

IR 3

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

(Protein in natural rubber latex)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มีนาคม 2553

IR 3

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

(Protein in natural rubber latex)



สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มีนาคม 2553

คำนำ

ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ เรื่อง “โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Protein in natural rubber latex)” ฉบับนี้ สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กรมวิทยาศาสตร์บริการ ได้จัดทำขึ้นภายใต้โครงการเครือข่ายห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของประเทศ โครงการย่อยที่ 2 โครงการเพิ่มศักยภาพการเข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบ Digital Library กิจกรรมย่อย 2.5 ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ (Information Repackaging) ในส่วนของสารานุกรมด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้นี้ให้ผู้ใช้ได้เข้าถึงสารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่ายและสะดวกพร้อมใช้ เอกสารประมวลพร้อมใช้ฉบับนี้ให้ความรู้เกี่ยวกับชนิดของอาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ และคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

คณะผู้จัดทำหวังว่า ประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ โดยเอกสารฉบับเต็มที่ใช้ในการเรียบเรียงประมวลสารสนเทศพร้อมใช้ฉบับนี้ได้รวบรวม จัดเก็บ และให้บริการ ณ บริเวณห้องอ่านชั้น 2

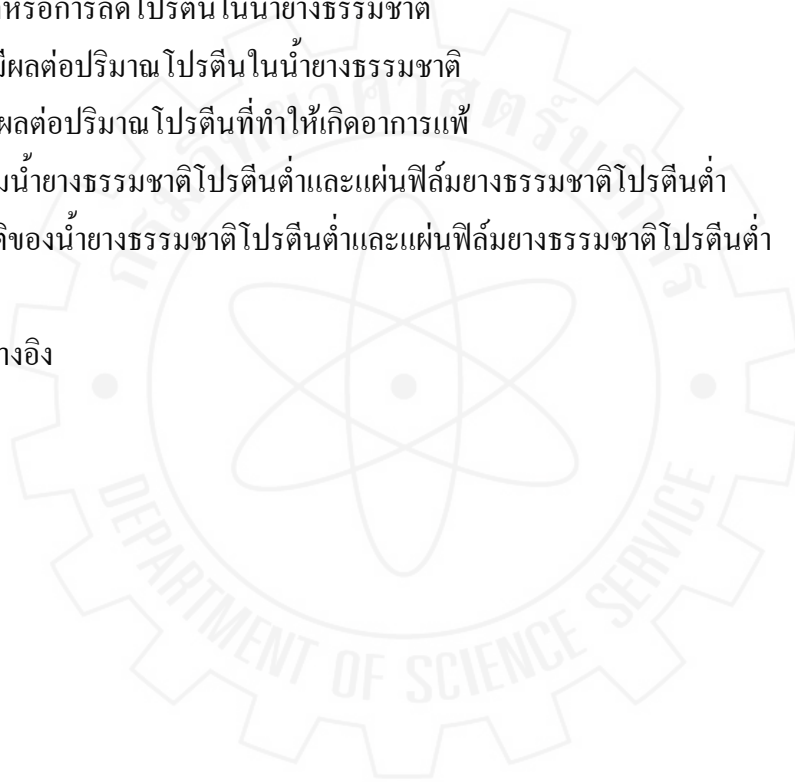
ศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	1
คำสำคัญ	1
บทนำ	2
โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ	3
ชนิดของอาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ	3
การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ	4
วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ	8
ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้	10
การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ	12
คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ	12
บทสรุป	15
เอกสารอ้างอิง	16



โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Protein in natural rubber latex)

บทคัดย่อ

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ มารวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่อะมิโน (amino groups) หลายร้อยหมู่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bonds) โดยปริมาณของโปรตีนที่พบอยู่ระหว่าง 1-1.8 % ซึ่งแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำยาง เมื่อนำน้ำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ถุงมือยาง พบว่ามีผู้ที่ใช้งานเกิดอาการแพ้ถุงมือยางนั้นถึง 17 % โดยอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การสัมผัสกับผงแป้งหรือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถุงมือยาง การที่สารเคมีที่อยู่ในถุงมือยางซึมสู่ผิวหนังแล้วรวมตัวกับโปรตีนในร่างกาย และการรวมตัวกันของสารเคมีหรือผงแป้งในถุงมือยางกับโปรตีนที่มีสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ในน้ำยางธรรมชาติ เมื่อมีการสัมผัสจึงมีอาการแพ้เกิดขึ้น อาการแพ้ส่วนใหญ่มักจะแสดงออกในรูปของผื่นคันและผิวหนังอักเสบ การกำจัดหรือการลดโปรตีน (deproteinisation) ในน้ำยางธรรมชาติเพื่อแก้ไขปัญหอาการแพ้ สามารถทำได้โดยใช้วิธีเคมี กายภาพ หรือการใช้วิธีเคมีและกายภาพร่วมกัน แต่การลดโปรตีนก็มีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเชื่อกันว่าโปรตีนในน้ำยางมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติการยืดหยุ่น (elasticity) ของยาง โดยมีข้อเสียคือ ทำให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง (destabilization) และเปลี่ยนคุณสมบัติในการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ของน้ำยาง แต่ข้อดีคือ โปรตีนจะช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยาง (colloidal stability) ในขณะผลิตยาง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติและปริมาณของโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ เพื่อที่จะได้เตรียมน้ำยางธรรมชาติ โปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ; น้ำยาง; โปรตีน; สารก่อให้เกิดภูมิแพ้; การลดโปรตีน; แผ่นฟิล์มยาง

Keywords : Natural rubber; Latex; Protein; Allergens; Deproteinisation; Rubber film

1. บทนำ

น้ำยาง (latex) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ที่พบได้ในประเทศ มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย โดยน้ำยางจะมีลักษณะคล้ายน้ำนม (milky) ประกอบด้วย cis-1,4-polyisoprene ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์ ได้แก่ โพแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในน้ำยางพบว่ามีโปรตีนมากกว่า 250 ชนิด โดยปริมาณของโปรตีนอยู่ระหว่าง 1-1.8 % ซึ่งแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำยาง และโปรตีนแต่ละชนิดก็ทำหน้าที่แตกต่างกันด้วย เช่น โปรตีนที่มีผลต่อปัจจัยในการยืดตัวจนขาด (elongation factor) ของยางคือ โปรตีน Hev b1 ที่มีความสำคัญในการกำหนดความยาวของสายไอโซพรีนจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (polymerization) จนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลของไอโซพรีนมากกว่า 100,000 ขณะที่ β -1,3-glucanase protein หรือ Hev b2 มีส่วนสำคัญในการป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา ทั้งนี้มีโปรตีน 30-60 ชนิด ที่เชื่อกันว่าเป็นสาเหตุให้เกิดอาการแพ้ (Huber, Ma., and Terezhalmay, GT., 2006)

ปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง เช่น กุ้งมือยาง กุ้งยางอนามัย เครื่องมือทางเภสัชกรรม ฯลฯ ในปี 2004 มีสูงถึง 1.08 ล้านตัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นโดยผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวและมีอาการแพ้ถึง 17 % (Honeycutt, T., et al., 2006) อาการแพ้ส่วนใหญ่จะแสดงออกในรูปของผื่นคันและผิวหนังอักเสบ ปัจจุบันมากกว่า 70 % ของกุ้งมือยางจะใช้แป้งข้าวโพด (corn starch) เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ แป้งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดอาการแพ้ โดยเกิดจากโปรตีนในน้ำยางที่มีสารที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ (allergens) มารวมตัวกับแป้งที่อยู่ในกุ้งมือยาง ในกุ้งมือยางถ้ามีปริมาณแป้งมากก็จะมีระดับของโปรตีน (protein level) มากด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า จำนวนของผู้ที่สวมใส่กุ้งมือยางแล้วไม่เกิดอาการแพ้เลยจะมีระดับของโปรตีนที่มีสาร allergens น้อยกว่า 2 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำยาง (Baur, X., and Chen, Z., 1999)

การกำจัดหรือการลดโปรตีน (deproteinisation) ในน้ำยางธรรมชาติเพื่อแก้ไขปัญหาอาการแพ้โปรตีนสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี กายภาพ หรือการใช้วิธีการทางเคมีและกายภาพร่วมกัน รวมถึงการเหวี่ยงหมุน (centrifugation) เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน การใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน การใช้สารลดแรงตึงผิว และการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยางออก แต่การลดโปรตีนก็มีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเชื่อกันว่าโปรตีนในน้ำยางมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติการยืดหยุ่น (elasticity) ของยาง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของยางธรรมชาติ (Honeycutt, T., et al., 2006) โดยมีข้อเสียคือ ทำให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง (destabilization) และเปลี่ยนคุณสมบัติในการจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ของน้ำยาง แต่ข้อดีก็คือโปรตีนจะช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยาง (colloidal stability) ขณะผลิตยาง

2. โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex protein : NRL protein) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจนและซัลเฟอร์ มารวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่อะมิโน (amino groups) หลายร้อยหมู่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (peptide bonds) เมื่อโปรตีนถูกย่อยสลายจะทำให้ความยาวโมเลกุลของโปรตีนลดลงเหลือหมู่อะมิโนประมาณ 10 หมู่ โดยทั่วไปโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้เมื่ออยู่ในสภาวะต่างของสารละลายแอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง โดยโครงสร้างบางส่วนของโปรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นเพปไทด์เล็กๆ (Perrella, FW., and Gaspari, AA., 2002)

3. ชนิดของอาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

อาการแพ้ที่เกิดจากโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

3.1 Irritant contact dermatitis (ICD) เป็นอาการแพ้ที่พบบ่อยที่สุด โดยจะมีอาการระคายเคืองบริเวณผิวหนังแต่ยังไม่มีการติดเชื้อหลังจากสัมผัสกับผงแป้งหรือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางภายหลังกระบวนการผลิต อาการอักเสบ อาการคันอย่างรุนแรง และรอยแดงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ เช่น ช่วงเวลาที่ได้สัมผัส และอุณหภูมิของผิวหนังบริเวณนั้น โดยพบว่าความเป็นด่างของแป้ง (alkaline pH) ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางเป็นสาเหตุที่สำคัญของอาการแพ้ดังกล่าว (Hepner, DL., and Castells, MC., 2003) การหลีกเลี่ยงอาการแพ้ชนิดนี้สามารถป้องกันได้โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ยางที่ปราศจากผงแป้ง (powder-free) ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใกล้เคียงกับผิวหนังปกติ

3.2 Allergic contact dermatitis (ACD) หรือ Type IV cell-mediated hypersensitivity reaction เป็นการเริ่มต้นของอาการแพ้เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายที่เรียกว่า T-cell mediated ที่มีต่อสารเคมีที่อยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางซึมสู่ผิวหนังแล้วรวมตัวกับโปรตีนในร่างกาย อาการที่ปรากฏเป็นอาการของผื่นคัน (eczema) ที่พบบริเวณหลังมือเป็นส่วนใหญ่ อาการแพ้เป็นอาการระยะที่ 2 ที่แสดงออกมาหลังจากสัมผัสผ่านไปแล้ว 48-72 ชั่วโมง โดยเกิดเป็นผื่นแดงของผิวหนัง มีไข้และติดเชื้อ การวินิจฉัยโรคจะทำโดยใช้วิธีการทดสอบ patch test โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอาการแพ้มากขึ้นคือ ปริมาณสารเคมีที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิต และสภาวะของผิวหนังในขณะนั้น ความแตกต่างของ ICD และ ACD คือ ICD จะแสดงอาการให้เห็นในระยะเวลาสั้นกว่า ขณะที่ ACD ต้องใช้เวลา 1-3 วัน และบริเวณที่เกิดอาการแพ้ของ ICD จะเกิดเฉพาะบริเวณที่มีการสัมผัสเท่านั้น ไม่สามารถลุกลามไปบริเวณอื่นได้เหมือนกับ ACD (Tomazic, VT., 1997)

3.3 Type I IgE-mediated hypersensitivity reaction เป็นอาการแพ้ขั้นรุนแรงที่สุด พบในผู้ป่วย 5-15 % เนื่องจากโปรตีนที่อยู่ในน้ำยางหรือผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิตมากกว่าการแพ้ที่เกิดจากการสัมผัสกับแป้งข้าวโพด หรือสารเคมีที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ยาง โดยโปรตีนจะซึมสู่ผิวหนังและร่างกายจะสร้างภูมิคุ้มกัน IgE antibodies ขึ้นมาเพื่อป้องกันอาการแพ้ นอกจากนี้ latex protein ยังสามารถดูดซึมโดยส่งผ่านทางอากาศได้อย่างช้าๆ โดยจะแสดงอาการภายใน 30 นาทีที่สัมผัส เริ่มต้นจากการเกิดผิวหนังอักเสบ เยื่อจมูกอักเสบ และเยื่อตาขาวอักเสบ อนุภาคของแป้งและ latex protein ที่รวมตัวกันนี้จะปลอยออกมาในอากาศและทำให้เกิดอาการหดเกร็งของกล้ามเนื้อหลอดลม (bronchoconstriction) ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจตามมาในภายหลัง เรียกอาการโดยรวมนี้ว่า Urticaria ส่วน Anaphylaxis นั้นเป็นอาการที่รุนแรงมากกว่า Urticaria เนื่องจากสาร allergens จะเข้าสู่กระแสเลือดทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้นและความดันเลือดลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว (Tomazic, VT., 1997)

สารที่ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ (allergens) ที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติและเป็นสาเหตุของ IgE-mediated allergic นั้น ได้แก่ Hev b1 ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ที่พบในเด็กเป็นส่วนใหญ่ และ Hev b1 และ Hev b3 ที่มีการสร้างขึ้นอย่างผิดปกติ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของอาการแพ้ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีรายงานที่ 43 % ของผู้ป่วยที่มีอาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาติ นั้น อาจมีอาการแพ้ที่เกิดจากการย่อยอาหารร่วมด้วย โดยเฉพาะเมื่อรับประทานผลไม้เขตร้อน (tropical fruit) โดยพบว่าในผลไม้เหล่านั้นมีโปรตีนที่ต่อต้านเชื้อโรคในร่างกาย (fruit specific IgE antibodies) เช่น ชาวเยอรมันจะแพ้ผลกีวี กล้วย และมะเขือเทศ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการทำปฏิกิริยาร่วมกัน (cross reaction) ระหว่างอาหารและโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้ผู้ป่วยมีความไวต่ออาการแพ้มากขึ้น (Brehler, R., and Kutting, B., 2001)

4. การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (deproteinisation) เพื่อป้องกันอาการแพ้แบบ type-I และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีระดับของโปรตีนต่ำ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการ เช่น การเหวี่ยงหมุนหลายครั้ง (multi centrifuging) หรือการแยกด้วยเมมเบรน (membrane filtration) วิธีเคมี เช่น การย่อยโปรตีนด้วย proteolytic enzyme หรือการใช้สารลดแรงตึงผิวแล้วตามด้วยการทำให้บริสุทธิ์โดยการเหวี่ยงให้ตกตะกอนหรือส่วนที่หนักกว่านอนก้น (centrifugation) หรือการทำให้น้ำยางเป็นเนื้อมัน (creaming) โดยสามารถใช้ centrifugation ร่วมกับ creaming ได้ (George, KM., et al., 2007)

4.1 วิธีเคมี Vystar ได้พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อกำจัดโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (allergenic protein : AP) โดยการใช้สารเคมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminium hydroxide: Al(OH)₃) และซิลิกาไดออกไซด์ (silica

dioxide : SiO_2) ทำปฏิกิริยากับน้ำยาก่อนเข้าสู่กระบวนการวัลคาไนเซชัน (vulcanization) ซึ่งสามารถทำให้ระดับของ AP ลดลงน้อยกว่า 0.2 g/g (Honeycutt, T., et al., 2006) ซึ่งสารเคมีที่ใช้เดิมนั้นแบ่งเป็น 5 ชนิดคือ

1. Inorganic salts ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอไรด์ (aluminum chloride: AlCl_3) อะลูมิเนียมซัลเฟต (aluminum sulfate: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) แมกนีเซียมคลอไรด์ (magnesium chloride: MgCl_2) ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate : AgNO_3) และซิงค์ไอโอไดด์ (zinc iodide : ZnI_2) โดยเกลือเหล่านี้สามารถละลายได้ในน้ำกลั่น

2. Inorganic oxides และ Inorganic hydroxide ได้แก่ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (aluminum hydroxide : $\text{Al}(\text{OH})_3$) ไททานเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide : TiO_2) ฟูมซิลิกา (fumed silica) และซีโอไลต์ (zeolyte) เนื่องจากสารประกอบนี้ไม่ละลายน้ำ จึงใช้เติมลงใน 45-50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ก่อน ส่วน TiO_2 ปกติจะละลายในด่าง โดยจะเติมลงใน NaOH 50%

3. Metal powder ได้แก่ อะลูมิเนียม (aluminum :Al) ซิลเวอร์ (silver : Ag) และอะลูมิเนียมไวร์ (aluminum wire : Al-wire) ที่อยู่ในรูปของแป้ง สามารถใช้เติมในน้ำยางธรรมชาติได้โดยตรง

4. Organic compounds ได้แก่ ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde) เกลือโซเดียมของเบนซีนซัลโฟนิค (sodium salt of benzenesulfonic) และกรดเบนซีนซัลโฟนิค (benzenesulfonic acids) โซเดียมดีซิลซัลเฟต (sodium decylsulfate) อะคริลลาไมด์ (acrylamide) ซิงค์กลูโคเนต (zinc gluconate) ซิงค์อะซิเตต (zinc acetate) และคอปเปอร์อะซิเตต (copper acetate) ที่สามารถเติมในน้ำยางได้ทั้งในรูปแบบของของเหลว สารละลายหรือของแข็ง

5. Polymeric absorbents ได้แก่ Lupamin 9010, Lupamin 1595 (BASF), Lupasol FG, lupasol G20 (BASF) และ lignins (Honeycutt, T., et al., 2007)

Vystar เตรียมสารเคมีที่ใช้กำจัดสาร allergens คือ $\text{Al}(\text{OH})_3$ (Al_2O_3 57%) และ SiO_2 (fumed silica 99.8 % ขนาด 0.011 ไมครอน) โดยนำมาละลายใน KOH (ความเข้มข้น 50 %) และผสมกับน้ำยางธรรมชาติที่อุณหภูมิห้อง แล้วกวนให้เข้ากันนาน 24 ชั่วโมง (สำหรับ SiO_2) และ 72 ชั่วโมง (สำหรับ $\text{Al}(\text{OH})_3$) การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยางธรรมชาติและส่วนผสมของสารเคมีดังกล่าวจะทำให้ความทนทานต่ออายุการใช้งาน (aging resistance) ดีขึ้น การที่น้ำยางธรรมชาติทำปฏิกิริยากับ SiO_2 จะลด break point ลง แต่ก็เพิ่มความเสถียร (stability) และการย่อยสลาย (degradation) รวมทั้งความทนทานต่อแรงดึงและการยืดตัวขนาดของยาง (Honeycutt, T., et al., 2006)

4.2 การใช้เอนไซม์ (enzyme treatment) การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาตินั้น เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากช่วยรักษาคุณสมบัติเดิมทางกายภาพและสมรรถภาพของยางธรรมชาติ ปกติยางธรรมชาติจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 2 % โดยน้ำหนัก สามารถละลายได้ในน้ำและอยู่ในรูปของสารสกัดโปรตีน (extracted protein) ในกระบวนการผลิตถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์นั้น โปรตีนจะย้ายไปอยู่ที่ผิวหน้าของถุงมือยางขณะอบแห้ง (drying) และการขึ้นรูปยางโดยใช้ความร้อน (heat vulcanization) ทั้งนี้การชะล้างด้วยน้ำ (water leaching) สามารถกำจัดโปรตีนออกจากผิวหน้าได้ แต่ไม่สามารถกำจัดออกได้หมด ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ได้แก่ Proteases เป็น hydrolytic enzyme ที่สามารถทำให้พันธะเพปไทด์เกิดการแยกออกได้ ซึ่งการใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในน้ำยางเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เอนไซม์นี้ได้จากการหมักแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (nonpathogenic strain bacteria) โดยใช้ในรูปของผงหรือสารละลาย ในปี 1998 บริษัท Tillotson Healthcare Corporation ได้ร่วมมือกับบริษัท Allox, LLC ใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในน้ำยางและพบว่าสามารถลด allergenic protein ได้สูงถึง 95 % (จากการทดสอบด้วยวิธี ELISAs และ RASTs Test) (Perrella, FW., and Gaspari, AA., 2002) นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ papain ที่สามารถย่อยสลายโปรตีนได้ ซึ่งผลิตจากมะละกอ (*Carica papaya*) โดยพบว่าถุงมือยางที่ใช้เอนไซม์ papain ย่อยสลายโปรตีนนี้สามารถลดปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางได้น้อยกว่า $50 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ (George, KM., et al., 2007) นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้เอนไซม์ร่วมกับการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติที่มีความบริสุทธิ์สูง (Ichikawa, N., Hwee, EA., and Tanaka, Y., 1993)

การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติทำได้โดยใช้ alkaline proteases 0.025 % ทำปฏิกิริยากับน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียที่ผ่านการเหวี่ยงหมุน (centrifugated ammoniated natural rubber latex) ที่อุณหภูมิ 13-32 องศาเซลเซียส นาน 1-2 วัน จากนั้นเอนไซม์และน้ำยางที่ได้ทำปฏิกิริยากัน (enzyme-treated natural rubber latex : ET-NRL) จะถูกนำไปแช่แข็ง ทำให้ละลายและเหวี่ยงหมุนเพื่อแยกโปรตีนที่สกัด (extracted protein) ออกมา การหาปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางภายหลังกระบวนการผลิตนั้นจะนำโปรตีนมาสกัดด้วยสารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) 7.4 นาน 2 ชั่วโมง โดยใช้การทดสอบ 3 วิธี คือมาตรฐาน ASTM D5712 Lowry เพื่อหาปริมาณโปรตีนทั้งหมด ELISA เพื่อหา allergenic protein ในน้ำยางธรรมชาติ และ RAST inhibition เพื่อหาสาร allergens ที่เป็นปัญหาของผู้ที่ใช้งาน ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 (Perrella, FW., and Gaspari, AA., 2002)

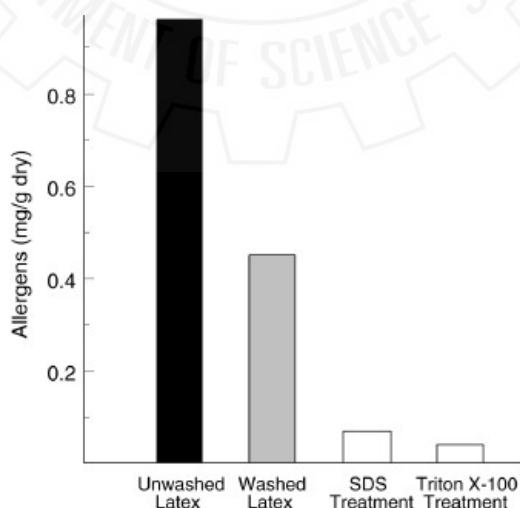
4.3 การใช้สารลดแรงตึงผิว (surfactant treatment) สารลดแรงตึงผิวชนิด non-ionic surfactant สามารถลดสาร allergens ได้มากกว่า 95 % ซึ่งสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้คือ Triton™ X-100 และ โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate : SDS) การใช้ Triton™ X-100 ควบคู่ไปกับการล้าง 4-5 ขั้นตอน (alginate creaming-phase separation - redilution) จะลดสาร allergens ได้มากถึง 98-99% (Schloman, JR, WW., Teetor, VH., and Ray, DT., 2006) รูปที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบขั้นตอนในการลดสาร allergens ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารลดแรงตึง

ผิวทำให้ปริมาณสาร allergens ลดลงเป็นอย่างมาก (ทั้ง Triton™ X-100 และ SDS) แต่การใช้สารลดแรงตึงผิว ก็มีข้อเสียคือ ทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนเซชันลดลง โดยดูจากค่า crosslink density (รูปที่ 2) ซึ่งตรงข้ามกับน้ำยางธรรมชาติที่ไม่ผ่านการล้าง (unwashed latex)

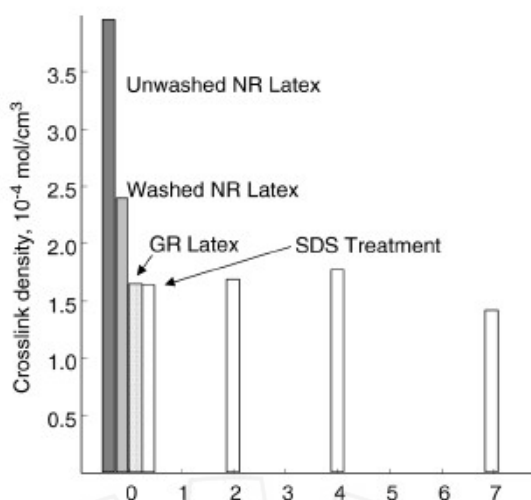
ตารางที่ 1 แสดงปริมาณโปรตีนที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ที่เหลืออยู่ในถุงมือยางและน้ำยางธรรมชาติ

Test methods	RAST		ELISA	Lowry
	($\mu\text{g/mL}$)	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)	($\mu\text{g/g}$)
Samples	NRL	Gloves	Gloves	Gloves
Untreated control (a)	3311.0 \pm 680.1	364.6 \pm 129.6	211.2 \pm 43.9	89.0 \pm 30.6
Enzyme treated (b)				
Expt 1	33.0 \pm 50.5 (n=5)	13.4 \pm 9.8 (n=5)	0.8 \pm 0.8 (n=5)	101.6 \pm 13.8 (n=5)
Expt 2	-	5.8 \pm 3.6 (n=5)	1.0 \pm 0.7 (n=5)	-
% Reduction (100 \times (b/a))	> 99	> 96	> 99	-14

ที่มา : Perrella, FW., and Gaspari, AA. (2002)



รูปที่ 1 แสดงปริมาณสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ (allergens) ในน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ (Schloman, JR, WW., 2002)



รูปที่ 2 แสดงค่า crosslink density ของแผ่นฟิล์มจากน้ำยางที่ผ่านขั้นตอนต่างๆ (Schloman, JR, WW., 2002)

4.4 การใช้ fumed silica กลไกการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติของซิลิกา นั้น อาจเนื่องมาจากการรวมตัวของสารประกอบระหว่างโปรตีนและไขมันในน้ำยาง เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปเพื่อรักษาความเข้มข้นของน้ำยางแล้วจะทำให้ส่วนที่เป็นไขมันไฮโดรไลซ์อย่างช้าๆ และเกิดกรดไขมัน (fatty acids) ขึ้น ทำให้สามารถดูดซับโปรตีนออกจากอนุภาคของน้ำยางได้ขณะผสมน้ำยางกับสารเคมีเพื่อนำไปขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ (compounding) ซึ่งเกิดการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกาแสดงไว้ในรูปที่ 3 ซิลิกาจะทำหน้าที่เป็น thickening agent และช่วยเพิ่มความแข็งแรงในการฉีกขาด (tear strength) ความเสถียร (stability) ของยาง โดยปริมาณ fumed silica ที่นิยมใช้เพื่อลด extracted protein ออกจากน้ำยางและสาร allergens คือ 1-5 % และ 1 % โดยน้ำหนัก ตามลำดับ (Amdur, S., 1999) และจากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 5712 และ LEAP test, Guthrie Research Institute, Sayre, PA พบว่า ปริมาณ extracted protein และสาร allergens มีค่าน้อยกว่า 28 ppm และน้อยกว่า 0.2 ppm ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมการไหลของยาง (rheology) รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติอื่นๆ เช่น ความทนทานต่อแรงดึง (tensile) และความทนทานต่อการสึกหรอ (abrasion resistance) ของยาง เนื่องจากอนุภาคของ fumed silica มีความละเอียดจึงทำให้แผ่นฟิล์มยางที่ผลิตขึ้นมีลักษณะ โปร่งแสง (translucent) (Conn, R., et al., 2008)

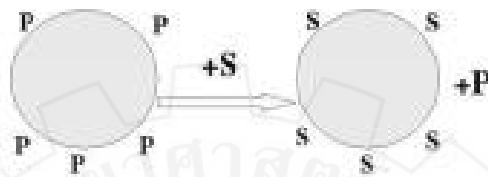
5. วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Perrella, FW., and Gaspari, AA., 2002)

5.1 การเหวี่ยงหมุนของน้ำยางธรรมชาติ (centrifugation of NRL) โปรตีนประมาณ 75% ในน้ำยางธรรมชาติ จะละลายอยู่ในรูปของ serum fraction ขณะที่อีก 25 % จะรวมตัวกันอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาคน้ำยาง การเหวี่ยงหมุนน้ำยางจะทำให้มีน้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำในน้ำยางลดลง ปริมาณ

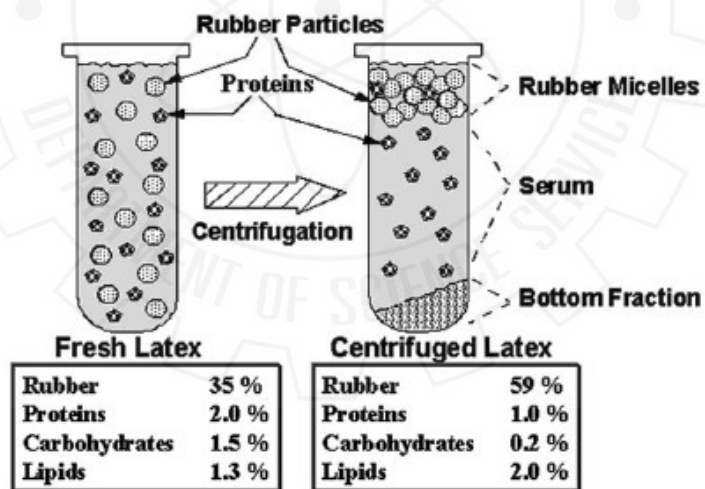
ครั้งหนึ่งของสารละลาย extracted protein จะถูกกำจัดออกจากน้ำยางธรรมชาติโดยการเหวี่ยงหมุน จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า การเหวี่ยงหมุนสามารถลดโปรตีนในน้ำยางดิบได้ถึง 50 % และเมื่อทำการเหวี่ยงหมุน 2 ครั้งจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนถูกกำจัดออกไปมากถึง 63 %

Copyright 2001 MDPI, Basel, http://www.mdpi.com/MDPI

Mechanism for Protein Displacement by Silica



รูปที่ 3 กลไกการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกา (Amdur, S., 1999)



รูปที่ 4 ปริมาณโปรตีนและสารอื่นๆ ในน้ำยางดิบก่อนและหลังการเหวี่ยงหมุน (Perrella, FW., and Gaspari, AA., 2002)

5.2 การทำให้น้ำยางธรรมชาติเป็นเนื่อครีม (creaming of NRL) เป็นวิธีการที่ทำให้อนุภาคของยางในน้ำยางลอยตัวสูงขึ้นอย่างช้าๆ เกิดชั้นของน้ำยางที่มีลักษณะเป็นเนื่อครีม (creamed latex) บริเวณด้านบนโดยการเติมสารที่เรียกว่า creaming agents เช่น alginate และเมทิลเซลลูโลสพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มความหนาแน่นในการ

ลอยตัวของน้ำยาง วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า centrifugation แต่ก็ใช้เวลานานกว่า โดยทั่วไป creamed latex จะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 68% เนื่องจากชั้นของ serum phase ถูกกำจัดออกไปมากกว่า centrifugation นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดโปรตีนในน้ำยางที่มีขนาดเล็กออกไปได้มากกว่าด้วย

5.3 พรีวัลคาไนเซชัน (prevulcanization of NRL) เป็นวิธีการที่มีผลต่อ extracted protein ของน้ำยางธรรมชาติ โดยการผสมสาร stabilizers เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือจับตัวเป็นก้อนของอนุภาคยางระหว่างกระบวนการผลิตและ vulcanizing chemicals ซึ่งเป็นสารเคมีสำหรับผสมในยางเพื่อทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางเกิดเป็น โครงสร้างตาข่ายสามมิติ อุณหภูมิที่ใช้ตั้งแต่ 70 องศาเซลเซียส สาร stabilizers และ crosslink agents เช่น dialkyldithiocarbamate accelerators, zinc oxide และซัลเฟอร์ มีความจำเป็นต้องใช้ในขณะให้ความร้อนแก่ยางเพื่อช่วยให้ยางเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ข้อดีของวิธีนี้คือ เมื่อแผ่นฟิล์มของยางแห้งจะมีความแข็งแรงและคุณสมบัติความยืดหยุ่นดี แต่ข้อเสียคือ ความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มยางดิบขณะเป็นเจลเปียก (wet gel strength) มีค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มยางดิบที่ไม่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชัน (nonprevulcanization) โดยทั่วไปยางมือยางที่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชันจะมีปริมาณ extracted protein สูงกว่า โปสวัลคาไนเซชัน (postvulcanization) ซึ่งอาจเป็นเพราะน้ำยางที่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชันมีปริมาณน้ำและความพรุนของแผ่นฟิล์มมากกว่านั่นเอง ทำให้ extracted protein ซึมเข้าสู่ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มยางได้ขณะอบแห้ง ยิ่งใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงก็จะทำให้ปริมาณ extracted protein สูงขึ้นด้วย

6. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Huneycutt, T., et al., 2007)

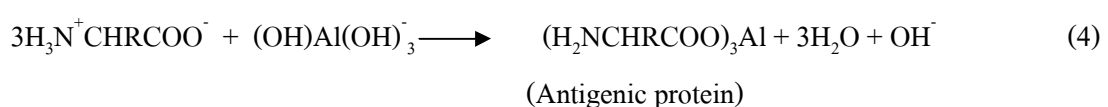
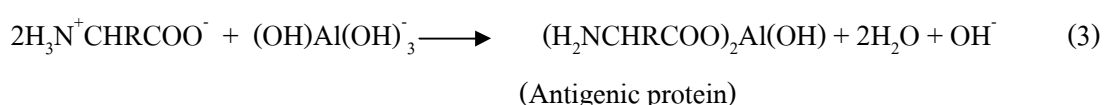
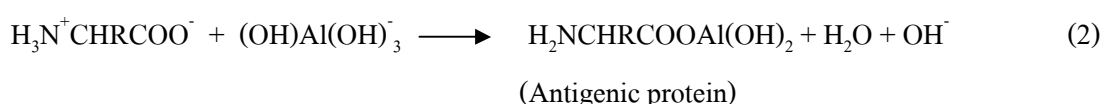
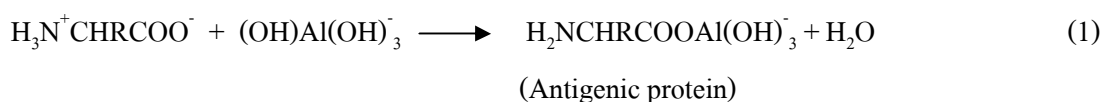
6.1 pH และวิธีการปรับ การรักษาค่า pH ให้คงที่นั้นมีความสำคัญมากต่อกระบวนการผลิตน้ำยาง การปรับ pH (pH adjustment) จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ/หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (KOH-NH₄-OH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ functional group ของโปรตีนชนิดที่เป็นกรดหรือเบส pH ที่ใช้ในตอนแรกมีค่าน้อยกว่า 10 จากนั้นจะใช้ pH ที่สูงขึ้นถึง 11 ก่อนจะมีการเติมสารลงไปเพื่อปรับค่า pH ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการเติมสารดังกล่าวจะทำให้ปริมาณ allergenic protein เพิ่มขึ้นจาก 1,123.7 µg/ml เป็น 60,000 µg/ml จะเห็นได้ว่าการที่ปริมาณ allergenic protein ที่เพิ่มขึ้นมานั้นมาจากการใช้ pH สูงและการใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) จะช่วยลด allergenic protein ลงได้มากกว่าการใช้สารตัวอื่น

6.2 soluble inorganic และ organic compounds การใช้สารประกอบอนินทรีย์ (inorganic compounds) ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ อะลูมิเนียมคลอไรด์ ซิลเวอร์ไนเตรต อะลูมิเนียมซัลเฟต และซิงค์ไอโอไดด์ จะมีประสิทธิภาพในการลด allergenic protein ได้ดีกว่าสารประกอบอินทรีย์

(organic compounds) ได้แก่ คอปเปอร์อะซิเตต ซิงค์กลูโคเนต ซิงค์อะซิเตต และเกลือโซเดียมของกรดเบนซีนซัลโฟนิค

6.3 metallic additives และ absorbents สาร metallic additives ได้แก่ ซิลเวอร์และอะลูมิเนียมสามารถลด allergenic protein ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด การใช้ inorganic absorbents ได้แก่ ไททาเนียมไดออกไซด์ fumed silica และซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า ไททาเนียมไดออกไซด์และ fumed silica ทำให้ allergenic protein มีค่าต่ำสุด (จาก 116 µg/ml เป็น 384 µg/ml และซีโอไลต์มีประสิทธิภาพในการลด allergenic protein ในน้ำยารักษาโรค organic absorbents ได้แก่ Merrifield's peptide resin, acrylamide, polyacrylamide, vinylamine-vinylformamide และ polyethylenimine สารดูดซับเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการลด allergenic protein ได้อย่างจำกัดและไม่เหมาะสมสำหรับใช้เพียงอย่างเดียว

6.4 Mixed additives การใช้สารหลายชนิดร่วมกันเพื่อลด allergenic protein ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดนั้น สามารถทำได้โดยการนำน้ำยามาทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และนำมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารดูดซับ (เช่น fumed silica และ Lignin Curan 2711P) ร่วมด้วยนั้น ผลที่ได้จะทำให้ปริมาณ allergenic protein ลดลงใกล้เคียงกับการใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะต่างเพียงอย่างเดียว โดยกลไกที่ทำให้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณ allergenic protein ได้นั้น อาจเป็นเพราะโครงสร้างแบบ jelly like-structure ของ aluminum hydroxide ที่ตกตะกอนในสารละลายต่างไปดูดซับโปรตีนเอาไว้ ทำให้ความเข้มข้นของ aluminum ion สูงขึ้นและจับตัวกับโปรตีนและรวมตัวเป็นสารประกอบกับหมู่ carboxylic group (หมู่ของโปรตีน) และสามารถละลายเมื่ออยู่ในสภาวะความเป็นด่าง (alkalinity) สูง นอกจากนี้โปรตีนยังสามารถไปแทนที่ OH-group ในสารประกอบที่มี aluminum ion จับอยู่ได้บางส่วนหรือได้ทั้งหมด ซึ่งปฏิกิริยาของโปรตีนที่จับตัวกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์นั้น สามารถเกิดได้ 4 แบบ (Honeycutt, T., et al., 2007) (สมการที่ 1-4) ดังต่อไปนี้

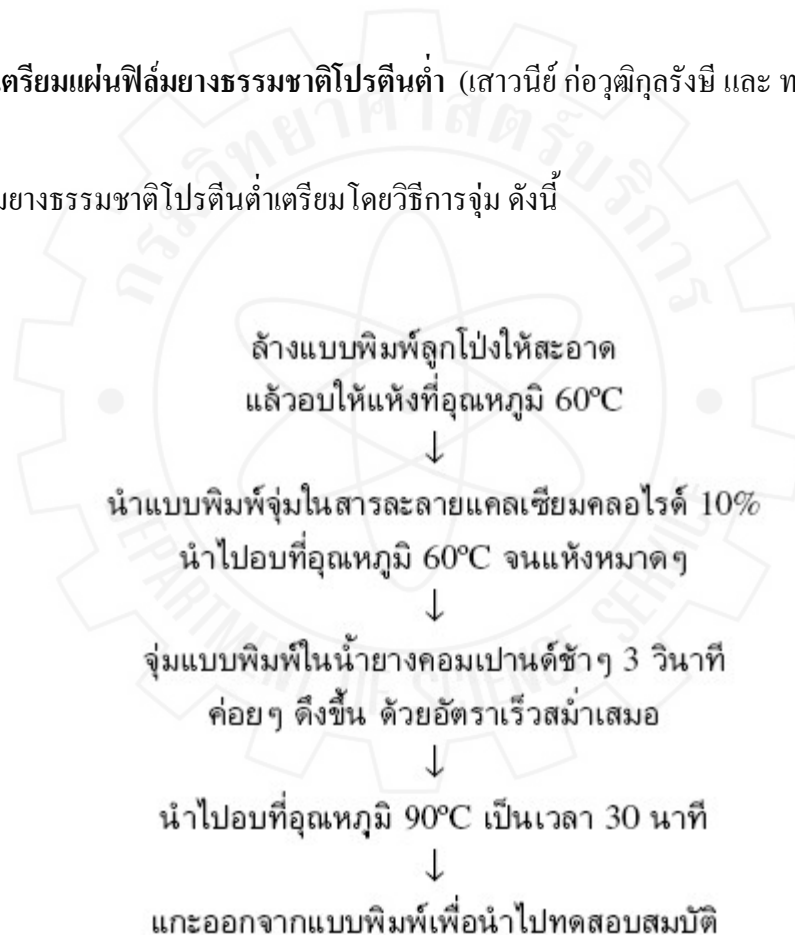


7. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

7.1 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ 60% DRC (dry rubber content) จะถูกนำมาเจือจางด้วย sodium lauryl sulphate 1 % จนได้ 30 % DRC จากนั้นใส่เอนไซม์ KAO protease 1% ปริมาณ 0.04 phr (part per hundred rubber) และกวนอย่างช้าๆ ด้วยความเร็ว 30-50 รอบ/นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำน้ำยางมา centrifugation 2 ครั้ง ที่ความเร็ว 10,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที น้ำยางชั้นหลังจาก centrifugation จะมีลักษณะเป็นครีม (เข้มข้น 70%) จะถูกนำมาเจือจางจนได้ความเข้มข้น 30% หรือ 60% แล้วนำน้ำยางที่ได้นั้นมาศึกษาคุณสมบัติโดยทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM 1076-97 ต่อไป (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต, 2547)

7.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต, 2547)

แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำเตรียมโดยวิธีการจุ่ม ดังนี้



8. คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

8.1 คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ ปกติปริมาณเนื้อยางแห้งและของแข็งทั้งหมดของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (NR-LA) และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (DPNR) จะมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 2 % ค่า pH ของ DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนียบางส่วนระเหยออกไปในช่วงที่มีการ

centrifugation ส่วนค่าความหนืดและความตึงผิวของ DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA เนื่องจาก DPNR มีการเติมสารลดแรงตึงผิว (SDS) ลงไปเพื่อรักษาความเสถียรของน้ำยางในขั้นตอนของการเตรียม DPNR โดยความเสถียรเชิงกลของ DPNR มีค่าสูงกว่า NR-LA ประมาณ 3 เท่า จากการตรวจสอบน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) โดยวิธีการวัดความหนืดของ NR-LA และ DPNR มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย (ตารางที่ 2) เนื่องจากโปรตีนที่ต่ออยู่ตรงปลายโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติบางส่วนได้ถูกย่อยและสกัดออกไปขณะ centrifugation การตรวจสอบปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl พบว่า NR-LA มีค่าเท่ากับ 0.46 % ในขณะที่ DPNR ซึ่งผ่านการบ่มด้วยเอนไซม์เพื่อสลายโปรตีนแล้วนำมา centrifugation 1 ครั้งนั้น มีปริมาณไนโตรเจนลดลง 65 % (เหลือ 0.16 %) จาก NR-LA และหลังจากการ centrifugation 2 ครั้ง ปริมาณไนโตรเจนจะลดลง 89 % (เหลือ 0.05 %) (รูปที่ 5)

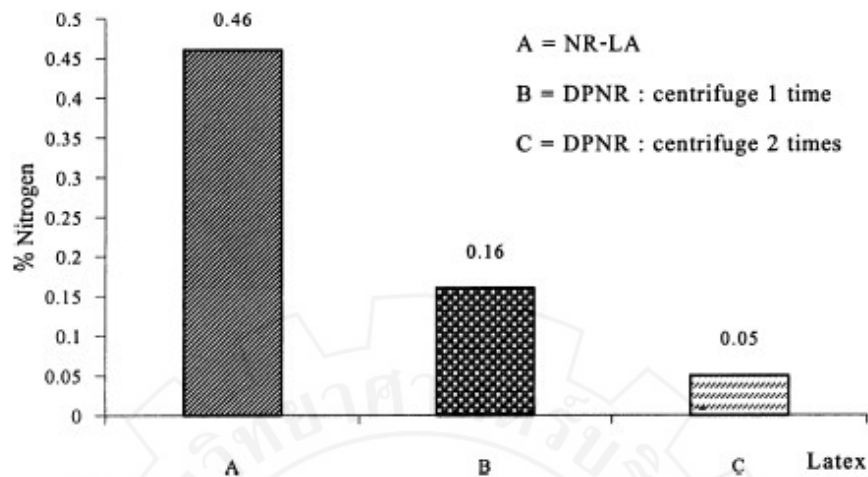
ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

Properties	NR-LA	DPNR
DRC (%)	60.38	60.41
TSC (%)	61.59	61.36
pH	10.03	9.23
Viscosity (cps)	94.0	72.0
Surface tension (dyne/cm)	44.0	34.5
MST (sec)	720	2,426
Average Particle size (μm)	0.827	0.818
Molecular weight (g/mol)	6.92×10^5	6.71×10^5

ที่มา: เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต (2547)

8.2 คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ คุณสมบัติโมดูลัส ความทนทานต่อแรงดึงจนขาด ความทนทานต่อการยืดจนขาด และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR และ NR-LA (ตารางที่ 3) พบว่า 300 % โมดูลัส, 500 % โมดูลัส และความทนทานต่อแรงดึงจนขาดของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เนื่องจาก DPNR มีการกำจัดโปรตีนบางส่วนออกด้วยเอนไซม์ การเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของ DPNR จะมีค่าน้อยลง ทำให้สมบัติทางกายภาพของ DPNR ลดลงทำนองเดียวกันความทนทานต่อการยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR จะมีค่าสูงกว่า NR-LA ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR มีค่าต่ำ

กว่า NR-LA เนื่องจากโปรตีนบนอนุภาคยางมีปริมาณน้อยลง ทำให้ความสามารถในการเกาะติดผิวของยางกับวัสดุอื่นลดลง



รูปที่ 5 แสดงปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต, 2547)

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

Properties	NR-LA		DPNR	
	Before age	After age*	Before age	After age*
300 % Modulus (MPa)	1.72 ± 0.24	2.51 ± 0.17	1.03 ± 0.28	1.39 ± 0.19
500 % Modulus (MPa)	2.75 ± 0.30	6.55 ± 0.20	1.46 ± 0.32	2.16 ± 0.12
Tensile Strength (MPa)	29.38 ± 1.40	21.47 ± 1.37	23.20 ± 1.07	17.46 ± 1.50
Elongation at break (%)	811 ± 32	612 ± 25	992 ± 37	762 ± 15
Friction coefficient	1.21	**	0.82	**

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต (2547)

หมายเหตุ * at 100 °C for 22 hrs. **No results

9. บทสรุป

ในน้ำยางธรรมชาติ มีโปรตีนอยู่มากกว่า 250 ชนิด และมีปริมาณ 1-1.8 % ของส่วนประกอบของน้ำยางทั้งหมด ซึ่งพบว่ามีโปรตีน 30-60 ชนิดที่เป็นสาเหตุของอาการแพ้ ปัจจุบันปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติมีมากขึ้น เช่น ถุงมือยาง และเครื่องมือทางเกษตรกรรม ส่งผลให้ผู้ใช้งานเกิดอาการแพ้ เนื่องจากโปรตีนในน้ำยางเกิดการรวมตัวกับสารเคมีหรือผงแป้งที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์หลังการผลิตซีเมนต์ผิวหนัง โดยอาการที่แพ้จะมีลักษณะเป็นผื่นคันและมีการอักเสบของผิวหนัง อาการแพ้โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ 1. Irritant contact dermatitis (ICD) 2. Allergic contact dermatitis (ACD) หรือ Type IV cell-mediated hypersensitivity reaction 3. Type I IgE-mediated hypersensitivity reaction ซึ่งความรุนแรงของอาการแพ้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ช่วงเวลาที่สัมผัส สภาพของผิวหนังขณะสัมผัส ปริมาณสารเคมี ผงแป้งและโปรตีนที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยาง

โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้ในสภาวะต่าง การกำจัดหรือการลดโปรตีนให้มีระดับต่ำคือ น้อยกว่า 2 $\mu\text{g/g}$ ของน้ำยาง จะทำให้ผู้ที่ใช้งานไม่เกิดอาการแพ้ สามารถทำโดยใช้วิธีการ เช่น การเหวี่ยง หมุนและการล้าง วิธีเคมี การใช้เอนไซม์ การใช้สารลดแรงตึงผิวและการใช้ fumed silica ซึ่งแต่ละวิธีสามารถทำร่วมกันได้เพื่อให้การสกัดโปรตีนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นน้ำยางที่สกัดโปรตีนออกจะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำตามมาตรฐาน ASTM 1076-97 พบว่า น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำมีปริมาณเนื้อยางแห้งและของแข็งทั้งหมด ความหนืด ความตึงผิวและน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าน้ำยางธรรมชาติปกติ แต่มีความเสถียรเชิงกลสูงกว่าประมาณ 3 เท่า แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ พบว่า มีคุณสมบัติโมดูลัสและความทนทานต่อแรงดึงจนขาดน้อยกว่าและความทนทานต่อการยืดจนขาดสูงกว่าแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติปกติ

เอกสารอ้างอิง

- เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต. น้ำยางธรรมชาติผสมพอลิสดิไทรินอิมัลชันเพื่อทำผลิตภัณฑ์แบบชุบ : การเตรียมและสมบัติ. ว. **สงขลานครินทร์ วทท**, กรกฎาคม-สิงหาคม, 2547, ปีที่ 26, ฉบับที่ 4, หน้า 557-593.
- Amdur, S. **Removing natural latex proteins from dipped rubber goods with fumed silica and additives**. 1999. Sep. 21-24; American Chemistry Society Orlando: Florida. 1999, 17 p.
- Baur, X., and Chen, Z. Summary of appropriate measures to prevent natural rubber latex allergy. **Allergology International**, 1999, vol. 48, p. 31-36.
- Brehler, R., and Kutting, B. Natural rubber latex allergy. **Arch Intern Med**, April, 2001, vol. 161, no. 8, p. 1057-1064.
- Conn, R., et al. Synthetic silica in silicone rubber for improved clarity. **Rubber World**, June, 2008, vol. 238, no. 3, p. 22-24, 26-27.
- George, KM., et al. Stabilised liquid papain can deproteinise NR latex. **Rubber Asia**, September/October, 2007, vol. 21, no. 5, p. 81-84.
- Hepner, DL., and Castells, MC. Latex allergy : an update. **Anesth Analg**, 2003, vol. 96, p. 1219-1229.
- Honeycutt, T., et al. **Technological and physical properties of a new, low antigenic protein natural rubber latex**. 2006. Jan. 24-25; Frankfurt: Germany. 2006, 8 p.
- Honeycutt, T., et al. Vytex NRL : The science behind ultra low protein natural rubber latex. **Rubber World**, November, 2007, vol. 237, no. 2, p. 32-36.
- Huber, MA., and Terezhalma, GT. Adverse reactions to latex products : preventive and therapeutic strategies. **The Journal of Contemporary Dental Practice**, February, 2006, vol. 7, no. 1, 15 p.
- Ichikawa, N., Hwee, EA., and Tanaka, Y. Properties of deproteinised natural rubber latex. Edited by Abdul Aziz bin S.A Kadir. In **Natural rubber current developments in product manufacture and applications**. Cetaktama Std Bhd: Rubber Research Institute of Malaysia Kuala Lumpur, 1993, p. 101-110.
- Perrella, FW., and Gaspari, AA. Natural rubber latex protein reduction with an emphasis on enzyme treatment. **Methods**, 2002, vol. 27, p. 77-86.
- Schloman, JR, WW. Surfactant treatment reduces both allergen content and cure efficiency of *Hevea* latex. Edited by J. Janick and A. Whipkey. In **Trends in new crops and new uses**. ASHS Press: Alexandria, VA, 2002, p. 245-249.

Schloman, JR, WW., Teetor, VH., and Ray, DT. Protein level affect the cure efficiency and allergenic potential of polyisoprene lattices. **Rubber Chemistry and Technology**, 2006, vol. 79, no. 4, p. 631-640.

Tomazic, VT. Adverse reactions to natural rubber latex. **User Facility Reporting Bulletin**, 1997, no. 19, 4 p.

