

การศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์แล้ว

**MECHANICAL PROPERTIES OF VULCANIZED AND
DEPROTEINIZED NATURAL RUBBER LATEX**

ว่าที่ร้อยตรีหญิงจุฑารัตน์ น้อยหนู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์แล้ว

ว่าที่ร้อยตรีหญิงจุฑารัตน์ น้อยหนู

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์แล้ว
Mechanical Properties of Vulcanized and Deproteinized Natural
Rubber Latex

ชื่อ - นามสกุล

ว่าที่ร้อยตรีหญิงจุฑารัตน์ น้อยหนู

สาขาวิชา

วิศวกรรมวัสดุ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.

ปีการศึกษา

2558

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาสุปรีช์, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ฉัตรชัย กันยาฐ, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อมร ไชยสัจย์, Ph.D.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 11 เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่วัลคาไนซ์แล้ว
ชื่อ - นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีหญิงจุฑารัตน์ น้อยหนู
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วารุณี อริยวิริยะนันท์, D. Eng.
ปีการศึกษา	2558

บทคัดย่อ

ปัจจุบันน้ำยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง อย่างไรก็ตามพบว่ายางธรรมชาติมีโปรตีนที่ละลายน้ำได้ซึ่งก่อให้เกิดการแพ้ ดังนั้นการลดหรือการกำจัดโปรตีน (Deproteinisation) ด้วยยูเรียในน้ำยางธรรมชาติ และการเคลือบถุงมือยางด้วยนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตและสไตรีนอะคริเลต จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการแก้ไขปัญหอาการแพ้โปรตีนในยาง

น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinized Natural Rubber, DPNR) เตรียมจากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง โดยการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรีย 0.1% โดยน้ำหนัก และสารสบู่ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยสูตรถุงมือยางสำหรับขึ้นรูปถุงมือยางจากน้ำยางโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงโดยการเคลือบด้วยนาโนแคลเซียมคาร์บอเนตและสไตรีนอะคริเลต พร้อมกับศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติเชิงกลของถุงมือยาง

จากการทดสอบปริมาณไนโตรเจนของน้ำยางหลังการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียลดลงเหลือ 0.05% โดยน้ำหนัก จากเดิมน้ำยางชั้น 0.45% โดยน้ำหนัก ในสถานะที่ทำการทดลองนี้ นอกจากนี้ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำของน้ำยางหลังการบ่มด้วยยูเรียลดลงเหลือ 1.5 ไมโครกรัม/กรัม จากเดิมน้ำยางชั้น 4,215 ไมโครกรัม/กรัม การลดลงของปริมาณโปรตีนสามารถยืนยันโดยดูจากโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี พบว่ากระบวนการกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนจากน้ำยาง ขณะที่จำนวนของกรดไขมันที่ระเหยได้ มีค่าต่ำกว่าน้ำยางชั้น เนื่องจากปริมาณการลดลงของโปรตีนในน้ำยาง หลังจากนั้นเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยสูตรถุงมือยางและทดสอบสมบัติเชิงกล พบว่าระยะยืด ณ จุดขาด และโมดูลัสที่ 100% และ 300% ของยาง DPNR / เคลือบพอลิเมอร์วัลคาไนซ์ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ และมีค่ามากที่สุดที่ความเข้มข้นของพอลิเมอร์ 10 และ 20% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

คำสำคัญ : ยางธรรมชาติ น้ำยาง โปรตีน สารก่อให้เกิดภูมิแพ้ การลดโปรตีน แผ่นฟิล์มยาง

Thesis Title	Mechanical Properties of Vulcanized and Deproteinized Natural Rubber Latex
Name - Surname	Acting Sub Lt. Jutarat Nuinu
Program	Materials Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Warunee Ariyawiriyanan. Dr.Eng.
Academic Year	2015

ABSTRACT

A vulcanization process of dipped mold deproteinized natural rubber latex film was investigated in order to produce non-allergy vulcanized rubber thin film products. In this study, the non-allergy rubber thin film was coated with polymer acrylate in order to improve the strength of thin film compared with green strength rubber before and after thermal aging.

Deproteinized natural rubber (DPNR) latex was prepared from an incubation of high ammonia natural rubber (HANR) latex with urea 0.1 wt% for 1 hour adding sodium dodecyl sulfate surfactant 1.0 wt% at room temperature. The DPNR latex at 60 % dry rubber content was pre-vulcanized by being mixed with glove formulation chemical compound at 50°C for 25 minutes. Then DPNR thin film was performed by dipped process into the pre-vulcanized DPNR latex and coated with acrylate polymer (C1) and styrene acrylate polymer (C2). After that the prepared thin film with 1 minute control thickness was vulcanized in the oven at 50°C for 5, 10,15 and 20 minutes respectively.

Findings of the research indicated that the nitrogen content of the DPNR after the removal of proteins from natural rubber was reduced from 0.45 to 0.06 wt% of HA-NR under the test condition. The reduction of protein content can be confirmed by observing a chemical structure through FT-IR technique. The urea treatment was an effective method to remove protein from rubber latex and the amount of water soluble protein of dipped mold DPNR film decreased to 1.52 $\mu\text{g/g}$ by modified lowry method. It was found that mean diameter of particle size and zeta potential of pre-vulcanized DPNR were about 804 nm and -37.7 mV which were higher than that of DPNR and HANR due to rubber chemical compounding. The tensile strength of thin film coated by C1 and C2 at 10wt% was higher than 20wt% while the elongation and the modulus were not changed. 100%

and 300% Modulus of all thin films increased as a result of increased curing time with the highest value at 20 minutes. Furthermore, the dipped latex films can retain the majority of their tensile properties on account of the accelerated aging.

Keywords: deproteinized natural rubber, sulfur-vulcanization, non-allergy thin film, mechanical properties



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและอนุเคราะห์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วารุณี อริยวิริยะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้คำแนะนำความรู้ และประสบการณ์ที่เป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี และเป็นประโยชน์ในการทำการวิจัยครั้งต่อไป

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบ รวมทั้งอาจารย์ เจ้าหน้าที่และบุคลากรของภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหการ ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวก ให้ความรู้ คำแนะนำในการใช้เครื่องมือภายในภาควิชา ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ บิดามารดาที่ให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฑารัตน์ น้อยหนู

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(6)
สารบัญ.....	(7)
สารบัญตาราง.....	(9)
สารบัญรูป.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	12
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	13
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	13
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR).....	15
2.2 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex).....	19
2.3 โพรตีนในน้ำยางธรรมชาติ.....	23
2.4 การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ.....	24
2.5 วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ.....	27
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดการแพ้.....	29
2.7 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ.....	30
2.8 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Latex).....	33
2.9 กระบวนการผลิตถุงมือยาง.....	36
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	42
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	42
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี.....	43
3.3 วิธีการทดลอง.....	45

สารบัญ

	หน้า
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	46
3.5 การทดสอบสมบัติของน้ำยาง	47
3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy; FTIR).....	52
3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มยาง.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	55
4.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางธรรมชาติ โปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์	55
4.2 ผลการทดสอบลักษณะ โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy, FTIR)....	57
4.3 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางวัลคาไนซ์.....	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล	65
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	66
บรรณานุกรม	67
ภาคผนวก.....	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของถุงมือยาง โปรตีนต่ำที่เคลือบ สไตรีนอะครีเลตที่ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์แตกต่างกัน.....	72
ภาคผนวก ข ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	81
ประวัติผู้เขียน.....	99

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	21
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.....	32
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ.....	33
ตารางที่ 3.1 ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการผสมน้ำยางคอมปาวด์.....	46
ตารางที่ 4.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และจำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ของน้ำยางธรรมชาติและน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ.....	55
ตารางที่ 4.2 การกระจายของขนาดอนุภาค และค่าศักย์ซีตาของน้ำยางธรรมชาติ.....	56
ตารางที่ 4.3 พิกการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ HANR และ DPNR ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ	58
ตารางที่ 4.4 ค่าความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัดคาบในซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที	59
ตารางที่ 4.5 ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัดคาบในซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที.....	60
ตารางที่ 4.6 ค่า 100% โมดูลัส ของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัดคาบในซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที.....	61
ตารางที่ 4.7 ค่า 300% โมดูลัส ของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัดคาบในซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที.....	62
ตารางที่ 4.8 ค่า 500% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่ง วัดคาบในซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที.....	63

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ 16
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนของน้ำยางสดที่ได้จากการปั่นแยก 21
รูปที่ 2.3	กลไกการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกา 27
รูปที่ 2.4	ปริมาณโปรตีนและสารอื่นๆ ในน้ำยางดิบก่อนและหลังการเหวี่ยงหมุน 28
รูปที่ 2.5	ปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ..... 33
รูปที่ 2.6	กระบวนการผลิตถุงมือยาง 37
รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ..... 45
รูปที่ 4.1	ลักษณะโครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ..... 58
รูปที่ 4.2	ลักษณะโครงสร้างของ HANR และ DPNR หลังกำจัดโปรตีน..... 59
รูปที่ 4.3	ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลตซึ่งวัดคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที 60
รูปที่ 4.4	ผลการทดสอบระระขีด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลตซึ่งวัดคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที 61
รูปที่ 4.5	ผลการทดสอบค่า 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลตซึ่งวัดคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที 62
รูปที่ 4.6	ผลการทดสอบค่า 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลตซึ่งวัดคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที 63
รูปที่ 4.7	ผลการทดสอบค่า 500% โมดูลัส ของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลตซึ่งวัดคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที 64

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ASTM	American Society of Testing and Materials
DRC	ปริมาณเนื้อยางแห้ง
g/cm ³	หน่วยกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
HANR	น้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียเข้มข้นสูง
MPa	หน่วยเมกะปาสคาล
mm/min	หน่วยมิลลิเมตรต่อนาที
phr	อัตราส่วนต่อร้อย
°C	หน่วยองศาเซลเซียส
°F	หน่วยองศาฟาเรนไฮต์



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

น้ำยางจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีโครงสร้างเคมีเรียกว่า *cis*-1,4-polyisoprene โดยน้ำยางจะมีลักษณะคล้ายน้ำนม (Milky) เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีนไขมัน คาร์โบไฮเดรตและสารอนินทรีย์ ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ยังพบว่ามีโปรตีนมากกว่า 250 ชนิด ปริมาณโปรตีนจะอยู่ระหว่าง 1-1.8% [1] ทั้งนี้โปรตีน 30-60 ชนิด ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดอาการแพ้กับผู้ที่สัมผัสกับยาง ปัจจุบันการลดหรือการกำจัดโปรตีน (Deproteinization) ในน้ำยางธรรมชาติเพื่อแก้ไขปัญหอาการแพ้โปรตีนโดยใช้วิธีการทางเคมี กายภาพ หรือการใช้วิธีการทางเคมีและกายภาพรวมกันรวมถึงการเหวี่ยงหมุน (Centrifugation) เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน การใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน การใช้สารลดแรงตึงผิว และการล้างด้วยน้ำ เพื่อกำจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยางออก แต่การลดจำนวนโปรตีนก็มีทั้งผลดีและผลเสียต่อสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ กล่าวคือ โปรตีนจะช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยาง (Colloidal Stability) ขณะผลิตยาง แต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อเสีย คือ ทำให้เสถียรภาพของน้ำยางลดลง (Destabilization) [2]

ในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinized Natural Rubber, DPNR) จากน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียเข้มข้นสูง โดยใช้ยูเรียในการบ่ม และใช้โซเดียมโดเดซิลเป็นสารลดแรงตึงผิวปริมาณการลดลงของโปรตีนในน้ำยาง ขนาดอนุภาคและประจุของน้ำยางทำการตรวจสอบด้วยการวัดการกระเจิงแสงแบบไดนามิกส์และวัดศักย์ซีตาเพื่อเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังการวัลคาไนซ์ของน้ำยางธรรมชาติและศึกษาสมบัติสารสไตรีนอะครีเลตที่มีต่อสมบัติเชิงกล

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์ และการขึ้นรูปเป็นถุงมือจากน้ำยางโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์ นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติทางเคมีและสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ผ่านการวัลคาไนซ์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ ของน้ำยางธรรมชาติแอมโมเนียสูง น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์

1.2.2 เพื่อศึกษาชนิดและปริมาณของสารสไตรีนอะคริเลตที่ใช้เคลือบถุงมือยางและระยะเวลาในการวัลคาไนซ์แผ่นฟิล์มถุงมือยางจากน้ำยางโปรตีนต่ำ

1.2.3 เพื่อศึกษาโครงสร้างทางเคมีและสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำวัลคาไนซ์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 เตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinized Natural Rubber; DPNR) จากน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูง (High Ammonia Natural Rubber; HANR) ด้วยการบ่มด้วยยูเรีย

1.3.2 ทดสอบหาโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (Water Solution Protein) ในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ หลังการบ่มด้วยยูเรีย

1.3.3 ทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูง และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำที่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.980-2552)

1) การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Determination of Total Solid Content) โดยใช้มาตรฐานISO 124-1997

2) การหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (Determination of Dry Rubber Content) โดยใช้มาตรฐานISO 126-1995)

3) การหากรดไขมันที่ระเหยได้ (Determination of Volatize Fatty Acid Number) โดยใช้มาตรฐาน ISO 506-1992

1.3.4 ทดสอบปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen Content)

1.3.5 ทดสอบขนาดอนุภาค (Particle Size) และค่าศักย์ซีตา (Zeta Potential)

1.3.6 เตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์

1.3.7 ขึ้นรูปถุงมือยางจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์ด้วยกระบวนการจุ่ม (Dipping Process) และทำการเคลือบถุงมือด้วยสไตรีนอะคริเลตโดยแปรชนิดของสไตรีนอะคริเลต 2 ชนิด คือ เกรด 9301 (C1) และเกรดทั่วไป (C2) และศึกษาความเข้มข้นของสารเคลือบที่ 10 และ 20% โดยน้ำหนัก และทำการวัลคาไนซ์ถุงมือยางในตู้อบลมร้อนโดยศึกษาระยะเวลาในการวัลคาไนซ์ที่ 5, 10, 15 และ 20 นาที

1.3.8 ทดสอบโครงสร้างทางเคมีของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy; FTIR)

1.3.9 ทดสอบสมบัติทางกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางจากน้ำยางโปรตีนต่ำ ได้แก่

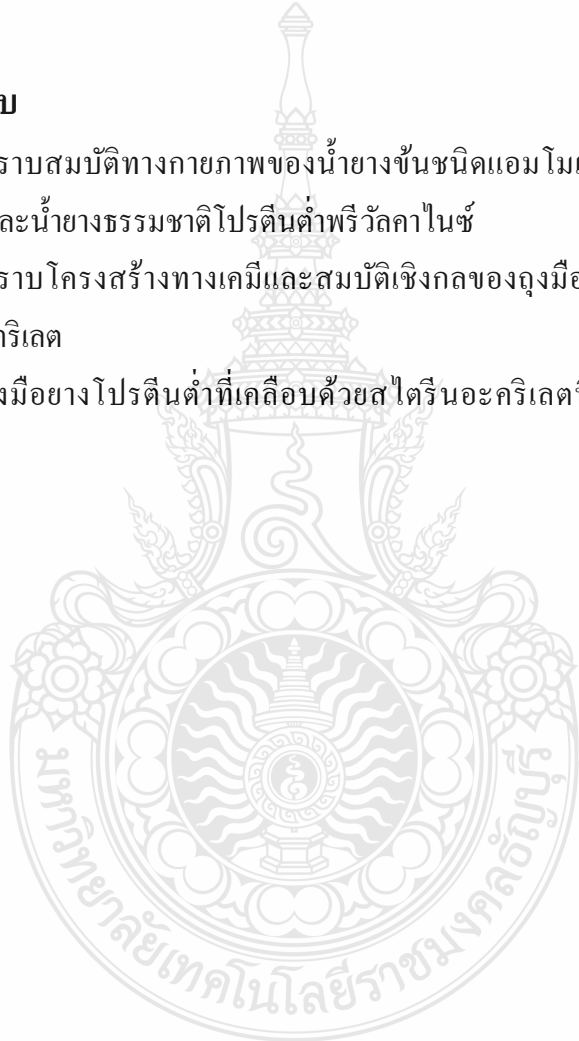
- 1) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 412
- 2) มอดุลัส (Modulus)
- 3) ระยะเวลายืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 412

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.4.1 ได้ทราบสมบัติทางกายภาพของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูง น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำพรีวัลคาไนซ์

1.4.2 ได้ทราบโครงสร้างทางเคมีและสมบัติเชิงกลของถุงมือยางถุงมือยางโปรตีนต่ำที่เคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลต

1.4.3 ได้ถุงมือยางโปรตีนต่ำที่เคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตที่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง



บทที่ 2

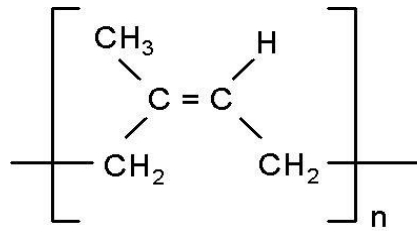
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยางธรรมชาติมีความสำคัญกับการดำรงชีวิตทั้งนี้เนื่องจากในชีวิตประจำวันจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์เพื่อป้องกันสิ่งสกปรกที่มาสัมผัสมือ และการป้องกันการอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นซึ่งก่อให้เกิดอาการบาดเจ็บ ดังนั้นยางธรรมชาติจึงเป็นวัตถุดิบที่ได้รับความสนใจในการนำมาผลิตถุงมือ เนื่องจากขึ้นรูปง่ายด้วยกระบวนการจุ่ม มีความยืดหยุ่น สวมใส่สบายเหมาะสำหรับการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามพบว่ายางธรรมชาติมีโปรตีนระหว่าง 1-1.8 % พบว่ามีผู้ที่ใช้งานเกิดอาการแพ้ถุงมือถึง 17 % โดยอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การสัมผัสกับผงแป้งหรือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถุงมือยาง การที่สารเคมีที่อยู่ในถุงมือยางซึมสู่ผิวหนังแล้วรวมตัวกับโปรตีนในร่างกาย และการรวมตัวกันของสารเคมีหรือผงแป้งในถุงมือยางกับโปรตีนที่มีสารก่อให้เกิดภูมิแพ้ในน้ำยางธรรมชาติ เมื่อมีการสัมผัสจึงมีอาการแพ้เกิดขึ้น การกำจัดหรือการลดโปรตีน (Deproteinisation) ในน้ำยางธรรมชาติเป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหอาการแพ้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการผลิตถุงมือยางจากน้ำยางโปรตีนต่ำและการเคลือบถุงมือยางด้วยสไตรีนอะคริเลตเพื่อลดการใช้แป้งในการผลิตถุงมือและยังสามารถช่วยลดปริมาณโปรตีนได้ โดยทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) [3-4]

2.1.1 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ พอลิไอโซพรีน (*cis*-1;4-polyisoprene) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน C_5H_8 มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200;000 ถึง 400;000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ $20 \text{ }^\circ\text{C}$ การเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature; T_g) ประมาณ $-72 \text{ }^\circ\text{C}$ ยางธรรมชาติเมื่อนำไปเก็บไว้ในที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า $-72 \text{ }^\circ\text{C}$ สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะคล้ายแก้ว



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ [4]

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าใน 1 หน่วย ของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และมีหมู่แอลฟา เมทิลีน (α -methylene) ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกำมะถัน ดังนั้นพันธะคู่ที่มีอยู่ในโมเลกุลของยางจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตามพันธะคู่เหล่านี้ยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน (Oxygen) หรือโอโซน (Ozone) ทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ หรืออาจทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยางกับสารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

โดยทั่วไป ยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน แต่ในบางสถานะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืด โมเลกุลของยางบางส่วนสามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบยางจึงสามารถเกิดผลึกได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำหรือที่เรียกว่า “Low Temperature Crystallization” จะพบในกรณีที่เก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C เป็นเวลานาน โดยยางจะมีอัตราเร็วในการตกผลึกสูงสุดที่อุณหภูมิต่ำประมาณ -26 °C การตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น ทำให้ไม่สามารถนำยางไปผสมให้เข้ากับสารเคมีหรือสารตัวเติมอื่น ๆ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นผลึกที่เกิดขึ้นก็จะถูกทำลาย ยางจะอ่อนตัวลงและกลับสู่สภาพเดิม ด้วยเหตุนี้ประเทศในเมืองหนาวจึงต้องนำยางธรรมชาติมาอบที่อุณหภูมิประมาณ 50-70 °C เพื่อให้ยางอ่อนก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป ส่วนการเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวหรือที่เรียกว่า “Strain-Induced Crystallization” จะพบเมื่อยางถูกยืดจนมีความยาวมากกว่าความยาวตั้งต้นประมาณ 2-3 เท่า การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวของยางจะทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพเปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน กล่าวคือ ยางจะเปลี่ยนจากสภาพโปร่งแสงไปเป็นทึบแสง ซึ่งจะสังเกตได้ง่ายในยางคงรูปที่ไม่มีการเติมสารตัวเติม นอกจากนี้การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงขึ้น

2.1.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ [5]

1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติกล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม ได้อย่างรวดเร็ว

2) ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชื่อมโยงในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์

3) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มักมีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำ จึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้ นอกจากจะมีการเติมสารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น

4) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

5) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัวที่สูงมากอีกด้วย

6) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง แต่ยังคงดีกว่ายางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene Butadiene Rubber; SBR) เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

7) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงถึง 10^{15} ถึง 10^{16} ohm.cm

8) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and Chemical Resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซิน เฮกเซน และ โทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้าเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุลเกิดเป็น โครงสร้างตาข่ายสามมิติในยางคงรูปจะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยาง ยางคงรูปเกิดการบวมตัวในตัวทำ

ละลายนี้เท่านั้น การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลงด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่าง ๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือ แอลกอฮอล์ นอกจากนี้ ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

9) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging Properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Natural Rubber) มีพันธะคู่อยู่มากทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซน เพราะเมื่อยางถูกยึดและได้รับโอโซนนาน ๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยึดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดและไปลงเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

10) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวทาไดอีน (Butadiene Rubber; BR) และยางซิลิโคน (Silicone Rubber; Si)

11) สมบัติการยืดหยุ่นภายหลังการกด (Compression Set) ยางธรรมชาติมีค่า Compression Set ก่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิต่ำและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า Compression Set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไปในขณะที่ค่า Compression set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดความเสื่อมสภาพ ซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ Compression Set ด้อยลง

12) อุณหภูมิของการใช้งาน (Service Temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55°C จนถึง 70°C อย่างไรก็ตาม หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนาน ๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ก็จะด้อยลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดความเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการออกสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลง) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90°C หรืออาจสูงถึง 100°C (ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วง ๆ เท่านั้น)

2.1.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ [6]

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) มีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี อย่างไรก็ตามยางธรรมชาติก็มีข้อด้อยคือ ไม่ทนต่อความร้อน สภาพอากาศ น้ำมัน และสารเคมีอื่น ๆ ทำให้ยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ เริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนที่ยางธรรมชาติ อย่างไรก็ตาม ผลิตภัณฑ์ยางบางประการยังคงจำเป็นต้องใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต เนื่องจาก

1) ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความทนทานต่อแรงดึง แม้ไม่ได้เติมสารตัวเติมเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง และยางรัดของ เป็นต้น

2) ยางธรรมชาติมีสมบัติทั้งเชิงกลและเชิงพลวัตที่ดี มีความยืดหยุ่นสูง ในขณะที่มีความร้อนสะสมที่เกิดขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติความเหนียวติดกันที่ดี จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิด เช่น ยางล้อรถบรรทุก ยางล้อรถยก ยางล้อเครื่องบิน ผ้ายาง ยางกันกระแทกท่าเรือ หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ในการผลิตยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

3) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เนื่องจากในการแกะชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากเบ้าพิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความทนทานต่อการฉีกขาดขณะความร้อนสูง

2.2 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) [7]

น้ำยาง (Latex) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นจากต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) ที่พบได้ในประเทศ มาเลเซีย อินโดนีเซีย และไทย ในบางครั้งก็มีการให้ความหมายว่าเป็นของเหลวหรือของไหลที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (Milky) ประกอบด้วย *cis-1,4-polyisoprene* ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอนินทรีย์ ได้แก่ โปแทสเซียม แมกนีเซียม ทองแดง สังกะสี และเหล็ก ในน้ำยางพบว่ามีโปรตีนมากกว่า 250 ชนิด โดยปริมาณของโปรตีนอยู่ระหว่าง 1-1.8 % ซึ่งแตกต่างกันตามแหล่งที่มาของน้ำยาง และโปรตีนแต่ละชนิดก็ทำหน้าที่แตกต่างกันด้วย เช่น โปรตีนที่มีผลต่อปัจจัยในการยืดตัวจนวนขาด (Elongation Factor) ของยางคือ โปรตีน Hev b1 ที่มีความสำคัญในการกำหนดความยาวของสายไอโซพรีนจากปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ (Polymerization) จนกระทั่งมีน้ำหนักโมเลกุลของไอโซพรีนมากกว่า 100,000 ขณะที่ -1,3-Glucanase Protein หรือ Hev b2 มีส่วนสำคัญในการป้องกันโรคที่เกิดจากเชื้อรา ทั้งนี้มีโปรตีน 30-60 ชนิด ที่เชื่อกันว่าเป็นสาเหตุให้เกิดอาการแพ้ [1]

ปริมาณการใช้ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง เช่น กุ้งมือยาง กุ้งยางอนามัย เครื่องมือทางเภสัชกรรม ฯลฯ ในปี 2004 มีสูงถึง 1.08 ล้านตัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นโดยผู้ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวและมีอาการแพ้ถึง 17 % [8] 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 [9]

การกำจัดหรือการลดโปรตีน (Deproteinisation) ในน้ำยางธรรมชาติเพื่อแก้ไขปัญหอาการแพ้โปรตีนสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี ภายภาพ หรือการใช้วิธีการทางเคมีและกายภาพร่วมกัน รวมถึงการเหวี่ยงหมุน (Centrifugation) เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน การใช้เอนไซม์ย่อยสลายโปรตีน การใช้สารลดแรงตึงผิว และการล้างด้วยน้ำเพื่อกำจัดโปรตีนที่ตกค้างในน้ำยางออก แต่การลดโปรตีนก็มีทั้งผลดีและผลเสียต่อคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งเชื่อกันว่าโปรตีนในน้ำยางมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติการยืดหยุ่น (Elasticity) ของยาง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของยางธรรมชาติ [8] โดยมิชอบคือ ทำให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง (Destabilization) และเปลี่ยนคุณสมบัติในการจับตัวเป็นก้อน (Coagulation) ของน้ำยาง แต่ข้อดีก็คือโปรตีนจะช่วยรักษาความเสถียรของคอลลอยด์ในน้ำยาง (Colloidal Stability) ขณะผลิตยาง

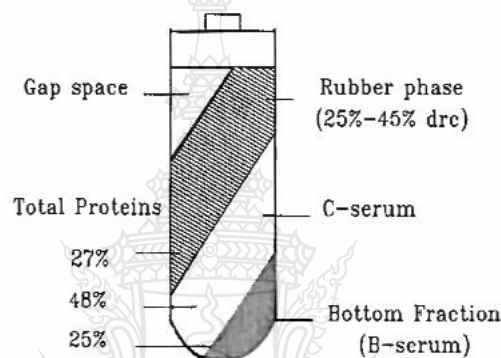
2.2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางสด

น้ำยางจากต้นยางพาราขณะที่ยังสดจะมีสีขาวหรือสีครีมสามารถไหลได้เองโดยอิสระมีความหนืดประมาณ 12 - 15 เซนติพอยส์ (Centipoises) ความหนาแน่นประมาณ 0.975 - 0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) และค่าความเป็นกรดด่าง (pH) 6.5 - 7.0 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลมหรือรูปลูกแพร์ขนาด 0.05 - 5 ไมโครเมตร น้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยของอนุภาคยางในของเหลวที่เรียกว่าเซรัม (Serum) อนุภาคยาง ดังกล่าวเป็นสารพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1; 4 - พอลิไอโซพรีนที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบซิส (*cis*- 1; 4 - polyisoprene) ประกอบด้วยมอนอเมอร์ (Monomer) ของไอโซพรีน (Isoprene) ซึ่งมีคาร์บอน (Carbon; C) 5 อะตอมกับไฮโดรเจน (Hydrogen; H) 8 อะตอมต่อกันจำนวนมากเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว

ส่วนประกอบของน้ำยางสดแบ่งได้ 2 ส่วนหลักคือ

1) ส่วนที่เป็นยาง (Dry Rubber Content; DRC) เป็นอนุภาคยางของไอโซพรีนที่เชื่อมต่อกันประมาณ 2000 - 5000 หน่วยต่อ 1 โมเลกุล

2) ส่วนที่ไม่ใช่ยาง (Non-Rubber Content) ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรัม (Serum) ลูทอยด์และสารอื่น ๆ ทั้งหมดที่ไม่ใช่ยางมีสารประกอบต่าง ๆ หลายชนิด เช่น น้ำตาล โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต กลีเซอรอล เอนไซม์ และสารประกอบไนโตรเจน เป็นต้น สัดส่วนของส่วนประกอบของน้ำยางสดดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสดจะมีส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง ประมาณ 33% กับส่วนที่ไม่ใช่ยาง 3% แต่เมื่อบั่นน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้วส่วนที่ไม่ใช่ยางจะลดลงเหลือประมาณ 1-2% ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและการปรับเครื่องบั่นความแปรปรวนของสารต่าง ๆ ในน้ำยาง ขึ้นกับพันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลัก 3 ส่วนของน้ำยางสดที่ได้จากการบั่นแยก [7]

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [7]

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27 – 48
เนื้อยางแห้ง	25 – 45
สารพวกโปรตีน	1-1.5
สารพวกเรซิน	1-1.25
จีเอ็ม	สูงถึง 1
น้ำตาล	1

น้ำยางธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ น้ำยางสด และน้ำยางข้น

1) น้ำยางสด ประกอบด้วย เนื้อยาง โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กลีเซอรอล และน้ำ น้ำยางสดมักเก็บไว้ได้ไม่นานเนื่องจากจะเกิดการบูดซึ่งจะคล้าย ๆ กับน้ำมัน เนื่องจากจุลินทรีย์ที่ปะปนในน้ำยางจะย่อยสลายสารอาหารเกิดเป็นกรดและจะบูดเน่าในที่สุด ปกติแล้วน้ำยางสด จะมีปริมาณเนื้อยางแห้งเพียงร้อยละ 30-35 เท่านั้นจึงไม่แนะนำให้มาทำเป็นผลิตภัณฑ์ เพราะความไม่สะดวกหลาย ๆ ประการ ดังนั้นน้ำยางสดจึงมักนำไปแปรรูปเป็นวัตถุดิบยางข้นตัน เช่น น้ำยางข้น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้งยางแท่ง STR XL และยางแท่ง STR 5L เป็นต้น แล้วนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

2) น้ำยางข้น เตรียมได้จากน้ำยางสดจากต้นยางพารามีองค์ประกอบหลัก ๆ 2 ส่วน คือ ปริมาณเนื้อยางแห้งซึ่งมีประมาณ 25 - 45% และส่วนที่เป็นสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% ส่วนที่เหลือส่วนใหญ่เป็นน้ำเมื่อมีการนำน้ำยางสดไปใช้งานในการทำผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ ในโรงงานซึ่งค่อนข้างอยู่ไกลจากสวนยางพาราทำให้เกิดความไม่สะดวกและไม่เป็นการประหยัดในการขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงานนอกจากนี้สารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางอาจมีผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ยางไม่ดี ดังนั้นจึงมีการผลิตน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ [7] น้ำยางข้นชนิดที่ผลิตในประเทศไทย เป็นน้ำยางข้นจากกรรมวิธีการใช้เครื่องปั่น (Centrifuge-Concentrate Latex) มีอยู่ 2 ชนิด คือ

1) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia; HA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษา สภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.7% ร่วมกับกรดลอริก 0.035% น้ำยางชนิดนี้มีข้อดีคือมีอายุการเก็บน้ำยางได้นาน ไม่เสี้ง่ายจึงมักนำไปผลิตถุงมือยาง กาวยาง ถุงยางอนามัย เป็นต้น ยกเว้นยาง ฟองน้ำเนื่องจากแอมโมเนียที่อยู่ในน้ำยางจะไปยับยั้งปฏิกิริยาการเกิดเจลหรือเกิดฟองในน้ำยางทำให้ได้ฟองน้ำที่ด้อยคุณภาพ

2) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia; LA) เป็นน้ำยางข้นที่ใช้สารรักษาสภาพน้ำยางชนิดแอมโมเนีย 0.2% ร่วมกับทีเอ็มทีดี 0.013% ซิงค์ออกไซด์ 0.013% และกรดลอริก 0.035% หรือเรียกว่า (LA-TZ) Low Ammonia – Tetramethyl - thiuram disulphide/Zinc Oxide สำหรับน้ำยางชนิดที่ใช้ปริมาณแอมโมเนียน้อยรักษาสภาพ นอกจากการใช้สารช่วยกลุ่มทีเอ็มทีดี ซิงค์ออกไซด์ และกรดลอริกดังกล่าวข้างต้นแล้ว ผู้ผลิตน้ำยางข้นประเภทอื่น ๆ ได้มีการใช้สารช่วยกลุ่มอื่น ๆ เช่น แซคดิซี (Zing Diethyldithio Carbamate; ZDC) ร่วมกับกรดลอริก (Lauric Acid) หรือกรดบอริก (Boric Acid) ร่วมกับกรดลอริก เป็นต้น น้ำยางชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low Ammonia Latex) ส่วนใหญ่นำไปใช้ในกระบวนการผลิตยางฟองน้ำ แต่ทั้งนี้อายุการเก็บของน้ำยางชนิดนี้จะสั้นกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง

2.3 โปรรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

โพรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex Protein; NRL Protein) เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจนและซัลเฟอร์ มารวมตัวกันเป็นพอลิเมอร์ที่มีหมู่อะมิโน (Amino Groups) หลายร้อยหมู่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ (Peptide Bonds) เมื่อโพรตีนถูกย่อยสลายจะทำให้ความยาวโมเลกุลของโพรตีนลดลงเหลือหมู่อะมิโนประมาณ 10 หมู่ โดยทั่วไปโพรตีนในน้ำยางธรรมชาติสามารถย่อยสลายได้เมื่ออยู่ในสภาวะต่างของสารละลายแอมโมเนีย การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโพรตีนในน้ำยางธรรมชาติจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง โดยโครงสร้างบางส่วนของโพรตีนจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นเพปไทด์เล็ก ๆ [10]

2.3.1 ชนิดของอาการแพ้ที่เกิดจากโพรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

อาการแพ้ที่เกิดจากโพรตีนในน้ำยางธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1) Irritant Contact Dermatitis (ICD) เป็นอาการแพ้ที่พบบ่อยที่สุด โดยจะมีอาการระคายเคืองบริเวณผิวหนังแต่ยังไม่มีการติดเชื้อหลังจากสัมผัสกับผงแป้งหรือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางภายหลังกระบวนการผลิต อาการอักเสบ อาการคันอย่างรุนแรง และรอยแดงนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยทางกายภาพ เช่น ช่วงเวลาที่สัมผัส และอุณหภูมิของผิวหนังบริเวณนั้น โดยพบว่าความเป็นด่างของแป้ง (Alkaline pH) ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางเป็นสาเหตุที่สำคัญของอาการแพ้ดังกล่าว [11] การหลีกเลี่ยงอาการแพ้ชนิดนี้สามารถป้องกันได้โดยการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากผงแป้ง (Powder-Free) ซึ่งมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ใกล้เคียงกับผิวหนังปกติ

2) Allergic Contact Dermatitis (ACD) หรือ Type IV Cell-Mediated Hypersensitivity Reaction เป็นการเริ่มต้นของอาการแพ้เนื่องจากระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายที่เรียกว่า T-Cell Mediated ที่มีต่อสารเคมีที่อยู่ในถุงมือยางหรือผลิตภัณฑ์ยางสัมผัสผิวหนังแล้วรวมตัวกับโพรตีนในร่างกาย อาการที่ปรากฏเป็นอาการของผื่นคัน (Eczema) ที่พบบริเวณหลังมือเป็นส่วนใหญ่อาการแพ้เป็นอาการระยะที่ 2 ที่แสดงออกมาหลังจากสัมผัสผ่านไปแล้ว 48-72 ชั่วโมง โดยเกิดเป็นผื่นแดงของผิวหนัง มีไข้และติดเชื้อ การวินิจฉัยโรคจะทำโดยใช้วิธีการทดสอบ Patch Test โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดอาการแพ้มากขึ้นคือ ปริมาณสารเคมีที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิต และสถานะของผิวหนังในขณะนั้น ความแตกต่างของ ICD และ ACD คือ ICD จะแสดงอาการให้เห็นในระยะเวลาสั้นกว่า ขณะที่ ACD ต้องใช้เวลา 1-3 วัน และบริเวณที่เกิดอาการแพ้ของ ICD จะเกิดเฉพาะบริเวณที่มีการสัมผัสเท่านั้น ไม่สามารถลุกลามไปบริเวณอื่นได้เหมือนกับ ACD [12]

3) Type I IgE-Mediated Hypersensitivity Reaction เป็นอาการแพ้ขั้นรุนแรงที่สุด พบในผู้ป่วย 5-15 % เนื่องจากโพรตีนที่อยู่ในน้ำยางหรือผลิตภัณฑ์ยางหลังกระบวนการผลิตมากกว่าการแพ้

ที่เกิดจากการสัมผัสกับแป้งข้าวโพด หรือสารเคมีที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ยาง โดยโปรตีนจะซึมสู่ผิวหนัง และร่างกายจะสร้างภูมิคุ้มกัน IgE Antibodies ขึ้นมาเพื่อป้องกันอาการแพ้ นอกจากนี้ Latex Protein ยังสามารถดูดซึมโดยส่งผ่านทางอากาศได้อย่างช้า ๆ โดยจะแสดงอาการภายใน 30 นาทีที่สัมผัส เริ่มต้นจากการเกิดผิวหนังอักเสบ เยื่อจมูกอักเสบและเยื่อตาขาวอักเสบ อนุภาคของแป้งและ Latex Protein ที่รวมตัวกันนี้จะปลิวออกมาในอากาศและทำให้เกิดอาการหดรัดตัวของกล้ามเนื้อหลอดลม (Bronchoconstriction) ทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจตามมาในภายหลัง เรียกอาการโดยรวมนี้ว่า Urticarial ส่วน Anaphylaxis นั้นเป็นอาการที่รุนแรงมากกว่า Urticarial เนื่องจากสาร Allergens จะเข้าสู่กระแสเลือดทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเร็วขึ้นและความดันเลือดลดลงอย่างรวดเร็ว [12]

สารที่ทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ (Allergens) ที่อยู่ในน้ำยางธรรมชาติและเป็นสาเหตุของ IgE-Mediated Allergic นั้น ได้แก่ Hev b1 ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ที่พบในเด็กเป็นส่วนใหญ่ และ Hev b1 และ Hev b3 ที่มีการสร้างขึ้นมาอย่างผิดปกติ ก็เป็นสาเหตุหนึ่งของอาการแพ้ได้เช่นกัน นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า 43 % ของผู้ป่วยที่มีอาการแพ้โปรตีนจากน้ำยางธรรมชาตินั้น อาจมีอาการแพ้ที่เกิดจากการย่อยอาหารร่วมด้วย โดยเฉพาะเมื่อรับประทานผลไม้เขตร้อน (Tropical Fruit) โดยพบว่าในผลไม้เหล่านั้นมีโปรตีนที่ต่อต้านเชื้อโรคในร่างกาย (Fruit Specific IgE Antibodies) เช่น ชาวเยอรมันจะแพ้ผลกีวี กล้วย และมะเขือเทศ ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่ามีการทำปฏิกิริยาร่วมกัน (Cross Reaction) ระหว่างอาหารและโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้ผู้ป่วยมีความไวต่ออาการแพ้มากขึ้น [13]

2.4 การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ

การกำจัดหรือการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ (Deproteinisation) เพื่อป้องกันอาการแพ้แบบ Type-I และเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีระดับของโปรตีนต่ำ สามารถทำได้โดยใช้วิธีการ เช่น การเหวี่ยงหมุนหลายครั้ง (Multi Centrifuging) หรือการแยกด้วยเมมเบรน (Membrane Filtration) วิธีเคมี เช่น การย่อยโปรตีนด้วย Proteolytic Enzyme หรือการใช้สารลดแรงตึงผิวแล้วตามด้วยการทำให้บริสุทธิ์โดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยงให้ตกตะกอนหรือส่วนที่หนักกว่านอนก้น (Centrifugation) หรือการทำให้แป้งเป็นเนือครีม (Creaming) โดยสามารถใช้ Centrifugation ร่วมกับ Creaming ได้ [14]

2.4.1 วิธีเคมี Vystar ได้พัฒนาเทคโนโลยีเพื่อกำจัดโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ (Allergenic Protein; AP) โดยการใช้สารเคมีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Aluminium Hydroxide; Al(OH)₃) และ ซิลิกาไดออกไซด์ (Silica Dioxide; SiO₂) ทำปฏิกิริยากับน้ำยางก่อนเข้าสู่กระบวนการวัล

คาปอนเซชัน (Vulcanization) ซึ่งสามารถทำให้ระดับของ AP ลดลงน้อยกว่า 0.2 g/g [8] ซึ่งสารเคมีที่ใช้เติมนั้นแบ่งเป็น 5 ชนิดคือ

1) Inorganic salts ได้แก่ อะลูมิเนียมคลอไรด์ (Aluminum Chloride; $AlCl_3$) อะลูมิเนียมซัลเฟต (aluminum sulfate; $Al_2(SO_4)_3$) 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 Hydroxid; $Al(OH)_3$) ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium Dioxide; TiO_2) ฟูมซิลิกา (Fumed Silica) และซีโอไลต์ (Zeolyte) เนื่องจากสารประกอบนี้ไม่ละลายน้ำ จึงใช้เติมลงใน 45-50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ก่อน ส่วน TiO_2 ปกติจะละลายในด่าง โดยจะเติมลงใน NaOH 50%

3) Metal Powder ได้แก่ อะลูมิเนียม (Aluminum; Al) ซิลเวอร์ (Silver; Ag) และอะลูมิเนียมไวร์ (Aluminum Wire; Al-wire) ที่อยู่ในรูปของแข็ง สามารถใช้เติมในน้ำอย่างธรรมชาติได้โดยตรง

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) ที่สามารถเติมในน้ำยางได้ทั้งในรูปของของเหลวสารละลายหรือของแข็ง

5) Polymeric absorbents ได้แก่ Lupamin 9010; Lupamin 1595 (BASF); Lupasol FG; lupasol G20 (BASF) และ Lignins [15] Vystar เตรียมสารเคมีที่ใช้กำจัดสาร Allergens คือ $Al(OH)_3$ (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 $Al(OH)_3$) การทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำยางธรรมชาติและส่วนผสมของสารเคมีดังกล่าวจะทำให้ความทนทานต่ออายุการใช้งาน (Aging Resistance) ดีขึ้น การที่น้ำยางธรรมชาติทำปฏิกิริยากับ SiO_2 จะลด Break Point ลง แต่ก็เพิ่มความเสถียร (Stability) และการย่อยสลาย (Degradation) รวมทั้งความทนทานต่อแรงดึงและการยืดตัวจุนขาดของยาง [8]

2.4.2 การใช้เอนไซม์ (Enzyme Treatment) การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาตินั้นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากช่วยรักษาคุณสมบัติเดิมทางกายภาพและสมรรถภาพของยางธรรมชาติปกติยางธรรมชาติจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบประมาณ 2 % โดย

น้ำหนัก สามารถละลายได้ในน้ำและอยู่ในรูปของสารสกัดโปรตีน (Extracted Protein) ในกระบวนการผลิตถุงมือยางที่ใช้ทางการแพทย์นั้น โปรตีนจะย้ายไปอยู่ที่ผิวหน้าของถุงมือยางขณะอบแห้ง (Drying) และการขึ้นรูปยางโดยใช้ความร้อน (Heat Vulcanization) ทั้งนี้การชะล้างด้วยน้ำ (Water Leaching) สามารถกำจัดโปรตีนออกจากผิวหน้าได้ แต่ไม่สามารถกำจัดออกได้หมด ซึ่งเอนไซม์ที่ใช้ ได้แก่ Proteases เป็น Hydrolytic Enzyme ที่สามารถทำให้พันธะเพปไทด์เกิดการแยกออกได้ ซึ่งการใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในน้ำยางเป็นวิธีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เอนไซม์นี้ได้จากการหมักแบคทีเรียสายพันธุ์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (Nonpathogenic Strain Bacteria) โดยใช้ในรูปของผงหรือสารละลาย ในปี 1998 บริษัท Tillotson Healthcare Corporation ได้ร่วมมือกับบริษัท Alloxx, LLC ใช้เอนไซม์ย่อยโปรตีนในน้ำยางและพบว่าสามารถลด Allergenic Protein ได้สูงถึง 95 % (จากการทดสอบด้วยวิธี ELISAs และ RASTs Test) [10] นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ Papain ที่สามารถย่อยสลายโปรตีนได้ ซึ่งผลิตจากมะละกอ (Carica Papaya) โดยพบว่าถุงมือยางที่ใช้เอนไซม์ปาเปน ย่อยสลายโปรตีนนี้สามารถลดปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในถุงมือยางได้น้อยกว่า $50 \mu\text{g}/\text{dm}^2$ [14] นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกับการล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวมีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากในการเตรียมน้ำยางธรรมชาติที่มีความบริสุทธิ์สูง [16]

การใช้เอนไซม์ช่วยย่อยสลายโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติทำได้โดยใช้ Alkaline Proteases 0.025% ทำปฏิกิริยากับน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียที่ผ่านการเหวี่ยงหมุน (Centrifuged 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 ที่เป็นปัญหาของผู้ที่ใช้งานผลที่ได้แสดงในตารางที่ 1 [10]

2.4.3 การใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant Treatment) สารลดแรงตึงผิวนชนิด 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 Creamingphase Separation - Redilution) จะลดสาร Allergens ได้มากถึง 98-99% [17] ในขั้นตอนในการลดสาร Allergens ที่ชี้ให้เห็นว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวทำให้ปริมาณสาร Allergens ลดลงเป็นอย่างมาก (ทั้ง Triton™ X-100 และ SDS) แต่การใช้สารลดแรงตึง

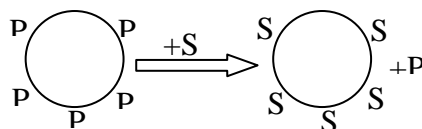
ผิวก็มีข้อเสียคือ ทำให้ประสิทธิภาพในการวัลคาไนเซชันลดลง โดยดูจากค่า Crosslink Density

2.4.4 การใช้ Fumed Silica กลไกการลดโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติของซิลิกา นั้น อาจเนื่องมาจากการรวมตัวของสารประกอบระหว่างโปรตีนและไขมันในน้ำยาง เมื่อเติมแอมโมเนียลงไปเพื่อรักษาความเข้มข้นของน้ำยางแล้วจะทำให้ส่วนที่เป็นไขมันไฮโดรไลซ์อย่างช้า ๆ และเกิดการกรดไขมัน (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 [18] 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) รวมทั้งยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile) และความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasion Resistance) ของยาง เนื่องจากอนุภาคของ Fumed Silica มีความละเอียดจึงทำให้แผ่นฟิล์มยางที่ผลิตขึ้นมีลักษณะโปร่งแสง (Translucent) [19]

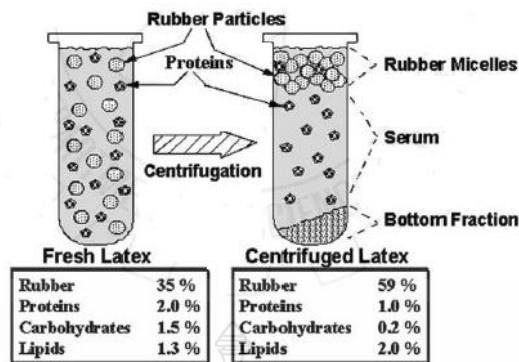
2.5 วิธีการที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ [10]

2.5.1 การเหวี่ยงหมุนของน้ำยางธรรมชาติ (Centrifugation of NRL)

โปรตีนประมาณ 75% ในน้ำยางธรรมชาติ จะละลายอยู่ในรูปของ Serum Fraction ขณะที่อีก 25 % จะรวมตัวกันอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาคน้ำยาง การเหวี่ยงหมุนน้ำยางจะทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำในน้ำยางลดลง ปริมาณครึ่งหนึ่งของสารละลาย Extracted Protein จะถูกกำจัดออกจากน้ำยางธรรมชาติโดยการเหวี่ยงหมุน จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่า การเหวี่ยงหมุนสามารถลดโปรตีนในน้ำยางดิบได้ถึง 50 % และ เมื่อทำการเหวี่ยงหมุน 2 ครั้งจะมีผลทำให้ปริมาณโปรตีนถูกกำจัดออกไปมากถึง 63 %



รูปที่ 2.3 กลไกการแทนที่ของโปรตีนโดยซิลิกา [18]



รูปที่ 2.4 ปริมาณ โปรตีนและสารอื่น ๆ ในน้ำยางดิบก่อนและหลังการเหวี่ยงหมุน [10]

2.5.2 การทำให้น้ำยางธรรมชาติเป็นเนื่อครีม (Creaming of NRL) เป็นวิธีการที่ทำให้อนุภาคของยางในน้ำยางลอยตัวสูงขึ้นอย่างช้า ๆ เกิดชั้นของน้ำยางที่มีลักษณะเป็นเนื่อครีม (Creamed Latex) บริเวณด้านบนโดยการเติมสารที่เรียกว่า Creaming Agents เช่น Alginate และเมทิลเซลลูโลสพอลิเมอร์ เพื่อเพิ่มความหนาแน่นในการลอยตัวของน้ำยาง วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากกว่า Centrifugation แต่ก็ใช้เวลานานกว่า โดยทั่วไป Creamed Latex จะมีความเข้มข้นตั้งแต่ 68% เนื่องจากชั้นของ Serum Phase ถูกกำจัดออกไปมากกว่า Centrifugation นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดโปรตีนในน้ำยางที่มีขนาดเล็กออกไปได้มากกว่าด้วย

2.5.3 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 และซัลเฟอร์มีความจำเป็นต้องใช้ในขณะให้ความร้อนแก่ยางเพื่อช่วยให้ง่ายเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ข้อดีของวิธีนี้คือ เมื่อแผ่นฟิล์มของยางแห้งจะมีความแข็งแรงและคุณสมบัติความยืดหยุ่นดี แต่ข้อเสียคือ ความแข็งแรงของแผ่นฟิล์มยางดิบขณะเป็นเจลเปียก (Wet Gel Strength) มีค่าน้อยกว่าแผ่นฟิล์มยางดิบที่ไม่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชัน (Nonprevulcanization) โดยทั่วไปถุงมือยางที่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชันจะมีปริมาณ Extracted Protein สูงกว่าโพสท์วัลคาไนเซชัน (Postvulcanization) ซึ่งอาจเป็นเพราะน้ำยางที่ผ่านการพรีวัลคาไนเซชันมีปริมาณน้ำและความ

พรุนของแผ่นฟิล์มมากกว่านั่นเอง ทำให้ Extracted Protein ซึมเข้าสู่ผิวหน้าของแผ่นฟิล์มยางได้ขณะอบแห้ง ยิ่งใช้อุณหภูมิในการอบแห้งสูงก็จะทำให้ปริมาณ Extracted Protein สูงขึ้นด้วย

2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณโปรตีนที่ทำให้เกิดอาการแพ้ [15]

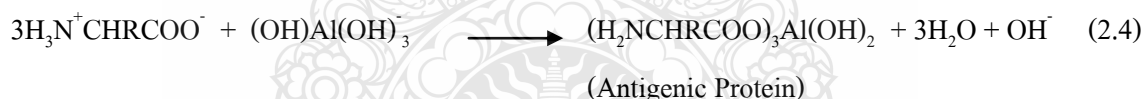
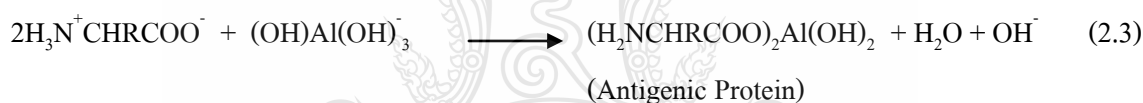
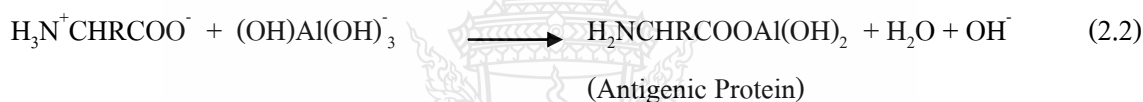
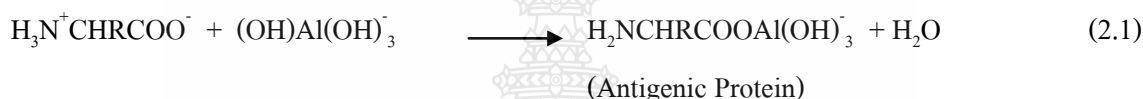
2.6.1 pH และวิธีการปรับ การรักษาค่า pH ให้คงที่นั้นมีความสำคัญมากต่อกระบวนการผลิตน้ำยาง การปรับ pH (pH Adjustment) จะใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และ/หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์กับแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (KOH-NH₄-OH) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ Functional Group ของโปรตีนชนิดที่เป็นกรดหรือเบส pH ที่ใช้ในตอนแรกมีค่าน้อยกว่า 10 จากนั้นจะใช้ pH ที่สูงขึ้นถึง 11ก่อนจะมีการเติมสารลงไปเพื่อปรับค่า pH ได้แก่โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์พบว่า การเติมสารดังกล่าวจะทำให้ปริมาณ Allergenic Protein เพิ่มขึ้นจาก 1;123.7 $\mu\text{g/ml}$ เป็น 60;000 $\mu\text{g/ml}$ จะเห็นได้ว่าการที่ปริมาณ Allergenic Protein ที่เพิ่มขึ้นมานั้น มาจากการใช้ pH สูงและการใช้อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ (Al(OH)₃) จะช่วยลด Allergenic Protein ลงได้มากกว่าการใช้สารตัวอื่น

2.6.2 Soluble Inorganic และ Organic Compounds การใช้สารประกอบอนินทรีย์ (Inorganic Compounds) ได้แก่ แมกนีเซียมคลอไรด์ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์อะลูมิเนียมคลอไรด์ ซิลเวอร์ไนเตรต อะลูมิเนียมซัลเฟต และซิงค์ไอโอไดด์ จะมีประสิทธิภาพในการลด Allergenic Protein ได้ดีกว่า สารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) ได้แก่ คอปเปอร์อะซิเตต ซิงค์กลูโคเนต ซิงค์อะซิเตต และเกลือโซเดียมของกรดเบนซีนซัลโฟนิค

2.6.3 Metallic Additives และ Absorbents สาร Metallic Additives ได้แก่ ซิลเวอร์และอะลูมิเนียมสามารถลด Allergenic Protein ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณทั้งหมด การใช้ Inorganic Absorbents ได้แก่ ไททานเนียมไดออกไซด์ Fumed Silica และซีโอไลต์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ไททานเนียมไดออกไซด์และ Fumed Silicaทำให้ Allergenic Protein มีค่าต่ำสุด (จาก 116 $\mu\text{g/ml}$ เป็น 384 $\mu\text{g/ml}$) และซีโอไลต์มีประสิทธิภาพในการลด Allergenic Protein ในน้ำยางธรรมชาติ Organic Absorbents ได้แก่ Merrifield's Peptide Resin; Acrylamide; Polyacrylamide; Vinylamine - Vinylformamide และ Polyethylenimine สารดูดซับเหล่านี้มีประสิทธิภาพในการลด Allergenic Protein ได้อย่างจำกัดและไม่เหมาะสำหรับใช้เพียงอย่างเดียว

2.6.4 Mixed Additives การใช้สารหลายชนิดร่วมกันเพื่อลด Allergenic Protein ให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดนั้น สามารถทำได้โดยการนำน้ำยางมาทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์และนำมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และเติมสารดูดซับ (เช่น Fumed Silica และ Lignin

Curan 2711P)ร่วมด้วยนั้น ผลที่ได้จะทำให้ปริมาณ Allergenic Protein ลดลงใกล้เคียงกับการใช้ อะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ในสภาวะต่างเพียงอย่างเดียว 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 จับอยู่ได้ บางส่วนหรือได้ทั้งหมด ซึ่งปฏิกิริยาของโปรตีนที่จับตัวกับอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์นั้น สามารถเกิดได้ 4 แบบ (สมการที่ 1-4) ดังต่อไปนี้



2.7 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

2.7.1 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) และกวนอย่างช้า ๆ ด้วยความเร็ว 30-50 รอบ/นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำน้ำยางมา Centrifugation 2 ครั้ง ที่ความเร็ว 10;000 รอบต่อ นาที อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที น้ำยางชั้นหลังจาก Centrifugation จะมีลักษณะเป็นครีม (เข้มข้น 70%) จะถูกนำมาเจือจางจนได้ความเข้มข้น 30% หรือ 60% แล้วนำน้ำยางที่ได้มานั้นมาศึกษาคุณสมบัติโดยทั่วไปตามมาตรฐาน ASTM 1076-97 ต่อไป [4]

2.7.2 การเตรียมแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ [20]

แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำเตรียมโดยวิธีการจุ่ม ดังนี้

- 1) ล้างแบบพิมพ์ลูกโป่งให้สะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 °C
- 2) นำแบบพิมพ์จุ่มลงในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ 10% นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 °C จนแห้งหมด ๆ
- 3) จุ่มแบบพิมพ์ในยางคอมเปานด์ช้า ๆ 3 วินาที ค่อย ๆ ดึงขึ้นด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอ
- 4) นำไปอบที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที
- 5) แกะออกจากแบบพิมพ์เพื่อนำไปทดสอบสมบัติ

2.7.3 คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

1) คุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

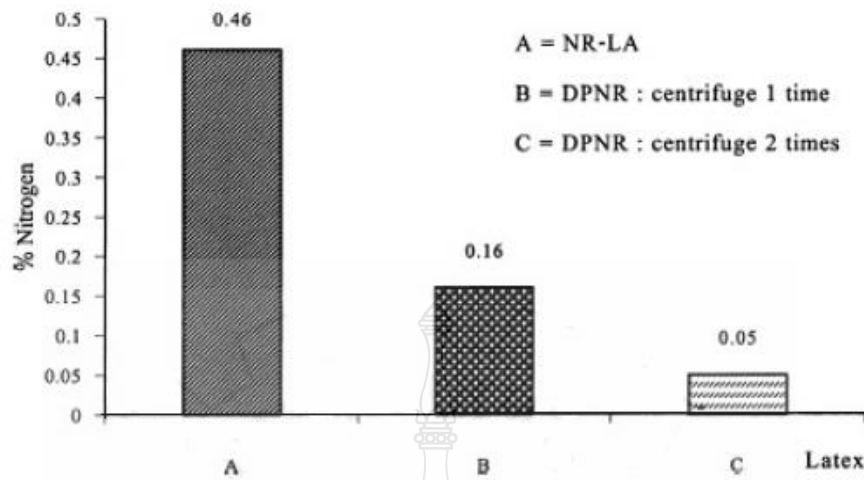
ปริมาณเนื้อยางแห้งและของแข็งทั้งหมดของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (NR-LA) และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (DPNR) จะมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 2 % ค่า pH ของ DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA เพียงเล็กน้อย เนื่องจากแอมโมเนียบางส่วนระเหยออกไปในช่วงที่มีการ Centrifugation ส่วนค่าความหนืดและความตึงผิวของ DPNR มีค่าต่ำกว่า 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 2.5)

ตารางที่ 2.2 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 (μ m)	0.827	0.818
Molecular weight (g/mol)	6.92×10^5	6.71×10^5

2) คุณสมบัติทางกายภาพของแผ่นฟิล์มที่เตรียมจากยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

คุณสมบัติโมดูลัส ความทนทานต่อแรงดึงจนขาด ความทนทานต่อการยืดจนขาด และสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR และ NR-LA (ตารางที่ 3) พบว่า 300 % โมดูลัส; 500 % โมดูลัส และความทนทานต่อแรงดึงจนขาดของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เนื่องจาก DPNR มีการกำจัดโปรตีนบางส่วนออกด้วยเอนไซม์ การเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของ DPNR จะมีค่าน้อยลง ทำให้สมบัติทางกายภาพของ DPNR ลดลงทำนองเดียวกันความทนทานต่อการยืดจนขาดของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR จะมีค่าสูงกว่า NR-LA ทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่ง สำหรับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจาก DPNR มีค่าต่ำกว่า NR-LA เนื่องจากโปรตีนบนอนุภาคยางมีปริมาณน้อยลง ทำให้ความสามารถในการเกาะติดผิวของยางกับวัสดุอื่นลดลง



รูปที่ 2.5 ปริมาณไนโตรเจนในน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ [4]

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ

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	1.72±0.24

ที่มา : เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ คงคต (2547) [4]

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

2.8 น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Latex) [7]

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หมายถึง น้ำยางที่เกิดพันธะเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โพลีเมอร์ (Crosslink) ของน้ำยาง โดยการเติมสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) หรือใช้ตัวกระตุ้นอื่น ๆ จนเมื่อได้รับการวัลคาไนซ์ตามต้องการแล้วจึงหยุดปฏิบัติการวัลคาไนซ์

น้ำยางพรีวัลคาไนซ์หรืออาจเรียกว่าน้ำยางคงรูป เป็นน้ำยางที่โมเลกุลภายในอนุภาคของยางเชื่อมโยงกันด้วยพันธะทางเคมี ดังนั้น เมื่อทำให้แห้งจะได้แผ่นฟิล์มที่คงรูปโดยไม่ต้องอาศัยความร้อน อีกวิธีนำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ของ Schidrowit ใช้สารเคมี Sodium Polysulphidesulphur และ Zinc Oxide ผสมลงในน้ำยาง และผ่านไอน้ำที่มีอุณหภูมิ 145 °C เป็นเวลานาน 30-45 นาที นอกจากนี้วิธีนี้ยังมีการทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์อีก 2 วิธี สำหรับประโยชน์ของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เหมาะสำหรับการใช้ในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อนำไปใช้ในการผลิตถุงมือยาง ลูกโป่งสารเคมี ฯลฯ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมัน น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ใช้ได้สะดวกในผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม น้ำยางพรีวัลคาไนซ์เหมาะกับโรงงานที่ใช้น้ำยางจำนวนน้อยและสารเคมีน้อย ๆ

2.8.1 การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์[21]

วิธีการผลิตน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ประกอบด้วยการนำน้ำยางข้น หรือน้ำยางสดมาผสมกับสารเคมีในระบบทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing System) ซึ่งประกอบด้วยซิงค์ออกไซด์ สารเร่งปฏิกิริยา เช่น Zinc Diethyl Dithiocarbamate (ZDC) และซัลเฟอร์ และสารระบบช่วยความคงตัว (Stabilizer) ตัวอย่างสูตร ให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมเคมีแล้วที่อุณหภูมิประมาณ 70-80 องศาเซลเซียส เวลาประมาณ 2 ½ ชม. ตรวจสอบสถานการณ์คงรูปของน้ำยางโดยทดสอบการจับตัวของน้ำยางด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform Test) เมื่อได้สถานะคงรูปตามต้องการซึ่งปกติสังเกตจากก้อนยางจับตัวมีลักษณะเป็นก้อนนิ่มเหนียวเล็กน้อยทำให้เย็น ตรวจสอบคุณภาพ ถ้าใช้น้ำยางสดทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์เมื่อได้น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ต้องการแล้วจะนำเข้าเครื่องปั่นทำให้เข้มข้นประมาณ 58-60% (On Solid) และถ้าใช้น้ำยางข้นทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ เมื่อปฏิกิริยาการทำพรีวัลคาไนซ์ได้ตามต้องการแล้ว จะทำการกรองน้ำยาง เพื่อแยกสารเคมีที่เหลือและแยกยางที่อาจจับเป็นฝ้าที่ผิวออก น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ที่ดีสามารถเก็บไว้ใช้งานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้นับเป็นเวลาไม่ต่ำกว่า 6 เดือน

การเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยใช้ระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกัมมะถัน

1) แบบเช่นดีฟิวจ์ภายหลัง มีวิธีการผลิตคือเติมค่าและสารรักษาความเสถียรปริมาณเล็กน้อยในน้ำยาง 60% เพื่อให้มีน้ำยางมีความเสถียรโดยใช้โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Sodiumcarboxymethyl Cellulose) หรือโซเดียมเคซีน (Sodiumcaseinate) โดยจะไม่ใช้สารรักษาความเสถียรกลุ่ม เอทอกซีเลต (Ethoxylate) เพราะสารรักษาความเสถียรกลุ่มนี้จะตกตะกอนที่อุณหภูมิสูง หลังจากนั้นจึงไล่แอมโมเนียออกจากน้ำยาง โดยใช้การระบายอากาศ หรือใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) เพื่อลดปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางให้น้อยลง จะไม่เสี่ยงต่อการเกิดปฏิกิริยา Zinc Oxide Thickening ซึ่งเป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียความเสถียร แล้วอุ่นน้ำยางประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 30 °C ก่อนที่จะเติมสารเคมีลงไป ทั้งนี้เนื่องจากสารเคมีจะมีประสิทธิภาพในการแตกตัวมาก

ขึ้นเมื่อเติมลงในน้ำยาง แล้วจึงเติมกำมะถัน ซิงค์ออกไซด์ และสารตัวเร่งในปริมาณที่มากเกินไปแล้ว จึงค่อย ๆ เพิ่มอุณหภูมิขึ้นอย่างช้า ๆ จนถึงอุณหภูมิช่วง 55-80 °C แล้วจึงควบคุมอุณหภูมิคงที่ไปเรื่อย ๆ จนได้ระดับการวัลคาไนซ์ตามต้องการ โดยใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงแยกสารเคมีที่เหลือ ออกจากปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์โดยการตกตะกอนหรือการปั่นแยก

การเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์จะเริ่มเมื่อปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอย่างช้า ๆ โดยระหว่างเพิ่ม อุณหภูมิจะต้องกวนน้ำยางตลอดเวลา เพื่อไม่ให้เกิดฟิล์มยางและไม่ให้เกิดฟองที่ผิวหน้าของน้ำยาง โดยภาชนะที่บรรจุน้ำยางที่จะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์นั้นควรจะมีส่วนที่ผ่านไอน้ำหรือผ่านน้ำเย็นได้ เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิและควรมีเครื่องกวนติดกับภาชนะเมื่อได้รับการวัลคาไนซ์ตามต้องการ จึงลด อุณหภูมิให้น้ำยางเย็นและกรองน้ำยางแยกเอาส่วนที่เหลือเกินพอลิเมอร์ออกจากปฏิกิริยา จากนั้นจึงทิ้งไว้ ประมาณ 7 วัน ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปใช้งาน เพื่อให้มีคุณภาพสม่ำเสมอและสะดวกในการ แปรรูป

2) แบบไม่ต้องเซ็นทรัลไฟว์ เตรียมโดยผสมสารเคมีต่าง ๆ ลงในน้ำยางโดยปริมาณสารเคมีที่ ใช้จะใช้ในปริมาณที่พอดีกับระดับการวัลคาไนซ์ที่ต้องการ และสารเคมีนั้นต้องอยู่ในรูปคิสเพอร์ชันที่ ละเอียด วิธีนี้จะไม่ไถ่แอมโมเนียออกจากน้ำยาง และสารเคมีต่าง ๆ ที่เติมลงในน้ำยางจะถูกใช้ใน ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ทั้งหมด ทำให้ไม่ต้องแยกสารเคมีต่าง ๆ ออกจากน้ำยาง หากต้องการฟิล์มยาง ที่ใส ควรใช้ปริมาณของซิงค์ออกไซด์ให้น้อยลง เพราะนอกจากจะทำให้ฟิล์มยางใสขึ้น อีกทั้งยังเป็น การลดปริมาณซิงค์ออกไซด์ ซึ่งทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยไม่ ใช้ซิงค์ออกไซด์สามารถทำได้แต่ต้องใช้ระบบการเร่งปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นกว่าเดิมและให้ความร้อนนาน ขึ้น

3) การเลือกใช้สารกระตุ้นและสารตัวเร่งในระบบกำมะถัน การทำน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ใน ยางธรรมชาติจะใช้สารตัวเร่งกลุ่มไดโรโอคาร์บาเมต (Dialkyldithiocarbamates) โดยมีสาร ตัวเร่งกลุ่ม ไธอาโซล (Thiazole) เป็นสารตัวเร่งรอง [22] แต่ไม่ได้รับความนิยมมากนักเพราะเป็นอันตรายต่อ สุขภาพ สารตัวเร่งทั้งสองกลุ่ม คือกลุ่มไดโรโอคาร์บาเมต (Tialkyldithiocarbamates) และกลุ่มไทอา โซล (Thiazole) มีทั้งละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ เช่น ซิงค์ไดโรโอคาร์บาเมต (Zinc Diethyldithiocarbamate) และซิงค์เมอร์แคปโทเบนโซไธอาโซล (Zinc Mercaptobenzo Thiazole)

สารตัวเร่งที่ละลายน้ำได้จะเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย (Solution) ส่วนสารตัวเร่งที่ไม่ ละลายน้ำจะเตรียมให้อยู่ในรูปคิสเพอร์ชัน (Dispersion) โดยจะนิยมใช้ตัวที่ไม่ละลายน้ำมากกว่า เพราะจะไม่บวมออกมาหลังจากการล้างฟิล์มยางหลังจากการวัลคาไนซ์ (Post-Vulcanized) แต่สาร

ตัวเร่งที่เหลือจากปฏิกิริยาจะช่วยให้อัตราการวัลคาไนซ์ภายหลัง สมบูรณ์ขึ้นและสารเหล่านี้ยังเป็นสารป้องกันการเสื่อม (Antioxidant) โดยรวมตัวเป็นฟิล์มเกาะอยู่บริเวณผิวหน้าของยาง

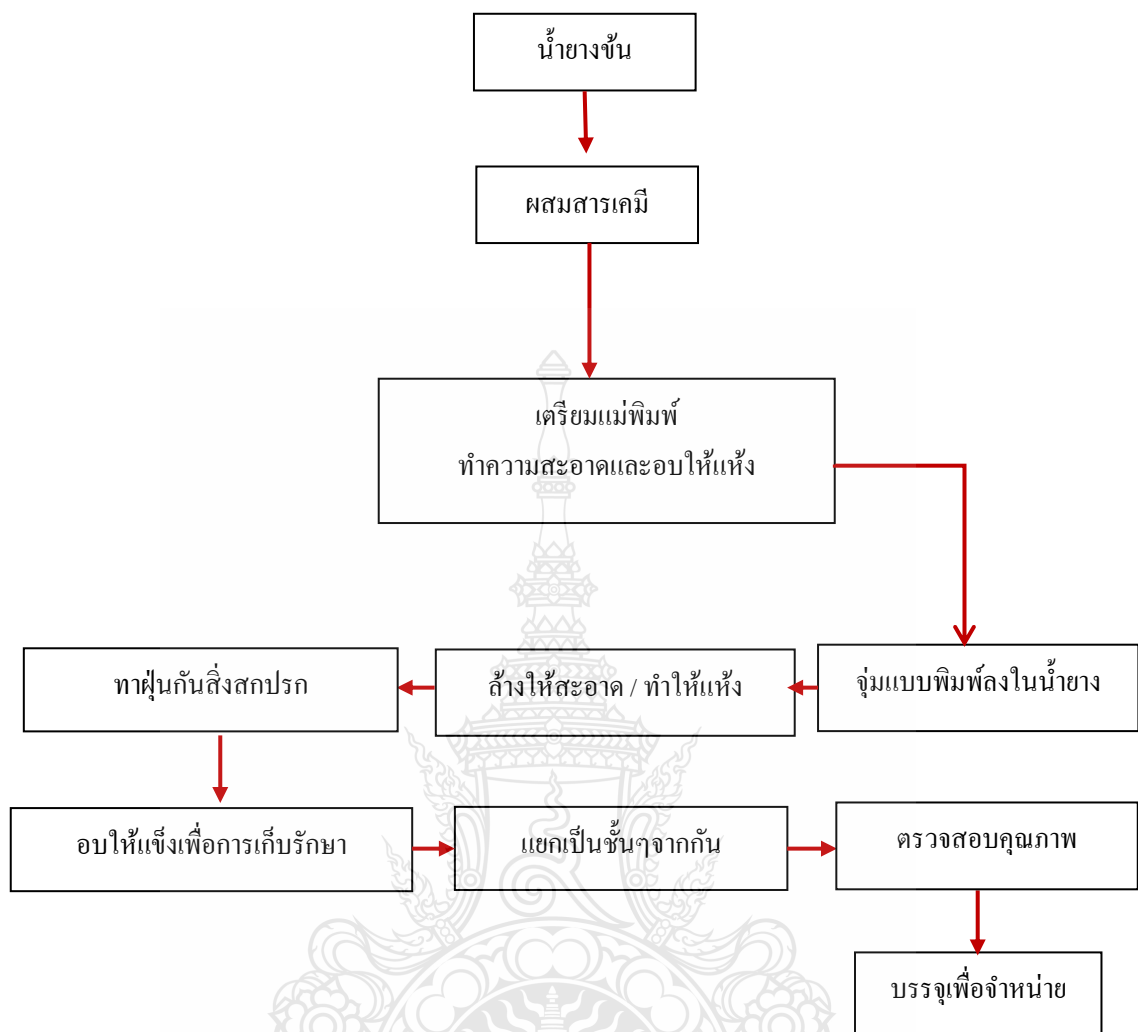
สารกระตุ้นที่นิยมใช้คือซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) และซิงค์คาร์บอเนต (Zinc Carbonate) โดยปกติจะใช้ซิงค์ออกไซด์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความใสมากนัก สำหรับซิงค์คาร์บอเนตจะใช้ในกรณีที่ต้องการฟิล์มยางมีความใสมาก ๆ เพราะสารตัวนี้จะละลายน้ำได้ดี ทำให้สามารถล้างออกได้ง่าย จึงไม่เหลือสารเคมีที่ตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์

4) กลไกการเกิดปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ในระบบกำมะถัน (Sulphur Vulcanization Mechanism) จะเกิดการวัลคาไนซ์เซชันในน้ำยาง เริ่มต้นปฏิกิริยาจะเกิดในชั้นของน้ำ ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันจะเกิดขึ้นโดยไม่เปลี่ยนสถานะในน้ำยาง ปฏิกิริยานี้จะเกิดเร็วขึ้น เมื่อมีการเติมสารตัวเร่งลงในน้ำยาง ซึ่งสารตัวเร่งที่เติมลงไปนั้นต้องเตรียมอยู่ในรูปคอลลอยด์ (Colloid) กลไกการเกิดปฏิกิริยาจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ปฏิกิริยาที่เกิดภายนอกอนุภาคของน้ำยาง และปฏิกิริยาภายในอนุภาคของน้ำยาง [23]

กลไกการเกิดปฏิกิริยาภายนอกอนุภาคของน้ำยาง คือ ส่วนที่เป็นน้ำ ปฏิกิริยาจะเริ่มเกิดเมื่อกำมะถันและสารตัวเร่งทำปฏิกิริยากัน ถ้าสารเหล่านี้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมอนุภาคของน้ำยางก็จะดูดซับสารเหล่านี้เข้าไปบริเวณผิวอนุภาค จากนั้นอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่อยู่ในสารตัวเร่ง กับไฮดรอกไซด์ไอออน จะทำปฏิกิริยากับสารตัวเร่ง โดยปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดบริเวณผิวของอนุภาคยาง หลังจากนั้นสารตัวเร่งกับกำมะถันได้เข้ามาอยู่ในอนุภาคน้ำยาง การเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดพันธะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยางได้เร็วขึ้น ในขั้นตอนสุดท้ายของปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์สารเคมีต่าง ๆ จะอยู่ที่อนุภาคของน้ำยางและเกิดพันธะการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โมเลกุลของน้ำยางด้วยพันธะมอนอซัลฟิดิก (Monosulphidic) ไดซัลฟิดิก (Disulphidic) และพอลิซัลฟิดิก (Polysulphidic) ซึ่งปริมาณของพันธะเชื่อมขวางในขั้นตอนสุดท้ายนั้นขึ้นกับ ปัจจัยหลายอย่างคือ อัตราส่วนของสารตัวเร่งกับกำมะถันและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น [6]

2.9 กระบวนการผลิตถุงมือยาง [24-26]

ในกระบวนการผลิตถุงมือยางน้ำยางข้นจะถูกเตรียมโดยผสมสารเคมีแม่พิมพ์รูปมือที่ผ่านการทำความสะอาดและเป่าแห้งแล้วจะจุ่มลงในน้ำยางแล้วล้างทำความสะอาดนำเข้าอบให้คงรูปการอบมีทั้งแบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าและแบบที่ใช้ไอน้ำจากนั้นนำไปตรวจสอบคุณภาพและบรรจุเพื่อจัดจำหน่าย



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตถุงมือยาง [5]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

W. Klinklai [27] และคณะ ได้ศึกษาการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำจากน้ำยางสดที่มีแอมโมเนียสูง (High-Ammonia Latex) นำมากำจัดโปรตีนด้วยยูเรีย (Urea) โดยใช้โซเดียม โดเดคซิล ซัลเฟต (Sodium Dodecyl Sulfate; SDS) เป็นสารลดแรงตึงผิว งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นยูเรีย อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพื่อกำจัดโปรตีนออกจากยางธรรมชาติโดยผลที่ได้จากการทดลองนี้ถูกตรวจวัดหาปริมาณโปรตีน (Nitrogen Enzyme) ด้วยวิธี Kjeldahl เพื่อเปรียบเทียบกับกำจัดโปรตีนโดยใช้เอนไซม์โปรติโอไลติก (Proteolytic Enzyme) ทั้งนี้ผลการทดลองพบว่าที่สภาวะที่ดีที่สุด คือ อุณหภูมิของการทำปฏิกิริยา 303 K ในระยะเวลา 10 นาที หลังจาก

การเติมยูเรีย และที่ความเข้มข้นของยูเรียเป็น 0.1 wt% พบว่าสามารถกำจัดโปรตีนด้วยยูเรียให้เหลืออยู่เพียง 0.005 wt% และให้ผลดีกว่าการกำจัดโปรตีนด้วยเอนไซม์โปรตีนโอล์ติกที่มีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ถึง 0.014 wt%

ในปี พ.ศ.2537 กลุ่มวิจัยของ วราภรณ์ ขจรไชยกูลและคณะ [3] ได้ทำการผลิตถุงมือทนกรดและสารเคมีจากน้ำยางธรรมชาติผสมกับน้ำยางคลอโรพรีน ซึ่งเป็นน้ำยางสังเคราะห์ชนิดที่ทนกรดและสารเคมี และผสมสารเคมี โดยแปรสัดส่วนผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับน้ำยางสังเคราะห์ และปรับปริมาณการใช้สารในระบบทำให้ยางคงรูปให้เหมาะสมกับน้ำยางคลอโรพรีน พบว่า สมบัติการดึงยาง ความทนต่อกรดอะซิติก (CH_3COOH) และความทนต่อตัวทำละลายอะซิโตนลดลง แต่ความทนต่อกรดไนตริก (HNO_3) ดีขึ้น ส่วนความทนต่อกรดและตัวทำละลายอื่น ๆ ที่ได้ทดลองไม่ต่างกับสูตรที่ใช้ น้ำยางธรรมชาติอย่างเดียว การพิจารณาออกสูตรการใช้งานถุงมือที่ใช้งานสัมผัสกรดก็สามารถใช้น้ำยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียวได้เช่นกัน

ในปี พ.ศ.2534 วราภรณ์ ขจรไชยกูล [26] กล่าวถึงเทคโนโลยีทั่วไปที่เกี่ยวกับการผลิตถุงมือใช้งานบ้าน รายละเอียดเกี่ยวกับน้ำยาง สารเคมีและการออกสูตรที่เหมาะสม ขั้นตอนการผลิต การควบคุมกระบวนการเพื่อการผลิตที่ได้ผลดีสม่ำเสมอตลอดเวลาและนอกจากนี้ยังจะกล่าวถึงวิธีการที่นอกเหนือจากวิธีพื้นฐานของกรรมวิธีการจุ่มแบบ เพื่อให้ถุงมือที่ผลได้มีสมบัติที่ดีและมีความสิ้นสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ในกรณีที่ต้องการผลิตถุงมือให้มีสมบัติทนทานต่อเคมีใช้ซักล้าง เช่น ผงซักฟอก หรือน้ำยาซักล้างต่าง ๆ จำเป็นต้องพิจารณา คือ (1) เกี่ยวกับระบบสารเคมีที่ทำให้คงรูป (2) การใช้สารป้องกันยางเสื่อม ซึ่งในงานวิจัยได้ใช้ polymerized 2,2;4-trimethyl-1;2-dihydroquinoline เป็นสารป้องกันยางเสื่อม แต่จากการค้นคว้าวิจัยพบว่าสามารถผลิตถุงมือที่มีความทนทานต่อการซักล้างได้ดีกว่า โดยการเลือกใช้สารเคมีป้องกันยางเสื่อม พวก hindered bis-phenols บางตัว ซึ่งมีสมบัติไม่ทำให้ยางเปลี่ยนสี การล้างถุงมืออาจจะทำก่อนหรือหลังการอบให้ถุงมือคงรูปแล้วแต่การล้างก่อนอบให้ถุงมือคงรูป ถุงมือประสิทธิภาพดีกว่า ถุงมือที่ไม่ได้ผ่านการปรับผิวจะสวมได้ยากเพราะมีความเหนียวและฝืดต่อการสวมใส่หรือถอด วิธีการที่ทำให้ถุงมือใช้งานบ้านมีความสิ้นสะดวกต่อการใช้งาน คือ (1) คลอริเนชั่น และ (2) ดัดผิวด้านในด้วยฝุ่นของเส้นใย

ในปี พ.ศ. 2524 กลุ่มวิจัยของ Bravar และคณะ [28] รายงานการศึกษาการใช้สารป้องกันการออกซิเดชันในคอมเปาต์น้ำยางธรรมชาติ โดยใช้สารป้องกันการเสื่อม 2 ชนิดคือ Amine anti-oxidant และ Phenolic anti-oxidant ทำการเตรียมแผ่นฟิล์มโดยกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์หนาประมาณ 0.2 มิลลิเมตรวัดคาไนซ์ที่ 100°C เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ซึ่งมีส่วนประกอบของ Anti-oxidant แต่ละชนิด คือ Amine Anti-oxidant จะใช้สาร Polymerized 1;2-dihydro-2;2;4-

Trimethylquinoline และ Phenolic Anti-oxidant จะใช้สาร 4;4-butylidenebis 6-tert-butyl-m-cresol นำมาให้ความร้อนด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง หรือผ่านการ Sterilization ด้วยไอน้ำ เป็นเวลา 1 หรือ 2 ชั่วโมง พบว่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สาร Phenolic Anti-Oxidant เพิ่มขึ้นจนถึง 1.6 Phr ส่วนการใช้สาร Amine Antioxidant ความต้านทานต่อแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของสาร Amine Anti-Oxidant เพิ่มขึ้นจนถึง 1.2 phr ค่าความต้านทานต่อแรงดึงจะลดลงในกรณีที่ทำให้ความร้อนด้วยไอน้ำมากที่สุด การใช้ Amine anti-oxidant จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มสูงกว่าการใช้ Phenolic Antioxidant ค่าโมดูลัส 100% และ 300% ของแผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการบ่มแรงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น พบว่าการบ่มแรงด้วยอากาศร้อนจะมีค่าโมดูลัสต่ำกว่าการผ่านกระบวนการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ นอกจากนี้พบว่าการให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 2 ชั่วโมงจะทำให้ค่าโมดูลัสมีแนวโน้มลดลง ส่วนการทดสอบระยะยืด ณ จุดขาดของแผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการบ่มแรง พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ ให้ความร้อนด้วยอากาศร้อน ให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 1 ชั่วโมง และให้ความร้อนด้วยไอน้ำ 2 ชั่วโมง สีของแผ่นฟิล์มที่ผ่านกระบวนการบ่มแรงจะพบว่าการใช้ Amine Anti-Oxidant ทำให้สีของแผ่นฟิล์มเปลี่ยนแปลง

ในปี พ.ศ. 2552 กลุ่มวิจัยของ ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาการพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือยางโดยการปรับวิธีการทำให้พิมพ์แห้งโดยที่อุณหภูมิของพิมพ์ไม่เพิ่มมาก เป็นแนวทางหนึ่งในการลดการใช้พลังงานในการผลิตถุงมือยาง จึงทดลองออกแบบและสร้างตู้อบลมร้อนจำลองที่ใช้ระบบการให้ความร้อนแบบตู้อบลมร้อนที่มีอุณหภูมิของตู้อบ 70 และ 80 องศาเซลเซียส มีความเร็วลมภายในตู้อบ 2; 3 และ 4 เมตรต่อวินาที ใช้ ระยะเวลา 30; 60 และ 90 วินาที พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้พิมพ์แห้งและไม่มีผลต่อกระบวนการจุ่มน้ำยางผสมสารเคมีคือ อุณหภูมิตู้อบ 80 องศาเซลเซียส ความเร็วลมในตู้ 2 เมตรต่อวินาที ระยะเวลาในการอบ 30 วินาที ซึ่งสามารถนำข้อมูลสภาวะที่เหมาะสมไปปรับลดการใช้พลังงาน ในระดับอุตสาหกรรมโดยพิจารณาให้ระบบให้ความร้อนแบบตู้อบลมร้อนในช่วงหลังจากกระบวนการจุ่มสารจับพิมพ์และปรับระยะทางการเคลื่อนที่ของพิมพ์ให้สัมพันธ์กับความเร็วของสายการผลิตในกระบวนการผลิตถุงมือในระดับอุตสาหกรรมเพื่อให้พิมพ์แห้งพอดี

ในปี พ.ศ. 2544 กลุ่มวิจัยของ Kurian และคณะ [29] รายงานการศึกษาผลกระทบของระบบวัลคาไนซ์ และ Antioxidant ต่อการเปลี่ยนสีและการเสื่อมสภาพของน้ำยางธรรมชาติภายใต้รังสี UV โดยการศึกษาผลกระทบของการใช้สารตัวเร่งร่วมกันและสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant) ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติภายใต้รังสี UV เตรียมแผ่นฟิล์มโดยการใช้ระบบการวัลคา

ไนซ์กำมะถันแบบปกติและแบบอีวี ใช้สารตัวเร่ง 4 ชนิด คือ Zinc diethyl dithiocarbamate (ZDEC); Zinc dibutyldithiocarbamate (ZDBC); Zinc Mercaptobenzothiazole (ZMBT) และ Tetramethylthiuramdisulfide (TMTD) ใช้สารต้านปฏิกิริยาการออกซิเดชัน 4 ชนิด คือ Wingstay-L (Reaction products of butylated p-cresol and dicyclopentadiene); Crystol EPR 3400 (Tris-nonylated phenyl phosphite); SP (Styrenated phenol) และ 2;2;4-trimethyl-1H-quinoline; HS สมบัติทางกายภาพ พบว่าการใช้สารตัวเร่ง ZDBC+ZDEC และ ZDBC+ZMBT จะมีความทนทานต่อแสง UV มากกว่าการใช้สารตัวเร่ง ZDEC+ZMBT การใช้สาร Antioxidant Wingstay -L และ SP+HS จะทำให้สมบัติทางกายภาพภายหลังการถูกแสง UV เปลี่ยนแปลงน้อย และการใช้ Crystol EPR 3400 จะมีประสิทธิภาพในการลดการเปลี่ยนสีของชิ้นตัวอย่างมากที่สุด สีเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

ในปี พ.ศ. 2546 กลุ่มวิจัยของ วิชา เสดตกนิษฐ์ และคณะ [30] ศึกษาการทดสอบและมาตรฐานถุงมือยางทางการแพทย์ เพื่อให้การพัฒนามาตรฐานถุงมือยางทางการแพทย์ของไทยมีคุณภาพเป็นที่เชื่อถือของผู้บริโภค จึงมีการศึกษาในเรื่องการทดสอบและข้อกำหนดรายการทดสอบที่สำคัญและจำเป็น โดยเฉพาะสมบัติแรงดึงขางเมื่อขาด การรั่วซึมน้ำ และมีการพัฒนาห้องปฏิบัติการทดสอบถุงมือยางของส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง ได้รับการรับรองคุณภาพห้องปฏิบัติการตาม มอก. 17025 หรือ ISO/IEC 17025 ซึ่งจะทำให้ผู้ผลิตมีความมั่นใจในการให้บริการทดสอบมากขึ้น เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในด้านคุณภาพของถุงมือ ยางทางการแพทย์ในระดับสากลมากขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มข้อได้เปรียบในการแข่งขันถุงมือยางในตลาดโลก

ในปี พ.ศ. 2553 กลุ่มวิจัยของ Santipanusopon และคณะ [31] ได้ศึกษาผลของการรักษาสภาพน้ำยางสดด้วยแอมโมเนียที่ระยะเวลาเก็บน้ำยางสดต่าง ๆ ต่อสมบัติเชิงกลของน้ำยางชั้นลักษณะการจับตัวของน้ำยางสกิมและการจุ่มฟิล์ม มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการรักษาสภาพน้ำยางสดด้วยแอมโมเนียที่ระยะเวลาเก็บน้ำยางสดต่าง ๆ ต่อสมบัติเชิงกลของน้ำยางชั้น ลักษณะการจับตัวของน้ำยางสกิมและการจุ่มฟิล์มน้ำยาง โดยการรักษาสภาพน้ำยางสดด้วยแอมโมเนียความเข้มข้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 0.30-0.80% โดยน้ำหนักร่วมกับเตตระเมทิลไซยูเรมไดซัลไฟด์และซิงค์ออกไซด์ แล้วนำไปเซนตริฟิวส์เพื่อให้ได้เป็นน้ำยางชั้นและน้ำยางสกิม ความเป็นต่างในน้ำยาง โดยปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางชั้น คือ 0.16%; 0.18% และ 0.25% โดยน้ำหนัก ปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางสกิม คือ 0.42%; 0.60% และ 0.80% โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อปริมาณแอมโมเนียที่เข้มข้นเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ค่าความเป็นต่างในน้ำยางทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้น (ความเป็นต่างในยางสกิมจะสูงกว่าในน้ำยางชั้น) และลักษณะการจับตัวของน้ำยางสกิมด้วยกรดซัลฟูริกนานขึ้นตามปริมาณแอมโมเนียที่เข้มข้นเพิ่มขึ้นตามลำดับ ปริมาณแมกนีเซียมและความหนืดของน้ำยางจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการรักษา น้ำยางคือ 0; 15; 30

และ 45 วัน ตามลำดับ และฟิล์มน้ำยางชั้นที่รักษาด้วยแอม โมเนียเข้มข้น 0.35% และ 0.60% โดย น้ำหนัก เป็นอิสระต่อแรงดึง

ในปี พ.ศ. 2532 วราภรณ์ ขจรไชยกุล [24] ได้ทำการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือ ยาง ซึ่งถุงมือยางเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำมาจากน้ำยางโดยกระบวนการจุ่มแบบพิมพ์ ผลิตจำหน่ายในชนิด ต่าง ๆ เช่น ถุงมือในการแพทย์ ถุงมือใช้ในงานบ้าน และถุงมือใช้ในงานไฟฟ้า เป็นต้น อุปกรณ์ที่ใช้ ในการผลิตถุงมือ ได้แก่ น้ำยางชั้น 60% สารเพิ่มความคงตัวปริมาณการใช้ประมาณ 0.2-0.5 ส่วนต่อ เนื้อยาง 100 ส่วน สารในระบบการคงรูป ปริมาณการใช้ประมาณ 0.3-1.5 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน สารเร่งปฏิกิริยาของคงรูปที่ใช้ได้แก่ ซิงค์ไดเอทิลได โธ โอคาร์บอเนต และสารป้องกันยางเสื่อม เนื่องจากออกซิเดชัน ความนิยมในการผลิตถุงมือยางนิยมใช้สารป้องกันการเสื่อมสภาพในกลุ่มพี มอล/อนุพันธ์ของฟีนอล ปริมาณการใช้ประมาณ 1 ส่วนต่อเนื้อยาง 100 ส่วน ซึ่งการออกสูตรเพื่อผลิต ถุงมือยางต้องคำนึงถึง ชนิดของถุงมือ/วัตถุประสงค์การใช้งาน; มาตรฐานหรือคุณภาพของถุงมือ; ข้อจำกัดพิเศษเกี่ยวกับความปลอดภัยในการใช้งาน; อายุการใช้งาน; ความต้องการหรือความพึงพอใจ ของผู้ใช้; สารเคมีที่จะใช้หาซื้อได้ยากง่ายเพียงใดและราคาคู่มือหรือไม่ และน้ำยางที่นำมาทำการผลิตถุง มือยาง

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเติมสารเติมแต่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของยาง แต่ สำหรับการศึกษางานวิจัยนี้ ต้องการพัฒนาสมบัติเชิงกลของน้ำยางธรรมชาติ โพรตีนต่ำที่ผ่าน การวัลคาไนซ์แล้วให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเตรียมน้ำยางโปรตีนดำพรีวัลคาไนซ์ และทดสอบสมบัติของน้ำยางโปรตีนดำพรีวัลคาไนซ์ โดยการทดสอบสมบัติทางกายภาพ จากนั้นทำการขึ้นรูปถุงมือยางและเคลือบถุงมือด้วยสไตรีนอะคริเลต และทดสอบโครงสร้างทางเคมีและทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนดำพรีวัลคาไนซ์ โดยมีขั้นตอนการทำวิจัย ดังนี้

3.1 แผนการดำเนินงาน

การผลิตถุงมือจากน้ำยางโปรตีนดำที่ผ่านการวัลคาไนซ์แล้ว มีขั้นตอนและวิธีการ ดังนี้

3.1.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

3.1.2 รวบรวมข้อมูลน้ำยางโปรตีนดำ การเตรียมน้ำยางโปรตีนดำพรีวัลคาไนซ์ และการขึ้นรูปถุงมือยาง เพื่อนำมาจัดทำแผนการวิจัย

3.1.3 ทำการออกสูตรน้ำยางคอมปาวด์สำหรับการขึ้นรูปถุงมือยาง

3.1.4 ดำเนินการจัดหาวัสดุ และอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

3.1.5 ทดสอบสมบัติของน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนดำ ดังนี้

1) การทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (ISO 124:1997)

2) การทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง (ISO 126:1995)

3) การทดสอบหาปริมาณกรดไขมันที่ระเหยได้ (ISO 506:1992)

4) หาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl (ASTM D 3533-90, 1994)

5) การทดสอบหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry (ISO/WD 12243, 1994)

3.1.6 เตรียมน้ำยางโปรตีนดำพรีวัลคาไนซ์และทดสอบสมบัติของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ ด้วยการทดสอบหาปริมาณของแข็งทั้งหมดตาม ISO 124:1997

3.1.7 เตรียมแบบพิมพ์และทำการขึ้นรูปถุงมือยาง โดยการจุ่มแบบพิมพ์ยางธรรมชาติ

3.1.8 เตรียมชิ้นตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบ

3.1.9 วิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของถุงมือยางด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy, FTIR)

3.1.10 ทดสอบสมบัติเชิงกล ด้วยการทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และ ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break) ตาม ISO 37

- 3.1.11 รวบรวมผลการทดลอง
- 3.1.12 วิเคราะห์ วิจารณ์ และสรุปผลการดำเนินการวิจัย
- 3.1.13 จัดทำรูปเล่มรายงาน
- 3.1.14 เสนอผลงานทางวิชาการ

3.2 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.2.1 อุปกรณ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) เครื่องชั่งดิจิทัล ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ชุดเครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น บีกเกอร์ กระบอกตวง แท่งคน เป็นต้น
- 3) ตะแกรงกรองน้ำยาง (Rubber Filter)
- 4) เตาให้ความร้อน (Hot Plate)
- 5) ตู้อบ (Hot Air Oven) ยี่ห้อ Memmert
- 6) อ่างน้ำร้อน (Water Bath)
- 7) แท่งเซรามิก
- 8) แท่งแก้วคนสาร
- 9) ซ้อนตักสาร
- 10) ซ้อนตักน้ำยาง
- 11) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Hettich
- 12) นาฬิกาจับเวลา
- 13) เทอร์โมมิเตอร์
- 14) เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก อนุไลเซอร์ (Thermogravimetric Analyzer, TGA)
- 15) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy; FTIR) ยี่ห้อ PerkinElmer
- 16) เครื่องชั่งน้ำหนักละเอียด (Analytical Balance Overting) ยี่ห้อ Mettler Toledo
- 17) เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งคาลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter; DSC)
- 18) เครื่อง Delsa™ Nano Particle Analyzer ยี่ห้อ BECKMAN COULTER

3.2.2 สารเคมี

1) น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High Ammonia Natural Rubber, HANR) เป็นน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูงมีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC) 60% ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC) 62% และเก็บรักษาด้วยแอมโมเนีย 0.64% จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2) โปแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) ใช้เพิ่มความเสถียรของน้ำยางเป็นสารรักษาความเสถียร เตรียมในรูปสารละลาย 10% โดยน้ำหนัก

3) โปแทสเซียมโอเลเอต (Potassium Oleate) มีลักษณะเป็นของเหลวสีเหลือง เตรียมได้จากการทำปฏิกิริยาของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide, KOH) และโอเลอิกแอซิด (Oleic Acid) ใช้เป็นสารเพิ่มความเสถียรและลดแรงตึงผิวของน้ำยางธรรมชาติเตรียมในรูปสารละลาย 20% จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) คือสารกระตุ้นที่เร่งอัตราการวัลคาไนซ์ (Vulcanizing) มีลักษณะเป็นผงสีขาวใช้ในรูป 50% ดิสเปอร์ชัน จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

5) ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-N-Diethyldithiocarbamate; ZDEC) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ใช้ในรูป 50% ดิสเปอร์ชัน ใช้สำหรับเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6) ซิงค์-2-เมอร์แคปโตเบนโซไทอาโซล (Zinc 2-Mercaptobenzothiazole; ZMBT) เป็นสารตัวเร่งรอง ในระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน ใช้ในรูป 50% ดิสเปอร์ชัน จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

7) กำมะถัน (Sulphur) เป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง ใช้ในรูป 50% ดิสเปอร์ชัน จากสถาบันวิจัยยาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8) กรดอะซิติก (Acetic Acid) ความเข้มข้น 98% โดยปริมาตร บริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด

9) กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) จากบริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด

10) เทอร์ริก (10% Teric N 30) ห้างหุ้นส่วนจำกัดควอลิเทค เคมีคอล (ไทแลนด์)

11) คลอโรฟอร์ม (Chloroform) ความเข้มข้น 98% โดยปริมาตร บริษัท V.S.CHEM. HOUSE. Co.LTD.

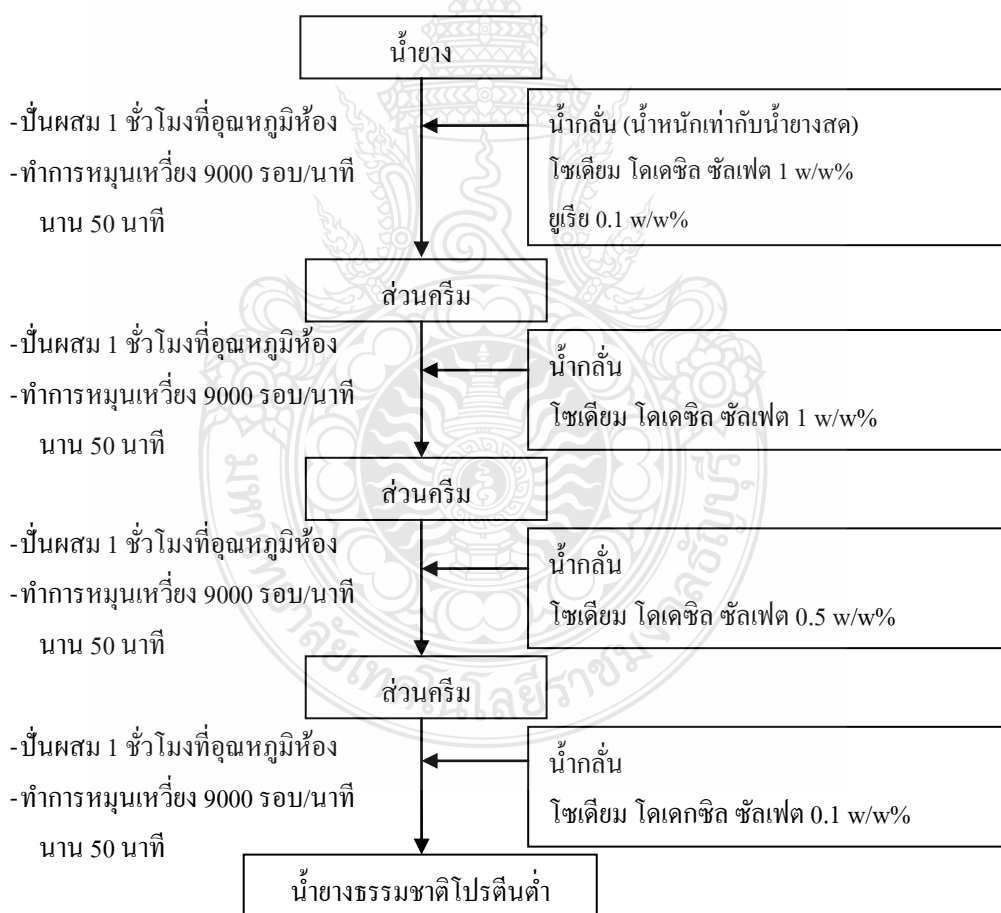
12) โทลูอีน (Toluene, $C_6H_5CH_3$) มีน้ำหนักโมเลกุล 92 มีความเข้มข้น 99.5% ใช้ในการทดสอบระดับการบวมพอง จากบริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด

- 13) เมทานอล (methanol) จากบริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด
- 14) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (Sodiumdodecyl sulfate, SDS) สูตร โครงสร้าง ($\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$) (Mw = 288.372 g/mol) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd.
- 15) ยูเรีย (Urea) จากบริษัท อิตัลมาร์ ประเทศไทย จำกัด
- 16) แคลเซียมไนเตรด (Calcium Nitrate) บริษัท Ajax Finechem Pty Ltd.
- 17) สไตรีนอะคริเลต (Styrene acrylate) เกรด 9301 และเกรดทั่วไป

3.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ (Deproteinization Natural Rubber, DPNR)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

3.3.2 การเตรียมน้ำยางผสมสารเคมี

น้ำยางโปรตีนต่ำหรือน้ำยางชั้นผสมสารเคมี โดยใช้วิธีผสมดังนี้ [32]

1) ชั่งน้ำยางปริมาณแน่นอนมาเติม Stabilizer ลงไป แล้วกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที
เติมสารเคมีตามตารางที่ 3.1

2) เติมสาร Vulcanizing Agent ลงไปกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 5 นาที เติมสารตัวเร่งแล้ว
กวนต่อไปอีกเป็นเวลา 5 นาที

3) เติมสาร Antioxidant และส่วนผสมอื่น ๆ ที่เหลือ กวนให้เข้ากันประมาณ 3 ชั่วโมง

4) ให้ความร้อนน้ำยางที่ผสมสารเคมีไว้ที่อุณหภูมิ 50 °C และ 90 °C นาน 25 นาที กระทั่ง
น้ำยางมีระดับการวัลคาไนซ์ตามต้องการ กรองน้ำยางก่อนนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณของสารเคมีที่ใช้ในการผสมน้ำยางคอมปาวด์

สารเคมี	น้ำหนักแห้ง (phr)	น้ำหนักเปียก (กรัม)
60% น้ำยางชั้น	100	167
10% Potassium hydroxide (KOH)	0.2	2
10% Terric acid	0.02	0.2
50% คิสเฟิสชั้น Sulphur (S)	0.8	1.6
50% คิสเฟิสชั้น Zinc diethyl dithiocarbamate (ZDEC)	0.4	0.8
50% คิสเฟิสชั้น Zinc 2-mercaptobensothiazole (ZMBT)	0.4	0.8
50% คิสเฟิสชั้น Zine oxide (ZnO)	1	2.0
50% คิสเฟิสชั้น Wingstay L	1	2.0
น้ำกลั่น (Distillated water)	-	356

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การขึ้นรูปถุงมือยางโปรตีนต่ำด้วยกระบวนการจุ่ม (Dipping Process)

1) ทำความสะอาดแท่งเซรามิกและทำให้แห้งโดยนำเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 15
นาที

2) นำแท่งเซรามิกมาจุ่มในสารละลายแคลเซียมไนเตรด เข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก 30
วินาที จากนั้นเข้าสู่อบ 1 นาที

3) นำแท่งเซรามิกมาจุ่มน้ำยางโปรตีนคั่วพีวีแอลใน 30 วินาที และนำเข้าตู้อบ 30 วินาที เพื่ออบให้แห้งพอหมาด ๆ

4) ทำการเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 10 และ 20% โดยน้ำหนัก 30 วินาที

5) นำเข้าตู้อบเพื่อทำการวัลคาไนซ์ตามระยะเวลาที่ทำการศึกษา 5, 10, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ

6) หลังจากวัลคาไนซ์ตามระยะเวลาที่กำหนด ให้นำออกจากตู้อบและวางทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นค่อย ๆ ถอดชิ้นงานออกจากแท่งเซรามิก

3.5 การทดสอบสมบัติของน้ำยาง

3.5.1 ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยาง Dry Rubber Content (DRC) ตาม ISO 126:1995 [33]

ชั่งน้ำยางชั้นประมาณ 10 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้องแล้วเติมน้ำกลั่นประมาณ 10 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน แล้วเติมกรดอะซิติก 2% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 35 มิลลิลิตร ลงไปอย่างช้า ๆ โดยใช้ระยะเวลาไม่เกิน 5 นาที จากนั้นนำไปวางบนอ่างไอน้ำร้อน เป็นเวลา 15 ถึง 30 นาที จากนั้นนำแผ่นยางไปล้างน้ำเพื่อล้างกรดและทดสอบสภาพความเป็นกรดด้วยกระดาษลิตมัส และนำแผ่นยางที่ได้ไปรีดให้มีความหนาไม่เกิน 2 มิลลิเมตร อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 ± 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำยางมาทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ น้ำยางไปชั่งน้ำหนัก อบต่ออีก 30 นาที ทำให้เย็นแล้วชั่งอีกครั้ง น้ำหนักยางที่ชั่งก่อนและหลังควรจะแตกต่างกันไม่เกิน 5 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนักที่ชั่งครั้งสุดท้าย นำน้ำยางไปคำนวณหาปริมาณเนื้อยางแห้ง

$$\text{ปริมาณเนื้อยางแห้ง, ร้อยละ} = \frac{m_1}{m_0} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบ หน่วยเป็นกรัม

m_1 คือ น้ำหนักของแผ่นยาง หน่วยเป็นกรัม

3.5.2 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่มีในน้ำยาง Total Solid Content (TSC) ตาม ISO 124:1997

ชั่งน้ำยางประมาณ 2.5 กรัม ใส่ในจานแก้วก้นกลม เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร เอียงจานไปมา เพื่อให้น้ำยางกระจายทั่วทั้งจาน นำจานแก้วที่มีน้ำยางไปอบในตู้อบอุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนกว่าเห็นยางใสไม่มีสีขาวขุ่นทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ในเดซิเคเตอร์ ชั่งแล้วนำไปอบซ้ำเป็น

เวลา 15 นาที ทำให้เย็นแล้วซึ่งผลต่างของน้ำหนักครั้งหลังและครั้งแรกควรแตกต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม บันทึกน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยาง

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ร้อยละ} = \frac{m_0}{m_1} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ m_0 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบก่อนอบ หน่วยเป็นกรัม

m_1 คือ น้ำหนักตัวอย่างทดสอบหลังอบ หน่วยเป็นกรัม

3.5.3 การวัดขนาดอนุภาคของยางธรรมชาติ

ในการศึกษาการวัดขนาดอนุภาคนี้ จะทำการวัดขนาดอนุภาคยางธรรมชาติ โดยมีขั้นตอนการวัดขนาดอนุภาคด้วยเครื่อง Particle Analyzer ดังนี้

- 1) ใช้หลอดหยดคูดสารตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในเซลล์วัดขนาดอนุภาค (Size Cell)
- 2) นำเซลล์วัดขนาดอนุภาคที่บรรจุตัวอย่าง ใส่ลงในเครื่อง Particle Analyzer
- 3) ใช้โปรแกรม Delsa™ Nano ในการทดสอบและเลือก SOP ให้ตรงกับชนิดของเซลล์ที่ใช้บรรจุตัวอย่าง
- 4) วิเคราะห์ตัวอย่าง โดยที่จะทำการทดสอบสามซ้ำ ต่อหนึ่งตัวอย่าง จะได้กราฟแสดง Particle Size Analyzer Data ต่าง ๆ ของตัวอย่าง

3.5.4 การวัดความเป็นประจุที่ผิวของอนุภาคยางธรรมชาติ

ในการศึกษาการวัดประจุที่ผิวอนุภาค จะทำการวัดประจุที่ผิวของอนุภาคยางธรรมชาติ โดยมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ใช้หลอดหยดคูดสารตัวอย่างประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในเซลล์วัดประจุ (Flow cell)
- 2) นำ Flow cell ที่บรรจุสารตัวอย่าง ใส่ลงในเครื่อง Particle Analyzer
- 3) ใช้โปรแกรม Delsa™ Nano ในการทดสอบและเลือก SOP ให้ตรงกับชนิดของเซลล์ที่ใช้บรรจุตัวอย่าง
- 4) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยที่จะทำการทดสอบสามซ้ำ ต่อหนึ่งตัวอย่าง จะแสดง Zeta Potential Analysis Data ออกมาเป็นกราฟ
- 5) ทำเหมือนกับข้อ 1 - 3

3.5.5 การหาปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยาง (Volatile Fatty Acid Number, VFA) ISO 506-1992 [33-34]

การหาปริมาณกรดที่ระเหยได้ในน้ำยาง (Volatile Fatty Acid Number, VFA) หมายถึง ปริมาณกรดไขมันระเหยได้ ที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียย่อยสลายส่วนที่ไม่ใช่ยาง เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และปล่อยกรดออกมา เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก โดยค่า VFA No. จะแสดงเป็น จำนวนกรัมของ KOH ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันที่ระเหยได้ในน้ำยางที่มีปริมาณของของแข็ง ทั้งหมด 100 กรัม ซึ่งความสำคัญของค่า VFA No. คือ

- VFA No. ใช้บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำยาง คือ ถ้า VFA No. สูง แสดงว่า น้ำยางมีคุณภาพต่ำ (จุลินทรีย์ย่อยสลายส่วนที่ไม่ใช่ยางออกมาเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้มาก)
- VFA No. สัมพันธ์กับปริมาณจุลินทรีย์ การรักษาสภาพ เวลาในการเก็บรักษา คือ ถ้า VFA No. สูง แสดงว่า การรักษาสภาพไม่ดี มีปริมาณจุลินทรีย์มาก

1) วิธีการทดลอง

- (1) น้ำยางที่ต้องการทดสอบมาชั่ง 50 + 0.2 กรัม ลงในบีกเกอร์ ขนาด 250 มล.
- (2) เติมน้ำละลายแอมโมเนียมซัลเฟต 50 มล. กวนให้เข้ากัน ปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษพิก้า แซ่บีกเกอร์ ลงในอ่างน้ำร้อนที่ 70 °C เป็นเวลา 15 นาที เพื่อให้ยางแข็งตัว
- (3) นำมากรอง ด้วยกระดาษกรอง เอาเซรุ่มใส ๆ จากนั้นใช้ปิเปตดูดเอาเซรุ่มที่กรองได้ จำนวน 25 มล. ใสใน Erlenmeyer flask ขนาด 50 มล. แล้วใส่กรด ซัลฟูริก 5 มล. ปิดจุกคนให้เข้ากัน
- (4) นำไปกลั่น โดยปิเปตเซรุ่ม จำนวน 10 มล. และหยดสารซิลิโคนลงไป 1 หยด นำขวดชมพูขนาด 150 มล. มาวางไว้ใต้เครื่อง Markham Still เพื่อเก็บรวบรวมเอาของเหลวที่กลั่นออกมา ใ้ห้กลั่นจนกระทั่งเก็บของเหลวได้ 100 มล.
- (5) นำไปผ่านอากาศที่ปราศจากคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 3 นาที จากนั้นหยดฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด แล้วทำการไทเทรตสารละลายเบเรียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายเปลี่ยนสีจากไม่มีสีไปเป็นสีชมพูอ่อน

2) สูตรการคำนวณค่า VFA No.

$$\frac{67.32 \times N \times V}{W \times TSC} \times \left\{ 50 + \frac{W(100 - DRC)}{100D} \right\} \quad (3.3)$$

เมื่อ N คือ ความเข้มข้นของด่างเบเรียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต, นอร์มัล

- V คือ ปริมาตรของของต่างเบรียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต, มิลลิลิตร
- W คือ น้ำหนักของน้ำยางที่ใช้, กรัม
- TSC คือ ปริมาณของแข็งในน้ำยาง, เปอร์เซ็นต์
- DRC คือ ปริมาณของเนื้อยางแห้งในน้ำยาง, เปอร์เซ็นต์
- D คือ ความหนาแน่นของเซรุ่มน้ำยาง (ปกติให้มีค่าเท่ากับ 1.02)

3.5.6 การหาปริมาณไนโตรเจนโดยวิธี Kjeldahl (ASTM D 3533-90, 1994) [35]

1) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการหาปริมาณไนโตรเจน หนักประมาณ 0.1 กรัม ใส่หลอดทดลองที่แห้งสะอาด เติมสารผสมตัวเร่งชนิดเม็ดลงไป 1 เม็ด ตามด้วย H_2SO_4 จำนวน 3.5 มิลลิลิตร นำมาข่อยในเครื่องข่อยโดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น $250\text{ }^{\circ}C$ ข่อยอย่างเป็นเวลาประมาณ 15 นาที แล้วค่อยเพิ่มอุณหภูมิเป็น $380\text{ }^{\circ}C$ ข่อยต่อไปจนได้สารละลายสีใส ตั้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร ลงในหลอดข่อยแล้วเติมสารละลาย 40% NaOH จำนวน 20 มิลลิลิตร

2) เตรียม 4% กรดบอริกปริมาณ 5 มิลลิเมตร ใส่น้ำกลั่น 5 มิลลิตรลงไปในช่วงรูปชมพูแล้วหยดอินดิเคเตอร์ลงไป 4 หยด แล้วมานำสารที่เตรียมไว้ไปรองรับไอที่ได้จากการกลั่น กลั่นเป็นเวลา 5 นาที จะได้สารละลายที่มีสีฟ้า

3) นำสารละลายที่กลั่นได้ไปไทเทรตกับสารละลาย $0.005\text{ M } H_2SO_4$ โดยใช้โบรโมครีซอลกรีนเมธิลเรด เป็นอินดิเคเตอร์

4) ทำการทดลองซ้ำโดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง (Blank)

5) การคำนวณ

$$\% \text{ ไนโตรเจน} = (V_2 - V_1) \times M \times 0.014 \times 100/w \quad (3.4)$$

โดย V_1 คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรต Blank (มิลลิลิตร)

V_2 คือ ปริมาตรสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรตสารที่กลั่นได้ (มิลลิลิตร)

M คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 (โมลาร์)

W คือ น้ำหนักตัวอย่างยาง (กรัม)

3.5.7 การหาปริมาณโปรตีนโดยวิธี Lowry (ISO/WD 12243, 1994) [36]

การหาโปรตีนด้วยวิธีนี้เป็นการสกัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้เท่านั้นต้องมีการเตรียมกราฟมาตรฐานเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณปริมาณโปรตีน ดังนี้

1) การเตรียมกราฟมาตรฐาน โดยการแปรความเข้มข้นของโปรตีนมาตรฐาน ดังนี้

(1) เตรียม Stock solution ความเข้มข้น 0.001 กรัม/มิลลิลิตร โดยชั่ง Standard protein (Bovine serum albumin, BSA) 0.01 กรัม ละลายน้ำ 10 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

(2) เจือจางโปรตีนมาตรฐาน (BSA) ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ คือ 10, 20, 40, 80 และ 160 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

(3) นำสารที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ในข้อ 1.2 มา 0.8 มิลลิลิตรใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ แล้วเติม Reagent C จำนวน 0.3 มิลลิลิตร ผสมกัน 9.5-10.5 นาที แล้วเติม Reagent D ผสมทันที ใช้เครื่องแกว่ง 30 วินาที เพื่อให้สารผสมกันดี แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

หมายเหตุ - Reagent C คือ สารละลาย 6% w/v Anhydrous Sodium Carbonate 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลาย 1.5% Copper Sulfate Pentahydrate

- Reagent D คือ Folin - Ciocalteu Reagent ความเข้มข้น 72% w/v

(4) นำสารที่เตรียมได้ข้อ 1.3 ใส่เซลล์ขนาด 1 เซนติเมตร วัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer

(5) เตรียม Blank โดยไม่ใส่สารละลายโปรตีนด้วยวิธีการตามข้อ 1.3-1.4

(6) นำมาเขียนเป็นกราฟมาตรฐานจะได้เป็นกราฟเส้นตรง และหาความชัน (slope)

2) การสกัดโปรตีน

(1) ตัดตัวอย่างถุงมือยาง 2 ชิ้น ขนาด 7x7 ตารางเซนติเมตร แล้วชั่งน้ำหนัก

(2) ใส่ยางลงใน Flask แล้วใส่น้ำ 30 มิลลิเมตร แล้วชั่งน้ำหนักแน่นอน

(3) นำไปต้มใน water bath ที่อุณหภูมิ 30-40 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงโดยแกว่งทุก ๆ 30 นาที ครั้งละ 1 นาที

(4) นำส่วนของเหลวมาเซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 500 g เป็นเวลา 10 นาที แยกส่วนที่เป็นตะกอนออก

(5) นำเหลวที่แยกมาปริมาณ 6 มิลลิลิตร (หรือตามความเหมาะสม) เติม 35% TCA 1 มิลลิลิตร และ 40% PTA 1 มิลลิลิตร ผสมกันตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้โปรตีนตกตะกอน

(6) เซนตริฟิวจ์ด้วยความเร็ว 2000 g เป็นเวลา 40 นาที เพื่อให้โปรตีนตกตะกอนหมด

(7) เทส่วนของเหลวผ่านกระดาษกรองโดยคว่ำหลอดไว้เป็นเวลา 5 นาที (ให้ระวังตะกอนโปรตีนหลุดออกไปกับของเหลวที่เททิ้ง)

(8) เติมสารละลาย 0.2 M NaOH ปริมาณ 0.8 มิลลิลิตรลงในหลอดเซนตริฟิวจ์เพื่อละลายโปรตีน เติม Reagent C ปริมาณ 0.3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 10 นาที แล้วเติม

Reagent D ลงไป ผสมให้เข้ากันทันทีโดยใช้เครื่องแก้วเป็นเวลา 30 วินาที แล้วหยุดเครื่อง ตั้งไว้ 30 นาที

(9) นำสารละลายที่ได้ใส่เซลล์ขนาด 1 เซนติเมตร วัดการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 750 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer

(10) นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่วัดได้เทียบกับกราฟมาตรฐาน สามารถคำนวณค่าปริมาณโปรตีนเป็น ไมโครกรัม/กรัม ของน้ำหนักถูงมืออย่าง

3) การคำนวณ

ค่าความเข้มข้นของโปรตีนในถูงมืออย่างตัวอย่าง ซึ่งได้วัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) สามารถคำนวณได้จากสูตรดังนี้ (ISO/WD 12243, 1994)

$$C = (C \times M_w) / (M_c \times 6) \quad (3.5)$$

โดยที่ C คือ ความเข้มข้นของโปรตีน ($\mu\text{g/g}$ ของน้ำหนักถูง)

C คือ น้ำหนักสารละลายโปรตีน 6 มิลลิกรัม (μg) หาได้จาก

$$c = (1/\text{slope}) \times \text{Absorbance} \quad (3.6)$$

เมื่อ M_p คือ น้ำหนักของถูงมือที่ทดสอบ (กรัม)

M_w คือ น้ำหนักของน้ำที่ใช้สกัดโปรตีน (กรัม)

3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy; FTIR) [37]

FT-IR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารประกอบอินทรีย์ โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด เมื่อรังสีอินฟราเรด (ในช่วงความยาวคลื่น $4000-400\text{ cm}^{-1}$) ถูกดูดกลืนพลังงานนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานที่ทำให้พันธะในโมเลกุลของสารเกิดการหมุนและสั่น ซึ่งการสั่นแบบยืด-หดพันธะ (Stretching) และการกาง-หุบมุมพันธะ (Bending) ของแต่ละพันธะจะทำให้เกิดเป็นพีกการดูดกลืนพลังงาน (Absorption Peak) ที่เป็นเอกลักษณ์ของความยาวคลื่นหรือค่าเลขคลื่น (Wave Number, cm^{-1}) ต่าง ๆ ดังนั้น โมเลกุลของสารแต่ละชนิดที่หมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกัน จะให้

สเปกตรัมที่เป็นเอกลักษณ์ของพันธะในโมเลกุลนั้น ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการพิสูจน์หาโครงสร้างของสารประกอบ

วิธีการทดสอบ โดยนำแผ่นยางที่เตรียมไว้มาตัดเป็นวงกลมให้มีขนาดพอดีกับที่ยึดขึ้นทดสอบ วางแผ่นยางตรงกลางของที่วางขึ้นทดสอบ จากนั้นขันสกรูเพื่อให้ขึ้นทดสอบตึง นำขึ้นทดสอบไปวางตรงตำแหน่งที่วางขึ้นทดสอบของเครื่อง

3.7 การทดสอบสมบัติเชิงกลของฟิล์มยาง

3.7.1 การทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ตาม ASTM D 412

นำแผ่นฟิล์มยางที่เตรียมได้ซึ่งมีความหนาประมาณ 0.05-0.15 มิลลิเมตร ตัดขึ้นทดสอบโดยใช้ดาวยูรูปดัมเบลล์ ดาย C นำขึ้นทดสอบมาวัดความหนาด้วยเครื่องมือโครมิเตอร์และมาร์ก ระยะห่างตรงกลางบริเวณคอคอดของขึ้นทดสอบด้วยเวอร์เนีย ระยะ 2.5 เซนติเมตร จากนั้นนำขึ้นทดสอบมาทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer ดึงขึ้นทดสอบด้วยความเร็ว 500 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด โมดูลัสที่ระยะยืด 100%, 300% และ 500%

1) Tensile strength

$$\text{Tensile strength} = \frac{F}{A} \quad (3.7)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ยืดยางจนขาด (N)

A คือ ความกว้าง × ความหนา (พื้นที่หน้าตัดของขึ้นทดสอบในขณะที่ไม่ได้ยืด) (mm)

2) Elongation at break

$$\text{Elongation at Break} = \left[\frac{L - L_0}{L_0} \right] \times 100 \quad (3.8)$$

เมื่อ L คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเมื่อยืดจนขาด

L_0 คือ ระยะห่างระหว่างเส้นที่ขีดบนยางเดิม

3) Tensile stress หรือ modulus ที่ 300%

$$\text{Tensile stress} = \frac{F}{A} \quad (3.9)$$

เมื่อ F คือ แรงที่ยืดได้ระยะ 200%

A คือ ความกว้าง × ความหนา (พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบในขณะที่ไม่ได้ยืด)



บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติและการเตรียมน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ น้ำยางโปรตีนต่ำ ฟรีวัลคาไนซ์และการขึ้นรูปถุงมือโดยผ่านการเคลือบด้วยสไตรีนอะครีเลต และศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำ สรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

4.1 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำและน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำฟรีวัลคาไนซ์

4.1.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (%TSC) ปริมาณเนื้อยางแห้ง (%DRC) ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และจำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ของน้ำยางธรรมชาติ และน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

Sample	TSC (%)	DRC (%)	Nitrogen content (wt%)	Water soluble protein ($\mu\text{g/g}$)	VFA number
HANR	60.87	60.05	0.45	4,215	0.028
DPNR	60.75	59.83	0.06	1.52	0.014

น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงและน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำซึ่งเตรียมได้จากการบ่มด้วยยูเรีย 0.1 w/w% และโซเดียม โคเดซิล ซัลเฟต 1 w/w% ที่ผสมที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมงและทำการหมุนเหวี่ยง 9000 รอบ/นาที นาน 50 นาที จำนวน 3 ครั้ง และทำการทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณเนื้อยางแห้ง ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ และจำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ก่อนที่จะนำไปทำการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำฟรีวัลคาไนซ์และทำการขึ้นรูปถุงมือยาง ซึ่งสรุปผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่าน้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้ในรูปของครีมนำมาเติมน้ำลงไปให้มีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 60% เช่นเดียวกับน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงซึ่งมีความเข้มข้น 60% ค่า TSC ของน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่า 60.75% น้อยกว่าน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงซึ่งมีค่า TSC เท่ากับ 60.87%

จะเห็นได้ว่าผลต่างระหว่าง TSC กับ DRC ของน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่าน้อยกว่าในน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง เนื่องจากสิ่งเจือปนที่มีอยู่ในน้ำยางได้ถูกสกัดออกไปกับเซรุ่มขณะเซนตริฟิวจ์ จึงทำให้ผลต่างระหว่าง TSC กับ DRC มีค่าน้อยลง

ปริมาณไนโตรเจนของ HANR ลดลงจาก 0.45% โดยน้ำหนักเป็น 0.06% โดยน้ำหนัก หลังจากที่มีการบ่มด้วยยูเรีย 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นยูเรียมีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนที่อยู่ในน้ำยาง เมื่อตรวจวัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ พบว่าการใช้ยูเรียในการลดโปรตีนในน้ำยางสามารถลดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ถึง $1.52 \mu\text{g}/\text{g}$ ซึ่งการกำจัดหรือการลดโปรตีนให้มีระดับต่ำคือ น้อยกว่า $2 \mu\text{g}/\text{g}$ ของน้ำยาง จะทำให้ผู้ที่ใช้งานไม่เกิดอาการแพ้ [2] ในขณะที่เดียวกันน้ำยางหลังจากกำจัดโปรตีนมีจำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ลดลง ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าน้ำยางยังมีความเสถียรและไม่เสียสภาพเกิดการจับตัวเป็นก้อน

4.1.2 การทดสอบการหาขนาดอนุภาค และค่าศักย์ซีตาของน้ำยาง

ตารางที่ 4.2 การกระจายของขนาดอนุภาค และค่าศักย์ซีตาของน้ำยางธรรมชาติ

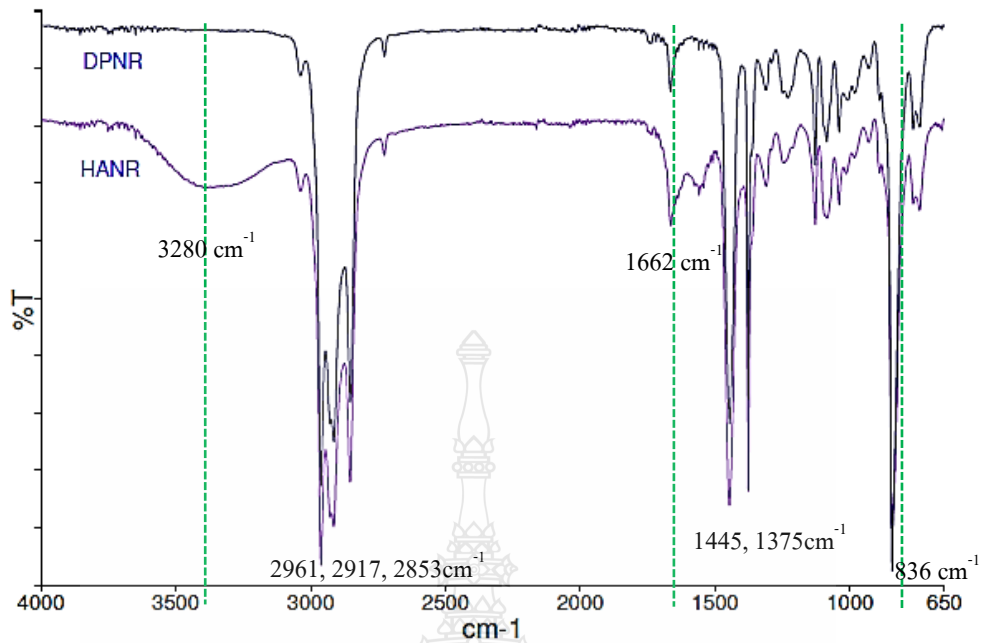
Sample	Mean diameter of particle size (nm)	Zeta potential (mV)	pH
HANR	440.57	-58.83	9.88
DPNR	643.67	-45.90	8.54
DPNR pre-vulcanized	804.60	-37.69	8.90

จากตารางที่ 4.2 แสดงค่าการกระจายของขนาดอนุภาค ค่าศักย์ซีตาและ pH ของน้ำยาง HANR, DPNR และ DPNR pre-vulcanized ผลการวิจัยพบว่าน้ำยาง DPNR และ DPNR pre-vulcanized มีค่าศักย์ซีตาต่ำกว่า HANR ทั้งนี้เนื่องจากพื้นผิวของยางธรรมชาติน้ำยางถูกปกคลุมด้วยโมเลกุลของโปรตีนซึ่งมีทั้ง carboxyl และกลุ่มอะมิโน ดังนั้นหลังจากการกำจัดโปรตีนทำให้ประจุลบของอนุภาคยางลดลง และในน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่า pH 8.54 ต่ำกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง ซึ่งมีค่า 9.88 เพราะในระหว่างกระบวนการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำ แอมโมเนียในน้ำยางได้ระเหยออกไปบางส่วนจึงทำให้ pH ของน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่าต่ำกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง แต่น้ำยางโปรตีนต่ำยังคงมีเสถียรภาพและไม่เกิดการจับตัวเป็นก้อน นอกจากนี้ยังพบว่า การลดลงของโปรตีนทำให้น้ำยางมีขนาดอนุภาคของยางมีขนาดใหญ่ขึ้นและเมื่อนำน้ำยางโปรตีนต่ำไปเตรียมเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ยังทำให้น้ำยางมีขนาดอนุภาคของยางมีขนาดใหญ่ขึ้นทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในการ

เตรียมน้ำยางเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วนและสารเคมีที่เติมลงไปทำให้น้ำยางมีความเสถียรเพิ่มขึ้นจะเห็นว่าน้ำยางมีค่า pH เพิ่มขึ้น แต่จะเห็นว่าค่าศักย์ซีตาของน้ำยางลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

4.2 ผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transforms Infrared Spectroscopy, FTIR)

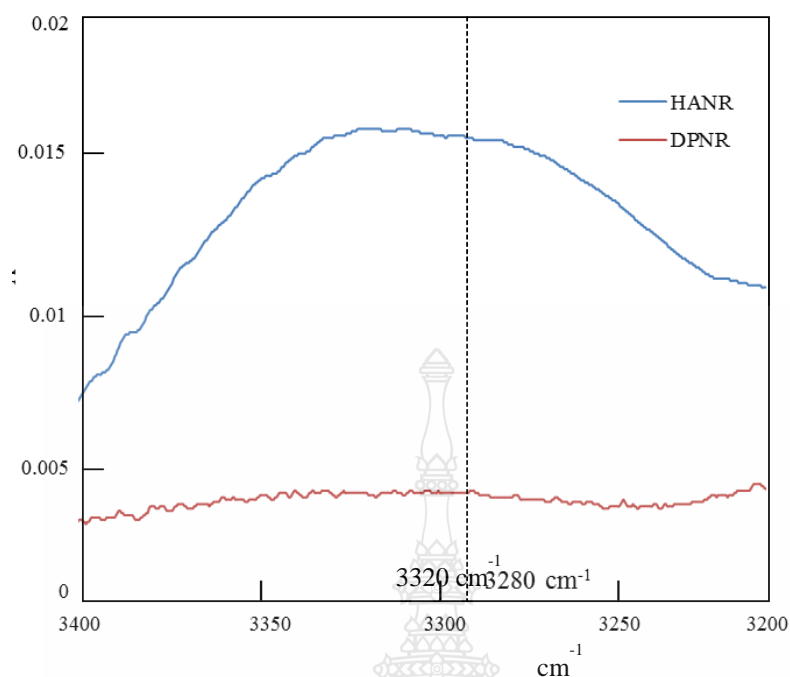
ลักษณะโครงสร้างของยางธรรมชาติที่จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ในโหมด ATR แสดงดังรูปที่ 4.1 จากพีคของ FT-IR พบแถบการดูดกลืนหมู่ฟังก์ชันของเอไมด์ (N-H) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3326 cm^{-1} ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ และปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 2961 cm^{-1} , 2917 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดของ CH_2 และ $-\text{CH}_3$ ในยางธรรมชาติ ส่วนพีคที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1662 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะคู่ (C=C) ในยางธรรมชาติ พีคการดูดกลืนที่ 1445 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ $-\text{CH}$ ในหมู่ $-\text{CH}_2$ และ $-\text{CH}_3$ ในยางธรรมชาติ พีคที่ปรากฏการดูดกลืนที่เลขคลื่น 836 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดของ $-\text{CH}$ ที่เกาะอยู่บนพันธะคู่ (C=C) ในยางธรรมชาติ [38] โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์พีคการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ HANR และ DPNR ที่ตำแหน่งคลื่นต่าง ๆ ในตารางที่ 4.3 หลังจากนำน้ำยาง HANR มากำจัดโปรตีนด้วยยูเรียร่วมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ปรากฏว่าไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3280 cm^{-1} แต่ปรากฏพีคเล็ก ๆ ที่ 3320 cm^{-1} คือ หมู่โมโนหรือไดเปปไทด์ แทนดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นการยืนยันว่ากระบวนการกำจัดโปรตีนนั้นมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.1 ลักษณะ โครงสร้างของน้ำยางธรรมชาติชนิดแอมโมเนียความเข้มข้นสูงกับน้ำยางธรรมชาติโปรตีนต่ำ

ตารางที่ 4.3 พิกัดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของ HANR และ DPNR ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่าง ๆ

Samples	Wavenumbers (cm ⁻¹)	Vibration modes
HANR, DPNR	3280	NH stretching
	2853	-CH ₂ symmetric stretching
	2917	-CH ₂ asymmetric stretching
	2961	-CH ₂ stretching
	1660	C=C stretching
	1440	C-H bending of CH ₂
	1375	C-H bending of CH ₃
	835	C-H wagging of isoprene unit
DPNR	3320	Mono or dipeptides



รูปที่ 4.2 ลักษณะโครงสร้างของ HANR และ DPNR หลังกำจัดโปรตีน

4.3 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถွ่งมือยางวัลคาไนซ์

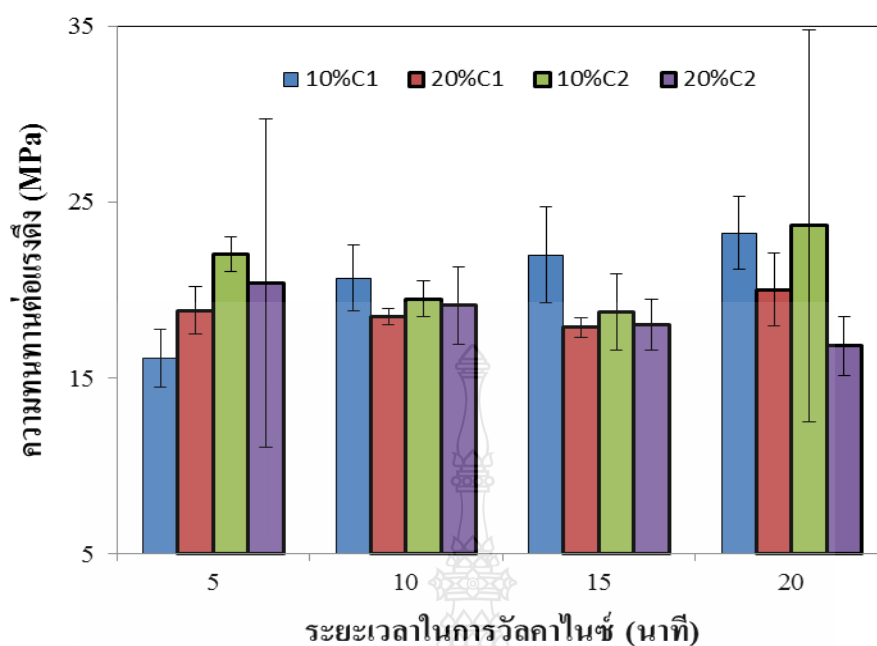
4.3.1 ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ตารางที่ 4.4 ค่าความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถွ่งมือยาง โปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลต ซึ่งวัลคาไนซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

Curing Time (min)	Tensile Strength (MPa)			
	10% C1*	20% C1	10% C2**	20% C2
5	16.11±1.65	18.84±1.35	22.03±0.07	20.39±9.32
10	20.69±1.85	18.49±0.43	19.50±1.02	19.13±2.22
15	21.99±2.72	17.89±0.56	18.75±2.16	18.02±1.43
20	23.25±2.05	20.03±2.07	23.68±11.14	16.82±1.68

* C1 = Styrene Acrylate (เกรด 9301)

** C2 = Styrene Acrylate (เกรดทั่วไป)



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

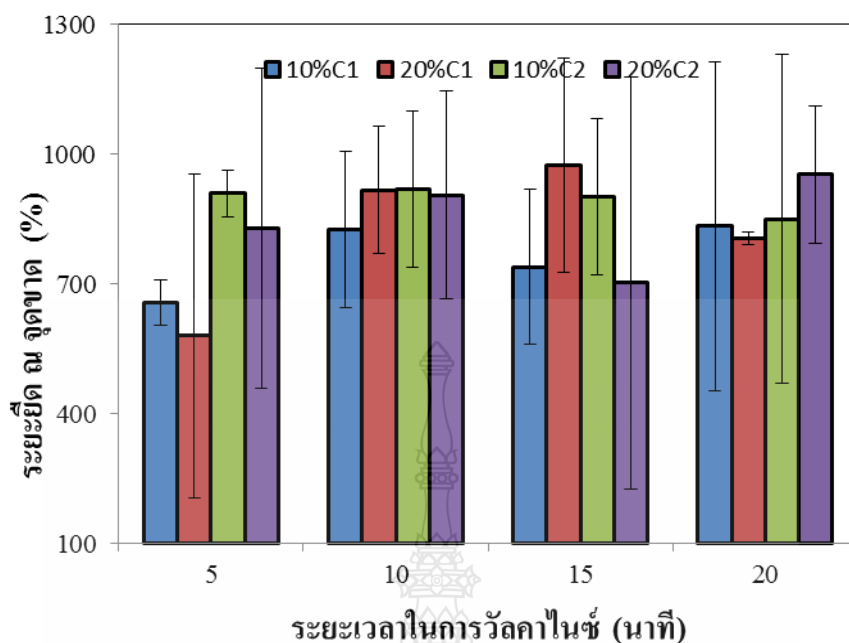
4.3.2 ระยะยืด ณ จุดขาด (Elongation at Break)

ตารางที่ 4.5 ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

Curing Time (min)	Elongation at Break (%)			
	10% C1*	20% C1	10% C2**	20% C2
5	658.10±461.82	580.32±375.46	909.32±52.83	827.83±370.44
10	826.01±26.87	916.87±147.38	919.73±180.91	905.59±240.99
15	739.49±121.88	973.80±247.57	902.63±179.99	702.49±476.05
20	834.35±27.24	805.68±13.50	850.87±380.85	953.43±158.98

* C1 = Styrene Acrylate (เกรด 9301)

** C2 = Styrene Acrylate (เกรดทั่วไป)



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบประระยัด ผน จุดขาดของแผ่นฟิล์มถูงมื่อยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วย สไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

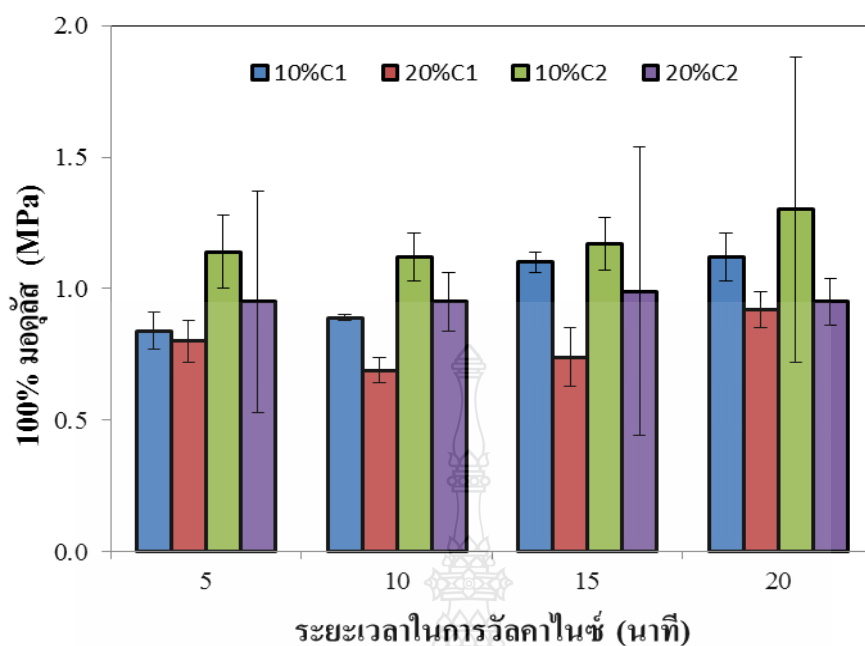
4.3.3 100% โมดูลัส (Modulus)

ตารางที่ 4.6 ค่า 100% โมดูลัส ของฟิล์มถูงมื่อยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วย สไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

Curing Time (min)	100% Modulus (%)			
	10% C1*	20% C1	10% C2**	20% C2
5	0.84±0.07	0.80±0.08	1.14±0.14	0.95±0.42
10	0.89±0.01	0.69±0.05	1.12±0.09	0.95±0.11
15	1.10±0.04	0.74±0.11	1.17±0.10	0.99±0.05
20	1.12±0.09	0.92±0.07	1.30±0.58	0.95±0.09

* C1 = Styrene Acrylate (เกรด 9301)

** C2 = Styrene Acrylate (เกรดทั่วไป)



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบค่า 100% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

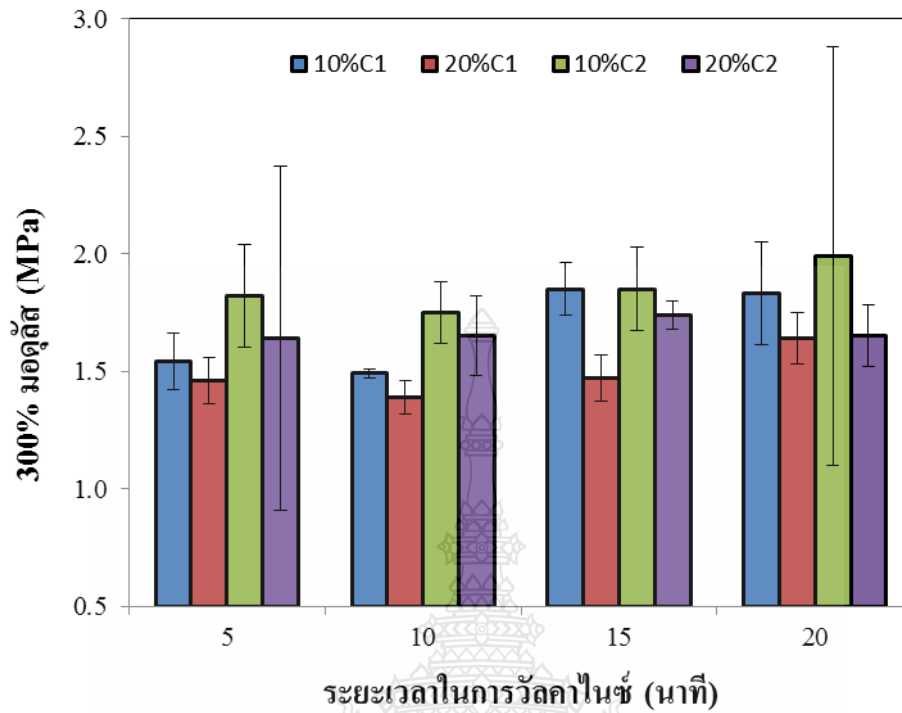
4.3.4 300% โมดูลัส (Modulus)

ตารางที่ 4.7 ค่า 300% โมดูลัส ของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

Curing Time (mins)	300% Modulus (%)			
	10% C1*	20% C1	10% C2**	20% C2
5	1.54±0.12	1.46±0.10	1.82±0.22	1.64±0.73
10	1.49±0.02	1.39±0.07	1.75±0.13	1.65±0.17
15	1.85±0.11	1.47±0.10	1.85±0.18	1.74±0.06
20	1.83±0.22	1.64±0.11	1.99±0.89	1.65±0.13

* C1 = Styrene Acrylate (เกรด 9301)

** C2 = Styrene Acrylate (เกรดทั่วไป)



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบค่า 300% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วย สไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

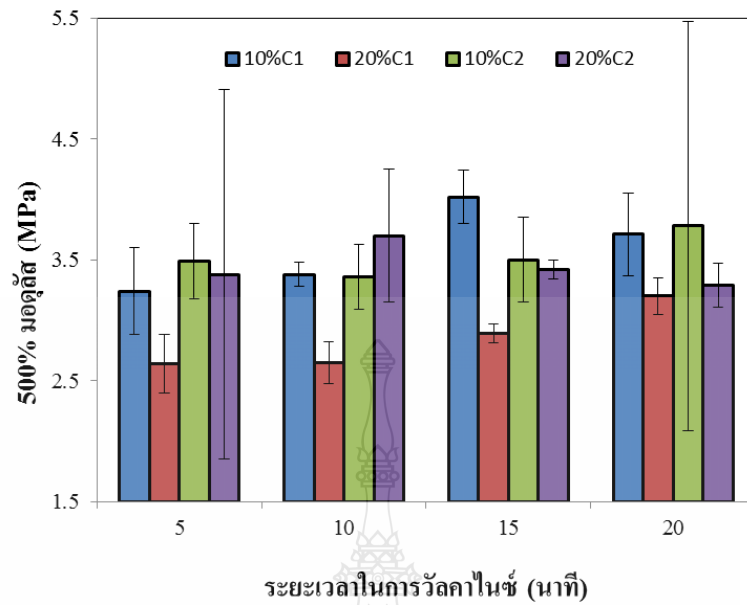
4.2.5 500% โมดูลัส (Modulus)

ตารางที่ 4.8 ค่า 500% โมดูลัส ของแผ่นฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่ง วัลคาไนซ์ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

Curing Time (mins)	500% Modulus (%)			
	10% C1*	20% C1	10% C2**	20% C2
5	3.24±0.36	2.64±0.24	3.49±0.31	3.38±1.53
10	3.38±0.10	2.65±0.17	3.36±0.27	3.70±0.55
15	4.02±0.22	2.89±0.08	3.50±0.35	3.42±0.08
20	3.71±0.34	3.20±0.15	3.78±1.69	3.29±0.18

* C1 = Styrene Acrylate (เกรด 9301)

** C2 = Styrene Acrylate (เกรดทั่วไป)



รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบค่า 500% โมดูลัส ของฟิล์มถุงมือยางโปรตีนต่ำเคลือบด้วยสไตรีนอะคริเลตซึ่งวัลคาไนซ์ ที่ระยะเวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที

จากตารางที่ 4.4- 4.8 และรูปที่ 4.3-4.7 แสดงค่าความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และโมดูลัสที่ 100%, 300 และ 500% ของถุงมือยางเคลือบสไตรีนอะคริเลต ที่ความเข้มข้น 10 และ 20% โดยน้ำหนัก โดยใช้เกรด 9301 และเกรดทั่วไป โดยทำการวัลคาไนซ์ที่เวลา 5, 10, 15 และ 20 นาที จากการศึกษาพบว่าการใช้สไตรีน อะคริเลตเคลือบถุงมือทั้ง 2 เกรด ที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และ 100, 300 และ 500% โมดูลัสมีค่าสูงกว่าการใช้สไตรีน อะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการแปรเวลาในการวัลคาไนซ์ พบว่าที่เวลา 20 นาที ให้ค่าสูงที่สุด ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากถุงมือยางมีการวัลคาไนซ์สมบูรณ์มากขึ้น ทำให้พันธะการเชื่อมโยงมีความหนาแน่นมากขึ้นส่งผลให้ยางมีความทนทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้สไตรีน อะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก เกรด 9301 มีความทนทานต่อแรงดึงลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สไตรีนอะคริเลตมากขึ้นทำให้ยางมีความยืดหยุ่นมากขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่าระยะยืด ณ จุด ขาด มีค่าสูงขึ้นและมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 974 % เมื่อทำการวัลคาไนซ์ ยางเป็นเวลา 15 นาที แสดงผลดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.4 ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความสัมพันธ์กับการทดลองของ Ichikawa และคณะ(1993) [39] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับน้ำยางโปรตีนต่ำเช่นเดียวกัน และได้รายงานว่าน้ำยางโปรตีนต่ำที่ผสมสารเคมีมีค่า ความทนทานต่อแรงดึง ใกล้เคียงกับน้ำยางขึ้น ชนิดแอมโมเนียสูงที่ผสมสารเคมี ส่วนค่า 500% Modulus ต่ำกว่าและ Elongation at Break จะสูงกว่า

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัยและการอภิปรายผล

5.1.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของน้ำยาง

น้ำยางโปรตีนต่ำที่เตรียมได้มีค่า TSC ของน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่า 60.75% น้อยกว่าน้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูงซึ่งมีค่า TSC เท่ากับ 60.87% จะเห็นได้ว่าน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่าน้อยกว่าในน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง

ปริมาณไนโตรเจนของ HANR ลดลงจาก 0.45% โดยน้ำหนักเป็น 0.06% โดยน้ำหนัก ดังนั้นยูเรีย 0.1 w/w% และโซเดียม โดเดซิล ซัลเฟต 1 w/w% มีประสิทธิภาพในการกำจัดโปรตีนที่อยู่ในน้ำยาง เมื่อตรวจวัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ พบว่าการใช้ยูเรียในการลดโปรตีนในน้ำยางสามารถลดปริมาณโปรตีนที่ละลายน้ำได้ถึง $1.52 \mu\text{g/g}$ ซึ่งการกำจัดหรือการลดโปรตีนให้มีระดับต่ำคือ น้อยกว่า $2 \mu\text{g/g}$ ของน้ำยาง จะทำให้ผู้ที่ใช้งานไม่เกิดการแพ้

5.1.2 การทดสอบการหาขนาดอนุภาค และค่าศักย์ซีตาของน้ำยาง

น้ำยาง DPNR และ DPNR Pre-Vulcanized มีค่าศักย์ซีตาดำกว่า HANR และในน้ำยางโปรตีนต่ำมีค่า pH 8.54 ต่ำกว่าน้ำยางชนิดแอมโมเนียสูง ซึ่งมีค่า 9.88 เพราะในระหว่างกระบวนการเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำ แอมโมเนียในน้ำยางได้ระเหยออกไปบางส่วน และเมื่อนำน้ำยางโปรตีนต่ำไปเตรียมเป็นน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ยิ่งทำให้ขนาดอนุภาคขงมีขนาดใหญ่ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในการเตรียมน้ำยางเพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วนและสารเคมีที่เติมลงไปทำให้น้ำยาง

5.1.3 ผลการทดสอบลักษณะโครงสร้างทางเคมี

จาก FT-IR พบแถบการดูดกลืนหมู่ฟังก์ชันของเอไมด์ (N-H) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3326 cm^{-1} ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของโปรตีนที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ และปรากฏฟีกที่เลขคลื่นประมาณ 2961 cm^{-1} , 2917 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดของ CH_2 และ $-\text{CH}_3$ ในยางธรรมชาติ หลังจากนำน้ำยาง HANR มากำจัดโปรตีนด้วยยูเรียร่วมกับโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต ปรากฏว่าไม่พบตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3280 cm^{-1} แต่ปรากฏฟีกเล็ก ๆ ที่ 3320 cm^{-1} คือ หมู่โมโนหรือไดเปปไทด์ ซึ่งเป็นการยืนยันว่ากระบวนการกำจัดโปรตีนนั้นมีประสิทธิภาพ

5.1.4 สมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มถุงมือยางวัลคาไนซ์

การใช้สไตรีน อะคริเลตเคลือบถุงมือยางทั้ง เกรด 9301 และเกรดทั่วไป ที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ส่งผลให้ค่าความทนทานต่อแรงดึง ระยะยืด ณ จุดขาด และ 100, 300 และ 500% โมดูลัสมีค่าสูงกว่าการใช้สไตรีน อะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก และเมื่อทำการแปรเวลาในการวัลคาไนซ์ พบว่าที่เวลา 20 นาที ให้ค่าสูงที่สุด สไตรีน อะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก เกรด 9301 มีความทนทานต่อแรงดึงลดลง ในขณะที่ค่าระยะยืด ณ จุดขาด มีค่าสูงขึ้นและมีค่าสูงที่สุด เท่ากับ 974 % เมื่อทำการวัลคาไนซ์เป็นเวลา 15 นาที

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการทดสอบหาความหนืดของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์

5.2.2 ในการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ควรมีการทดสอบระดับการคงรูปยางด้วย Chloroform test ของน้ำยาง และหาความแน่นของพันธะการเชื่อมโยง (Crosslink Density) ของยางวัลคาไนซ์

5.2.3 ควรมีการศึกษาการการบ่มแรงถุงมือยางด้วยความร้อนเพื่อเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการบ่มแรง เพื่อการเสื่อมสภาพสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

5.2.4 ควรมีการทดสอบความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength)

5.2.5 ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบผลของสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ แอมโมเนีย

บรรณานุกรม

- [1] 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.
- [2] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี .2553. *โปรตีนในน้ำยางธรรมชาติ*. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มีนาคม. หน้า 17
- [3] วราภรณ์ ขจรไชยกูลและวิภา เสวตกนิษฐ. 2537. “การผลิตถุงมือทนกรดและสารเคมี” ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง.รหัสทะเบียนวิจัย 37 17 500 008
- [4] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี. 2547 *การผลิตยางธรรมชาติ*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [5] บุญธรรม นิธิอุทัย. 2530. *ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์และคุณสมบัติ*.คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี.
- [6] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย. 2547. *ยาง ชนิด สมบัติ และการใช้งาน*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- [7] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. ม.ป.ป. *ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ*. กรุงเทพฯ : ศูนย์วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ยาง สถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร.
- [8] 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.
- [9] Baur, X., and Chen, Z. Summary of appropriate measures to prevent natural rubber latex allergy. AllergologyInternational, 1999, vol. 48, p. 31-36.
- [10] Perrella, FW., and Gaspari, AA. Natural rubber latex protein reduction with an emphasis on enzyme treatment. Methods, 2002, vol. 27, p. 77-86.
- [11] Hepner, DL.,and Castells, MC. Latex allergy : an update. Anesth Analg, 2003, vol. 96, p. 1219-1229.
- [12] Tomazic, VT. Adverse reactions to natural rubber latex. User Facility Reporting Bulletin, 1997, no. 19, 4 p.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] Brehler, R., and Kutting, B. Natural rubber latex allergy. Arch Intern Med, April, 2001, vol. 161, no. 8, p. 1057-1064.
- [14] George, KM., et al. Stabilised liquid papain can deproteinise NR latex. Rubber Asia, September/October, 2007, vol. 21, no. 5, p. 81-84.
- [15] 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.
- [16] 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 Kaula Lumpur, 1993, p. 101-110.
- [17] 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.
- [18] [18] 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, p.17.
- [19] 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.
- [20] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังษี และ ทวีศักดิ์ กองคต. *นํ้ายางธรรมชาติผสมพอลิซิสไตรีนอิมัลชันเพื่อทำผลิตภัณฑ์แบบชุบ. การเตรียมและสมบัติ.* ว. สงขลานครินทร์ วทท, กรกฎาคม-สิงหาคม, 2547, ปีที่ 26, ฉบับที่ 4, หน้า 557-593.
- [21] จินตนา ลิกิจวัฒน์. 2551. “ถุงมือยาง” บทความวิทย์กระจายเสียง วันนีกับวิทยาศาสตร์ครั้งที่ 6 กระจายเสียงจากสถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย.
- [22] พงษ์ธร แซ่ฮุย. 2548. *สารเคมียาง.* กรุงเทพมหานคร: ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ พิมพ์ครั้งที่ 1
- [23] พรพรรณ นิธิอุทัย. 2540. *สารเคมีสำหรับนํ้ายาง.* ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. หน้า 209-220

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [24] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2532. “การผลิตถุงมือยาง” งานวิจัย กลุ่มวิชาการ สถาบันวิจัยยางปีที่ 9, ฉบับที่ 2 .หน้า 60-94.
- [25] ณพรัตน์ วิจิตชลชัย, วิชัย โอภาณุกุลและนุชนาฏ ณ ระนอง. 2552. “การพัฒนากระบวนการผลิตถุงมือยาง”หน้า147-153.
- [26] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2534. “เทคโนโลยีการผลิตถุงมือใช้งานบ้าน” งานวิจัยกลุ่มวิชาการ สถาบันวิจัยยาง ปีที่ 11, ฉบับที่ 2 .หน้า 100-108.
- [27] W. Klinklai, T. Saito, S. Kawahara, K. Tashiro, Y. Suzuki, J. TangpakdeeSakdapipanich, and Y. Isono, “Hyper deproteinized natural rubber prepared with urea,” Journal of Applied Polymer Science, vol. 93, pp. 555-559, Feb 2004.
- [28] Bravar, M.; Rolich1, J.;Biga, N. European Polymer Journal. 1980, 16,7, 637–640.
- [29] Kurian ,J. K; Peethambaran, N.R; Mary, K.C;Kuriakose, B. 2000. Journal of Applied Polymer Science.78, 304-310.
- [30] วิภา เสวตกนิษฐ์และกุลทิวา รัตนเวคินรักษ์. 2546. “การทดสอบและมาตรฐานถุงมือยางทางการแพทย์” ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.
- [31] Santipanusopon, S.; Riyajan ,S.-A. Physics Procedia .2009, 2,127-134.
- [32] โยชิน ชिरงค์, 2537. การเตรียมและสมบัติของยางโปรตีนต่ำจากน้ำยางธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เทคโนโลยียาง) คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [33] บุญธรรม นิธิอุทัย. 2532. ปฏิบัติการเทคโนโลยีน้ำยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 124 หน้า.
- [34] พร้อมศักดิ์ สงวนชามรงค์. เอกสารประกอบการอบรม “การวิเคราะห์น้ำยาง”. การอบรมเทคโนโลยียาง ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย. นครปฐม. 2555.
- [35] ASTM D 3533-90. 1994. Rubber: Nitrogen content. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, pp. 525-527.
- [36] ISO/WD 12243. 1994. Determination of water extractable proteins in latex glove (Lowry method) Rubber and rubber products: Latex.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [37] วินิช พรหมอารักษ์ และกานต์ตระกูล วุฒิสภา .2533. เอกสารประกอบการเรียนการวิเคราะห์พอลิเมอร์ ด้วยเครื่องมือ (Instrumental Methods of Polymer Analysis).
- [38] A.B. Nair and R.Joseph, "Eco-friendly bio-composite using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements," pp.249-283.
- [39] Ichikawa, N., Eng, Aik-Hwee and Tanaka, Y. 1993. Properties of deproteinised natural rubber latex. Proceeding International Rubber Technology Conference, Bahasa, Malaysia, pp. 101-110.



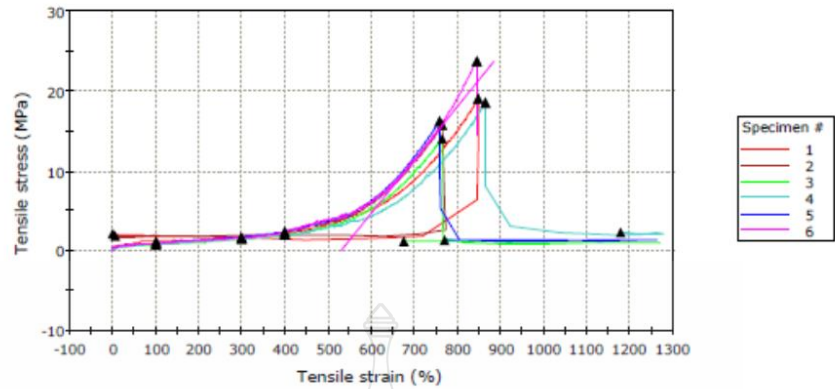


ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

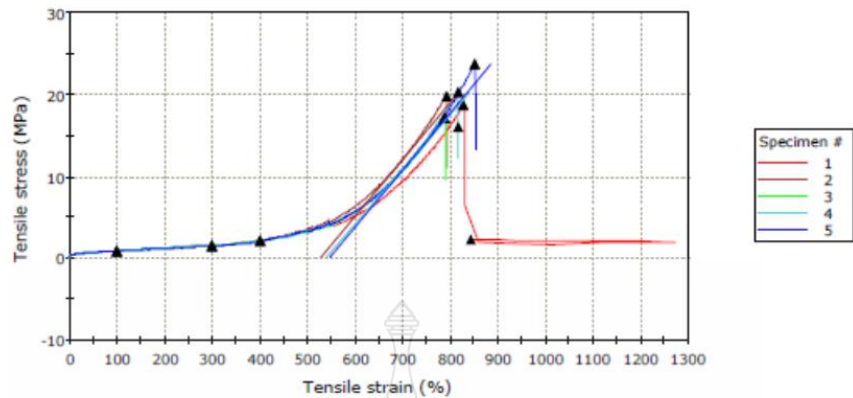
ข้อมูลการทดสอบสมบัติเชิงกลของฉนวนใยแก้วพรีตั้นต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่
ระยะเวลาในการวัลคาไนซ์แตกต่างกัน



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	8.06	848.56	18.97	2.15	0.53	8.49	1.17
2	7.88	766.12	15.76	1.83	7.07	7.69	0.88
3	9.10	765.33	14.01	1.17	674.80	7.04	0.74
4	9.24	864.69	18.47	2.24	1180.25	8.82	0.82
5	8.11	759.80	16.21	1.32	770.28	8.10	0.91
X 6	10.08	846.31	23.71	23.71	846.31	10.63	0.92
Mean	8.48	800.9	16.68	1.74	526.59	8.03	0.90
Standard Deviation	0.64	51.24	2.04	0.48	513.63	0.70	0.16

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.18	1.54	2.05	3.19	0.085
2	1.19	1.63	2.25	3.49	0.100
3	1.04	1.39	1.88	3.00	0.130
4	1.15	1.49	1.89	2.78	0.100
5	1.24	1.66	2.31	3.68	0.100
X 6	1.19	1.54	2.34	3.90	0.085
Mean	1.16	1.54	2.07	3.23	0.103
Standard Deviation	0.08	0.11	0.20	0.36	0.02

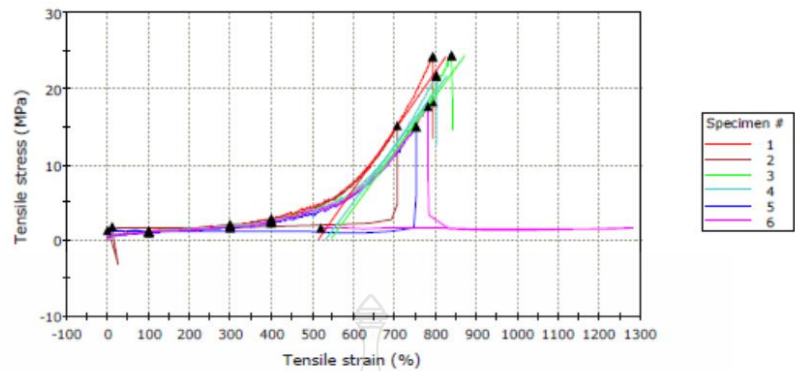
รูปที่ ก.1 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโปรตีนดำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัลคาไนซ์ 5 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	8.44	827.77	18.76	2.27	842.69	9.05	0.88
2	11.93	791.93	19.88	19.88	791.93	9.45	0.90
3	10.31	788.06	17.19	17.11	789.20	8.19	0.87
4	13.23	815.62	20.35	16.00	816.95	9.52	0.89
5	14.26	852.47	23.76	23.76	852.47	10.47	0.88
Mean	11.63	815.17	19.99	15.80	818.65	9.34	0.88
Standard Deviation	2.32	26.58	2.44	8.14	28.75	0.83	0.01

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.14	1.47	2.02	3.41	0.090
2	1.15	1.50	2.13	3.49	0.120
3	1.18	1.54	2.10	3.13	0.120
4	1.16	1.53	2.06	3.23	0.130
5	1.18	1.47	2.08	3.37	0.120
Mean	1.16	1.50	2.08	3.32	0.116
Standard Deviation	0.02	0.03	0.04	0.14	0.02

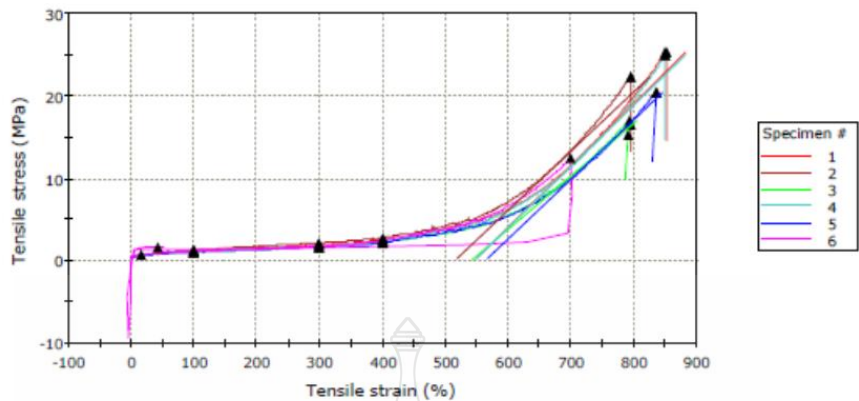
รูปที่ ก.2 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีน
 ต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัลคาไนซ์
 10 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	10.87	793.42	24.15	18.29	794.40	11.73	1.16
X 2	7.52	708.26	15.05	1.74	13.38	8.60	1.15
3	12.22	840.47	24.43	24.43	840.47	10.58	1.10
4	11.97	802.50	21.76	21.76	802.50	10.17	1.06
X 5	8.99	754.43	14.99	1.26	0.89	7.33	1.01
6	8.81	782.08	17.62	1.55	520.57	8.47	1.07
Mean	10.97	804.62	21.99	16.51	739.48	10.24	1.10
Standard Deviation	1.55	25.32	3.15	10.28	147.32	1.35	0.05

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.53	2.01	2.80	4.34	0.090
X 2	1.50	1.95	2.74	4.06	0.100
3	1.42	1.80	2.53	4.00	0.100
4	1.43	1.80	2.48	3.86	0.110
X 5	1.27	1.60	2.21	3.40	0.120
6	1.30	1.77	2.42	3.86	0.100
Mean	1.42	1.85	2.56	4.01	0.100
Standard Deviation	0.09	0.11	0.17	0.23	0.01

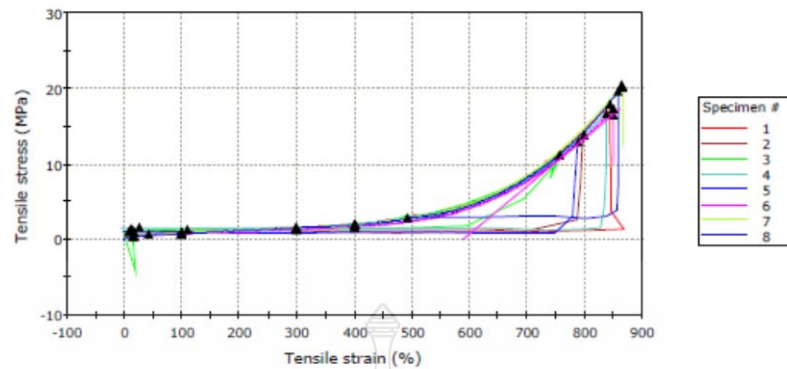
รูปที่ ก.3 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีน
 ค่าที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัลคาไนซ์
 15 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	12.68	851.19	25.35	25.32	852.64	11.15	1.17
2	11.15	795.53	22.30	16.57	769.84	10.42	1.24
X 3	10.22	794.48	17.03	15.22	791.79	8.10	1.01
4	14.95	851.15	24.91	24.91	851.15	10.94	1.03
5	11.24	836.76	20.44	20.44	836.76	9.23	1.04
X 6	6.86	701.41	12.47	1.60	41.60	7.11	1.10
Mean	12.50	833.66	23.25	21.81	834.35	10.44	1.12
Standard Deviation	1.77	26.31	2.31	4.14	26.01	0.86	0.10

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.51	1.87	2.48	3.81	0.100
2	1.69	2.13	2.72	4.18	0.100
X 3	1.36	1.64	2.19	3.27	0.120
4	1.32	1.66	2.22	3.40	0.120
5	1.33	1.64	2.15	3.44	0.110
X 6	1.35	1.72	2.40	3.76	0.110
Mean	1.46	1.83	2.39	3.71	0.108
Standard Deviation	0.18	0.23	0.26	0.37	0.01

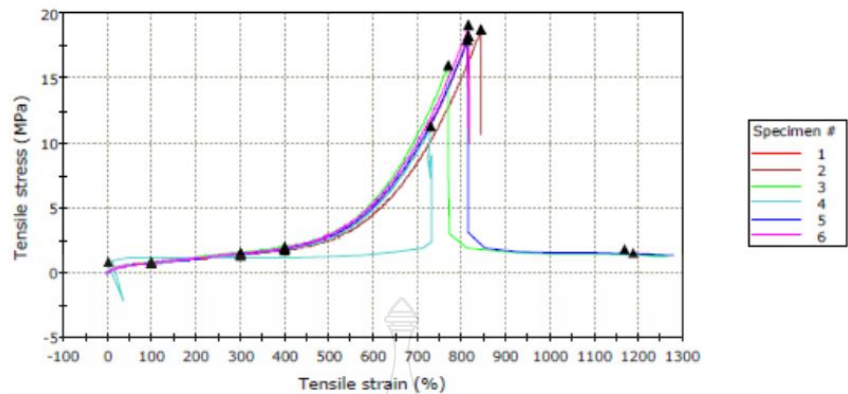
รูปที่ ก.4 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีนต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัดคาบไวนซ์ 20 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	9.87	844.44	17.94	1.31	108.79	7.79	0.87
X 2	7.63	801.13	13.86	1.13	16.29	6.24	0.72
X 3	5.60	757.81	11.21	1.55	26.00	4.78	0.78
4	7.53	838.37	16.73	1.45	12.90	7.66	0.79
X 5	7.76	790.78	12.93	0.92	7.21	6.64	0.72
6	11.23	851.25	17.28	16.45	851.40	7.90	0.69
7	10.25	866.16	20.51	20.15	867.76	9.21	0.85
8	8.83	860.14	19.63	2.93	493.31	9.55	0.78
Mean	9.54	852.07	18.42	8.46	466.83	8.42	0.80
Standard Deviation	1.42	11.29	1.60	9.10	401.12	0.89	0.07

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.25	1.53	2.00	2.87	0.110
X 2	1.02	1.36	1.73	2.74	0.110
X 3	1.06	1.47	1.87	2.87	0.100
4	1.16	1.54	1.98	2.82	0.090
X 5	1.02	1.35	1.66	2.36	0.120
6	0.98	1.29	1.63	2.29	0.130
7	1.22	1.52	1.90	2.70	0.100
8	1.12	1.49	1.87	2.71	0.090
Mean	1.15	1.47	1.88	2.68	0.104
Standard Deviation	0.18	0.23	0.26	0.37	0.01

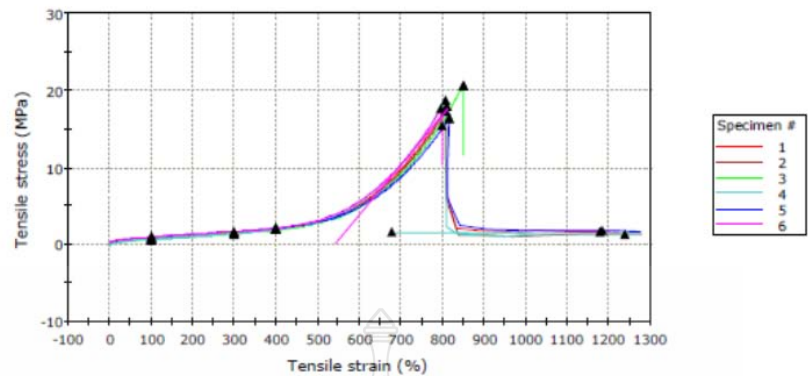
รูปที่ ก.5 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีนต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัดคาบไวนซ์ 5 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	11.83	816.87	18.20	18.20	816.87	8.87	0.75
2	12.18	845.50	18.74	18.74	845.50	8.50	0.65
X 3	9.57	770.43	15.95	1.73	1170.33	8.59	0.73
X 4	6.47	731.80	11.26	0.76	2.02	6.31	0.69
5	9.87	814.45	17.95	1.47	1187.79	8.57	0.67
6	10.49	817.30	19.07	19.07	817.30	8.92	0.69
Mean	11.09	823.53	14.37	14.37	916.87	8.72	0.69
Standard Deviation	1.09	14.70	8.61	8.61	181.11	0.21	0.05

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.05	1.45	1.82	2.60	0.130
2	0.96	1.30	1.65	2.42	0.130
X 3	1.12	1.48	1.96	2.89	0.120
X 4	1.02	1.38	1.77	2.58	0.115
5	0.99	1.37	1.82	2.83	0.110
6	1.07	1.43	1.88	2.76	0.110
Mean	1.02	1.39	1.80	2.65	0.120
Standard Deviation	0.05	0.06	0.10	0.19	0.01

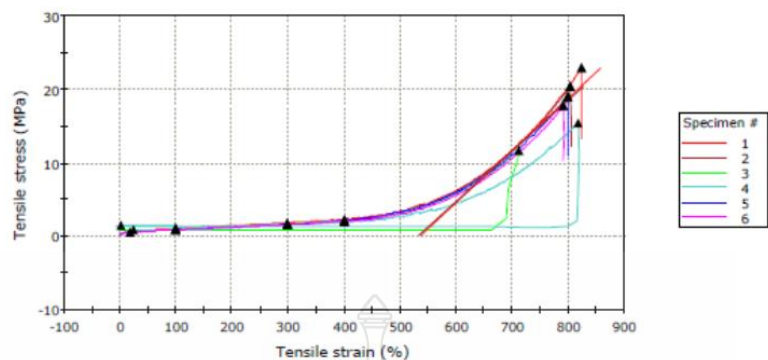
รูปที่ 6.6 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติ โพรตีนต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาวัลคาไนซ์ 10 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	8.96	810.78	17.93	1.57	1178.03	8.60	0.73
2	8.19	809.57	17.25	1.23	1240.14	8.40	0.73
X 3	10.31	850.57	20.63	20.63	850.57	9.49	0.68
4	9.38	809.52	18.76	1.54	677.89	9.05	0.58
5	8.16	816.18	16.31	1.82	1184.03	7.72	0.92
6	10.58	798.03	17.63	15.38	799.15	8.85	0.92
Mean	9.05	808.82	17.58	4.31	1015.85	8.53	0.77
Standard Deviation	1.00	6.62	0.90	6.19	257.91	0.51	0.14

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.04	1.47	1.95	2.84	0.100
2	1.05	1.47	1.95	2.80	0.095
X 3	1.01	1.40	1.85	2.75	0.100
4	0.91	1.31	1.85	2.92	0.100
5	1.28	1.67	2.05	2.87	0.100
6	1.26	1.61	2.07	2.99	0.120
Mean	1.11	1.51	1.97	2.88	0.103
Standard Deviation	0.16	0.14	0.09	0.07	0.01

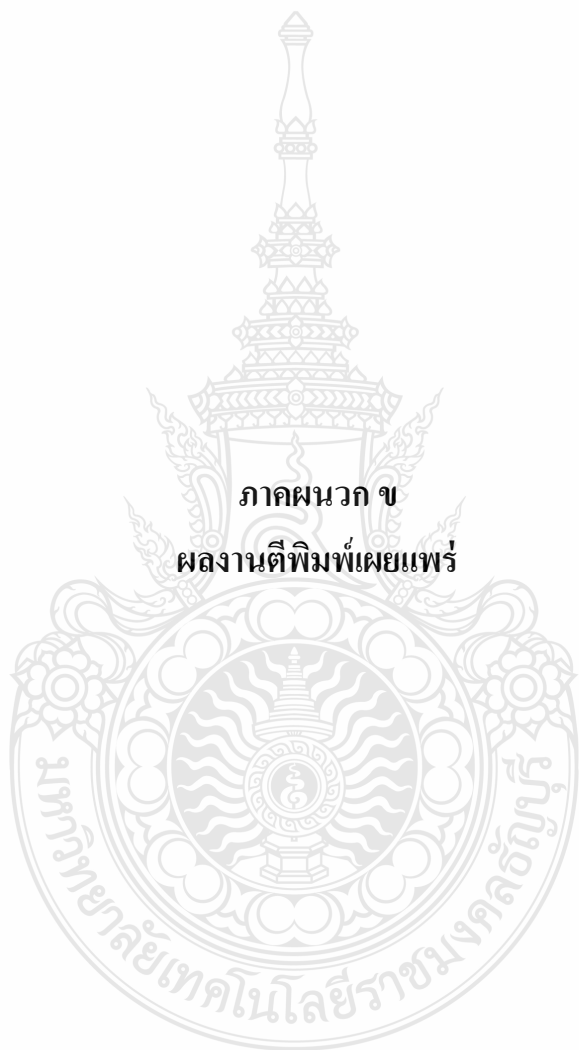
รูปที่ ก.7 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีน ต่ำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัลคาไนซ์ 15 นาที



	Maximum Load (N)	Tensile strain at Maximum Load (%)	Tensile stress at Maximum Load (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (MPa)	Tensile stress at Break (Standard) (%)	Modulus (Automatic Young's) (MPa)	Tensile stress at 100% modulus (MPa)
1	12.60	825.31	22.91	22.91	825.31	10.71	1.02
2	12.26	804.79	20.43	20.43	804.79	9.64	0.91
X 3	7.53	712.21	11.59	0.86	24.13	6.33	0.92
X 4	8.91	818.67	15.49	1.48	1.78	7.39	0.95
5	11.42	799.56	19.04	19.04	799.56	9.10	0.86
6	11.53	793.04	17.73	17.73	793.04	8.84	0.88
Mean	11.95	805.68	20.03	20.03	805.68	9.57	0.92
Standard Deviation	0.57	13.94	2.22	2.22	13.94	0.83	0.07

	Tensile stress at 200% modulus (MPa)	Tensile stress at 300% modulus (MPa)	Tensile stress at 400% modulus (MPa)	Tensile stress at 500% modulus (MPa)	Thickness (mm)
1	1.41	1.81	2.28	3.38	0.110
2	1.29	1.64	2.12	3.26	0.120
X 3	1.30	1.64	2.05	3.00	0.120
X 4	1.21	1.55	1.91	2.65	0.115
5	1.18	1.58	2.09	3.20	0.120
6	1.16	1.54	1.97	2.97	0.130
Mean	1.26	1.64	2.12	3.20	0.120
Standard Deviation	0.11	0.12	0.13	0.17	0.01

รูปที่ ก.8 ผลการทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของของแผ่นฟิล์มถุงมือยางธรรมชาติโพรตีน
 คำที่เคลือบสไตรีนอะคริเลตที่ความเข้มข้น 20% โดยน้ำหนัก ที่ระยะในการวัลคาไนซ์
 20 นาที



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

ผลงานวิจัยในงานประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ (National and International Conferences)

1. W. Ariyawiriyanan ,J. Nuinu, K. Sae-hang, and S. Kawahara (2012). The Mechanical Properties of Vulcanized Deproteinized Natural Rubber. December 5-8, 2012. 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (EMSES2012) Sunee grand hotel, Ubon-ratchathani.

2. Jutarat Nuinu, Warunee Ariyawiriyanan^{1*} and Seiichi Kawahara. Properties of Dipped Mold Deproteinized NR Latex Film. July 6-11, IUPAC World Polymer Congress 2014 (MACRO 2014) Chiangmai, Thailand.





10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering
(EMSES2012)

The Mechanical Properties of Vulcanized Deproteinized Natural Rubber

Warunee Ariyawiriyanan^{a*}, Jutharat Nuinu^a, Kewwarin Sae-heng^b
and Seiichi Kawahara^b

^aDepartment of Materials and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand
^bDepartment of Materials Science and Technology, Faculty of Engineering, Nagaoka University of Technology,
Niigata 940-2188, Japan

Abstract

Properties of deproteinized natural rubber (DPNR) were investigated in order to apply the DPNR latex as non-allergy vulcanized rubber thin film products. Removal of proteins from natural rubber was made by incubation of high ammonium natural rubber latex (HA-NR) with urea 0.1 wt%, 1 hour in the presence of surfactant at room temperature (DPNR). The nitrogen content of the DPNR was reduced to 0.05 wt%, which was lower than 0.45 wt% of HA-NR under the test condition. The reduction of protein content can be confirmed by observation a chemical structure through FT-IR technique. It is suggesting that the urea treatment is an effective method to remove protein from rubber latex. Then, physical properties of the DPNR latex were investigated. Amount of water soluble protein was observed through modified lowry method and it was found that water soluble protein content after incubation HA-NR with urea was reduced to 15 $\mu\text{g/g}$ (DPNR) from 4,245 $\mu\text{g/g}$ (HA-NR). It was found that VFA number of DPNR was lower than that of HA-NR due to lower amount of protein presence in rubber latex. The particle size and charge of rubber latex was examined by dynamic light scattering and zeta potential to compare between un-vulcanized latex and vulcanized latex. The mechanical properties were then observed when we applied the DPNR latex to vulcanized rubber glove.

© 2013 The Authors. Published by Elsevier B.V.
Selection and peer-review under responsibility of COE of Sustainable Energy System, Rajamangala University of Technology Thanyaburi (RMUTT)

Keywords: deproteinized natural rubber, sulfur-vulcanization, rubber latex, mechanical properties.

* Corresponding author. Tel.: +662-549-3484-5; fax: +662-577-5026.
E-mail address: warunee.a@en.rmUTT.ac.th

1. Introduction

Removal of proteins from natural rubber (NR) with urea is conducted to prepare a vulcanized DPNR latex, rapidly and efficiently. The proteins present on the surface of NR particle in the latex stage may sometimes cause an allergy [1-3] to sensitive individual and side reaction during chemical modification of NR latex [4]. In our previous work [5-7], the removal of proteins can be successfully prepared in latex stage using proteolytic enzyme to decompose the proteins and urea treatment to denaturation of the proteins. However, in order to improve DPNR latex as a rubber product it is necessary to investigate the properties of vulcanized latex.

In this study, physical and mechanical properties of DPNR latex treated with urea as a denaturant in the presence of surfactant was investigated. DPNR latex was also applied for vulcanization in latex stage in order to prepare a thin film product.

2. Experimental

2.1 Materials

Natural rubber latex (HANR), Sulfur (S), Zinc oxide (ZnO), Zincdiethyldithiocarbamate (ZDEC), Zinc mercaptobenzoazole (ZMBT), Wingstay-L and Terric acid were purchased from Rubber Research Institute of Thailand. Sodium dodecyl sulphate (SDS) was supported by Nagaoka University of Technology. Calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) were purchased from TTK science. Ltd. Urea was purchased from BDH Laboratory Supplies Ltd. Potassium hydroxide (KOH) was purchase from VWR International Ltd. Polymer coating (C1 and C2) was donated from Glove Company.

2.2 Preparation of deproteinized natural rubber (DPNR)

HANR latex was incubated with 0.1 wt% urea in the presence of 1.0 wt% SDS solution at Room temperature. for 1 h. the centrifugation was used to separate the cream fraction, which was redispersed in 1.0 wt% SDS solution. Then, the cream fraction was washed twice with 0.5 and 0.1 wt% SDS solution, respectively.

2.3 Preparation of pre-vulcanized latex

The DPNR latex was prepared by compounding of DPNR latex according to the formulations shown on Table 1. The mixtures were incubated at room temperature for 96 h, and then were pre-vulcanized at 60°C for 25 mins.

Table 1 Formulation of pre-vulcanized DPNR latex compound

Component	Weight (g)
60% DPNR latex	167.0
10% KOH	2.0
10% Terric acid	0.2
50% Sulfur	1.6
50% ZDEC	0.8
50% ZMBT	0.8
50% Wingstay-L	2.0
50% ZnO	2.0
30% Coating polymer (C1 and C2)	10, 20

2.4 Preparation of DPNR latex films

The DPNR film was prepared by dipping method as shown in Fig.1. The dipping was achieved by using ceramic bar as mold. The mold was dipping into the coagulant for 30 s followed by drying in the oven at 100°C for 1 min. The dried mold was dipped into the prevulcanized DPNR latex. The soaking time was 1 min, after that was vulcanized in the oven at 100°C for 30 mins.

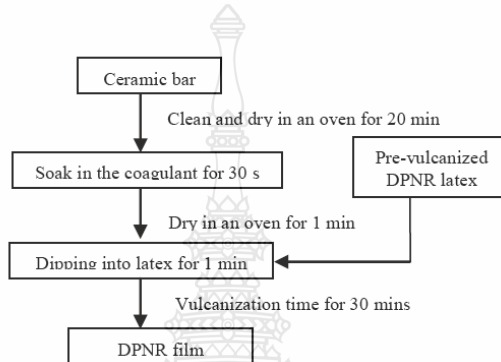


Fig.1 Preparation of vulcanized DPNR films

2.5 Characterizations of DPNR latex

The physical properties of latex were investigated by Thai Industrial Standard (TIS 980 – 2009) i.e. determination of total solids content (ISO 124 - 1997), determination of dry rubber content (ISO 126 - 1995) and determination of volatile fatty acid number (ISO 506 - 1992).

2.6 Water soluble protein measurement

The amount of water soluble protein of rubber dry film prepared from concentrated NR was measured using a Standard Test Method for Analysis of Aqueous Extractable Protein in Natural Rubber and Its Products Using the Modified Lowry Method.

2.7 Mechanical properties

The testing was performed according to determination of tensile stress – strain properties (ISO 37 - 2005) type 2. The two pieces of dumbbell were cut from each film. Also, the average thickness was evaluated and used for the measurement. Mechanical properties of tensile strength and elongation at break for NR vulcanized films were investigated by universal testing machine (INSTRON). The crosshead was operated at speed of 500mm/min.

2.8 Particle size distribution and zeta potential analysis

Particle size distribution and zeta potential analysis was determined using a Malvern 2000 laser particle analyzer. About 5–10% (v/v) of rubber latex was dispersed in distilled water before the analysis.

The stock buffer solution was freshly prepared in the pH range of 4–12 for dispersing the pre-vulcanized NR latex, as given in Table 1. Samples were prepared by adding one drop of latex to 20 ml of buffer solution. Zeta-potential values for natural rubber particles were determined using zeta potential analyzer (MALVERN S4700 version 1.27). The rubber latex was dropped into de-ionized water and then injected into the sample handling for re-flush and measurement, respectively. Zeta potential was observed using the conversion of the frequency and scattering intensity function.

The Measurement of particle size in suspensions with Brownian motion (Brownian motion) based on the theory of the Stokes-Einstein equation.

$$D = \frac{kBT}{3\pi\eta od} \quad (1)$$

3. Results and Discussion

3.1 Physical properties

Total nitrogen content of HANR and DPNR, which is proportional to the amount of proteins present in the rubber latex, is shown in Table 2. The total nitrogen content of HANR decreased from 0.45 wt% to 0.06 wt% after incubation with urea for 1 hours at room temperature. It may demonstrate that most proteins present in NR latex are attached to the rubber with weak attractive forces, can be detached with urea.

The amount of water soluble protein content of HANR was 4,215 $\mu\text{g/g}$, which was very much higher than those of DPNR (15 $\mu\text{g/g}$), respectively. The result confirms that urea treatment is quite effective to prepare low protein rubber latex.

Physical properties i.e. total solid content (TSC), dry rubber content (DRC) and volatile fatty acid (VFA) of NR were also tabulated in Table 2. %TSC and % DRC of DPNR latex were lower than a neat HANR after centrifugation twice. Then we kept the both DPNR latex (preservation with NH_4 content about 0.2 wt%) for 2 weeks before testing of VFA. Volatile fatty acid number indicates a quality of preservation latex in which occurred from degradation of protein by bacteria present in the latex. VFA number of DPNR was lower than HANR two times. This may be due to the lower amount of protein in the latex.

Table 2 Total solid content (% TSC), dry rubber content (%DRC), nitrogen content, water soluble protein and volatile fatty acid(VFA) number of HANR and DPNR latex.

Sample	TSC (%)	DRC (%)	Nitrogen content (wt%)	Water soluble protein ($\mu\text{g/g}$)	VFA number
HANR	60.87	60.05	0.45	4,215	0.028
DPNR	60.75	59.83	0.06	15	0.014

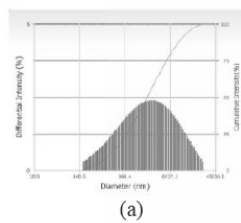
3.2 Particle size distribution and zeta potential

The rubber latex was usually maintained colloidal stability via their surface charges having either lower of -30 mV or higher of +30 mV [13]. Table 3 shows a zeta potential value of HANR, DPNR and pre-vulcanized DPNR latex. It was found that all rubber samples were negative charge at pH 8.5-9.8. The zeta potential values of DPNR latex and pre-vulcanized DPNR were lower than HANR. This may be due to the surface of NR latex was covered with protein molecules which was contains both carboxyl and

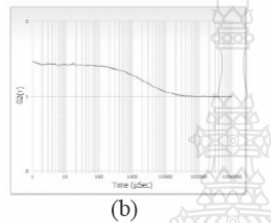
amino groups. Therefore after removal of protein, the negative charge of rubber particles was reduced but still maintain stable without self coagulation. We found that the DPNR latex and pre-vulcanized DPNR latex at pH of 8.5 and 8.9, were -45.90 and -37.69 mV, respectively.

Table 3 Particle size distribution and Zeta potential value of natural rubber latex

Sample	Mean diameter of particle size (nm)	Zeta potential (mV)	pH
HANR	440.57	-58.83	9.88
DPNR	643.67	-45.90	8.54
Pre-vulcanized DPNR	804.60	-37.69	8.90



(a)



(b)

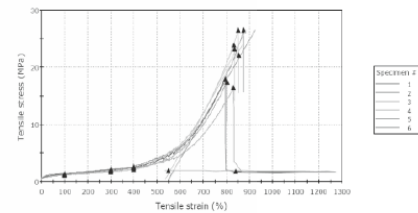


Fig. 3 Stress-strain curve of vulcanized DPNR/C2 at curing time 20 mins.

The particle size distribution of rubber latex was shown in Fig. 2 and mean diameter of particle size for HANR, DPNR and pre-vulcanized DPNR latex was tabulated in Table 3. It was found that the average mean diameter of HANR was lower than DPNR and pre-vulcanized DPNR latex. This may be due to the reduction of zeta potential of the latex. There are a potential to coagulation after removal of negative charge (proteins) and when we stirred the DPNR latex for preparing the pre-vulcanized latex.

3.3 Mechanical properties

The DPNR latex was then compounding using sulfur vulcanization as shown in Table 1. Fig. 3 shows a typical stress-strain curve of pre-vulcanized DPNR. The Tensile strength, modulus100, modulus 300 and elongation at break of the DPNR after vulcanization at various curing times (5, 10, 15 and 20 mins) was estimated from Fig. 3

As can be seen in the Fig. 4, tensile strength of DPNR/C1 was increased with increasing curing time while tensile strength of DPNR/C2 was decreased. It was found that after mix DPNR with C2 at 10 wt% shows the highest value of tensile strength. From Fig. 5, elongation at break of DPNR was higher than that of HANR (843%) in selected conditions.

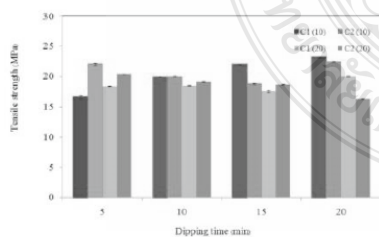


Fig. 4 Tensile strength of vulcanized DPNR/C1 and vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 4 Modulus 100% of vulcanized DPNR/C1 and vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Curing time (mins)	Modulus 100% (MPa)			
	(C1 10)	(C2 10)	(C1 20)	(C2 20)
5	0.90±0.16	1.14±0.15	0.80±0.07	0.95±0.01
10	0.88±0.01	1.15±0.07	0.69±0.05	0.94±0.11
15	1.10±0.05	1.17±0.12	0.77±0.14	0.98±0.04
20	1.12±0.10	1.26±0.10	0.92±0.07	0.94±0.09

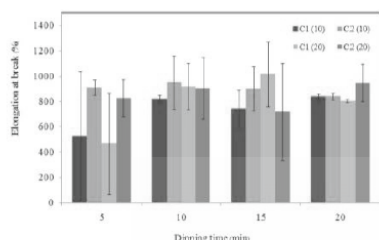


Fig. 5 Elongation at break of vulcanized DPNR/C1 and vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 5 Modulus 300% of vulcanized DPNR/C1 and vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Curing time (mins)	Modulus 300% (MPa)			
	(C1 10)	(C2 10)	(C1 20)	(C2 20)
5	1.54±0.11	1.82±0.24	1.47±0.10	1.63±0.04
10	1.50±0.03	1.81±0.06	1.39±0.06	1.65±0.17
15	1.85±0.11	1.85±0.23	1.51±0.14	1.74±0.06
20	1.83±0.23	1.95±0.12	1.64±0.12	1.63±0.13

Table 4 and Table 5 show the modulus at 100% and 300 % of DPNR/C1 and vulcanized DPNR/C2 at various curing time. It was found that the modulus tended to increased when curing time increased. The modulus at 300% was higher than modulus 100% for all samples. It is worth to note that modulus of vulcanized DPNR was higher than that of HANR. It may suggest the possibility to develop a preparation of low protein natural rubber product when elongation higher than 500%.

4. Conclusion

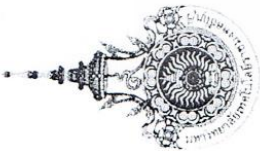
Removal of protein from natural rubber latex using urea treatment was proved to be effective method to prepare vulcanized DPNR rapidly and efficiently. It was confirmed by nitrogen content and amount of water soluble proteins. The DPNR latex is able to void a self coagulation due to a presence of negative charge even after removal of protein. From the present study of vulcanized DPNR, we found that mechanical properties of vulcanized DPNR can be improved by mixed with polymer coating therefore the quality of DPNR materials can be enhanced more for specific applications.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Thailand Research Fund for financial support as a part of this research project through the Medium Project on Rubber (RDG5450077).

References

- [1] Yunginger JW, Jones RT, Fransway AF, Kelso JM, Warner MA, Hunt LW. *J Allergy Clin Immunol* 1994;**93**:836.
- [2] Nutter AF. *Br J Dermatol* 1979;**101**:597.
- [3] Turjanmama K, Laurita K, Makinen-Kiljunen S, Reunala T. *Contact Dermatitis* 1988;**19**: 362.
- [4] Fukushima Y, Kawahara S, Tanaka Y. *J Rubber Res* 1998;**1(3)**:154.
- [5] Kawahara S, Klinklai W, Isono Y. *Polymer for Advanced Technologies* 2004;**15**:181-184.
- [6] Klinklai W, Saito T, Kawahara S, Tashiro K, Suzuki Y, Sakdapipanich J, Isono Y. *Journal of Applied Polymer Science* 2004;**93**:555-559.
- [7] Yamamoto Y, Nghia PT, Klinklai W, Saito T, Kawahara S. *Journal of Applied Polymer Science* 2008;**107**:2329-2332.
- [8] Kawahara S, Isono Y, Saksapipanich JT, Tanaka Y, Eng AH. *Rubb Chem Technol* 2002;**75**:739.
- [9] Sansatsadeekul J, Sakdapipanich J, Rojruthai P. *J Bioscience and Bioengineering* 2011;**111(6)**: 628-634
- [10] Chaikumpollert O, Yamamoto Y, Suchiva K, Kawahara S. *Colloid Polym Sci* 2012;**290**:331-338.
- [11] Siti Maznah K, Baharin A, Hanafi I, Azhar M.E, Mas Rosmal Hakim M.H. *Polymer Testing* 2008;**27**:823-826.
- [12] Chun-Mei D, Mei C, Ning-Jian A, Dan Y, Zhong-Qian Z. *J Appl Polym Sci* 2006;**101**:3442-3447.
- [13] Promdsorn S, Chaiyasat P, Chiyasat A. *Adv. Mat. Res.* 2012;**506**: 299-302.



Certificate of Participation



This is to certify that

J. Nuinu, K. Sae-hang, W. Ariyawiriyanan and S. Kawahara

Has participated as Poster Presenter

The Mechanical Properties of Vulcanized Deproteinized Natural Rubber

In

The 10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

5 – 8 December 2012

At Sunee Grand Hotel, Ubon Ratchitani, Thailand

Namyoat S. Nanyosak

Assoc. Prof. Namyoat Songthanasapitak, Ph.D

President

Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Y. Ogata

Professor Yukio Ogata, Ph.D

Director of Institute of Advanced Energy

Kyoto University



MACR
6-11 JULY 2014
CHIANG MAI, THAILAND



PROCEEDING BOOK

Venue: Chiang Mai International Convention and Exhibition Center (CMICE),
Chiang Mai, Thailand
DATE: JULY 6 - 11, 2014

CONTENT

	Page
Conference Committee	3
Editorial Committee	6
Sessions	
E1: Advances in Polymer Characterization	12
E2: Biopolymers: Advances in Materials, Biomedicine and Health	25
E3: Environmentally Benign Polymers	49
E4: Innovation and Polymer Industry	95
E5: Macromolecular Assembly and Nanostructured Polymer	100
E6: Nanofabrication and Nanopatterning: Challenges and Innovation	106
E7: Natural Rubber: From Basic to Applications	113
E8: Polymer Physics: Theoretical Studies and Modeling	149
E9: Polymer Processing and Composites	158
E10: Polymer Surfaces and Interfaces	230
E11: Polymeric-based Carriers for Medical and Cosmetic Applications	239
E12: Polymers for Biotechnology and Biomedical Applications	265
E13: Polymers for Emerging Technology: Energy, Information Technology, Optics, Electronics, and Opto-electronics	279
E14: Recent Advances in Functional Polymer	283
E15: Recent Developments in Polymer Synthesis	303

MACRO 2014 Committee

Associate Professor Dr. Supawan Tantayanon

Chairperson

Associate Professor Dr. Voravee P. Hoven

Secretary General

Honorary Advisory Committee

Associate Professor Dr. Surin Laosooksathit

(President of the Chemical Society of Thailand)

Associate Professor Dr. Sampan Singharajwarapan

(Dean of the Faculty of Science, Chiang Mai University)

Assistant Professor Dr. Sittichai Wirojanapatump

(Head, Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University)

International Advisory Committee

Professor Dr. Jung-II Jin

South Korea

Professor Dr. Michael Buback

Germany

Professor Dr. Werner Mormann

Germany

Professor Dr. Ann-Christine Albertsson

Sweden

Professor Dr. Michael Rubenstein

USA

Professor Dr. Mitsuo Sawamoto

Japan

Professor Dr. Robert Gilbert

Australia

Professor Dr. Christopher Ober

USA

Professor Dr. Mitsuru Akashi

Japan

Professor Dr. Rigoberto Advincula

USA

Professor Dr. Timothy Deming

USA

Professor Dr. Patrick Theato

Germany

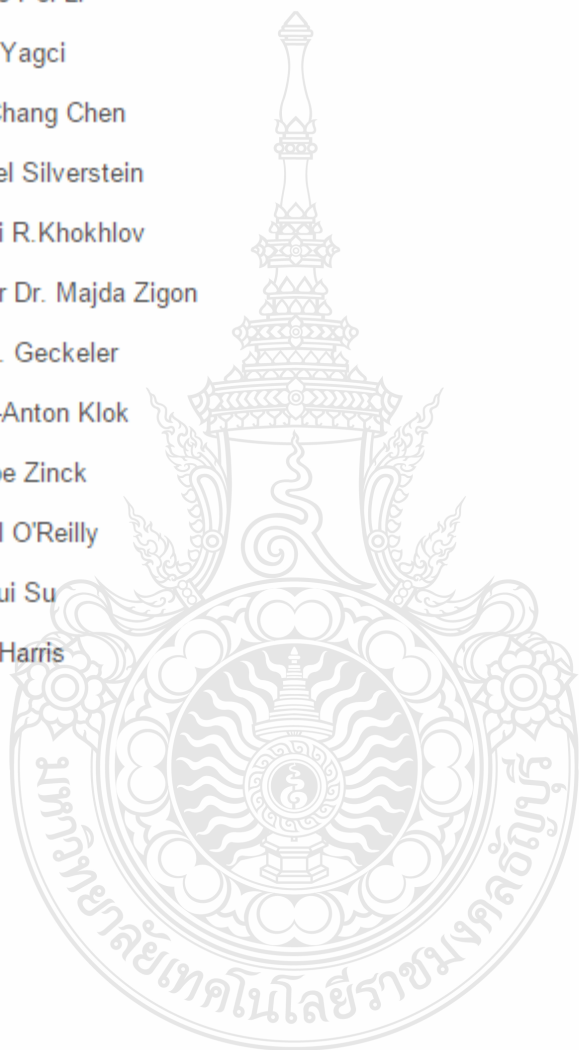
Professor Dr. Todd Emrick

USA

Professor Dr. Elsa Reichmanis

USA

Professor Dr. Atsushi Takahara	Japan
Professor Dr. Michael Hess	Germany
Professor Dr. Takeshi Kikutani	Japan
Professor Dr. Martina Stenzel	Australia
Professor Dr. Andy Hor	Singapore
Professor Dr. Pauline Pei Li	P. R. China
Professor Dr. Yusuf Yagci	Turkey
Professor Dr. Wen-Chang Chen	Taiwan
Professor Dr. Michael Silverstein	Israel
Professor Dr. Alexei R. Khokhlov	Russia
Associate Professor Dr. Majda Zigon	Slovenia
Professor Dr. Kurt E. Geckeler	South Korea
Professor Dr. Harm-Anton Klok	Switzerland
Professor Dr. Philippe Zinck	France
Professor Dr. Rachel O'Reilly	UK
Professor Dr. Zhaohui Su	P. R. China
Professor Dr. Frank Harris	USA



Technical Program Committee

Professor Dr. Suwabun Chirachanchai

Chairperson

Associate Professor Dr. Taweechai Amornsakchai

Associate Professor Dr. Ittipol Jangchud

Associate Professor Dr. Metha Rutnakompituk

Assistant Professor Dr. Krisda Suchiva

Assistant Professor Dr. Toemsak Srihirin

Assistant Professor Dr. Varawut Tangpasuthadol

Assistant Professor Dr. Suparat Rukchonlatee

Assistant Professor Dr. Chonlada Ritvirulh

Assistant Professor Dr. Punnama Siriphannon

Assistant Professor Dr. Wanpen Tachaboonyakiat

Assistant Professor Dr. Panya Sunintaboon

Assistant Professor Dr. Apirat Laobuthee

Assistant Professor Dr. Rangrong Yoksan

Dr. Wannee Chinsirikul

Assistant Professor Dr. Suttinun Phongtamrug

Dr. Nonsee Nimitsiriwat

Dr. Piyapom Na Nongkhai

Dr. Robert Molloy

Dr. Warayuth Sajomsang

Dr. Chantiga Choochottiros

Assistant Professor Dr. Amornrat Lertworasirikul

Assistant Professor Dr. Wanvimol Pasanphan

Regional Organizing Committee

Assistant Professor Dr. Winita Punyodom

Chairperson

Associate Professor Dr. Voravee P. Hoven

Co-Chairperson

Dr. Robert Molloy

Associate Professor Dr. Jintana Siripitayananon

Associate Professor Dr.Suarasak Watanesk

Associate Professor Dr.Ruangsi Watanesk

Associate Professor Dr.Sukon Phanichapan

Associate Professor Dr.Torranin Chairuangsi

Associate Professor Dr.Jaroon Jakmune

Associate Professor Dr.Apinus Rujiwatra

Associate Professor Dr.Thapanee Sarakonsri

Assistant Professor Dr.Hataichanoke Niamsup

Assistant Professor Dr.Jantrawan Pumchusak

Assistant Professor Dr.Kanarat Nalampang

Assistant Professor Dr.Puttinan Meepowpan

Assistant Professor Dr.Piyarat Nimmanpipug

Assistant Professor Dr.Anodar Ratchawat

Dr.Pakawan Puangsombat

Dr.Kritsana Jitmanee

Dr.Nopakam Chandet

Dr.Kiattikhun Manokruang

Dr.Saengrawee Sriwichai

Dr.Paralee Waenkaew

Dr.Patnarin Worajittiphon

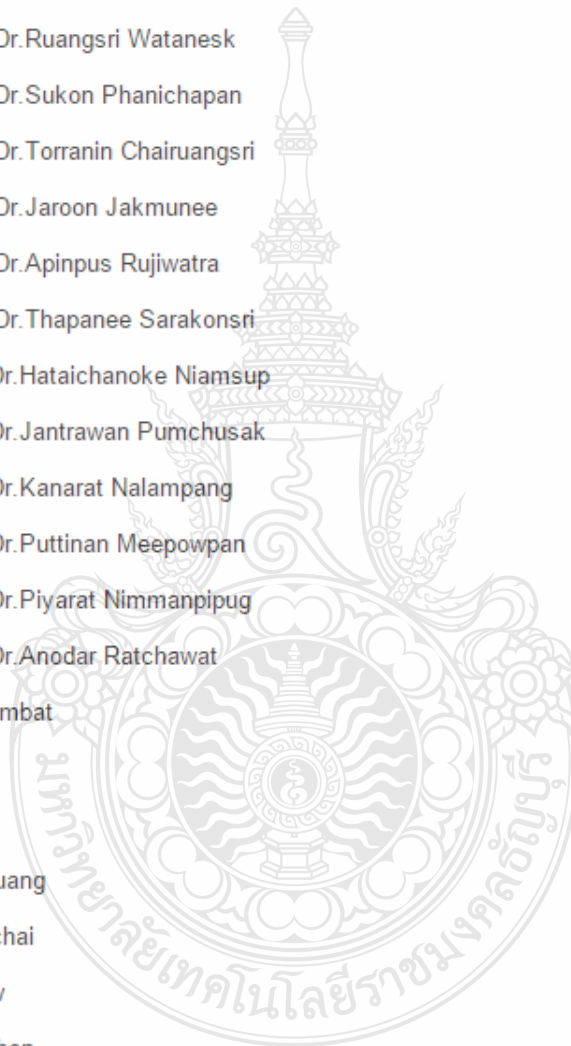
Dr.Nawee Kungwan

Dr.Wan Wiriya

Dr.Kanchana Dumri

Dr.Narin Lawan

Dr.Nuttee Suree



Properties of Dipped Mold Deproteinized NR Latex Film

Jutarat Nuima¹, Warunee Ariyawiriyanan^{1*} and Seiichi Kawahara²

¹Department of Material and Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

Phone: +66-2549-3578, *E-mail: warunee.a@en.rmutt.ac.th
²Department of Materials Science and Technology, Faculty of Engineering, Nagaoka University of Technology, Niigata 940-2188, Japan

Abstract— Properties of pre-vulcanization process of dipped mold deproteinized natural rubber (DPNR) latex film were investigated in order to apply the thin film latex as non-allergy vulcanized rubber thin film products. Removal of proteins from natural rubber was made by incubation of high ammonium natural rubber latex with urea 0.1 wt%, 1 hour in the presence of surfactant at room temperature (DPNR). The nitrogen content of the DPNR was reduced to 0.05 wt%, which was lower than 0.45wt% of HA-NR under the test condition. The reduction of protein content can be confirmed by observation a chemical structure through FT-IR technique. It is suggesting that the urea treatment is an effective method to remove protein from rubber latex. Then, properties of the pre-vulcanization DPNR film were investigated. Amount of water soluble protein of dipped mold DPNR film was 1.5µg/g through modified lowery method. The crosslink density and mechanical properties were then observed when we prepared the dipped mold DPNR latex in different curing system. It is found that the dipped latex films can retain the majority of their tensile properties after subjected to accelerated aging.

Keywords— Deproteinized natural rubber, Sulfur-vulcanization, Peroxide-vulcanization, Mechanical properties, Thermal aging.

Introduction

Removal of proteins from natural rubber (NR) with urea is conducted to prepare a vulcanized DPNR latex, rapidly and efficiently. The proteins present on the surface of NR particle in the latex stage may sometimes cause an allergy [1-3] to sensitive individual and side reaction during chemical modification of NR latex [4]. In our previous work [5-7], the removal of proteins can be successfully prepared in latex stage using proteolytic enzyme to decompose the proteins and urea treatment to denaturation of the proteins. However, in order to improve DPNR latex as a rubber product it is necessary to investigate the properties of vulcanized latex.

In this study, crosslink density and mechanical properties of DPNR latex treated with urea as prepared the dipped mold DPNR latex in different curing system. DPNR latex was also applied for vulcanization in latex stage in order to prepare a dipped Mold Deproteinized NR latex films product.

Experimental

2.1 Materials

Natural rubber latex (HANR), Potassium hydroxide (KOH) was purchased from VWR International Ltd. Tetric acid were purchased from Rubber Research Institute of Thailand. Sodium dodecyl sulphate (SDS) was supported by nagaoka university of technology. Sulfur (S), Zinc oxide (ZnO), Zincdiethyldithiocarbamate (ZDEC), Zinc mercaptobenzoazole (ZMBT), Wingstay-L, Calcium nitrate (Ca(NO₃)₂·4H₂O) were purchased from TTK science, Ltd. Urea was purchased from BDH Laboratory Supplies Ltd. and Polymer coating (C2) was donated from Glove Company.

2.2 Preparation of deproteinized natural rubber (DPNR)

HANR latex was incubated with 0.1 wt% urea in the presence of 1.0 wt% SDS solution at Room temperature, for 1 h. the centrifugation was used to separate the cream fraction, which was redispersed in 1.0 wt% SDS solution. Then, the cream fraction was washed twice with 0.5 and 0.1 wt% SDS solution, respectively.

2.3 Preparation of pre-vulcanized latex

The DPNR latex was prepared by compounding of DPNR latex according to the formulations shown on Table 1. The mixtures were

incubated at room temperature for 96 h, then were pre-vulcanized at 60°C for 25 mins.

Table 1 Formulation of pre-vulcanized DPNR latex compound

Component	Weight (g)
60% DPNR latex	167.0
10% KOH	2.0
10% Tetric acid	0.2
50% Sulfur	1.6
50% ZDEC	0.8
50% ZMBT	0.8
50% Wingstay-L	2.0
50% ZnO	2.0
30% Coating polymer (C1 and C2)	10, 20

2.4 Preparation of DPNR latex films

The DPNR film was prepared by dipping method as shown in Fig.1. The dipping was achieved by using ceramic bar as mold. The mold was dipping into the coagulant for 30 s followed by drying in the oven at 100°C for 1 min. The dried mold was dipped into the pre-vulcanized DPNR latex. The soaking time was 1 min, after that was vulcanized in the oven at 100°C for 30 mins.

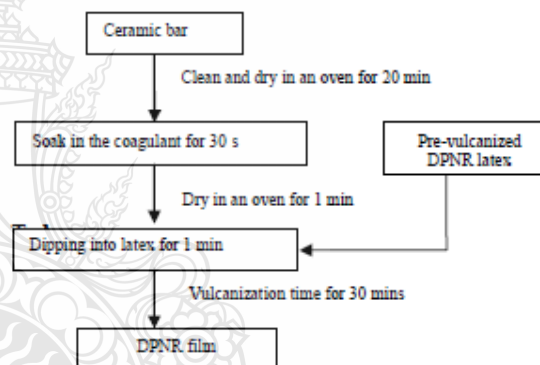


Fig.1 Preparation of vulcanized DPNR films

2.5 Characterizations of DPNR latex

The physical properties of latex were investigated by Thai Industrial Standard (TIS 980 - 2009) i.e. determination of total solids content (ISO 124 - 1997), determination of dry rubber content (ISO 126 - 1995) and determination of volatile fatty acid number (ISO 506 - 1992).

2.6 Water soluble protein measurement

The amount of water soluble protein of rubber dry film prepared from concentrated NR was measured using a Standard Test Method for Analysis of Aqueous Extractable Protein in Natural Rubber and Its Products Using the Modified Lowry Method.

2.7 Mechanical properties

The testing was performed according to determination of tensile stress - strain properties (ISO 37 - 2005) type 2. The two pieces of dumbbell were cut from each film. Also, the average thickness was evaluated and used for the measurement. Mechanical properties of tensile strength and elongation at break for NR vulcanized films were investigated by universal testing machine. The crosshead was operated at speed of 500mm/min.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Physical properties

Total nitrogen content of HANR and DPNR, which is proportional to the amount of proteins present in the rubber latex, is shown in Table 2. The total nitrogen content of HANR decreased from 0.45 wt% to 0.06 wt% after incubation with urea for 1 hours at room temperature. It may demonstrate that most proteins present in NR latex are attached to the rubber with weak attractive forces, can be detached with urea.

The amount of water soluble protein content of HANR was 4,215 $\mu\text{g/g}$, which was very much higher than those of DPNR (1.52 $\mu\text{g/g}$), respectively. The result confirms that urea treatment is quite effective to prepare low protein rubber latex.

Physical properties i.e. total solid content (TSC), dry rubber content (DRC) and volatile fatty acid (VFA) of NR were also tabulated in Table 2. %TSC and %DRC of DPNR latex were lower than a neat HANR after centrifugation twice. Then we kept the both DPNR latex (preservation with NH_4 content about 0.2 wt%) for 2 weeks before testing of VFA. Volatile fatty acid number indicates a quality of preservation latex in which occurred from degradation of protein by bacteria present in the latex. VFA number of DPNR was lower than HANR two times. This may be due to the lower amount of protein in the latex.

Table 2 Total solid content (% TSC), dry rubber content (%DRC), nitrogen content, water soluble protein and volatile fatty acid(VFA) number of HANR and DPNR latex.

Sample	TSC (%)	DRC (%)	Nitrogen content (wt%)	Water soluble protein ($\mu\text{g/g}$)	VFA number
HANR	60.87	60.05	0.45	4,215	0.028
DPNR	60.75	59.83	0.06	1.52	0.014

3.3 Mechanical properties

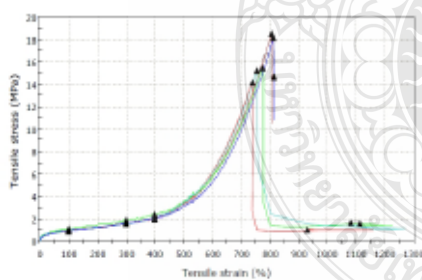


Fig. 3 Stress-strain curve of vulcanized DPNR/C2 at curing time 20 mins.

The DPNR latex was then compounding using sulfur vulcanization as shown in Table 1. Fig. 3 shows a typical stress-strain curve of pre-vulcanized DPNR. The Tensile strength, modulus100, modulus 300 modulus 500 and elongation at break of the DPNR after vulcanization at various curing times (5, 10, 15 and 20 mins) was estimated from Fig. 3

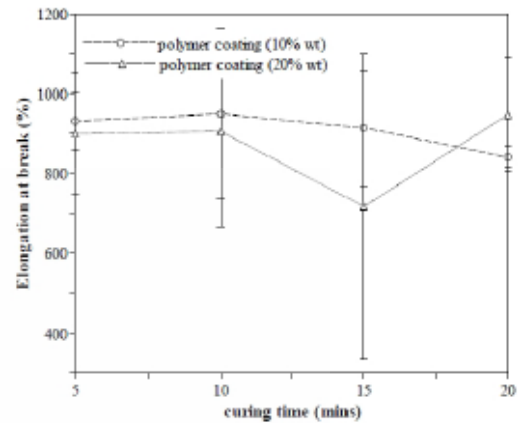


Fig. 2 Elongation at break of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 3 Modulus 100% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Curing time (mins)	Modulus 100% (MPa)	
	Polymer coating (10)	Polymer coating (20)
5	1.14 \pm 0.15	0.95 \pm 0.01
10	1.15 \pm 0.07	0.94 \pm 0.11
15	1.17 \pm 0.12	0.98 \pm 0.04
20	1.26 \pm 0.10	0.94 \pm 0.09

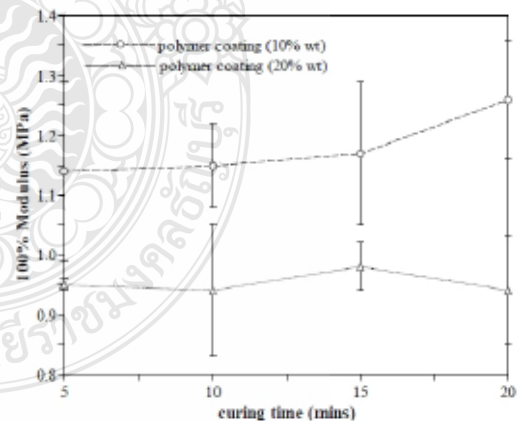


Fig. 3 Modulus 100% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 4 Modulus 300% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Curing time (mins)	Modulus 300% (MPa)	
	Polymer coating (10)	Polymer coating (20)
5	1.82±0.24	1.63±0.04
10	1.81±0.06	1.65±0.17
15	1.85±0.23	1.74±0.06
20	1.95±0.12	1.63±0.13

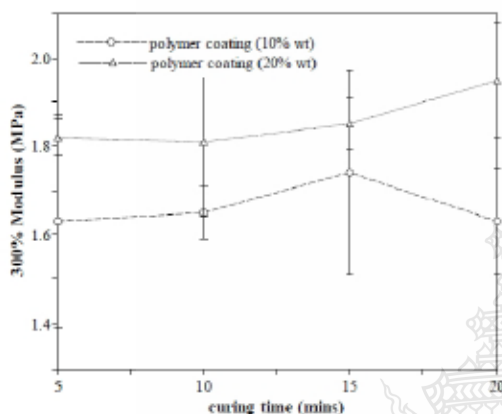


Fig. 4 Modulus 300% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 5 Modulus 500% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Curing time (mins)	Modulus 500% (MPa)	
	Polymer coating (10)	Polymer coating (20)
5	3.49±0.34	3.41±0.15
10	3.46±0.24	3.70±0.55
15	3.50±0.43	3.54±0.27
20	3.64±0.32	3.32±0.19

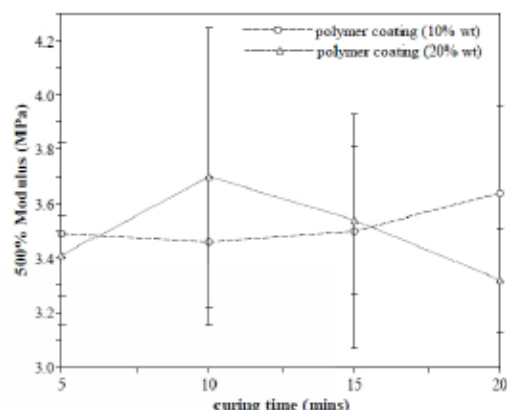


Fig. 5 Modulus 500% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time.

Table 3, Table 4 and Table 5 show the modulus at 100%, 300% and 500% of vulcanized DPNR/C2 at various curing time. It was found that the modulus tended to increase when curing time increased. The modulus at 300% was higher than modulus 100% for all samples. It is worth to note that modulus of vulcanized DPNR was higher than that of HANR. It may suggest the possibility to develop a preparation of low protein natural rubber product when elongation higher than 500%.

4. CONCLUSION

Removal of protein from natural rubber latex using urea treatment was proved to be effective method to prepare vulcanized DPNR rapidly and efficiently. It was confirmed by nitrogen content and amount of water soluble proteins. The DPNR latex are able to void a self coagulation due to a presence of negative charge even after removal of protein. From the present study of vulcanized DPNR, we found that a mechanical properties of vulcanized DPNR can be improved by mixed with polymer coating therefore the quality of DPNR materials can be enhanced more for specific applications.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to the Thailand Research Fund for financial support this research project through the Medium Project on Rubber.

REFERENCES

- [1] Yunginger, J. W., Jones, R. T., Fransway, A. F., Kelso, J. M., Warner, M. A. and Hunt, L. W. *J Allergy Clin Immunol*, 93, 836 (1994).
- [2] Nutter, A. F. *Br J Dermatol*, 101, 597 (1979).
- [3] Turjanmaa, K., Laurita, K., Makinen-Kiljunen, S. and Reunala, T. *Contact Dermatitis*, 19, 362 (1988).
- [4] Fukushima, Y., Kawahara, S. and Tanaka, Y. *J Rubber Res*, 1(3), 154 (1998).
- [5] Kawahara, S., Klinklai, W. and Isono, Y. *Polymer for Advanced Technologies*, 15, 181-184 (2004).
- [6] Klinklai, W., Saito, T., Kawahara, S., Tashiro, K., Suzuki, Y., Sakdapipanch, J. and Isono, Y. *Journal of Applied Polymer Science* 93, 555-559 (2004).
- [7] Yamamoto, Y., Nghia, P.T., Klinklai, W., Saito, T. and Kawahara, S. *Journal of Applied Polymer Science*, 107, 2329-2332 (2008).
- [8] Kawahara, S., Isono, Y., Saksapipanch, J.T., Tanaka, Y. and Eng, A.H. *Rubb Chem Technol*, 75, 739 (2002).
- [9] Sansatsadeekul J, Sakdapipanch J, Rojruthai P. *J Bioscience and Bioengineering* 111 (2011).
- [10] Chaikumpollert O, Yamamoto Y, Suchiva K, Kawahara S (2012) *Colloid Polym Sci* 290:331.
- [11] Siti Maznah K, Baharin A, Hanafi I, Azhar M.E, Mas Rosmal Hakim M.H (2008) *Polymer Testing* 27:823.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล ว่าที่ร้อยตรีหญิงจุฑารัตน์ นุ้ยหนู
วัน เดือน ปีเกิด 19 ตุลาคม 2530
ที่อยู่ 199/505 หมู่ 4 ตำบลรังสิต อำเภอธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
เบอร์โทรศัพท์ 080-7709070
อีเมล J.nuinu@hotmail.com

