวด์ ค่า scorch time , cure time , fatigue , life และ elastic torque จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม ค่า viscous torque , loss modulus , reversion และ tan delta จะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม ที่มีปริมาณการเติมกรดไขมันของน้ำมันปาล์มเท่ากัน ยาง คอม พาวด์ที่เติมคาร์บอนแบลค (N330) 50 phr จะให้ค่า elastic torque , viscous torque , และ tan delta สูงที่สุด ตามด้วย 30 phr และ 15 phr ตามลำดับ ยางคอมพาวด์ที่เติมคาร์บอนแบลค (N330) 50 phr จะให้ค่า reversion และ fatigue ต่ำสุด ตามด้วย 30 phr และ 15 phr ตามลำดับ

Vyas *et al.* (2010) ศึกษาการเตรียมเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าวจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันมะพร้าวกับเมทานอลทางการค้า เปรียบเทียบกับเอทานอลที่ได้จากต้นอ้อยในอัตราส่วน 1:3 โมล โดยมีโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาผลผลิตที่ได้มีสองชนิดคือ เมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันมะพร้าวและเอทิลเอสเทอร์ของ น้ำมันมะพร้าว ผลพลอยได้เป็นกลีเซอรอลซึ่งนำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลและการผลิตสบู่ต่อไป จากการทดลองในทางการค้าให้ร้อยละผลผลิตที่สูงกว่าเอทานอลจากต้นอ้อย ในขั้นตอนการเตรียมน้ำมัน ไบโอดีเซลได้รับการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพให้เป็นไปตามมาตรฐาน 2 มาตรฐาน คือ ASTM-D 6751 ใน U.S. และ EN 14214 ใน E.U.

Barbosa *et al.* (2010) ทดลองนำน้ำมันละหุ่งซึ่งมีส่วนของกรดไขมันมาเป็นตัวกระตุ้นของปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติที่มีการเติมซิลิกา โดยการทดลองจะกำหนดให้ปริมาณของซิลิกาคงที่

และมีการแปรปริมาณของ stearic acid , castor oil และ poly (ethylene glycol) ทำการบดผสมด้วยเครื่อง two roll mill อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมงแล้วหา cure time ด้วยเครื่อง TI-1000 oscillating disk rheometer ที่อุณหภูมิ 150 , 160 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อทำการวัลคาไนซ์ที่ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 3.0 MPa ทำการทดสอบสมบัติเชิงกล ผลการทดลองพบว่า ในตัวอย่างที่เติมกรดสเตียริก แต่ไม่เติมน้ำมันละหุ่งและโพลีเอทิลีนไกลคอล ค่า Tensile strength 12 MPa ตัวอย่างที่เติมน้ำมันละหุ่ง แต่ไม่เติมกรดสเตียริกและโพลีเอทิลีนไกลคอล ค่า Tensile strength 12 MPa และตัวอย่างที่เติม น้ำมันละหุ่งร่วมกับกรดสเตียริก ค่า Tensile strength 20 MPa ซึ่งสรุปได้ว่าการวัลคาไนซ์อย่างธรรมชาติที่มีการเติมน้ำมันละหุ่งควรผสมกรดสเตียริกด้วย

Dasgupta *et al.* (2008) ใช้ไขมันที่ได้จากธรรมชาติ 10 ชนิดได้แก่ น้ำมันเมล็ด ยางพารา น้ำมันสะเดา น้ำมันเมล็ดมะขาง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมัน Alsi น้ำมันเมล็ดลูกหยี น้ำมันงา น้ำมันผักกาดขาวตุง น้ำมัน ถั่วลิสง น้ำมันละหุ่ง และไขมันที่ได้จากปิโตรเลียม 6 ชนิด ได้แก่ Aromatic oil Paraffinic oil Naphthenic oil Low PCA oil Poweroil TDAE_A และ Poweroil TDAE_B เพื่อนำไปใช้ในการเตรียมทำเป็นคอมปาวด์อย่างธรรมชาติสำหรับผลิตยางรถบรรทุก ที่ใช้ไขมันในสัดส่วน 8 phr นำคอมปาวด์ที่ได้มาทดสอบสมบัติเชิงกล ได้แก่ ค่ามอดูลัส ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดจนขาด และความแข็ง และสมบัติเชิงกลไดนามิก ได้แก่ค่า ความกระด้าง การกระจายของพลังงาน คอมเพล็กซ์มอดูลัส มอดูลัสสภาพยืดหยุ่นและ Viscous modulus พบว่า ยางคอมปาวด์ที่ใส่ไขมันธรรมชาติบางชนิดจะให้สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงกลไดนามิกที่ดีกว่า ซึ่งน้ำมันจากธรรมชาติเหล่านี้สามารถนำมาใช้ทดแทนน้ำมันชนิด Low PCA ที่มีราคาแพงกว่า ซึ่งจะเหมาะสมกับประเทศที่กำลังพัฒนาและด้อยพัฒนา

Dasgupta *et al.* (2008) การใช้ไขมันที่ได้จากธรรมชาติ 2 ชนิด คือ น้ำมันสะเดาและ น้ำมัน kurunj ในการเตรียมทำเป็นยางคอมปาวด์โดยทำเป็นยางรถบรรทุก จะเห็นได้ ว่ายางคอมปาวด์ที่ใส่ไขมันที่ได้จากธรรมชาติมีค่าสมบัติการทนต่อการขีดสีได้ดี และ น้ำมันเหล่านี้ยังมี(PACs) ในปริมาณที่ต่ำ

Lilija *et al.* (2002) ได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยใช้ Propanoic acid กับ Methanol และใช้ Sulphonic acid เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งกำหนดสภาวะต่างๆ ดังนี้ ใช้อุณหภูมิ 50 , 60 และ 63 °C และใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่าง Propanoic acid กับ Methanol เท่ากับ 1:1 , 2:3 และ 3:2 แต่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปฏิกิริยา คือใช้อัตราส่วน 1:1 และอุณหภูมิ 60 °C ซึ่งจะให้ผลผลิตสูงที่สุด