

บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

Warunee Klinklai และคณะ(2547) [1] การเตรียมยางโปรตีนต่ำซึ่งถูกทำมาจาก fresh latex และ High ammonia latex โดยการใช้ยูเรีย ใน Sodium dodecyl sulfate (SDS) สารยูเรียเข้มข้น อุณหภูมิ และเวลาสำหรับการบ่มถูกตรวจสอบเพื่อกำจัดโปรตีนอย่างมีประสิทธิภาพ ภายใต้เงื่อนไขที่ดีที่สุด จากการวิจัยพบว่า ปริมาณไนโตรเจนลดลงจาก 0.38% เหลือเพียง 0.002% ซึ่งเป็นค่านี้น้อยกว่าการใช้ enzyme ในการกำจัดโปรตีน นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการบ่มเพียง 1 ชั่วโมง ในขณะที่ enzyme ใช้เวลานานถึง 24 ชั่วโมง

อรพินท์ ชัยกำพลเลิศ และคณะ(2550) [2] ปัจจุบันมีสารเป็นจำนวนมากที่สามารถใช้เป็นสารจับตัวของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้สารจำพวกกรด ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสารจับตัวชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบกับการใช้กรด จากการทดลองพบว่ายางแห้งที่ได้จากการจับตัวด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้นและแคลเซียมคลอไรด์จะให้ค่าความหนืดมูนีสูงมากในขณะที่ค่าดัชนีความอ่อนตัวของยางมีค่าต่ำมาก สำหรับยางแห้งที่ได้จากการจับตัวด้วยสารประกอบ ควอเตอร์นารีแอมโมเนียม, ลิเทียมไฮดรอกไซด์ และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2 เปอร์เซ็นต์ จะให้คุณสมบัติต่างๆใกล้เคียงกับยางแห้งที่ได้จากกรดฟอร์มิก นอกจากนี้คุณสมบัติพื้นฐานของยางแห้ง คณะผู้วิจัยยังทำการศึกษาคุณสมบัติการคงรูปของยาง พบว่ายางคอมพาวด์ที่ได้จากการจับตัวด้วยลิเทียม-ไฮดรอกไซด์และสารประกอบควอเตอร์นารีแอมโมเนียมมีระยะเวลาสกอร์ชสั้น ในขณะที่กรดซัลฟูริกเข้มข้นสามารถทำให้ระยะเวลาสกอร์ชช้าลงในยางคอมพาวด์

สุรพิชญ ลอยกุลนันท์ และคณะ(2546) [3] ในการรวบรวมเนื้อเยื่อออกจากน้ำยางสกิม ได้มีการพัฒนากระบวนการที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้พอลิเมอร์ชีวภาพและอนุพันธ์เป็นสารจับตัว โดยในงานวิจัยได้ศึกษาประสิทธิภาพการครีมน้ำยางสกิม โดยใช้ N,O- carboxymethyl chitosan (NOCMC) และสาร A 701 ซึ่งพัฒนาขึ้นใหม่ จากการศึกษาพบว่าสารจับตัวทั้งสองชนิดสามารถใช้ทำครีมน้ำยางสกิมได้ การแยกตัวของส่วนที่เป็นชีรั่มขึ้นกับความเข้มข้นของสารจับตัวและระยะเวลาในการครีมน การใช้สารจับตัวทั้งสองชนิดไม่ก่อให้เกิดการเสียสภาพอย่างถาวรของอนุภาคยางสกิมสามารถแยกออกมาได้โดยการเติมกรดปริมาณเล็กน้อย นอกจากนี้สาร A701 สามารถแยกนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างมีประสิทธิภาพโดยการให้ความร้อนที่ 80 °C

Ramida WERATHIRACHOT และคณะ (2551) [4] พบว่าไคโตซานซึ่งสามารถละลายในกรดน้ำส้ม จะเจือจางในน้ำร้อน ซึ่งถูกใช้สำหรับการจับตัวของยางน้ำยางสกิมประสิทธิภาพของการจับตัวของยางน้ำยางสกิม (skim rubber latex) ซึ่งปราศจากการปรับแต่งค่า pH เมื่อเพิ่มสารละลายไคโตซานที่

Skim rubber latex ด้วยปริมาณยางแห้ง 5.300 %wt/vol จนถึงความเข้มข้นของโคโคซานที่ 0.107% การแยกเฟสระหว่างอนุภาคยางกับน้ำชีรั่มสีเหลืองสังเกตเห็นอย่างเด่นชัด

2.2 ยางธรรมชาติ

ยาง (Rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (macromolecule) ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง คำรวมๆของยาง และสารที่เหมือนยางจึงใช้คำว่า “elastomer” หมายถึง vulcanized product จากสมบัติความยืดหยุ่นดังกล่าวทำให้ยางถูกใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอดีตก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 ประมาณ พ.ศ. 2457 วัตถุดิบยางที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางมีเพียงยางที่ได้มาจากธรรมชาติ ซึ่งเรียกว่า “ยางธรรมชาติ” (Natural Rubber, NR) และสืบเนื่องจากจุดเริ่มต้นของต้นพืชรubber ที่สำคัญที่ให้น้ำยางซึ่งนำไปแปรรูปเบื้องต้นเป็นยางดิบชนิดต่างๆ คือต้นพืชรubber ในตระกูล *Hevea Brasiliensis* มีศูนย์กลางการปลูก และซื้อขายอยู่ที่เมืองท่าบนฝั่งแม่น้ำอะเมซอน เมืองพารา ประเทศบราซิล โดยที่ในการซื้อขาย “ยาง” จากต้นไม้นี้ใช้ชื่อเรียกว่า “ยางพารา” ซึ่งเป็นชื่อที่คุ้นเคยกันโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย และใช้ชื่อนี้เรียกต้นพืชรubber ที่ให้น้ำยางว่า “ต้นยางพารา”



รูปที่ 2.1 ต้นยางพารา

ที่มา <http://www.greenwood1993.com>

2.2.1 พืชที่ให้ยาง

ต้นพืชรubber ที่ให้น้ำยางได้มีหลายชนิด เช่น ยางพารา ยางกัตตาเปอา ยางบาลาตา ยางวายูเล เป็นต้น แต่เนื่องจากยางที่ได้จากต้นพืชรubber แต่ละชนิดจะมีสมบัติ และส่วนประกอบแตกต่างกัน จึงทำให้พืชรubber บางชนิดให้น้ำยางที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง และมีความสำคัญในเชิงพาณิชย์ แต่พืชรubber บางชนิดให้น้ำยางที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย ซึ่งจะได้กล่าวดังต่อไปนี้

1) ยางพารา (*Hevea Brasiliensis*)

วัตถุดิบที่เริ่มรู้จักกันในชื่อ “caouchouc” ซึ่งเป็นคำที่เรียกตามที Charles de la Condamine ใช้ (มาจากภาษาอินเดียน หมายถึง ต้นไม้ร้องไห้) เป็นสารไอโซพรีน (isoprene) ที่ได้จากน้ำเลี้ยงของต้นยาง *Hevea Brasiliensis* ปัจจุบันรู้จักวัตถุดิบนี้ในนาม natural rubber (NR) และเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าต้นยางพารานับเป็นแหล่งวัตถุดิบยางพาราที่สำคัญที่สุดในปัจจุบัน อาจนับเป็นพืชชนิดเดียวที่ให้ยางธรรมชาติซึ่งนำมาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยางเป็นที่ยอมรับและเข้าใจกัน โดยทั่วไปว่าเมื่อกล่าวถึงยางธรรมชาติ จะหมายถึงยางเฉพาะที่ได้มาจากต้นยางพาราเท่านั้น

2) กัตตาเปอชา และบาลาตา (*Gutta-percha and Balata*)

กัตตาเปอชา และบาลาตาเป็นวัตถุดิบที่ได้จากต้นไม้ใน *sapotaceae* family มีลักษณะคล้ายยางจากต้นยางพารา เนื่องจากเป็น trans isomer ของ polyisoprene ในมาเลเซียและอินโดนีเซียเก็บเกี่ยววัตถุดิบจากน้ำเลี้ยงของต้น *palagium*, *isonandra* และ *payana* การผลิตยางบาลาตาในอเมริกาใต้โดยการให้น้ำเลี้ยงของต้น *mimusop* or *ecclinusa balata* แห่ง วัตถุดิบจากกัตตาเปอชา และบาลาตาแตกต่างจากยางจากต้นยางพารา คือ มีปริมาณเรซินสูง ไม่มีความยืดหยุ่น ไม่มีลักษณะการทำให้คงรูปเช่นกรณียางพารา และยังมีความเปลี่ยนแปลงในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 70-100 องศาเซลเซียส จากการแข็งกระด้างไปเป็นลักษณะคล้ายพลาสติก (hard material into a plastic-like one)

ในอดีตมีการใช้ยางกัตตาเปอชาผลิตฉนวนสายเคเบิล และใช้บาลาตาสำหรับผลิตสายพานส่งกำลัง (transmission belt) ปัจจุบันยางกัตตาเปอชาเป็นวัตถุดิบที่ไม่มีความสำคัญเชิงเทคนิค เพราะมีพลาสติกเข้ามาแทนที่

3) วายยูเล (*Guayule*)

วายยูเล หรือ *parthnium argentatum* เป็นพืชล้มลุกที่มีลักษณะเป็นพืชพุ่มเตี้ยๆ ปลูกในเม็กซิโก ให้สารเรซินที่มีลักษณะคล้ายยาง มีส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนประมาณ 70% เรซิน 20% และส่วนที่เป็นสารที่ไม่ละลายในเบนซีน (benzene-insoluble) ประมาณ 10% ในทางเคมียางจากวายยูเลเป็น cis-polyisoprene และเนื่องจากมีส่วนของเรซินสูง จึงทำให้สารนี้เหนียว (tacky) และคล้ายพลาสติกมาก สลายตัวได้ง่าย การทำให้คงรูปช้า และให้สถานะการคงรูป (state of cure) ต่ำกว่ากรณีของยางพารา โดยที่ยางวายยูเลมีความ plasticity สูงมาก จึงได้มีความพยายามที่จะใช้เป็น thermoplastic NR หนึ่ง การที่จะทำยางวายยูเลให้มีสมบัติเทียบเท่ายางพาราจำเป็นต้องกำจัดสารเรซินออก ซึ่งนับเป็นขั้นตอนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก ปัจจุบันวายยูเลจึงมีความสำคัญเฉพาะในท้องถิ่น อนาคตตลาดโลกของยางชนิดนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนาทางการผลิตจะพอเพียงและสามารถแข่งขันเชิงพาณิชย์ได้หรือไม่

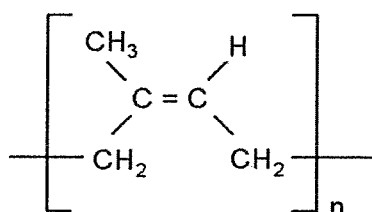
4) *Kok-Saghyz*

ต้นพืช “kok-saghyz” อยู่ใน species เดียวกัน dandelion เก็บเกี่ยวผลผลิตภายหลังการปลูก 1 ถึง 2 ปี โดยนำส่วนของรากผ่านกรรมวิธีแยกเอาน้ำยางออก ได้เคยมีสถิติการผลิตเมื่อปี พ.ศ.

2483 ใน USSR ประมาณ 2,000 ตัน และเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าในปี พ.ศ.2493 อย่างไรก็ตาม ต้นไม้นี้เป็นเพียงแหล่งให้น้ำยางที่ใช้เฉพาะกรณีความต้องการฉุกเฉินเท่านั้น

2.2.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (*cis*-1,4-polyisoprene) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000-400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature, T_g) ประมาณ -72° สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นแข็งเช่นเดียวกับแก้ว



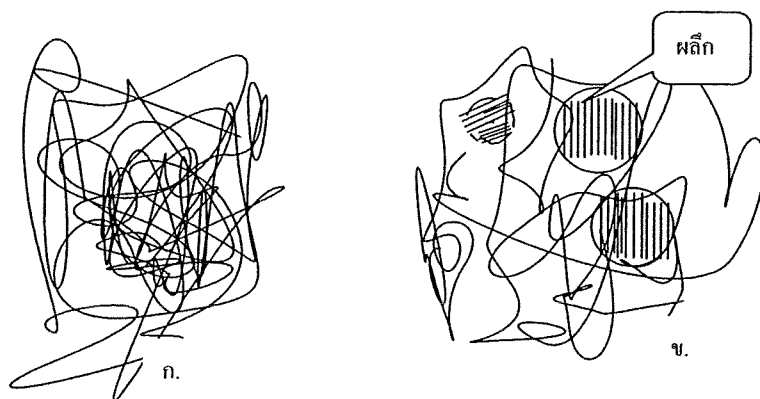
รูปที่ 2.2 แสดงสูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.2549

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกัมมันตอยู่ ดังนั้น พันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกัมมันต อย่างไรก็ตามพันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง(ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้ (ดูรูปที่ 2.3 ประกอบ) การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำที่เรียกว่า “low temperature crystallization” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20°C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุด ที่อุณหภูมิประมาณ -26°C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำนี้จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเดิมอื่น ๆ ได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ ประเทศในเขตร้อนจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิประมาณ $50-70^\circ\text{C}$ เพื่อให้ยาง

ก่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “strain-induced crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสง(transparent) ไปเป็นทึบแสง (opaque) ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้ การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการกัดกร่อน



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะสายโซ่โมเลกุลของยางธรรมชาติ [ก] สภาวะปกติ [ข] สภาวะที่ถูกยืด
ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ:การผลิตและการใช้งาน.2549

2.2.3 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสด (fresh or field latex) จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืด (viscosity) ไม่แน่นอน มีส่วนประกอบของสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง (non rubber constituents) ไม่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุต้นยาง ระบบและวิธีการกรีด และฤดูการ เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ปริมาณเนื้อยางแห้งของน้ำยางธรรมชาติในสภาพน้ำยางสดไม่แน่นอน คือ ตั้งแต่ 20 % (โดยน้ำหนัก) ขึ้นไป (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) บางพันธุ์ที่ได้มีการพัฒนาแล้วอาจสูงถึง 45 % (โดยน้ำหนัก) ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมดกับปริมาณน้ำยางแห้งในน้ำยางสดจะประมาณ 3 % (โดยน้ำหนัก) แต่ถ้าป็นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้ว ความแตกต่างนี้จะลดเหลือประมาณ 1.5 % (โดยน้ำหนัก) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการเจือจางน้ำยางสดก่อนปั่น รวมทั้งประสิทธิภาพ และการปรับสภาพของเครื่องปั่น ปริมาณสารที่ไม่ใช่น้ำยางมีประมาณ 5 % โดยน้ำหนักของน้ำยางทั้งหมด ซึ่งในปริมาณนี้เป็นสารโปรตีนที่ละลายน้ำได้ประมาณครึ่งหนึ่ง และประมาณหนึ่งในสี่จะดูดซับที่ผิวอนุภาคยางส่วนที่เหลือจะอยู่ในรูปของสาร luteoid

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content ; TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Contents; DRC)	33
สารโปรตีน	1-1.5
สารเรซิน	1-2.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำในปริมาณที่รวมกับสารอื่น ๆ แล้ว เป็น	100

เนื่องจากโดยปกติการใช้ประโยชน์จากน้ำยางจะมีกระบวนการแปรรูปเบื้องต้นเพื่อให้ได้วัตถุดิบคุณภาพที่เหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สภาพของยางแห้ง (dry solid form) และสภาพของน้ำยางข้น (concentrated latex) เนื้อหาของบพนี้ก็จะกล่าวถึงกระบวนการต่าง ๆ ตลอดจนสาระสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปวัตถุดิบยางธรรมชาติจากน้ำยางสด

1) การรักษาสภาพและการเสียดสภาพของน้ำยางธรรมชาติ

ในทางเคมี จัดน้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (rubber particles) แขนงลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรัม (serum) และเป็นที่ทราบกันดีว่าในน้ำยางมีส่วนของสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยาง เช่น สารโปรตีน (ตารางที่ 2.1) ส่วนหนึ่งของสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวอนุภาคยางฟอรั่มชั้นหรือเปลือกห่อหุ้ม (hydrated protein envelope) อนุภาคยางไว้ (รูปที่ 2.4) ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลว หรือความเสถียร (stability) ของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางมารวมตัว และจับกันเป็นก้อน (coagulation)

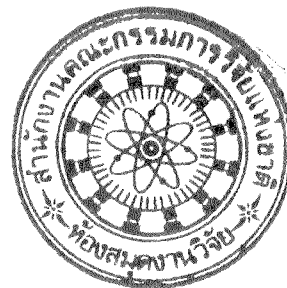
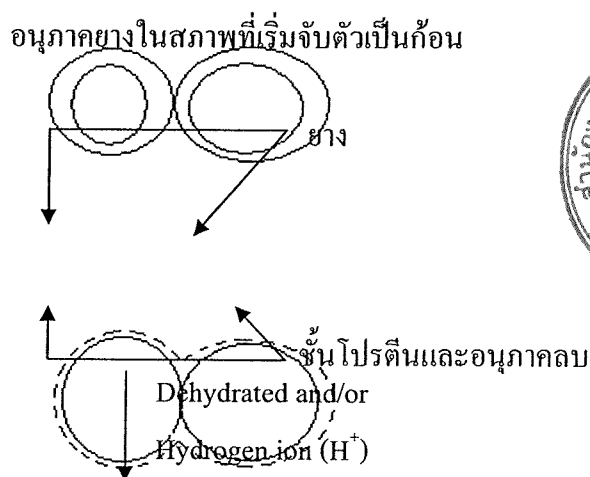


รูปที่ 2.4 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.2549

นอกจากชั้นโปรตีนจะห่อหุ้ม ทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในชั้นโปรตีนนี้ ยังมีอนุมูลของคาร์บอกซีเลต (carboxylate, RCOO^-) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักรันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือ น้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และ อนุมูลของคาร์บอกซีเลต

การเสถียรภาพ (destability) จากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (dehydrated) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลของคาร์บอกซีเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนยาง เรียกว่า “โคแอกกูลัม” (coagulum) แยกตัวออกจากส่วนของเซรัม (รูปที่ 2.5) เนื่องจากก้อนยางที่จับตัวนี้มีลักษณะขาวนวลหยุ่นตัวคล้ายกับก้อนเต้าหู้อ่อนขาวสวนยางจึงเรียกว่า “ยางก้อนเต้าหู้”



รูปที่ 2.5 น้ำยางเสถียรภาพจับเป็นก้อนยาง

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.2549

มีสองทฤษฎีที่อธิบายกลไกของการเกิดน้ำยางสดเสถียรภาพ และจับก้อนเองตามธรรมชาติ (natural or spontaneous coagulation) ทฤษฎีแรกอ้างว่ากรดเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์กับสารที่ไม่ใช่ยางซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง ส่วนทฤษฎีที่สองเชื่อว่าการสลายตัวของอิออน ของกรดไขมันจากการ hydrolysis ของสารไลปิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาง อิออนเหล่านี้จะถูกดูดซับแทนที่โปรตีนที่ผิวอนุภาคยาง และทำปฏิกิริยากับอิออนของโลหะเช่นแคลเซียม แมกนีเซียม ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางตั้งแต่แรก หรือจากการหลุดออกมาจากสารประกอบที่เกิดโดยปฏิกิริยาของ enzyme ในน้ำยาง

2) การรักษาสภาพน้ำยาง

เนื่องจากในน้ำยางสด มีส่วนประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางหลายชนิดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุกโตส ดังนั้น เมื่อกรีดยางออกจากต้นยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะลงไปปะปนในน้ำยาง มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดกรดทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคน้ำยาง ทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนการเกิดลักษณะเช่นนี้จะช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ ความเสถียรของน้ำ พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้น เพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการจึงจำเป็นต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง (preservatives)

3) สมบัติของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง

สารที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

- มีประสิทธิภาพในการทำลาย หรืออย่างน้อยสามารถชะลอการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำยาง
- ควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะสารแขวนลอยให้น้ำยาง
- ทำให้อนุมูลโลหะหนักไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา เพราะอนุมูลเหล่านี้จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์
- สามารถชะลอการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยเจริญของจุลินทรีย์
- ไม่รบกวนต่อกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และควรมีราคาเหมาะสม
- ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของคนและคุณภาพของยาง อีกทั้งยังจัดออกจากน้ำยางได้โดยง่ายและสะดวก เมื่อถึงเวลาที่ไม่ต้องการ

4) ชนิดของสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารชนิดแรกที่พบว่าประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางได้คือ “แอมโมเนีย” ซึ่งมีบันทึกการจดสิทธิบัตร โดย John และ โดย Norris ในปี พ.ศ. 2396 จากนั้นเป็นต้นมา ก็พบว่าระบบรักษาสภาพน้ำยางที่สำคัญประกอบด้วยแอมโมเนียจนทุกวันนี้ นอกจากแอมโมเนียยังมีสารอื่น ๆ ที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ ฟอรัมาดีไฮด์ และ โปรแตสเซียมไฮดรอกซ์

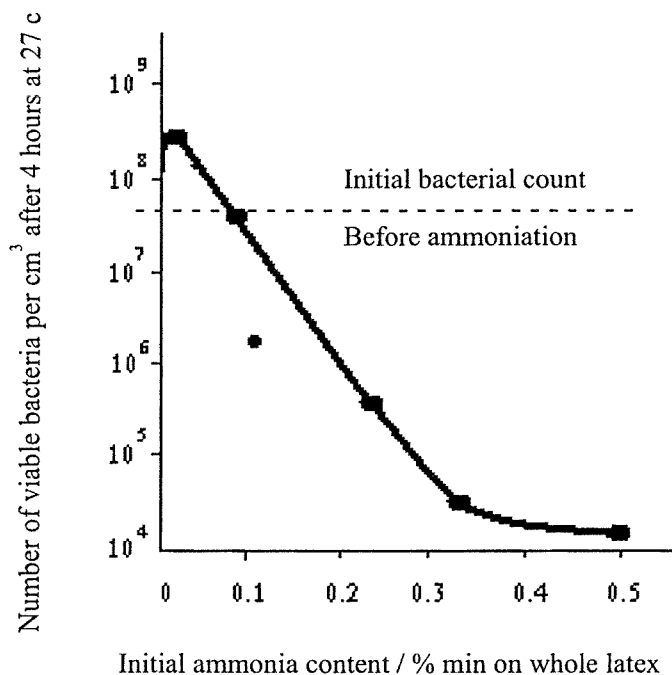
- การใช้แอมโมเนียเป็นสารรักษาสภาพน้ำยาง

ปริมาณแอมโมเนีย 0.2 % ในน้ำยางโดยน้ำหนัก พอเพียงสำหรับการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลาสั้น ๆ (short-term preservation) ถ้าต้องการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลายาวนานควรใช้ปริมาณ 0.2 % โดยน้ำหนัก โดยไม่ต้องมีสารอื่นช่วยเสริม การปฏิบัติโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมานานแล้วคือจะเติมแอมโมเนียปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.01 % โดยน้ำหนัก ทันทีที่กรีดยางเพื่อป้องกันน้ำยางเริ่มจับตัว อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจให้ผลตรงกันข้าม เพราะอาจเป็นการเร่งการขยายหรือเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดมากกว่าที่ไม่มีการเติมแอมโมเนียก็ได้

ปกติจะนิยมใช้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ anhydrous liquid บรรจุในถังมากกว่า การใช้สารรูปของแอมโมเนียเข้มข้น ทั้งนี้เพราะแอมโมเนียเข้มข้นจะมีความปลอดภัยในการ

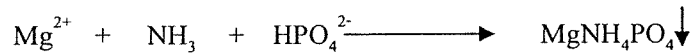
เคลื่อนย้ายน้อยกว่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ anhydrous liquid บรรจุกัง นอกจากนี้การใช้แอมโมเนีย น้ำเข้มข้นโดยตรงจะทำให้น้ำยางจับตัวเป็นหย่อม ๆ ได้

แอมโมเนียเป็นสารที่ทำลายแบคทีเรียได้ (bactericide) โดยจะมีประสิทธิภาพทำลายแบคทีเรียได้ถ้าเติมในปริมาณ 0.35 % ในน้ำยางโดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามผลการทดลองได้บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางขึ้นอยู่กับเวลาที่เติมแอมโมเนียลงไป ในน้ำยางรวดเร็วมากน้อย หลังจากให้น้ำยางถูกกรดและไหลจากต้นยาง [รูปที่ 2.6] จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียเล็กน้อย (ปริมาณ 0.05 %) กระตุ้นการขยายตัวของแบคทีเรีย ซึ่งคาดว่าอาจเนื่องมาจาก pH ของน้ำยางเพิ่มขึ้นจาก 6.5 ตามที่อยู่ในต้นยางสูงประมาณ 8.0 โดยที่ ณ pH ระดับนี้เหมาะสมกับการเพิ่มจำนวนแบคทีเรียชนิดทั่วไป ฉะนั้นปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางควรจะต้องมีปริมาณอย่างน้อย 0.1 % โดยน้ำหนักน้ำยาง เพื่อให้จำนวนแบคทีเรียคงที่



รูปที่ 2.6 ผลของปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางต่อจำนวนแบคทีเรีย
 ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.2549

แอมโมเนียสามารถ De-activate อีออนโลหะหนักโดยการฟอร์มแอมมินอีออนหรือโดยการตกตะกอนเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้เล็กน้อย หรือเป็นสาร hydroxides อนึ่งความสำคัญสำหรับความเสถียรของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย คือ ปฏิกริยาระหว่างอีออนของแมกนีเซียมกับแอมโมเนีย และแอนอีออนของ orthophosphate ที่อาจมีอยู่ในส่วนของ aqueous phase ของน้ำยาง ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของสาร magnesium ammonium phosphate ที่ละลายได้เล็กน้อยตามปฏิกิริยาดังนี้



ตะกอนดังกล่าวจะถูกแยกออกจากน้ำยางพร้อม ๆ กันกับเศษทราย ดิน และสิ่งสกปรกอื่น ๆ ในการฟอรั่มตะกอน magnesium ammonium phosphate จะต้องมีความเข้มข้นของ orthophosphate พออยู่ในส่วนของ aqueous ซึ่งไอออนเหล่านี้มาจาก alkaline hydrolysis ของ phospholipids ที่มีอยู่ในน้ำยางสด ซึ่งน้ำยางจากยางบางพันธุ์มีปริมาณ phosphate ไม่เพียงพอที่จะทำให้ magnesium ตกตะกอนได้ สัดส่วนของ magnesium/ phosphate จะแปรไปตามพันธุ์ยาง และแม้แต่พันธุ์ยางพันธุ์หนึ่ง ๆ ก็อาจจะมีสัดส่วนแปรปรวนได้ น้ำยางที่มีสัดส่วนไอออนทั้ง 2 สูง เมื่อทำเป็นน้ำยางชั้นที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียจะมีความเสถียรแนวโน้มต่ำและแปรปรวนเนื่องจากปริมาณแมกนีเซียมไอออนตกค้างสูง ความเสถียรทางกล (mechanical stability) ของน้ำยางจะต่ำ แต่ความหนืดจะสูง และมีค่า pH ของการเกิด gel สูง

- ระบบรักษาสภาพน้ำยางโดยใช้แอมโมเนียปริมาณน้อย (Low Ammonia Preservative Systems)

แม้ว่าการใช้แอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยางจะมีข้อเสียหรือข้อบกพร่องหลายประการ เป็นต้นว่า หากสูดหายใจเข้าไปปริมาณมากหรือสัมผัสกับปริมาณที่เข้มข้นมาก ๆ ก็จะมีอันตรายได้ ตลอดจนได้มีความพยายามที่จะหาสารอื่น ๆ ที่ดีกว่าทดแทนการใช้แอมโมเนียก็ตาม แต่พบว่ายังไม่มีสารใดมีข้อได้เปรียบกว่า และทำหน้าที่รักษาสภาพน้ำยางแทนแอมโมเนียได้ นอกเสียจากวิธีการลดปริมาณการใช้แอมโมเนียด้วยการใช้สารอื่นช่วยเสริมประสิทธิภาพการรักษาสภาพน้ำยาง (secondary preservatives) สารเหล่านี้จะทำหน้าที่เสริมประสิทธิภาพในการทำลายแบคทีเรีย น้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพน้ำยางในระบบนี้เรียกว่า low-ammonia (LA) ซึ่งแตกต่างจากระบบปกติที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว ซึ่งเรียกว่า high-ammonia (HA) สารต่าง ๆ ที่ใช้เป็นตัวเสริมในระบบ LA ได้แก่ pentachlorophenates, zinc dialkyldithiocarbamates, thiuram sulphides, aminophenois และ boric acid ปริมาณการใช้แอมโมเนียในระบบ LA ที่มีสารอื่นช่วยเสริมการรักษา น้ำยางจะลดลงเหลือประมาณ 0.2 % โดยน้ำหนัก และใช้สารอื่นร่วมประมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักต่อน้ำยางทั้งหมด

- สารชนิดอื่นๆ ที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง

ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารที่ใช้เป็น anticoagulant โดยการเติมในรูปสารละลาย 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ลงในถ้วยและถังรับน้ำยางสด ประมาณ 0.02% โดยน้ำหนักต่อปริมาณน้ำยางทั้งหมด แต่ก็ได้พบว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์รักษาน้ำยางสดที่จะนำไปปั่นทำน้ำยางชั้นเพื่อใช้ในการทำยางฟองน้ำจะไม่เหมาะสมเนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้สารโปรตีนในน้ำยางเปลี่ยนแปลง และมีผลกระทบต่อคุณภาพของยางฟองน้ำ

โซเดียมซัลไฟต์ เป็นสารที่ใช้เป็น anticoagulant โดยการเติมในรูปสารละลาย 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาณ ลงในถ้วยและถังรับน้ำยางสด ประมาณ 0.05% โดยน้ำหนักต่อปริมาณน้ำยาง

ทั้งหมด ซึ่งการใช้สารนี้โดยเฉพาะกับกรณีที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นยางเครพขาว หรือ เครพสีจาง (pale crepe) เพราะยางชนิดนี้เน้นเรื่องของสียางจะต้องจางที่สุด อาจกล่าวได้ว่าการใช้โซเดียมซัลไฟด์ ในการผลิตยางเครพสีจางก็เพื่อช่วยทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาของ enzyme ที่จะทำให้น้ำยางมีสีเข้ม

โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารตัวเลือกนอกเหนือจากจากแอมโมเนียเพื่อช่วย รักษาสภาพน้ำยางสด การใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์สำหรับรักษาน้ำยางข้นชนิดที่ใช้กรรมวิธีระเหย น้ำ (evaporated natural rubber latex concentrate) เนื่องด้วยสารเคมีมีความเป็นด่างสูงจึงป้องกันปฏิกิริยา ของבקเทรีได้ และรักษาความเสถียรให้น้ำได้ดี อีกทั้งไม่มีปัญหาในเรื่องของการฟอร์มสถานะหนืด อันเนื่องจากการมีปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide thickening)

สารทำให้น้ำยางจับตัว (Rubber coagulant) ดังได้กล่าวแล้วว่าน้ำยางสดจะเกิดการ จับตัวได้เองตามธรรมชาติ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่จุลินทรีย์ใช้สารบางชนิดในน้ำยางเป็นอาหาร จน ก่อให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง อย่างไรก็ตาม การเกิดน้ำยางจับตัวตามธรรมชาตินั้น กว่าจะ เกิดการจับตัวอย่างสมบูรณ์จนสามารถแยกก้อนยางทั้งหมดออกจากเซรุ่มได้จะต้องใช้เวลานาน ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการผลิตยางดิบชนิดยางแห้ง หลักการขั้นแรกของกระบวนการผลิตยางแห้งไม่ว่าจะเป็น ชนิดใดๆ ก็ตาม จะต้องทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อน หากจะต้องรอให้น้ำยางจับตัวเองอย่างสมบูรณ์เองตาม ธรรมชาติ จะต้องเสียเวลารอคอยนาน จึงจำเป็นต้องเร่งการจับตัวของยาง โดยใช้สารเคมีประเภทมีฤทธิ์ เป็นกรด ซึ่งกรดจะสลายตัวในอออนของไฮโดรเจน ไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคของยาง เรียกการจับตัว ของน้ำยางอันเนื่องมาจากกรดว่า “acid coagulation”

กรดใดๆ ก็ตามที่สามารถสลายตัวในอออนบวกของไฮโดรเจน (H^+) สามารถใช้ทำให้น้ำ ยางธรรมชาติจับตัวได้ เพราะ (H^+) จะทำลายอนุมูลอิสระของคาร์บ็อกซีแลตที่อยู่รอบๆ อนุภาคยางซึ่งทำ หน้าที่รักษาความเสถียรในการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยาง เกิดเป็นกรดไขมัน (fatty acid) ขึ้นรอบๆ อนุภาคยาง ทำให้พลั๊กยึดรอบอนุภาควายสูญเสียไป ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบลงสถานะการเป็นสาร แขวนลอยของน้ำยางจะเสียไป อนุภาคยางรวมกัน และจับตัวเป็นก้อน ปฏิกิริยาทางเคมีที่แสดงการเสีย สถานะสารแขวนลอยของน้ำยางดังแสดงต่อไปนี้



แม้ว่ากรดหลายๆ ชนิด สามารถทำให้น้ำยางเสียสภาพและจับตัวได้ แต่กรดที่ได้ ทำการค้นคว้าวิจัย และพบว่าเหมาะสมในการทำให้น้ำยางจับตัวเพื่อนำไปผลิตเป็นยางแห้ง เช่น ยาง แผ่นรมคว้น ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางแท่ง คือ กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก เพราะเป็นกรดอ่อนที่สามารถทำ ให้น้ำยางจับตัว และไม่มีผลเสียต่อคุณภาพของยางที่ได้ รวมทั้งไม่ใช่กรดที่มีอันตรายต่อสุขภาพคน แต่ถ้า จะทำให้น้ำยาง (skim latex) จับตัว เพื่อทำเป็นยางสกิน (skim rubber) แนะนำให้ใช้กรดซัลฟูริก

2.2.4 วัตถุดิบยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการแปรรูปขั้นต้นของน้ำยางสดจากต้นยางพาราซึ่งอาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลัก คือ ประเภทยางแห้ง (solid form or dry rubber) และประเภทของเหลว คือ น้ำยางข้น (concentrated latex) การแปรรูปขั้นต้นจากผลผลิตของต้นยางพาราซึ่งมีรายละเอียดของการผลิตยางชนิดต่างๆ

1) ยางแห้ง

ยางธรรมชาติในรูปของยางแห้งอาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต คือ

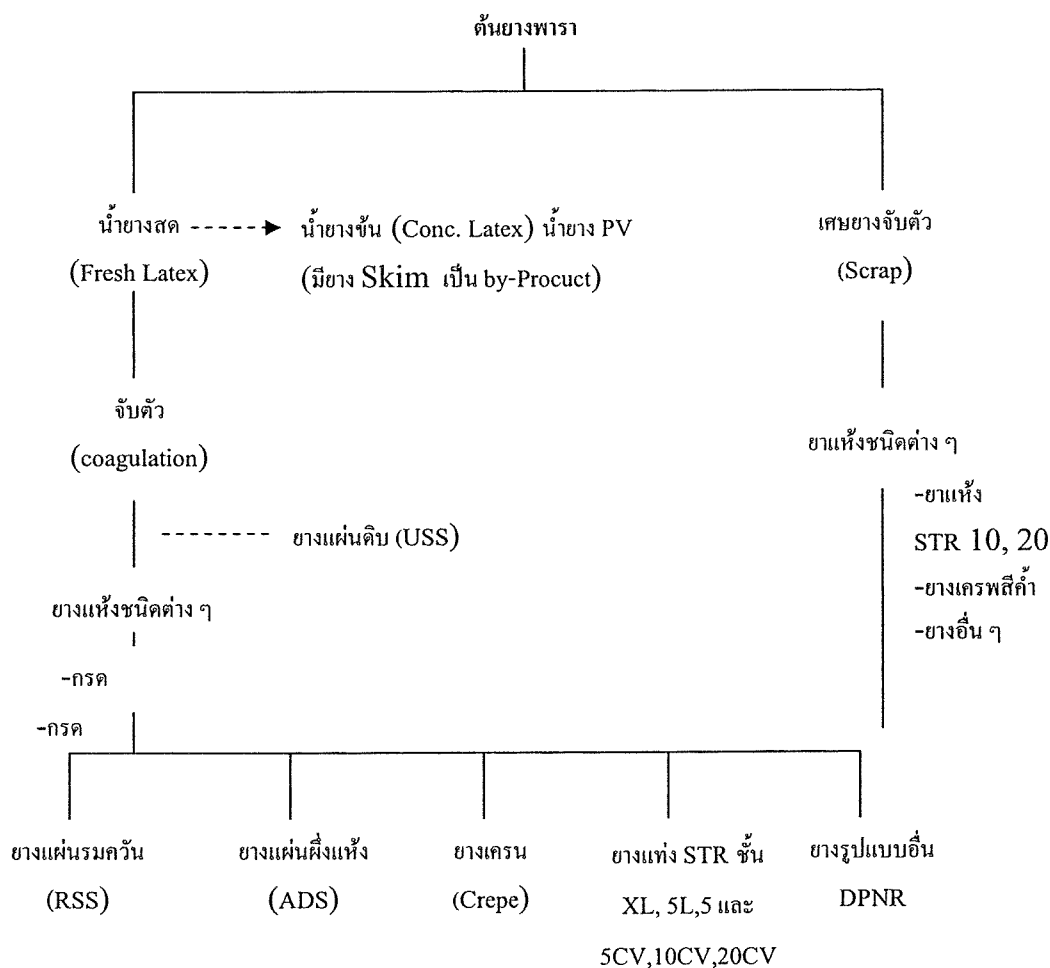
- ยางแบบธรรมดา ผลิตโดย conventional process ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ
- ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล (technically specified process) ได้แก่ ยางมาตรฐาน (standard block rubber)
- ยางแบบอื่นๆที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์ที่จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ตัวอย่างยางกลุ่มนี้ได้แก่ ยางที่มีความหนืดคงที่ (viscosity stabilised rubber, CV) ยางที่มีสมบัติพิเศษในกระบวนการผลิต (superior processing rubber, SP) ยางผสมน้ำมัน (oil extended natural rubber, OENR) ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอีพอกซีไดซ์ ยางผง และยางเหลวเป็นต้น

วัตถุดิบจากต้นยางพาราที่จะนำไปผลิตเป็นยางแห้งชนิดต่างๆ ได้แก่

- น้ำยางจากสวน (fresh or field latex) นำไปผลิตเป็นยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพคุณภาพดี และยางแท่งคุณภาพดี
- ยางแห้งที่จับตัวแล้ว (dried rubber or naturally coagulated) ได้แก่ พวกลายยางก้อนที่ติดกันถ้วยรับน้ำยาง (cup lump) เศษยางตามรอยกรีด ยางแห้งตามเปลือกไม้ยางแห้งตามพื้นดิน (dark scrap, earth scrap) เป็นต้น เศษยางเหล่านี้หรือที่ชาวสวนเรียกว่า “ขี้ยาง” ในอดีตจะถูกนำไปผลิตเป็นยางเครพคุณภาพต่ำ แต่ปัจจุบันเนื่องจากการได้มีการพัฒนาการผลิตยางแท่ง ขี้ยางดังกล่าวจึงเป็นวัตถุดิบสำคัญสำหรับการผลิตยางแท่งคุณภาพกลาง

2) น้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วไป อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการรีด (treated) กับสารเคมีหรือกรรมวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลยางเปลี่ยนไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็น น้ำยางข้นที่ได้ผ่านกระบวนการการทรีตด้วยสารเคมี หรือการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังนี้เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์” (prevulcanised or vulcanised latex) หรือบางครั้งอาจเรียกว่าน้ำยางผสมเสร็จ



รูปที่ 2.7 ผังการแปรรูปขั้นต้นจากผลผลิตของต้นยางพาราของประเทศไทย
ที่มา วรากรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ: การผลิตและการใช้งาน.2549

2.3 น้ำยางข้น ยางสกิม และน้ำยางคงรูป

น้ำยางสดจากต้นยางโดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ 20% ขึ้นไป และอาจถึง 45% (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% นอกนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดเลยหากจะต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกล ๆ วิธีการปฏิบัติในกรณีต้องการใช้ยางในสถานะของน้ำยางไปผลิตเป็นวัตถุดิบสำเร็จรูป คือ ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือ 60% เนื้อยางแท่ง โดยทั่วไปเรียกว่า “น้ำยางข้น (concentrated latex)” การขนย้ายน้ำยางในสถานะที่เข้มข้นย่อมประหยัด และได้เปรียบกว่า และกรรมวิธีการผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปยางประเภทที่ต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้นว่า กรรมวิธีจุ่ม แบบพิมพ์(dipping process) เช่น การผลิตลูกโป่ง ผลิตถุงมือยาง ฯลฯ กรรมวิธีผลิตยางฟองน้ำ(latex foam process) กรรมวิธีผลิตผ้าใบ ฉาบด้วยยาง (coating) กรรมวิธีเหล่านี้ควรใช้น้ำยางที่มีเนื้อยางอย่างน้อยไม่ควรต่ำกว่า 60% และอีก

ประการหนึ่ง การใช้น้ำยางข้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอว่าการใช้น้ำยางสด ทั้งนี้ เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่ยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากรูปร่างขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น การกล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป โดยทั่วไปจะหมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว

วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้น คือ วิธีระเหยน้ำ(evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม(creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (electro decantation) และวิธีการปั่น (centrifuging) วิธีการแรกเป็นการระเหยหรือแยกเอาแต่ส่วนของน้ำเพียงอย่างเดียวออกจากน้ำยาง ดังนั้น ปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยาง (ที่นอกเหนือจากน้ำ) จึงยังคงอยู่ในน้ำยางข้น และอนุภาคขนาดต่าง ๆ ของยางที่กระจายอยู่ในน้ำยางก็ยังคงเหมือนเดิม ส่วนวิธีการ 3 วิธีหลังนั้น เป็นวิธีการที่มีการแยกเอาบางส่วนของสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ยางออกด้วย อนุภาคขนาดต่าง ๆ ของยางที่กระจายอยู่ในน้ำยางที่ข้นเหล่านี้จะต่างไปจากที่อยู่ในสถานะน้ำยางก่อนทำให้ข้น เพราะอนุภาคขนาดเล็ก ๆ ได้ถูกแยกออกระหว่างกรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้น วิธีการผลิตน้ำยางข้นทั้ง 4 วิธีดังกล่าว วิธีการปั่นน้ำยางเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุด การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีปั่น ประมาณมากกว่า 90% ของการผลิตน้ำยางข้นทั้งหมด และมีการผลิตโดยวิธีครีมมิงบ้างเล็กน้อย ส่วนวิธีอื่น ๆ นั้นมีข้อจำกัด เพราะเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก สิ้นเปลืองเวลา จึงไม่ค่อยนิยมใช้เป็นวิธีการผลิตน้ำยางข้นเชิงพาณิชย์

อนึ่ง ในการผลิตน้ำยางข้นจะมีผลพลอยได้ คือ หางน้ำยางที่ปกติจะทำการแปรรูปขั้นต้นเป็นยางแห้ง ซึ่งเรียกว่า ยางสกิม นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปต่อจากน้ำยางข้นอีกระดับหนึ่งเป็นน้ำยางที่พร้อมใช้งาน คือได้มีการเติมสารจำเป็นต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไปแล้ว เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า น้ำยางคงรูปหรือน้ำยาง(พรี)วัลคาไนซ์

2.3.1 คุณภาพน้ำยางสด

คุณภาพน้ำยางสดเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำยางที่จะผลิต ดังนั้นจึงมีสมบัติบางประการของน้ำยางสดที่จะต้องคำนึงถึง ซึ่งจะต้องตรวจสอบและควบคุมโดยเฉพาะสำหรับการผลิตน้ำยางข้น

1) จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid number, VFA Np)

น้ำยางสดที่มีการรักษาสภาพไม่ดีพอ จะเกิดกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก ฟอร์มิก และพรอปิโอนิก (acetic, formic and propionic) จะมีกรดอื่น ๆ บ้างเล็กน้อยกรดเหล่านี้เกิดขึ้นเพราะแบคทีเรียใช้สารคาร์โบไฮเดรต (เป็นส่วนใหญ่) และกรดอะมิโน(amino acid) ในน้ำยางสดเป็นอาหาร ปกติน้ำยางที่สด และไม่มีแบคทีเรียลงปะปน จะไม่มีกรดไขมันระเหยได้เหล่านั้น แต่ขณะที่เก็บรักษาน้ำยางสดก่อนนำไปปั่นทำน้ำยางข้น มีโอกาสที่จะเกิดกรดไขมันระเหยได้ ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะทดสอบ และระบุค่าเป็น VFA No. โดยค่านี้จะบ่งชี้ถึงสถานการณ์รักษาน้ำยางสด ถ้ามีค่า VFA No. ต่ำกว่า 0.05 หมายความว่า น้ำยางสดนั้นได้ถูกเก็บรักษาสภาพไว้ดี มีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้นต่อไป ส่วนกรณี น้ำยางข้น นั้น กรดไขมันระเหยได้มีผลต่อ

สมบัติความเสถียรเชิงกล (Mechanical Stability Time; MST) ของน้ำยาง กล่าวคือ ถ้าค่า VFA No. สูง จะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่า MST ต่ำ คือ น้ำยางจะมีความเสถียรเชิงกลต่ำ ทำให้เสียสภาพจับตัวได้ง่าย

2) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC)

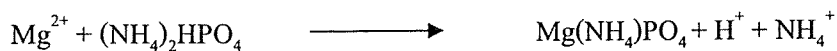
ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดมีผลต่อเนื้อยางแห้งของน้ำยางข้น และต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางข้นเป็นอย่างมาก จำเป็นที่จะต้องใช้น้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูง เท่าที่จะหาได้ รวบรวม และควบคุมความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปจะไม่ค่อยใช้น้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่า 25% ปั่นทำน้ำยางข้น เพราะจะมีผลให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ

3) ปริมาณแมกนีเซียม (magnesium content)

ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดเป็นค่าสำคัญอีกค่าหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาในการผลิตน้ำยางข้น โดยปกติปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ พันธุ์ยาง การใส่ปุ๋ย สภาพของพื้นที่ปลูก และฤดูกาล เป็นต้น เมื่อรวบรวมน้ำยางสดได้แล้วจะต้องตรวจสอบ และทำให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลงมากที่สุด คือ ควรให้ต่ำกว่า 100 ppm on total solid ซึ่งปรับได้โดยการเติมสาร diammonium hydrogen phosphate (DAHP) หรือ diammonium phosphate (DAP) สารนี้จะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำยางเกิด magnesium ammonium phosphate ที่จะถูกแยกออกในลักษณะตะกอนหรือสลัดจ์ (sludge) ตกตะกอนก่อนการปั่นเพราะแมกนีเซียมจะทำให้ น้ำยางสูญเสียความเสถียรเชิงกล คือ ลด MST อันเนื่องมาจากการฟอร์ม magnesium higher fatty acid soaps ที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ หากน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงจะยังต้องการ lauric soap เพื่อเร่งการเพิ่ม MST ในปริมาณสูงกว่ากรณีน้ำยางที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่ำ

มีความจำเป็นต้องควบคุมปริมาณให้เหมาะสมโดยการเติมสาร DAHP หรือ DAP นั้นจะต้องมีความรู้ และเข้าใจวิธีการใช้สารดังกล่าวให้ถูกต้อง เพราะมีฉะนั้นอาจเกิดผลกระทบต่อกระบวนการนำน้ำยางข้นไปขึ้นรูปทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่นการทำถุงมือยางได้ ดังนั้นจึงขอให้รายละเอียดพื้นฐาน วิธีการคำนวณปริมาณ DAHP ที่จะเติม เพื่อลดปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดให้เหมาะสมก่อนนำไปปั่น ดังนี้

จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างแมกนีเซียมกับ DAHP $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4]$

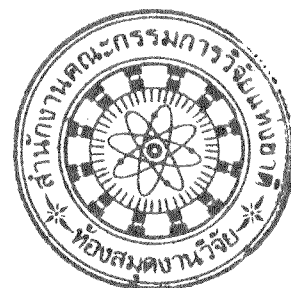


Molecular weight; Mg^{2+} = 24.31

Molecular weight; $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ = $2 \times (14+4) + 1 + 30.97 + (4 \times 16)$

= 131.97

$\therefore \text{Mg}^{2+}$ 24.31 กรัม $\equiv$ DAHP 131.91 กรัม



$$\begin{array}{rcl} \text{Mg}^{2+} \text{ 1 กรัม} & \equiv & \text{DAHP 131.91 กรัม} \\ & & \hline & & 24.31 \\ & \sim & 5.43 \text{ กรัม} \end{array}$$

นั่นคือ เมื่อได้ทดสอบ และทราบปริมาณแมกนีเซียมของน้ำยางสดแล้ว ก็จะสามารถใช้แนวทางข้างต้นคำนวณหาปริมาณ DAHP ที่เหมาะสมสำหรับทำปฏิกิริยาให้แมกนีเซียมตกตะกอนได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตาม มีข้อที่ต้องพิจารณาบางประการ ได้แก่ DAHP ที่จำหน่ายจะมีความบริสุทธิ์ต่าง ๆ กัน บางชนิดมีความบริสุทธิ์สูงถึง 95% แต่บางชนิดจะมีน้ำปน $[(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}]$ จึงมีสารที่ active เพียงประมาณ 50 % ฉะนั้นหากเลือกใช้เกรดที่บริสุทธิ์น้อยก็จำเป็นต้องใช้ในปริมาณมากเพื่อให้ได้สาร active ที่จะทำปฏิกิริยากับ Mg^{2+} ได้เหมาะสม

ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปมักเติม DAHP โดยประเมินจากการคำนวณทางทฤษฎีของปฏิกิริยาเคมีข้างต้น คือ 1 กรัม Mg^{2+} ทำปฏิกิริยาพอดีกับประมาณ 5.4 กรัมของ DAHP โดยจะคำนวณปริมาณของ DAHP ให้ลดปริมาณ Mg^{2+} ในน้ำยางสดลงเพียงประมาณ 70-80% ของที่มีอยู่เดิม(ที่ทดสอบได้ในเบื้องต้น) แล้วจึงเตรียม DAHP ให้เป็นสารละลายประมาณ 7-10% (ตามการควบคุมที่เหมาะสมของแต่ละโรงงาน) โดยใช้น้ำ de-minerised เติมสารละลาย DAHP ที่เตรียมไว้ลงในน้ำยางสด และทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อตกตะกอนของ magnesium ammonium phosphate

ข้อควรระวังในการใช้ DAHP เพื่อลดปริมาณแมกนีเซียม คือ หากใช้ DAHP มากเกินความจำเป็นก็จะเกิดผลเสียกับคุณภาพน้ำยาง คือ จะเกิดอนุผลของ phosphate ตกค้าง และเกิดปฏิกิริยากับสารบางตัวที่ใช้ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้

2.3.2 การรักษาสภาพและการรวบรวมน้ำยางสด

น้ำยางสดที่มาจากสวนยาง ถ้าไม่ใส่สารป้องกันน้ำยางจับตัว น้ำยางจะเสียสภาพคือเกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากกรีดยาง ซึ่งการเสียสภาพดังกล่าว เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเนื่องจากปฏิกิริยาของบัคเทรียกับสารอื่นๆที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง ดังนั้น การที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นน้ำยางข้น จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเพื่อรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นของเหลว ข้อนี้อาจจะมีความไม่เหมาะสมที่จะนำน้ำยางสดไปสู่กระบวนการทำเป็นน้ำยางข้นอาจได้แก่น้ำยางมีค่า VFA NO.สูง การมีสิ่งปลอมปน ตลอดจนการสูญเสียสถานะของเหลว

การเพิ่มของค่า VFA No. เนื่องมาจากปฏิกิริยาของบัคเทรีย เพราะเชรุ่มของน้ำยางสนับสนุนการขยายจำนวนบัคเทรียได้เป็นอย่างดี โดยบัคเทรียชนิดทั่ว ๆ ไป จะขยายจำนวนเพิ่มเป็นสองเท่าได้ภายใน 20 นาที เมื่ออยู่ในน้ำยางสดที่ไม่ได้เติมสารรักษาสภาพน้ำยาง

แอมโมเนีย เป็นสารที่ใช้อย่างกว้างขวางเพื่อรักษาน้ำยางสดที่จะนำไปผลิตน้ำยางข้น การเติมแอมโมเนียประมาณ 0.1 – 0.2 % โดยน้ำหนักในน้ำยางจะรักษาน้ำยางได้ 12 ถึง 24 ชั่วโมง แต่ก็มิได้

หมายความว่าน้ำยางจะปราศจากกรดไขมันระเหยได้ ปริมาณแอมโมเนียต่ำสุดที่จะป้องกันปฏิกิริยาของแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรประมาณ 0.35% โดยน้ำหนักในน้ำยาง ปริมาณระดับนี้จะช่วยให้น้ำยางชั้นที่ผลิตได้มีค่า VFA No. และ KOH NO. (Potassium Hydroxide Number) (7.5)ต่ำ ขณะเดียวกันจะช่วยให้ค่า MST สูงด้วย

การรักษาด้วยสารเคมีระบบหนึ่งที่ใช้ในการผลิตน้ำยางชั้น คือใช้ Tetramethyl Thiuram Disulphide (TMTD) และ Zinc Oxide ในสัดส่วน 1:1 ประมาณ 0.02% โดยน้ำหนัก เป็นสารเสริมร่วมกับแอมโมเนียจะช่วยให้การควบคุมค่า VFA No. ได้ดี โดยที่ปริมาณการใช้แอมโมเนียจะลดลงหนึ่งหากควบคุมการใช้แอมโมเนียให้ต่ำที่สุดได้ก็จะไม่เพียงแต่ลดต้นทุน หากยังเป็นการช่วยลดปริมาณกรดที่จะใช้จับตัวน้ำยางสกิมที่เป็นผลพลอยได้จากการเป็นน้ำยางชั้น นั่นคือ ช่วยลดสภาวะของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ในการจัดการกับน้ำยางสด ก่อนนำไปเข้าเครื่องปั่นเป็นน้ำยางชั้น นั้น เมื่อนำน้ำยางสดมาถึงโรงงานผลิตน้ำยางชั้น จะผ่านการกรองโดยใช้ร่อนขนาด 80 เมช. ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่า 25% จะไม่แนะนำให้นำไปผลิตน้ำยางชั้น เมื่อทราบปริมาณเนื้อยางแห้งว่าเหมาะสมแล้วจึงเติมแอมโมเนียเพิ่มขึ้นให้ได้ประมาณ 0.4% ของน้ำยาง แล้วจึงปล่อยให้ให้น้ำยางได้ตกตะกอนสิ่งแปลกปลอมจนวันรุ่งขึ้น หากทดสอบพบว่าน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม DAHP เพื่อให้มีปฏิกิริยาการเกิด magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอนลงกันถึงกระทั่งไวข้ามคืน ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมต่ำกว่า 100 ppm on total solid และเมื่อปั่นขึ้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 50 ppm on total solid อย่างไรก็ตามบางผู้ผลิตอาจตั้งเกณฑ์ค่าดังกล่าวต่างไปบ้าง) และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้อีกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นยางชั้นได้

2.3.3 วิธีการผลิตน้ำยางชั้น

หลักการสำคัญของการผลิตน้ำยางโดยวิธีต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้

1) วิธีการระเหยน้ำ

น้ำยางสดจากสวนก่อนการทำให้ข้นโดยวิธีการระเหยน้ำ จะต้องเติมสารที่ทำให้ให้น้ำยางมีความเสถียร (stabilizers) ได้แก่สบู่บางชนิด เช่น potassium soap เสียก่อน การระเหยน้ำออกจากน้ำยางจะเกิดขึ้นภายในถัง หรือภาชนะที่หมุนได้รอบๆ ถัง การระเหยน้ำจากน้ำยาง จะทำให้ได้น้ำยางชั้นซึ่งมีส่วนประกอบโดยประมาณ คือ ส่วนของของแข็งทั้งหมด 75% ปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% caustic potash 1.5% และสารช่วยทำให้น้ำยางมีความเสถียรกับสารโปรตีน ฯลฯ อีกประมาณ 13.5% น้ำยางชั้นที่ได้จากวิธีระเหยน้ำนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกล ๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่สารตัวเติม (filler) จำนวนมาก

ตัวอย่างเช่น การผลิตกาว (latex-cement) น้ำยางที่เหมาะสมหรือใช้ได้ผลดี กรณีที่ต้องการนำไปทำกาวประเภทที่สารอื่น ๆ ที่อยู่ในน้ำยาง ช่วยรักษาความเสถียรของน้ำยางเป็นข้อได้เปรียบกับการทำกาวนั้น ๆ อย่างไรก็ตามในทางการค้าไม่ค่อยนิยมการทำน้ำยางข้นโดยวิธีนี้ เพราะเป็นวิธีที่ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลา

2) วิธีการทำให้เกิดครีม

น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะน้ำยางสด หรือสถานะที่มีการใส่สารรักษาสภาพน้ำยาง (preserved latex) ประกอบด้วยระบบของสารละลายคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (colloid emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรุ่ม อนุภาคเล็ก ๆ ของยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรุ่ม แสดงการเคลื่อนไหวในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ (Brownian movement) และการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใส่สารรักษาสภาพ อนึ่งเนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้น อนุภาคยางเหล่านี้จึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ และตามกฎของ Stokes อาจคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางตามสูตรต่อไปนี้

$$V = \frac{2g}{g} \frac{(d - d_1)r^2}{\eta}$$

V = อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง (มม./วินาที)

g = ความเร่งที่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ชม./วินาที/วินาที)

d = ความหนาแน่นของเซรุ่ม; 1.021 (กรัม/ลบ.ซม.)

d_1 = ความหนาแน่นของอนุภาคยาง (0.91 กรัม/ลบ.ซม.)

r = รัศมีของอนุภาคยาง (เฉลี่ย 0.5 ไมโครมิเตอร์)

η = ความหนืดของเซรุ่ม (ประมาณ 0.02 poise)

จากสูตรดังกล่าวอาจคำนวณได้ว่าอนุภาคยางจะเคลื่อนที่ได้ (ตามทฤษฎี) ประมาณเดือนละ 6 เซนติเมตร และเนื่องจากว่าความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับกำลังสองของรัศมีของอนุภาค ดังนั้น การแยกตัวของอนุภาคยางเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ผิบน้ำยางจะรวดเร็วขึ้นถ้าอนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และอนุภาคยางจะใหญ่ขึ้นได้เมื่อเติมสารคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง จึงเรียกสารนี้ว่าเป็นตัวการทำให้เกิดครีม (creaming agent) ตัวอย่างสารพวกนี้ ได้แก่ sodium alginate, locust bean gum, karaya และ gum tragacanth เป็นต้น อนึ่ง การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีทำให้เกิดครีมยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลา แต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิธีการนี้ คือสามารถทำให้น้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีนี้บริสุทธิ์ และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดครีมซ้ำหลายๆ ครั้ง นอกจากนี้ ยังไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องราคาแพงอีกด้วย

3) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

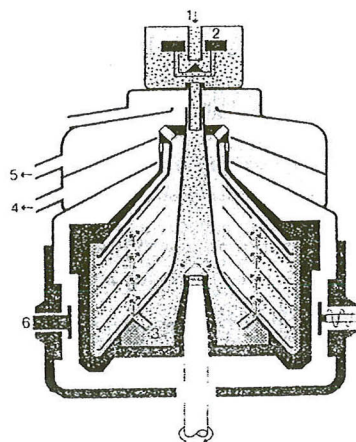
ซิลเลทไอออน(carboxylate ion, RCOO^-) ที่มีประจุเป็นลบ ดังนั้น จึงสามารถที่จะอาศัยวิธีการทางไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากส่วนของเซรุ่มได้ โดยวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก ลงในน้ำยางที่ได้เติมสารช่วยทำให้น้ำยางมีความเสถียรไว้แล้ว อนุภาคน้ำยางจะค่อยๆเคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวสูงขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคน้ำยางต่ำกว่าความหนาแน่นของเซรุ่ม อย่างไรก็ตาม วิธีการทำน้ำยางให้ข้นโดยใช้ไฟฟ้านี้เป็นวิธีที่ยุ่งยาก และไม่ประหยัด จึงเป็นเพียงวิธีการสำหรับการค้นคว้าวิจัย และไม่เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์

4) วิธีการปั่น

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ (colloid system) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคน้ำยาง (rubber particle) แขนวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางคือ เซรุ่ม อนุภาคน้ำยางเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวแบบ Brownian และอนุภาคน้ำยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้นอนุภาคน้ำยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนของอนุภาคน้ำยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งหากสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้ ก็จะช่วยเพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำยาง ฉะนั้นการปั่น(centrifuge)ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2,000 ถึง 3,000 เท่าของแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำยางได้ จากหลังการนี้จึงได้ถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น หรือคือเพื่อการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนของเซรุ่มนั่นเอง

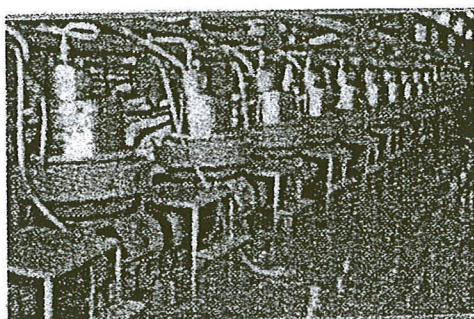
เครื่องปั่นน้ำยางข้นผลิตจำหน่ายโดยหลายบริษัท เช่น บริษัท Alfa-Laval ประเทศสวีเดน บริษัท Westfalia Separator Co., ประเทศเยอรมัน และบริษัท Guangzhong Centrifuge Manufacturing Co., Ltd. ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะหน้าตัดภายในของหัวปั่น น้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วง ไปที่จุดกลางของหัวปั่น และแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดของจานแยก (3) จากนั้นน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีน้ำหนัก (heavy phase) คือน้ำยาง (skim latex) ไหลออกสู่รอบนอกของหัวปั่น และไปตามทางด้านบนของเครื่องผ่านสกรูปรับ (regulating screw) สู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง (4) ส่วนข้นของน้ำยาง (concentrate or cream) ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางหัวปั่นไปยังด้านบนเครื่องเข้าสู่ที่เก็บ

ปกติจะมีการปรับเครื่องปั่นให้ผลิตน้ำยางที่มีความเข้มข้นประมาณ 60% เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆสามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรมแยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างตม (suldge) ที่ติดอยู่ในหัวปั่นของเครื่อง รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งเครื่องปั่นน้ำยางข้น



รูปที่ 2.8 ภาพหน้าตัดตามยาวของหัวป้อนน้ำยางข้น โดยหมายเลข 1 คือ Feed, 2 คือ Feed cup with float, 3 คือ Distribution tubes, 4 คือ Outlet for the skim, 5 คือ Outlet for the concentrate และ 6 คือ Mechanical brake

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ:การผลิตแล การใช้งาน.2549

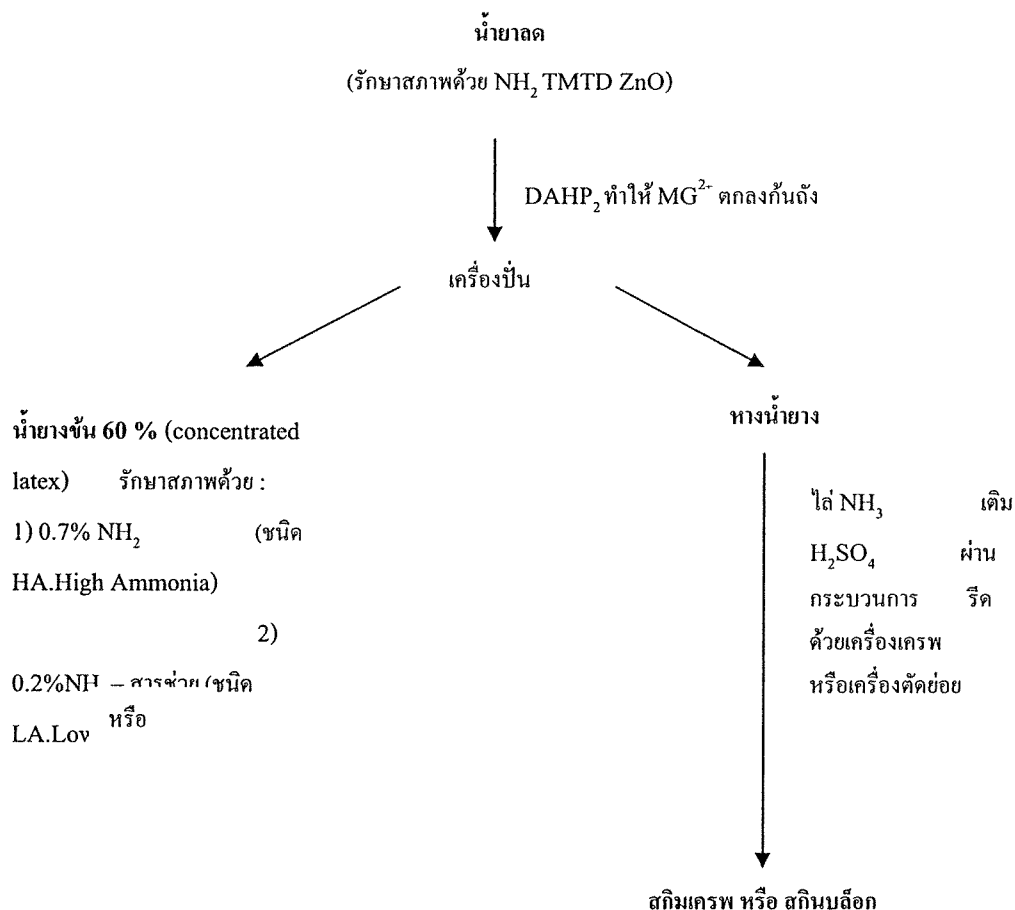


รูปที่ 2.9 แสดงการติดตั้งเครื่องป้อนน้ำยางข้น

ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกูล, ยางธรรมชาติ:การผลิตแล การใช้งาน.2549

ในการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น โรงงานผลิตน้ำยางข้นจะต้องจัดหาน้ำยางสดจากสวน ปกติจะตั้งจุดรับซื้อน้ำยางตามที่ต่างๆ หรือชาวสวนยางบางรายอาจขนน้ำยางสดมาส่งให้มีโรงงานโดยตรง การรวบรวมน้ำยางจากสวนจะโดยวิธีใดๆ ก็ตาม ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึง และถือปฏิบัติ คือ การรักษาความสะอาด การใช้สารรักษาสภาพน้ำยางอย่างถูกต้อง และพอเพียงปกติจะใช้แอมโมเนีย ตามลำดับหรือร่วมกับสารช่วยเช่น TMTD กับ ZnO ควรนำน้ำยางสดที่รวบรวมได้เข้ากระบวนการผลิตให้เร็วที่สุด จึงจะได้น้ำยางข้นที่มีคุณภาพดี เมื่อนำน้ำยางสดเข้าโรงงานแล้วจะทำการถ่ายลงถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ตลอดจนปริมาณธาตุแมกนีเซียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับสมบัติน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อไป ในทางปฏิบัติโรงงาน

จะเติม DAHP ลงในน้ำยางอย่างน้อย 1 วัน เพื่อตกตะกอนธาตุแมกนีเซียม ต่อจากนี้ให้น้ำยางออกจากถัง เก็บสู่การปั่นด้วยเครื่องปั่นซึ่งน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นส่วนหนึ่ง คือ น้ำยางข้นที่ต้องการ และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลพลอยได้ คือ หางน้ำยาง รูปที่ 2.10 แสดงผังการผลิตน้ำยางข้นโดยใช้เครื่องปั่น



รูปที่ 2.10 ผังแสดงการผลิตน้ำยางข้นโดยใช้เครื่องปั่น
ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ:การผลิตแล การใช้งาน.2549

1) การรวบรวม และรักษาสภาพของน้ำยางข้น

ขั้นตอนสุดท้ายของการปั่นน้ำยางข้น คือ การรวบรวม และรักษาสภาพของน้ำยางข้น สารที่นิยมใช้เก็บรักษาสภาพน้ำยางข้น คือ แอมโมเนีย และแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด เช่น Zinc Oxide, Zinc Diethyl Dithiocarbamate และ Tetra Methyl Thiuram Disulphide เป็นต้น

2) การเก็บ และการขนส่งน้ำยางข้น

การเก็บน้ำยางข้นไว้ในโรงงานเพื่อรอถ่าย และขนส่งต่อไปหรือเพื่อรอการนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาจบรรจุในถังขนาดใหญ่ บรรจุน้ำยางข้นได้ประมาณ 30-100 ตัน หรือถังขนาดความ

จุ 200 ลิตร น้ำยางข้นที่เก็บไว้โดยไม่ถูกกวนจะมีปัญหาเกิดคริมขึ้นบนผิวหน้า เนื่องจากอนุภาคยางลอยขึ้นอยู่ผิวหน้าทำให้น้ำยางส่วนบนข้นมากขึ้น จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางภายในถัง ซึ่งประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/2 - 3/4$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางถัง การกวนควรใช้ความเร็วต่ำ ๆ เช่น 15- 30 รอบต่อนาที ระยะเวลา และความถี่ของการกวนเพื่อให้น้ำยางคงเป็นเนื้อเดียวกับตลอดขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บน้ำยาง ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำยางจะเกิดคริมได้เร็วขึ้น หากเก็บน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ควรจะกวนน้ำยางทุกวัน วันละประมาณ 30 นาที และถ้าเก็บน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ควรกวนน้ำยางทุกวัน วันละประมาณ 1- 2 ชั่วโมง

กรณีการเก็บน้ำยางในถังขนาดใหญ่ ต้องทำให้ถึงสะอาด และฆ่าเชื้ออยู่เสมอ วิธีการที่ดีที่สุด คือ เมื่อถ่ายน้ำยางออกจากถังแล้วควรปล่อยให้น้ำยางที่ติดถึงอยู่ข้างแห้ง แล้วจึงลอกออกข้างถังด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ เช่น ฟอรัมาลดีไฮด์ หรือ chlorinated tri-sodium phosphate

ส่วนการเก็บน้ำยางไว้ในถังขนาด 200 ลิตร น้ำยางมีแนวโน้มจะเกิดคริมขึ้น ทำนองเดียวกับการเก็บในถังขนาดใหญ่ ดังนั้น ต้องอย่าวางถังน้ำยางไว้นิ่งเป็นเวลานาน ๆ หนึ่ง เพื่อลดการเกิดคริมในถัง ควรเก็บน้ำยางที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 20 องศาเซลเซียส และก่อกวนเพื่อเป็นการกวนน้ำยางสัปดาห์ละครั้ง แต่การที่ต้องก่อกวนน้ำยางทุกถังอาจเป็นเรื่องยุ่งยาก จึงควรถ่ายน้ำยางลงเก็บในถังขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางไว้

การขนส่งน้ำยางข้นไปยังโรงงานผู้ใช้กระทำโดยบรรจุในถังขนาด 200 ลิตร หรือใช้รถติดแท้งค์ความจุประมาณ 9,000 – 14,000 ลิตร หรือความจุมากกว่านี้ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีปัญหาน้อยปัญหาที่อาจเกิด เช่น เกิดการแข็งตัวเนื่องจากเย็นจัด เกิดการตกตะกอน หรือเกิดคริมลอยขึ้นผิวน้ำ และมีการปนเปื้อน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ หรือจากสารอื่นที่อยู่ภายนอกภาชนะที่ใช้เก็บน้ำยางข้นควรเคลือบผนังด้านในด้วยสารที่ทนกรดอ่อน เช่น สารเคลือบประเภทไบทูเมน (bitumen) และอีพอกซีเรซิน (epoxy-resin) เป็นต้น

การถ่ายน้ำยางกระทำโดยวิธีต่าง ๆ เช่น โดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก ให้ถังเก็บน้ำ ยางอยู่ในที่สูงแล้วปล่อยให้น้ำยางไหลไปยังที่ที่ต้องการ โดยวิธีใช้ปั๊มซึ่งต้องเลือกปั๊มที่ไม่ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงสูง ปั๊มที่ใช้ได้ เช่น centrifugal pump, single screw และแบบ diaphragm เป็นต้น อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับการถ่ายน้ำยางโดยใช้แรงอัดอากาศ (air compressor)

2.3.4 ชนิดของน้ำยางข้น

ตารางที่ 2.2 แสดงชนิดของน้ำยางข้น และสารเคมีรักษาสภาพ อย่างไรก็ตาม แม้ปัจจุบันประเทศไทยจะมีการตื่นตัวในกิจการของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นเป็นอย่างมาก แต่น้ำยางข้นที่ผลิตในประเทศทั้งหมดโดยวิธีการใช้เครื่องปั่น และส่วนใหญ่รักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยปริมาณแอมโมเนียมมาก (HA) จะมีเพียงส่วนน้อยที่ผลิตน้ำยางข้น และรักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียมร่วมกับสารช่วยบางชนิดสำหรับพวกหลังนั้นมักเป็นระบบ LA-TZ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการผลิต

และรักษาสภาพน้ำยางขึ้นด้วยระบบที่อยู่ระหว่าง HA กับ LA ซึ่งเรียกกันว่า น้ำยางชนิด MA โดยขณะนี้ได้มีการชื้อน้ำยางดังกล่าวตามความต้องการของคู่ค้า

ตารางที่ 2.2 ชนิดของน้ำยางขึ้นและสารรักษาสภาพ

ชนิดของน้ำยาง	สารรักษาสภาพ
น้ำยางขึ้นจากการปั่นแยก(DRC ต่ำสุด 60%)	
High ammonia (HA)	0.7% ammonia
Low ammonia-santobrite (LA-SPP)	0.2% ammonia + 0.2% sodium Penta chlorophenate
Low ammonia-boric acid (LA-BA)	0.2% ammonia +0.24% boric Acid + 0.05% lauric acid
Low ammonia-Zinc Diethyl dithiocarbamate (LA-ZDC)	0.02% ammonia + 0.10% ZDC + 0.05% lauric acid
low ammonia-tetramethyl-thiuram disulphide/zinc oxide (LA-TZ)	0.02% ammonia + 0.013% TMTD +0.013% ZnO + 0.05% lauric acid

ตารางที่ 2.2 ชนิดของน้ำยางขึ้นและสารรักษาสภาพ(ต่อ)

ชนิดของน้ำยาง	สารรักษาสภาพ
น้ำยางขึ้นจากการทำครีม (DRC ต่ำสุด 60%)	
High ammonia (HA)	0.7% ammonia
Low ammonia (เช่นเดียวกับน้ำยางขึ้นจากการปั่นแยก) น้ำยางขึ้นจากการระเหยน้ำ	เช่นเดียวกันกับน้ำยางขึ้นจากการปั่น แยก
High solid (min, 72% TSC)	250 milliequivalents KOH + soap
Low solid (about 63% TSC)	250 milliequivalents KOH + soap
High ammonia (about 62% TSC)	0.7% ammonia

หมายเหตุ % ของสารที่เติม โดยน้ำหนัก/น้ำหนักยางทั้งหมด

2.3.5 คุณภาพน้ำยางข้น, ข้อกำหนดและการทดสอบ

ข้อกำหนดจีดีจีคักของสมบัติต่างๆ ของน้ำยางข้น โดยมาตรฐาน ISO นั้น ได้กำหนดมาตรฐานของน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีต่างๆ แต่เนื่องจากผลิตน้ำยางข้นส่วนใหญ่ใช้วิธีการปั่น (centrifuge) จึงขอข้อมูลข้อกำหนดจีดีจีคักของสมบัติของน้ำยางข้นที่ผลิตจากการปั่นแสดงตามตารางที่ 2.2 และได้แสดงข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางข้นของประเทศไทยโดยสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) ไว้ด้วย (คาดว่าจะมีการปรับปรุงจีดีจีคักข้อกำหนดต่างๆ รวมทั้งเสนอให้มีการเรียกชื่อน้ำยางข้นไทย ซึ่งอาจเรียก “STL, Standard Thai Latex” ภายในปี พ.ศ.2549) สำหรับสมบัติต่างๆที่ ISO กำหนดจีดีจีคักไว้นั้นมีเหตุผลและความสำคัญต่อผู้ผลิต และผู้ใช้น้ำยางข้นดังต่อไปนี้

- ปริมาณความเป็นด่าง (Alkalinity) หมายถึง ปริมาณด่างอิสระทั้งหมดในน้ำยางแสดงเป็นปริมาณแอมโมเนีย เพราะส่วนใหญ่จะรักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยแอมโมเนีย การทดสอบค่าความเป็นด่างเพื่อให้ทราบสถานะการรักษาสภาพของน้ำยางว่าพอเพียงหรือไม่ และถ้าจะนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยาง จะต้องปรับไล่แอมโมเนียออกมากหรือน้อยเพียงใด

- ความเสถียรเชิงกล (Mechanical Stability Time, MST) หมายถึง ระยะเวลา (วินาที) ที่น้ำยางมีความเสถียรต่ออิทธิพลทางกล MST เป็นสมบัติที่บ่งบอกถึงความเสถียรของน้ำยางต่อการเคลื่อนย้าย การกวน การปั๊ม หรือการกระทำทางกลโดยวิธีอื่นๆ ค่า MST สูงจะบ่งชี้ว่าน้ำยางมีความเสถียรมีอิทธิพลทางกลได้สูง ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า MST ต่ำก็แสดงว่าน้ำยางนั้นจะสูญเสียความเสถียรและสามารถจับเป็นเม็ดได้ง่ายเมื่อน้ำยางถูกกระทบโดยอิทธิพลทางกล

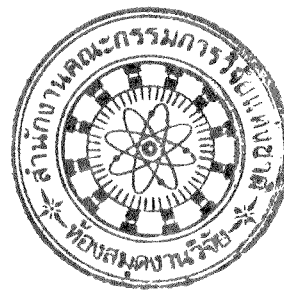
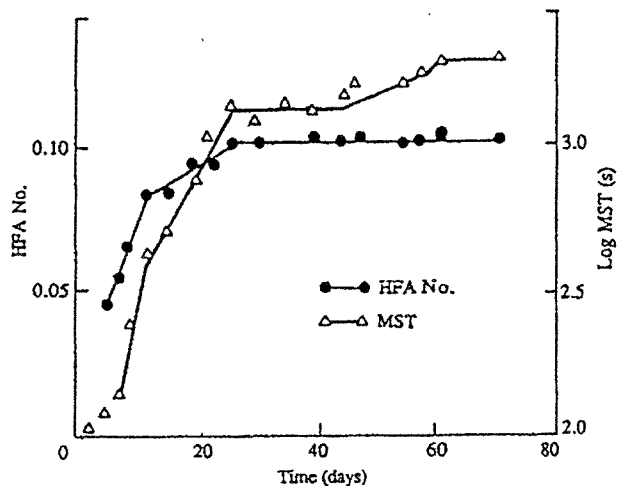
ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 2004 - 1997 และ มอก. 980 – 2533 สำหรับน้ำยางชั้นที่ผลิตโดยการปั่น

Characteristics	ISO 2004-1997			มอก. 980-2533			Methods of test
	Limits			Limits			
	Type HA	Type LA	Type XA	Type HA	Type LA	Type XA	
Total solids Content, ¹ %(m/m), Min.	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	61,5	ISO 124
Dry rubber content, ¹ %(m/m),min.	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	ISO 126
Non-rubber content, ² %(m/m),max.	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,8	-
Alkalinity(as NH ₃), %(m/m),calculated With respect to the Latex concentrate	0,60 min	0,29 max	0,30 min	0,60 min	0,29 max	0,30 min	ISO 125
Mechanical stability, Seconds, min	650	650	650	650	650	650	ISO 35
Coagulum content, %(m/m), max	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	ISO 706
Copper content, Mg/kg of total Solids, max	8	8	8	8	8	8	ISO 8053

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 2004 - 1997 และ มอก. 980 – 2533 สำหรับน้ำยางชั้นที่ผลิตโดยการปั่น (ต่อ)

Manganese content, Mg/kg of total Solids, max	8	8	8	8	8	8	ISO 7780
Suldge content, %(m/m), max.	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	ISO 2005
Volatile fatty acid (VFA) number, max.	0,20	0,20	0,20	ให้เป็นไปตามข้อตกลง ระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ ต้องไม่เกิน0.15			ISO 506
KOH number, max	1,0	1,0	1,0	ให้เป็นไปตามข้อตกลง ระหว่างผู้ซื้อกับผู้ขาย แต่ ต้องไม่เกิน1.0			ISO 127
The requirement is for either total solids content or dry rubber content.							
The difference between the total solids content or dry rubber content.							

อนึ่ง โดยปกติแล้วน้ำยางชั้นที่เตรียมใหม่ๆ จะมีค่า MST ต่ำ (ประมาณ 100 วินาที หรือต่ำกว่า) และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่าง 2-3 สัปดาห์แรกหลังจากการผลิต การเพิ่ม MST นี้ สืบเนื่องมาจากการเพิ่ม natural fatty acid (HFA) soaps ที่เกิดจากการไฮโดรไลซ์ของสารไลปิด(ส่วนใหญ่เป็นกลุ่ม phospholipids และ glycolipids) ในขณะที่เก็บน้ำยางชั้น จำนวน natural HFA soaps จะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุน้ำยางมากขึ้น และคงที่ภายในเวลาประมาณ 3-8 สัปดาห์ ปริมาณของ natural HFA soaps มากกว่า 92% จะถูกดูดซับที่ผิวของอนุภาคน้ำยาง ซึ่งทำให้ประจุลบรอบอนุภาคน้ำยางเพิ่มขึ้น จึงเป็นผลให้เพิ่มแรงผลักระหว่างอนุภาคน้ำยาง และก่อให้เกิดการเพิ่มความเสถียรของน้ำยางต่อเครื่องกล

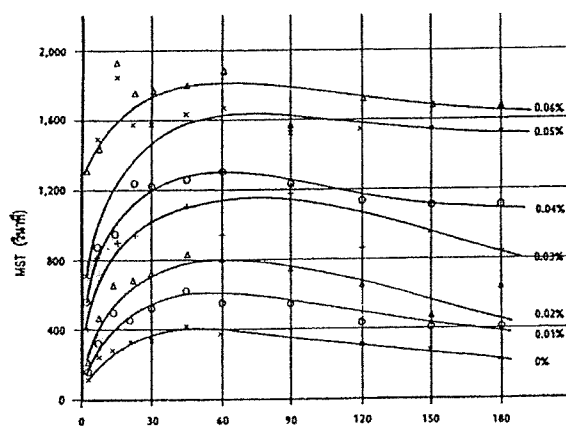


รูปที่ 2.11 ผลของ natural HFA soaps ต่อ MST ของน้ำยางข้นจากยางพันธุ์ RRIM 701

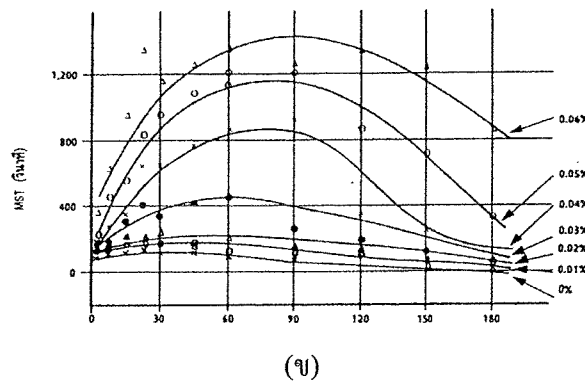
ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ:การผลิตแล การใช้งาน.2549

จากการวิเคราะห์ natural HFA soaps ในน้ำยางข้น จะพบว่าประกอบด้วย myristic palmitic, palmitoleic, stearic, oleic, linolenic, arachidic และ 19 carbon furanoid fatty acids

สำหรับการผลิตน้ำยางข้นโดยทั่วไปมักจะเติม lauric acid ในรูปของสารละลาย ammonium laurate ประมาณ 0.01-0.05% ต่อน้ำหนักน้ำยาง เพื่อเพิ่ม MST รูปที่ 2.12 ก และ ข แสดงผลการศึกษาการใช้ปริมาณแอมโมเนียมลอเรต เตรียมจากกรดลอริกชนิด lab grade และ industrial grade ต่อความเสถียรเชิงกลของน้ำยางข้นชนิด HA อนึ่ง ข้อควรพิจารณาในการเติมสารดังกล่าวเพื่อเพิ่ม MST คือ ถ้าเติมในปริมาณที่ไม่ได้คำนึงว่าระหว่าง การเก็บน้ำยางข้นช่วงแรก นั้น ในน้ำยางเองยังมีการฟอรั่ม natural HFA soaps ที่จะช่วยเพิ่ม MST ด้วย ก็อาจเกิดปัญหา MST ของน้ำยางสูงมากเกินไปจนก่อให้เกิดปัญหาน้ำยางไม่ยอมจับตัวในขณะขั้นตอนของการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์



(ก)



รูปที่ 2.12 ผลของแอมโมเนียมลอเรตต่อความเสถียรเชิงกล (MST) ของน้ำยางข้น (HA)
 (ก) ใช้กรดลอริกสำหรับงานห้องปฏิบัติการในอัตรา 0-0.06% โดยน้ำหนักของน้ำยาง
 (ข) ใช้กรดลอริกสำหรับงานอุตสาหกรรมในอัตรา 0-0.06% โดยน้ำหนักของน้ำยาง
 ที่มา วราภรณ์ ขจรไชยกุล, ยางธรรมชาติ:การผลิตแล การใช้งาน.2549

ปกติแล้วการนำน้ำยางข้นไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ควรปล่อยให้น้ำยางข้นมีอายุอย่างน้อย 1 เดือนหลังจากที่ผลิต เพื่อหลีกเลี่ยงช่วงเวลาที่โปรตีน และไลปิดในน้ำยางกำลังมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และเพื่อให้ถึงระยะเวลาที่น้ำยางมีความเสถียรเชิงกลอย่างเต็มที่แล้วโดยทั่วไปน้ำยางข้นที่ผลิตโดยการควบคุม และปรับคุณภาพอย่างเหมาะสมควรมีค่า MST ไม่น้อยกว่าขีดจำกัดในมาตรฐานสากล คือ 650 วินาที ภายในเวลาประมาณ 2 สัปดาห์ หลังจากผลิต

ปริมาณยางจับเป็นก้อน (Coagulum Content) หมายถึง ปริมาณของสารที่ตกค้างอยู่บนตัวกรองสแตนเลสที่ทดสอบ สารเหล่านี้ประกอบด้วยเศษยางจับตัว และสารอื่นที่เจือปนมากับน้ำยาง การทดสอบหาค่าปริมาณยางจับเป็นก้อนนี้มีความสำคัญต่อกระบวนการนำน้ำยางไปผลิตภัณฑ์ที่อาศัยเทคโนโลยีการผลิตที่เข้มงวด และละเอียดมาก เช่น การผลิตเส้นด้ายยางยืด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการผลิตเส้นด้ายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากๆ รูที่ปลายหลอดที่จะฉีดน้ำยางผสมเคมีจะมีขนาดเล็กมาก น้ำยางที่มี coagulum content สูงอาจก่อให้เกิดปัญหาการอุดตันที่ปลายหลอดในระหว่างกระบวนการผลิตดังกล่าวได้ เป็นต้น

- **ปริมาณทองแดง (Copper Content)** หมายถึง ปริมาณของธาตุทองแดงที่มีอยู่ในน้ำยาง การทราบปริมาณธาตุทองแดงในน้ำยาง จะทำให้ทราบความทนต่อการเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางนั้นๆ ได้ โดยปกติถ้าหากน้ำยางมีปริมาณของธาตุทองแดงเกินกว่าข้อกำหนดของ ISO น้ำยางนั้น ก็จะเป็นวัตถุดิบที่ไม่ดีสำหรับการนำไปแปรรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพราะมีโอกาสที่จะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีอายุการใช้งานสั้น เนื่องจากธาตุทองแดงเป็นตัวเร่งการเสื่อมสภาพของยาง

- **ปริมาณแมงกานีส (Manganese Content)** หมายถึง ปริมาณของธาตุแมงกานีสในน้ำยาง การทราบปริมาณของธาตุแมงกานีสในน้ำยางมีความหมาย และสำคัญทำนองเดียวกับกรณีของธาตุ

ทองแดงในน้ำยาง เพราะธาตุทั้งสองชนิดนี้มีสมบัติเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันต่อโมเลกุลยาง ทำให้น้ำยางเสื่อมสภาพได้

- ปริมาณตะกอน (Sludge Content) หมายถึง สิ่งเจือปนที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งจะตกตะกอนลงก้นภาชนะเมื่อมีการปั่นหรือกวนน้ำยาง สิ่งเจือปนเหล่านี้ประกอบด้วย ผุ่นละออง ทราย ดิน เปลือกไม้ และแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต สมบัตินี้มีความสำคัญต่อคุณภาพของน้ำยางข้น คือถ้าน้ำยางข้นมีค่านี้สูงเมื่อนำไปใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ก็จะก่อให้เกิดความยุ่งยากในกระบวนการผลิตได้ กล่าวคือ อาจเกิดการสะสมของปริมาณตะกอนอย่างรวดเร็วระหว่างกระบวนการผลิต ทำให้น้ำยางเสียสภาพ และไม่สามารถใช้งานต่อไปได้

- จำนวนกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid Number, VFA No.) หมายถึง ปริมาณของกรดไขมันระเหยที่เกิดขึ้นโดยการไฮโดรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตในเซรุ่มของน้ำยาง กรดเหล่านี้ประกอบกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก และกรดพรอพีนิก เป็นส่วนใหญ่

การเกิดกรดไขมันระเหยในน้ำยาง เนื่องจากการกระทำของจุลินทรีย์ที่ใช้คาร์บอนไฮเดรตในเซรุ่มของน้ำยางเป็นอาหาร ดังนั้นค่า VFA No. จึงเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงสถานะการเสื่อมสภาพ นั่นคือค่าที่สูงแสดงว่าน้ำยางถูกเชื้อจุลินทรีย์เข้าทำลายมาก น้ำยางจะสูญเสียสภาพการเป็นของเหลวข้นและจับตัวเป็นก้อนได้อย่างรวดเร็ว

- จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide Number, KOH No.) หมายถึง จำนวนกรัมของ KOH ที่สมมูลพอดีกับอนุโมลอิสระของกรดทั้งหมดที่รวมกับแอมโมเนียในน้ำยาง ที่มี TSC 100 กรัม นั่นคือจำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวระบุปริมาณหมู่แอมโมเนียที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนแปลงในน้ำยาง อันเนื่องมาจากการทำลายของเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำยาง และการไฮโดรไลซิสของสารโปรตีนในน้ำยาง ระหว่างการเก็บรักษา ค่าที่สูงแสดงถึงความเปลี่ยนแปลงมาก และอาจบ่งชี้ว่าน้ำยางข้นมีอายุหลังจากผลิตนานอีกด้วย

สี และกลิ่น มาตรฐานการทดสอบน้ำยางต่างๆไป จะไม่กำหนดการทดสอบสีของน้ำยางแต่ข้อกำหนดมาตรฐานจะระบุเรื่องสีไว้ การตรวจสอบสีน้ำยางใช้การตรวจด้วยสายตา โดยเปรียบเทียบกับสีขาวของน้ำยางคุณภาพดี น้ำยางข้นที่ดีไม่ควรเป็นสีเทาหรือสีฟ้า ถ้าเป็นสีเหล่านี้ก็แสดงว่าน้ำยางข้นนั้นๆ มีสิ่งเจือปนหรือเริ่มจะเสีย ขูดเน่า และจับก้อนได้ กลิ่นของน้ำยางจะบ่งชี้ว่าการบูดเน่าของน้ำยางเช่นกัน การตรวจสอบกลิ่น โดยการทำให้น้ำยางเป็นกลางด้วยกรดบอริกเสียก่อน แล้วจึงตรวจสอบว่ามีกลิ่นบูดเน่าหรือไม่

2.3.6 การผลิตยางสกิม

นักเทคโนโลยียางได้พยายามค้นคว้าวิจัยการผลิตยางสกิมคุณภาพดี ตลอดจนการใช้ประโยชน์จากยางสกิม พบว่าสามารถผลิตยางสกิมให้ได้คุณภาพดี และสามารถใช้ประโยชน์จากยางสกิม

มได้อย่างกว้างขวาง ถ้าทราบสมบัติและคุณภาพของยางสกิมเสียก่อน ในการใช้ยางสกิมอย่างถูกต้อง นอกจากจะลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยางสกิมก็มิได้ทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ยางที่ได้รับเสียไป

1) การผลิตยางสกิมคุณภาพดี

หลักการผลิตยางสกิมคุณภาพดี ประกอบด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

- เติมโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ (0.04% ต่อน้ำหนักยางแห้ง) ในหางน้ำยางก่อนทำให้ยางจับตัว
- ตัดย่อยก้อนยางจับตัวแล้ว เช่นเดียวกับการผลิตยางแท่ง
- แห่ชิ้น/เม็ดยางที่ตัดแล้วในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (3% น้ำหนัก/น้ำหนัก) ประมาณ 24 ชั่วโมงเพื่อลดปริมาณไนโตรเจนในยางสกิม
- กำจัดโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหลือโดยการล้างยางขณะผ่านเครื่องรีดเครฟ และโดยการแช่ยางในกรดซัลฟูริก (0.15% น้ำหนัก/น้ำหนัก)
- เนื่องจากกระบวนการข้างต้นก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติดัชนีความอ่อนตัวของยาง (Plasticity Retention Index, PRI) ซึ่งสามารถปรับ PRI ให้สูงกว่า 70 โดยการจุ่มยางในสารผสมของ thiourea (1% wt/wt) กับ oxalic acid (1% wt/wt)

2) สมบัติ และส่วนประกอบของยางสกิม

หางน้ำยางที่ได้จากการผลิตน้ำยางข้นจะมีปริมาณเนื้อยางและสารอื่นๆ มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปั่นน้ำยางข้น น้ำยางสดที่นำมาปั่น อัตราการผลิต และประสิทธิภาพของการผลิตน้ำยางข้น อย่างไรก็ตามโรงงานที่ควบคุมการผลิตดี สามารถจะควบคุมส่วนประกอบของหางน้ำยางได้ และคุณภาพของยางสกิมที่ผลิตจากหางน้ำยางก็จะมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ

ยางสกิมคุณภาพดีจากผลิตตามขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น มีความหนืดเสถียร (viscosity-stabilised) สมบัติยางดิบโดยทั่วไปค่อนข้างดีเมื่อเปรียบเทียบกับยางแท่งชั้น 5 แอล

บริษัท Ong C.O., ได้ทดลองผสมยางสกิมคุณภาพดีโดยใช้สูตร ACS1 (American Chemical Society) ตามตารางที่ 2.5 และทดสอบสมบัติยางคงรูป พบว่ายางสกิมจะให้ค่า tensile strength ดีกว่ายางแท่งชั้น 5 แอล และเมื่อทดสอบผสมสูตรยางทำดอกยางรถยนต์ [tread mix, ตารางที่ 2.5] สมบัติการเกิดความร้อนสะสม (heat built up) ของสูตรยางสกิมก็ดีกว่าสูตรที่ใช้ยางแท่งชั้น 5 แอล

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบสมบัติยางดิบของยางสีกมคุณภาพดีกับยางแท่งชั้น 5 แอล

สมบัติ	ยางสีกมคุณภาพดี	ยางแท่งชั้น 5 แอล
ปริมาณสิ่งสกปรก,dirt (% นน.)	0.02	0.01
ปริมาณเถ้า,ash (% นน.)	0.22	0.20
ไนโตรเจน,N ₂ (% นน.)	0.29	0.41
สารระเหยได้ Volatile matter (% นน.)	0.36	0.31
ความหนืด Mooney(ML 1+4 , 100 °C)	74.0	67.0
ความอ่อนตัวเริ่มแรก, Po	47.50	48.50
ดัชนีความอ่อนตัว , PRI	76.00	95.00
Storage hardening , Δ P	3.00	23.00
สี (Lovilond units)	5.00	3.50

ตารางที่ 2.5 สูตร ACS 1 และสูตร Tread Mix

	ACS 1	Tread Mix
ยางธรรมชาติ (ยางแท่ง/ยางสีกม)	100	100
ซิงค์ออกไซด์	6.0	4.0
กรดสเตียริก	0.5	2.0
สารตัวเร่ง MBT(2-Mercapto benzothiazole)	0.5	-
สารตัวเร่ง CBS(N-Cyclohexyl-2benzthizyl sulphenamide)	-	0.5
เขม่ากำขนิ็ด HAF(High Abrasion Furnace)	-	50.0
น้ำมัน Dutrex R	-	5.0
สารป้องกันยางเสื่อม, Nonox ZA	-	1.5
กำมะถัน	3.5	2.5

2.3.7 การผลิตน้ำยางคงรูปหรือน้ำยาง(พรี)วัลคาไนซ์

น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางวัลคาไนซ์ หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (prevulcanised latex) หมายถึงน้ำยางชั้นที่ได้ผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลได้เกิดพันธะเคมี (chemical crosslink) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารที่จำเป็นแล้ว

น้ำยางผสมสาร (compounded latex) หมายถึง น้ำยางชั้นที่ได้ผสมสารต่างๆ แล้ว และส่วนใหญ่จะใช้สารตัวเร่งให้น้ำยางคงรูป (accelerator) กลุ่ม dithiocarbamate โดยปกติจะทำการผสมสารต่างๆ กับน้ำยางแล้วบ่มหรือเก็บไว้ (maturation) ก่อนการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องด้วยน้ำยางผสมสารส่วนใหญ่จะผสมสารในระบบการให้น้ำยางคงรูปไว้แล้ว ดังนั้น ขณะที่การบ่มหรือเก็บน้ำยางจึงอาจเกิดปฏิกิริยาของคงรูป คือ โมเลกุลของเกิดพันธะเคมีขึ้นได้ซึ่งการเกิดของคงรูปที่ใช้ในการทำน้ำยางให้คงรูป ฉะนั้นอาจพิจารณาว่าการทำให้น้ำยางคงรูปเป็นกลไกที่เกิดขณะที่การบ่มน้ำยางผสมสารต่างๆ ที่จำเป็นไว้แล้ว

น้ำยางคงรูปมีบทบาทในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางประเภทจุ่มแบบพิมพ์ (dipping) และประเภทหล่อเบ้าพิมพ์ (casting) เพราะน้ำยางคงรูปมีข้อได้เปรียบ คือ ขณะที่นำไปใช้อาจมีการเติมสารต่างๆ บ้างอีกเพียงเล็กน้อย เช่น สารป้องกันยางเสื่อม หรือสารสีต่างๆ และไม่จำเป็นต้องทำให้น้ำยางคงรูปในภายหลัง (post-vulcanisation) การขึ้นรูป ซึ่งอาจใช้น้ำยางคงรูปในการจุ่มแบบแม่พิมพ์ทำถุงมือยาง หรือการหล่อเบ้าพิมพ์ ทำหุ้นการศึกษา เป็นต้น

วิธีการผลิตน้ำยางคงรูปมีหลักการที่สำคัญคือ ผสมสารกลุ่มที่จำเป็นในการเกิดปฏิกิริยาของคงรูป ซึ่งได้แก่สารในระบบให้เกิดของคงรูป [vulcanizing system = sulphur+accelerator+activator ตารางที่ 2.5] กับน้ำยางที่ได้ผ่านการเติมสารช่วยความเสถียรที่เป็นของเหลว แล้วให้ความร้อนประมาณ 50-70 องศาเซลเซียส หรืออาจทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้กำมะถันคือเป็นระบบ “sulphurless” [ตารางที่ 2.6] หรืออาจทำน้ำยางคงรูปที่อุณหภูมิค่าประมาณ 28-30 องศาเซลเซียส โดยใช้สารตัวเร่งของคงรูประบบที่ว่องไวมาก เช่น sodium or zinc salt of dibutyl dithiocarbamates นอกจากนี้ ยังอาจทำน้ำยางคงรูปได้โดยให้ความร้อนกับน้ำยางที่ได้ผสมสารอินทรีย์เพอร์ออกไซด์ และไฮโดรเพอร์ออกไซด์ เช่น คิวมีลไฮโดรเพอร์ออกไซด์ เป็นต้น

1) ขั้นตอนการผลิตน้ำยางคงรูป อาจทำการผลิตได้ 2 วิธี ดังนี้

- ทำให้น้ำยางชั้น 60% มีความเสถียรโดยการผสมสารด่าง (caustic alkali) และสารรักษาสถานะคอลลอยด์ (protective colloid) จำนวนเล็กน้อยลงในน้ำยาง แล้วทำการไล่แอมโมเนียออกจากน้ำยางโดยวิธีระเหยอากาศหรือโดยการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ จากนั้นจึงผสมกำมะถันซิงค์ออกไซด์ และสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ในปริมาณที่มากเกินไปเพื่อให้ได้ระดับสถานะคงรูปที่ต้องการ การผสมสารต่างๆ เหล่านี้มักผสมในรูปของส่วนผสมหยาบๆ (coarse slurries) มากกว่าในรูปของคัสเฟสชั้นละเอียด ทั้งนี้เพื่อที่สารส่วนเกินจะได้แยกออกจากผลผลิตในขณะขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิต

ได้โดยการตกตะกอนหรือโดยการปั่นแยก ตัวอย่างสูตรสำหรับการทำน้ำยางคงรูปวิธีนี้ ตามตารางที่ 2.6 และ 2.7

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยใช้กำมะถัน

สารต่างๆ	ส่วนโดยน้ำหนัก (เป็ยก)
น้ำยางข้น 60% รักษาด้วยแอมโมเนียมสูง	167
ซิงค์ออกไซด์	5
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต*	8
กำมะถัน	3
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์(10%)	3
สารช่วยความเสถียร (10%)	2

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างสูตรการทำน้ำยางคงรูปโดยไม่ใช้กำมะถัน

สารต่างๆ	ส่วนโดยน้ำหนัก (เป็ยก)
น้ำยางข้น 60% รักษาด้วยแอมโมเนียมสูง	167.0
สารละลายเคซีน (casein) (10%)	5.0
สารช่วยความเสถียร (nonionic stabiliser)(25%)	2.0
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (10%)	2.5
ซิงค์ออกไซด์ (50%)	2.0
เตตระเมทิลไทยยูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD)(33%)	9.0
ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (ZDBC) (50%)	2.0
สารละลายไทโอยูเรีย (10%)	10.0

สารช่วยความเสถียรที่เหมาะสม ได้แก่ โซเดียมเคซีนต หรือโซเดียมคาร์บอเนต ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต ส่วนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์คอนเดนเซต นั้น ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้เพื่อวัตถุประสงค์นี้ เพราะสารนี้จะสูญเสียความสามารถช่วยความเสถียร ณ จุดที่อุณหภูมิสูง การใส่แอมโมเนียมออกไซด์ และแทนที่แอมโมเนียมด้วย fixed alkali นั้น เพื่อป้องกันการเกิดลักษณะครีมแข็งของน้ำยางเมื่อมีแอมโมเนียมอยู่มาก อนึ่ง อาจต้องมีการอุ่นน้ำยางที่ 30 องศาเซลเซียส ประมาณ 30 นาที ก่อนการผสมสารต่างๆ ลง

ไป การอุ่นน้ำยางนี้เพื่อเร่งให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสารบางตัวในน้ำยาง (เช่น การไฮโดรไลซิสของ สารไลปีด) ซึ่งปกติมีการเปลี่ยนแปลงช้าในอุณหภูมิห้อง การกระทำได้กล่าวจะช่วยลดความแปรปรวน ของสมบัติของน้ำยางลงได้

การเกิดปฏิกิริยาทางคองรูปจะเริ่มเมื่อปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างช้าๆ จนถึง 70-80 องศาเซลเซียส แล้วรักษาระดับอุณหภูมินี้ไว้นานจนกระทั่งได้องศาหรือระดับสถานะของการเกิดทางคองรูป (Degree of vulcanization) ที่ต้องการ ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ½ ชั่วโมง โดยนับรวมตั้งแต่เริ่มปรับ อุณหภูมิให้สูงขึ้น ระหว่างการเพิ่มอุณหภูมิจะต้องกวนน้ำยางเพื่อให้อนุภาคหยาบของสารต่างๆ อยู่ใน สถานะซัสเพนชัน และจะต้องพยายามไม่ให้เกิดฟองที่ผิวหน้า ภาชนะสำหรับใช้บรรจุน้ำยางที่จะทำให้ คองรูปควรห่อหุ้มด้วยวัสดุที่สามารถผ่านไอน้ำหรือผ่านน้ำเย็นได้ มีเครื่องสำหรับควบคุมอุณหภูมิ และมี เครื่องกวนติดอยู่ที่ภาชนะด้วย

เมื่อได้องศาของการคองรูปตามต้องการแล้วลดอุณหภูมิให้น้ำยางเย็นลง ทำการกรอง น้ำยางซึ่งสารทำให้ทางคองรูปที่เหลือเกินพอจะถูกแยกออก โดยปกติมักจะทิ้งให้น้ำยางที่คองรูปแล้วอยู่ใน สถานะอุณหภูมิห้องประมาณ 7 วัน ก่อนการนำไปใช้งานขั้นต่อไปในระหว่างเวลา 7 วันนี้ จะมีการ เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในน้ำยาง เริ่มแรกสมบัติด้านทานแรงดึงของแผ่นยางแห้งจะลดลงแล้วกลับค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากเวลาผ่านไป 7 วันแล้ว การเปลี่ยนแปลงในน้ำยางมีน้อยมากถึงแม้จะเก็บไว้อีกเป็น เวลานานก็ตาม สรุปว่าข้อดีของการเก็บน้ำยางคองรูปแล้วไว้ 7 วันก่อนการนำไปใช้ คือ ช่วยให้น้ำยาง คุณภาพสม่ำเสมอดีด้วย

- การเตรียมน้ำยางคองรูปอีกวิธีหนึ่ง คือผสมกำมะถัน สารตัวเร่งปฏิกิริยาให้ทางคองรูป และซิงค์ออกไซด์ลงในน้ำยางแล้วให้ความร้อน ใช้สารเหล่านี้ปริมาณเพียงเล็กน้อยให้พอเพียงที่จะเกิด การคองรูปในระดับที่ต้องการ และต้องเตรียมให้สารต่างๆ ดังกล่าวอยู่ในรูป ดิสเพิซชันที่ละเอียดก่อน เติมลงในน้ำยาง ปัญหาการเกิดลักษณะครีမ်แข็งของน้ำยางขณะให้ความร้อนจะลดลงถ้าใช้ซิงค์ออกไซด์ ในปริมาณน้อย สำหรับการทำน้ำยางคองรูปโดยวิธีนี้ ไม่จำเป็นต้องไล่แอมโมเนียออก สารต่างๆ ที่เติมลง ในน้ำยางจะถูกใช้ในการเกิดปฏิกิริยาทางคองรูปหมดไป จึงไม่จำเป็นต้องกรองน้ำยาง

ตามวิธีการทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว มีสารหลายชนิดที่ใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาให้ทางคองรูปแต่ซิงค์ไดเอททิลไดโอคาร์บาเมต เป็นสารที่เหมาะสมมากกว่าสารอื่นๆ และสารประเภทละลายน้ำ ได้บางสาร เช่น ไดโทโอคาร์บาเมต ชนิดโซเดียมไดเอททิลไดโทโอคาร์บาเมต ก็สามารถใช้ได้ แต่มี ความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าสารตัวแรก

อนึ่ง น้ำยางที่คองรูปแล้วมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับน้ำยางที่ยังไม่ทำห้คองรูป กล่าวคือ มีลักษณะการเป็นของเหลวเหมือนเมื่อแรกเริ่ม แต่สีอาจเปลี่ยนเป็นค่อนข้างเหลืองบ้าง การเกิดปฏิกิริยา ทางคองรูปจะเกิดที่แต่ละอนุภาคของยาง โดยปราศจากการเปลี่ยนแปลงสถานะ ดิสเพิซชันของน้ำยาง นั้นคือ น้ำยางคองรูปจะประกอบด้วยอนุภาคยั้งที่มีรูปร่างขนาด และการกระจายของขนาดเหมือนเมื่อ

แรกเริ่มก่อนการทำให้คงรูป นอกจากนี้ลักษณะการเคลื่อนไหวของอนุภาคก็ยังคงเป็นแบบ Brownian เช่นเดิมด้วย

2) วิธีทดสอบน้ำยางคงรูป

เนื่องจากน้ำยางคงรูปมีลักษณะที่มองด้วยสายตาไม่ค่อยแตกต่างไปจากน้ำยางขึ้นธรรมดา ดังนั้น วิธีการที่จะตรวจสอบว่าน้ำยางหนึ่งๆ เป็นน้ำยางคงรูปหรือไม่ นั้น จึงต้องอาศัยวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ และวิธีการที่กล่าวต่อไปนี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบระดับสถานะของการคงรูปของน้ำยางผสมสารต่างๆ ด้วย

- ทดสอบโดยใช้คลอโรฟอรั่ม (Chloroform test) หลักการของวิธีนี้ คือ ทำให้น้ำยางจำนวนเล็กน้อยจับตัวด้วยการหยดคลอโรฟอรั่ม หรือคาร์บอนเตตระคลอไรด์ (carbon tetrachloride) ปริมาณที่เท่ากับปริมาณน้ำยาง (เช่น 10 มิลลิเมตร) และกวนด้วยแท่งแก้ว ลักษณะก้อนยางที่จับตัวในเวลา 2-3 นาที จะบ่งแสดงสถานะของการคงรูป นั่นคือ

ตารางที่ 2.8 การทดสอบโดยใช้คลอโรฟอรั่ม

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

- ทดสอบโดยหาสัดส่วนหรือเปอร์เซ็นต์การบวมของยาง (equilibrium swelling) วิธีนี้จะทดสอบโดยเทน้ำยางคงรูปทำเป็นแผ่นฟิล์ม อบแห้ง แล้วตัดฟิล์มยางเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม หรือ แผ่นกลมเล็กๆ นำไปแช่ในตัวทำละลาย เช่น toluene, xylene, cyclohexane ภายหลังการแช่ยางในตัวทำละลายประมาณ 30 นาที จึงวัดความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางที่ขยาย โดยการทำให้แห้งเพื่อประเมินหาสถานะของการคงรูป ซึ่งระบุเป็นสัดส่วนการบวม (swelling ration) ที่คำนวณมาจากความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างภายหลังการแช่ในตัวทำละลาย 30 นาที หาค่าด้วยความกว้างหรือเส้นผ่าศูนย์กลางก่อนการแช่ในตัวทำละลาย และสัดส่วนที่ได้มีความหมาย(ค่อนข้างหยวบ) ดังนี้

มากกว่า 2.6	=	unvulcanized
2.0 - 2.6	=	lightly vulcanized
1.8 - 2.0	=	moderately vulcanized
น้อยกว่า 1.7	=	fully vulcanized

- ทดสอบโดยใช้เครื่องดึงยาง (Tensile tester) โดยการทำแผ่นฟิล์มแห้งจากน้ำยางคงรูปแล้วนำไปทดสอบการดึงหรือยืดตามความยาวที่กำหนด (modulus) หรือดึงยางจนขาด (tensile strength) จากผลของค่าเหล่านี้สามารถจะประเมินหาระดับการคงรูปของยางได้ อย่างไรก็ตาม การทดสอบโดยหาแรงที่ดึงยางออกยาว 100% ของความยาวเดิม นาน 1 นาที (หรือคือ MR 100) เป็นวิธีการที่ให้ผลในการตรวจสอบการคงรูปของยางที่น่าเชื่อถือมาก

- ทดสอบโดยวิธี Prevulcanized Relaxed Modulus (PRM) ซึ่ง MRPRA^{9/} เป็นผู้กำหนดขึ้นโดยวิธีทดสอบ MR 100 แต่มีวิธีเตรียมขึ้นทดสอบภายในเวลาอันสั้น คือประมาณ 10 นาที ในขณะที่วิธีการทดสอบหา MR 100 ต้องใช้เวลาเตรียมขึ้นทดสอบประมาณ 24 ชั่วโมง

การเตรียมขึ้นทดสอบโดยวิธี PRM ประกอบด้วยการจุ่มหลอดแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ยาว 10.5 เซนติเมตร ลงในน้ำยางที่ทำให้เจือจางเป็น $50 \pm 2\%$ TSC ด้วยน้ำแล้วทำให้ยางที่จับหลอดแก้วแห้งในตู้อบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที นำหลอดแก้วออกจากตู้อบเขียนจุดขาวที่อาจมีในฟิล์มยางบนหลอดแก้วออกไป รูดฟิล์มยาง เป็นวงออกจากหลอดแก้ว และทำให้เย็นใน desiccator (ประมาณ 2 นาที) นำยางไปชั่งน้ำหนัก แล้วทดสอบโดยเครื่อง MR 100-300 กรัม ได้ โดยอ่านค่าแรงหลังจากยืดยาง 100% ของความยาวเดิมเป็นเวลา 1 นาที การคำนวณค่า PRM ตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{PRM (MPa)} = \frac{Fdl}{2W}$$

F	=	แรง, เป็นกิโลกรัม อ่านภายหลังจากยืดยางนาน 1 นาที
d	=	ความหนาแน่นของยาง, กรัม/ตารางเซนติเมตร
l	=	เส้นรอบวงภายนอกของหลอดแก้ว, เซนติเมตร
W	=	น้ำหนักของขึ้นทดสอบ, กรัม

สำหรับยางคงรูปสูตรที่ไม่มีสารตัวเติม (pure gum vulcanizate) ความหนาแน่นคือ 0.94 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร อนึ่ง ค่า PRM ที่คำนวณโดยวิธีดังกล่าวไม่ใช่ค่า modulus ที่แท้จริง เพราะไม่ได้คำนวณจากค่าพื้นที่หน้าตัดจริงๆ อย่างไรก็ตามค่า PRM นี้จะไม่แตกต่างจากค่า modulus แท้จริงไม่มากนัก ถ้าหากวงยางที่รูดจากหลอดแก้วหนาไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร

2.4 การแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติได้มาจากต้นยางพารา *Hevea brasiliensis* ประกอบด้วยอนุภาคยางที่เป็นไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 30-40 แขนงลอยอยู่ในเซรัม และยังมีส่วนที่ไม่ใช่ยางอีกร้อยละ 2-3 แขนงลอยอยู่ด้วย เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต น้ำตาล โลหะ และน้ำ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติมีหลายประเภท เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย สายยางยืด จุกนม สายสวนปัสสาวะ ยางฟองน้ำ เป็นต้น ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดการแพ้ต่อผู้ใช้ เช่น การแพ้สารเคมีหรือโปรตีนที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ การแพ้ที่ได้รับการพุดถึงมากที่สุด คือ การแพ้โปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นปัญหาที่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ เช่น ประเทศไทยจำเป็นต้องสนใจและหาทางแก้ไข

ตารางที่ 2.9 แสดงลักษณะการแพ้ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุงมือยาง

ลักษณะของการแพ้	อาการ	สาเหตุ	หมายเหตุ
ระคายเคืองที่ผิวหนัง (ไม่เกิดการแพ้หรืออาการรอบ สนองของระบบภูมิคุ้มกันของ ร่างกาย)	เกิดผื่นแดงที่ผิวหนัง ผิวหนัง แห้งแตกเป็นแผ่นเป็นตุ่มเล็ก ๆ และแสบ	สบู่ที่ตกค้าง ครีมหามือ แป้ง การสัมผัสสฤณภูมิและ pH ที่สูงเกินไป ยางฆ่าเชื้อโรค การล้างมือไม่สะอาด	-
Type IV – การแพ้สารเคมี (ภูมิต้านทานของร่างกายทำงานผ่าน ทางเม็ดเลือดขาวชนิดทีเซลล์ (T- lymphocytes) ในการดำเนินการติด เชื้อและทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบดีเลย์ ไฮเปอร์เซนซิวิตี (Delayed hypersensitivity))	ผิวหนังอักเสบเป็นผื่นแดง ปรากฏในเวลา 48-96 ชั่วโมง หลังจากที่เกิดการสัมผัส	สารเคมีตกค้างที่ใช้ใน กระบวนการผลิตถุงมือ โดยเฉพาะไทยูแรม และ คาร์บอน	รูปที่ 2.13

ตารางที่ 2.9 แสดงลักษณะการแพ้ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุงมือยาง (ต่อ)

Type I – การแพ้โปรตีน (ปฏิกิริยาการแพ้ที่เกิดขึ้นทันที (Immediate hypersensitivity) เนื่องจาก Immunoglobulin E (IgE) ที่ถูกสร้างขึ้นจะมีปฏิกิริยา เฉพาะเจาะจงต่อสารก่อภูมิแพ้)	เป็นผื่นแดงคันที่บริเวณที่สัมผัส ผิวหนังไหม้หรือเป็นแผล เจ็บปวด ลมพิษผื่นคันภายใน 5- 60 นาที หลังจากที่เกิดการ สัมผัส โรคเยื่อช่องจมูกอักเสบ โรคหอบหืด หายใจลำบาก ปฏิกิริยาภูมิแพ้ชนิดนี้รุนแรง ที่สุด บางครั้งช็อก อาจรุนแรง มากจนถึงแก่ชีวิตได้ (พบได้ไม่ บ่อยนัก)	โปรตีนที่สกัดได้ตกค้างใน ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง ธรรมชาติ	การแพ้แบบ Type I อาจเกิดจากยาเพนนิซิลิน เหล็กในของฝิ่น คอ หรือ อาหารบางชนิด เช่น อาหารทะเล ผลไม้ และถั่ว
---	---	--	---



รูปที่ 2.13 ลักษณะการแพ้ที่อาจเกิดขึ้นได้จากการใช้ผลิตภัณฑ์
ที่มา www.rubbercenter.org/files/latex%20allergy.pdf

2.4.1 อาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติ

ถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่พบบ่อยว่ามีโปรตีนตกค้างอยู่ และมีรายงานว่าก่อให้เกิดการแพ้ได้โดยมีอาการตั้งแต่ผิวหนังอักเสบเป็นผื่นแดง เกิดลมพิษ อาการหืด หอบ ไปจนถึงอนาฟาลาซิส (Anaphylaxis)¹ สมาคมโรคภูมิแพ้ของประเทศสหรัฐอเมริกา (American Academy of Allergy, Asthma & Immunology : AAAAI) รายงานว่า การแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติเกิดได้จากการที่สารก่อภูมิแพ้เข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี ได้แก่

1) ทางผิวหนัง – เป็นปฏิกิริยาที่เป็นอันตรายมากที่สุด เกิดขึ้นเมื่อถุงมือสัมผัสพื้นที่เปื่อยขึ้นของร่างกายหรืออวัยวะภายในระหว่างการผ่าตัด

2) ระบบหายใจ – เนื่องจากแป้งที่ใช้เพื่อป้องกันการติดกันของถุงมือจะดูดซับโปรตีนจากถุงมือที่ผลิตจากยางธรรมชาติ เมื่อมีการใช้ถุงมือ อนุภาคเหล่านั้นอาจหลุดลอยปะปนอยู่ในอากาศทำให้คนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงมีโอกาสที่จะได้รับโปรตีนจากยางธรรมชาติไปด้วยแบบไม่ได้ตั้งใจ

3) การสัมผัสกับเยื่อภายในและเยื่อเมิวิกส์ – ผู้ป่วยที่ได้รับการผ่าตัด (รวมทั้งผู้ป่วยที่มีความผิดปกติที่กระดูกสันหลัง) จะเกิดการแพ้อย่างรุนแรงเนื่องมาจากการสัมผัสกับถุงมืออย่างระหว่างการทำการผ่าตัด

ปัจจุบันยังไม่มีที่ทราบแน่ชัดนักว่าโปรตีนชนิดใดในน้ำยางธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ แต่มีรายงานว่าโปรตีนแอลเลอเจน Hev b1 และ Hev b3 ก่ออาการภูมิแพ้ในผู้ป่วยเด็กที่มีความผิดปกติที่กระดูกสันหลัง (spina bifida) และ Hev b5 และ Hev b6.02 ก่ออาการภูมิแพ้ในผู้ใหญ่ซึ่งมักเป็นบุคลากรทางการแพทย์

จากปัญหาเรื่องการแพ้ดังกล่าว ทำให้ผู้บริโภคลึกเลียงการใช้ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติและหันไปใช้ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์แทน แต่จากข้อมูลในตามตารางที่ 2 จะเห็นว่าถึงแม้ว่าถุงมือยางสังเคราะห์จะไม่มีโปรตีน แต่ก็ยังไม่ได้รับการยืนยันว่าไม่ก่อให้เกิดการแพ้ใดๆ ทั้งนี้เพราะสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือยางสังเคราะห์ก็สามารถจะทำให้เกิดการแพ้แบบ Type IV ได้ ดังนั้นถ้าผู้ใช้ไม่เป็นผู้ที่ไวต่อการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติแล้ว การเลือกใช้ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติย่อมจะดีกว่าการเลือกใช้ถุงมือยางสังเคราะห์ เนื่องจากถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติมีความแข็งแรงกว่าถุงมือยางสังเคราะห์

2.4.2 แนวทางการแก้ไขปัญหาการแพ้โปรตีนจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ

ปัญหาการแพ้โปรตีนจากการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติเป็นปัญหาที่เพิ่งมีความสำคัญเนื่องจากปริมาณการใช้ถุงมือเพื่อป้องกันการติดเชื้อมีมากขึ้น ปัญหาส่วนใหญ่เกิดกับบุคลากรทางการแพทย์ (ร้อยละ 10) ประเทศทางตะวันตกโดยเฉพาะในทวีปอเมริกาเหนือมีปริมาณการใช้ถุงมือสูง ปัญหาที่เกิดขึ้นทำให้องค์กรอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ได้ประกาศข้อกำหนดเกี่ยวกับปริมาณโปรตีนและแป้งในถุงมือ ดังนี้

1) ปริมาณโปรตีน

ปริมาณโปรตีนที่สามารถสกัดได้ด้วยน้ำในถุงมือจะต้องไม่เกิน 1,200 ไมโครกรัมต่อถุงมือ 1 ชิ้น (ไม่คำนึงถึงขนาดของถุงมือ) อ้างอิงตามวิธี Modified Lowry หรือไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อกรัมของน้ำยางธรรมชาติ

2) ปริมาณแป้ง

ถุงมือผ่าตัดและถุงมือตรวจโรคชนิดมีแป้ง จะต้องมียาแป้งไม่เกิน 120 มิลลิกรัม ต่อถุงมือ 1 ชิ้น (ไม่คำนึงถึงขนาดของถุงมือ)

ถุงมือผ่าตัดและถุงมือตรวจโรคชนิดไม่มีแป้ง จะต้องมียาฝุ่นแป้งไม่เกิน 2 มิลลิกรัมต่อถุงมือ 1 ชิ้น (ไม่คำนึงถึงขนาดของถุงมือ)

ดังนั้นถ้าเราลดหรือกำจัดปริมาณโปรตีนรวมทั้งปริมาณแป้งได้ก็จะช่วยลดสาเหตุของการแพ้ได้ ซึ่งปัจจุบันมีเทคโนโลยีในการกำจัดปริมาณโปรตีนและแป้งหลายวิธี ดังนี้

3) การลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางโดยใช้เอนไซม์โปรติโอไลติก (Proteolytic Enzymes)

โปรติเอสเป็นรูปหนึ่งของเอนไซม์โปรติโอไลติก ซึ่งมาจากการแตกตัวของพันธะเปปไทด์ เอนไซม์สามารถเพิ่มอัตราการไฮโดรไลซ์โปรตีนได้มากถึงล้านเท่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ใช้เอนไซม์

การนำโปรตีนออกจากน้ำยาง (deproteinization) โดยใช้เอนไซม์และการปั่นแยกน้ำยางธรรมชาติเพื่อผลิตน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีโปรตีนตกค้างลดลง เช่น ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เอนไซม์ Savinase จะมีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (ppm) และมีระดับสารก่อภูมิแพ้หรือแอลเลอร์เจนน้อยกว่า 10 AU/ml 2

น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำหลายชนิดได้มีการผลิตและจำหน่ายในทางการค้าแล้ว เช่น ของ SELATEX ในมาเลเซียมีปริมาณโปรตีนแอนติเจนต่ำกว่า 0.1 (ทดสอบด้วยวิธี LEAP assay) และถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางชนิดนี้มีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำมาก คือ ต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อกรัม หรือ G-TEX LPX ซึ่งผลิตโดย Getahindus ก็มีรายงานว่าเมื่อนำไปผลิตถุงมือจะมีโปรตีนตกค้างต่ำกว่า 50 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีสมบัติทางกายภาพดีตามข้อกำหนดของ ASTM แต่การใช้งานน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำยังมีไม่มากนัก อาจเนื่องมาจากราคาที่สูงกว่าน้ำยางชั้นปกติ

4) ฟูมซิลิกา (Fumed Silica)

ฟูมซิลิกาสามารถช่วยลดปริมาณโปรตีนในน้ำยางได้โดยฟูมซิลิกาจะเข้าไปติดกับอนุภาคยางและแทนที่โปรตีน โปรตีนก็จะเปื้อนและสามารถถูกกำจัดออกได้ง่ายด้วยการล้าง วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาสั้นและค่าใช้จ่ายไม่แพง อาศัยเพียงแค่การล้างเท่านั้นไม่ต้องทำ post-treatment ฟูมซิลิกาที่เติมเข้าไปจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) แต่สมบัติของซิลิกาไม่เหมือนกับสารเพิ่มความหนืดอื่นๆ คือ ซิลิกาจะช่วยเพิ่มความทนต่อแรงดึงและความทนต่อแรงฉีกขาด สมบัติด้านความเสถียรและการขนส่งดีขึ้น รวมถึงผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจะมีปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งจากรายงานพบว่าปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์โดย Guthrie Research ที่ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5712 ของถุงมือยางที่ผ่านกระบวนการเติมฟูมซิลิกานี้มีค่าต่ำกว่า 28 ppm ต่อน้ำหนักเป็นกรัมของยาง ซึ่งเป็นระดับต่ำสุดที่สามารถตรวจสอบได้ ในขณะที่ถุงมือยางอ้างอิงที่ไม่ได้เติมซิลิกามีปริมาณโปรตีนเท่ากับ 105 ไมโครกรัมต่อกรัมของยาง

วิธีการนี้สามารถทำได้ในสายการผลิตโดยเติมฟลูมซิลิกาลงในน้ำยางคอมพาวด์ และอาจจะทำร่วมกับการทำคลอรีเนชัน และ/หรือ การล้างกับผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนถัดมาก็ได้ทั้งนี้ขึ้นกับผู้ผลิตในการออกแบบกระบวนการ

5) การล้าง (Leaching)

การล้างเป็นขั้นตอนสำคัญในการเอาโปรตีนออกสำหรับการผลิตถุงมือทางการแพทย์ มี 2 ขั้นตอน คือ การล้างขณะฟิล์มเปียก (wet gel) และการล้างขณะฟิล์มแห้ง (dry film) โดยมีจุดประสงค์คือเป็นการกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ออกไปเพื่อเพิ่มความใสของฟิล์ม ป้องกันการบวม (bloom) ที่ผิวระหว่างการเก็บ เพิ่มความทนต่อแรงดึงและลดการดูดซับน้ำของผลิตภัณฑ์

การล้างขณะฟิล์มเปียกทำได้โดยล้างฟิล์มที่ติดกับแม่พิมพ์ ด้วยน้ำร้อนที่ 60-80 °C ใช้เวลาสั้นๆ ประมาณ 1-10 นาที ก่อนที่ฟิล์มจะถูกทำให้แห้งและเกิดการวัลคาไนซ์ในกระบวนการผลิต น้ำร้อนจะช่วยให้ฟิล์มสามารถเกิดได้ดีขึ้น สำหรับการล้างขณะฟิล์มแห้งจะทำเมื่อฟิล์มนั้นถูกทำให้แห้งและผ่านการวัลคาไนซ์แล้วซึ่งเป็นการล้างหลังจากถอดผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งถ้าต้องการกำจัดสารที่สามารถละลายน้ำได้ออกให้หมด อาจต้องใช้เวลาในการล้างประมาณ 16-48 ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของผลิตภัณฑ์

การล้างเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายที่สุดในการลดปริมาณโปรตีนที่สกัดได้ ซึ่งถ้าจะให้ดีที่สุดนั้นควรจะต้องล้างทั้ง 2 ขั้นตอน คือ ทั้งขณะฟิล์มเปียกและฟิล์มแห้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งถุงมือที่นำไปใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้า การแพทย์ และอาหาร แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึง คือ ความสะอาดของน้ำที่ใช้ล้าง จะต้องมีการถ่ายเทออกไปและใส่น้ำใหม่เดิมเข้ามาแทนที่อย่างต่อเนื่อง โดยอัตราการแทนที่น้ำเพื่อให้การล้างมีประสิทธิภาพขึ้นกับปริมาตรของน้ำที่ใช้ล้างซึ่งสัมพันธ์กับน้ำหนักของยางที่ถูกน้ำล้างไป

6) คลอรีเนชัน (Chlorination)

คลอรีเนชันเป็นวิธีการปรับผิวของถุงมือเพื่อลดการติดและช่วยในการสวมใส่ถุงมือแทนการใช้แป้ง ถุงมือที่ทำคลอรีเนชันจะมีผิวลื่น เรียบ ไม่เหนียวติด และป้องกันโปรตีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์เคลื่อนที่ไปยังผิวชั้นนอกได้

คลอรีเนชันสามารถทำได้โดยการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งจะให้อะตอมคลอรีนอิสระหรือการผ่านก๊าซคลอรีนลงไปในน้ำก็จะได้อะตอมคลอรีนอิสระเช่นกัน การใช้ก๊าซคลอรีนถูกกว่าการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์แต่จะอันตรายกว่าในเรื่องของการเก็บและการนำมาใช้ การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์จะสามารถให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งแรงได้หลายระดับตามความต้องการแต่มีราคาแพงกว่าคลอรีน

เมื่อนำถุงมือแช่ลงในถังสารละลายคลอรีน (ความเข้มข้นของคลอรีนประมาณร้อยละ 0.05-0.30) คลอรีนจะทำปฏิกิริยากับสายโซ่หลักของยางธรรมชาติที่บริเวณผิวหน้าของถุงมือ ซึ่งการทำคลอรีเนชันนั้นสามารถทำในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องหรือแยกออกมาจากสายการผลิตได้โดยทำ

ที่ละแบบหนึ่งในถังคลอรีเนเตอร์ โดยใช้เวลาประมาณ 15-90 นาที ขึ้นกับกระบวนการผลิต จากนั้นนำถุงมือไปล้างน้ำและจุ่มลงในถังที่บรรจุสารละลายแอมโมเนีย (ความเข้มข้นร้อยละ 1) หรือโซเดียม ไฮดรอกไซด์ เพื่อทำให้ค่าความเป็นกรด-เบสของถุงมือเป็นกลาง (neutralization) นำถุงมือไปล้างและทำให้แห้ง ถุงมือคลอรีเนตจะมีปริมาณโปรตีนตกค้างในผลิตภัณฑ์ต่ำมาก 0.01-0.02 มิลลิกรัมต่อกรัม วัดด้วยวิธี RRIM Modified Lowry, BSA standard) แต่จะมีข้อด้อย คือ ถ้าในขั้นตอนการล้าง ไม่สามารถล้างคลอรีนออกไปได้หมดจะทำให้สมบัติทางกายภาพด้อยลงเมื่อผ่านการบ่มเร่ง เพราะ ฝึกขาดง่าย สีเปลี่ยนไป อายุการใช้งานสั้นลง เสื่อมสภาพได้ง่าย และมีกลิ่นแรง

7) การเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์ (Polymer Coating)

การจำกัดการแพร่กระจายและการเคลื่อนที่ของโปรตีนอีกวิธีหนึ่งคือ การเคลือบผิวถุงมือยางธรรมชาติด้วยโพลิเมอร์ เนื่องจากโพลิเมอร์จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของโปรตีนมาที่ผิว ลดการติดที่ผิวของถุงมือ และยังทำให้ถุงมือมีผิวเรียบ สามารถทำได้โดยการลามิเนตชั้นของโพลิเมอร์หรือของผสมโพลิเมอร์บนผิวของถุงมือยางธรรมชาติ โพลิเมอร์ที่ใช้ในการเคลือบผิว ได้แก่ โพลียูรีเทน (polyurethane) โพลีอะคริลาไมด์ (polyacrylamide) โพลีอะคริลิก แอซิด/โพลิเมทิลเมทาไครเลต (polyacrylic acid/polymethyl methacrylate : PMMA) โพลีไวนิลอะซิเตต (polyvinyl acetate) ยางเอสบีอาร์คาร์บอกซิเลต (carboxylated SBR) ยางบิวทาไดอีนคาร์บอกซิเลต (carboxylated BR) โพลีอะคริโลไนไตรล์ (polyacrylonitrile) ยางธรรมชาติกราฟต์พีเอ็มเอ็มเอ (PMMA-grafted NR) โพลีไซลอกเซน (polysiloxane) โพลีอีเทอร์ (polyether) โพลีเอสเตอร์ (polyester) และ โพลีคลอโรพรีน (polychloroprene)

อย่างไรก็ตามการเคลือบผิวนี้นิยมทำเพียงด้านเดียว แม้ว่าโปรตีนนั้นสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทั้งสองด้าน ซึ่งการเคลือบผิวถุงมือยางธรรมชาติด้วยโพลิเมอร์ทั้งสองด้านนั้นก็สามารถทำได้แต่จะมีราคาแพง และไม่ค่อยมีผลิตขายทางการค้า ดังนั้นถุงมือที่มีขายทางการค้าส่วนใหญ่จึงนิยมเคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์เฉพาะด้านที่สวมใส่และอาจทำคลอรีเนชันที่ผิวด้านนอก

ถุงมือที่มีการเคลือบผิวนี้นี้มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานต่ำ ทำให้สวมใส่ได้ง่าย ถุงมือที่เคลือบผิวด้วยโพลิเมอร์ทั้งสองด้านมีปริมาณโปรตีนที่ตกค้างต่ำ คือ 40 ไมโครกรัมต่อกรัม และมีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 10 AU/ml นอกจากนี้สมบัติความทนต่อแรงดึงของถุงมือทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งมีค่าไม่ต่างกัน

8) การลดปริมาณแบง์ในถุงมือ

นอกจากโปรตีนจะเป็นสาเหตุหลักในการก่อให้เกิดการแพ้แล้ว แบง์ที่ใช้ในการเคลือบผิวป้องกันการติดกันของถุงมือและช่วยในการสวมใส่ก็เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการแพ้โปรตีน ผู้ป่วยที่มีอาการแพ้จะมีปัญหาเรื่องระบบทางเดินหายใจ และมีอาการหืดหอบเนื่องจากการหายใจเอาอนุภาคแอลกอฮอล์จากน้ำยางธรรมชาติเข้าไปเมื่ออยู่ในบริเวณที่มีการใช้ถุงมือชนิดที่มีแบง์

แปรงที่นิยมใช้ในการเคลือบผิวถุงมือ คือ แปรงข้าวโพด ซึ่งสามารถจับกับโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติได้ดี นอกจากนี้แปรงข้าวโพดจะรบกวนการติดเชื้อของผู้ป่วยและเมื่อเกิดแผลจะทำให้แผลหายช้า จากการศึกษาของสถาบันวิจัยยางมาเลเซียพบว่าแปรงคัดแปรงหลายชนิดที่จับกับโปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติได้ไม่ดี และอาจนำมาใช้แทนที่แปรงข้าวโพดได้

การล้างแปรงบนถุงมือออกก่อนการใช้งานสามารถลดการแพ้เนื่องจากแปรงในถุงมือได้ แต่จะไม่สะดวกในการปฏิบัติจริง ดังนั้นปัจจุบันจึงมีการผลิตถุงมือตรวจโรคและถุงมือศัลยกรรมชนิดไม่มีแปรงขึ้น

