หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

2.1.1 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยาง (กุลทิวา รัตนเวคินรักษ์, 2539)

น้ำยางสด เป็นส่วนหนึ่งของไซโตพลาสซึมที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางพารา สามารถทำให้ไหลออกมาจากท่อน้ำยางโดยการกรีดหรือเจาะ ส่วนของท่อน้ำยางมีลักษณะเป็นท่อที่เกิดจากเซลล์ต่อกัน โดยตอนปลายของแต่ละเซลล์จะทะลุถึงกันและมีส่วนเชื่อมโยงกันเป็นตาข่าย หากดูตามแนวลำต้น จะพบท่อน้ำยางเรียงเป็นแนวยาวเชื่อมติดกันหลาย ๆ ท่อซึ่งท่อน้ำยางจากท่อหนึ่งสามารถไหลไปอีกท่อหนึ่งได้และท่อน้ำยางจะไหลเวียนจากซ้ายไปขวา

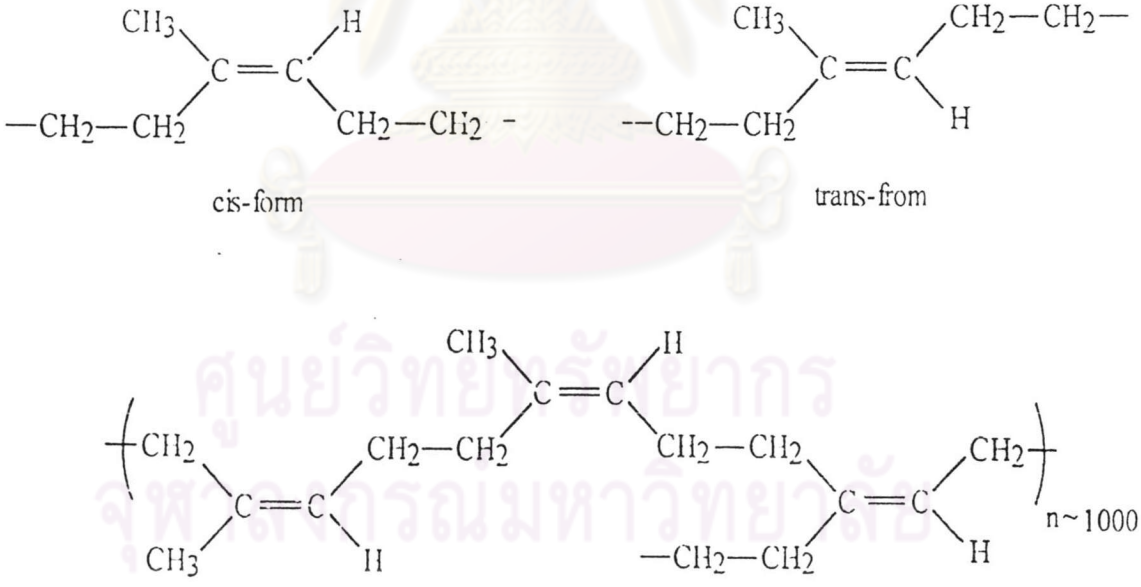
น้ำยางสดที่ภายหลังกรีดออกมาจากต้นยางพาราจะคงสภาพของเหลวอยู่ได้ ระยะหนึ่ง การที่น้ำยางสดมีความคงตัวอยู่ในสถานะของเหลวได้นั้น เนื่องจากอนุภาคยางที่แขวนลอยในตัวกลางที่เป็นน้ำมีประจุลบของไลปิดและโปรตีนอยู่ที่พื้นผิวของอนุภาคยาง ตราบใดที่ประจุลบที่ห่อหุ้มอนุภาคยางไว้ยังคงอยู่ น้ำยางจะคงสภาพเป็นของเหลวได้

ตารางที่ 2. 1 ส่วนประกอบของน้ำยางสดหลังกรีด (Wester และ Baukwill, 1989)

ส่วนประกอบโดยประมาณ	%
ยาง	35.62
ไขมัน เรซิน	1.65
โปรตีน	2.03
คาร์โบไฮเดรต	0.34
เถ้า	0.70
น้ำ	59.62

น้ำยางสดโดยธรรมชาติเป็นสารไม่บริสุทธิ์ มีปริมาณเนื้อยางแห้งระหว่าง 25 - 45 % ประกอบด้วยเม็ดยางเม็ดเล็ก ๆ (globule) ห่อหุ้มด้วยสารจำพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต มีสีขาวเหมือนน้ำนม บางสายพันธุ์ก็มีสีเหลืองอ่อน เม็ดยางเหล่านี้แทรกตัวอยู่ในน้ำ เนื่องจากเม็ดยางเล็กมากและกระจายอยู่ทั่วไป จนมองเห็นคล้ายเป็นน้ำนม ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 - 0.980 g/l มี pH ประมาณ 6.5 - 7.0 ความหนืดไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง การกรีด และฤดูกาล เป็นต้น

ยางธรรมชาติ เป็นสารโพลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่เป็นไอโซพรีน เขียนเป็นสูตรเคมี คือ C_5H_8 มาเชื่อมต่อกันแบบหัวต่อหางเป็นสายยาว $(C_5H_8)_n$ เรียกชื่อทางเคมีว่าโพลีไอโซพรีน (polyisoprene) โครงสร้างโมเลกุลยางส่วนใหญ่เป็นแบบ cis - configulation รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลม หรือรูปลูกแพร์ ขนาด 0.05 - 5 ไมครอน



โดยที่ n = 1000

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ

นอกจากเนื้อยางที่เป็นสารไฮโดรคาร์บอนแล้วในน้ำยางยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ปะปนอยู่ดังนี้

(ก) โปรตีน (protein)

ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 % ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 % จะอยู่ในชั้นน้ำและอีก 25 % อยู่ในส่วนที่เป็นลูทอยด์ โปรตีนส่วนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็นชนิดแอลฟากลูบูลีน (α-globulin) และฮีวิน (hevein) ส่วนนอกสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 % ของอนุภาคยาง โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้มีส่วนประกอบของกำมะถัน (cystine disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5 % ดังนั้นในขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพจะเกิดการบูดเน่า โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารเมอร์แคบแตน (mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น

โปรตีนจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบอยู่ในตัว จากส่วน amino group (NH_2) และ carboxyl group (COOH) คือ เมื่อได้รับอิทธิพลจากตัวกลางที่ล้อมรอบอยู่เป็นกรด จะทำให้มีประจุบวก เมื่อได้รับอิทธิพลจากตัวกลางที่ล้อมรอบเป็นเบส จะมีประจุลบ ในน้ำยางธรรมชาติจะมีจุดหนึ่งซึ่งโปรตีนในน้ำยางจะเกิดการแตกตัวของ COOH และ NH_2 มากที่สุดและจะให้ COO^- และ NH_3^+ เท่า ๆ กัน ทำให้ความแตกต่างระหว่างประจุบวกกับประจุลบมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจุดนี้เรียกว่า Isoelectric point จะเกิดได้มากที่สุดที่ pH 5 ดังนั้นในน้ำยางที่เพิ่งกรีดออกจากต้นยางใหม่ ๆ มี pH 7 เมื่อเทียบกับ isoelectric point ของโปรตีนที่มี pH 5 จะเห็นว่าสิ่งแวดล้อมของตัวกลางจะเป็นเบส ดังนั้นโปรตีนจะแตกตัวให้ประจุลบที่มากเกินพอของ COO^- ทำให้ประจุบวกของ NH_3^+ ที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าจะพุ่งตรงเข้าไปภายในของส่วนที่เป็นไฮโดรคาร์บอนของอนุภาคยาง โดยจะถูกดูดไว้ด้วย OH^- ของไขมัน ส่วนของประจุลบ COO^- จะพุ่งตรงออกมาทางผิวด้านนอกของยาง ไฮโดรคาร์บอนโดยเกิดจากแรงผลักของประจุลบ (OH^-) ของไขมัน และเนื่องโปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่มีค่า isoelectric point หลายค่า โปรตีนที่มีค่า isoelectric point สูง สามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นสาเหตุให้น้ำยางเสียสภาพได้ (กุลทิวา รัตนเวคินรัตน์, 2539)

(ข) ไลปิด

ไลปิด (lipids) เป็นสารประกอบของ fatty glycerides ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา esterification ของ glycerol กับ fatty acid (กรดไขมัน) กลายเป็น lipids ในน้ำยาง Hevea lipids มักจะรวมกับไอออนอื่น ๆ เช่น Ca^{++}, Mg^{++} และ Cu^{++} แต่จะรวมกับ P (ในรูปของ $H_2PO_4^-$) มากที่สุดและรวมกับ choline ด้วย กลายเป็นหมู่ของสารประกอบที่เรียกว่า เลซิติน (lecithins) เมื่อ

น้ำยางถูกกรีดออกมาจากต้นใหม่ ๆ จะมีค่าความเป็นกรดเบส (pH) ประมาณ 7 เนื่องจากอนุภาคยางเป็นสารไฮโดรคาร์บอนเป็นสารไม่มีขั้ว (non - polar) จะดูดชั้นของ lipids ไว้

(ค) ซีรัม (serum)

ซีรัมหรือส่วนที่เป็นน้ำของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 g/l ประกอบด้วยสารชนิดต่าง ๆ คือ คาร์โบไฮเดรต มีอยู่ในรูปของแป้งและน้ำตาลคิวบาซอล (quebrachitol) กลูโคส ซูโครส ฟรักโทส ปริมาณเล็กน้อย น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลเล็ก ๆ (short chain fatty acid) ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย (volatile fatty acid; VFA) ประกอบด้วยกรดฟอร์มิก กรดแอซีติกและกรดโพรไพออนิก เป็นต้น ดังนั้น ค่า VFA จึงเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง โดยน้ำยางที่เก็บรักษาดีจะมีค่า VFA ต่ำประมาณ 0.01-0.02 ตามมาตรฐานสากลของน้ำยางข้น กำหนดให้มีค่า VFA ไม่เกิน 0.2 หน่วย

(ง) ลูทอยด์และสารอื่น ๆ

ลูทอยด์ เป็นอนุภาคที่ค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 3 ไมครอน ห่อด้วยเยื่อบาง ๆ ภายในเยื่อบาง ๆ นี้จะมีทั้งสารละลายและสารแขวนลอย มีค่า pH1 = 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 % และมีส่วนของสารพวกโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 % นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 % และมีฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้น้ำยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ลูทอยด์ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียว สามารถเกิดการออสโมซิสได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดจะลดลง

ในสภาพของอากาศร้อนอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลทำให้ลูทอยด์แตกจากการที่ของเหลวภายในลูทอยด์ขยายตัวและแตกออก เมื่อลูทอยด์แตกของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวกและอิออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออนและแมกนีเซียมไอออน จะปะปนรวมกันอยู่ในซีรัมทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำยาง มีผลทำให้น้ำยางหยุดไหลหลังกรีด ส่วนเนื้อเยื่อบาง ๆ ของลูทอยด์ที่แตกออก มีรูปร่างไม่แน่นอน และเกิดการจับตัวกันเองเป็นก้อน ติดอยู่บริเวณผิวนอกของอนุภาคยาง ทำให้อนุภาคยางมีขนาดโตขึ้นเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าลงและจับก้อน เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพได้ การเติมแอมโมเนียลงไปน้ำยางสดจะทำให้ ส่วนของลูทอยด์และสารพวกโลหะแมกนีเซียมรวมตัวกับ

แอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตมสีน้ำตาลและสีม่วงแยกออกจากเนื้อยาง และเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสามารถแยกออกมาได้

(จ) อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (frey wyssling)

เป็นสารไม่ใช่ยางที่มีขนาดใหญ่กว่ายางแต่มีความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรทีนอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียแยกออกจากส่วนที่เป็นยางมาอยู่ในส่วนของซีรัม (เสาวนีย์ ก่อวุฒิรังสี, 2540)

ยางมีความยืดหยุ่นได้ เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ของยางแต่ละโมเลกุลเป็นขดของสายโมเลกุลที่เกิดจากหน่วยย่อยไอโซพรีนต่อเนื่องกัน ยางชิ้นหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยขดของสายโมเลกุลที่พันกันอย่างยุ่งเหยิง สายโมเลกุลเหล่านี้ มีสมบัติถูกหักงอ หรือยืดได้ การดึงหรือยืดชิ้นยาง ก็เท่ากับยืดสายโมเลกุลของยางให้คลายออก แต่เมื่อปล่อยคืนให้ความอิสระกับชิ้นยาง สายโมเลกุลยางก็จะพยายามหดตัวกลับมาขดอยู่ในสภาพเดิม

2.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของน้ำยางสด (กุลทิวา รัตนเวคินรัตน์, 2539)

(ก) Brownian Motion

เนื่องจากอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในของเหลวระบบคอลลอยด์นั้นมีขนาดของอนุภาคใหญ่พอที่จะทำให้แรงบนอนุภาคมากเพียงพอที่จะชนะแรงโน้มถ่วง ฉะนั้น จะป้องกันการเกิดครีม คืออนุภาคยางลอยขึ้นมาข้างบนผิวหน้าแยกจากส่วนที่เป็นซีรัมได้

(ข) Electrical repulsion

เนื่องจากสภาวะที่อนุภาคยางมีประจุลบของโปรตีนและไลปิดอยู่บนผิวหน้า จะเกิดแรงผลักระหว่างประจุลบของอนุภาคยางด้วยกัน ลดโอกาสการกระทบกระทั่งกันของอนุภาคยาง ส่งผลให้การจับตัวโดยอนุภาคยางเล็ก ๆ มารวมกันเป็นก้อนใหญ่และแยกออกจากซีรัมเกิดได้ยาก อนุภาคยางจึงคงความเป็นของเหลวอยู่ได้

(ค) Physical buffering

เนื่องจากการดูดซับน้ำ (hydration layer) น้ำเป็นสารที่มีขั้ว (polar material) จะก่อให้เกิดชั้นของขั้วอยู่ถัดจากผิวของอนุภาคยาง เกิดการดึงดูดขึ้นอย่างแรงกับผิวหน้าของอนุภาคยาง ดังนั้น จะรักษาไว้ซึ่งการมีประจุบลบบนผิวหน้าของอนุภาคยางได้

2.1.3 การเสียสภาพของน้ำยาง

ในทางเคมีจัดน้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีอนุภาคยาง (rubber particles) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า ซีรัม และเป็นที่ทราบกันดีว่าในน้ำยางมีส่วนของสารโปรตีน โดยส่วนหนึ่งของสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวอนุภาคยาง เป็นเปลือกห่อหุ้มอยู่รอบอนุภาคยาง ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อเสถียรภาพการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมตัวกัน นอกจากชั้นโปรตีนที่จะห่อหุ้ม ทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในชั้นโปรตีนนี้ ยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต (carboxylate, $RCOO^-$) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักดันกันเองระหว่างอนุภาคยาง ดังนั้นน้ำยางจึงคงสภาพการเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัย 2 ประการคือชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยางและอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต การเสียสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยางจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (dehydrate) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันจับเป็นก้อนยาง เรียกว่า โคแอกกูลัม (coagulum) แยกส่วนที่เป็นยางออกจากส่วนที่เป็นซีรัม

(ก) ลักษณะของการเสียเสถียรภาพของน้ำยาง (destability)

- เกิดการรวมตัวของอนุภาคของยางอย่างรวดเร็วแล้วแยกตัวออกจากน้ำที่เป็นซีรัมที่มีลักษณะใส ซึ่งเรียกว่า โคแอกูเลชั่น (coagulation) ตัวอย่าง เช่น การจับตัวของน้ำยางด้วยสารเคมีประเภทกรดในการทำยางแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ

-การเกิดการจับก้อนของยางในลักษณะที่น้ำยางเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นของแข็งอย่างช้า ๆ และได้ของแข็งปริมาตรเท่าเดิม ลักษณะของยางที่ได้เป็นแบบเจล (gel) ซึ่งเราเรียกว่า เจลเลชัน (gelation) ปรากฏการณ์ที่ตามมาจากการจับก้อนด้วยวิธีนี้ คือ การหดตัวของยางที่ถูกบีบเอาซีรัมออกจากยางซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ ซีเนอรีซีส (syneresis) ทำให้ยางที่ได้หดตัวลงจากเดิม ตัวอย่างการเกิดการจับก้อนแบบนี้คือกระบวนการทำฟองน้ำแบบเจล ซึ่งจะเห็นว่าฟองน้ำที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าเบ้าพิมพ์เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในยาง

- การเกิดการจับก้อนของอนุภาคยางที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ และยังกระจายตัวแบบขุ่น ที่เรียกว่า milky solution ซึ่งเราเรียกการจับก้อนของยางแบบนี้ว่าฟลอกคูเลชั่น (flocculation) เนื่องจากการจับก้อนแบบนี้ได้ยางที่เป็นเม็ดเล็ก ๆ ดังนั้นบางครั้งก็เรียกการจับตัวของยางแบบนี้ว่า micro coagulation

(ข) สาเหตุที่ทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพ

- สภาพอากาศ ความเย็น ปกติความเย็นจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยาง จนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในกรณีอากาศเย็นมาก ๆ อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำจับตัวเป็นน้ำแข็ง แยกตัวออกจากอนุภาคของยาง ทำให้อนุภาคของยางถูกผลักให้รวมตัวกระจายอยู่ในปริมาณของน้ำน้อยลงทำให้อนุภาคยางมีโอกาสมากระทบกันได้มากขึ้นมีผลให้ยางรวมตัวเป็นก้อนได้ ความร้อนทำให้อุณหภูมิของยางสูงขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของยางสูงขึ้นไม่เป็นผลต่อเสถียรภาพของน้ำยาง จนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำทำให้น้ำระเหยไปเพิ่มโอกาสให้อนุภาคยางมีโอกาสจับก้อนกัน

- การกระทบกันทางกล ระหว่างการขนส่งทำให้เกิดการกระทบกันของอนุภาคยาง เมื่อบ่อย ๆ เข้าจะทำให้แรงในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นในอนุภาคยางเรื่อย ๆ ยางรวมกันเป็นอนุภาคใหญ่ขึ้นและจับก้อนกันบางส่วน จนทำให้น้ำยางเกิดการเสียเสถียรภาพขึ้น

- อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าหรือประจุจากขั้วไฟฟ้า เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบถ้าเอาขั้วบวกใส่เข้าไปในน้ำยาง อนุภาคยางจะวิ่งเข้าหาขั้วบวก ถ่ายประจุให้แล้วตัวเองเป็นกลางทำให้เกิดการรวมกันของอนุภาคยางได้

- สารเคมีประเภทกรด กรดแก่ ได้แก่สารใด ๆ ที่แตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลนี้จะทำให้ปฏิกิริยากับอนุมูลคาร์บอกซิเลตที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคยางมีผลทำให้เกิดเป็นกรดไขมัน ซึ่งไม่ละลายน้ำทำให้ชั้นของอนุมูลประจุลบที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคยางแฟบลง เกิดการจับก้อนของอนุภาคยางอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้อนุมูลโลหะก็จะทำให้ยางที่มีประจุลบเสียเสถียรภาพ เนื่องจากอนุมูลโลหะกับอนุมูลคาร์บอกซิเลต ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นสบู่ของโลหะหนัก (metallic soaps) ไม่ละลายน้ำ

2.1.4 สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง

เนื่องจากในน้ำยางสด มีส่วนประกอบหลายชนิด ที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ได้แก่ พวกน้ำตาลกลูโคส ฟรักโตส เมื่อจุลินทรีย์ในอากาศปะปนในน้ำยาง ก็จะทำการเปลี่ยนแปลงจนเกิด

สารประเภทกรดที่ทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้ยางจับตัวเป็นก้อน เรียกการจับก้อนนี้ว่า การจับก้อนที่เกิดเองตามธรรมชาติ (natural or spontaneous coagulation) ซึ่งการเกิดจะเร็วหรือช้าก็ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมและความคงตัวของน้ำยางตามสายพันธุ์ ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อรักษาสภาพน้ำยาง

(ก) สมบัติของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (กุลทิวา รัตนเวคินรัตน์, 2539)

-มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง อาจเรียกสารนี้ว่า bactericide

-เป็นสารที่เพิ่มความเสถียรของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยการเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยางและน้ำที่อยู่รอบ ๆ ผิวอนุภาคยาง เนื่องจากผิวอนุภาคยางมีสภาพของประจุเป็นลบ มีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางควรมีฤทธิ์เป็นด่างหรือให้ประจุลบ

-เป็นสารซึ่งสามารถทำให้อนุมูลของโลหะหนัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยาหรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เช่น อนุมูลของโลหะแคลเซียมหรือแมกนีเซียมเป็นต้น

- เป็นสารที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งอยู่ในน้ำยางทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่

-ไม่เป็นพิษต่อคนไม่ทำให้คุณภาพของยางเปลี่ยนไป เช่น สีของยางเปลี่ยนไป สะดวกและปลอดภัยในการเก็บรักษาและขนส่ง

(ข) สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษาคือ

- สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางระยะสั้น (short term preservative)

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ซึ่งอาจเป็นเวลา 2 - 3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางนั้นมาแปรรูปเป็นยางแห้งหรือน้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟต์ ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น

- สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน (long term preservative)

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลวไม่ให้มีการบูดเน่าหรือมีกลิ่นเหม็น เมื่อต้องเก็บน้ำยางไว้นานหรือเพื่อการส่งออก สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (preservative) ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น เรียกสารเคมีที่ใช้ร่วมกับแอมโมเนียว่า secondary preservative ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ ทีเอ็มทีดี กรดบอริก และ โซเดียมเพนตะคลอโรฟีเนต เป็นต้น

(ค) สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำยางแผ่น

สวนยางขนาดเล็ก ไม่จำเป็นต้องใส่สารป้องกันการจับก้อนของน้ำยางก่อนทำยางแผ่น เพราะน้ำยางใช้ทำเป็นยางแผ่นทันทีหลังเก็บน้ำยาง สวนยางขนาดใหญ่ จำเป็นต้องมีการใส่สารป้องกันการจับก้อนของน้ำยางสดเพราะต้องใช้ระยะเวลานานในการรวบรวมน้ำยางปริมาณมากก่อนที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตเป็นยางแผ่น สารเคมีที่ใช้มีดังนี้

- แอมโมเนีย เป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการจับก้อนของน้ำยาง มีฤทธิ์เป็นด่าง ทำให้น้ำยางมีความเสถียรเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยกำจัดอิออนของโลหะพวกแมกนีเซียมที่มีอยู่ในน้ำยาง ทำให้เกิดการตกตะกอนกลายเป็นแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ดังสมการ

$$Mg^{++} + NH_3 + HPO_3 \longrightarrow MgNH_4PO_4 \downarrow$$

ในการทำยางแผ่นหากต้องการรักษาสภาพน้ำยางสดไว้ 3 - 10 ชั่วโมง ควรใส่แอมโมเนียปริมาณ 0.01 - 0.05 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง ถ้าต้องการเก็บรักษาน้ำยางไว้นาน 1 - 2 วัน ควรใส่แอมโมเนียปริมาณ 0.15 % ต่อน้ำหนักยาง โดยเตรียมแอมโมเนียให้อยู่ในรูปสารละลายแอมโมเนีย 10 % หากใส่แอมโมเนียสูงเกินไป จะทำให้ต้องใช้กรดปริมาณมากเพื่อทำให้น้ำยางจับก้อน มีผลทำให้สมบัติยาง มีดัชนีความอ่อนตัวของยางสูงขึ้น หากล้างกรดออกไม่หมดยางจะเหนียวเยิ้ม และมีสีคล้ำกว่าปกติ

- ฟอร์มาลดีไฮด์ หรือฟอร์มาลีน มีจำหน่ายในรูปของสารละลาย 38 – 40 % จำเป็นต้องเก็บในที่มืดและปิดฝาภาชนะให้แน่น เพราะสารนี้สามารถถูกออกซิไดซ์กลายเป็นกรดฟอร์มิกได้ ดังนั้นเวลาใช้จำเป็นต้องทำให้ฟอร์มาลดีไฮด์เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต หรืออาจใช้สารเคมีอื่น ที่มีความเป็นด่าง เช่นโซเดียมซัลไฟต์ หรือแอมโมเนียร่วมด้วย เวลาใช้ควรเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย 1 %

การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ ปริมาณ 0.05 % ต่อน้ำหนักยางกรณีลำต้นยางแห้ง สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ 2 -4 วัน กรณีลำต้นยางเปียก สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ น้อยกว่า 1 วัน การใช้สารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ปริมาณ 0.06 -0.09 % ต่อน้ำหนักน้ำยางเพื่อทำยางแผ่น โดยจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลและพันธุ์ยาง ส่วนกรดที่ใช้ในการทำยางแผ่นจะใช้ปริมาณเท่ากับน้ำยางที่ไม่ได้ใส่สารฟอร์มาลดีไฮด์ แต่ยางแผ่นได้จะมีสีคล้ำกว่าปกติ

การใช้ปริมาณเล็กน้อยร่วมกับการใช้สารอื่น เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ 0.03 เปอร์เซ็นต์ใช้ร่วมกับแอมโมเนีย 0.03 % ต่อน้ำหนักน้ำยางจะสามารถรักษาสภาพน้ำยางได้นานเท่ากับการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ 0.06 % แต่การใช้แอมโมเนียร่วมด้วยในการรักษาน้ำยางเพื่อทำยางแผ่นจะต้องใช้ปริมาณกรดในการจับก้อนยางมากกว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์เพียงอย่างเดียว แอมโมเนียและฟอร์มาลดีไฮด์สามารถรวมตัวกันเกิดเป็นผลึก heamethylene tetramine ดังนั้นเวลาใช้จึงควรใส่สารเก็บรักษาน้ำยางทั้งสองชนิดแยกกัน โดยการใส่ฟอร์มาลดีไฮดลงไปในน้ำยางก่อนแล้วจึงใส่แอมโมเนีย การใช้ฟอร์มาลดีไฮด์ 0.03 % ร่วมกับสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ไม่เกิน 1 วันและปริมาณกรดที่ใช้ทำยางแผ่นจะใช้มากกว่าปกติเล็กน้อย

- โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2SO_3) เป็นผงสีขาว มีส่วนผสมของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณ 48-50 % มีฤทธิ์เป็นด่าง ไม่เสถียรที่อุณหภูมิสูง ควรใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด และเก็บไว้ในที่เย็นและควรเตรียมใหม่ทุกครั้งที่ใช้ โดยทำเป็นสารละลาย 3 % น้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณการใช้ ใช้เติมลงในถ้วยหรือถังรวมน้ำยาง สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ในช่วงสั้น ๆ โดยไม่ทำให้ยางเปลี่ยนสีโดย ถ้าใช้ปริมาณ 0.05-008 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง จะเก็บรักษาน้ำยางได้ 12-14 ชั่วโมง ถ้าใช้ ปริมาณ 0.1 % ต่อน้ำหนักน้ำยางจะเก็บรักษาน้ำยางได้ 24 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินไป จะต้องใช้กรดในการจับก้อนยางปริมาณมากเพื่อทำลายความเป็นด่าง ยางแผ่นอาจแห้งช้าและอาจเหนียว เนื่องจากโซเดียมซัลไฟด์สามารถดูดความชื้นได้ดี และอาจมีฟองอากาศเกิดขึ้นบนยางแผ่น เนื่องจากเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทั่วไปยางแผ่นที่ได้จากน้ำยางซึ่งใส่สารโซเดียมซัลไฟด์จะมีสีจางกว่าน้ำยางที่ไม่ใส่สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางหรือยางแผ่นที่ใช้แอมโมเนียร่วมกับฟอร์มาลดีไฮด์เป็นสารเก็บรักษาน้ำยา ดังนั้นควรใช้สารโซเดียมซัลไฟต์ในการป้องกันน้ำยางเกิดการจับก้อนก่อนกำหนดเพื่อทำยางแผ่นผึ่งแห้งหรือยางเครพที่เป็นสีจาง เป็นต้น

- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน สามารถลดปริมาณของกรดซึ่งเกิดขึ้นจากแบคทีเรียใช้สารอาหารที่มีอยู่ในน้ำยางได้ ปริมาณการใช้ ใช้สารละลาย โซเดียมคาร์บอเนต 0.1 % ต่อน้ำหนักน้ำยางจะทำให้ pH ของน้ำยางมีค่าประมาณ 7 ซึ่ง

ปริมาณสารเคมีนี้ไม่ถือเป็นสารเก็บรักษาน้ำยาง ใช้ 0.2 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง จะเก็บรักษาน้ำยางได้นาน 1-2 ชั่วโมง ใช้ 0.5-1.0 % ต่อน้ำหนักน้ำยางจะเก็บรักษาน้ำยางได้ 14-24 ชั่วโมง

- โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) เป็นผงสีขาว มีส่วนประกอบของซัลเฟอร์ออกไซด์อยู่ประมาณ 60-70 % มีฤทธิ์เป็นกรด สามารถทำลายแบคทีเรียได้ สามารถทำลายเอนไซม์ที่ทำให้ยางมีสีคล้ำ ดังนั้นจึงนิยมใช้เป็นสารป้องกันการจับก้อนของยางที่ต้องการสีอ่อน ปริมาณการใช้ โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ 0.1-0.5 % สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ 24 ชั่วโมง

- บอแร็ก ($Na_2B_2O_710H_2O$) เป็นผงสีขาว มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน สามารถทำลายแบคทีเรียได้ ข้อดีของสารเคมีนี้คือ สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้โดยไม่ทำให้ยางแผ่นที่ได้มีสีเข้ม ปริมาณการใช้ บอแร็ก 0.1 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง เก็บรักษาน้ำยางได้ 1-2 ชั่วโมง 0.5-1.0 % เก็บรักษาน้ำยางได้ 14-24 ชั่วโมง

(ง) สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำยางแท่ง

ยางแท่งเกรด STR 5L ผลิตจากน้ำยางสด ต้องมีการควบคุมคุณภาพให้ได้ยางที่มีสีอ่อน ความเข้มสีไม่เกินมาตรฐาน สารเคมีที่ใช้เพื่อป้องกันยางเกิดการจับก้อนก่อนกำหนดได้แก่ แอมโมเนีย หรือแอมโมเนียร่วมกับโซเดียมซัลไฟต์ โดยสารเคมีทั้งสองชนิดจะใส่ในปริมาณน้อย ปริมาณการใช้ ใช้แอมโมเนีย 0.05 % ต่อน้ำหนักน้ำยาง จะสามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ประมาณ 4 ชั่วโมง หากใช้ปริมาณมากกว่านี้จะทำให้ยางมีสีเข้มกว่ามาตรฐาน การใช้แอมโมเนียร่วมกับกรดบอริก เพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้นานขึ้น โดยใช้แอมโมเนีย 0.03 % ต่อน้ำหนักน้ำยางร่วมกับ กรดบอริก 0.05 % จะสามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ประมาณ 33-44 ชั่วโมง

(จ) สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น

น้ำยางสดสำหรับทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีวิธีการเก็บและรวบรวมน้ำยางให้ดี ไม่ให้แบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตามเปลือกของต้นยางเข้าไปเจริญในน้ำยาง การป้องกันน้ำยางไม่ให้สูญเสียสภาพทำได้โดยเติมแอมโมเนียลงไปในน้ำยางหรือการใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

- แอมโมเนียสำหรับการเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีปริมาณสูงพอที่จะระงับการเจริญของแบคทีเรียได้ โดยใช้ปริมาณ 0.1 % ขึ้นไป หากใส่ต่ำกว่า 0.05 % จะมีผลทำให้อัตราการเจริญของแบคทีเรียสูงขึ้นเพราะอาจทำให้ pH ของน้ำยางเพิ่มจาก 6.5 เป็น 8.0 มี

ผลทำให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญของแบคทีเรีย ใช้ปริมาณ 0.3 % จะสามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ 5 วัน ใช้ปริมาณ 0.4 % จะสามารถเก็บรักษาน้ำยางได้ 1 เดือน

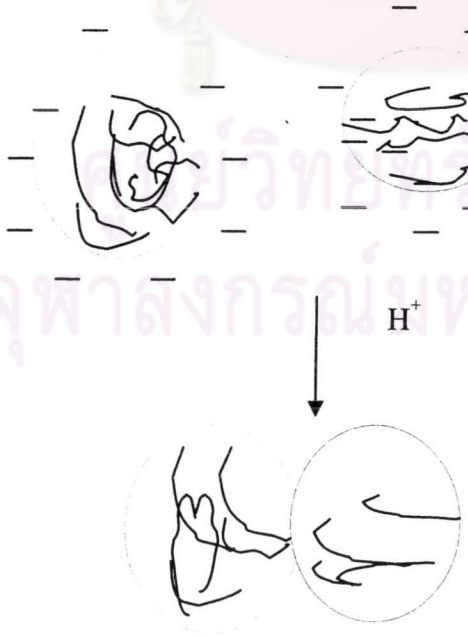
- แอมโมเนียร่วมกับสารอื่น เช่น ใช้แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับกรดบอริก 0.2 % เรียกน้ำยางข้นนี้ว่า LA-BA ใช้แอมโมเนีย 0.2 % ร่วมกับซิงค์ไดอัลคิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDC) 0.2 % เรียกน้ำยางข้นนี้ว่า LA - ZDC ใช้แอมโมเนีย 0.15 % ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ 0.04 % เรียกน้ำยางข้นนี้ว่า LA-TZ เป็นต้น

2.1.5 สารเคมีทำให้น้ำยางจับก้อน (coagulant)

เนื่องจากการที่น้ำยางเกิดการจับตัวตามธรรมชาตินั้นกว่าจะจับโดยสมบูรณ์ใช้เวลานาน ดังนั้นจึงใช้สารเคมีพวกกรด ซึ่งจะสลายตัวให้อนุมูลบวก ไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้เกิดการจับตัวขึ้น เรียกว่าการจับตัวโดยกรด (acid coagulation) กรดใด ๆ ที่สลายตัวให้อิออนบวกของไฮโดรเจน (H^+) สามารถใช้ทำให้น้ำยางจับตัวได้ เพราะ H^+ จะทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลตที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคยาง เกิดกรดไขมัน (fatty acid) ขึ้นรอบอนุภาคยาง ทำให้พลังยึดรอบอนุภาคยางสูญเสียไป ชั้นห่อหุ้มยางแฟบลง และอนุภาคยางจะรวมตัวกันเป็นก้อนดังรูป 2. 2

$$H^+ + RCOO^- \longrightarrow RCOOH$$

Acid carboxylate ion fatty acid



รูปที่ 2.2 ลักษณะการจับก้อนของอนุภาคยาง

แม้ว่ากรดหลาย ๆ ชนิด สามารถทำให้น้ำยางจับตัวได้ แต่กรดที่เหมาะสมในการทำให้น้ำยางจับก้อนเพื่อนำไปผลิตเป็นยางแห้ง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพและยางแท่ง คือกรดฟอร์มิกและกรดแอซีติก แต่ถ้าจะทำให้หางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งมีปริมาณเนื้อยางน้อยจับก้อนเพื่อทำเป็นยางสกิมควรใช้กรดซัลฟิวริก ในขณะที่การทำให้น้ำยางสดจับก้อน นักวิชาการแนะนำให้ใช้กรดฟอร์มิกหรือกรดแอซีติกเพราะเป็นกรดอินทรีย์ (organic acid) เวลาสลายตัวจะสลายได้หมดไม่มีอนุมูลเหลือตกค้างที่จะทำให้คุณสมบัติของยางเสื่อมได้ และเนื่องจากเป็นกรดอ่อนหากไม่เข้มข้นเกินไปเวลาถูกผิวหนัง ก็จะเป็นอันตรายไม่รุนแรง และยังมีอำนาจกัดกร่อนโลหะได้น้อยกว่าจึงทำให้วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ผลิตจับก้อนมีอายุการใช้งานนานขึ้น ซึ่งการใช้กรดจะมีผลทำให้ยางแผ่นเสียคุณภาพได้ถ้าชนิดของกรดไม่ได้มาตรฐาน หรือปริมาณที่ใช้น้อยหรือมากเกินไป (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2548)

ปัจจุบันยางดิบจากธรรมชาติ ที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง มีจำหน่ายหลายชนิด ซึ่งอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือยางแห้ง (dry rubber) และน้ำยางข้น (concentrated latex)

น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วไป อาจแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ได้ผ่านการเติมสารเคมีหรือวิธีการใด ๆ ให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลงไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำยางข้นที่ผ่านการเติมสารเคมี หรือด้วยการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังเรียกว่า น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (prevulcanised or vulcanised latex)

ยางแห้งที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ ยางแท่ง และยางสกิม วัตถุดิบที่จะนำไปผลิตเป็นยางแห้งประเภทต่าง ๆ ได้แก่ น้ำยางสด นำไปผลิตเป็นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพคุณภาพดีและยางแท่งคุณภาพดี ยางแห้งที่จับก้อนแล้ว ได้แก่ เศษยางก้อน (cup lump) ที่ติดก้นถ้วยที่รองรับน้ำยาง เศษยางตามรอยกรีด (tree lace) ยางแห้งตามเปลือกไม้ (bark scrap) และ ยางแห้งตามพื้นดิน (earth scrap) ชาวสวนเรียกว่า ขี้ยาง จะถูกนำไปผลิตเป็นยางเครพและยางแท่งคุณภาพต่ำ

2.2 การผลิตน้ำยางข้น 60 % (รัตน์ เพชรจันทร, 2527)

น้ำยางข้น หมายถึง น้ำยางที่ไล่เอาน้ำออกไปบางส่วนแล้วทำให้มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งเพิ่มจากที่มีในธรรมชาติประมาณ 25 – 40 % เป็น 60 % เพื่อความสะดวกในการขนส่งและการนำน้ำยางไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ในโรงงาน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลจากสวนยาง หรือจากแหล่งยางธรรมชาติ นอกจากนั้น สารต่างๆ บางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยาง ยังอาจมีผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ไม่ดีอีกด้วย เหตุผลเหล่านี้ คือที่มาของการทำน้ำยางสด ให้เป็นน้ำยางที่มีความข้น คือ

มีปริมาณเนื้อยางแห้งเพิ่มจากเดิมเป็น 60 % ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ประเภทจุ่ม ได้แก่ ถุงมือ ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง กาว สีทาบ้าน เบาะนั่ง เบาะอิง ที่นอน เสื้อกันฝน เป็นต้น

วิธีการผลิตน้ำยางข้นที่ทำกันในเชิงการค้ามี 3 วิธี คือวิธีระเหยน้ำ (evaporation) วิธีทำให้เกิดครีม (creaming) และ วิธีปั่น (centrifuging) และอีกวิธีหนึ่งซึ่งไม่สามารถทำเป็นการค้าได้ เพราะไม่สะดวกและลงทุนสูง คือการใช้กระแสไฟฟ้า

วิธีการปั่น เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการผลิตน้ำยางข้น สำหรับประเทศไทยในปัจจุบันทำการผลิตน้ำยางข้น โดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว การปั่นน้ำยางข้นอาศัยเครื่องปั่นซึ่งผลิตจำหน่ายโดยผู้ผลิตจากต่างประเทศ อุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นภายในประเทศไทย หรือประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติอื่น ๆ เช่น มาเลเซีย อินโดนีเซีย ศรีลังกา ได้มีการตื่นตัวกันอย่างมาก ในปี พ.ศ. 2529 เป็นต้นมา เพราะมีการตื่นกลัวต่อโรคเอดส์ ทำให้ความต้องการถุงมือและถุงยางอนามัยเพิ่มมากขึ้น และรวดเร็ว จนเป็นเหตุให้น้ำยางข้นซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของการผลิตขาดแคลน

2.2.1 การทำน้ำยางข้น 60 % โดยการระเหยน้ำ (evaporation)

นำน้ำยางสดใส่ภาชนะแล้วนำไปลอยในกระทะที่มีน้ำร้อนจัดหรือกำลังเดือด น้ำในน้ำยางจะค่อย ๆ ระเหยออกมาโดยทิ้งส่วนที่เป็นยางไว้ และเข้มข้นขึ้นเรื่อย ๆ จนความเข้มข้นถึง 60 % ก็นำไปใช้ได้เหมาะกับการใช้เป็นส่วนผสมหนัก ๆ เช่น กาวลาเท็กซ์

2.2.2 การทำน้ำยางข้น 60 % โดยการใช้สารเคมีแยกให้เกิดครีมยาง (creaming)

นำน้ำยางสดผสมกับแอมโมเนีย 0.6 – 0.8 % ของน้ำหนักยางแห้งเสียก่อนเพื่อป้องกันไม่ให้ยางจับก้อน จากนั้นเตรียมสารเคมี dry ammonium alginate ใช้ 0.12 % ของส่วนที่เป็นน้ำ ผสมกับน้ำ 100 ส่วน อาจใช้ความร้อนช่วยเพื่อให้ละลายได้เร็ว นำมาผสมกับน้ำยางกวนให้เข้ากัน ทิ้งไว้ 10 – 12 วัน ส่วนที่เป็นยางจะลอยขึ้นอยู่ตอนบนของส่วนที่เป็นน้ำ ระบายเอาส่วนที่เป็นน้ำด้านล่างออก น้ำยางที่เหลืออยู่จะมีความเข้มข้นประมาณ 60 %

2.2.3 การทำน้ำยางข้น 60 % โดยการปั่น (centrifugation)

โรงงานผลิตน้ำยางข้นจะต้องจัดหาน้ำยางสดจากสวน ปกติจะตั้งจุดรับซื้อน้ำยางตามจุดต่าง ๆ หรือชาวสวนยางบางรายอาจขนน้ำยางมาส่งให้ที่โรงงานโดยตรง การรวบรวมน้ำยาง

จากสวนจะโดยวิธีใด ๆ ก็ตาม ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึงและปฏิบัติ คือ การรักษาความสะอาด การใช้สารเคมีรักษาสภาพน้ำยางอย่างถูกต้องและพอเพียง ปกติจะใช้แอมโมเนียตามลำพังหรือใช้ร่วมกับสารช่วย ได้แก่ tetramethylthiuram disulphide (TMTD) กับ zinc oxide (ZnO) และควรนำน้ำยางเข้ากระบวนการผลิตให้เร็วที่สุด จึงจะได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี เมื่อนำน้ำยางสดเข้าโรงงานแล้วจะถ่ายลงถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตลอดจนปริมาณธาตุแมกนีเซียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับสมบัติน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อไป ในทางปฏิบัติโรงงานจะปล่อยให้น้ำยางตกตะกอนธาตุแมกนีเซียมโดยเติม diammonium hydrogen phosphate (DAHP) อย่างน้อยใช้เวลา 1 วัน ในการตกตะกอนดังกล่าว ต่อจากนี้ จะไขน้ำยางออกจากถังเก็บสู่การปั่นด้วยเครื่องปั่นซึ่งเรียกว่า latex concentrator น้ำยางที่ผ่านเข้าไปในเครื่องนี้จะถูกปั่นเหวี่ยงด้วยจานหมุนด้วยความเร็ว 2,000 - 3,000 รอบต่อนาที น้ำยางซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าจะถูกเหวี่ยงขึ้นด้านบน และไหลออกทางช่องที่อยู่ส่วนบนของเครื่อง ส่วนน้ำจะถูกแยกออกไปช่องข้างล่างอีกช่องหนึ่ง โดยวิธีนี้น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งเป็นน้ำยางข้นซึ่งมีความเข้มข้น 60 % อีกทางหนึ่งเป็นน้ำ แต่ในน้ำที่กล่าวนี้มีส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง (dry rubber content) ติดค้างอยู่ 3 – 5 % เรียกว่า หางน้ำยาง (skim rubber) หางน้ำยางนี้สามารถแยกเอาส่วนที่เป็นยางออกได้อีกโดยการเติมกรด

2.2.4 ระบบการรักษาสภาพน้ำยางข้น 60%

ยางข้นที่ผลิตได้ จะต้องเติม หรือปรับแอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยาง ปกติระบบการรักษาน้ำยางข้น 60 % มี 2 ระบบ คือ

(ก) รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมาก ไม่ต่ำกว่า 0.6 % (ต่อน้ำหนักยาง) เรียกน้ำยางข้น 60 % ชนิดนี้ว่า HA (high ammonia)

(ข) รักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียน้อย ประมาณ 0.2 % (ต่อน้ำหนักยาง) และมีสารช่วยบางชนิด เช่น TMTD/ZnO เรียกน้ำยางข้น 60 % ชนิดนี้ว่า LA (low ammonia)

2.2.5 ยางสกิม (skim rubber)

ในการผลิตน้ำยางข้นจะมีผลพลอยได้ คือ หางน้ำยาง ที่ยังมีปริมาณเนื้อยางอยู่ประมาณ 5 % ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพ และการปรับเครื่องปั่นน้ำยาง หางน้ำยางเหล่านี้ถูกนำไปแปรรูปเป็นยางดิบแห้งได้เป็นชนิดสกิมบล็อก (skim block) หรือชนิดสกิมเครพ (skim crepe) จำหน่ายต่อไป หางน้ำยางเมื่อออกจากเครื่องปั่น จะผ่านการไล่แอมโมเนียโดยวิธีการปล่อยให้หาง

น้ำยางไหลไปตามรางรองรับซึ่งมีอากาศพัดผ่าน ลงสู่บ่อพักที่อยู่ในที่โล่ง มีอากาศพัดผ่านช่วยไล่แก๊สแอมโมเนียได้ดี หางน้ำยางควรเหลือแอมโมเนียเพียงประมาณ 0.2 % ก่อนทำการจับก้อนหางน้ำยางด้วยการเติมกรดซัลฟิวริค ถ้าหางน้ำยางมีปริมาณเนื้อยางอยู่ต่ำมากอาจมีปัญหาการจับก้อนของหางน้ำยาง วิธีการที่พอจะช่วยได้ คือการผสมน้ำยางสดเพื่อเพิ่มปริมาณเนื้อยาง โดยอาจใช้น้ำยางก้นบ่อพักก่อนที่จะปั่นเป็นน้ำยางข้น หรือน้ำยางสดที่คุณภาพไม่เหมาะสมที่จะนำไปปั่น เมื่อได้ก้อนยางจับตัวแล้ว จึงนำไปผ่านการตัดย่อย อบอัดแท่งเป็นสกิมบล็อค หรือนำก้อนยางจับตัวไปเข้าเครื่องเครพ รีดเครพ ผึ่งแห้ง อัดก้อนเป็นสกิมเครพ

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนดทางเทคนิคของน้ำยางข้น 60 % ตามมาตรฐาน ISO และชนิดดีพิเศษ

สมบัติ	ISO		น้ำยางข้นชนิดพิเศษ	
	HA	LA	HA	LA
Total solid content (%) min.	61.5	61.5	61 – 61.5	61 – 61.5
Dry rubber content (%) min.	60.0	60.0	60.0 – 60.2	60 – 60.2
Non-rubber content (%) min.	2.0	2.0	1.3 – 1.5	1.3 – 1.5
ความเป็นด่าง (%NH_3) min.	0.6	0.29	0.7 – 0.73	0.22– 0.26
Mechanical stability (sec) min.	650	650	1000– 1600	1000-1600
Coagulum content (%)	0.05	0.05	0.002-0.005	0.002-0.005
Copper (mg/kg of tsc.) max.	8	8	0 – 3	0 – 3
Manganese(mg/kg of tsc.) max.	8	8	0 – 3	0 – 3
Sludge content (%) max.	0.1	0.1	0.01 – 0.05	0.01 – 0.05
Volatile fatty acid (VFA) max.	0.20	0.20	0.01-0.02	0.01-0.02
KOH number max.	1.0	1.0	0.4 - 0.6	0.4 - 0.6

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การผลิตยางแห้ง

2.3.1 ยางแผ่นรมควัน (ribbed smoked sheet; RSS)

การผลิตยางแผ่นรมควัน ประกอบด้วยการรวบรวมน้ำยางสดจากสวน กรองด้วยแร่งกรองเบอร์ 40 60 80 เมช เพื่อแยกสิ่งสกปรก และสิ่งเจือปนในน้ำยางออก บรรจุน้ำยางลงถังพักเพื่อรวมน้ำยางที่มาจากหลาย ๆ แหล่ง ให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและเพื่อให้สิ่งเจือปนที่เหลืออยู่ได้ตกตะกอนลงก้นถัง ต่อไปจึงเจือจางน้ำยางให้เหมาะสมในการทำให้จับเป็นก้อนยางที่เหมาะกับกระบวนการขั้นต่อไป เมื่อเจือจางน้ำยางตามต้องการแล้ว จึงเติมกรดฟอร์มิกเพื่อทำให้น้ำยางจับก้อน แล้วจึงรีดก้อนยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด ซึ่งมี 2 แบบ คือแบบหมุนมือและแบบใช้เครื่องยนต์ รีดให้มีความหนาประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร นำไปผึ่งในที่ร่ม อากาศถ่ายเทสะดวกเพื่อให้แผ่นยางสะเด็ดน้ำ จากนั้นจึงนำไปรมควันให้แห้งในโรงรมควันที่ปกติใช้วิธีเผาไหม้ไม้ อาศัยควันไฟรมยางให้แห้งที่อุณหภูมิประมาณ 50 - 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 4 - 10 วัน ทั้งนี้ขึ้นกับความหนาและปริมาณของแผ่นยางที่บรรจุในโรงรม ตลอดจนการระบายความชื้นของโรงรม ยางที่รมควันแห้งแล้วจะถูกคัดเลือกเพื่อจัดชั้นด้วยการตรวจดูด้วยสายตา (visual grading) เป็นชั้นต่าง ๆ คือ ยางแผ่นรมควัน ชั้น 1, 2, 3, 4 และ 5 ขั้นสุดท้าย คือการอัดยางแผ่นให้รวมกันเป็นก้อน แต่ละก้อนจะมีน้ำหนักประมาณ 100 กิโลกรัม ฉาบหรือเคลือบก้อนยางด้วยสารละลายยางผสมกับแป้งเพื่อป้องกันก้อนยางติดกัน

2.3.2 ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dry sheet; ADS)

ยางแผ่นผึ่งแห้งเป็นยางแผ่นที่มีสีจาง ผ่านกรรมวิธีผลิตทำนองเดียวกับการผลิตยางแผ่นรมควัน แต่มีเงื่อนไขการผลิตที่เข้มงวดกว่า และมีวิธีการทำให้แผ่นยางแห้งโดยใช้ความร้อนที่ปราศจากควันไฟ ไม่มีการเติมสารเคมีอื่น ๆ ที่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ นอกจากสารเคมีที่อนุญาตได้แก่ โซเดียมซัลไฟต์ โซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ และพาราไนโตรฟีนอล โดยจะเน้นเรื่องสีของยาง ดังนั้นในการผลิต จึงจำเป็นต้องคัดเลือกน้ำยางที่มีสีขาว และควบคุมการผลิต เพื่อให้ได้ยางแผ่นที่มีสีจางและใส ขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตยางแผ่นรมควัน ยกเว้นจะมีการเติมซัลไฟต์ลงในถ้วยรับน้ำยางเพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวตามธรรมชาติซึ่งจะทำให้ยางมีสีคล้ำได้ และเมื่อรวบรวมน้ำยางได้แล้ว จึงเติมโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งหากเกิดขึ้นแล้ว จะทำให้เอนไซม์ในน้ำยางเปลี่ยนแปลง และเป็นผลให้ยางมีสีคล้ำได้เช่นกัน จากนั้นนำยางแผ่นไปอบในโรงอบที่ไม่มีควันไฟ อุณหภูมิประมาณ 50 - 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาอบประมาณ 4 - 10 วัน

ขึ้นอยู่กับความหนาของแผ่นยางและประสิทธิภาพของโรงอบ ขั้นสุดท้าย คือตรวจและอัดหีบห่อกันก้อนยางติดกันแทนการทาด้วยสารละลายยางกับแป้ง

วิธีการปฏิบัติกันโดยทั่วไปในการผลิตยางแผ่นรมควัน และยางแผ่นผึ่งแห้งในประเทศ คือมีขั้นตอนการทำยางแผ่นดิบ โดยการรวบรวมน้ำยางไปจนถึงขั้นการรีดก้อนยางเป็นแผ่น และผึ่งให้ยางแห้งจากน้ำประมาณ 80 - 90 %นั้น เป็นขั้นตอนที่ชาวสวนดำเนินการและมีการรวบรวมยางแผ่นดิบเหล่านี้ไปขายให้โรงงานที่มีโรงรมหรือโรงอบแห้ง ทางโรงรมหรือโรงอบแห้งจะรับซื้อยางแผ่นดิบนำไปคัดเลือกเข้าโรงรมหรือโรงอบที่ไม่ใช้ควันไฟ แล้วแต่ความเหมาะสมว่ายางนั้น ๆ ควรจะอบแห้งในลักษณะใด กรณีที่ยางแผ่นดิบก่อนเข้ารมควันมีความสกปรกมากก็จะต้องผ่านการล้าง ขัดถูความสกปรกหรือราบนแผ่นยางออกให้หมด

2.3.3 ยางแท่ง (block rubber or technically specific rubber, TSR)

ยางแท่ง คือ ยางที่ผลิตโดยมีวิธีการระบุคุณภาพตามมาตรฐาน เป็นยางที่ประเทศมาเลเซียได้ริเริ่มขึ้นเมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2508 โดยมีเหตุผลเพื่อการปรับปรุงรูปแบบของการผลิตยางธรรมชาติให้ลดระยะเวลาของการผลิต มีการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานสากล และจำแนกชั้นของยางโดยวิธีในห้องปฏิบัติการและตามข้อกำหนดสากล บรรจุหีบห่อให้เหมาะสมกับการขนส่ง และการนำไปใช้งาน

ยางแท่งของแต่ละประเทศจะมีชื่อเรียกต่าง ๆ กัน เช่น SMR- Standard Malasian Rubber, SIR- Standard Indonesian Rubber และSTR- Standard Thai Rubber

แม้จะเรียกชื่อต่าง ๆ กัน แต่คุณภาพของยางแท่งในเกรดเดียวกันจะเหมือนกัน เพราะทุกประเทศต่างใช้มาตรฐานการจำแนกชั้นยาง ตลอดจนวิธีการสากลเช่นเดียวกัน สำหรับประเทศไทย ได้เริ่มการผลิตยางแท่งมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 วัตถุดิบที่ใช้ผลิตยางแท่ง ใช้ได้ทั้งน้ำยางสดจากสวน และยางแห้งที่จับก้อนแล้ว หลักการสำคัญของวิธีการผลิตยางแท่ง คือ มีขั้นตอนการตัดย่อยก้อนยางให้เป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบแห้ง และอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม

(ก) การผลิตยางแท่งจากน้ำยาง

ขั้นตอนการผลิต เริ่มต้นจากการคัดเลือกน้ำยางที่มีสีขาวสม่ำเสมอ ผ่านการรักษาสภาพด้วยสารป้องกันน้ำยางจับตัว และใช้สารป้องกันปฏิกิริยาของเอนไซม์ในน้ำยาง รวบรวมน้ำยางในถังพัก เพื่อผสมให้น้ำยางจากที่ต่าง ๆ กันมีความเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเจือจางน้ำยางด้วยน้ำสะอาด ทำให้น้ำยางจับตัวด้วยกรดฟอร์มิก น้ำก้อนยางที่จับตัวใหม่ ๆ จะผ่านเครื่องรีดแผ่นเครพ

ผ่านเครื่องจักรตัดย่อยยางให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ล้างยางด้วยน้ำสะอาด นำไปเข้าเครื่องอบแห้งที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส นานประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วเป่าลมเย็น หรือทิ้งให้ยางเย็นลงประมาณ 60 องศาเซลเซียส นำไปอัดเป็นแท่ง ๆ ละ 33 กิโลกรัม 1/3 กิโลกรัม ขนาด 675 x330x190 มิลลิเมตร ห่อยางด้วยแผ่นพลาสติกโพลีเอททีลีน บรรจุลังไม้เพื่อการจำหน่ายต่อไป

(ข) การจำแนกชั้นยางแท่ง

ยางแท่งซึ่งเป็นรูปแบบใหม่ของยางธรรมชาติ ได้ปรับปรุงวิธีการจำแนกชั้น โดยอาศัยการตรวจสอบสมบัติที่จำเป็นของยางตามวิธีมาตรฐานสากลหรือเรียกว่า technical grading วิธีการตรวจสอบตลอดจนข้อกำหนดชั้นต่าง ๆ ของยางแท่ง ผู้ผลิตยางแท่งจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขที่วางไว้โดยองค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization for Standardization; ISO) วิธีการโดยสังเขปในการจำแนกชั้นยางแท่ง คือ เมื่อผลิตได้ยางแท่งในขั้นต้นก่อนห่อด้วยพลาสติก จะทำการสุ่มตัวอย่างยางแท่ง 10 % ของชุดการผลิต จะตัดตามแนวทแยงมุมของแท่งยาง 2 มุม รวมเก็บตัวอย่างแท่งละไม่ต่ำกว่า 250 กรัม ตัวอย่างยางเหล่านี้จะถูกนำไปตรวจสอบสมบัติต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ สำหรับประเทศไทย การผลิตยางแท่งมีชั้นต่าง ๆ หลายชั้น ซึ่งยางแท่ง STR นี้ได้มีการกำหนดชั้นยางและขีดจำกัดของมาตรฐานยางแท่งไทยขึ้นมาใหม่ในปี พ.ศ. 2539 แทน ยางแท่ง TTR โดยมีการเปลี่ยนแปลงค่ากำหนดบางค่า ข้อกำหนดยางแท่ง STR ชั้นต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่งเอสทีอาร์

ชั้นยางแท่ง STR	วัตถุดิบที่ใช้
STRXL STR5L	น้ำยางสด
STR5CV70, STR5CV60, STR5CV50	น้ำยางสด
STR5	น้ำยางสดหรือยางแผ่น
STR10 STR20	ยางจับก้อน
STR10CV STR20CV	ยางจับก้อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานยางแท่งเกรดต่าง ๆ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิรังสี, 2540)

สมบัติ	STR XL	STR 5L	STR 5	STR 5CV	STR 10	STR 10CV	STR 20	STR 20CV
	Latex		Latex / Sheet		Lump/Sheet			
Dirt (max, %wt)	0.02	0.04	0.04	0.04	0.08	0.08	0.16	0.16
Ash (max, %wt)	0.04	0.40	0.60	0.60	0.60	0.60	0.80	0.80
Nitrogen (max, %wt)	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Volatile matter (max, %wt)	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Initial plasticity (Po), (min)	35	35	30	-	30	-	30	-
Plasticity Retention Index (PRI), (min)	60	60	60	60	50	50	40	40
Color Lovibond scale (max)	4.0	6.0	-	-	-	-	-	-
Mooney viscosity,ML(1+4)100 ^{o}C	-	-	-	**	-	**	-	**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 ระบบสารทำให้ยางคงรูป (vulcanising system)

การทำให้ ยางคงรูป หรือที่เรียกกันว่าทำให้ ยางสุก (vulcanisation or cure) เป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่ทำให้ยางซึ่งปกติมีสภาพที่ไม่คงทนต่อสภาพการเปลี่ยนแปลงภาวะต่าง ๆ เช่น เหนียวเยิ้มเมื่อร้อน และแข็งกระด้างเมื่อเย็น อีกทั้งไม่มีความหยุ่นตัว เปลี่ยนเป็นสภาพที่มีความทนต่อการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวและยืดหยุ่นได้ ระบบของสารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยายางคงรูปที่ใช้กันอย่าง

กว้างขวาง ได้แก่ ระบบที่ใช้ซัลเฟอร์ นอกจากนี้ยังมีการใช้สารเพอร็อกไซด์และสารอื่น ๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของยาง

2.4.1 ระบบทำให้ยางคงรูปโดยใช้สารซัลเฟอร์ (sulphur vulcanising system)

ประกอบด้วยการใช้สารซัลเฟอร์ สารตัวเร่ง (accelerators) และสารกระตุ้น (zinc oxide, stearic acid) ระบบนี้ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะกับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ เช่น SBR, NBR, IIR, EPDM

2.4.2 สารตัวเติม (filler)

สารตัวเติมใช้เพื่อการเสริมความแข็งแรงให้ผลิตภัณฑ์และเพื่อลดต้นทุนโดยทั่วไป อาจแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือพวกเขม่าดำ (carbon black) และพวกไม่เป็นสีดำ (non black) สารตัวเติมที่เสริมความแข็งแรง (reinforcement) ให้ยางคือ สารตัวเติมที่ช่วยให้ยางมีค่า tensile, tear, abrasion resistance ดีขึ้น ซึ่งส่วนใหญ่จะได้แก่ สารเขม่าดำ การเสริมความแข็งแรงมากน้อยขึ้นอยู่กับสมบัติของเขม่าดำ โดยปกติจะเกี่ยวกับขนาดอนุภาค ความไวทางเคมีของผิวตลอดจนโครงสร้างและความเป็นรูพรุนของอนุภาคของเขม่าดำ คือ เขม่าดำที่มีขนาดอนุภาคเล็ก ผิวหน้าว่องไวทางเคมี และโครงสร้างเกาะกันดี มีรูพรุน จะเสริมความแข็งแรงของยางได้ดี

2.5 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางจากยางแห้ง

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง เริ่มต้นจากการพิจารณาออกสูตรส่วนประกอบยางและสารเคมี ตามชนิดและปริมาณที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการใช้เครื่องมือบดยางให้นิ่ม (mastication) ในกรณีที่ใช้ยางธรรมชาติ และการบดผสมยางกับสารเคมี จากนี้จะนำยางที่บดผสมกับสารเคมีแล้ว (compound rubber) ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (forming) แล้วอบให้ยางคงรูป (vulcanisation) และตกแต่งผลิตภัณฑ์ในขั้นสุดท้าย

2.5.1 การบดยางให้นิ่มและการบดผสมยางกับสารเคมี

การใช้ยางธรรมชาติจำเป็นต้องผ่านกระบวนการบดให้นิ่มก่อนแล้วจึงค่อยบดผสมกับสารเคมี เพราะยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลมาก การบดจะทำให้โมเลกุลยางฉีกขาด น้ำหนักโมเลกุลลดลง ส่วนยางสังเคราะห์จะถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยมีการควบคุมน้ำหนักโมเลกุลดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องบดให้นิ่มเสียก่อน การบดยางให้นิ่มเป็นการบดเฉพาะยาง อาจใช้สารเคมีพวก

softener ช่วยเร่งด้วย เมื่อยางนิ่มพอเหมาะแล้ว จึงจะทำการผสมสารเคมีบดให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยสารเคมีที่มีอนุภาคใหญ่จะถูกเติมลงไปก่อน สารเคมีพวกเร่งให้ยางเกิดการคงรูปจะเติมลำดับสุดท้าย เพื่อป้องกันปัญหายางผสมสารเคมีเกิดการคงรูปก่อนเวลาหรือภาษาโรงงานเรียกว่ายางตาย ยางที่บดผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วจะถูกเก็บไว้อย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์

2.5.2 การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์

การขึ้นรูปยางที่ได้ผสมสารเคมีให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แบ่งได้ 4 วิธี

(ก) การใช้เบ้าพิมพ์ (moulding)

(ข) การอัดผ่านดาย (extruding)

(ค) การใช้เครื่องคาเล็นเดอร์ (calender)

(ง) การฉาบสารละลายยางบนผ้า (spreading on fabric from rubber solution)

2.5.3 การทำให้ยางคงรูป (vulcanising)

การทำให้ยางคงรูปคือการทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล และเป็นผลให้ยางมีความหยุ่นตัวเพิ่มขึ้น และลดการเสียรูปทรงของยางเมื่อปล่อยยางให้เป็นอิสระจากแรงกระทำที่ทำให้ยางเสียรูป ซึ่งยางที่คงรูปแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางวิธีการทำให้ยางคงรูปมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของผลิตภัณฑ์

การทำให้ยางคงรูปโดยเครื่องอัด (vulcanisation by hydrauric press) ใช้กับการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์แบบอัดหรือแบบกึ่งฉีด การทำให้ยางคงรูปแบบเปิด(open cure)ใช้สำหรับทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดที่ไม่ต้องการความแน่นอนของรูปร่างโดยแม่พิมพ์ความร้อนที่จะทำให้ยางคงรูปนั้น หมุนเวียนอย่างเปิดภายใต้ตู้หรือภาชนะอบปรับอุณหภูมิได้

การทำให้ยางคงรูปโดยระบบต่อเนื่อง (continuous vulcanisation) ซึ่งอาศัยความร้อนจากระบบความดันไอสูง ความร้อนจากไฟฟ้า ความร้อนจากระบบ microwave และจากระบบอื่น ๆ วิธีการนี้เหมาะสมที่จะใช้อบผลิตภัณฑ์ยางที่มีความยาวต่อเนื่องกันมาก ๆ เช่น ท่อยาง สายเคเบิล

2.5.4 การตกแต่งชิ้นผลิตภัณฑ์ (finishing)

ขั้นสุดท้ายของการทำผลิตภัณฑ์ยาง คือ การตกแต่งชิ้นผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีวิธีการหลายแบบและการเลือกวิธีการนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของชิ้นผลิตภัณฑ์ อาจใช้มือตกแต่งตัดส่วนเกิน เช่น การตกแต่งพื้นรองเท้า หรือใช้วิธีการขัดด้วยล้อขัดผิวหน้าผลิตภัณฑ์เช่น ยางรถยนต์

2.6 การทดสอบทางกายภาพของยาง

การทดสอบยางที่ยังไม่ผ่านการคงรูป

- การทดสอบลักษณะการไหล (flow behavior)

- การทดสอบการคงรูปของยาง (cure characteristics)

การทดสอบยางที่ผ่านการคงรูป

-การทดสอบสมบัติของยางเนื่องจากแรงกระทำครั้งเดียว (statics tress/strain properties)

- การทดสอบสมบัติของยางเนื่องจากแรงกระทำที่ต่อเนื่อง (dynamic stress/strain properties)

- การทดสอบความเสียดทานและการสึกหรอ (friction and wear)

- การทดสอบการเคลื่อนตัว การคลายตัวและการคงรูปถาวร (creep relaxation and set)

- การทดสอบความล้า (fatigue)

- การทดสอบสมบัติทางไฟฟ้า (electric test)

- การทดสอบสมบัติทางความร้อน (thermal properties)

- การทดสอบผลของอุณหภูมิต่อยาง (effect of temperature)

- การทดสอบความต้านทานต่อสภาพแวดล้อม (environmental resistance)

- การทดสอบการรั่วซึม (permeability)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การทดสอบความเหนียวติดกัน (adhesion)

2.6.1 การทดสอบยางที่ยังไม่ผ่านการคงรูป

ยางเป็นวัสดุที่มีสมบัติอิลาสติก (elasticity) และสมบัติวิสคอส (vicosity) รวมอยู่ด้วยกัน เรียกว่า มีลักษณะวิสคอสอิลาสติค ซึ่งจะแสดงผลต่อความยากง่ายในกระบวนการผลิต การทดสอบที่จะแสดงผลดังกล่าวเบื้องต้น คือ การวัดค่าความหนืดของยาง ซึ่งจะชี้บ่งลักษณะต่าง ๆ คือ ความยากง่ายในการรับสารเคมีที่ผสมลงในยาง ยางที่มีความหนืดน้อยเป็นยางนิ่ม จะสามารถรับสารเคมีที่ผสมลงไปได้รวดเร็วกว่ายางที่มีความหนืดสูงกว่า อย่างไรก็ตามยางที่นิ่มมากเกินไปจะทำให้สารเพิ่ม (filler) กระจายตัวได้ไม่ดี นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ในการแปรรูปยาง ยางที่มีความหนืดน้อยจะใช้พลังงานในการแปรรูปน้อยกว่ายางที่มีความหนืดสูง คุณภาพของยางเนื่องจากความหนืดของยางแปรผันโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลของยาง นั่นคือยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีความหนืดสูงตามไปด้วย จะจัดเป็นยางที่มีคุณภาพดี ทนทานต่อแรงดึงได้ดี อย่างไรก็ตามยางที่มีความหนืดสูงจะสามารถรับสารเคมีที่ผสมลงไปได้ช้า ดังนั้นการทดสอบความหนืดของยาง จะเป็นตัวช่วยในการตัดสินใจเลือกกระบวนการผลิตต่อไป

สภาพที่เหมาะสมในการแปรรูป เช่น การผลิตฟองน้ำจำเป็นต้องใช้ยางที่มีความหนืดต่ำเพื่อให้ยางพองตัวได้ง่ายเกิดการสร้างรูปร่างเป็นรูพรุนเนื่องจากก๊าซได้ง่ายหรือยางที่มีความหนืดต่ำมาก ๆ เหมาะสำหรับนำไปฉาบผ้าหรือผ้าใบได้ดี

2.6.2 การวัดค่าเวลายางเริ่มคงรูปและอัตราการคงรูป (scorch time and cure rate)

scorch หมายถึง ภาวะที่ยางเริ่มมีการคงรูป หรือเริ่มปฏิกิริยาวัลคาไนเซชั่น การทดสอบภาวะนี้จะเป็นแนวทางในการพิจารณาว่า ยางที่ผสมสารเคมีจะสามารถอยู่ในกระบวนการผลิตได้นานเพียงใด ในอุณหภูมิที่ดำเนินกรรมวิธีผลิตโดยที่ยางจะไม่เกิดการเริ่มวัลคาไนซ์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในระหว่างกระบวนการผลิตได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ยางที่ผสมสารเคมี สารเร่งปฏิกิริยา และสารเสริมแรงจะเริ่มเกิดปฏิกิริยาขึ้นซึ่งจะใช้เวลาหนึ่ง ช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและชนิดของสารเร่งที่ใช้ ในขณะเดียวกันเมื่อยางได้รับความร้อน ตอนแรกยางจะมีการอ่อนตัวเล็กน้อย เมื่อผ่านเวลานี้แล้ว สารเคมีจะเริ่มทำปฏิกิริยากับยางเกิดพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของยางทำให้ยางเริ่มแข็งขึ้น เครื่องมือจะบันทึกผลของความแข็งแรง (stiffness) ของยางที่เพิ่มขึ้นเวลาที่ยางเริ่มแข็งตัวอย่างเห็นได้ชัดเรียกว่า เวลายางเริ่มคงรูป (scorch time) ซึ่งยางจะไหลยากขึ้นเมื่อปฏิกิริยาดำเนินต่อไป ยางจะแข็งมากขึ้นตามลำดับ การทดสอบใช้อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส

2.6.3 การทดสอบลักษณะการทำให้ยางคงรูป (cure characteristics)

เมื่อยางแข็งขึ้นเรื่อยจนกระทั่งสารเคมีทำปฏิกิริยากับยางโดยสมบูรณ์แสดงว่ายางเกิดวัลคาไนเซชั่น 100 % และเวลาที่ใช้ไปในการนี้เรียกว่า เวลา 100 % วัลคาไนเซชั่น หรือเรียกว่า 100 % cure time ซึ่งเวลาที่ใช้จริงจะไม่ทำให้ยางคงรูปถึง 100 % cure time เพราะจะทำให้สมบัติทางกายภาพบางอย่างของยางด้อยลงไป การเลือกใช้ %การคงรูปต่างกัน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ทำให้ยางคงรูป ระบบที่ทำให้ยางคงรูปและขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ยางที่ได้รับความร้อนในระยะเวลาที่ต่ำกว่าเวลาที่เหมาะสม จะมีสมบัติทางกายภาพไม่ค่อยดี แต่ถ้าหากยางได้รับความร้อนเกินเวลาที่เหมาะสมในระบบวัลคาไนเซชั่น ยางอาจจะเริ่มสลายตัวทำให้ยางเสื่อมสภาพได้ง่าย

ในปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะการคงรูปของยาง ได้แก่เครื่อง rheometer เป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการแกว่งของ rotor ที่มียางห่อหุ้มอยู่ในตอนแรกเมื่อยางผสมสารเคมีได้รับความร้อนยางจะเริ่มอ่อนตัว แรงที่ใช้การแกว่งของ rotor มีน้อย แต่เมื่อยางเริ่มเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชัน โมเลกุลของยางมีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น ความแข็งแรงเกิดมากขึ้น ทำให้แรงที่ทำให้ rotor แกว่งด้วยองศาคงที่เพิ่มขึ้น ยางที่มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นจะแสดงลักษณะอิลาสติซิตีเพิ่มขึ้น

2.6.4 การทดสอบยางคงรูป

(ก) การทดสอบสมบัติเทนไซล์ (tensile properties)

ยางมีสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างจากวัสดุอื่น นั่นคือ ยางที่คงรูปแล้วสามารถยืดออกได้หลายเท่าตัว และเมื่อปล่อยให้เป็นอิสระก็สามารถจะกลับคืนสภาพเดิมได้เกือบสมบูรณ์ ซึ่งสมบัติของยางในการยืด การดึง ก็เป็นสมบัติพื้นฐานที่ใช้กันมานานในอุตสาหกรรมยาง เพื่อแสดงถึงคุณภาพของยาง เนื่องจากสมบัตินี้จะเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัดถ้ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารในระบบวัลคาไนเซชัน

ในการทดสอบสมบัติทางกายภาพของยาง ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับแรงที่ส่งไปกระทำต่อชิ้นยาง และวัดผลในรูปของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือในทางกลับกันทำได้โดยการทำให้ชิ้นยางมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะไป แล้ววัดผลในรูปของค่าแรงที่ใช้ไปในการกระทำนั้น ๆ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเกิดได้สองลักษณะคือ เกิดจากแรงกระทำในแนวดิ่งและแรงกระทำในแนวนอน

(ข) การวัดค่าแรงเค้น (stress) และ ความเครียด (strain)

แรงเค้น (stress) หมายถึง แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับ

แรงกระทำ ซึ่งจะเป็นแรงดึงหรือแรงเฉือนก็ได้ หน่วยเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรหรือหน่วยสากลที่ใช้คือ นิวตันต่อตารางเมตร

สมการแสดงความสัมพันธ์เป็นดังนี้

stress = F/A

เมื่อ F แทน ค่าแรงที่กระทำ มีหน่วยเป็นปอนด์ กิโลกรัม หรือ นิวตัน

A แทน พื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับแรงกระทำ มีหน่วยเป็นตารางนิ้ว ตารางเซนติเมตรหรือ ตารางเมตร

การใช้แรงกระทำใด ๆ ต่อวัตถุจะทำให้วัตถุนั้นเกิดความเครียด (strain) จากแรงเค้นหรือแรงที่ใช้กระทำนั้น

ความเครียด (strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อหน่วยความยาวเดิมเมื่อใช้แรงดึง และหมายถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างต่อหน่วยระยะทางระหว่างผิวหน้าที่ติดต่อกันเมื่อใช้แรงเฉือน ค่า ความเครียด อาจใช้ตัวเลขที่ไม่มีหน่วยหรือใช้หน่วยเป็นร้อยละ

สามารถเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

strain = $(\Delta L/Lo) \times 100$

เมื่อ ΔL แทน ความแตกต่างของความยาวชิ้นยางเดิม (Lo) กับความยาวชิ้นยางเมื่อถูกแรงกระทำ (L) ซึ่งก็คือค่า L – Lo

ยางเป็นวัตถุที่เมื่อใช้แรงดึงก็จะสามารถยืดออกได้หลายเท่าของความยาวเดิม เป็นลักษณะที่เห็นได้ง่าย ดังนั้นเมื่อมีการกล่าวถึงการทดสอบสมบัติของยาง จึงมักกล่าวถึงการทดสอบสมบัติ stress - strain ในแง่การใช้แรงในแนวดิ่ง ซึ่งเรียกรวมกันเรียกว่าการทดสอบเทนไซล์ อันเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เนื่องจากการทดสอบเพียงหนึ่งครั้งก็สามารถหาค่าต่างๆ ได้หลายค่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดึงยางให้ยืดออกนั้น ความสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ดึงกับการยืดออกของยางจะไม่เป็นเส้นตรงซึ่งต่างจากการดึงโลหะหรือพลาสติก ในการทดสอบสมบัติเทนไซล์ของยางมีค่าพื้นฐานที่ควรรู้จัก ดังนี้

โมดูลัส (modulus) ซึ่งจะต้องระบุการยืด เป็นการวัดค่าแรงเค้นของยางที่ถูกยืดออกไปตามที่กำหนด เช่น 100 % modulus หมายถึงการวัดค่าแรงเค้นของยาง เมื่อยางถูกยืดออก 100 % หรือ 1 เท่าของความยาวเดิมที่กำหนด

แรงดึงยางจนขาด (tensile strength; TS) เป็นการวัดค่าแรงเค้นของยางที่ถูกยืดออกไปจนขาด

การยืดจนขาด (elongation at break; EB) เป็นการวัดค่าความยาวของชิ้นยางตัวอย่างที่ถูกยืดออกได้มากที่สุดจากความยาวเดิมที่กำหนดก่อนที่ยางจะขาด นิยมคำนวณค่าเป็นร้อยละของความยาวเดิม เช่น ยางชิ้นนี้มีค่า EB 675 % แสดงว่ายางชิ้นนี้สามารถยืดออกได้ 6.75 เท่าของความยาวเดิมก่อนที่จะขาด

2.7 สมบัติของยางธรรมชาติและการใช้งาน (เพียรพรรค ทัศคร, 2542)

ยางเป็นวัตถุที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปได้มาก โดยไม่ถูกทำลายหรือฉีกขาด จึงมีสมบัติด้านความหนืดเหมือนเป็นของเหลว ในขณะเดียวกันก็มีความสามารถในการคืนตัวสู่ขนาดเดิมได้ในทันทีเมื่อแรงเค้นหยุดกระทำทำให้ยางมีสมบัติของของแข็ง คือ มีความยืดหยุ่น เมื่อรวมสมบัติทั้ง 2 ด้านนี้เข้าด้วยกันเราจึงเรียกว่า ยางเป็นวัสดุ วิสโค-อิลาสติค (viscoelastic material) และยังมีสมบัติเด่นอื่น ๆ ดังนี้

2.7.1 ความสามารถปรับสมบัติของยางโดยการผสมสารเคมี

ยางแปรรูปขั้นต้นจะผ่านกระบวนการแปรรูปยาง (rubber processing) โดยนำยางดิบมาผสมสารตัวเติมต่าง ๆ ตาม สูตรยาง เรียกยางนี้ว่า ยางผสมสารเคมี (rubber compound) แล้วจึงนำยางนั้นไปขึ้นรูป และทำให้คงรูปโดยกระบวนการวัลคาไนซ์จนได้ผลิตภัณฑ์

การวัลคาไนซ์คือการเชื่อมโยงระหว่างสายโมเลกุลยางให้เพิ่มมากขึ้นทำให้ยางมีกิ่งก้านสาขาและน้ำหนักโมเลกุลมากขึ้น คุณสมบัติเหนียวหนืดลดลง มีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้น โดยอาศัยกำมะถันเป็นตัวเชื่อม วิธีการคือ การผสมกำมะถัน 8 ส่วนเข้ากับยางธรรมชาติ 100 ส่วน ให้ความร้อนที่ 140 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง โดยอาจเติมออกไซด์ของโลหะเช่น ZnO

เล็กน้อย เพื่อลดเวลาให้ความร้อน นอกจากนี้ยังอาจเติมเขม่าดำเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางได้ ดังนั้นอุตสาหกรรมยางจึงเป็นกระบวนการที่นำยางดิบที่อยู่ในรูปของยางแผ่น ยางแท่ง หรือน้ำยางข้น มาผสมสารเคมีต่าง ๆ ที่เมื่อขึ้นรูปและทำให้เกิดการวัลคาไนซ์แล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ใช้งานที่มีสมบัติทางกายภาพที่เหมาะสม

2.7.2 สมบัติด้านความยืดหยุ่นของยาง

การยืดหยุ่นเป็นสมบัติเชิงกลที่สำคัญที่สุดของยาง ยางดิบเป็นวัสดุที่อ่อนตัวและไม่คงรูปในการใช้งาน เพราะเกิดการไหลของโมเลกุลยางขึ้นได้เมื่อถูกแรงกระทำอย่างต่อเนื่องเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ซึ่งกลายเป็นข้อดีในกระบวนการแปรรูปยาง เพราะช่วยให้สามารถนำสารเคมีหรือสารตัวเติมเข้าไปในเนื้อยางได้ง่ายเมื่อบดหรือนวดยาง แล้วจึงนำไปวัลคาไนซ์ ยางจะคงรูปเป็นวัตถุยืดหยุ่นที่คงรูปเกือบสมบูรณ์ มีลักษณะสำคัญดังต่อไปนี้

(ก) สามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่าง คือ สามารถ ยืด หดตัว บิดเบี้ยว หรือโค้งงอได้อย่างมากมายและอย่างรวดเร็วเมื่อถูกแรงกระทำ เช่นอาจยืดตัวได้สูง 500-1,000 % เมื่อเปรียบเทียบกับการยืดตัวของเหล็กกล้าที่มี 0.5 % เท่านั้น ตัวอย่างเช่น ลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตรต้องออกแรง 1,600 นิวตัน (ประมาณ 163 กิโลกรัม) เพื่อดึงให้ยืดตัว 1 % แต่ยางขนาดเท่ากันใช้แรงดึง 0.01 นิวตันเท่านั้น สมบัตินี้ทำให้ของใช้หรือชิ้นส่วนที่ทำจากยางไม่ถูกทำลายเมื่อนำมาใช้ในงานที่มีแรงกระทำ

(ข) มีความแข็งแรงมาก กล่าวคือ ยางเป็นวัตถุที่มีความต้านแรงดึงสูง และมีโมดูลัสสูงและมีความแข็งตัวสูงเมื่อยืดหรือหดตัวเต็มที่

(ค) สามารถคืนตัวได้รวดเร็วมากซึ่งแสดงสมบัติด้านการรัดตัว และการกระเด้งตัวคืนกลับของยางทำให้ยางเป็นวัตถุที่เป็นสปริงอยู่ในตัว

(ง) สามารถกลับสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้เกือบสมบูรณ์เมื่อแรงภายนอกหยุดกระทำ ดังนั้นยางจึงเป็นวัตถุที่มีการเสียรูปต่ำ (low permanent set) ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานที่มีภาระกระทำอย่างสม่ำเสมอแบบมีคาบ

2.7.3 สมบัติด้านการรับพลังงานของยาง

ยางเป็นวัสดุที่สามารถรับพลังงานเอาไว้ในตัวได้สูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักยาง พิจาณาค่าพลังงานจำเพาะ (specific energy) หรือความหนาแน่นของพลังงานซึ่งเป็น

ค่าพลังงานจากการยืดหรือหดตัวต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของยาง และพบว่ายางเป็นวัตถุที่มีค่าพลังงานจำเพาะสูงกว่าวัตถุอื่น ๆ ทั้งหมด ค่านี้เป็นค่าที่แสดงพลังงานสปริงของยาง (elastic spring energy) แสดงว่า ยางเป็นวัตถุที่เป็นสปริงอยู่แล้วโดยธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบกับวัตถุใช้งานทางวิศวกรรมอื่น ๆ จะเห็นลักษณะพิเศษของยางได้ดังตาราง 2. 5

ตารางที่ 2.5 พลังงานจำเพาะที่เก็บสะสมในตัววัตถุ

ชนิดของวัตถุ	พลังงานจำเพาะ (ฟุต-ปอนด์/ปอนด์)
เหล็กหล่อ	0.37
เหล็กกล้า	3.07
อะลูมิเนียมรีด	7.56
เหล็กสปริง	95.30
ยางวัลคาไนซ์	14,600.00

จากตารางแสดงให้เห็นว่า พลังงานที่ยางดูดกลืนไว้ในรูปของพลังงานสปริงมีค่าสูงกว่าโลหะหมายความว่า ในงานปฏิบัตินั้นการใช้สปริงยางจะช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ลงได้มาก และยังแสดงให้เห็นว่ายางรับแรงกระทำได้สูงที่สุดถ้ามีน้ำหนักเท่าวัสดุอื่น โดยที่ตัวยางไม่ถูกทำลาย ตัวอย่างที่เห็นการใช้สมบัติด้านนี้ ได้แก่ การใช้ยางทำยางรองแท่นเครื่องจักรเครื่องยนต์ ยางกันกระแทกของเขื่อนหรือท่าเทียบเรือ ยางกันชน ยางรองหมอนคอนกรีต ยางหมอนคอสะพานเป็นต้น

2.7.4 สมบัติด้านการต้านทานต่อการกัดกร่อนของสารเคมี

สามารถผลิตสูตรยางที่ทนกรดได้ เพื่อนนำไปเคลือบถังโลหะหรือท่อ ด้วยยางทนสารเคมีโดยเหมาะสมกับงานที่ภาชนะหรือท่อมีการขยายตัวหรือหดตัวหรือมีการโค้งงอ เพราะยางมีความยืดหยุ่นดี

2.7.5 สมบัติด้านอื่นในการใช้งาน

สมบัติที่สำคัญอื่น ๆ ได้แก่ สมบัติด้านการเป็นตัวประสาน เช่นใช้เป็นกาวยางเช่น กาวยางซองจดหมาย กาวติดกล่องกระดาษ กาวรองเท้า กาวปะยางหรือการใช้ทำผ้าไม่ทอ คือผ้าอัดยาง ใช้อัดทำพื้นยาง พรมปูพื้น และการใช้ผสมเม็ดสีทำสี เป็นต้น

สมบัติด้านการเป็นฉนวนไฟฟ้า เป็นการใช้งานตามสมบัติทางไฟฟ้าของยางที่มีสภาพต้านทานไฟฟ้า สามารถหุ้มสายเคเบิลที่ต้องการความโค้งงอมาก

สมบัติด้านการเก็บรักษาอากาศหรือของเหลว เป็นการป้องกันการซึมผ่านของโมเลกุลของเหลวและก๊าซได้ดี เช่น ใช้ทำใส้ปากกาหมึกซึม ใช้อาบผ้าใบบอลลูน อาบผ้าใบเรือ แผ่นยางบุ อ่างเก็บน้ำ ยางในรถยนต์ ยางท่อน้ำ ท่อดับเพลิง และใช้ทำลูกโป่ง

2.8 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแบคทีเรีย

แบคทีเรียมีศักยภาพสูงที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะที่ไม่จำกัดขอบเขต มีทั้งชนิดที่มีความต้องการสารอาหารง่าย ๆ เช่นสารประกอบอนินทรีย์ในการเจริญเติบโต (autotrophs) หรือชนิดที่สามารถสังเคราะห์สารอาหารที่จำเป็นในการเจริญได้เองในวงจรชีวิตของแบคทีเรีย ในกระบวนการสร้างและสลาย (metabolism) ทำให้เกิดการสะสมของสารมัธยันตร์ (intermediates) และผลิตผล (products) ที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์และอุตสาหกรรม ตัวอย่างเช่น การผลิตน้ำส้มสายชู ยาปฏิชีวนะ กรดอะมิโนจากกระบวนการผลิตแบบให้อากาศหรือการผลิตแอลกอฮอลล์และการกำจัดกากของเสียจากกระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจน เป็นต้น

แบคทีเรียแพร่พันธุ์ด้วยการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนแบบทวีคูณ คือ 1, 2, 4, 8, ... ในการสร้างเซลล์ใหม่แบคทีเรียจะต้องใช้คาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และต้องใช้พลังงานด้วย แบคทีเรียส่วนมากจะใช้พลังงานที่ได้จากการย่อยสลาย (oxidation) สารเคมีต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังนั้น แบคทีเรียจึงอาจแบ่งเป็นสองประเภทตามลักษณะของสารเคมีที่ใช้เป็นพลังงานคือ

(ก) Autotrophic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอน และหากใช้ปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอินทรีย์เช่น NO_2^-, S^- เป็นแหล่งพลังงานเรียก Chemolothotrophs แต่ถ้ามีแสงเป็นแหล่งพลังงาน เรียกว่า Photolithotrophs

(ข) Heterotrophic Bacteria แบคทีเรียชนิดนี้ใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอน และได้พลังงานจากปฏิกิริยาออกซิโครีดักชันของสารอินทรีย์ดังกล่าวด้วย เรียกว่า Chemoorganotrophs แต่ถ้ามีแสงเป็นพลังงานเรียกว่า Photoorganotrophs

-aerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนอิสระไปย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อให้ได้พลังงาน

-anaerobic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้โดยไม่ต้องอาศัยออกซิเจนอิสระ แต่จะใช้ออกซิเจนที่อยู่ในสารประกอบอินทรีย์หรืออนินทรีย์เช่น NO_3, SO_4 เป็นต้น

- facultative bacteria เป็นแบคทีเรียที่สามารถดำรงชีพอยู่ได้ทั้งแบบ aerobic และ anaerobic ขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนในสภาวะแวดล้อมที่แบคทีเรียอาศัยอยู่

(ค) การเจริญของแบคทีเรีย

การเจริญของจุลินทรีย์ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่เหมาะสมแบ่งออกได้เป็น 6 ระยะ หลังจากการถ่ายเชื้อ (inoculation) แล้วจุลินทรีย์จะยังคงไม่มีการเติบโต เป็นระยะที่จุลินทรีย์ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่จึงเรียกระยะนี้ว่า ระยะปรับตัว (lag phase) จากนั้นจึงจะมีการเติบโตเริ่มเพิ่มจำนวนเซลล์ในระยะต้นที่เรียกว่า ระยะเร่งตัว (acceleration phase) อัตราการเติบโต (growth rate) จะเพิ่มขึ้นสูงสุดและคงที่เข้าระยะที่เรียกว่า ระยะเติบโตทวีคูณ (log หรือ exponential phase) จากการที่จุลินทรีย์เติบโตอย่างรวดเร็วนี้เองทำให้สารอาหารเริ่มไม่เพียงพอและเกิดการสะสมของผลิตผลที่เกิดจากการสร้างและสลายของเซลล์ เช่น เอทานอล กรดแอซีติก เป็นต้น ดังนั้นอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์จึงลดลง เรียกระยะนี้ว่า ระยะถดถอย (deceleration phase) จนกระทั่งอัตราการเติบโตเท่ากับอัตราการตาย (death rate) ทำให้ปริมาณเซลล์อยู่ในสภาพคงที่ ระยะนี้จึงถูกเรียกว่า ระยะคงที่ (stationary phase) เมื่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมนี้ยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้จุลินทรีย์สลายเซลล์ตัวเอง ปริมาณเซลล์ลดลงเรื่อย ๆ จึงเป็นระยะที่เรียกว่า ระยะตาย (death หรือ declining phase)

(ง) แบคทีเรีย *Bacillus subtilis*

Bacillus spp. ผลิตโปรตีเอสออกมานอกเซลล์ได้ 2 ชนิดคือ นิวทรัลโปรตีเอสและแอลคาไลน์โปรตีเอส เนื่องจากมีการใช้แอลคาไลน์โปรตีเอสเป็นองค์ประกอบในการผลิตสารซักฟอกและประสบความสำเร็จในทางการค้า ดังนั้นจึงมีการค้นคว้าหาแอลคาไลน์โปรตีเอสที่มี

คุณสมบัติที่ดีขึ้น คือ มีความเสถียรในขณะซักล้าง เช่นมีความเสถียรที่ pH 9 - 10 ทนทานต่ออุณหภูมิสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสได้ พบว่าคุณสมบัติเหล่านี้มีในโปรตีเอสที่ได้จากกลุ่ม Alcalophilicbacilliซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและส่วนใหญ่แยกได้จากดินได้แก่ *B. subtilis* และ *B. lichenformis* ที่ทนต่อสภาวะด่างได้ดี เติบโตได้ที่pH 7.5 - 12 สมบัติของแอลคาไลน์โปรตีเอสเหล่านี้เหมือน Subtilisin โดยประกอบด้วยสายเปปไทด์เดี่ยวไม่มีพันธะไดซัลไฟด์ ไม่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบในโปรตีน ไม่ค่อยมีความจำเพาะในการย่อยเปปไทด์ การสร้างเอนไซม์โปรตีเอสของ *Bacillus* spp. จะเกี่ยวข้องกับการเจริญของเชื้อโดยการสร้างเอนไซม์จะเกิดขึ้นในช่วงปลายของการเจริญแบบทวีคูณ (exponential phase or logarithm phase) หรือในช่วงระยะแรกของการเจริญแบบคงที่ (stationary phase)

มีการศึกษาผลของกลูโคสที่เติมลงไปในสารอาหารที่เลี้ยงเชื้อ *B. sutilis* TISTR25ในช่วงการเจริญแบบคงที่ พบว่าหลังจากเติมกลูโคส 2 % ลงไปใน 1 ชั่วโมงแอคติวิตีของเอนไซม์แอลคาไลน์โปรตีเอสที่วัดได้ลดลงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการเติมกลูโคสในช่วงต้นของการถ่ายเชื้อซึ่งจะลดลงเป็นอย่างมากและการกดดันการสร้างเอนไซม์โปรตีเอสโดยกลูโคส ยังขึ้นกับระดับความเข้มข้นของกลูโคสในอาหารเลี้ยงเชื้อด้วย นอกจากกลูโคสที่เป็นแหล่งคาร์บอนแล้ว ยังมีแหล่งคาร์บอนอื่นที่ใช้เลี้ยงเชื้อเพื่อผลิตเอนไซม์โปรตีเอสได้อีก (สนธยา ศรีเมฆ, 2533)

เนื่องจากเอนไซม์โปรตีเอสมีความสามารถในการย่อยสลายพันธะเปปไทด์และเอสเทอร์ในสภาวะที่เป็นด่างมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง ได้มีผู้ทำการศึกษาสมบัติและทำให้บริสุทธิ์ของเอนไซม์นี้จาก *B. subtilis* TISTR25 ซึ่งแยกได้จากดินในประเทศไทย เทียบกับเชื้อมาตรฐาน *B. licheniformis* ATCC 21415 ในอาหารสูตรปรับต่ำ พบว่าเชื้อทั้งสองชนิดผลิตเอนไซม์แอลคาไลน์โปรตีเอสได้ไม่แตกต่างกัน เมื่อทำการศึกษาสมบัติในด้านกายภาพ เคมี จลนพลศาสตร์ ความจำเพาะในการย่อยสลายพันธะเปปไทด์ของเอนไซม์โดยเปรียบเทียบกับเอนไซม์มาตรฐานคือ Subtilisin Carlsberg และ Subtilisin BPN' พบว่ามีความจำเพาะในการย่อยสลายพันธะเปปไทด์เหมือนกับเอนไซม์ทั้งสองชนิดแต่มีความแตกต่างกันบ้างในการย่อยสลายพันธะเอสเทอร์ (ปกรณ์ จิโรจน์กุลกิจ, 2532)

(จ) แบคทีเรีย *Acetobacter aceti*

ในธรรมชาติมีเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถผลิตน้ำส้มสายชูหรือกรดแอซีติก จากสารละลายวัตถุดิบที่มีเอทานอล แบคทีเรีย *Acetobacter* โดยทั่วไปมักเรียกว่า วีนีก้าแบคทีเรีย (vinegar bacteria) แบคทีเรียผลิตกรดแอซีติกจัดอยู่ในตระกูล *Acetobacteraceae* มีลักษณะกลมรี

จนถึงรูปร่างเป็นท่อน การเรียงตัวของเซลล์มีหลายลักษณะอาจพบเซลล์อยู่เดี่ยว ๆ เป็นคู่ เรียงตัวเป็นสายยาว หรือเป็นสายสั้น ๆ เซลล์ติดสีแกรมลบ แต่เมื่อเซลล์มากขึ้นอาจย้อมติดสีแกรมบวกบ้างเนื่องจากผนังเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไป เชื้อกลุ่มนี้ส่วนใหญ่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยแฟลกเจลลาชนิดรอบเซลล์หรือขั้วเซลล์ ส่วนมากไม่สร้างรงควัตถุ แต่เมื่อมาอยู่รวมกันมาก ๆ อาจเห็นเป็นสีชมพูของสารพอร์ไฟริน (polyphyrin) บางสายพันธุ์สามารถสร้างรงควัตถุสีน้ำตาล เชื้อกลุ่มนี้ต้องการอากาศในการเจริญ (obligate aerobe) เพราะไม่สามารถใช้สารอื่นนอกจากออกซิเจนเป็นตัวรับไฮโดรเจนตัวสุดท้ายในกระบวนการเปลี่ยนอาหารให้เป็นพลังงาน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญประมาณ 15 - 34 องศาเซลเซียส เจริญได้ดีในช่วงความเป็นกรดเบส 5.4 - 6.3 (สมบูรณ์ ธนาศุภวัฒน์ และ สุวิมล กีรติพิบูล, 2542)

ได้มีการแบ่ง *Acetobacter* ออกเป็น 2 กลุ่ม

-พวกที่สามารถออกซิไดซ์กรดแอซีติกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำได้

-พวกที่ไม่สามารถออกซิไดซ์กรดแอซีติกได้

สำหรับพวกที่สามารถออกซิไดซ์กรดแอซีติกได้ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยแบ่งตามความสามารถในการใช้เกลือแอมโมเนียมเป็นแหล่งไนโตรเจน ได้แก่ *A. aceti* สามารถใช้เกลือแอมโมเนียมได้ ส่วนพวกที่ไม่สามารถใช้เกลือแอมโมเนียได้แก่ *A. xylinum* ซึ่งแบคทีเรียสายพันธุ์นี้จะสร้างเมือกหนา ๆ ที่ผิวหน้าของอาหาร

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญของ *Acetobacter* คือ 28 - 30 องศาเซลเซียส แต่ไม่ควรสูงหรือต่ำกว่า 27 - 34 องศาเซลเซียส เพราะถ้าต่ำกว่านี้จะทำให้การเพิ่มจำนวนเซลล์ลดต่ำลง แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไป จะทำให้เอทานอล กรดแอซีติก และสารที่ระเหยง่ายได้ระเหยไป

ความเป็นกรดเบสที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ pH 3 - 4 เนื่องจากปฏิกิริยาการเปลี่ยนแอลกอฮอลล์เป็นแอซีติก เป็นปฏิกิริยาแบบออกซิเดชัน (oxidation) ในสิ่งแวดล้อมที่ออกซิเจนกระทำตัวเหมือนกับเป็นตัวรับไฮโดรเจน (hydrogen acceptor) ดังนั้นปริมาณกรดแอซีติกที่ผลิตได้จะขึ้นกับออกซิเจน ฉะนั้นในการเลี้ยงเชื้อจะต้องพ่นอากาศหรือเขย่าให้อากาศแก่เชื้อ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกษม พงษ์มณี (2536) ได้ทำการศึกษาสูตรอาหารพื้นฐานที่เหมาะสมในการเลี้ยงเชื้อ *Bacillus subtilis* TISTR 25 ในการผลิตเอนไซม์แอลคาไลน์โปรตีเอสพบว่าอาหารสูตรพื้นฐานที่มี

การเติมสารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) 2.0 กรัมต่ออาหาร 100 มิลลิลิตรเป็นแหล่งต้นตอไนโตรเจนจะให้แอคทิวิตีของเอนไซม์แอลคาไลน์โปรตีเอสสูงที่สุดเท่ากับ 2.42 ยูนิตต่อ 1 มิลลิลิตที่ชั่วโมง 36 และปริมาณกลูโคส 0.25 กรัมต่ออาหาร 100 มิลลิลิตรเชื้อสามารถใช้กลูโคสในการเจริญและให้แอคทิวิตีของเอนไซม์แอลคาไลน์โปรตีเอสเท่ากับ 3.69 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ประมาณชั่วโมงที่ 44 – 48

สมบูรณ์ และ สุวิมล (2542) ได้ศึกษาทางอนุกรมวิธานและการใช้ประโยชน์ของแบคทีเรียผลิกรดแอซีติกจากแหล่งต่าง ๆ ได้แก่ แอปเปิล กล้วยหอม กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ น้อยหน่า องุ่น ฝรั่ง ขนุน พุทรา มะกรูด ลางสาด ลองกอง ลำไย มะม่วง ส้มเขียวหวาน สับปะรด มะละกอ ละมุด มะยม มะเขือเทศ สตรอเบอรี มะขามหวาน แตงไทย มังคุด มะเฟือง มะขามเทศ ลิ้นจี่ ระกำ โดยทำการเพิ่มปริมาณเชื้อด้วยการนำตัวอย่างผลไม้แต่ละชนิดหนัก 1- 2 กรัมจากส่วนที่เป็นรอยช้ำหรือเน่าใส่ลงในหลอดทดลองที่มีอาหารเหลว GEY บ่มไว้ 3 วันก่อนนำไปแยกให้บริสุทธิ์บนอาหารวุ้น และคัดเลือกเชื้อที่ผลิตกรดแอซีติกปริมาณสูง โดยวิเคราะห์ % กรดที่ผลิตได้โดยวิธีไตเตรต (titration method) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล และศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดแอซีติก

วรรณงาม วีระผาสุก (2538) ได้ศึกษาการผลิตยางธรรมชาติโปรตีนต่ำโดยการใช้เอนไซม์ปาเปนและเอนไซม์แอลคาเลสโดยใช้อัตราเร็วในการกวนยางน้อยกว่า 65 รอบต่อนาทีจะไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนีส่วนอุณหภูมิและค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ 7-8 8-9 และ 50 60 องศาเซลเซียสตามลำดับโดยลดปริมาณไนโตรเจนได้ 82 %และ 72 %ตามลำดับ

พงศธร คูสกุล (2537) ได้ศึกษาการผลิตยางโปรตีนต่ำในระดับขยายส่วนโดยใช้เอนไซม์ปาเปน 0.3 p.h.r ในถังกวนขนาด 50 ลิตรที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กวนที่ค่าดัชนีความปั่นป่วนในการกวนในช่วง 50 - 55 และใช้ไอน้ำในการทำให้ยางจับตัว จะสามารถลดโปรตีนในยางได้ประมาณ 82 - 90 เปอร์เซ็น โดยใช้เวลาเพียง 50 นาที

พรรณสุนันท์ เจียรรุ่งแสง (2543) ได้ศึกษาการลดปริมาณโปรตีนของยางธรรมชาติโดยโปรตีเอสร่วมกับพลังงานไมโครเวฟ พบว่าเมื่อใช้พลังงานไมโครเวฟและปาเปนสามารถลดโปรตีนในน้ำยางวัดจากปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลงถึง 80 % ของปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นภายใน 10 นาที แต่เมื่อขยายส่วนปริมาตรน้ำยางเริ่มต้นเป็น 5 ลิตร โดยกระบวนการเดียวกันได้ยางโปรตีนต่ำ (DPNR) ปริมาณไนโตรเจนลดลง 60% จากค่าตั้งต้น

สนธยา ศรีเมฆ (2533) ศึกษาผลของสารต้นตอคาร์บอนและไนโตรเจนต่อการเจริญและสร้างเอนไซม์โปรตีเอสของ *B. subtilis* TISTR25 พบว่าเมื่อเลี้ยงในอาหารสูตรปรับต่ำ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่ pH 6 เป็นเวลา 20 ชั่วโมง สารต้นตอไนโตรเจนที่เหมาะสมให้เชื้อมีการเจริญดีและยังผลิตโปรตีเอสในปริมาณสูงค่าแอคติวิตีจำเพาะประมาณ 0.16 - 0.20หน่วย/มก.โปรตีน ได้แก่ กลูตาเมต แอสปาราจีน อาร์จินีน โพรลีน และเคซีนไฮโดรไลเสต เมื่อเลี้ยงเชื้อในสารอาหารสูตรปรับต่ำมีกลูตาเมตเสริมด้วยกลูโคสร่วมลงไปในสารอาหาร จะมีผลกดดันการผลิตโปรตีเอสโดยระดับความกดดันขึ้นอยู่กับ ระดับความเข้มข้นของกลูโคส ถ้าเลี้ยงเชื้อจนเข้าสู่ช่วง stationary phase เมื่อเติมกลูโคส ลงไปในน้ำเลี้ยงจะไม่มีผลไปลดการผลิตโปรตีเอส แต่จะมีผลอย่างชัดเจนเมื่อเติมกลูโคสตั้งแต่เริ่มการเจริญในช่วง log phase

ร.อ. ปกรณ์ จิโรจน์กุลกิจ (2532) ศึกษาการแยกให้บริสุทธิ์และศึกษาสมบัติของแอลคาไลน์โปรตีเอสจากเชื้อ *B. subtilis* TISTR25 พบว่า ในอาหารเลี้ยงเชื้อสูตรปรับต่ำที่เสริมด้วย 1% กลูตาเมต ที่ pH 6 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เลี้ยง 24 ชั่วโมง *B. subtilis* จะผลิตเอนไซม์โปรตีเอสที่มีแอคติวิตีจำเพาะเท่ากับ 0.44 หน่วย/มก.โปรตีน และจะผลิตเอนไซม์นิวทรัลต่อแอลคาไลน์โปรตีเอสในอัตราส่วน 1: 2.8 เปรียบเทียบกับเชื้อมาตรฐาน *B. licheniformis* ATCC 21415 เอนไซม์โปรตีเอสที่ได้มีความเสถียรต่อ pH ที่เป็นด่างได้ดีกว่า pH ที่เป็นกรด และมีความเสถียรที่ 50 องศาเซลเซียสได้นาน 30 นาที โดยสูญเสียแอคติวิตีประมาณ 45 % มี pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 8.5 และ 55 องศาเซลเซียส

Mahmoud และคณะ (2000) ศึกษาเกี่ยวกับการย่อยยางธรรมชาติหรือสารที่มียางธรรมชาติผสมอยู่โดยใช้แบคทีเรีย 6 สายพันธุ์ คือ *Gordonia* Kb2, Kd2, VH2 *Mycobacterium Micromonospora* และ*Pseudomonas* ซึ่งเชื้อสามารถใช้ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติ เช่น ถุงมือเป็นแหล่งคาร์บอนเพียงอย่างเดียวได้ โดยเชื้อจะเจริญได้ดีหากมีการกำจัดส่วนที่เป็น antioxidant ก่อน ส่วนรายละเอียดการย่อยยางธรรมชาติด้วย *Gordonia* sp. Kb2 เมื่อส่องดูผิวของอนุภาคยางด้วย scaning electron microscopy (SEM) พบว่าช่วยทำให้เกิดโคโลนีของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น โดยดูจากการทำ staining plate ด้วย Sciff 's reagent โดยจะเป็นสีม่วงในบริเวณที่มีการย่อยยางจากถุงมือยางธรรมชาติเกิดขึ้น เนื่องจากเกิด aldehyde การย่อยถุงมือจากยางธรรมชาติจะเกิดได้ดีหากเลี้ยงเชื้อในสารอาหาร mineral salt medium และเชื้อที่ย่อยยางจากถุงมือยางธรรมชาติได้ดีที่สุดคือ แบคทีเรีย *Gordonia* sp.VH2 และเมื่อนำไปย่อยถุงมือที่ทำจากยางสังเคราะห์ก็ย่อยได้

Marcia และคณะ (2003) ศึกษาสมบัติของส่วนที่เป็นครีมยางและหางน้ำยางที่ได้จากน้ำยางสดปั่นที่ความเร็วสูง โดยใช้ atomic microscopy และ scanning electric microscopy เพื่อหาสมบัติของประจุในการจับตัวเป็นฟิล์มของครีมยางและหางน้ำยาง โดยใช้วิธีการปั่นเหวี่ยงแยกชั้นครีมยางและชั้นยางสกิมออกจากกัน โดยชั้นครีมยางจะจับตัวอยู่ที่ผิวบน อนุภาคยางในชั้นครีมยางจะมีสารต่าง ๆ ที่เกาะบนผิวเช่น โปรตีน ฟอสโฟไลปิด ต่างจาก self cleaning ของยางสกิมที่ไม่มีสิ่งใดเกาะที่รอบผิวอนุภาคยาง จากความแตกต่างของผิวอนุภาคยางนี่เองจึงทำให้ส่งผลต่อการกระจายตัวของ cis-1,4 polyisoprene core ทำให้ฟิล์มที่เกิดจากอนุภาคยางในชั้นครีมไม่เรียบเพราะมีสารเกาะอยู่ที่ผิวอนุภาคยาง ในชั้นยางสกิมทำให้ฟิล์มยางที่ได้มีความเรียบกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย