

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปริมาณการผลิตยาง

ยางธรรมชาติมีการผลิตในประเทศหลักๆ คือ ประเทศไทย ประเทศอินโดนีเซีย และบางส่วนจากประเทศมาเลเซีย ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ที่ผลิตยางธรรมชาติส่งออกเป็นอันดับที่ 1 ของโลกติดต่อกันเป็นปีที่ 10 ในปี พ.ศ. 2544 ผลิตได้ประมาณ 2.32 ล้านตัน โดยแบ่งเป็นยางแผ่นรมควัน 927,820 ตัน ยางแท่ง 858,236 ตัน น้ำยางข้น 463,909 ตัน และยางอื่นๆ 19,594 ตัน โดยมีมูลค่าการส่งออกในรูปของวัตถุดิบ 46,692 ล้านบาท และผลิตภัณฑ์ยาง 48,484 ล้านบาท ซึ่งรายได้จากการส่งออกมากเป็นอันดับสองรองจากการส่งออกกุ้งกุลาดำ มีอุตสาหกรรมด้านยางภายในประเทศมากมาย คือ โรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปยาง 508 โรงงาน และอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์ยางจำนวน 277 โรงงาน มีพื้นที่ในการปลูกยาง 12,411,533 ไร่ (สถาบันวิจัยยาง, 2545)

2.2 สมบัติของน้ำยางสด

น้ำยางสดที่กรีดยากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น มีความหนาแน่น 0.975-0.98 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 6.5-7.0 และขนาดอนุภาคของเม็ดยางอยู่ระหว่าง 400-25,000 Å โดยอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเกิน 4,000 Å และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 10,000 Å น้ำยางอยู่ในสภาวะแขวนลอยและมีประจุเป็นลบจึงผลักกันตลอดเวลาทำให้คงสภาพอยู่ได้ จนกว่าสภาวะแวดล้อมและปัจจัยต่างๆที่มารบกวน เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง (Blackley, 1997)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด (Blackley, 1997)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27-48
เนื้อยางแห้ง	25-45
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-2.5
ขี้เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

2.2.2 ส่วนประกอบของน้ำยาง (Blackley, 1997)

2.2.2.1 ส่วนของเนื้อยาง

2.2.2.1.1 อนุภาคยาง ถูกห่อหุ้มด้วยสารพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอก และอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5% อนุภาคเม็ดยางประกอบด้วยสารพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 polyisoprene)

2.2.2.1.2 โปรตีน ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง มีอยู่ประมาณ 25% ของโปรตีนทั้งหมดที่อยู่ในน้ำยาง อีก 50% อยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25% จะปะปนในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนส่วนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่จะเป็นชนิด แอลฟาไกลบูลิน และ ฮีวิน (α -Globulin and Hevein)

2.2.2.1.3 ไขมัน จะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิดแอลฟาเลซิทิน (α -Lecithin) เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง

2.2.2.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

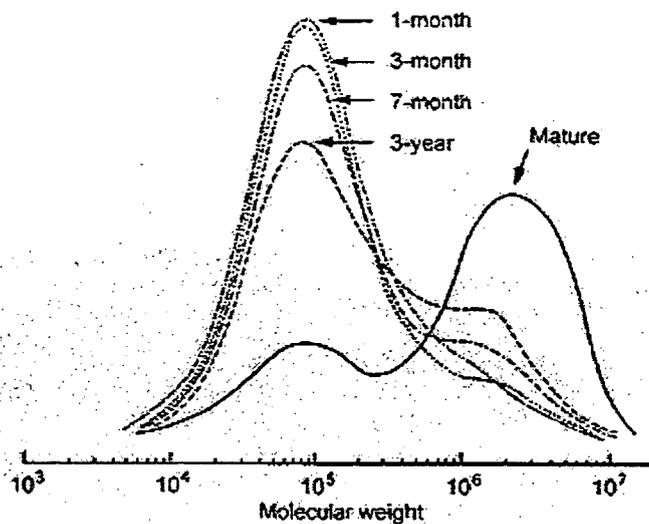
2.2.2.2.1 ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัม ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและกรดอะมิโน

2.2.2.2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ ลูทอยด์เป็นอนุภาคก้อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3.0 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey wysling) เป็นสารที่มีอนุภาคใหญ่กว่ายางแต่ความหนาแน่นน้อยกว่า ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์

2.3 น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ

น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาตินี้ค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์และอายุของต้นยาง โดยค่าของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ช่วง (Bimodal) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นค่าของน้ำหนักโมเลกุลโดยน้ำหนักที่ $1.0-2.0 \times 10^5$ และ $1.0-2.5 \times 10^6$ (Tangpakdee, 1996, Tanaka, 2001) โดยสัดส่วนระหว่างส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำต่อส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีค่าลดลงเมื่ออายุของต้นยางมากขึ้น นั่นคือส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะเห็นได้ชัดเจนในต้นยางที่มีอายุน้อยๆ และจะมีค่าลดลงเมื่ออายุของต้นยางมากขึ้น ยางส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมีค่าลดลงเมื่อผ่านการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) ทั้งนี้เพราะคาดว่ายางส่วนที่มีน้ำหนักโมเลกุล

สูงเป็นส่วนกิ่งก้าน (Branching) ของสายโซ่ซึ่งเมื่อผ่านการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ส่วนของกิ่งก้านสายโซ่จะถูกตัดเปลี่ยนเป็นสายโซ่ตรง

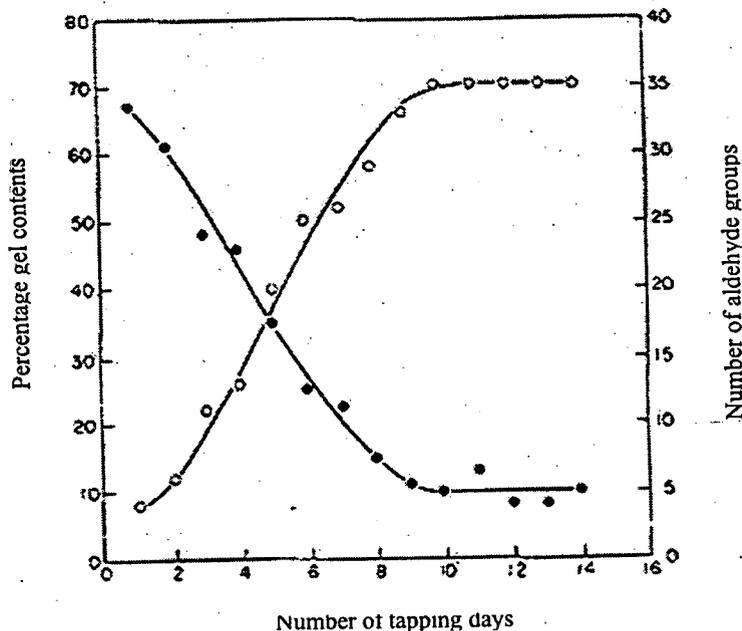


รูปที่ 2.1 การกระจายของน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติอายุต่างๆ กัน (Tangpakdee, 1996; Tanaka, 2001)

2.4 ปริมาณเจลในยางธรรมชาติ

เจลในยางธรรมชาติมี 2 ชนิด (Sekhar, 1961) คือ มาโครเจล (Macrogel) และ ไมโครเจล (Microgel) โดยที่มาโครเจลจะบวมพองและไม่ละลายในตัวทำละลาย ส่วนไมโครเจลจะสามารถละลายได้ในตัวทำละลาย

ต้นยางที่เปิดกรีดเป็นครั้งแรกหลังจากที่หยุดมาเป็นเวลานานจะมีจำนวนมาโครเจลในน้ำยางสูง (อาจสูงถึง 70%) โดยปกติมาโครเจลจะมีมากกว่าไมโครเจล โดยมาโครเจลจะค่อยๆ ลดลงเมื่อกรีดไปเรื่อยๆ ทุกวัน และเหลือประมาณ 5% เมื่อกรีดจนเป็นปกติ ในขณะที่ปริมาณของหมู่คาร์บอนิลต่อโมเลกุลยางจะเพิ่มขึ้นในปริมาณ 5-35 หน่วยต่อโมเลกุลยาง (รูปที่ 2.2) ขึ้นกับอายุของต้นยางและระยะเวลาที่ทิ้งไว้หลังจากกรีด ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปฏิกิริยาการเชื่อมโยงจะเกิดขึ้นหลังจากกรีด ส่วนในยางที่เก็บเป็นเวลา 6 เดือนหรือนานกว่านั้นเจลอาจสูงถึง 50% หรือมากกว่า โดยเริ่มแรกค่าเจลยังไม่สูงมากนัก ซึ่งสันนิษฐานว่าโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นยังสามารถละลายในตัวทำละลายได้ดีนั่นเอง เมื่อเก็บนานขึ้นโครงสร้างตาข่ายจะแข็งแรงมากขึ้นจนละลายได้ยากขึ้น เจลจึงเพิ่มขึ้น มาโครเจลสามารถเพิ่มขึ้นได้ระหว่างกระบวนการผลิตยาง แต่ในยางที่ใส่สารควบคุมความหนืดค่าเจลจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย (Sekhar, 1961)



รูปที่ 2.2 ปริมาณเจลและปริมาณอัลดีไฮด์ในยางธรรมชาติเมื่อระยะเวลากรีดยางเพิ่มขึ้น
(Sekhar, 1961)

Tanaka (2001) อธิบายว่า ปริมาณเจลในน้ำยางสดมีค่าประมาณ 3-5% และอาจจะมีค่าสูงถึง 70% หรือมากกว่าเมื่อเก็บรักษาน้ำยางด้วยแอมโมเนียเป็นระยะเวลาต่างๆ เช่นปริมาณเจลในรูปของน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูงจะมีปริมาณเจลอยู่ถึง 50-70% แต่เมื่อผ่านการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) ปริมาณเจลในยางธรรมชาติและยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่ปริมาณไนโตรเจนเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยอธิบายว่าการเกิดเจลในยางธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า soft-gel ว่าเกิดจากส่วนประกอบของการเชื่อมโยง ซึ่งเกิดจากพันธะระหว่างไฮโดรเจนของส่วนโปรตีนกับส่วนที่เป็นฟอสโฟลิปิด แต่ในกระบวนการผลิตยางธรรมชาติโปรตีนต่ำการเชื่อมโยงดังกล่าวจะถูกทำลายได้ การใส่เอทานอลปริมาณเล็กน้อยในสารละลายโกลูอินลงในน้ำยาง หรือการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันก็สามารถทำลายส่วนที่เชื่อมโยงดังกล่าวได้เช่นเดียวกัน ส่วนการทำสปอนิฟิเคชัน (Sponification) เป็นการทำลายส่วนของโปรตีนหรือส่วนของฟอสโฟลิปิด ทำให้โมเลกุลของยางเป็นสายโซ่ที่ยาวและไม่มีส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขา ซึ่งลดการเกิดเจลได้เช่นเดียวกัน

2.5 การลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติ

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วต้องพิจารณาถึงการนำไปใช้ประโยชน์ และการเลือกใช้สารเคมีในการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีการศึกษามาแล้วแบ่งตามระดับของน้ำหนักโมเลกุลที่ได้ ออกเป็น 4 ประเภท (Roberts, 1988b)

การลดน้ำหนักโมเลกุลในยางธรรมชาติตามระดับของการเกิดการแตกย่อย (Degradation)

1. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับต่ำที่มีการควบคุมการเกิดการแตกย่อยของพันธะ โดยจะทำให้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางธรรมชาติ (\bar{M}_w) อยู่ในระดับ $4 \times 10^5 - 1.0 \times 10^6$ จุดมุ่งหมายของการทำการลดความหนืดของยางดิบ และเป็นการขจัดส่วนที่เป็นโครงสร้างร่างแหที่เป็นเจลที่อยู่ในยาง ซึ่งทำได้ง่ายในโรงงานทั่วไป โดยการใส่สารเคมีลงไปในยางธรรมชาติในรูปน้ำยาง หรือยางแห้งเพื่อตัดสายโซ่ของโมเลกุลยางให้สั้นลง โดยที่ความหนืดของยางไม่มีการเปลี่ยนแปลง สารที่ใช้เติมในยางจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาที่ทำให้ความแข็งแรงของยางระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้น

2. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับกลาง โดยจะทำให้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของยางธรรมชาติ (\bar{M}_w) อยู่ในระดับ $1.5 \times 10^5 - 4.0 \times 10^5$ ยางที่ได้จะนิ่ม และมีสมบัติการติดที่ดีทำให้ยางประเภทนี้ถูกนำไปใช้งานหลักใน โรงงานทำกาว ข้อจำกัดของการทำวิธีนี้คือ สารที่ใช้จะต้องไม่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยา ทั้งนี้เพื่อให้การออกซิเดชันมีความเสถียรเพื่อรักษาระดับของน้ำหนักโมเลกุลของยางไม่ให้ลดลงกว่าที่กำหนด เพื่อประโยชน์ในการใช้งานต่อไป

3. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับที่สูง ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง หรือที่เรียกว่า ยางเหลว (Liquid Rubber) โดยจะทำให้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (\bar{M}_w) อยู่ในระดับต่ำกว่า 150,000

4. การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในระดับพิเศษ โดยจะทำให้ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย (\bar{M}_w) อยู่ในระดับต่ำกว่า 500 วิธีที่เคยทำมาแล้วคือการทำให้ไพโรไลซิส (Pyrolysis) ยางที่ได้เป็นที่น่าสนใจทางด้านเคมีแต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ (Madorsky, 1964 : Dulngali, 1978 : Dulngali, 1979)

การลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติที่มีการศึกษามาแล้ว คือ 3 ประเภทแรก ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกัน คือการตัดสายโซ่โมเลกุลของยางดิบด้วยสารที่เกิดอนุมูลอิสระได้หรือใช้สารย่อยยาง ซึ่งเป็นการออกซิเดชันยาง ตัวอย่างเช่น สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) หรือสารอินทรีย์ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Organic hydroperoxide) (Kendall, 1951) แต่พบว่าการใช้อากาศหรือออกซิเจนจะช่วยลดต้นทุนได้มากกว่า (Hasting, 1939) หรืออาจจะใช้สารพวก อะโรมาติกไทออล (Aromatic thiol) เช่น ซิงค์ไทโอเลต (Zinc thiolate) (Conte, 1953), สารประกอบไทโอคาร์

บอนิล (Thiocarbonyl compound) (Kendall, 1951), กรดซัลฟีนิก (Sulphinic acid) (Pautrat and Marteau, 1976) และฟีนิลไฮดราซีน (Phenylhydrazine) (Levesque *et al*, 1978) ซึ่งวิธีการเลือกใช้สารดังกล่าวจะขึ้นกับระดับของการตัดสายโซ่และต้นทุนในการผลิต

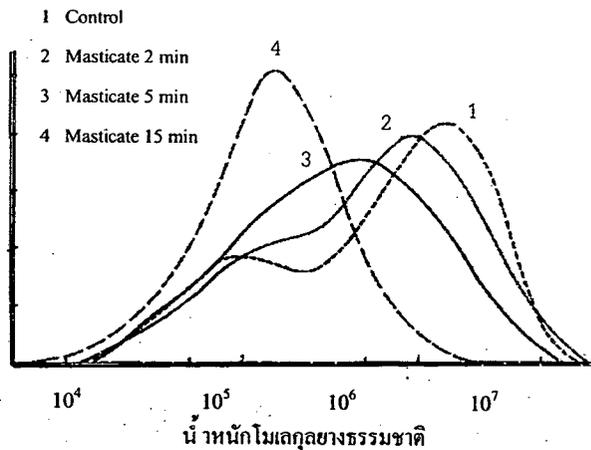
2.6 วิธีลดน้ำหนักโมเลกุลโดยใช้สารเคมีในยางธรรมชาติ

2.6.1 การดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ (Depolymerized of Natural Rubber)

การดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ หรือ การทำยางเหลวซึ่งจะให้สมบัติเด่นๆ คือ ความสามารถในการเชื่อมติดหรือใช้เป็นกาว และมีความว่องไวต่อการเชื่อม โยง (Crosslinking) ซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น การทำกาว (Pressure-sensitive adhesive) วัสดุกันรั่วซึม (Sealing material) ยางที่ใช้ในการประสาน (Caulking compound) และใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ เพื่อช่วยในการแปรรูปของยางแห้งเพื่อทำยางรถยนต์ ในปัจจุบันความสนใจเรื่องการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติมีเพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก ทั้งนี้เพราะเมื่อเปรียบเทียบระหว่างยางแห้งกับยางเหลวแล้ว พบว่ายางเหลวมีข้อได้เปรียบหลายอย่าง เช่น สามารถทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายและใช้พลังงานในการแปรรูปที่น้อยกว่า (Tanaka *et al*, 1999)

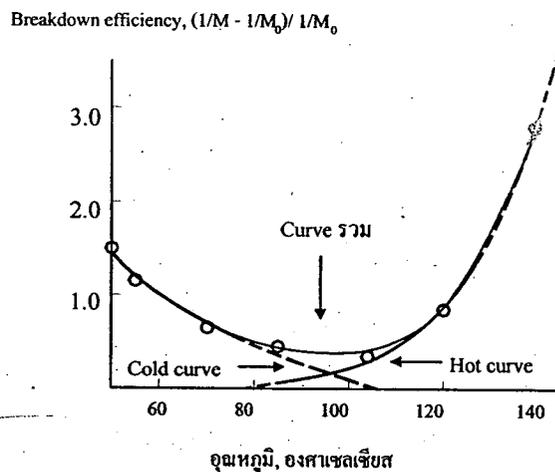
โดยทั่วไปการดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ ทำได้หลายวิธี ดังนี้

1. การบดยาง (Mastication) เป็นวิธีเร่งการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติโดยการตัดสายโซ่ของโมเลกุลยาง ด้วยวิธีทางกลและความร้อน โดยใช้เครื่องผสมแบบลูกกลิ้ง (Two-roll mill) หรือ เครื่องผสมแบบปิด (Internal mixer) ซึ่งเมื่อระยะเวลาในการบดยางเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ผลของเวลาบดค่อน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Subramanium, 1980)

ซึ่งประสิทธิภาพของการบดคองจะขึ้นกับอุณหภูมิของการผสม และแรงเฉือนที่ยางได้รับดังรูปที่ 2.4

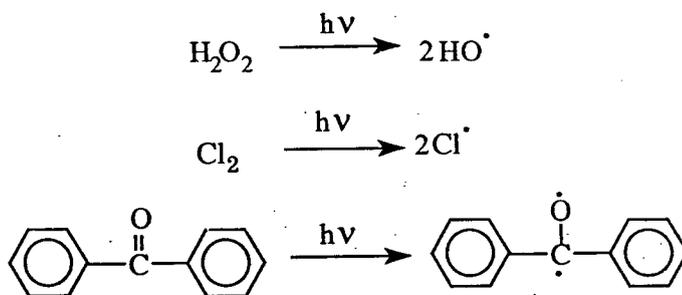


รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพของการบดคอง (Casale and Porter, 1979)

ส่วนการเติมสารย่อยยางเพื่อช่วยให้บดคองได้เร็วขึ้น คือ การใช้สารประกอบอินทรีย์ใส่ลงในยางแล้วทำให้ยางนิ่มขึ้นแม้จะเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อยและยังช่วยลดระยะเวลาในการบดคองนั้นบางครั้งจึงเรียกสารดังกล่าวว่าสารเร่งการบดคอง (Mastication accelerator) เช่น เมอร์แคปแทน (Mercaptan) ซึ่งมีผลในการป้องกันการรวมกันใหม่ของโมเลกุลยางที่ขาดออกจากกันได้ซึ่งวิธีดังกล่าวจะได้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำแต่จะมีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างและยากต่อการควบคุม

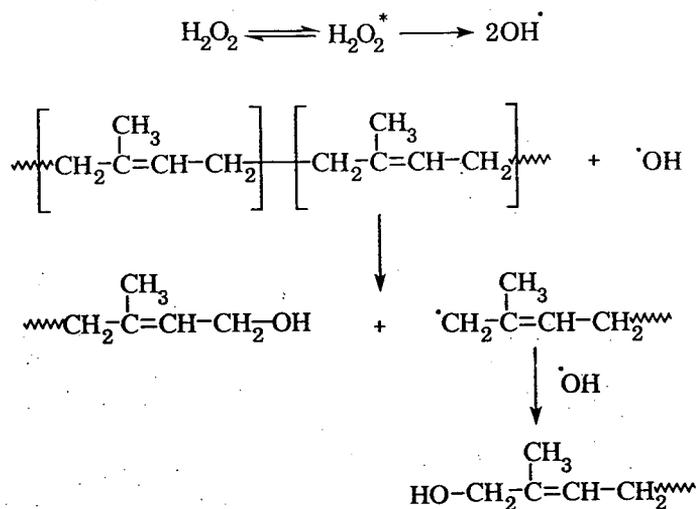
2. ไพโรไลซิส (Pyrolysis) จะอาศัยการทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นสามารถเกิดได้ทั้งการตัดสายโซ่ และการเชื่อมโยง หรือการกลับมารวมกันใหม่ได้ ทำให้ยากต่อการควบคุมการกระจายของน้ำหนักโมเลกุล

3. โฟโตเคมีคอล (Photochemical) เป็นวิธีการทำลายสายโซ่โมเลกุลที่ใช้พลังงานแสง เช่น ใช้แสงอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet light) ร่วมกับสารเคมีเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน และเบนโซฟีโนน (Benzophenone) ซึ่งสามารถแตกเป็นอนุมูลอิสระได้ดังรูปที่ 2.5 วิธีนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆกับการเสียไปของเปอร์ออกไซด์หรือส่วนของคีโตนที่ปลายสายโซ่ ทำให้เกิดการทำลายสายโซ่เกิดได้อย่างสมบูรณ์ แต่การที่มีความว่องไวที่สูงทำให้การควบคุมน้ำหนักโมเลกุล และการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลยังทำได้ยาก และเกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization reaction) ทำให้โครงสร้างของยางเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างที่เป็นซิส (cis-1,4-structure) ไปเป็นทราน (trans-1,4-structure)



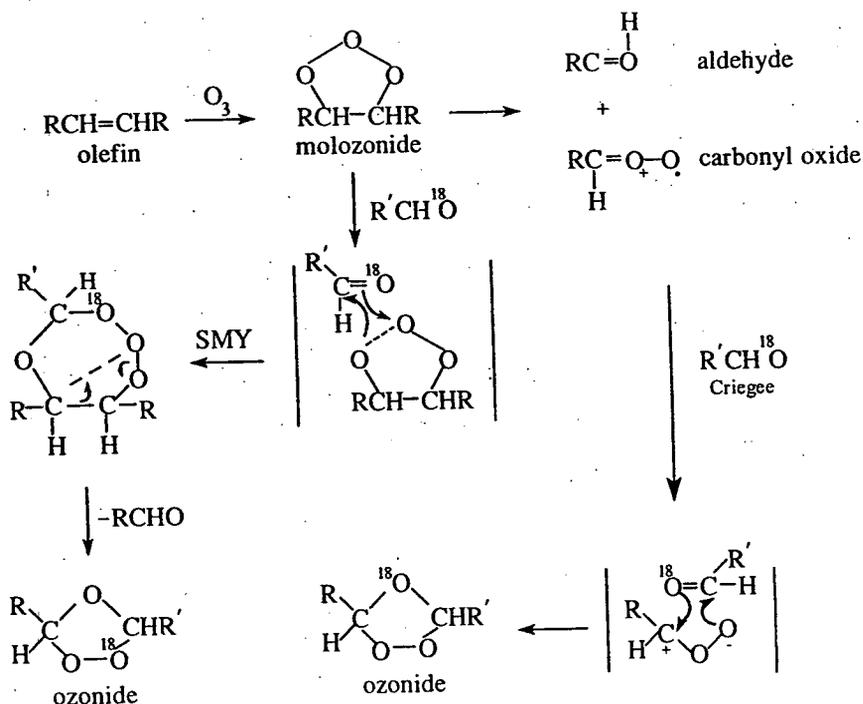
รูปที่ 2.5 การแตกตัวของสารจากแสงอุลตราไวโอเลต (March, 1992)

ตัวอย่างของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากโฟโตเคมีคอล โดยการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้แสงอุลตราไวโอเลต ซึ่งจะเกิดเป็นอนุมูลของไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical) อนุมูลดังกล่าวจะไปทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของยางแล้วจะได้เป็นหมู่ปลายเป็นไฮดรอกซิล และอนุมูลอิสระที่ใหญ่ของโมเลกุลยางซึ่งเมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับอนุมูลไฮดรอกซิลที่เหลือจะเป็นการเพิ่มปริมาณของหมู่ไฮดรอกซิลในยางเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กลไกการเกิดโฟโตเคมีคอลจากอนุมูลของไฮดรอกซิล (Rarindran *et al*, 1988)

4. Chemical decomposition, ozone degradation, oxidative degradation โดยใช้สารออกซิไดซ์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ ฟีนิลไฮดรอกซีน และ oxidative degradation โดย metal ionic catalyst ส่วนการเสื่อมสลายด้วยโอโซน (Ozone degradation) จะใช้เฉพาะในการวิเคราะห์ทางอุตสาหกรรมเท่านั้น ซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้ เนื่องจากต้องควบคุมปฏิกิริยาให้เกิดที่อุณหภูมิต่ำ ไมเช่นนั้นจะเกิดโอโซนในปริมาณที่มากซึ่งเป็นอันตรายได้ ดังรูปที่ 2.7



SMY คือ กลไกการเกิดปฏิกิริยาของ Story, Murray และ Youssefsh

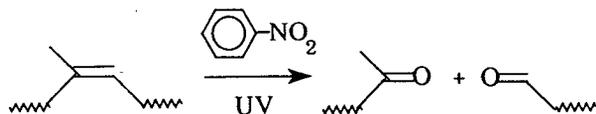
รูปที่ 2.7 กลไกการเกิด Ozone decomposition (Bailey, 1978)

2.6.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการลดน้ำหนักโมเลกุลในยางโดยการดีพอลิเมอร์ไรซ์ (Depolymerized)

Hasting (1939) เตรียมยางนิ่ม (Softening rubber) โดยเติมสารย่อยยางลงในน้ำยาง ก่อนจับตัว ซึ่งจะใช้สารพวก aromatic thiol, benzothiazole-2-thiol หรือ organic peroxide โดยการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางที่เติมสารย่อยยางเกิดขึ้นในระหว่างการอบที่อุณหภูมิสูงในบรรยากาศของออกซิเจน พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือปริมาณสารย่อยยางจะทำให้ยางที่ได้นิ่มขึ้นหรือมีค่า D_{30} ที่ต่ำลง (ค่า D_{30} คือ ค่าความอ่อนตัวของยางเมื่อกดด้วยจานกดน้ำหนัก 5 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที)

Kendall (1951) เตรียมยางนิ่ม โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือ ออกแกนิกไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เช่น thiocarbonyl compound แต่วิธีนี้จะมีข้อเสียคือการเกิดปฏิกิริยาของการเสื่อมสลายทำให้ยากต่อการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลระหว่างการเก็บ

Cunneen (1973) และ Tillekeratne *et al.* (1977) ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ (solar energy) ในการ ดีพอลิเมอร์ไรซ์ยางธรรมชาติ โดยการเติม โนโคโรเบนซีน และสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชัน (transition metal complex) ได้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ \bar{M}_n 3,000 ปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 2.8

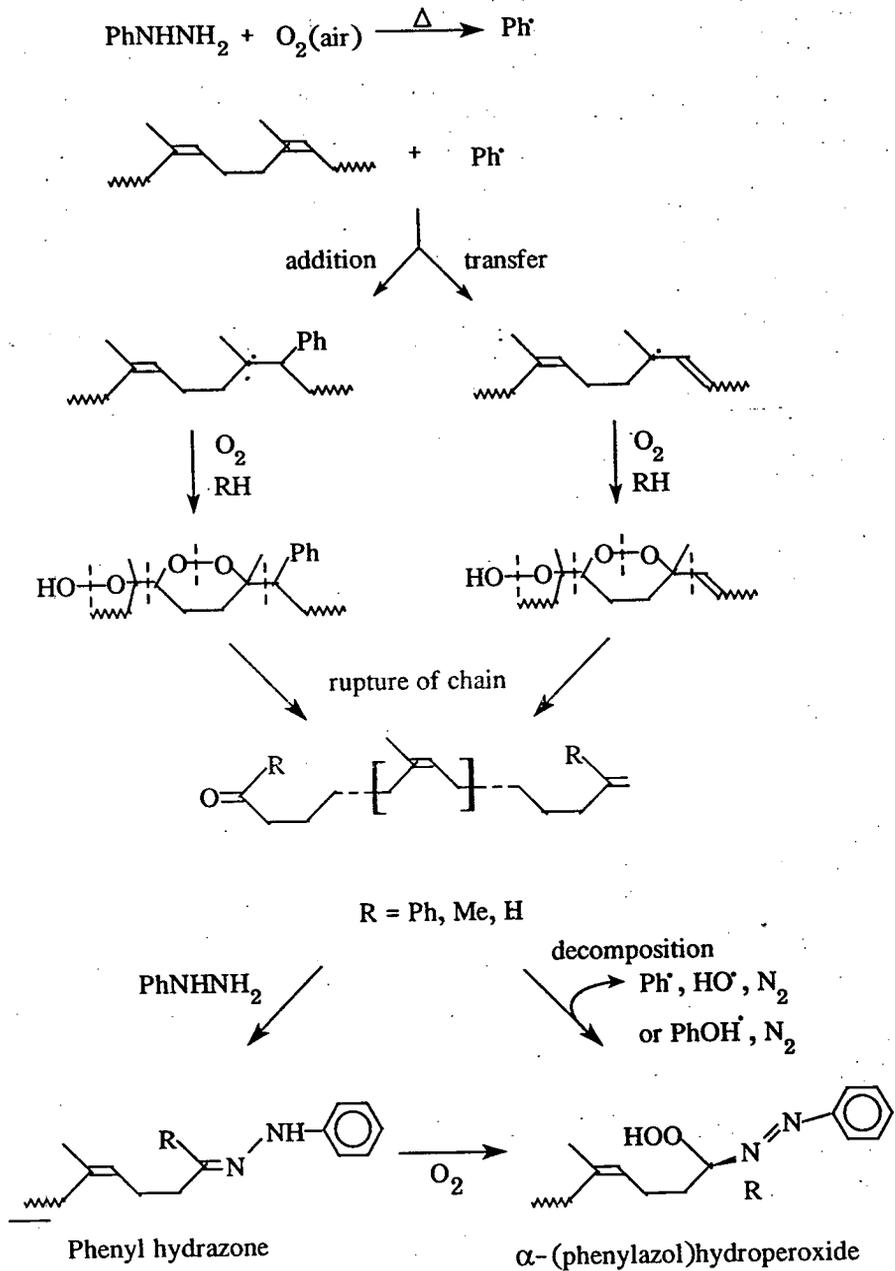


รูปที่ 2.8 การเกิดการ ดีพอลิเมอไรซ์อย่างธรรมชาติ โดยการเติมไนโตรเบนซีน (Cunneen, 1973)

Pautrat and Marteau (1976) ใช้ระบบบรีดคอกซ์ในการเตรียมยางนำหนักโมเลกุลต่ำ โดยสารออกซิไดซ์เป็นสารประกอบของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ ออร์แกนิกเปอร์ออกไซด์ ส่วนสารรีดิวซ์เป็นสารประกอบของกรดซัลฟีนิกและ อนุพันธ์ และ สารประกอบไฮดราซีน และ อนุพันธ์ ที่อุณหภูมิ 100°C ที่ระยะเวลาต่างๆ ได้น้ำหนักโมเลกุล- \bar{M}_n ในช่วง 9,000-35,000

Levesque *et al* (1978) ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ ออแกนิกเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับฟีนิลไฮดราซีน หรือกรดซัลฟีนิก เช่น *p*-toluenesulphonic acid ในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งต่อมาได้มีการใช้อากาศแทนเปอร์ออกไซด์ ที่อุณหภูมิ $50-70^{\circ}\text{C}$ พบว่าให้ น้ำหนัก 3,000-20,000 และจะเกิดหมู่ว่องไวที่ปลายสายโซ่ (Reactive end group) ทำให้เกิดประโยชน์ในการขยายส่วนของการเชื่อมโยง แต่ก็ยังมีข้อเสียที่ต้องใช้สารในปริมาณที่สูง เช่น ต้องใช้ปริมาณของ ฟีนิลไฮดราซีน ถึง 10% ของเนื้อยาง ซึ่งตัวฟีนิลไฮดราซีน เองก็เป็นสารที่มีพิษและราคาแพงและยังส่งผลให้สีของยางคล้ำขึ้นด้วย

Brosse *et al* (1981) ใช้ระบบบรีดคอกซ์เพื่อเตรียมยางเหลว โดยสารออกซิไดซ์ที่ใช้ ได้แก่ ออแกนิกเปอร์ออกไซด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และออกซิเจนในอากาศ ส่วนสารรีดิวซ์ ได้แก่ อะโรมาติกไฮดราซีน (Aromatic hydrazine) กรดซัลฟานิลิก (Sulphanilic acid) โดยพบว่าหมู่ปลายของยางอาจเป็น ฟีนิลไฮดราโซน (Phenylhydrazone) คาร์บอนิล หรือ ไฮดรอกซิล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบของการเลือกใช้สาร ยางเหลวที่เตรียมได้มีค่า \bar{M}_n ระหว่าง 3,000-35,000 และมีค่าการกระจายตัวระหว่าง 1.70-1.97 สารเคมีที่นิยมนำมาเตรียมยางเหลวจะเป็น ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับออกซิเจนในอากาศ โดยกลไกการทำปฏิกิริยากับยางดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของยางธรรมชาติเมื่อใช้ ฟีนิลไฮดราซีนร่วมกับออกซิเจน (อ้าง โดย Boccaccio and Livonniere, 1991)

Gazeley and Mente (1986) ได้ทำการศึกษาวิธีการลดน้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติในรูปน้ำยาง และยางแห้ง โดยการใส่สารออกซิไดซ์ลงในน้ำยางเช่น อากาศ, ออกซิเจน หรือเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับสารริตวิช คือ โลหะไนไตรท์ หรือ โลหะคลอไรท์ ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสมกับน้ำยางรวมทั้งยางอีพอกซิไดซ์ ในการเตรียมยางเหลวเพื่อ ปรับปรุงสมบัติของกาวยางและควบคุมความ

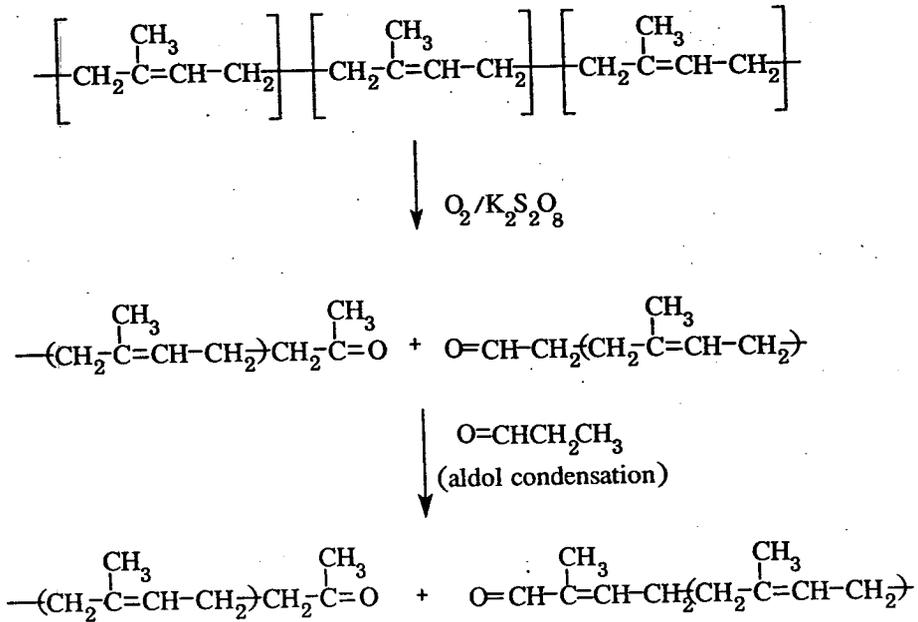
หนักของยางระหว่างการผลิต และพบว่า การเตรียมกาวยางด้วยวิธีการทำลายสายโซ่หลักที่ระดับสูง มีลำดับการทำดังนี้ ผ่านอากาศ หรือ ออกซิเจนลงในน้ำยางที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิที่สูง โดยให้ความร้อนกับน้ำยางที่ไล่แอมโมเนียแล้วใช้ร่วมกับสารย่อยยาง เช่น aromatic thiol หรือ zincthiolate หรือให้ความร้อนร่วมกับสาร โซเดียมคลอไรต์ (Sodium chlorite) (เปรียบเสมือน reducing agent) และทำให้เป็นกลางโดยการเติมฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) และ โซเดียมคลอไรต์ โดยทั่วไปวิธีนี้จะไม่ค่อยมีประสิทธิภาพและยังให้น้ำหนักโมเลกุลที่ต่ำ ($\bar{M}_n < 20,000, \bar{M}_w < 100,000$) และยางที่ได้จะนิ่มมาก (ความอ่อนตัว < 10)

Radrindran *et al.* (1988) ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเมทานอล (Methanol) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับเตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran) เพื่อลดน้ำหนักโมเลกุลแบบโฟโตเคมีคอล (Photochemical degradation) อย่างไรก็ตามยางที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะได้อย่างสีน้ำตาลและโครงสร้างยังซับซ้อนอยู่

Tangpakdee *et al.* (1998) ได้อธิบายถึงการเตรียมยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (LNR) ในรูปของน้ำยาง โดยการใช้ออกซิเดทีฟ-ดีเกรเดชัน กับยางโปรตีนต่ำ โดยใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต 1 phr. ร่วมกับ โพรพานอล 15 phr. เซย่าที่อุณหภูมิ 60°C พบว่าค่าความหนืดอินทรีนซิก $[\eta]$ ของยางโปรตีนต่ำเมื่อใช้เพียง โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต จะลดลงจาก 7.2 เป็น 5.5 เมื่อเวลาผ่านไป 2 ชั่วโมง และจะเพิ่มขึ้นเป็น 6.5 เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง แต่เมื่อเติมโพรพานอลลงไป 15 phr การลดลงของค่า $[\eta]$ จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าค่า $[\eta]$ จะมีค่าเป็น 0.5 เมื่อเวลาทำปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง ยางที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความเสถียร และมีสีอ่อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ทั้งในรูปของน้ำยางและยางแห้งยางที่ได้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีความเสถียรมีสีอ่อน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ทั้งในรูปของน้ำยางและยางแห้ง

Tangpakdee *et al.* (2001) ได้อธิบายวิธีการเตรียมยางเหลวทั้งในรูปของน้ำยางและสารละลายยาง โดยผ่านการตัดสายโซ่โมเลกุลยาง ซึ่งใช้รังสีอัลตราไวโอเลตและใช้สารตัวเร่ง ทำให้เกิดการสลายตัวของยางที่อุณหภูมิ 65°C สารที่ใช้ในการทำดีเกรเดชัน คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ร่วมกับ สารตัวเร่ง คือ Cobalt chloride (CoCl_2), Cobalt-bis-acetyl acetonate ($\text{Co}(\text{acac})_2$), Iron(II)sulphate (FeSO_4) และ Iron chloride (FeCl_2) พบว่าสารละลายยางในโทลูอีนจะมีอัตราการสลายตัวที่ต่ำกว่าในรูปน้ำยาง ยางเหลวที่เตรียมได้มีค่า $[\eta]$ จาก 5.8 เหลือ 0.7

โดยปฏิกิริยาของการใช้เปอร์แทสเซียมเปอร์ซัลเฟตกับ โพรพานาลจะเป็นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปฏิกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อใช้โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟตร่วมกับ โพรพานาล
(Tangpakdee, 1998)

สาวตรี รุจิรพนานิช (2526) พบว่าการเตรียมยางเหลวโดยวิธีแขวนลอย (Suspension) ทำโดยนำน้ำยางธรรมชาติมาเจือจางให้มีเนื้อยาง 30% ทำปฏิกิริยากับฟีนิลไฮดราซีน ให้ความร้อนพร้อมกับกวนตลอดเวลา แยกยางโดยใช้กระดาษชัตติค พบว่าน้ำหนักโมเลกุลของยางจะลดลงเมื่อปริมาณฟีนิลไฮดราซีน อุณหภูมิ เวลาในการทำปฏิกิริยา อากาศ ความร้อนขณะอบแห้งเพิ่มขึ้น

มะลิ อธิธิฤทธิ์กุล (2534) พบว่าการเตรียมยางเหลวจากน้ำยางธรรมชาติ โดยการผสมฟีนิลไฮดราซีนไฮโดรคลอไรด์ ให้ความร้อนและอากาศอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา แยกยางเหลวโดยใช้ Methyl ethyl ketone พบว่า น้ำหนักโมเลกุลของยางเหลวจะลดลงเมื่อปริมาณฟีนิลไฮดราซีน หรือเวลาเพิ่มขึ้น โดยใช้ปริมาณฟีนิลไฮดราซีน 10% ปริมาณ 60 มิลลิลิตร ต่อน้ำยางชั้น 100 มิลลิลิตร เวลาทำปฏิกิริยา 18 ชั่วโมง ได้ยางเหลวที่มีน้ำหนักโมเลกุลโดยความหนืดประมาณ 5,000 ความหนืด 232,000 cps. แต่สมบัติทางฟิสิกส์ที่ได้ต่ำกว่ายางธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการลดน้ำหนักโมเลกุล

2.7 ความหนืดของยางธรรมชาติ (Viscosity of Natural Rubber)

2.7.1 ความหนืดของยางดิบ

ความหนืด (Viscosity) ของยางธรรมชาติมีความแปรปรวนแตกต่างกันตามปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง ฤดูกาลที่กรีดยาง อายุของต้นยาง และวิธีการผลิต ความหนืดของยางเพิ่มขึ้นเองได้ตามธรรมชาติซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต ระหว่างการขนส่ง และระหว่างการเก็บ ซึ่งไม่สามารถทำนายอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ มีการตั้งสมมติฐานว่า การเพิ่มความหนืดของยางเกิดจากการเชื่อมโยง (Crosslinking) ของโมเลกุลยางด้วยกลุ่มอัลดีไฮด์ (Aldehyde) ที่กระจายอยู่ใน โซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ ทำให้ความหนืด (Mooney-viscosity) และค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (Initial plasticity) สูงขึ้น (พรรรยา, 2538)

ความหนืดของยางพบว่าเพิ่มขึ้นทันทีหลังจากยางถูกกรีดยากต้น น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียปริมาณ 0.3% มีค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney-viscosity) เพิ่มขึ้น 5 หน่วย แต่การรักษาสภาพน้ำยางด้วยโซเดียมซัลไฟท์หรือฟอร์มาลินความหนืดของยางจะไม่เพิ่มขึ้น ยางที่ได้จากการจับตัวด้วยกรด เช่น ยางแผ่นรมควัน และยางแท่งชั้น 5 ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนมากกว่าในยางที่มีเศษยางผสมอยู่ เช่น ยางเครฟลี้น้ำตาล ยางแท่งชั้น 10 และ 20 ทั้งนี้เนื่องจากเศษยางเป็นยางที่ได้จับตัวตามธรรมชาติ ความหนืดของยางที่จับตัวตามธรรมชาติจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่าที่จับตัวด้วยกรด (พรรรยา, 2538)

ตารางที่ 2.2 ปัจจัยที่ทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้น (Cheong and Ong, 1977)

ลำดับที่	ปัจจัย	ช่วงระหว่าง	ค่าความหนืดมูนนี่ที่เพิ่มขึ้น
1	เงิองางน้ำยาง (%DRC)	10-33	0-5
2	pH ของการจับตัว	4.5-5.5	0-3
3	การเก็บบ่มยางก่อนที่จับตัวแล้วก่อนวัด (ชั่วโมง)	8-48	0-6
4	การเก็บบ่มยางฝอยที่เปียกก่อนนำไปอบ (ชั่วโมง)	1-24	0-3
5	อุณหภูมิอบ (°C)	50-100	0-6

พบว่า การเก็บบ่มยางก่อนที่จับตัวแล้วเป็นระยะเวลาสั้น และการอบยางที่อุณหภูมิสูง มีผลให้ยางมีค่าความหนืดที่เปลี่ยนแปลงมากกว่าการเปลี่ยน pH หรือการเงิองางน้ำยาง

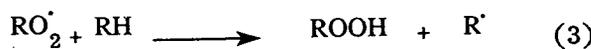
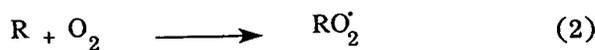
2.7.2 สาเหตุของการเพิ่มความหนืด

ได้มีการพยายามอธิบายการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติมาเป็นเวลานานแล้ว ซึ่งก็มีนักวิทยาศาสตร์หลายคนที่เสนอความคิดเห็นออกมา ซึ่งจนถึงปัจจุบันก็ยังไม่เป็นที่แน่นอนว่าแบบไหนที่ถูกต้อง แต่สามารถสรุปสาเหตุได้ 2 ประการ คือ (Bolland and Gee, 1946)

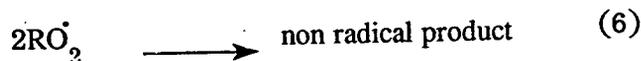
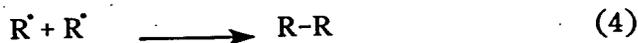
2.7.2.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) มีสาเหตุการเกิดได้หลายประการ คือ ความร้อน ออกซิเจน โอโซน และอื่นๆ โดยมีหลักการสำคัญเกี่ยวกับปฏิกิริยานี้ 3 ประการ คือ

- เป็นปฏิกิริยาการเกิดอนุมูลอิสระ
- ปฏิกิริยาเป็นการเร่งในตัวเอง (Autocatalytic)
- ผลผลิตที่ได้ คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ซึ่งสามารถเขียนปฏิกิริยาย่อยๆ ของการเกิดออกซิเดชันของพวก โอลิฟิน ได้ ดังนี้

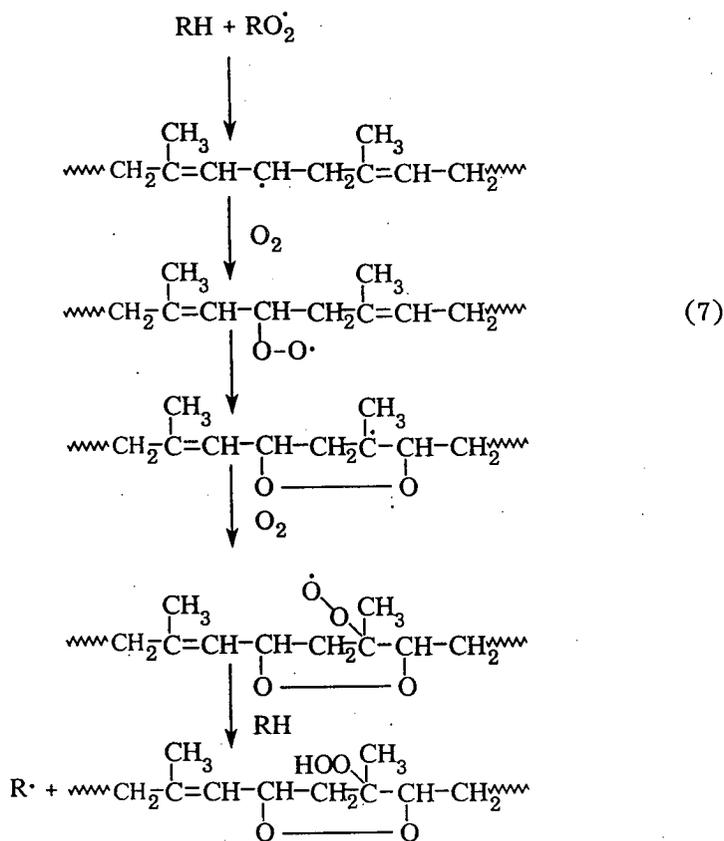


ซึ่ง ROOH คือสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และปฏิกิริยาขั้นสุดท้ายเป็น ดังนี้

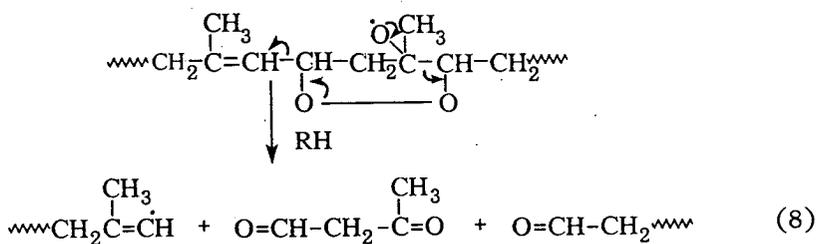


โดยปฏิกิริยาที่ 4 จะเป็นกระบวนการเชื่อมโยง ของโมเลกุลยาง และปฏิกิริยาที่ 6 เป็นกระบวนการตัดสายโซ่ (Chain scission) ซึ่งจะกล่าวต่อไป

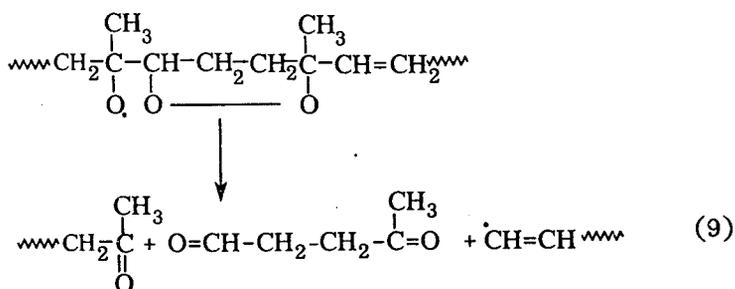
สำหรับในยางธรรมชาติกระบวนการออกซิเดชันเกิดคล้ายกับพวก โอลิฟิน (Bevilacqua, 1955 and Barnard and Lewis, 1963) ได้เสนอรูปแบบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติ ดังสมการที่ 7 วงแหวนของไดเปอร์ออกไซด์ (Cyclic diperoxide) เกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



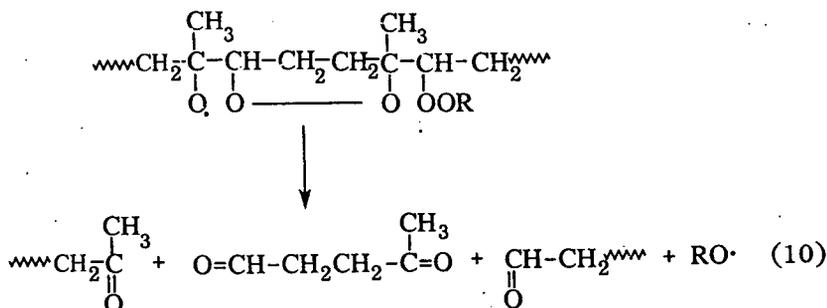
จากสมการที่ 7 อนุมูลของอัลคอกซี (Alkoxy radical) จะเกิดการแตกตัวได้เป็น บิวเทน-2-โอิน-4-อัล (Butan-2-one-4-al) ซึ่งเกิดมากกว่า เลวูลินัลดีไฮด์ (Levulin aldehyde) และ อนุมูลไวนิล (Vinyl radical) ซึ่งอาจจะถูกออกซิไดซ์ต่อได้หมู่ปลายเป็นเมทิลคีโตน (Methyl ketone end groups) ดังสมการที่ 8 (Bolland and Hughes, 1949)



Bevilacqua (1957) เสนอว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาเป็น levulin aldehyde และ terminal ketone และ terminal aldehyde group (เมื่อ vinyl radical ถูกออกซิเดชัน) ดังสมการที่ 9



นอกจากนี้ Mayo (1960) ได้เสนอรูปแบบปฏิกิริยาที่แตกต่างจาก Bevilacqua โดยที่มีการเติมอนุมูลของเปอร์ออกไซด์ไปที่พันธะคู่แล้วตามด้วยการเติมการออกซิเดชัน/ไซโคลเซชัน (Cyclization) ส่วนอนุมูลอัลคอกซี (Alkoxy radical) เกิดการแยกตัวได้เป็น levulinialdehyde, terminal ketone และ aldehyde group และ alkoxy radical ดังสมการที่ 10



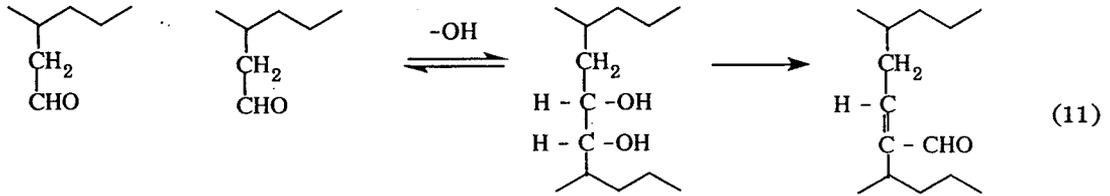
โครงสร้างทั้งสองรูปแบบ คือ รูปแบบที่เสนอโดย Bevilacqua และ Mayo สำหรับ วงแหวนเปอร์ออกไซด์ (Cyclic peroxide) ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าทำให้อนุมูลเทอเทียรีเปอร์ออกไซด์ (Tertiary peroxy radical) ถึงไม่เกิดปฏิกิริยาซ้ำๆ ตลอดสายโซ่โมเลกุล ก่อนที่จะเกิดการดึงอะตอมไฮโดรเจนออกจาก ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide)

จากข้อสันนิษฐานข้างต้นจะเห็นว่าเกิดอัลดีไฮด์ในบางจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งของการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติ

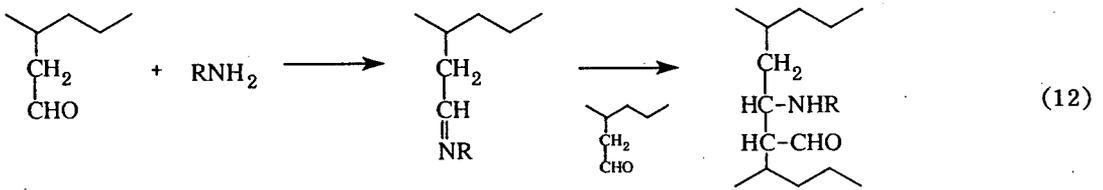
2.7.2.2 ปฏิกิริยานอนออกซิเดชัน (Non-oxidation reaction)

Sekhar (1961) ได้เสนอว่าภายในเซลล์ต้นยางมีหมู่คาร์บอนิลที่เกาะอยู่กับ โมเลกุลของ หมู่อัลดีไฮด์ในยางธรรมชาติจะมีโดยเฉลี่ย 1 หมู่ต่อ ไอโซพรีน 2,500-7,500 หน่วย ซึ่งหมู่คาร์บอนิลทำปฏิกิริยากับหมู่อื่นบางหมู่ เรียกว่า อัลดีไฮด์คอนเดนซิงเอเจน (Aldehyde condensing agent)

โดยจะเป็นปฏิกิริยา อัลดอล คอนเดนเซชัน (Aldol condensation) ระหว่างโมเลกุลของ 2 โมเลกุล เกิดเป็น โครงสร้างตาข่าย ทำให้ความแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บเพิ่มขึ้น (Tanaka *et al*, 1988)



หรือเป็นปฏิกิริยาระหว่างหมู่อัลดีไฮด์กับกรดอะมิโน ได้โครงสร้าง ดังนี้



ซึ่งโครงสร้างตาข่ายที่เกิดขึ้นจะทำให้ยางมีความหนืดสูงขึ้นในระหว่างการเก็บรักษา ซึ่งพบว่าสารประกอบพวกเอมีน เช่น ไฮดรอกซิลอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ สามารถยับยั้งการเพิ่มขึ้นของความหนืดในยางธรรมชาติได้ และยังพบว่า ไดมิโดน (Dimedone) ให้ผลในการยับยั้งหมู่อัลดีไฮด์ได้

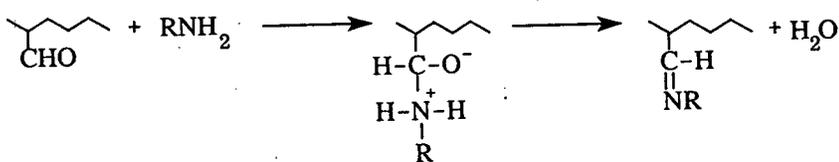
2.7.3 การใช้สารควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติ

โดยทั่วไปแล้วยางธรรมชาติมีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในระดับอุตสาหกรรม เช่น การผลิตยางแท่ง หรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติทางฟิสิกส์ดีเยี่ยม หลังจากการแปรรูปยางใหม่ๆพบว่าค่าความหนืดมูนนี้จะมีค่าที่ต่ำคืออยู่ในช่วง 60-70 แต่เมื่อทำการขนส่งไปยังต่างประเทศพบว่าความหนืดมูนนี้ของยางจะเพิ่มขึ้นเป็น 90-100 ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งในระหว่างการเก็บ คาดว่าสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของความหนืดเกิดจากการเชื่อมโยงของพันธะที่มีความแตกต่างกันในโมเลกุลของยาง เช่นหมู่อัลดีไฮด์ โดยสายโซ่ของโมเลกุลของยางประกอบด้วยโปรตีน และกรดอะมิโน ทำให้เกิดการเจลซึ่งกลไกการเกิดก็ยังไม่ทราบเป็นที่แน่นอนนัก การเพิ่มขึ้นดังกล่าวทำให้ยากต่อการนำไปแปรรูป (Toratani and Hirata, 1997)

น้ำหนักรวมของโมเลกุลของยางและส่วนที่เป็นเจล ทั้งหมดในยางจะมีผลอย่างมากจาก สภาพของการจับตัวน้ำยาง การเก็บยาง และวิธีการทำให้ยางแห้งหลังจากที่ล้างด้วยน้ำ ซึ่งการทำให้ยางแห้งหลังจากล้างด้วยน้ำมี 2 แบบ คือ วิธีแรกเป็นการทำยางแผ่นรมควัน และ การทำยางแท่ง โดย

ในยางแผ่นรมควันจะให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนที่ 60 °C เป็นเวลา 5-7 วัน ส่วนยางแท่งจะให้ อากาศร้อนที่ 120 °C ประมาณ 6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามสภาวะของการทำให้ยางแห้งของยางแผ่นรม ควันจะส่งเสริมให้เกิดการเจลขึ้นในยางส่วนการทำยางแท่งจะเป็นการลดน้ำหนักโมเลกุลของยาง แต่ทั้งสองแบบเมื่อเก็บไว้จะมีผลทำให้ความหนืดของยางเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ต้องบดยางก่อนการแปร รูป (Toratani and Hirata, 1997)

ในการผลิตยางความหนืดคงที่ทั้งในรูปน้ำยางและยางแห้ง (พรรยา, 2538) โดยการเติม สารเคมีกลุ่ม momofunctionalaldehydic condensing agent เช่น hydroxylamine hydrochloride, hydroxylamine neutralsulphate และ semicarbazide hydrochloride โดยใส่ได้ทั้งในรูปของน้ำยาง และยางแห้ง ในน้ำยางมีวิธีการดังนี้ นำน้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียในปริมาณ 0.01-0.1% ของน้ำยางซึ่งใช้ในปริมาณที่น้อย เพื่อป้องกันไม่ใหยางมีสีคล้ำแล้วใช้ ไฮดรอกซิลอะมีน ไฮโดร คลอไรด์ 0.15% โดยน้ำหนักน้ำยาง ส่วนในยางแห้งจะย่อยยางก่อนแล้วจึงเติมไฮดรอกซิลอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ 0.4% ของเนื้อยาง พบว่าการทำยางความหนืดคงที่จะให้ยางที่มีสีคล้ำกว่ายางแท่ง STR 5L และผลจากการเพิ่มปริมาณแอมโมเนียหรือความร้อนจะส่งผลให้ยางมีสีคล้ำ ดังนั้นจึงแนะนำ ให้ใช้แอมโมเนียในปริมาณที่น้อยและอุณหภูมิในการอบควรเป็น 100 °C สารนิยมใช้ คือ ไฮโดรอกซิลอะมีน ไฮโดรคลอไรด์ เพราะหาซื้อง่าย ราคาถูกและเข้ากับน้ำยางได้ง่าย โดยปฏิกิริยาของ การใช้สารควบคุมความหนืดน่าจะเป็นดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาของสารควบคุมความหนืด (Tanaka *et al*, 1988)

2.7.4 งานวิจัยเกี่ยวกับการใช้สารควบคุมความหนืดในยางธรรมชาติ

Sekhar (1961) อธิบายผลของการเติมสารควบคุมความหนืด (Viscosity stabilizer) ในยางธรรมชาติโดยเลือกใช้ semicarbazide, hydroxylamine sulphate และ dimedone (1,1-dimethylcyclohexane-3,5-dione) อย่างไรก็ตามสารแต่ละตัวก็ยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เพราะผลที่ได้ยังไม่มีความสม่ำเสมอเพราะบางครั้งถ้าใช้ในปริมาณที่น้อยเกินไปจะเริ่ผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นในการเลือกใช้จะต้องพิจารณาถึงผลต่อไปนี้

- ต้องแน่ใจว่าสารเคมีทั้งหมดจะต้องไปจับหมู่อัลดีไฮด์หรือหมู่ที่คล้ายกัน ซึ่งเป็นสาเหตุของการแข็งตัวของยาง

- สารเคมีกระจายในยางไม่เพียงพอ เพราะมีปริมาณน้อยเกินไป

Cambell *et al* (1974) ได้อธิบายถึงผลการเติมสารควบคุมความหนืดลงในยางธรรมชาติโดยสารควบคุมความหนืดที่ใช้เป็นพวกสารประกอบไฮดราไซด์ ที่มีอะตอมของคาร์บอนอยู่ 8-30 อะตอม ซึ่งเติมลงในน้ำยางมากกว่าที่จะเติมลงในยางที่จับตัวแล้วทำให้แห้ง แต่ยังไม่ได้มีการศึกษาสมบัติหลังจากที่วัลคาไนซ์ และพบว่าถ้าหากใช้สารควบคุมความหนืด ที่มีอะตอมของคาร์บอนที่มากขึ้นมีผลทำให้สมบัติทางฟิสิกส์ตกลง เช่น ค่าการสะสมความร้อนจะสูงขึ้น

Rubber Research Institute of Malaysia (RRIM) กล่าวในเอกสารของ Toratani and Hirata (1997) ว่าได้มีการศึกษาการป้องกันการเกิดการแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บ และพัฒนามาใช้ในน้ำยาง โดยใช้ไฮดรอกซิลอะมีนซัลเฟต ปริมาณ 0.08-0.3 phr เพื่อเตรียมยางความหนืดคงที่ และยังมีการพัฒนามาใช้ในยางแห้งด้วย แต่วิธีดังกล่าวก็ยังมีข้อเสีย คือ

- ไฮดรอกซิลอะมีนซัลเฟตเป็นสารที่เสื่อมเร็ว
- พบว่าความหนืดของยางมีค่าเพิ่มก่อนการเก็บ
- สารเคมีดังกล่าวมีผลต่อสภาวะแวดล้อม
- ไฮดรอกซิลอะมีนซัลเฟตไม่เข้ากับยางทำให้กระจายในยางได้ยาก
- ไฮดรอกซิลอะมีนซัลเฟตมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำทำให้ผสมที่อุณหภูมิสูงไม่ได้

Toratani and Hirata (1997) ศึกษาการใช้สารควบคุมความหนืดพวก สารประกอบไฮดราไซด์ (Hydrazide compound) โดยมีสูตรทั่วไปดังนี้ $R-CONHNH_2$ โดยที่ R เป็นหมู่อัลคิล (Alkyl group) ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 1-5 อะตอม หรือเป็นหมู่ไซโคลอัลคิล (Cycloalkyl) ที่ประกอบด้วยคาร์บอน 1-5 อะตอม พบว่าสามารถหยุดการเกิดการแข็งตัวของยางระหว่างการเก็บ และป้องกันการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลของยางได้

ตัวอย่างของสารควบคุมความหนืด

- aliphatic hydrazide compound ที่มีอะตอมของคาร์บอน 1-5 อะตอม เช่น acetic hydrazide, propionic hydrazide, butyric hydrazide, caproic hydrazide
- cyclic hydrazide compound ที่มีอะตอมของคาร์บอน 3-5 อะตอม เช่น cyclopropyl hydrazide

แต่ที่นิยมใช้และให้ผลที่ดีเป็นพวก aliphatic hydrazide ซึ่งปริมาณที่ใช้ที่เหมาะสมคือ 0.01-3.0 phr พบว่าส่วนของสารประกอบไฮดราไซด์ ที่มีอะตอมของคาร์บอน 1-5 อะตอม ปริมาณที่ให้ผลที่ดีอยู่ในช่วง 0.03-0.5 phr แต่ acetic hydrazide ที่มีอะตอมของคาร์บอน 1 อะตอมจะใช้ในปริมาณเพียง 0.04 phr เท่านั้น โดยสารรักษาความหนืดที่ใช้อาจใช้เป็นตัวเดี่ยวๆหรือใช้ร่วมกันก็ได้

ความต้องการหลักของการใช้สารรักษาความหนืด มีดังนี้

- ขางที่ได้จากการเติมสารรักษาความหนืด แล้วจะต้องมีสมบัติด้านการแปรรูปและสมบัติทางฟิสิกส์ที่ดี โดยที่ไม่มีการลดลงของน้ำหนักโมเลกุลและไม่เพิ่มการแข็งตัวของขางในระหว่างการเก็บมีระยะเวลาในการเก็บและมีอายุการใช้งานที่ยาว
- สารควบคุมความหนืดที่ใส่ลงในขางต้องมีขนาดเล็กเพื่อให้เข้ากับขางได้ดี และต้องทำปฏิกิริยากับหมู่อัลดีไฮด์ได้อย่างทั่วถึง
- ระยะเวลาในการยับยั้งการเพิ่มความหนืดของขางต้องนาน เพื่อใช้เวลาในการบดที่สั้นทั้งในลูกกลิ้ง และในเครื่องผสมแบบปิด