

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางธรรมชาติ

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) [1]

วัสดุที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยาง เช่น ยางรถยนต์ รองเท้ายาง ยางรัดของ ท่อยาง ถุงมือยาง และอื่นๆ อาจเป็นได้ทั้งยางธรรมชาติ (Natural rubber) และยางสังเคราะห์ (synthetic rubber) ในแต่ละปี คนทั่วโลกต้องการใช้ยางเป็นจำนวนมาก โดย 1 ใน 3 ของยางที่ใช้จะมาจากยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ถูกลำไยนำไปใช้ในทางการค้าได้จาก "ต้นยางพารา" ซึ่งมีชื่อเรียกทางพฤกษศาสตร์ว่า *Hevea brasiliensis* ถิ่นกำเนิดของยางอยู่ในทวีปอเมริกาใต้ โดยได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตยางธรรมชาติรายใหญ่ที่สุดในโลกโดยทำการผลิตยางธรรมชาติในรูปแบบต่างๆ เช่น ยางดิบแห้ง ซึ่งได้แก่ ยางแผ่นรมควัน (Ribb Smoked Sheet) ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air Dried Sheet) ยางแท่งเอสทีอาร์ (Standard Thai Rubber, STR) ยางเครพ (Crepe) และยางskim (Skim) ยางเหลว ซึ่งได้แก่ น้ำยางข้น (Concentrated Latex) และน้ำยางคงรูป (Prevulcanized Rubber)

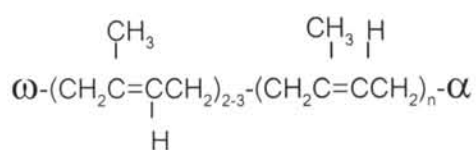
ยางพาราจัดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยรองจากข้าว ผลผลิตส่วนใหญ่ส่งไปจำหน่ายยังต่างประเทศ ประเทศไทยมีการปลูกยางกันมากทางภาคใต้ และภาคตะวันออก เมื่อต้นยางโตเต็มที่แล้ว (อายุประมาณ 6 ปี) ชาวสวนจะเริ่มเก็บน้ำยางโดยการกรีดเปลือก (tapping) ของลำต้นให้น้ำยางไหลซึมออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และน้ำยางที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นยางดิบแห้ง หรือน้ำยางข้น จากนั้นจึงนำยางดิบเหล่านี้ไปป้อนให้โรงงานแปรรูปยางเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ เช่น ยางรถยนต์ ยางล้อเครื่องบิน ยางรัดของ ท่อยาง เบาะที่นอน ฟองน้ำ รองเท้ายาง ถุงยางอนามัย และลูกโป่ง เป็นต้น ทั้งนี้เพราะยางมีสมบัติจำเพาะแตกต่างจากวัสดุอื่นๆ คือ มีความยืดหยุ่นดี เมื่อดึงจะยืดออกและหดกลับได้ทันทีเมื่อปล่อยมือ นอกจากนี้ ยังมีเนื้อที่บวมสามารถกักน้ำและไม่ให้อากาศผ่านได้โดยง่าย อีกทั้งไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้น ยางจึงเป็นวัสดุที่มีประโยชน์ และมีคุณค่าอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.1 น้ำยางที่ได้จากการกรีดต้นยางพารา

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน (polyisoprene, $(C_5H_8)_n$) ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง (head to tail) โครงสร้างหลักของยางธรรมชาติประกอบไปด้วยหมู่ทรานไอโซพรีน 2 หมู่ และที่เหลือเป็นซิสไอโซพรีน ดังนั้น โครงสร้างยางธรรมชาติจึงเป็นดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ

โดย ω และ α เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ปลายโมเลกุลที่มีสมมติฐานว่าเป็นโปรตีนและกรดไขมันตามลำดับ

2.1.3 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex)

เมื่อกรีดผ่านเปลือกของต้นยางด้วยมีดชนิดพิเศษ ให้เอียงลงจากซ้ายไปขวาประมาณ 20 – 30 องศา กับแนวนอน จะมีของเหลว (น้ำยาง) สีขาวขุ่นคล้ายนม หรือสีครีมเข้มออกมา มีกลิ่นหอมเล็กน้อย และมีความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มี pH ประมาณ 6.50 – 7.0 ความหนืดมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ และส่วนประกอบของน้ำยางอาจ

เปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง เป็นต้น มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลม หรือ รูปลูกแพร์ เมื่อนำน้ำยางที่กรีดยังได้ไปตรวจสอบจะพบว่า มีอนุภาคขนาดต่างๆ แขนงลอยหรือกระจาย (disperse) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (dispersion medium) อนุภาคเหล่านี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 5 ไมครอน และมีประจุเป็นลบซึ่งผลึกกันตลอดเวลา จึงทำให้อนุภาคเหล่านี้แขวนลอย และคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ จนกว่าจะมีปัจจัยอื่นๆ มารบกวนจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง และสารตัวกลางนี้โดยทั่วไปเรียกว่า "เซรัม" (serum)

น้ำยางจัดเป็นสารคอลลอยด์ (Colloidal solution) ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol: สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป คือ น้ำยางมีลักษณะกึ่งชอบน้ำ (hydrophilic: เป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic: เป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่ลักษณะไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่า นอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และอนุมูลของโลหะ เป็นต้น

1. ส่วนประกอบของน้ำยาง [2]

สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65 เปอร์เซ็นต์ (ส่วนที่เป็นน้ำ 55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนของลูทอยด์ และสารอื่น 10 เปอร์เซ็นต์)

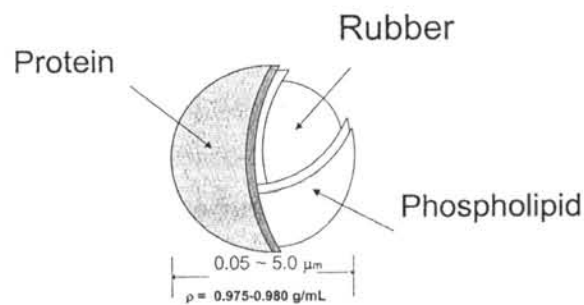
ปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติอาจเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 25 – 45 % ขึ้นกับชนิดของพันธุ์ยาง อายุต้นยาง และฤดูกาล สำหรับสารพวกโปรตีน ประมาณครึ่งหนึ่งละลายอยู่ในสารที่เป็นน้ำ อีกหนึ่งในสี่ถูกดูดซับอยู่รอบๆ อนุภาคยางและที่เหลือปะปนอยู่ในลูทอยด์ ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางแสดงตามตารางที่ 2.1

1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (Dry Rubber Content, DRC)

อนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทซิสพอลิไอโซพรีน (cis-polyisoprene) เป็นสารไม่ละลายน้ำและเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ในสภาพน้ำยางสดผิวรอบอนุภาคถูกห่อหุ้มด้วยไขมันพวกฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) และโปรตีน โดยฟอสโฟไลปิดจะเป็นตัวยึดระหว่างไฮโดรคาร์บอนกับสารโปรตีน ดังรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [3]

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำในปริมาณที่รวมกับสารอื่นแล้วเป็น	100



Surface protein and fats make rubber particles suspend in liquid form.

รูปที่ 2.3 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยาง [4]

ส่วนประกอบ	(%) โดยน้ำหนัก
ยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ (กระจายอยู่ในไฮโดรคาร์บอน)	10
สารพวกไขมัน	3
สารพวกโปรตีน	1

ส่วนของเนื้อเยื่อประกอบด้วยยางไฮโดรคาร์บอน น้ำ ไขมัน และโปรตีน ดังตารางที่ 2.2 นอกจากสารดังกล่าวแล้ว อาจมีอนุมูลของโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดง ประมาณ 0.05% โดยน้ำหนัก ปนอยู่ในส่วนของเนื้อเยื่อ

1.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non Rubber Content, NRC)

ก. ส่วนที่เป็นของเหลวของน้ำยาง หรือเรียกว่าซีรัม (Serum) มีความหนาแน่น 1.02 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ประกอบด้วยสารเคมีต่างๆ ดังนี้ [5]

- คาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่เป็นประเภท แอล-เมทิลลิโนซิทอล (l-methylinositol) หรือเรียกกันว่า ควีบราซิทอล (Quebrachitol) มีอยู่ประมาณ 1% โดยน้ำหนักของน้ำยางและและยังมีคาร์โบไฮเดรตอื่นๆ บ้างเล็กน้อย ได้แก่ กลูโคส ซูโครส กาแลคโตส ฟรุคโตส เป็นต้น คาร์โบไฮเดรตเหล่านี้มีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อน้ำยาง กล่าวคือ หากมีการรักษาสภาพน้ำยางไม่เพียงพอ จุลินทรีย์จะเปลี่ยนคาร์โบไฮเดรตไปเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดฟอร์มิก อะซิติกและโพรพิโอนิก กรดเหล่านี้มีผลทำให้น้ำยางเสียสถานะและจับตัวเป็นก้อนได้

- โปรตีนและกรดอะมิโน โปรตีนที่สำคัญ ได้แก่ อัลฟา-โกลบูลิน (α -globulin) และฮีวิน (Hevein) อัลฟา-โกลบูลิน เป็นโปรตีนชนิดหนึ่งที่มีมากในส่วนของเหลวของน้ำยางสดมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 200,000 มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายของเกลือ กรดและด่าง การเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางธรรมชาติจะเพิ่มการเคลื่อนไหวของ อัลฟา-โกลบูลิน และอนุภาคยางซึ่งเป็นการช่วยรักษาสภาพน้ำยางได้ ฮีวินเป็นโปรตีนชนิดที่เป็นผลึก มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 ละลายได้ดีในน้ำไม่ตกตะกอนด้วยความร้อนและไม่ค่อยมีผลกระทบต่อสภาพเป็นสารแขวนลอยของน้ำยาง นอกจากโปรตีนทั้งสองชนิดแล้ว ในซีรัมยังมีโปรตีนชนิดอื่นๆ โปรตีนเหล่านี้อาจมีผลต่อสภาพเป็นสารแขวนลอยของน้ำยาง ทั้งนี้เพราะโปรตีนดังกล่าวมีประจุบวกที่ pH ที่เป็นกลางหรือค่อนข้างเป็นด่าง สำหรับกรดอะมิโนอิสระมีอยู่ในซีรัมประมาณ 0.1% โดยน้ำหนักของน้ำยางซึ่งยังไม่แน่ชัดว่ากรดอะมิโนเหล่านี้มีมาแต่เดิมหรือมาจากการสลายตัวของโปรตีน กรดอะมิโนที่สำคัญได้แก่ กรดกลูตามิก (Glutamic acid) อะลานีน (Alanine) และกรดแอสปาร์ติก (Aspartic acid) ในน้ำยางที่ใส่แอมโมเนียโปรตีนจะสลายตัวด้วยน้ำอย่างช้าๆ ได้พอลิเปปไทด์ (Polypeptide) กับกรดอะมิโน

- ส่วนอื่นๆ ได้แก่ สารพวกที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจนอิสระ เช่น โคลีน (Choline) และเมทิลเอมีน (Methyl amine) กรดอินทรีย์ (ที่ไม่ใช่กรดอะมิโน) แอนไอออนของสารอิทรีย์

(โดยเฉพาะพวกฟอสเฟสเฟตและคาร์บอเนต) และโลหะไอออน (รวมทั้งพวกโปแตสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก โซเดียม และทองแดง) สารประกอบไฮโดรโซยาไนต์อิสระ (RCN) สารประกอบพวกไทออล (Thiol) และน้ำย่อยหลายชนิด

ข. ส่วนลูทอยด์ (Lutoid) และสารอื่นๆ

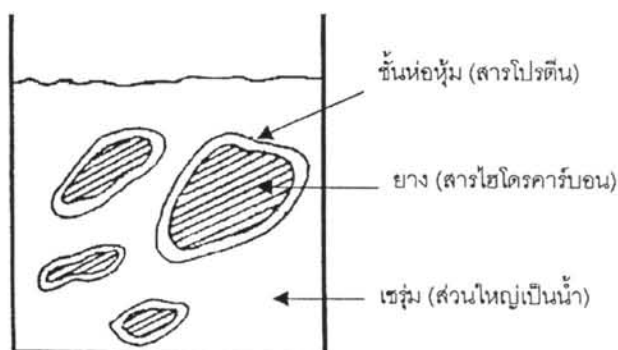
เมื่อปั่นน้ำยางสดที่ความเร็วต่ำ พบว่า น้ำยางแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่อยู่ชั้นบนมีสีขาว ประกอบด้วยอนุภาคยางเป็นส่วนมากและส่วนที่อยู่ชั้นล่างมีสีเหลือง ซึ่งมีประมาณ 20-30 % ของปริมาณทั้งหมด ส่วนชั้นล่างเป็นอนุภาคที่ไม่ค่อยเกาะตัวกันแน่น มีความแตกต่างจากอนุภาคของยาง เรียกว่า ลูทอยด์

ลูทอยด์มีลักษณะเป็นทรงกลมมีเยื่อบางหุ้มอยู่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-5 ไมโครเมตร ภายในเยื่อบางของลูทอยด์ประกอบด้วยของเหลว เรียกว่า ซีรัมบี (B-serum) มี pH ประมาณ 5.5 เป็นสารละลายของกรด กลีเซอรัล โปรตีน น้ำตาล และพอลิฟีนอลออกซิเดส (Polyphenol oxidase) ซึ่งพอลิฟีนอลออกซิเดสทำให้น้ำยางมีสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศหรือออกซิเจน ลูทอยด์ในน้ำยางมีอิทธิพลต่อความหนืดและสภาพการเป็นสารแขวนลอยในน้ำยางสด เนื่องจากลูทอยด์มีสมบัติที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางจึงมีผลให้ลูทอยด์เกิดการบวมและแตกออก คือขณะที่น้ำยางไหลออกจากต้นยาง ลูทอยด์จะเกิดการเสียดสีกันเองมีผลทำให้ลูทอยด์แตกออกได้ ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดมากขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

นอกจากนี้ในชั้นของลูทอยด์ ยังมีสารอีกจำพวกหนึ่งที่เรียกว่า อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey Wyssling) อนุภาคนี้มีลักษณะกลมอยู่กันเป็นกลุ่ม มีสีเหลืองจัด ไม่ใช่เป็นส่วนของเนื้อยางมีขนาดและความหนาแน่นมากกว่าอนุภาคยางเล็กน้อย อนุภาคเฟรย์-วิสลิงมีสีเหลืองเนื่องจากสารคาโรทีนอยด์ อนุภาคเฟรย์-วิสลิงประกอบด้วยไขมันและคาโรทีนอยด์

2. การรักษาสภาพของน้ำยาง

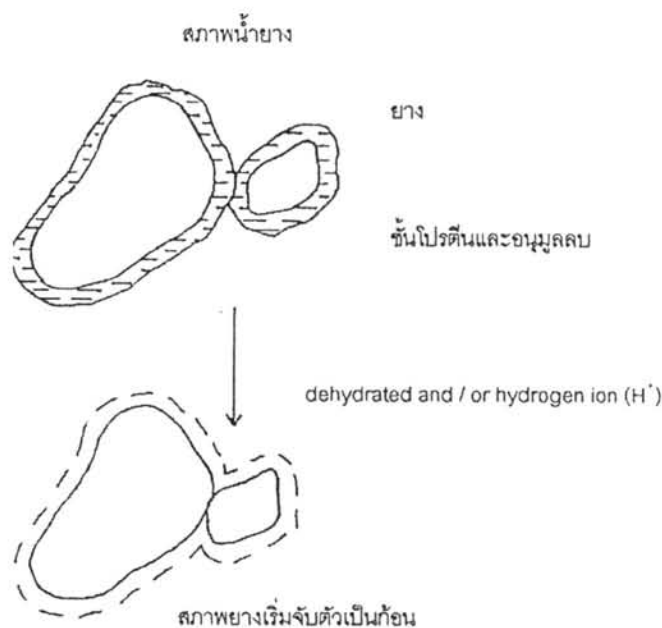
น้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง แขนงลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรัม (Serum) ในน้ำยางมีส่วนของสารโปรตีน ส่วนหนึ่งของสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยาง เปลือก ห่อหุ้มอนุภาคไว้ ดังรูปที่ 2.4 ชั้นห่อหุ้มนี้ มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัว เพราะชั้นโปรตีนนี้ป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมกัน



รูปที่ 2.4 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด [3]

นอกจากนั้นชั้นโปรตีนจะห่อหุ้มทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้วในชั้นโปรตีนยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต (carboxylate, RCOO^-) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือน้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต

การเสถียรภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกับจับเป็นก้อนยาง เรียกว่า โคแอกกูลัม (coagulum) แยกจากส่วนของเซรุ่ม ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 น้ำยางเสถียรภาพจับเป็นก้อนยาง [3]

3. สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง

- 3.1 มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำยาง เรียกว่า สารฆ่าแบคทีเรีย
- 3.2 เป็นสารที่เพิ่มเสถียรภาพของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยาง และน้ำที่อยู่รอบๆผิวอนุภาคยาง ซึ่งผิวของอนุภาคยางมีประจุเป็นประจุลบ และมีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้น สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่างหรือ เป็นพวกสารเสถียร
- 3.3 เป็นสารซึ่งสามารถทำให้อนุมูลของโลหะหนักไม่ไวต่อปฏิกิริยา หรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เช่น อนุมูลของโลหะแคลเซียม หรือ แมกนีเซียม เป็นต้น
- 3.4 มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่
- 3.5 ต้องมีสมบัติไม่ทำให้คุณภาพของยางเปลี่ยน เช่น สียางเปลี่ยนไป
- 3.6 ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กลิ่นไม่รุนแรงจนเกินไป สะดวก และปลอดภัยในการเก็บรักษา และการขนส่ง
- 3.7 ราคาถูก

4. ชนิดของสารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ

4.1 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะสั้น

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเป็นเพียง 2-3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางมาแปรรูปเป็นยางแท่ง หรือน้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางชนิดนี้ เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ โพร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น

4.2 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลว ไม่ให้เกิดการบูดเน่า หรือ มีกลิ่นเหม็น น้ำยางอาจต้องถูกลำเลียงไปในระยะทางไกลๆ เช่น ส่งออก

ต่างประเทศ หรือ น้ำยางที่เก็บไว้ในคลังเก็บสินค้าก่อนนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ สารเคมีที่ใช้เก็บรักษา น้ำยางชนิดนี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น สารเคมีที่ใช้ร่วมกันนี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยางทุติยภูมิ (Secondary Preservative) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ โซเดียมเพนตะคลอโรโรฟิเนต เป็นต้น

5. การเสถียรภาพของน้ำยาง (destability) [6]

น้ำยางเมื่อเกิดการเสถียรภาพจะทำให้เกิดการจับตัว และแยกตัวออกจากน้ำ ลักษณะของการเสถียรภาพของน้ำยางที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

5.1 เกิดการรวมตัวของอนุภาคของยางอย่างรวดเร็วแล้วแยกตัวออกจากน้ำที่เป็นเซรัม ที่มีลักษณะใส ซึ่งเรียกว่า โคแอกูเลชัน (coagulation) ตัวอย่างเช่น การจับตัวของน้ำยางด้วยกรดแก่ของการทำยางแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ

5.2 การเกิดการจับตัวของน้ำยางในลักษณะที่น้ำยางเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นของแข็งอย่างช้าๆ และได้ของแข็งที่มีปริมาตรเท่าเดิม ลักษณะของยางที่เป็นแบบเจล (gel) ซึ่งเราเรียกว่า เจลเลชัน (gelation) ปรากฏการณ์ที่ตามมาจากการจับตัวด้วยวิธีนี้คือ การหดตัวของยางที่บีบเอาเซรัมออกจากยางซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าซินเอร์ซิส (syneresis) ทำให้น้ำที่ได้หดตัวลงได้ ตัวอย่างการจับตัวแบบนี้คือ กระบวนการทำฟองน้ำแบบเจล ซึ่งการทำผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (dipping) ซึ่งจะเห็นว่าฟองน้ำที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าเบ้าพิมพ์เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่อยู่ในยาง

5.3 การเกิดการจับตัวของอนุภาคยางที่เป็นเม็ดเล็กๆ ที่ยังกระจายอยู่ในน้ำเซรัมที่ขุ่นแบบ milky solution ซึ่งเราเรียกการจับตัวของยางแบบนี้ว่า ฟลอคคูเลชัน (flocculation) เนื่องจากการจับตัวแบบนี้ได้ยางที่จับเป็นลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ดังนั้นบางครั้งเราก็เรียกการจับตัวของยางแบบนี้ว่า micro coagulation

6. สาเหตุที่ทำให้น้ำยางเกิดการเสถียรภาพเกิดขึ้นได้ 2 สาเหตุใหญ่ๆ

6.1 เกิดเนื่องจากผลทางกายภาพ ซึ่งสาเหตุนี้อาจเกิดเนื่องจาก

ก. สภาพอากาศ

- ความเย็น ปกติความเย็นจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในกรณีอากาศเย็นมากๆ (สาเหตุนี้ในเมืองไทยไม่มี) อย่างในเขตอบอุ่น เมื่อน้ำยางถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำจะทำให้น้ำจับตัวเป็นน้ำแข็ง แยกตัวออกจากอนุภาคของยาง ทำให้อนุภาคของยางถูกผลักดันให้รวมตัวกระจายอยู่ในปริมาณของน้ำที่น้อยลงจะทำให้การกระทบกันของอนุภาคยางมีมากขึ้นเป็นผลให้ยางรวมตัวเป็นก้อนได้

- ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของยางสูงขึ้นซึ่งอุณหภูมิของยางสูงขึ้นไม่เป็นผลต่อเสถียรภาพของน้ำยาง จนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำ หรือในกรณีที่มีสารพวก Non-ionic stabilizer ซึ่งเมื่ออุณหภูมิถึงจุด cloud point จะทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพได้

ข. ผลจากการกระทบกันทางกล

การเกิดแรงเฉือน (Shear stress) รวมทั้งการปั่นป่วน เป็นผลทำให้เกิดการกระทบกันของอนุภาคยาง เมื่อบ่อยๆ เข้าจะทำให้แรงในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นในอนุภาคยางเรื่อยๆ จนทำให้เกิดเสถียรภาพขึ้น

ค. การระเหยน้ำ

การระเหยน้ำออกไม่เป็นผลทำให้อนุภาคของยางเสียเสถียรภาพโดยตรง แต่การระเหยน้ำออกมากจนทำให้อนุภาคของยางถูกอัดอยู่ในน้ำที่มีปริมาณน้อย ระยะห่างระหว่างอนุภาคของยางมีน้อยมากจนทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคยางขึ้น แยกแผ่นหรือชั้นของยางออกจากน้ำ

ง. อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า

เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบบรรอบตัวของมัน ถ้าเอาขั้วบวกใส่เข้าไปในน้ำยาง อนุภาคยางจะวิ่งเข้าไปหาขั้วไฟฟ้าบวก ถ้ายประจุแล้วให้ตัวเองเป็นกลางทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำยางได้

6.2 สาเหตุจากสารเคมี

สารเคมีที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางจับตัว แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

ก. สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบๆ อนุภาคยาง เช่น การเติมสารเคมีชนิดที่เป็นกรดลงในน้ำยาง สารเคมีกลุ่มนี้แบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

- กรดแก่ ได้แก่ สารใดๆ ที่แตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคคาร์บอกซิเลตที่มีอยู่รอบๆ น้ำยาง มีผลทำให้เกิดเป็นกรดไขมัน ซึ่งไม่ละลายน้ำเป็นผลให้ชั้นของอนุภาคประจุที่อยู่รอบๆ อนุภาคของยางแฟบลง เกิดการจับตัวของอนุภาคของยางเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว



ในกรณีของน้ำยางที่มีประจุบวก การเติมกรดลงไปเป็นการเสริมสภาพของเสถียรภาพให้กับน้ำยาง ในกรณีนี้จะใช้เติมสารพวกที่เป็นด่างลงในน้ำยางช่วยในการจับตัวของน้ำยาง เช่น กรณีการจับตัวของน้ำยางด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางสังเคราะห์

- อนุมูลโลหะ มักจะทำให้น้ำยางที่มีประจุลบเสียเสถียรภาพได้ อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา 2 แบบ คือ หนึ่งเกิดจากอนุมูลโลหะกับอนุภาคคาร์บอกซิเลต ทำให้เกิดเป็นสบู่ของโลหะหนัก (Metallic soaps) ไม่ละลายน้ำ และไม่เกิดการไอออไนซ์ (ionize) ซึ่งได้โลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ และอาจเกิดตะกอนในน้ำได้



ทั้ง 2 ปฏิกิริยา มีผลทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพได้ ปฏิกิริยาแรกมีผลทำให้ชั้นของประจุรอบๆ อนุภาคยางเสียไป อีกปฏิกิริยาหนึ่งดูดเอาสารรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง (Stabilizer) ตกตะกอนลงมาและยังทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมกันของอนุภาคยางกับโลหะได้อีกด้วย

ข. สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวที่ไวต่อความร้อน สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวเมื่อถูกความร้อน เป็นสารที่ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำยางจับตัวอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่อุณหภูมิเริ่มถึงจุดที่ยางจับตัว สารเคมีในกลุ่มนี้จะมีผลทำให้น้ำยางจับตัวแบบเจล (gelation) เพราะว่าการรวมตัวกระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอ ทั้งทั้งหมดของน้ำยาง และการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปทีละน้อย

ค. สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวอย่างช้าๆ สารเคมีนี้เป็นสารที่เมื่อเติมลงไปใต้น้ำยางแล้วจะค่อยๆ เกิดปฏิกิริยาและมีผลทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพไปอย่างช้าๆ และรวมตัวกันเป็นแบบเจล สารเคมีที่นิยมใช้ในระบบนี้มี

- เกลือของกรดไฮโดรฟลูออโรซิลิสิกแอซิด (Salts of hydrofluorosilicic acid)
- เกลือของกรดฟลูออโรอื่นๆ (Salts of fluoro acids)
- และสารอื่นๆ ที่เกิดปฏิกิริยาช้าๆ ได้

2.2 น้ำยางข้น [6]

2.2.1 การผลิตน้ำยางข้น

ปกติน้ำยางที่มากสวน จะมีปริมาณยางแห้งเพียง 25-45 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำและมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางบ้าง ฉะนั้นหากต้องการนำน้ำยางไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลสวนยางหรือจากแหล่งยางธรรมชาติ จึงเป็นการไม่สะดวก นอกจากนั้นสารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยาง ยังอาจมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีคุณภาพไม่ดี ด้วยเหตุผลเหล่านี้คือที่มาของการทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางที่มีความข้นคือมีปริมาณน้ำยางแห้งเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

วิธีการผลิตน้ำยางข้นที่ทำกันในเชิงการค้ามี 3 วิธีคือ วิธีระเหยน้ำ วิธีทำให้เกิดครีม วิธีปั่น และอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถทำการค้าได้เพราะไม่สะดวกและลงทุนสูง คือการใช้กระแสไฟฟ้าแยกสำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว รายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

1. วิธีการระเหยน้ำ

น้ำยางสดจากสวนก่อนการทำให้ข้นโดยวิธีการระเหยน้ำจะต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางคงตัว (stabilizers) เช่น potassium soap เสียก่อน การระเหยน้ำออกจากน้ำยางจะเกิดขึ้นภายในถัง หรือภาชนะที่หมุนได้รอบๆ แกน ตามแนวอนและดังนั้นถูกให้ความร้อนรอบๆ ถัง การระเหยน้ำจากน้ำยางจะทำให้ได้น้ำยางข้นซึ่งมีปริมาณเนื้อยาง 60% น้ำยางข้นที่ได้จากวิธีนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุ

สำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่พวกสารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตกาว (latex cement) น้ำยางนี้เหมาะหรือใช้ได้ผลดี กรณีต้องการนำไปทำกาว ประเภทที่ว่าสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำยางและความคงตัวของน้ำยางเป็นข้อได้เปรียบกับการทำกาวนั้นๆ

2. วิธีทำให้เกิดครีม

น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะสด หรือสถานะที่มีการใส่สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (preserved latex) ประกอบด้วยระบบของสารคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (Colloidal emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า serum อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรัมแสดงการเคลื่อนไหวแบบ Brownian (คือการเคลื่อนไหวทุกทิศทางอย่างไม่มีระเบียบ) และการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใส่สารเคมีรักษาสภาพ เนื่องจากอนุภาคของยางมีความหนาแน่นน้อยกว่า serum ดังนั้นอนุภาคยางเหล่านี้จึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้และตามกฎของ Stokes อาจคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางตามสูตรต่อไปนี้

$$V = \frac{2/9g(d-d_1)r^2}{m} \quad (2.1)$$

เมื่อ	V	=	อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง (มม./วินาที)
	g	=	ความเร่งเนื่องด้วยแรงดึงดูดของโลก (ซม./วินาที ²)
	d	=	ความหนาแน่นของซีรัม (1.021 กรัม/ซม. ³)
	d ₁	=	ความหนาแน่นของอนุภาคยาง (0.91 กรัม/ซม. ³)
	r	=	รัศมีของอนุภาค (เฉลี่ย 0.5 ไมครอน)
	m	=	ความหนืดของซีรัม (ประมาณ 0.02 พอยส์)

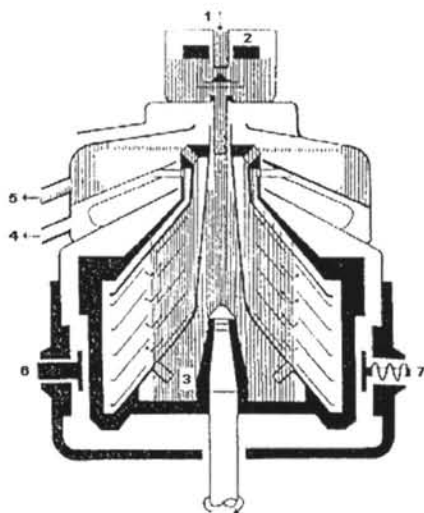
จากสูตรดังกล่าวอาจคำนวณได้ว่าอนุภาคยางเคลื่อนที่ได้ (ตามทฤษฎี) ประมาณเดือนละ 6 ซม. และเนื่องจากว่าความเร็วของเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับการกำลังสองของรัศมีของอนุภาค ดังนั้นการแยกตัวของอนุภาคเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ผิวหน้ายางจะรวดเร็วขึ้นถ้าอนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้นและอนุภาคยางจะใหญ่โตขึ้นได้เมื่อเติมสารคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง สารนี้จึงเรียกว่าเป็นตัวการทำให้เกิดครีม (creaming agent) ตัวอย่างสารพวกนี้ได้แก่ sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น อนึ่งการผลิตน้ำยางชั้นโดยวิธีนี้

ทำให้เกิดครีมขุ่นยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิธีนี้ คือสามารถทำให้น้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีนี้บริสุทธิ์และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดครีมซ้ำหลายๆ ครั้ง

3. วิธีการปั่น

เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ (Colloid system) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยาง (rubber particle)แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในซีรัม อนุภาคยางเหล่านี้เคลื่อนไหวแบบไร้ทิศทาง(Brownian movement) และเนื่องจากอนุภาคยางมีความหนาแน่นน้อยกว่าซีรัม ดังนั้นอนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2000 ถึง 3000 เท่าของแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น

เครื่องผลิตน้ำยางข้น ผลิตจำหน่ายโดยหลายบริษัทเช่นบริษัท Alfa-Laval ประเทศสวีเดน บริษัท Westfalia Separatro Co., ประเทศเยอรมัน และอีกสองบริษัทในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น รูปที่ 2.6 แสดงถึงลักษณะหน้าตัดภายในของถังปั่นแบบ Alfa-Laval



รูป 2.6 ภาพหน้าตัดตามยาวของเครื่องปั่นน้ำยางข้น

น้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วง (gravity) ไปที่จุดกลางของถังปั่นและแรงปั่นของเครื่องจะปั่น

ให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดจานแยก (3) จากนั้นน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีน้ำหนัก (heavy phase) คือหางน้ำยาง (skim) ไหลออกสู่อบถนอกของถังปั่นและไปตามทางด้านบนของถังผ่านสกรู ปรับสู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง (4) ส่วนของน้ำยาง (concentration or cream) ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนถึงเข้าสู่ที่เก็บ (5)

ปกติน้ำยางชั้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกตม (Sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง

4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

จากการที่ในสถานะของน้ำยาง อนุภาคแขวนลอยอยู่ในซีรัมต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซิเลทไอออน (carboxylate ion, RCO_2^-) ที่เป็นประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากส่วนของซีรัมได้ โดยการวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้ แล้วอนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนที่ไปรวมอยู่ทางขั้วบวกและลอยตัวขึ้นสู่วิเวณหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของซีรัม อย่างไรก็ตามวิธีการทำน้ำยางชั้นโดยใช้ไฟฟ้านี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นที่นิยม

2.2.2 การแยกตัวของน้ำยางเมื่อถูกปั่น

หากเข้าใจลักษณะของการแยกตัวขององค์ประกอบของน้ำยางสดเวลาถูกปั่นด้วยเครื่อง Centrifuging Machine แล้ว จะสามารถประมาณการ การใช้ น้ำยางสดและน้ำยางชั้นที่ได้ อย่างถูกต้อง น้ำยางสดเมื่อนำมาปั่น องค์ประกอบต่างๆ จะแยกตัวออกเป็น น้ำยางชั้น (Concentrate Latex) และหางน้ำยาง (Skim Latex) ดังตารางที่ 2.3

จากตารางนี้จะเห็นว่า น้ำยางสด 100 กรัม ซึ่งมี DRC 32.5 กรัม เมื่อนำไปปั่นจะได้ น้ำยางชั้น 60 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อยางแห้ง ออกมา 50 กรัม และได้หางน้ำยางซึ่งมีเนื้อยางปนอยู่ 5.0 เปอร์เซ็นต์ ออกมา 50 กรัมเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 2.3 การแยกตัวขององค์ประกอบของน้ำยางสดเมื่อถูกปั่น

องค์ประกอบ	น้ำยางสด (Field Latex)	น้ำยางข้น (concentrated Latex)	หางน้ำยาง (Skim Latex)
DRC	32.5 gm	30 gm 60%	2.5 gm 5.0%
TSC	36.0 gm	30.75 gm 61.50%	5.25 gm 10.50%
TSC-DRC	3.5 gm	0.75 gm 1.5%	2.75 gm 5.50%
VFA No	0.10	0.060	0.040
Mg ⁺⁺	200 ppm on Latex	120 ppm	80 ppm
Serum	64 gm	19.25 gm 38.50%	44.75 gm 89.50%
รวม	100 gm	50 gm 100%	50 gm 100 %

2.2.3 การรักษาสภาพน้ำยางข้น [7]

น้ำยางข้นที่ผลิตได้ต้องเติม หรือปรับแอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยาง วิธีรักษาน้ำยางข้นมี 2 วิธี

1. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก ประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อ น้ำหนักยาง เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า HA (high ammonia)
2. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียต่ำ ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง และมีสารบางชนิด TMTD/ZnO ในอัตราส่วน 0.025 เปอร์เซ็นต์ หรือ ZDEC 0.01 เปอร์เซ็นต์ จะเรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า LA (Low ammonia)

2.2.4 สมบัติน้ำยางข้น

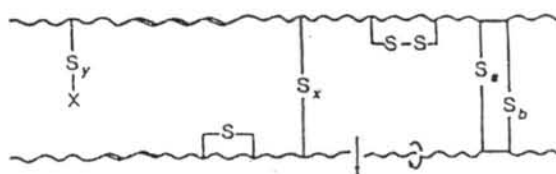
1. ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC)
2. ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)
3. สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity, %NH₃)
4. เวลาความคงตัวต่อเครื่องมือกล (Mechanical stability time, MST)
5. จำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA No.)

6. จำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide number, KOH No.)
7. ปริมาณก้อนยางจับตัว (Coagulum content)
8. ปริมาณตม (Sludge content)
9. กลิ่นและสี

2.3 วัลคาไนเซชัน (Vulcanization) [1]

วัลคาไนเซชัน คือ กระบวนการที่เปลี่ยนสภาพยางไม่คงตัวให้เป็นอย่างที่มีสภาพคงตัว โดยใช้สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) ในการทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลของยางตรงตำแหน่งที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา สารวัลคาไนซ์ที่สำคัญในธรรมชาติคือ ซัลเฟอร์ (ยางสังเคราะห์อาจจะใช้ซัลเฟอร์ หรือสารอื่นๆ ตามแต่ชนิดของสารนั้นๆ)

การเชื่อมขวางโมเลกุลด้วยพันธะเคมีระหว่าง C และ S อาจสามารถเกิดได้หลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเชื่อมขวางโมเลกุลของยางด้วยซัลเฟอร์

กระบวนการวัลคาไนเซชันที่ใช้ซัลเฟอร์และความร้อนเท่านั้นจะเกิดปฏิกิริยาช้ามาก ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องใช้ซัลเฟอร์ เป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่วนใหญ่จะสูญเปล่า เนื่องจากซัลเฟอร์จะมาเชื่อมต่อกันเองเป็นสายยาว (ทำให้ x, y, a และ b มีมากเกินไป) หรือออกมาอยู่ในรูปของซัลเฟอร์เสรีอยู่ในเนื้อยาง หรือซึมออกมาอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จึงต้องใช้ "สารเร่งวัลคาไนซ์" (Accelerator) ร่วมกับสารวัลคาไนซ์เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ โดยการทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยลดอุณหภูมิที่ใช้ลง ทำให้ลดการซึมของซัลเฟอร์มาบนผิวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังต้องมีการเติม "สารกระตุ้นวัลคาไนซ์" (Activator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งวัลคาไนซ์อีกด้วย

การเชื่อมขวางโมเลกุลทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการวัลคาไนซ์จะมีสมบัติเปลี่ยนไป เช่น ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่แข็งตัวเมื่อได้รับความเย็น ความสามารถในการละลายลดลงอาจมีแค่การบวมตัว (Swell) เท่านั้น ความทนแรงดึง (Tensile strength) ความแข็ง (Hardness) ความต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance) ความต้านทานการสึกกร่อน (Wear resistance) และการหักงอที่อุณหภูมิต่ำๆ (Low temperature flexibility) เพิ่มขึ้น แก๊สซึมผ่านได้น้อยลง และช่วงอุณหภูมิการทำงานกว้างขึ้น ถึงแม้ว่าการวัลคาไนซ์มีได้หลายวิธี แต่กระบวนการของก๊าดเฮียร์ ยังเป็นที่นิยมใช้มากที่สุดในภาคอุตสาหกรรม

2.4 น้ำยางวัลคาไนซ์ (Vulcanized Latex)

2.3.1 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Latex) [6]

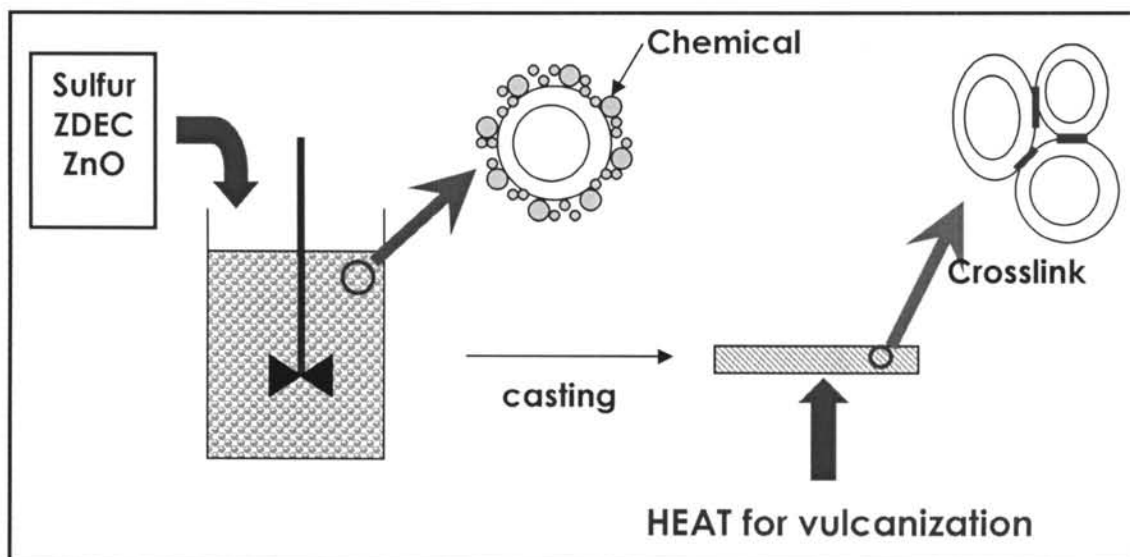
น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หมายถึง น้ำยางที่โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมขวาง (Crosslinked) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมสารเคมีที่จำเป็นแล้ว แสดงแบบจำลองไว้ดังรูปที่ 2.8

น้ำยางผสมสารเคมี (Compound Latex) หมายถึง น้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีต่างๆ แล้ว และส่วนใหญ่จะมีสารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator) พวก Dithiocabamate อยู่ด้วย โดยปกติจะทำการผสมสารเคมีกับน้ำยางแล้วบ่ม หรือเก็บไว้ (Muration) ก่อนนำไปทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำยางที่ผสมสารเคมีส่วนใหญ่จะผสมสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ไว้ด้วย ดังนั้นขณะบ่ม หรือ เก็บน้ำยางจึงอาจเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์บางส่วน ทำให้โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมขวางได้ ซึ่งการที่ยางจะคงรูปมาก หรือ น้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับภาวะในการเก็บน้ำยางและความว่องไวของสารช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์

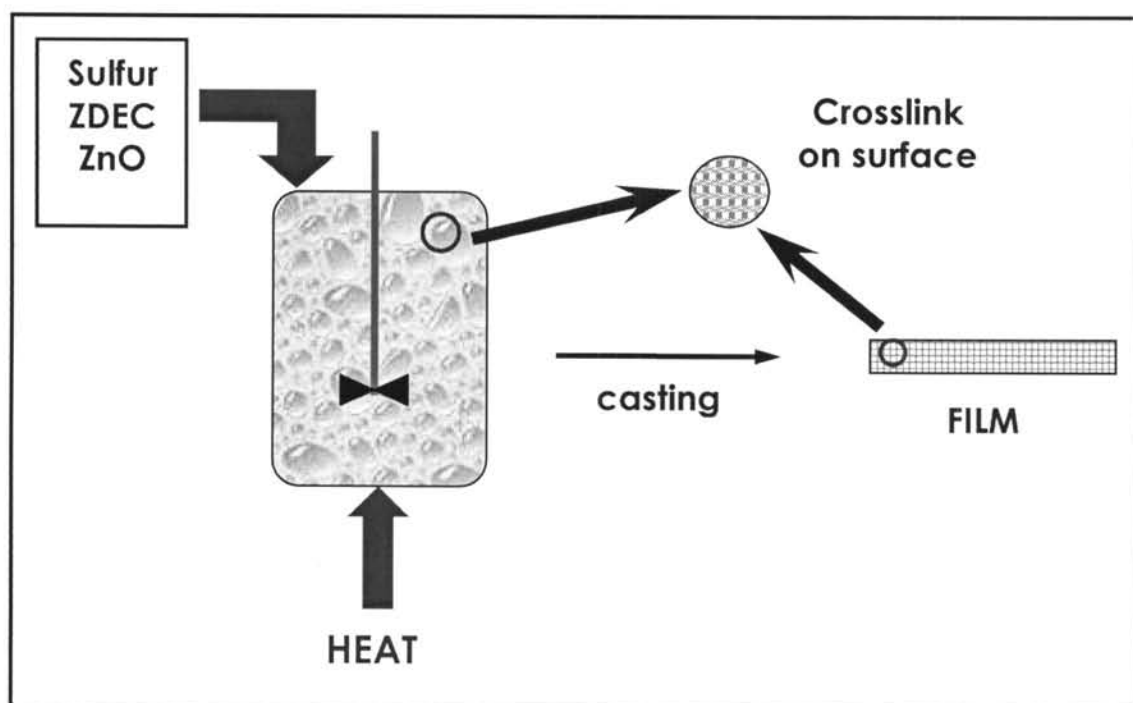
2.3.2 น้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ (Free vulcanized Latex)

น้ำยางคงรูปอิสระ หรือน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ หมายถึง น้ำยางที่มีการเชื่อมขวางที่ผิวของอนุภาคของยางอยู่เป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมกับสารเคมีในระบบการวัลคาไนซ์แล้วควนผสมที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์ที่สมบูรณ์ ภายใต้การทำปฏิกิริยาในระบบปิด เพื่อป้องกันการเกิดโคแอกูเลชัน อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนในขณะที่ควน

น้ำยางผสมกับสารเคมี ซึ่งน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระนี้สามารถนำไปใช้งานได้เช่นเดียวกับน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ซึ่งแสดงแบบจำลองไว้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แบบจำลองการผลิตและการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์



รูปที่ 2.9 แบบจำลองการผลิตและการเกิดปฏิกิริยาของน้ำยางวัลคาไนซ์อิสระ

2.5 การผลิตน้ำยางคงรูปและสารเคมีสำหรับการเตรียมน้ำยางคงรูป

วิธีการผลิตน้ำยางคงรูปมีหลักการที่สำคัญคือ ผสมสารเคมีที่จำเป็นในการเกิดยางคงรูป ซึ่งได้แก่ สารในระบบให้เกิดยางคงรูป (vulcanizing system = sulfur + accelerator + activator) กับน้ำยางที่ได้ผ่านการเติมสารช่วยความคงตัวที่เป็นของเหลว แล้วให้ความร้อนประมาณ 50 – 70 องศาเซลเซียส หรืออาจทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้สารซัลเฟอร์ คือ เป็นระบบ "sulfurless" หรืออาจทำน้ำยางคงรูปที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 28 – 30 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเร่งยางคงรูประบบที่ว่องไวมากเช่น sodium or zinc salt of dibutyldithiocarbamates นอกจากนี้ น้ำยางคงรูปยังอาจทำได้โดยให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารอินทรีย์เปอร์ออกไซด์ และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ เช่น คิวมิวไฮโดรเปอร์ออกไซด์

2.5.1 สารเคมีที่ใช้ผสมกับน้ำยางเพิ่มความคงตัว [7, 8]

เป็นสารที่รักษาความคงตัวของน้ำยาง ช่วยให้เติมสารอื่นๆ และดำเนินกระบวนการผลิตได้ ความคงตัวของน้ำยางขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชั้นของน้ำยางที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และประจุไฟฟ้าบนอนุภาคยาง ในน้ำยางธรรมชาติจะใช้ แอมโมเนียมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารรักษาประจุไฟฟ้าบนอนุภาคยาง สารเพิ่มความคงตัวสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท ดังนี้

1. ประเภทมีประจุไฟฟ้าลบ

สารพวกนี้จะช่วยเพิ่มประจุไฟฟ้าลบ ช่วยผลัดประจุ และพลังงานระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำ สารที่เพิ่มประจุลบบนอนุภาคยาง ได้แก่ พวกสบู่ของกรดไขมัน เช่นโปแตสเซียมโอเลเอต แอมโมเนียมลอรเรต นอกจากนี้ยังมีพวกซัลเฟต และซัลโฟเนตของสารอินทรีย์ ตัวอย่างการแตกตัวของโปแตสเซียมโอเลเอต



โดยโปแตสเซียมโอเลเอตจะแตกตัวให้ทั้งประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ แต่เนื่องจากอนุมูล Ole^- เป็นสารไฮโดรคาร์บอนจะชอบอนุภาคยางซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนด้วยกัน ดังนั้น จะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคยาง ทำให้มีประจุลบมากขึ้น

2. ประเภทที่มีประจุไฟฟ้าบวก

สารพวกนี้จะช่วยเพิ่มประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากอนุภาคของแอมโมเนีย สารพวกนี้จะไม่ค่อยได้รับผลกระทบเนื่องจากอนุภาคของโลหะหนัก บางครั้งเมื่อใช้กับน้ำยางธรรมชาติจะเป็นสารลดความคงตัว ทั้งนี้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางมีความคงตัวมากเกินไป

3. ประเภทไม่มีประจุไฟฟ้า

เป็นสารที่ช่วยห่อหุ้มอนุภาคของน้ำยาง โดยทั่วไปจะมีสภาพเป็นกลาง การทำหน้าที่ไม่ขึ้นกับความเป็นกรด-เบสของน้ำยาง ดังนั้น แม้ว่า pH ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลง แต่น้ำยางจะคงตัวเสมอ

4. ประเภทที่มีทั้งประจุบวก และประจุลบ

เป็นสารที่อาจจะแสดงอนุภาคบวก หรือลบก็ได้ขึ้นอยู่กับสถานะของความเป็นกรด-เบส ของตัวกลาง สำหรับน้ำยางธรรมชาติ ได้แก่ พวกโปรตีน ที่นิยมใช้มาก ได้แก่ พวก Caseine Ammonium Casenate เป็นต้น

2.5.2 สารในระบบการคงรูป (vulcaning system)

1. สารที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)

1.1 ซัลเฟอร์

ซัลเฟอร์เป็นสารวัลคาไนซ์ ที่ใช้กันทั่วไปทั้งกับยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์ และต้องเป็นชนิดคุณภาพดี เนื้อละเอียดขนาดอนุภาคเล็ก ปริมาณการใช้ 0.5-2 ส่วน ต่อเนื้อยาง 100 ส่วน โดยเตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน

1.2 สารที่ให้ซัลเฟอร์

นอกจากจะใช้ซัลเฟอร์เป็นสารวัลคาไนซ์โดยตรงแล้ว ยังอาจใช้สารที่สลายตัวให้ซัลเฟอร์ (Sulfur donor) ที่อุณหภูมิของการวัลคาไนซ์ได้อีกด้วย สารเร่งวัลคาไนซ์หลายชนิดและสารประกอบที่คล้ายๆ กัน สามารถเป็นแหล่งให้ซัลเฟอร์ได้ บางครั้งอาจใช้สารให้ซัลเฟอร์ 3-4 phr ร่วมกับซัลเฟอร์ธรรมดาไม่น้อยกว่า 1 phr และบางที่ไม่ใช้ซัลเฟอร์เลยก็ได้ ตัวอย่างสารเคมีที่ให้ซัลเฟอร์และเปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์ที่ให้ออกมาดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสารเคมีที่ให้ซัลเฟอร์ (Sulfur donor)

สารที่ให้ซัลเฟอร์	เปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์ที่ให้ออกมา	
	จากการคำนวณ	จากการทดลอง
Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD)	13.3	13
Tetramethyl thiuramtetrasulphide	31.6	32
Dipentamethylene thiuramtetrasulphide	25.0	25
2(Morpholiniothio) benzothiazole	11.3	-
Dimorpholinylidysulphide	31.4	26.29
Dibutyl xanthogendisulphide	21.4	-
Dilisopropyl Xanthogendisulphide	26.9	-
Alkylphenolpolysulphide	-	23, 28

สารประกอบที่ใช้จะสลายตัวให้อนุมูลเสรีที่อุณหภูมิของการวัลคาไนซ์ และรวมตัวกับโมเลกุลของยางทำให้เกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลขึ้น ถึงแม้สารเคมีเหล่านี้จะให้ซัลเฟอร์ออกมาไม่มาก แต่ซัลเฟอร์ที่ออกมานี้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมขวาง (Crosslink) มาก โดยมีซัลเฟอร์ต่อกันเพียง 1 หรือ 2 อะตอม (mono หรือ disulfidic crosslink) และไม่มีซัลเฟอร์มาต่อกันเป็นวง จึงทำให้ผลิตภัณฑ์มีความต้านทานต่อความร้อนและมีค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัว (compression set) ต่ำกว่ายางที่มีการวัลคาไนซ์แบบ polysulfidic crosslink ในระบบการวัลคาไนซ์ปกติ แต่ยางที่มีการเชื่อมขวางแบบ polysulfidic crosslink จะมีสมบัติต้านทานการสึกหรอและการหักงอที่ต่ำกว่า ดังนั้นการแก้ไขเพื่อให้ยางมีสมบัติดี จึงควรใช้สารที่ให้ซัลเฟอร์ร่วมกับการใช้ซัลเฟอร์

สารให้ซัลเฟอร์มีราคาแพงกว่าซัลเฟอร์ธรรมดา แต่มีข้อดีคือ ลดการตกผลึกที่ผิวของยางซึ่งเกิดจากการใช้ซัลเฟอร์ธรรมดาและช่วยให้เกิดความปลอดภัยในกระบวนการผลิต คือไม่เกิดการสุกก่อนกำหนด การคงรูปเกิดซ้ำกว่าการใช้ซัลเฟอร์ธรรมดา เนื่องจากการวัลคาไนซ์จะยังไม่เกิดจนกว่าซัลเฟอร์จะถูกปล่อยออกมา นอกจากนั้นสารที่เหลือหลังจากให้ซัลเฟอร์ออกมาแล้ว อาจจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง หรือสารกระตุ้นการวัลคาไนซ์

1.3 การวัลคาไนซ์ด้วยสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ซัลเฟอร์ แบ่งเป็น

ก. การวัลคาไนซ์ด้วยสารเปอร์ออกไซด์

ยางสังเคราะห์ที่ไม่มีพันธะคู่ภายในโมเลกุลจะไม่สามารถวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์และสารเร่งวัลคาไนซ์ เช่น ยางซิลิโคน, ยาง EPM เป็นต้น จึงจำเป็นต้องใช้สารเปอร์ออกไซด์ในการวัลคาไนซ์ยางเหล่านี้ สารดังกล่าวจะสลายตัวให้อนุมูลเสรีซึ่งเป็นตัวไปดึงไฮโดรเจนอะตอมออกจากยาง ทำให้เกิดอนุมูลเสรีขึ้นบนโมเลกุลของยาง และอนุมูลเหล่านี้จะมาเชื่อมขวางกันดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การเชื่อมขวางของยางโดยใช้สารเปอร์ออกไซด์

การเชื่อมขวางแบบนี้ สารวัลคาไนซ์ไม่ได้เข้าไปในโมเลกุลยาง จะมีแต่เพียงพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอนจากโมเลกุลยางเท่านั้น ซึ่งมีเสถียรภาพดีมาก การเชื่อมขวางเหล่านี้ อาจทำได้โดยใช้รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์

สารเปอร์ออกไซด์ที่เสถียรแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- เปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่ คาร์บอซิล แบ่งเป็น อะลิฟาติก และอะโรมาติก
- เปอร์ออกไซด์ที่ไม่มี หมู่ คาร์บอซิล แบ่งเป็น อะลิฟาติก และอะโรมาติก

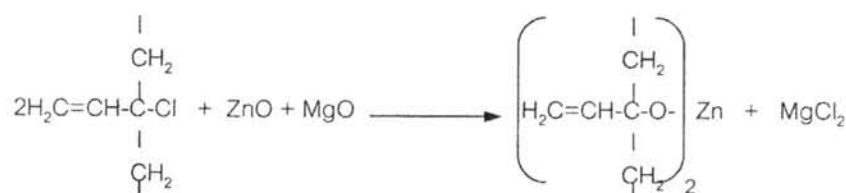
สารเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน ดังนั้นจึงต้องเก็บรักษาไว้ในที่เย็นซึ่งอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาฟาเรนไฮด์ และเก็บห่างจากแหล่งกำเนิดความร้อน ไม่ให้ถูกกับแสงแดด ประกายไฟ ระวังไม่ให้ถูกกระแทก ไม่ถูกกับตัวออกซิไดซ์ ตัวรีดิวซ์ กรดแร่ เป็นต้น

การวัลคาไนซ์ด้วยเปอร์ออกไซด์ทำให้ยางไม่เกิดการบวมก่อนกำหนด มีสมบัติทางไฟฟ้าดี และมี Compression set ต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ราคาแพงและสมบัติบางอย่างด้อยกว่าการใช้ซัลเฟอร์

ข. การวัลคาไนซ์ด้วยโลหะออกไซด์ (metal oxides)

สามารถใช้ในการวัลคาไนซ์ยางสังเคราะห์บางชนิด ได้แก่ ยางพอลิคลอโรพรีน ซึ่งมีพันธะคู่ที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเนื่องจากมีคลอรีนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของยาง ส่วนใหญ่ใช้แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) 4 phr ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ (ZnO) 5 phr บางครั้งใช้ตะกั่วออกไซด์ เช่น litharge (PbO) และ red lead (Pb₃O₄) ในสูตรยางที่ต้องการสมบัติความทนต่อน้ำ (water resistance) และความต้านทานต่อการบวม (swelling resistance)

สำหรับยางพอลิคลอโรพรีน การใช้โลหะออกไซด์ 2 ชนิดคือ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) และซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ร่วมกันสามารถควบคุมอัตราเร็วของการเกิดวัลคาไนเซชันและช่วยในการดูดซับคลอไรด์ที่เกิดขึ้นได้ ในการใช้งานจะใส่แมกนีเซียมออกไซด์ซึ่งเป็นตัวจับคลอรีนและตัวป้องกันการเกิดการเชื่อมขวางโมเลกุลยางก่อนกำหนดลงไปก่อน แล้วจึงตามด้วยซิงค์ออกไซด์ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางของยาง (crosslink agents) สามารถแสดงกลไกการเกิดการคงรูปของยางได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กลไกการเกิดการคงรูปของยางพอลิคลอโรพรีน โดยใช้โลหะออกไซด์

2.5.3 สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator)

ก่อนที่จะมีการค้นพบสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปของยางนั้น ชาลส์ กู๊ดเยียร์ ได้ค้นพบวิธีการคงรูปของยางธรรมชาติโดยใช้ซัลเฟอร์เพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องใช้ซัลเฟอร์ในปริมาณมาก และการคงรูปต้องใช้เวลาานที่อุณหภูมิสูง ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้มีสีคล้ำและเมื่อทิ้งไว้จะเกิดการซึมของซัลเฟอร์ออกมาที่ผิวต่อมาได้มีการค้นพบสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป และนำมาใช้ร่วมกับซัลเฟอร์ในการคงรูปยาง ซึ่งสารนี้จะช่วยลดเวลา ลดอุณหภูมิ และลดปริมาณการใช้ซัลเฟอร์ที่ใช้ในการคงรูปลง นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์อีกด้วย สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปเพียงชนิดเดียว (Primary accelerator) ให้พอเพียงที่จะคงรูปยางได้ตามเวลาที่ต้องการ
2. ระบบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ประกอบด้วย
 - (1) สารชนิดที่ใช้ในปริมาณมาก เรียกว่าตัวเร่งปฐมภูมิ (Primary accelerator)
 - (2) สารชนิดที่ใช้ในปริมาณน้อย เรียกว่าตัวเร่งทุติยภูมิ (Secondary accelerator)
3. ระบบการใช้สารเร่งที่มีปฏิกิริยาช้า (Delayed action accelerator) จะไม่เกิดปฏิกิริยาก่อนการคงรูป ซึ่งเป็นการป้องกันปัญหาการเกิดการคงรูปก่อนกำหนด

สมบัติของสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป

1. สามารถทำให้ยางคงรูปได้เร็ว
2. มีความว่องไวในการเร่งให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลยางสูง
3. ละลายได้ดีในยาง
4. มีความปลอดภัยในกระบวนการผลิต
5. สามารถเก็บรักษาได้นานโดยไม่เสื่อมสภาพ
6. ใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง
7. เข้ากันได้ดีกับสารเคมีอื่นๆ ที่ใส่เข้าไปในยาง
8. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้
9. สมบัติต่างๆ ของยางไม่ลดลงเมื่อใช้เวลาในการคงรูปนาน
10. ไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อสมบัติอื่น

สามารถแบ่งสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปได้เป็นกลุ่ม ดังนี้

1. กลุ่มไดไทโอคาร์บาเมท (Dithiocarbamate)

สารในกลุ่มนี้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ซิงค์ไดเอทิล ไดไทโอคาร์บาเมท (Zinc Diethyl Dithiocarbamate, ZDEC) เป็นสารสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำปริมาณการใช้ อยู่ระหว่าง 0.3-1.5 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน ZDEC จะเพิ่มอัตราเร็วของการคงรูปขึ้นอย่างชัดเจนในอุณหภูมิที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส โดยที่ ZDEC จะไม่ทำให้น้ำยางเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นก่อน (Pre-Vulcanization) เมื่อเก็บน้ำยางที่ผสม ZDEC ไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า ดังนั้น ทำให้สามารถใช้น้ำยางที่ผสม ZDEC ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันได้ ข้อเสียของสารใน

กลุ่มนี้ คือ มีความว่องไวปฏิกิริยาต่อสารทองแดง ทำให้เมื่อผลิตภัณฑ์ยางสัมผัสสารที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล

2. กลุ่มแซนเทต (Xanthate)

สารกลุ่มนี้ว่องไวต่อปฏิกิริยามาก สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นรุนแรงมาก ได้แก่ พวก Sodium Isopropyl Xanthate (NaPX) และ Zinc Isopropyl Xanthate (ZnPX)

3. กลุ่มไทอะโซล (Thiazole)

ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ ได้แก่ Zinc salt of 2-Mercaptobenzothiazole (MZ ZnMBT) และ Cyclohexylamine salt of 2-Mercaptobenzothiazole (CMBT) นิยมใช้พวกที่ไม่ละลายน้ำกับน้ำยาง เช่น Zinc 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ ใช้ร่วมกับ ZDEC ปริมาณการใช้ คือ ZDEC 1 ส่วน ต่อ ZMBT 0.25-0.5 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน นอกจากจะทำให้ค่าโมดูลัสของยางสูงขึ้นแล้ว ยังมีผลช่วยในการเสริมประสิทธิภาพการคงรูปโดยมีผลเร็วกว่าการใช้สารตัวเดียว

4. สารกลุ่มไทยูแรม (Thiuram)

ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ ได้แก่ Tetramethyl Thiuram Monosulfide (TS, TMTM) Tetramethyl Thiuram Disulfide (TT, TMTD) และ Dipentamethylene Thiuram Hexasulfide (DPTH) พวกไทยูแรมไม่มีความว่องไวในปฏิกิริยา เพียงพอที่จะใช้กับ สารระบบวัลคาไนซ์ เช่น ซัลเฟอร์ ได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจใช้เป็นตัวช่วยพวกสารเร่งปฏิกิริยากลุ่มไดไทโอคาร์บาเมทได้

2.5.4 สารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activator)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการคงรูปเป็นสารที่เสริมตัวเร่ง โดยจะช่วยเร่งอัตราการคงรูปของยางให้เร็วขึ้น โดยทำให้สารเร่งปฏิกิริยาการคงรูปมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเพื่อจะให้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้นซึ่งสารกระตุ้นนี้จะเข้าไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมขวางโมเลกุล สารกระตุ้นมีสมบัติที่สำคัญ คือเมื่อใส่เข้าไปในยางปริมาณเล็กน้อย จะทำให้ยางมีโมดูลัสสูงขึ้น ช่วยไม่ให้สารประกอบยางติดกับลูกกลิ้งที่ใช้ในการบดผสมยาง ช่วยในการกระจายตัวของสารเคมีในเนื้อยาง และในบางครั้งอาจไม่มีปฏิกิริยาการคงรูปเกิดขึ้นถ้าไม่มีสารกระตุ้น

สำหรับน้ำยางจะใช้ ZnO เติมลงไปใต้น้ำยางเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผสมสารเคมีต่างๆ หรือ บางครั้งอาจเติมในขณะที่จะเริ่มการแปรรูปเป็นวัตถุสำเร็จรูป ทั้งนี้เนื่องจากการเติม ZnO ในน้ำยางจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แล้วเกิดเป็นคริมแข็ง ปริมาณการใช้ จะใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-2.0 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน การเพิ่มปริมาณ ZnO ในช่วง 0.1-2.0 ส่วน ต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน จะทำให้น้ำยางมีโมดูลัสสูงขึ้น ถ้าต้องการให้น้ำยางมีความโปร่งแสง จะต้องใช้ปริมาณ ZnO ต่ำประมาณ 0.25 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน

2.5.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antioxidant)

สารที่ใช้ป้องกันยางเสื่อมสภาพเพื่อยืดอายุการใช้งานหรือการเก็บรักษามี 2 กลุ่มคือ

1. เอมีน/อนุพันธ์ของเอมีน (amine/amine derivative)
2. ฟีนอลและอนุพันธ์ของฟีนอล (Phenol/ phenol derivative)

กลุ่มแรกมีข้อเสียคือทำให้น้ำยางเปลี่ยนสี (Staining) ส่วนกลุ่มที่สองจะไม่ทำให้น้ำยางเปลี่ยนสี (Non-staining) สีแต่มีประสิทธิภาพด้อยกว่ากลุ่มแรก ความนิยมในการผลิตถุงมือยางนิยมใช้สารกลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอลมากกว่าปริมาณการใช้ประมาณ 1 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน สารทุกกลุ่มดังกล่าวข้างต้นเมื่อจะใช้ผสมกับน้ำยางจะต้องเตรียมให้อยู่ในสถานะของเหลว เช่น สารละลาย สารแขวนลอย หรืออิมัลชันเสียก่อน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของสารที่จะใช้ว่าสามารถเตรียมให้อยู่สถานะใดได้

2.6 การเตรียมสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง [7-11]

สารเคมีต่างๆ ที่จะผสมลงในน้ำยางเพื่อการผลิตวัตถุสำเร็จรูปนั้น จำเป็นต้องเตรียมให้อยู่ในสถานะของเหลวเสียก่อน เพราะถ้าหากนำสารเคมีแห้งๆ และเป็นผงใส่ลงไปในน้ำยางโดยตรง จะไม่ได้ของผสมที่เหมาะสมในการทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีจะตกตะกอน หรืออาจจะเกิดเป็นก้อนขึ้นในน้ำยาง และน้ำยางจะเกิดการจับตัวขึ้นในไม่ช้า จึงต้องเตรียมสารเคมีนั้นเป็นสารละลาย เป็นดิสเพอร์ชัน หรืออิมัลชัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารนั้นๆ ว่าสามารถเตรียมเป็นสถานะใดได้ สารเพิ่มความคงตัวหรือสารพวกช่วยความเสถียรส่วนใหญ่ละลายน้ำ จึงเหมาะจะเตรียมเป็นสารละลายและเติมในสถานะสารละลายเจือจางลงในน้ำยาง สารพวกน้ำมันหรือของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ ก็จะต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน ส่วนสารพวกของแข็งทั้งหลายที่ไม่ละลายน้ำจะต้องเตรียมเป็นดิสเพอร์ชัน

2.6.1 การเตรียมสารละลาย

สารเคมีที่ใช้กันในสูตรการผสมน้ำยางและสามารถเตรียมเป็นสารละลายได้ จะเป็นพวกสารต่างๆ ดังนี้ คือ

1. เบส เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายแอมโมเนีย
2. สารละลายเคซีน (Casein)
3. สารละลายพวกซัลเฟต (Sulfate) และซัลโฟเนต (Sulphonate)
4. สารเร่งชนิดละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมท

2.6.2 การเตรียมอิมัลชัน

สารเคมีที่มีสถานะเป็นของเหลวบางชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ และสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางชนิด สารเหล่านี้ต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน โดยวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ใช้เครื่องผสม (Homogenizer) ที่สามารถปั่นและเกิดแรงเฉือนอย่างสูง ในตารางที่ 2.5 จะแสดงถึงส่วนประกอบของการเตรียม 50% อิมัลชัน

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก
สารของเหลว	50
สารละลาย 20% โพแทสเซียมไอโอเดต	7.5
น้ำ	42.5

ให้ทำการผสมของเหลวกับน้ำโดยใช้สาร Surface Active Solution แล้วผ่านเข้าไปในเครื่องปั่นที่มีความเร็วสูง เช่น เครื่อง Silversion Homogenizer หรือ Colloid Mill ด้วยแรงเฉือนของเครื่องจะทำให้สารละลายกระจายในน้ำและมีขนาดเล็ก (5-20 นาโนเมตร) ถ้าในกรณีที่สารมีความหนืดสูงมาก ควรอุ่นให้สารมีอุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ก่อนการปั่น

2.6.3 การเตรียมดิสเพอร์ชัน

สารเคมีจำพวกของแข็งมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมเป็นดิสเพอร์ชัน ก่อนเติมลงไปใต้น้ำ โดยทั่วไปวิธีการเตรียมดิสเพอร์ชันสำหรับใช้งานน้ำยาง ชั้นแรก คือ การผสมสารที่เป็นผงกับน้ำ และใส่สารช่วยการกระจายหรือทำให้เกิดดิสเพอร์ชัน (Dispersing Agent) ตัวอย่างเช่น Dervan No.1 หรือวัลตามอล (Vultamol) จากนั้นจึงบดของผสมนี้ด้วยเครื่องมือบดย่อยสาร เพื่อบดย่อยสารให้เล็กลง

ในการเตรียมดิสเพอร์ชัน นอกจากสารหลักดังกล่าวแล้ว ยังมีสารอื่นๆ ที่ใช้เฉพาะในกรณีที่มีการเตรียมดิสเพอร์ชันมีปัญหา ได้แก่

1. สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส ใช้ในกรณีที่สารเคมีบางตัวเป็นกรด จะต้องทำให้มีฤทธิ์เป็นเบสเหมือนน้ำยาก่อนที่จะเติมลงในน้ำยาง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเกิดการจับตัว ได้แก่ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย

2. สารเพิ่มความคงตัว ใส่เพื่อให้สารเคมีมีสภาพผิวคล้ายกับน้ำยาง ทำให้เข้ากับน้ำยางได้ดี ได้แก่ เคซีน ซึ่งใส่อยู่ในรูปของสารละลายแอมโมเนีย และในบางครั้งอาจใช้สารเคมีที่เป็นกลาง ได้แก่ วัลคาสแทป แอล ดับบลิว (vulcastab LW)

3. สารเพิ่มความหนืด ใส่เพื่อให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้น ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose)

4. สารป้องกันการเกิดฟอง ใส่เพื่อลดการเกิดฟองในการบด จะทำให้การบดมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ซิลิโคน อิมัลชัน (Silicone emulsion)

5. สารป้องกันการเกิดตะกอนแข็ง ใส่เพื่อป้องกันการเกิดเป็นตะกอนแข็งของสารเคมี ได้แก่ เบนโทไนท์ เคลย์ (bentonite clay)

การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเคมีนั้น สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการเตรียม ควรเป็นสัดส่วนธรรมดาต่างๆ เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของดิสเพอร์ชันได้ และมักจะใส่สารเพิ่มความหนืดหรือสารป้องกันการตกตะกอนแข็ง ได้แก่ เบนโทไนท์ เคลย์ ลงไปด้วย ซึ่งสูตรการเตรียม 50% ดิสเพอร์ชัน จะเป็นดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบของดิสเพอร์ชัน

สารต่างๆ	น้ำหนัก (กรัม)
สารเคมี (Ingredient)	50.0
สารช่วยการกระจาย (Dispersing agent)	1.0
เบนโทไนท์ เคลย์ (Bentonite clay)	1.0
น้ำ	48.0

หลักสำคัญในการเตรียมดิสเพอร์ชัน

1. สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการควรเป็นสัดส่วนธรรมดาต่างๆ เช่น เป็น 2/3, 1/2, 1/3, 1/4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของดิสเพอร์ชันที่ได้

2. วิธีการโดยทั่วๆ ไปในการเตรียมสารผสม (dispersion slurry) เพื่อจะรวมสารละลายของตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชัน (dispersing agents) และสารช่วยความคงตัว (stabilizers) กับน้ำเข้าด้วยกันก่อนแล้วจึงเติมลงในสารที่เป็นผงแห้งแล้วทำการกวนด้วยความเร็วสูง

3. การเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน มักมีปัญหาเกี่ยวกับความยุ่งยากที่จะทำให้ซัลเฟอร์แตกกระจาย และมีปัญหาซัลเฟอร์มีกรวมตัวกันและตกตะกอนอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้ทำดิสเพอร์ชันไปแล้ว ดังนั้นในการเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน ควรใช้สารตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชันปริมาณค่อนข้างมากคือ 2 ถึง 2.5 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของซัลเฟอร์ และควรใช้สารช่วยความคงตัวอย่างน้อย 1 ส่วน สารช่วยความคงตัวอาจใช้พวกเคซีน และยังพบว่าเมื่อทำการบดซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน ให้ได้ขนาดอนุภาคที่ละเอียดสำหรับการผลิตพวกยางยืด หรือพวกงานจุ่มแบบพิมพ์จะใช้เวลาค่อนข้างนาน ความจำเป็นอีกประการหนึ่งในการเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน คือการเติม "Thickener" เพื่อช่วยลดหรือชะลอการตกตะกอนโดยแนะนำให้ใช้เบนโทไนท์ เคลย์ การเติม "Thickener" แนะนำให้เติมภายหลังการเสร็จสิ้นการบดทำดิสเพอร์ชันแล้ว

4. การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์อาจเตรียมให้เข้มข้นได้ถึง 50% แต่ยกเว้นกรณีการเตรียมสารกลุ่มไดไทโดคาบาเมต หากเข้มข้นระดับนี้มักเกิดการรวมตัวและตกตะกอนได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกมักเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาเข้มข้น 33% และใช้สารพวกไฮโดรคอลลอยด์ เช่น 1% ของเมทิลเซลลูโลสช่วยเสริมความคงตัวของดิสเพอร์ชันและเพื่อช่วยป้องกันการตกตะกอน

5. การเตรียม ZnO ดิสเพอร์ชัน อาจเตรียมโดยใช้บอลมิลหรือคอลลอยด์มิล หรือ อุลตราโซนิคมิลก็ได้ มักเตรียมให้ได้ดิสเพอร์ชันที่ละเอียดมาก โดยวิธีการของบอลมิล เมื่อต้องการใช้งานพวกจุ่มแบบพิมพ์หรืองานผลิตพวกยางยืด และใช้สบูของแอมโมเนียเป็นตัวการให้เกิดดิสเพอร์ชัน อย่างไรก็ตามควรต้องระวังการเกิด ZnO รวมตัวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลของซิงค์ แอมโมเนียกับอนุมูลของสบู่

6. การทำดิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมักมีปัญหายุ่งยากอันเนื่องด้วยสถานะการเป็นพวกเรซินของสารนี้ จึงได้มีการคิดหาวิธีการต่างๆ เพื่อจะแก้ปัญหาดังกล่าว ในบรรดาวิธีการต่างๆ นั้น การใช้สารเพิ่มพวกเข้าต่อปฏิกิริยาและมีขนาดอนุภาคละเอียดมาเป็นตัวพา (carrier) ซึ่งในบรรดาสารที่เป็นตัวนำพาดังกล่าว เคลิโอโนเคลย์ เป็นสารที่ใช้ได้ผลดีที่สุด โดยใช้เคลิโอโนเคลย์ปริมาณที่เท่าๆ กับปริมาณของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือใช้ถึง 50% และยังใช้สารตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชันและใช้สารช่วยความคงตัวในปริมาณค่อนข้างสูงกว่าปกติ การเกิดดิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นไปได้ดังนี้คือ เมื่อสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดการแตกกระจายออก อนุภาคละเอียดของเคลย์จะฉาบรอบๆ อนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งการฉาบดังกล่าวทำให้ไม่มีการรวมตัวระหว่างอนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้แล้วแตกกระจายออกไปอีก

7. การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเพิ่ม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลิโอไนท์เคลย์ มักเตรียมเข้มข้น 67% และในบางกรณีอาจเตรียมเข้มข้นถึง 75% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและการกระจายของอนุภาคของสารเพิ่ม เนื่องด้วยในงานผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการใช้ปริมาณสารเพิ่มมาก จึงแนะนำให้เตรียมดิสเพอร์ชัน โดยใช้น้ำผสมเพียงเล็กน้อย อนึ่งสารเพิ่มต่างๆ ไป มักมีขนาดอนุภาคละเอียด ซึ่งจะเกิดจับเป็นก้อนได้ง่าย จำเป็นต้องเตรียมดิสเพอร์ชัน

2.7 การผสมสารเคมีกับน้ำยาง

ข้อที่ควรนำมาพิจารณาในการผสมสารเคมีต่างๆ กับน้ำยางคือ ควรตรวจสอบสถานะของน้ำยาง และสารเคมีก่อนการผสมและหลังผสมเสร็จแล้ว (Latex compounded) นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องเรียงลำดับการผสมสารกลุ่มต่างๆ ได้อย่างถูกต้องอีกด้วย ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นประโยชน์มากในการควบคุมกระบวนการผลิตตลอดจนคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้

สารเคมีที่ได้เตรียมให้อยู่ในสถานะต่างๆคือสารละลาย, สารแขวนลอย หรืออิมัลชันแล้วนั้น ควรต้องมีความตรวจสอบความเข้มข้น คือ ตรวจสอบว่ามีปริมาณของเนื้อสารเคมีถูกต้องหรือไม่และขนาดของอนุภาคมีความละเอียดพอเพียงหรือไม่ (ปกติควรมีความละเอียดต่ำกว่าขนาดเฉลี่ยของอนุภาคยาง คือต่ำกว่า 5 ไมโครเมตร ตลอดจนถึงต้องตรวจสอบความเป็นกรดต่างของสารเหล่านั้น เพื่อจะช่วยให้ควบคุมเกี่ยวกับสถานะความคงตัวของน้ำยางเสียคือจับตัวง่าย และ สถานะเป็นต่างมากเกินไปน้ำยางมีความคงตัวมากไปก็จะมีปัญหา คือน้ำยางไม่ยอมฟอร์มยางเกาะแบบพิมพ์ในขณะที่ถึงขั้นตอนที่ต้องการให้น้ำยางจับพิมพ์เป็นต้น

ลำดับการเติมสารเคมีผสมกับน้ำยาง

1. เติมน้ำลงในน้ำยางเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของเนื้อยางที่ต้องการ
2. เติมสารกลุ่มช่วยให้น้ำยางคงตัว (stabilizer)
3. เติมสารกลุ่มทำหน้าที่ให้น้ำยางคงรูป (Vulcanizing system)*
4. เติมสารป้องกันยางเสื่อม
5. เติมสารสี(pigment)(ถ้าต้องการ)

*ควรเติม ZnO หลังสุดเพื่อกันน้ำยางหนืด (zinc oxide thickening)

แต่ละกลุ่มหรือแต่ละอย่างของสารที่เติมลงไปในน้ำยางจะต้องผสมเข้ากับน้ำยางเป็นอย่างดีเสียก่อนจึงเติมสารตัวต่อไปลงไป ในการกวนผสมน้ำยางจะใช้เครื่องกวนตีใบกวนใบใหญ่ ความเร็วของการกวนประมาณ 5-60 รอบ/นาที

2.8 วิธีทดสอบน้ำยางคงรูป [12]

เนื่องจากน้ำยางคงรูปมีลักษณะที่มองด้วยสายตาไม่ค่อยแตกต่างไปจากน้ำยางชั้นธรรมดา ดังนั้นวิธีการที่จะตรวจสอบว่าน้ำยางเป็นน้ำยางคงรูป หรือไม่นั้นจึงต้องอาศัยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และวิธีการที่จะกล่าวต่อไปนี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบระดับสถานะของการคงรูป (Degree of vulcanization) ของน้ำยางผสมสารเคมี

2.8.1 ทดสอบโดยใช้คลอโรฟอร์ม (chloroform test) หลักการของวิธีนี้คือ ทำให้น้ำยางจำนวนเล็กน้อยจับตัวด้วยการหยดคลอโรฟอร์มหรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) ปริมาณ

ที่เท่ากับปริมาณน้ำยาง (เช่น 10 มล.) และกวนด้วยแท่งแก้ว ลักษณะก่อนยางที่จับตัวในเวลา 2-3 นาที จะบ่งแสดงสถานะของการคงรูปนั้นคือ

สถานะ ลักษณะยางจับตัว

- No. 1 ยังไม่คงรูป (unvulcanized) เป็นก้อนเดียวเหนียว
- No. 2 คงรูปบ้างเล็กน้อย (lightly vulcanized) เป็นก้อนนุ่มหยาบๆ
- No. 3 คงรูปปานกลาง (moderately vulcanized) เป็นเม็ดร่วนไม่เหนียว
- No. 4 คงรูปเต็มที่ (fully vulcanized) เป็นเม็ดแห้งๆ และละเอียด

2.8.2 ทดสอบการบวมของยาง (equilibrium swelling) วิธีนี้จะทดสอบโดยเทน้ำยางคงรูปทำเป็นแผ่นฟิล์ม อบแห้ง แล้วตัดฟิล์มยางเป็นสี่เหลี่ยมเล็กๆ นำไปแช่ในตัวทำละลาย เช่น toluene, xylene, cyclohexane ภายหลังจากแช่ยางในตัวทำละลายประมาณ 30 นาที จึงวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยการทำให้ชุ่มเพื่อประเมินหาสถานะของการคงรูป ซึ่งระบุเป็นร้อยละการบวม (%swelling) ที่คำนวณมาจากผลต่างของ เส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างยางภายหลังจากแช่ในตัวทำละลาย 30 นาที กับเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการแช่ในตัวทำละลาย และเปอร์เซ็นต์ที่ได้มีความหมายดังนี้ :

- 160 % = ยังไม่คงรูป (unvulcanized)
- 100 – 160 % = คงรูปบ้างเล็กน้อย (lightly vulcanized)
- 80 – 100 % = คงรูปปานกลาง (moderately vulcanized)
- 75 % = คงรูปเต็มที่ (fully vulcanized)

2.8.3 ทดสอบโดยการใช้เครื่องดึงยาง (tensile test) โดยการทำให้ฟิล์มแห้งจากน้ำยางคงรูปแล้วนำไปทดสอบการดึงหรือยืดยางตามความยาวกำหนด (modulus) หรือดึงยางจนขาด (tensile strength) จากผลของค่าเหล่านี้สามารถจะประเมินหาระดับการคงรูปของยางได้ อย่างไรก็ตามการทดสอบโดยหาแรงที่ดึงยางออกยาง 100% ของความยาวเดิม นาน 1 นาที (หรือคือ MR 100) เป็นวิธีการที่ให้ผลในการตรวจสอบการคงรูปของยางที่น่าเชื่อถือมาก

ทดสอบโดยวิธี Prevulcanizate Relaxed Modulus (PRM) ซึ่ง MRPRA (Malaysian Rubber Producers Research Association) เป็นผู้กำหนดขึ้น โดยวิธีการนี้จะใช้พื้นฐานจากวิธีทดสอบ MR 100 แต่มีวิธีเตรียมขึ้นทดสอบภายในเวลาอันสั้นคือประมาณ 10 นาที ในขณะที่วิธีการทดสอบหา MR 100 ต้องใช้เวลาเตรียมขึ้นทดสอบ ประมาณ 24 ชั่วโมงการเตรียมขึ้นทดสอบโดยวิธี PRM ประกอบด้วยการจุ่มหลอดแก้วขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10.5 เซนติเมตร ลงในน้ำยาง

ที่ทำให้เจือจางเป็น 502% TSC ด้วยน้ำแล้วทำให้ยางที่จับหลอดแก้วแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที นำหลอดแก้วออกจากตู้อบ เชื้อจุลินทรีย์ที่อาจมีในฟิล์มยางบนหลอดแก้วออกไป รูดฟิล์มยางเป็นวงออกจากหลอดแก้วและทำให้เย็นใน desiccators (ประมาณ 2 นาที) นำวางไปชั่งน้ำหนัก แล้วทดสอบโดยเครื่อง MR 100 modulus tester หรือเครื่องวัดแรงดึงยางชนิดที่มีความสามารถวัดหาค่าแรง ให้ละเอียดในช่วง 100-300 กรัมได้ โดยอ่านค่าแรงหลังจากยืดยาว 100% ของความยาว เดิมเป็นเวลา 1 นาที การคำนวณค่า PRM ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{PRM (kg/cm}^2\text{)}^* = (Fdl)/2W$$

F = แรง, เป็นกิโลกรัม อ่านภายหลังจากยืดยางนาน 1 นาที

d = ความหนาแน่นของยาง, กรัม/ตารางเซนติเมตร

l = เส้นรอบวงภายนอกของหลอดแก้ว, เซนติเมตร

W = น้ำหนักของชิ้นทดสอบ, กรัม

(* kg/cm² = 0.098 MPa)

แฟคเตอร์ 2 ในสูตรมาจากการที่ชิ้นทดสอบเป็นวง สำหรับยางที่ไม่มีสารเพิ่มเจือปน (pure gum vulcanizate) ความหนาแน่นคือ 0.94 กรัม/ตารางเซนติเมตร และหลอดแก้วซึ่งเป็นหลอดสำหรับปั่นแยก (centrifuged tube) ที่ MRPRA ใช้มีขนาดยาว 12.57 เซนติเมตร ดังนั้นสูตรนี้จึงอาจปรับเป็น $\text{PRM} = (5.9F) / W \text{ kg/cm}^2$

อนึ่งค่า PRM ที่คำนวณโดยวิธีดังกล่าวไม่ใช่ค่าโมดูลัสที่แท้จริง เพราะไม่ได้คำนวณ จากค่าพื้นที่หน้าตัดจริงๆ อย่างไรก็ตามค่า PRM นี้จะไม่แตกต่างจากค่า modulus แท้จริง มากนัก ถ้าหากวงยางที่รูดจากหลอดแก้วหนาไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร

2.9 สารตัวเติม

สารตัวเติม หมายถึง สารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางที่ใส่ลงไปในยางเพื่อลดต้นทุนในการผลิต หรือปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น เช่น เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น

สารตัวเติมที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. เพื่อลดต้นทุน
2. เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติของยาง

3. เพื่อช่วยในกระบวนการ
4. ลดการพองตัวของยางในน้ำมัน
5. เพิ่มอายุการใช้งานของยาง

2.8.2 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สามารถแบ่งตามการผลิตและตามลักษณะ คือ

1. สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติ หรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียด เช่น

- 1.1 แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูน เปลือกหอย และชอล์ค
- 1.2 แคลเซียมและแมกนีเซียมซิลิเกตจากแป้งทัลคัม
- 1.3 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)

2. สารตัวเติมตามธรรมชาติที่ร่อนแยกความละเอียด เช่น คาโอลิน เป็นต้น

3. สารตัวเติมที่ได้จากวิธีการตกตะกอน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตซิลิกา โซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต และไฮเดรตอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

4. สารตัวเติมที่อยู่ในรูปของเขม่า หรือผงฝุ่น เช่น เขม่าดำ ซิงค์ออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์

5. สารตัวเติมประเภทที่ทำปฏิกิริยาที่ผิว (Surface Modified Products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารตัวเติมมาทำปฏิกิริยาที่ผิว เพื่อให้สารตัวเติมนั้นเกาะติดแน่นกับยาง ซึ่งทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม เป็นต้น

5.1 สารละลายโซเดียมซิลิเกต หรือกาวยั่ว

เป็นสารตัวเติมที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ คือ $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$ ในสัดส่วนต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของโซเดียมซิลิเกต เวลาใช้งานต้องตกตะกอนโซเดียมซิลิเกตด้วยกรดซัลฟูริก เพื่อให้ได้ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ตามสมการ



จากนั้นนำโซเดียมซิลิเกตที่ได้ผ่านกระบวนการ Washing และบดให้ละเอียดก่อนนำมาใช้งาน

5.2 ซิลิกา (Silica)

ซิลิกามีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO₂) และอาจมีน้ำในผลึกอยู่ด้วย ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ (Nonblack Filler) ที่ดีที่สุด และนิยมใช้กันมาก เพราะเป็นสารตัวเติมที่เสริมความแข็งแรงให้กับยาง มักใช้กับผลิตภัณฑ์ยางพวกที่มีสีขาว หรือสีต่าง ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

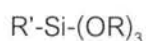
- ซิลิกาบด เป็นแร่ซิลิกาบด หรือทรายบดละเอียด มีอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช (75,000 °A) ซึ่งเป็นขนาดที่หยาบ ไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง แต่มีราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมในยางทนความร้อน

- ซิลิกาที่ได้จากการตกตะกอน โดยการนำทรายมาละลายในด่างให้กลายเป็นสารประกอบซิลิกา จากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิกาออกมาล้าง และทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำอยู่ในอนุภาคซิลิกาที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 100 - 400 °A

- ซิลิกาที่เตรียมได้จากการเผาไหม้ ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง SiCl₄ กับไอน้ำในเปลวไฟของไฮโดรเจน และออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 14000 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงเสริมความแข็งแรง

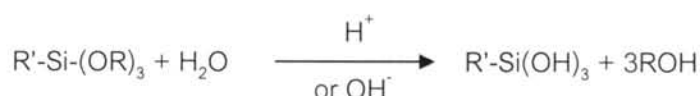
2.10 สารประสานคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent) [13,14]

สารประสานคู่ควบ เป็นสารที่ประกอบด้วยสารเคมีสองชนิด คือ ส่วนที่ว่องไวกับสารอินทรีย์ และอีกส่วนว่องไวกับสารอนินทรีย์ ซึ่งสารประสานคู่ควบที่นิยมใช้ คือ ไซเลนเป็นสารประกอบที่มีหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างวัสดุที่เป็นสารอินทรีย์กับสารอนินทรีย์ โดยใช้ปฏิกิริยารังพันะโควาเลนต์ในอินเตอร์เฟส ไซเลนโดยทั่วไปจะมีโครงสร้างดังนี้

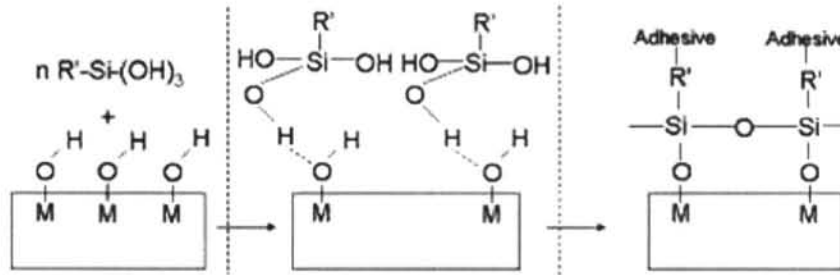


R' เป็น หมู่ที่มีความว่องไว (reactive group) และ R₃ มักจะเป็นหมู่เมทิล หรือ เอทิล

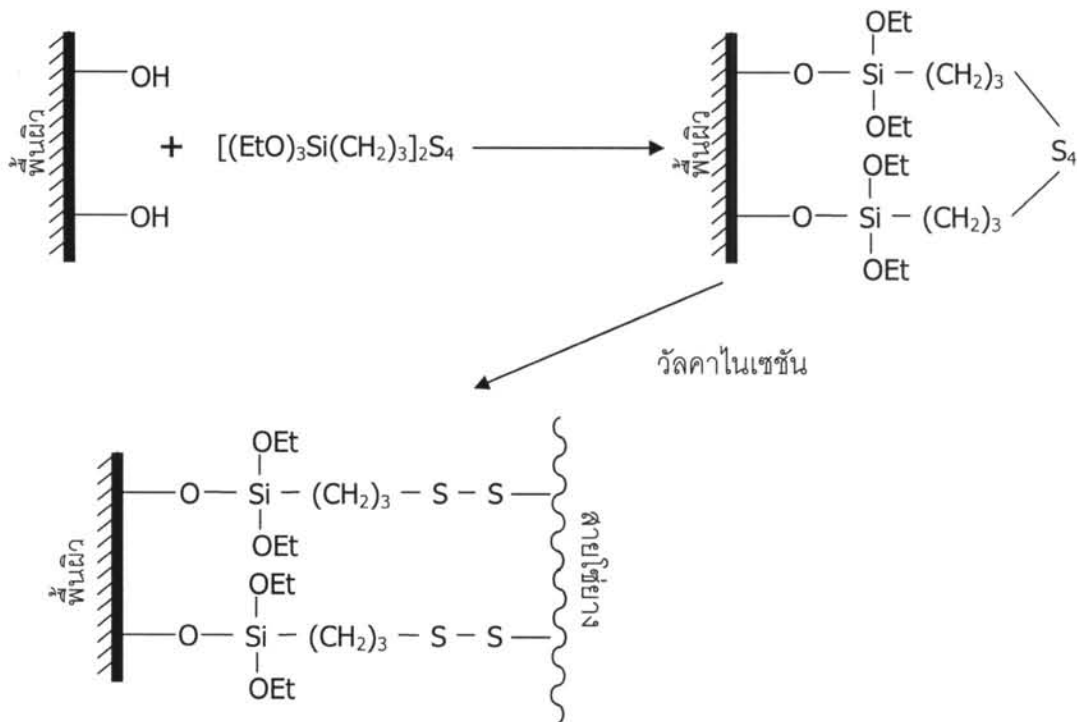
กลไกการทำปฏิกิริยาของไซเลน เมื่ออยู่ในน้ำจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นหมู่ไซเลนอล (-SiOH) ตามสมการ



เมื่อสารละลายซิลิโคนเข้าสู่สัมผัสกับพื้นผิวอนินทรีย์ หมู่ซิลิโคนจะถูกดูดซับไว้บนพื้นผิวด้วยพันธะไฮโดรเจนที่หมู่ไฮดรอกซิลกับหมู่ซิลิโคนตามรูปที่ 2.12 และหมู่ที่ว่องไว (R_3) บนซิลิโคนทำปฏิกิริยาโดยสร้างพันธะโควาเลนต์กับสารอนินทรีย์



รูปที่ 2.12 กลไกการดูดซับหมู่ไฮดรอกซิลกับหมู่ซิลิโคน



รูปที่ 2.13 กลไกการสร้างพันธะระหว่างพื้นผิวกับสายโซ่ยาวด้วย TESPT

TESPT (Bis-[3-(triethoxysilyl) propyl] – tetrasulfide) นิยมใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการผสม โดยในขั้นตอนที่เกิดการวัลคาไนเซชัน ปลายข้างหนึ่งของหมู่ไฮดรอกซีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลบนพื้นผิวซิลิกาผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส และอีกปลายอีกข้างหนึ่งซัลเฟอร์ของ TESPT จะทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของสายโซ่ยางในขั้นตอนนี้ดังรูป 2.13

รูปที่ 2.13 จะแสดงถึงขั้นการสร้างพันธะระหว่างสายโซ่ยางกับพื้นผิวโดยใช้ TESPT เป็นสารประสานคู่ควบ โดยในขั้นตอนแรกนั้นพื้นผิวแก้วที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิลจะทำปฏิกิริยาที่หมู่ไฮดรอกซี เมื่อทำการวัลคาไนซ์แล้วโมเลกุลซัลเฟอร์ใน TESPT จะทำการสร้างพันธะกับสายโซ่ยางที่ตำแหน่งพันธะคู่

2.11 สารยึดติดและการยึดติด (Adhesive and Adhesion) [15,16]

2.11.1 สารยึดติด (Adhesive)

สารยึดติด เป็นสารประกอบที่ซึ่งยึดติดหรือสร้างพันธะระหว่างสารสองชนิดเข้าด้วยกัน สารยึดติดมาจากธรรมชาติและการสังเคราะห์ขึ้น สารยึดติดมีความแข็งแรงอย่างมาก และกลายมาเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากในโครงสร้างต่างๆ และในอุตสาหกรรม

ชนิดของสารยึดติด

1. สารยึดติดธรรมชาติ (Natural Adhesives) ได้แก่ พืชผลต่างๆ (ยางเรซิน, ยางไม้), อาหาร (ผิวหนังสัตว์) และแหล่งแร่ธรรมชาติ (สารอนินทรีย์)
2. สารยึดติดสังเคราะห์ (Synthetic Adhesives) ได้แก่ พวกสารยึดติดที่ยึดหยุ่นได้จากการสังเคราะห์ (Elastomers), เทอร์โมพลาสติก และเทอร์โมเซตติง
3. สารยึดติดแบบแห้ง (Drying Adhesives) สารยึดติดเหล่านี้เป็นสารผสมของส่วนประกอบที่ไม่ทำละลายในตัวทำละลาย กาวและยางธรรมชาติเป็นส่วนหนึ่งของสารยึดติดแบบแห้ง ในขณะที่ตัวทำละลายระเหยออกไปสารยึดติดจะแข็งแรงขึ้น ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของสารยึดติด และจะยึดติดกับสารที่แตกต่างกันได้ดีกว่าหรือน้อยกว่า สารยึดติดเหล่านี้ค่อนข้างจะไม่แข็งแรงและถูกประยุกต์ใช้สำหรับงานในบ้าน ใช้สำหรับงานเล็กๆ เพราะไม่มีพิษ
4. สารยึดติดร้อน (Hot Adhesives) ส่วนใหญ่รู้จักกันว่าเป็นสารยึดติดร้อนหลอมเหลวร้อน (Hot melt adhesives) สารยึดติดเหล่านี้เป็นเทอร์โมพลาสติก ที่จะใช้ในรูปแบบร้อนและจะ

แข็งแรงขึ้นเมื่อเย็นตัวขึ้น สารยึดติดเหล่านี้กลายเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางสำหรับงานฝีมือ เนื่องจากว่าง่ายต่อการนำไปใช้ และสามารถเข้ากับวัสดุต่างๆ ได้กว้าง ปีนกาวเป็นวิธีหนึ่งของการประยุกต์ใช้กับสารยึดติดที่ร้อน ปีนกาวจะหลอมสารยึดติดที่เป็นของแข็ง แล้วจากนั้นก็ให้สารที่เป็นของเหลวผ่านออกมาตามถังของปืนไปสู่สารที่ต้องการใช้

5. สารยึดติดแบบทำปฏิกิริยา (Reactive Adhesives) เป็นผลของการทำพันธะเคมีกับพื้นผิววัสดุ ซึ่งประยุกต์ใช้ในแบบฟิล์มบางๆ สารยึดติดแบบทำปฏิกิริยานี้จะมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อมีการใช้ชั้นที่สองของการเติมลงในช่องว่างระหว่างพื้นผิว อย่างไรก็ตามสารยึดติดที่ถูกใช้บ่อยครั้งเพื่อป้องกันการหลวมของเกลียว และสกรูที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องจักร อย่างเช่น รถยนต์ ซึ่งมีหน้าที่อย่างสำคัญสำหรับเครื่องยนต์รถยนต์สมัยใหม่ที่วิ่งแบบไร้เสียง

6. สารยึดติดที่ไวต่อแรงกดอัด (Pressure Sensitive Adhesives) ก่อให้เกิดการสร้างพันธะถาวร โครงสร้างของสารยึดติดจึงแข็งแรง โดยผ่านกระบวนการต่างๆ เช่น การระเหยของตัวทำละลายหรือน้ำ (กาวขาว) การทำปฏิกิริยาด้วยพลังงานรังสีหรือแสง (สารยึดติดเกี่ยวกับทันตกรรม) การเกิดปฏิกิริยาทางเคมี (สองส่วนของอีพอกซี) หรือการทำให้เย็น (หลอมด้วยความร้อน, hot melt) ตามที่ได้อธิบายแล้วข้างต้น ในทางตรงกันข้ามกัน สารยึดติดที่ไวต่อแรงกดอัด (PSAs) จะก่อพันธะอย่างง่ายโดยการประยุกต์ใช้แรงกดอัดของแสงเพื่อยึดสารยึดติดให้แน่น สารยึดติดที่ไวต่อแรงกดอัดถูกออกแบบด้วยความสมดุลระหว่างการไหลของน้ำและความต้านทานต่อการไหล พันธะมีความแข็งแรงเพราะว่าสารยึดติดแข็งแรงพอที่จะต้านทานการไหลของน้ำเมื่อถูกบีบให้สร้างพันธะ เมื่อสารยึดติดและสิ่งที่ยึดติดอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น โมเลกุลส่วนใหญ่ก็เกิดอันตรกิริยากันขึ้น อย่างเช่น การเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ให้เกิดการสร้างพันธะขึ้น เกิดความแข็งแรงของพันธะสูงสุด

2.11.2 การยึดติด (Adhesion)

การยึดติด เป็นการดึงดูดโมเลกุลระหว่างกัน ซึ่งเป็นที่สนใจโดยเฉพาะวิศวกรผู้ซึ่งต้องการให้ยึดวัตถุไว้ด้วยกัน และนักชีววิทยาเพื่อเข้าใจการทำงานของเซลล์ต่างๆ

กลไกของการยึดติด (Mechanisms of Adhesion) ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างสารยึดติดและวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ มากมาย การยึดติดอาจเกิดขึ้นทั้งโดยกลไกกลาง ที่ซึ่งสารยึดติดทำงานของมันผ่านเข้าไปตามรูเล็กๆ ของวัสดุ หรือโดยส่วนหนึ่งของกลไกทางเคมี

ในบางกรณีพันธะเคมีที่แท้จริงแล้วเกิดขึ้นระหว่างสารยึดติดและตัววัสดุ (substrate) ในส่วนอื่นๆ แรงทางไฟฟ้าสถิต ยึดสารไว้ด้วยกัน ชั้นที่สามวิธีทางเคมีรวมถึงแรงแวนเดอร์วาลส์ ที่ซึ่ง

พัฒนาระหว่างแต่ละโมเลกุล แรงส่วนใหญ่เกิดการติดแน่นคล้ายกับตีนตุ๊กแก ชั้นที่สี่กลไกทางเคมี กลาง เป็นเหตุให้เกิดการแพร่ของความร้อนของกาบไปสู่ตัววัสดุ เกิดความแข็งขึ้น

มี 5 กลไกถึงเป้าหมาย เพื่ออธิบายว่าทำไมวัสดุหนึ่งสามารถยึดติดกับสิ่งอื่นๆ ได้

1. การยึดติดเชิงกล (Mechanical Adhesion) วัสดุสองตัวอาจเกิดการเชื่อมต่อกันอย่าง เชิงกล ได้แก่ Sewing forms เกิดพันธะเชิงกลขนาดใหญ่ Velcro forms เกิดพันธะขนาดกลาง และ Textile adhesives form เกิดพันธะขนาดเล็ก

2. การยึดติดทางเคมี (Chemical Adhesion) วัสดุสองชนิดอาจเกิดสารประกอบที่เชื่อม กัน การเชื่อมที่แข็งแรงที่สุดที่ซึ่งอะตอมของวัสดุ สองชนิดแลกเปลี่ยนกัน (พันธะไอออนิก) หรือเกิดการแชร์กัน (พันธะโควาเลนต์) กับอิเล็กตรอนส่วน นอก พันธะที่อ่อนกว่าถูกก่อก่อตัวขึ้น ถ้าอะตอมของออกซิเจน ไนโตรเจน หรือฟลูออรีน ของทั้งสองวัสดุ แชร์นิวเคลียสไฮโดรเจนกัน (พันธะไฮโดรเจน)

3. การยึดติดที่กระจาย (Dispersive Adhesion) ส่วนใหญ่รู้จักกันในเรื่องการดูดซึม วัสดุ สองชนิดอาจจะยึดเข้าด้วยกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ แรงแวนเดอร์วาลส์เป็นแรงดึงดูดระหว่างสอง โมเลกุลที่มีประจุเป็นบวกและประจุลบที่ปลาย สภาพขั้วบวกและลบนี้เป็นคุณสมบัติถาวรของโมเลกุล หรือเกิดขึ้นโดยทั่วไปในโมเลกุล ในขณะที่เกิดการเคลื่อนที่แบบสุ่มของอิเล็กตรอนในโมเลกุลอาจเป็น ผลในความเข้มข้นชั่วคราวของอิเล็กตรอนที่ปลายข้างหนึ่ง

4. การยึดติดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Adhesion) วัสดุที่เป็นตัวนำอาจผ่าน อิเล็กตรอนจากรูปแบบที่แตกต่างกันในทางประจุไฟฟ้าที่เชื่อมกัน ผลนี้ในโครงสร้างที่คล้ายกันกับ เครื่องมือสะสมประจุไฟฟ้า และสร้างแรงดึงดูดระหว่างวัสดุต่างๆ

5. การยึดติดที่เกิดการแพร่ (Diffusive Adhesion) บางวัสดุอาจรวมผสมกันที่เชื่อมกันโดย การแพร่ เกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลของวัสดุทั้งหมดมีการเคลื่อนที่และละลายได้ซึ่งกันและกัน ซึ่งประสิทธิภาพ โดยทั่วๆ ไปกับสายโซ่พอลิเมอร์ ที่ซึ่งปลายข้างหนึ่งของโมเลกุลแพร่เข้าไปวัสดุอื่นๆ เมื่อโลหะหรือผง เซรามิกถูกกดรวมกันและให้ความร้อน อะตอมก็แพร่จากชิ้นส่วนเล็กๆ หนึ่งไปสู่ส่วนถัดไป

2.12 สมบัติและลักษณะพื้นผิว

2.12.1 ยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ยางมะตอย

ยางมะตอย คือ วัสดุประสานสีน้ำตาลเข้มถึงดำ มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น สารไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญ 4 ประการ

1. เป็นตัวยึดและประสาน (Cementing)
2. ป้องกันน้ำซึม
3. สามารถเปลี่ยนเป็นของเหลว หรืออ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อถูกความเย็น (Thermoplastic)
4. ทนกรดและด่างอ่อนๆ

ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว แอสฟัลต์ จึงนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ทำผิวจราจร ดาดชลประทาน ผิวหน้าเขื่อนดินป้องกันน้ำซึม ทำสีกันสนิม กระจายกันซึม กระเบื้องยางปูพื้น เป็นต้น

1. แบ่งชนิดยางมะตอยตามแหล่งกำเนิด

1.1 ยางมะตอย ที่เกิดตามธรรมชาติ พบแทรกอยู่ใน ชั้นหินที่เรียกว่า หินยางมะตอย (Rock Asphalt) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหินปูนที่มียางมะตอย ซึมอยู่อ้อมตัว

1.2 ยางมะตอย จากส่วนเหลือ จากการกลั่นน้ำมันดิบ หรือที่เรียกว่า "Topped Crude" มีลักษณะค่อนข้างเหลว เมื่อแยกน้ำมันออกไป จะได้ยางมะตอยที่มีความข้น เหลว หรือแข็งแตกต่างกันไปตามความต้องการ

2. ยางมะตอยในงานก่อสร้างผิวจราจร

ยางมะตอย ที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวจราจร มี 2 ชนิด คือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และยางมะตอยชนิดเหลว แอสฟัลต์ซีเมนต์ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็ง ที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ การใช้งาน ต้องต้มให้เหลวโดยใช้อุณหภูมิ 200-300 องศาฟาเรนไฮน์ แบ่งได้ 3 ชนิด ตามการผลิต คือ

2.1 Penetration Grade ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรง

2.2 Blown Grade ได้จากการนำเอา ยางมะตอยชนิดแรก ไปเป่าลมใส่ที่อุณหภูมิสูง ประมาณ 250-300 องศาเซลเซียส เพื่อให้แข็งและทนความร้อนได้ดีขึ้น

2.3 Hard Grade ได้จากการ นำเอาขางมะตอย ชนิดแรก ไปกลั่น ต่อภายใต้ สญญากาศ ที่ อุณหภูมิสูง เพื่อให้ได้ขางมะตอยที่มีความแข็งมากขึ้น

3. แอสฟัลต์ชนิดเหลว แบ่งได้ 2 ชนิด คือ

3.1 Cutback Asphalt มีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา หลังจาก บดอัดแล้ว ทิ้งไว้ให้ตัว ทำละลาย ระเหยไป จะเหลือแต่แอสฟัลต์ซีเมนต์ ได้จากแอสฟัลต์ซีเมนต์ ไปละลายในตัวละลาย ประเภทน้ำมันต่าง ๆ ที่เรียกรวมว่า Dituent หรือ Culter Stock เช่น Neptha Kerosine และ Diesel Oil แบ่งได้ 3 ประเภทตามชนิดตัวทำละลาย คือ ชนิดแข็งตัวเร็ว แข็งตัวปานกลาง และแข็งตัวช้า

3.2 Emulsified Asphalt ผลิตจากการนำเอา แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ผสมกับน้ำที่มีอุณหภูมิประมาณ 170 องศาเซลเซียส โดยใช้สารเคมี ซึ่งเรียกว่า Emulsifier เติมลงไปเล็กน้อย ช่วยให้อนุภาคของขางมะตอยกระจายตัว แล้วนำไปตีด้วยเครื่อง Colloidal Mill ให้ขางมะตอยแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ

2.12.2 ปูนซีเมนต์ [17]

ปูนซีเมนต์มีใช้งานมานานเป็นศตวรรษแล้ว โดยในปี พ.ศ. 2367 ผงปูนครั้งแรกทำขึ้นมา จากส่วนผสมของหินปูนและดินเหนียว ที่เราเรียกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์จำเป็นต้องมี ธาตุแคลเซียมเป็นพื้นฐาน ปูนซีเมนต์แคลเซียมทำจาก ปูนขาว (CaCO_3) และชนิดอื่นๆ จะทำจากแร่ ยิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

1. ปูนซีเมนต์ธรรมชาติ ทำจากหินปูน อะลูมิน่า และซิลิกา เมื่อเผาแคลเซียมซิลิเคต และอะลูมิน่า จนหลอมละลายคล้ายแก้ว แล้วทำให้เป็นผงที่ละเอียด และเมื่อนำไป ผสมกับน้ำ ผง ละเอียดนี้จะเป็นวัสดุปูนซีเมนต์ ปูนซีเมนต์บางชนิดทำจากกากโลหะผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยา และปูน ขาวไฮเดรต เรียกว่า ปูนซีเมนต์กากโลหะ

2. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถูกค้นพบโดยชาวโรมัน ด้วยการผสมซีเมนต์เข้าไฟและ ทรายกับน้ำพวกเขาพบว่า วัสดุก่อสร้างจะมีความแข็งแรงกว่าที่เขาทำจากปูนขาวล้วน ปูนซีเมนต์นี้ถูก เรียกว่า ปูนซีเมนต์พอซซูลอน่า (Pozzuloma cement) เพราะว่ามันถูกค้นพบครั้งแรกจากซีเมนต์เข้าไฟ ที่พอซซูลอน่าประเทศอิตาลี ปูนซีเมนต์พอซซูลอน่าสังเคราะห์ทำจากกากโลหะ และปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์

3. ปูนซีเมนต์แห้งตัวเร็ว เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เกิดแรงอัดสูงเร็ว จึงเหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่จะให้รับแรงอัด ได้เร็วขึ้นเช่น เข็มคอนกรีตหรือคาน เสาคอนกรีตอัดแรงงานคอนกรีตใต้น้ำสามารถใช้งานได้ หลังจากการเทในเวลา 3 วัน

4. ปูนซีเมนต์ความร้อนต่ำ เป็นปูนซีเมนต์ที่เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะเกิดความร้อนจากปฏิกิริยาเคมีต่ำที่สุดของ ปูนซีเมนต์ ทุกชนิดเหมาะสำหรับงานเขื่อนหรือโครงสร้างขนาดใหญ่

5. ปูนซีเมนต์ทนซัลเฟต เป็นปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างซึ่งต้องการป้องกันการสึกกร่อนที่เกิดจากซัลเฟต เช่น งานก่อสร้างบริเวณดินเค็ม เสาเข็ม และงานรากฐานต่าง ๆ

2.12.3 คอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หินทราย และน้ำ โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆ เหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement paste)

ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทรายเรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)

มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวดเรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

1. หน้าที่และสมบัติของส่วนผสม

1.1 ซีเมนต์เพสต์ มีหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม เช่น หิน กรวด และทราย หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ และให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ สมบัติของซีเมนต์เพสต์จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของปูนซีเมนต์ อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

1.2 มวลรวม มีหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญคือ มีความแข็งแรง การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี และมีความต้านทานต่อแรงกระแทกและการเสียดสี

1.3 น้ำ มีหน้าที่หลักคือ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) กับปูนซีเมนต์ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้ และเคลือบหินทรายให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์สามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ นอกเหนือจากหน้าที่หลักแล้ว น้ำยังใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ และใช้บ่มคอนกรีตอีกด้วย

1.4 น้ำยาผสมคอนกรีต มีหน้าที่สำคัญ คือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทั้งคอนกรีตที่เหลว และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วในด้านต่างๆ เช่น เวลาในการก่อตัว กำลังอัด ความทนทาน เป็นต้น

2.12.4 อิฐ

อิฐ (Brick) เป็นวัสดุก่อสร้างที่ทำจากทรายและดินเหนียว หรือทรายและหินแข็ง คุณสมบัติทางฟิสิกส์ขึ้นอยู่กับสัดส่วนและชนิดของวัสดุต่างๆ ที่ใช้ วิธีที่ใช้และการผลิต เวลาและอุณหภูมิในการเผา เมื่ออุณหภูมิในการเผาเพิ่มขึ้น อิฐจะมีสีคล้ำ ความพรุนจะลดลง และความแข็งแรงของอิฐจะเพิ่มขึ้น อิฐที่ใช้ในงานก่อสร้างมีหลายชนิดได้แก่

1. อิฐมอญหรืออิฐดินเผา คืออิฐที่ทำจากดินเหนียวผสมกับแกลบหรือวัสดุอื่นผสมน้ำ นวดเคล้าให้เข้าเนื้อเดียวกันแล้วใส่เข้าแม่พิมพ์ โดยโรยแกลบบนลานดินภายในแม่พิมพ์ก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้ดินผสมติดกับแม่พิมพ์ ปาดให้เรียบ ตัดทำเป็นแผ่น ผึ่งให้แห้งหรือพอบหมาด แล้วเอาเข้าเตาเผาจนสุก มีขนาดกว้าง 9.5 เซนติเมตร ยาว 20.00 เซนติเมตร และหนา 5.0 เซนติเมตร

2. อิฐขาว ทำจากปูนขาวและทรายผสมกัน อัดด้วยเครื่องจักรที่มีความกดดันสูง 500 ตัน แล้วอบด้วยความร้อนสูงอิฐขาวเป็นอิฐที่ใช้ เทคโนโลยีสมัยใหม่ พัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนอิฐมอญ และอิฐบล็อก เหมาะสำหรับงานก่อสร้างทุกชนิด เป็นอิฐที่แพร่หลายมานานกว่า 100 ปีในยุโรปและอเมริกา อิฐขาวเป็นอิฐที่มีความแข็งแรงคงทนถาวรกว่าอิฐมอญหรืออิฐบล็อกโดยทั่วไป ไม่ต้องฉาบปูน เนื้ออิฐมีความหนาแน่นมาก น้ำจึงไม่สามารถซึมผ่าน ไม่อมความชื้น ป้องกันความร้อนได้ดี มีน้ำหนักเบา ประหยัดโครงสร้าง ผนังอิฐขาวสามารถกันไฟไม่ให้ลุกลามต่อไปได้ มีความสวยงามตามธรรมชาติ โดยไม่ต้องทาสีทับ

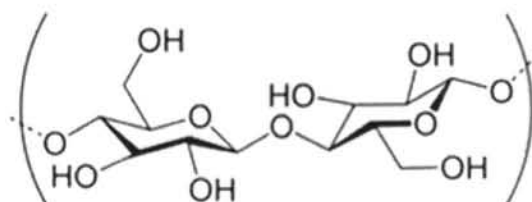
3. อิฐประดับ เป็นการผลิตด้วยหินแกรนิต กรวด ทรายซิลิกาสีต่าง ๆ ซีเมนต์และสารเคมีหลายชนิดผสมกันแล้วอัดด้วยเครื่องอัดแรง มีคุณสมบัติแข็งแรง ไม่แตกง่ายเป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดี

4. อิฐบล็อกและคอนกรีตบล็อก อิฐบล็อกทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับทราย ซึ่งเป็นอิฐที่มีความนิยมใช้ในงานก่อสร้างเช่นเดียวกับอิฐมอญ เนื่องจากมีราคาถูกและก่อสร้างได้รวดเร็ว ข้อเสียคือไม่ค่อยแข็งแรง ส่วนคอนกรีตบล็อกทำจากส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับหินและทรายสามารถรับแรงอัดได้สูงประมาณ 300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเป็นที่นิยมใช้ในงานปูพื้นและทางเข้า การปูพื้นทำได้ง่ายสะดวกรวดเร็วไม่ทิ้งรอยสกปรกเลอะเทอะ

2.12.5 ไม้อัด

เกิดจากการรวมไม้หลาย ๆ ชนิดเข้าด้วยกันหรือทำจากไม้ชนิดเดียวกัน โดยการตัดท่อนซุงให้มีความยาวตามที่ต้องการ แล้วกลึงปอกท่อนซุง หรือฝานให้ได้แผ่นไม้เป็นแผ่นบาง ๆ มีความหนาตั้งแต่ 1 ถึง 4 มิลลิเมตร แล้วนำมาอัดติดกันโดยใช้กาวเป็นตัวประสานโดยให้แต่ละแผ่นมีแนวเสี้ยน ตั้งฉากกัน แผ่นไม้จะถูกอบแห้งในเตาอบ ไม้อัดมีขนาด กว้าง 4 ฟุต ยาว 8 ฟุต หนา 4,6,8,10,15 และ 20 มิลลิเมตร

โครงสร้างของไม้ประกอบด้วยเซลลูโลส ซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 โครงสร้างเซลลูโลส

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มงคลชัย เชนรัมย์ และชลดา เลวิต [18] ศึกษาอิทธิพลของสารตัวเติมชนิด เขม่าดำเกรด N220 และ N330 สารตัวเติมซิลิกาเกรด Hi Sil-233 ปริมาณ 10, 20, 30 และ 40 ส่วนต่ออย่างร้อยละ ต่อสมบัติทางกายภาพของยางวัลคาไนซ์ และ สมบัติการยึดติดกับผ้า และผ้าไนลอน โดยผสมยางกับสารเคมีด้วยเครื่องบดยาง 2 ลูกกลิ้ง วัลคาไนซ์ด้วยระบบกำมะถันปกติแล้วเตรียมเป็นชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดเป่า และทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด การทนทานต่อการบ่มแรง ความทนทานต่อไอโซน ความทนทานต่อการหักงอ ความทนทานต่อการสึกหรอ และความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับผ้าใบ (ทดสอบโดยวิธีดึงลอก) ผลการทดสอบพบว่า ความทนทานต่อแรงดึงของแรงที่ใช้ N220 มากกว่า N330 และ Hi Sil-233 ตามลำดับ ความทนต่อแรงดึงภายหลังจากบ่มแรงและความทนทานต่อการฉีกขาดของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า N220 และ N330 ความทนต่อการสึกหรอที่ปริมาณสารตัวเติม 10 และ 20 phr ของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า N220 และ N330 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมเป็น 30 ถึง 40 phr ยางที่ใช้ N220 มากกว่า N330 และ Hi Sil-233 ความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางกับผ้าใบของยางที่ใช้ Hi Sil-233 มากกว่า

N220 และ N330 ตามลำดับ แต่การยืดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม การใช้ไซเลนเป็นสารช่วยยืดติดระหว่างยางกับซิลิกา พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณไซเลนจาก 0.9, 1.8, 2.7 และ 3.6 phr ทำให้ความทนต่อแรงดึงและความทนต่อการฉีกขาดดีขึ้น แต่ความแข็งแรงของการยืดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายลดลง เมื่อใช้ผ้าใบชนิดผ้าในลอนการยืดติดกับยางจะดีกว่าผ้าฝ้าย แต่ถ้าเคลือบกายาธรรมชาติลงบนผ้าฝ้ายก่อนที่จะเคลือบยางคอมพาวด์ จะทำให้การยืดติดระหว่างยางกับผ้าฝ้ายมีค่าใกล้เคียงกับผ้าใบในลอน

ชมพูนุท สัจจร [19] ศึกษาผลของอนุภาคดิสเพอร์ชันที่มีต่อกระบวนการผลิตและคุณภาพของถุงมือยางทางการแพทย์ ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ เพื่อทราบขนาดที่เหมาะสมในการนำไปใช้เตรียมน้ำยางผสมสารเคมีเพื่อใช้ในการผลิตถุงมือยาง สำหรับการตรวจโรคชนิดใช้ครั้งเดียวตามมาตรฐาน มอก.1056-2540 โดยสารเคมีที่เป็นของแข็งไม่ละลายน้ำ ก่อนเติมในน้ำยางจะต้องเตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน เนื่องจากโมเลกุลของยางมีขนาดเล็กและแขวนลอยอยู่ในน้ำ ถ้าเติมสารเคมีในรูปของแข็งจะไม่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ จึงต้องเตรียมสารเคมีให้อยู่ในรูปดิสเพอร์ชันโดยการใช้เครื่องบดลบลบดย่อย สำหรับถุงมือยางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ผลิตขึ้นเองตามสูตรที่กำหนด ตัวแปรที่ใช้ศึกษา คือ เวลาการบ่มน้ำยางผสมสารเคมี 4, 5, 6 และ 7 วัน ก่อนนำไปใช้จุ่มถุงมือ และขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชันของสารเคมีในระบบวัลคาไนซ์ ได้แก่ ซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 4.69, 3.78, 2.60 และ 2.48 ไมโครเมตร ZDEC ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 3.30, 2.32, 1.58 และ 1.38 ไมโครเมตร และ ZnO ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ย 1.25, 1.19, 0.85 และ 0.80 ไมโครเมตร นำถุงมือยางที่ได้ศึกษาของศาการคงรูปของน้ำยาง สมบัติด้านการดึงยาง(ก่อนบ่มแรงและหลังบ่มแรงที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง) และลักษณะพื้นผิวของถุงมือยาง พบว่าถุงมือยางที่ใช้ น้ำยางผสมสารเคมีตามที่กำหนดและใช้ ซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.78 ไมโครเมตร ZDEC ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3.3 ไมโครเมตร และ ZnO ดิสเพอร์ชัน ขนาดอนุภาคเฉลี่ยน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.25 ไมโครเมตร และบ่มน้ำยางดังกล่าว 6-7 วัน ถุงมือยางตามเงื่อนไขนี้ มีสมบัติด้านการดึงยางอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดของมอก.1056-2540 และจากการศึกษาพบว่าขนาดอนุภาคดิสเพอร์ชันของสารเคมีในระบบวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อลักษณะพื้นผิวของถุงมือยาง

Gorton, A.D.T., และ Pendle, T.D. [20] ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคในน้ำยางโดยศึกษาผลของกระบวนการวัลคาไนซ์ และสมบัติของยางวัลคาไนซ์แล้ว โดยทำการเตรียมดิสเพอร์ชันให้มีความเข้มข้น 50% และมีขนาดที่พอเหมาะแล้วทำการ Prevulcanized เป็นเวลา 30 นาที ของการผสม โดยใช้ water bath เป็นเครื่องมือให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณ 60% น้ำยาง

166.7 สัดส่วนโดยน้ำหนัก และ 20% Potassium caprylate 1.3 สัดส่วนโดยน้ำหนัก และ 10% Potassium hydroxide solution 1.3 สัดส่วนโดยน้ำหนัก แล้วทำเป็นฟิล์ม โดย casting บนแก้วแล้ว อบที่อุณหภูมิห้องโดยใช้วิธี Coagulant dipping 40% Calcium Nitrate จากนั้นนำไปอบให้แห้งเป็นเวลา 15 นาที ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

Gorton, A.D.T., และ Pendle, T.D. [21] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ในน้ำยางผสมสารเคมี โดยตัวแปรที่ใช้ศึกษาคือ สารเคมีที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ 2 ชนิด เปรียบเทียบกันคือ 1) 50% Zinc diethyldithiocabamate disperstion และ 2) 50% Zinc dibutyldithiocabamate disperstion แล้วจากนั้นนำน้ำยางผสมสารเคมีนั้นมาขึ้นรูปเป็นฟิล์มยาง ศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้ สมบัติด้านการดึงยางโดยวัดจากค่า Pre Vulcanizate Relaxed Modulus (PRM) Method และค่า tensile test โดยวัดในค่าของ Relaxed modulus 100% extention (MR100) ทำการวัดที่ heat aging 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 - 6 ชั่วโมง พบว่าถ้าใช้ 50% Zinc diethyldithiocabamate disperstion จะให้ค่า PRM และ MR100 น้อยกว่าเมื่อใช้ 50% Zinc dibutyldithiocabamate disperstion แสดงว่า 50% Zinc dibutyldithiocabamate disperstion จะช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ได้ดีกว่า นอกจากนี้ทดสอบสมบัติการคงรูปของน้ำยางโดยใช้วิธี Chloroform test และ equilibrium swelling สำหรับ equilibrium swelling วัดในรูปของค่า Q คือ Weight swell index พบว่าถ้าใช้ 50% Zinc diethyldithiocabamate disperstion เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์น้ำยางจะเกิดการเชื่อมขวางกันอย่างสมดุลเมื่อ Chloroform number มีค่าเป็น 4 ซึ่งจะใช้เวลาในการอบที่ 60 องศาเซลเซียสถึง 4 ชั่วโมงขึ้นไป อีกทั้งค่า Q ที่จะได้้น้อยกว่า 5 ก็ต้องใช้เวลาถึง 5 ชั่วโมงขึ้นไป แต่ถ้าใช้ 50% Zinc dibutyldithiocabamate disperstion จะได้ Chloroform number มีค่าเป็น 4 ที่ 2 ชั่วโมง และจะให้ค่า Q ที่น้อยกว่า 5 เมื่อใช้เวลาในการอบเพียง 1 ชั่วโมง ดังนั้น 50% Zinc dibutyldithiocabamate disperstion สามารถช่วยให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้สมบูรณ์กว่า ใช้ 50% Zinc diethyldithiocabamate disperstion

Subramaniam, A. [22] ศึกษาสมบัติของยาง ได้แก่ มวลโมเลกุล การกระจายตัวของมวลโมเลกุล ยางโดยใช้ GPC (Gel Permeation Chromatography) ค่า Wallace plasticity ปริมาณเจล ค่า Plasticity retention index การสกัดอะซิโตน และปรมาณไนโตรเจนของยางหลายพันธ์พบว่า ยางต่างพันธ์กันจะมีสมบัติดังกล่าวต่างกันด้วย ยางที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยต่ำจะมีการกระจายตัวของมวลโมเลกุลเป็นแบบ bimodal ซึ่งตำแหน่งของค่าสูงสุดอยู่ที่ 1×10^5 ถึง 2.5×10^6 ยางที่มีมวลโมเลกุลเฉลี่ยสูงจะมีการกระจายตัวของมวลโมเลกุลเป็นแบบ Unimodal ซึ่งมีเนินหรือไหล่อยู่ที่ช่วงโมเลกุลต่ำ ค่า สัดส่วน M_w/M_n จะมีช่วงตั้งแต่ 2.8-10 ช่วงของมวลโมเลกุลจะอยู่ที่ 3×10^4 ถึง 10^7

Segre N., Joekes I. [23] ศึกษาถึงการเติมเศษยางรถยนต์ลงไปนซีเมนต์ โดยใช้เศษยางที่มีขนาดประมาณ 2-16 มิลลิเมตร ทำการปรับปรุงพื้นผิวของเศษยางโดยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นาน 20 นาที แล้วจึงนำมาผสมกับซีเมนต์ ทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น ค่าความแข็งแรง ละค่าความต้านทานในการสึกกร่อน จากการศึกษาพบว่า ซีเมนต์ที่ผสมเศษยางรถยนต์ที่ทำการปรับปรุงผิวด้วยการแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์นั้นจะให้ค่าความแข็งแรงที่มากกว่า และลดรูพรุนภายในเนื้อซีเมนต์ได้ดีกว่าซีเมนต์ที่ผสมเศษยางที่ไม่ได้แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และจากการทดสอบค่าความต้านทานสึกกร่อนพบว่า เศษยางรถยนต์ที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้วนั้นจะให้แรงยึดเกาะที่ดีกว่าเศษยางรถยนต์ที่ยังไม่ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิว

Ejolle E. Ehabe, Saeed A. Farid [24] ศึกษาถึงยางธรรมชาติที่มีส่วนผสมที่แตกต่างกันโดยใช้ระบบวัลคาไนเซชันแบบต่างๆ ได้แก่ efficient sulfur, conventional sulfur, peroxide และ diurethane แสดงลักษณะในรูปแบบของพฤติกรรมการสุก, วัลคาไนซ์ที่ระดับการสุกที่แตกต่างกัน และจากนั้นทำการทดสอบการเสีรูปไปเมื่อโดนแรงกด (Compression set) ระบบการวัลคาไนซ์, อุณหภูมิการวัลคาไนซ์, และระยะเวลาของการวัลคาไนซ์ เป็นปัจจัยซึ่งมีอิทธิพลต่ออัตราของการวัลคาไนซ์ ส่วนความหนาแน่นของการเชื่อมขวางโมเลกุลในโครงสร้างของยางวัลคาไนซ์ เป็นผลดีต่อการเสีรูปไปต่อแรงกดของยางที่วัลคาไนซ์แล้ว

Ru Liang Fan และคณะ [25] ศึกษาผลของวัลคาไนเซชันที่อุณหภูมิสูง และการวัลคาไนซ์ที่มากเกินไป (overcuring) ต่อลักษณะการทำให้สุก โครงสร้างของการเชื่อมขวาง สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลศาสตร์ (DMP) ของยางธรรมชาติและคาร์บอนแบล็ค (N330) ที่เติมใน NR ที่วัลคาไนซ์ด้วยระบบการวัลคาไนซ์แบบ conventional (CV), semi-efficient (SEV) และ efficient (EV) ที่ซึ่งมีความหนาแน่นของการเชื่อมขวางโมเลกุลที่เท่ากันภายใต้อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสมที่ 150 °C มาใช้ในการทดสอบ NR วัลคาไนซ์ด้วยระบบการวัลคาไนซ์แบบ CV, SEV และ EV มีอุณหภูมิสถานะแก้ว (glass transition temperature, T_g) เดียวกัน และค่า $\tan\delta$ ต่ำที่อุณหภูมิ 0 °C ปัจจุบันนี้การเติม N330 คาร์บอนแบล็คใน NR วัลคาไนซ์ทำให้มีค่าอิลาสติกโมดูลัส (G') และ $\tan\delta$ สูงกว่าของ NR วัลคาไนซ์

Boochathum, P., และ Prajudtake, W. [26] ศึกษาถึงลักษณะการวัลคาไนเซชัน (cure characteristics) ของทั้งสองพอลิไอโซพรีนที่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ *cis*-1,4-polyisoprene (ยางธรรมชาติ-NR) และ *trans*-1,4-polyisoprene (TPI) ได้จากการสังเคราะห์ ซึ่งใช้เป็นตัวพื้นฐานในการศึกษาการทำปฏิกิริยาและขอบเขตของการวัลคาไนซ์ เปรียบเทียบอัตราการสุก (cure rate) สำหรับ NR, TPI และการผสม (blends) ของทั้งสอง พิจารณาโดยใช้ d.s.c. (the differential

scanning calorimetry) อัตราของการวัลคาไนซ์ (rates of vulcanization) ของ NR พบว่ามีค่าสูงกว่าของ TPI โดยไม่สนใจความเข้มข้นของซัลเฟอร์ที่ใช้ ขอบเขตของการวัลคาไนซ์ของพอลิเมอร์แต่ละตัวใน NR/TPI ที่ผสมกันได้ถูกทดสอบโดยสังเกตการเปลี่ยนแปลงในความสูงที่ลดหลั่นลงไป (damping height) ซึ่งพิจารณาโดยใช้การวิเคราะห์เชิงกลศาสตร์ (dynamic mechanical analysis) ในการรวมกับความหนาแน่นในการเชื่อมขวางโมเลกุล และการกระจายตัวในการเชื่อมขวางโมเลกุลสำหรับพอลิเมอร์ที่วัลคาไนซ์แล้ว ส่วนการวัดการวัลคาไนซ์ (probe treated vulcanizates) โดยทั่วไปใช้วิธีการทดสอบการบวม TPI มีชั้นของการวัลคาไนซ์สูงกว่าเมื่อเติมด้วยส่วนผสมที่มากกว่า 30 wt.% การเพิ่มขึ้นอย่างมากในสัดส่วนของการเชื่อมขวางโมเลกุลแบบพอลิซัลฟิดิก (polysulfidic crosslink) / การเชื่อมขวางโมเลกุลแบบโมโนซัลฟิดิก+ไดซัลฟิดิก สำหรับของผสม NR/TPI ด้วยปริมาณ TPI 30 wt.% สำหรับทั้งระบบ conventional system และ efficient system กล่าวได้ว่าสมบัติทางเคมีของการวัลคาไนซ์ใน NR เปลี่ยนแปลงโดยการเติม TPI ส่วนชั้นของการวัลคาไนซ์ของ TPI ในการผสม NR/TPI ชั้นของการวัลคาไนซ์ของ TPI ในการผสมของ NR/TPI โดยใช้ระบบ conventional system ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์สูงมีค่าสูงกว่าที่ใช้ efficient system ที่ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ต่ำ TPI มีชั้นของการเชื่อมขวางโมเลกุลสูงกว่า *cis*-1,4-polyisoprene สัดส่วนของการเชื่อมขวางโมเลกุลแบบพอลิซัลฟิดิกสำหรับ TPI พบว่ามีค่าสูงกว่า *cis*-1,4-polyisoprene ที่วัลคาไนซ์แล้วเมื่อใช้สัดส่วนของสารเร่งปฏิกิริยาการคงรูป/ซัลเฟอร์ต่ำ ผลแสดงว่ารูปร่างของอิลาสโตเมอร์ที่แตกต่างกันให้สมบัติทางเคมีของการวัลคาไนซ์ซัลเฟอร์ที่แตกต่างกันสูง ที่ซึ่งการเชื่อมขวางแบบพอลิซัลฟิดิกสำหรับ *cis*-1,4-polyisoprene มีความสำคัญอย่างมากในการดึงซัลเฟอร์ออก (desulfurize) เพื่อเป็นการเชื่อมขวางแบบโมโนซัลฟิดิก ในขณะที่ TPI โครงสร้างพอลิซัลฟิดิกมีความต้านทานมากต่อการสลายตัว

2.14 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 สามารถผลิตน้ำยางคงรูปอิสระเพื่อขึ้นรูปเป็นฟิล์มยางที่มีความแข็งแรง
- 1.3.2 สารประสานคู่ควบไซเลน และโซเดียมซิลิเกตสามารถเพิ่มแรงยึดเกาะกับพื้นผิวบางชนิดได้ดี