



การผสมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ
NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น

โดย
นายดำรงค์ คุ้มเขตร์

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์
ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**BLENDING OF POLYCHLOROPRENE IN NR/NBR LATEX BLENDS TO IMPROVE THE
ADHESION BETWEEN NR AND NBR LAYERS IN TRI-LAYERED SURGICAL GLOVE**

By

Damrong Khumkhet

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF ENGINEERING

Department of Materials Science and Engineering

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2007

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ การผสมพอลิกลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น ” เสนอโดย นายดำรงค์ คุ้มเขตร์ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร.ณัฐวดี ชัยยุตต์)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อำนาจ สิทธีตระกูล)
...../...../.....

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.วันชัย เลิศวิจิตรจรัส)
...../...../.....

47402301 : สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์

คำสำคัญ : พอลิคลอโรพรีน / น้ำยางผสม / ถุงมือแพทย์

คำร่าง คัมเชตร์ : การผสมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : อาจารย์ ดร. วันชัย เลิศวิจิตรจรัส. 120 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการนำยางคลอโรพรีนผสมในน้ำยางผสมระหว่างยางธรรมชาติและยางไนไตรล์ (NR/NBR) เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นยางธรรมชาติและยางไนไตรล์บนถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น ซึ่งเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์ น้ำยางผสมถูกเตรียมโดยนำน้ำยางธรรมชาติ (NR) ยางคลอโรพรีน (CR) และยางไนไตรล์ (NBR) มาผสมกันในระบบผสมที่แตกต่างกัน ระบบน้ำยางผสม 4 ระบบ ที่ทำการศึกษาคือ NR/NBR, NR/CR/NBR, CR/NBR และ NR/CR น้ำยางคลอโรพรีนจะถูกใช้ผสมลงในน้ำยางผสมในปริมาณ 5 – 20 % โดยน้ำหนักแห้ง กระบวนการจุ่มจะถูกใช้ในการผลิตถุงมือแพทย์ซึ่งจะมียางธรรมชาติเคลือบด้วยยางไนไตรล์โดยมีชั้นกลางเป็นน้ำยางผสม ถุงมือที่ได้จะถูกนำไปปั่นและอบด้วยความร้อนก่อนนำไปทำการล้างด้วยสารละลายคลอรีน ถุงมือทั้งก่อนและหลังกระบวนการคลอรีนชั้นจะถูกทำการวัดความหนาของถุงมือ คุณสมบัติความทนต่อแรงดึง และทำการศึกษาลักษณะพื้นผิวของชั้นยางไนไตรล์ด้วยการดูด้วยตาเปล่าและเทคนิค Scanning Electron Microscopy (SEM) ผลของความหนาและคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานของถุงมือที่ใช้ในทางการแพทย์ นอกจากนี้ การเคลือบยางไนไตรล์ที่มีชั้นกลางเป็นยางผสมของระบบ NR/CR/NBR และ CR/NBR ให้ประสิทธิภาพในการเคลือบของยางไนไตรล์ได้ดีที่สุดและประสิทธิภาพจะดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยางคลอโรพรีนในชั้นกลางจนถึง 20 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนการเคลือบโดยใช้ยางผสมระบบ NR/NBR พบบริเวณที่เกิดการลอกออกของชั้นยางไนไตรล์ ภาพ SEM ของพื้นผิวของชั้นเคลือบที่มีชั้นกลางเป็นยางผสมระบบ CR/NBR ให้ผลดีที่สุดและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นถ้าปริมาณยางคลอโรพรีนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตถุงมือขึ้นอยู่กับราคาและต้นทุนในการผลิตถุงมือของบริษัทผู้ผลิต

ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2550
ลายมือชื่อนักศึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

47402301 : MAJOR : POLYMER SCIENCE AND ENGINEERING

KEYWORD: POLYCHLOROPRENE / LATEX BLENDS / SURGICAL GLOVE

DAMRONG KHUMKHET : BLENDING OF POLYCHLOROPRENE IN NR/NBR LATEX BLENDS TO IMPROVE THE ADHESION BETWEEN NR AND NBR LAYERS IN TRI-LAYERED SURGICAL GLOVE THESIS ADVISOR: WANCHAI LERDVIJITJARAS, Ph. D., 120 pp.

This research involves the use of chloroprene rubber in NR/NBR latex blends to improve the adhesion between NR and NBR layers in tri-layered surgical glove, which will be appropriate in surgical application. Latex blends were prepared by using natural rubber (NR), chloroprene rubber (CR) and nitrile rubber (NBR) mixed with different blending systems. Four latex blends, NR/NBR, NR/CR/NBR, CR/NBR and NR/CR blends were used as an intermediate layer. Chloroprene latex was blended in intermediate latex blends with varying amount of 5 – 20 % dry weight. The dipping process was used to produce surgical gloves in which natural rubber was coated with nitrile rubber by having latex blends as an intermediate layer. The formed gloves were tumbled with heating prior to perform the chlorination process. Both before and after chlorination the gloves were measured their thickness, tensile properties and also surface morphologies of the nitrile-coated surface were investigated by eyes and characterized by Scanning Electron Microscopy (SEM) technique. The thickness and tensile properties of those rubbers were tested and met to the standards for dipping products of surgical gloves. In addition to the nitrile coating surface, the middle layer which consist of NR/CR/NBR or CR/NBR latex blends gave the best coating efficiency for nitrile rubber with increasing CR content up to 20 % dry weight. In case of using NR/CR latex blends as the middle layer, it showed the defect of layer peel-off on nitrile coating surface. The SEM photomicrographs of the coating surface with CR/NBR latex blends as the middle layer showed the best efficient coating surface and improvement got better while the amount of CR increased. Therefore, potential application of CR/NBR latex blends as intermediate layer in the glove production should depend on the cost production and the decision of the manufacturer.

Department of Materials Science and Engineering, Graduate School, Silpakorn University. Academic Year 2007

Student's signature

An Independent Study advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

การค้นคว้าอิสระฉบับนี้ได้รับคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีโดยความช่วยเหลือของ อาจารย์ ดร. วันชัย เลิศวิจิตรจรัส และ ดร. อำนาจ สิทธีตระกูล อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ ซึ่งการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินในการวิจัยเพื่อทำสารนิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ บริษัท คาร์ดิแนล เฮลท์ 222 (ประเทศไทย) จำกัด ได้ให้ความอนุเคราะห์น้ำยาและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ สำหรับความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในงานวิจัยครั้งนี้ ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณ Bob J. Moore (ผู้อำนวยการฝ่ายเทคโนโลยีการผลิตของกลุ่มธุรกิจถุงมือ) และคุณต่อเกียรติ น้อยสำลี (วิศวกรผู้เชี่ยวชาญพิเศษ) รวมถึงเพื่อนร่วมงานที่อำนวยความสะดวกและความช่วยเหลือของบริษัท คาร์ดิแนล เฮลท์ 222 (ประเทศไทย) จำกัด ที่ไม่ได้กล่าวถึงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และเพื่อนทุกคนที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบ พระคุณบิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูปประกอบ	ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2	วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	4
1.3	ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.4	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป... ..	4
1.5	ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.. ..	5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1	น้ำยางธรรมชาติ	6
2.1.1	ความหมายของน้ำยางธรรมชาติ.....	6
2.1.2	ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	7
2.2	ชนิดของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ.....	8
2.2.1	ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ	8
2.2.2	ผลิตภัณฑ์ยางแห้งจากยางธรรมชาติ	9
2.3	ผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติและ การแปรรูปโปรตีน	9
2.4	การลดปริมาณโปรตีนตกค้าง.....	10
2.4.1	การใช้น้ำยางโปรตีนต่ำ	10
2.4.2	กระบวนการชะล้าง	10
2.4.3	การใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ทำลายโปรตีน	11
2.4.4	การล้างคลอรีนหรือการทำคลอรีนชัน	11
2.4.5	การเคลือบด้วยพอลิเมอร์	11

บทที่	หน้า
2.5	ถุงมือแป็งและถุงมือ ไร้แป็ง..... 12
2.6	การเลือกสรรถุงมือ..... 14
2.7	ชนิดของเครื่องมือและกระบวนการผลิตถุงมือทั่วไป..... 15
2.7.1	ชนิดและเครื่องมือสำหรับการผลิตถุงมือ..... 15
2.7.2	กระบวนการผลิตถุงมือโดยทั่ว ๆ ไป..... 17
2.8	การผลิตถุงมือแป็ง..... 18
2.9	กระบวนการทำถุงมือไร้แป็ง..... 20
2.10	อุตสาหกรรมถุงมือแพทย์..... 24
2.11	แนวคิดจากงานวิจัย..... 31
3	วิธีการดำเนินงานวิจัย
3.1	สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือแพทย์..... 33
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 33
3.3	การเตรียมน้ำยาสวมซึ่งใช้เป็นชั้นกลาง..... 34
3.4	กรรมวิธีการผลิตถุงมือแพทย์ผ่าตัด..... 35
3.3.1	กระบวนการจุ่ม..... 36
3.3.2	กระบวนการคลอรีนชั้น..... 38
3.5	การทดสอบทางกายภาพของถุงมือ..... 39
3.4.1	การวัดความหนาของถุงมือ..... 39
3.5.2	การวัดสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ..... 40
3.6	การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถุงมือที่ใช้ intermediate nitrile blend ในอัตราส่วนต่าง ๆ..... 41
3.6.1	การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยการมองเห็นด้วยตาเปล่า..... 41
3.6.2	การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)..... 41
3.6.3	การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy..... 42
4	ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง
4.1	คุณสมบัติทางกายภาพของถุงมือ..... 43

บทที่	หน้า
4.1.1 ความหนาของถุงมือ	43
4.1.2 สมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ	44
4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถุงมือที่ใช้ intermediate nitrile blend ในอัตรา ส่วนต่าง ๆ	46
4.2.1 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยการมองเห็นด้วยตาเปล่า	46
4.2.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)	49
4.2.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy	57
4.3 ข้อค้นพบใหม่ระหว่างการดำเนินงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือ พัฒนาต่อได้	60
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	68
ภาคผนวก ข	75
ภาคผนวก ค	84
ภาคผนวก ง	92
ประวัติผู้วิจัย	120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติ barrier performance ระหว่างถุงมือไนลิตและถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ.....	15
2.2	สมบัติทางกายภาพของถุงมือก่อนและหลัง aged	21
2.3	สมบัติเฉพาะของ polymer coating แต่ละชนิด.....	26
3.1	สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางผสม.....	34
3.2	อัตราส่วนน้ำยางผสม NR/CR/NBR.....	35
4.1	ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิต โดยใช้น้ำยางผสมด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกัน	43
4.2	การลอกของถุงมือที่ใช้น้ำยางผสมชั้นกลางที่แตกต่างกันหลังจากผ่านกระบวนการล้างด้วยสารละลายคลอรีน	47

สารบัญรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
1.1	Trilayer Polymeric Structure Fabricated โดยการใช้ TRIPLED SM Technology	2
1.2	การลอกของชั้นไนไตรล์ของถุงมือ Protegrity SMT.....	3
2.1	น้ำยางธรรมชาติที่ถูกเก็บอยู่ในถ้วยหลังจากกรีดยางจากต้นยาง Hevea brasiliensis ...	7
2.2	การแยกชั้นของน้ำยางสดที่เก็บมาจากต้นยาง Hevea brasiliensis ซึ่งสามารถถูกแยก ออกเป็น 3 ส่วน เมื่อนำไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 59,000g.....	7
2.3	การตอบสนองของสารแพ้ในเชิงลบ (negative allergenic response) โดยผิวหนังของ คนที่ว่องไวต่อผลิตภัณฑ์จากลาเท็กซ์ ซึ่งถูกทดสอบกับถุงมือแปรงที่มี EP content สูง (> 600 µg/g) และที่มี EP content ต่ำ (< 100 µg/g) เปรียบเทียบ กับถุงมือไร้แปรงที่มีปริมาณโปรตีนต่ำพอ ๆ กัน	13
2.4	เครื่องผลิตแบบกะ (Batch machine)	16
2.5	เครื่องผลิตแบบโซ่ต่อเนื่อง (continuous chain machine)	16
2.6	แผนผังการไหลของกระบวนการผลิตถุงมือทั่วไป.....	17
2.7	Powdered glove manufacture, post-oven leach	19
2.8	Powdered glove manufacture, off-line powdering	19
2.9	Powdered glove manufacture, coating	22
2.10	Powdered-free glove manufacture, powdered.....	22
2.11	ภาพ SEM แสดงให้เห็นถึง morphology ของ polymer coating ที่เคลือบบนถุงมือ Protegrity ซึ่งถูกดิ่งที่ เปอร์เซนต์การดิ่งยึดต่าง ๆ	27
2.12	Phase contrast micrograph ของ 50:50 NR:NBR41 gum blend vulcanizate.....	28
2.13	STEM micrograph ของ NR:CR:NBR34 gum blend ที่อัตราส่วนต่าง ๆ	29
2.14	สมบัติเชิงกลของ NR/CR/NBR blends ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ตัวเร่ง CBS/TBTD	30

รูปที่	หน้า
3.1	แผนผังกระบวนการขึ้นรูปถุงมือ Protegrity SMT แบบจุ่ม (Dipping Process) ของ บริษัท คาร์ดิแนล เฮลท์ 222 (ประเทศไทย) จำกัด 36
3.2	ตำแหน่งและบริเวณของการวัดความหนาของถุงมือผ่าตัด..... 39
3.3	รูปดัมเบลที่กำหนดระยะ (gauge mark) เป็นระยะ 1 นิ้ว 40
3.4	ตัวอย่างการลอกของชั้นไนไตรล์ของถุงมือ Protegrity SMT 41
4.1	สมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ใช้น้ำยางผสมที่แตกต่างกัน 44
4.2	พื้นผิวถุงมือก่อนและหลังการล้างคลอรีนทั้งด้านในและด้านนอก 49
4.3	พื้นผิวถุงมือด้านในที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR/NBR เป็นตัว ช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน..... 50
4.4	พื้นผิวถุงมือด้านในที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม CR/NBR เป็นตัวช่วย ในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน 51
4.5	พื้นผิวถุงมือด้านในที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR เป็นตัวช่วยใน การยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน 52
4.6	ภาคตัดขวางของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (ชั้นด้านบนของรูป) ซึ่งใช้ชั้นกลาง ด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกันเป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์ ก่อนและหลังจากผ่านการล้างคลอรีน 53
4.7	พื้นที่การลอกของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (สีเทาสว่าง) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วย ระบบยางผสมที่แตกต่างกันเป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์ หลังจากผ่านการล้างคลอรีน 55
4.8	ภาคตัดขวางบริเวณที่มีการลอกของพื้นผิวยางไนไตรล์ (ด้านบนของรูป) ซึ่งเป็นของ ถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม CR/NBR เป็นตัวช่วยใน การยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากผ่านการล้างคลอรีน ที่กำลังขยาย 300 เท่า..... 56

รูปที่	หน้า
4.9	ภาพจำลองการลอกออกของชั้นยางไนไตรล์ที่เคลือบบนถุงมือหลังจากผ่านกระบวนการทำคลอรีนชั้นซึ่งมีน้ำยางผสม NR/CR อยู่ชั้นกลางทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการยึดติด 58
4.10	กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการคลอรีนชั้น 59
4.11	พื้นผิวและภาคตัดขวางของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (สีเทาสว่าง) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วยระบบยางผสม CR/NBR 20:80 เป็นสารเคลือบบนถุงมือหลังจากผ่านการล้างคลอรีน 60

บทที่ 1

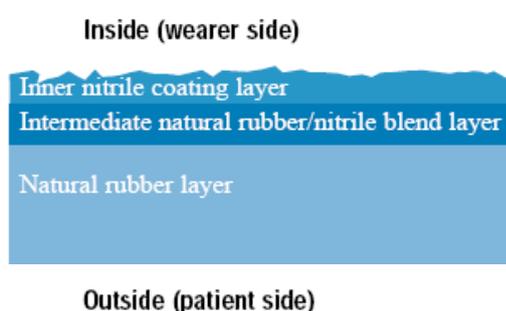
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ถุงมือแพทย์สำหรับการผ่าตัด (surgical glove) คือ ถุงมือที่แพทย์หรือพยาบาลใช้สวมใส่เมื่อทำการผ่าตัดรักษาผู้ป่วย นอกจากนี้ยังป้องกันเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่อาจจะทำให้แพทย์ผู้ทำการรักษาเกิดการติดเชื้อโรคในขณะปฏิบัติงานได้ ถุงมือแพทย์สำหรับการผ่าตัดจะถูกออกแบบให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละประเภท เช่น ในการผ่าตัดกระดูกถุงมือที่ใช้จะต้องมีความหนาและทนการฉีกขาดที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสกับกระดูกผู้ป่วยหรือถุงมือที่ใช้ในการผ่าตัดผู้ป่วยทั่วไปซึ่งจะถูกออกแบบให้มีความกระชับและสวมใส่ง่าย นอกจากนี้ยังต้องตรงตามความต้องการของลูกค้ายด้วย ถุงมือแพทย์สำหรับการผ่าตัดสามารถแบ่งตามประเภทของน้ำยางที่นำมาใช้ในการผลิตได้ 2 ชนิด ได้แก่ ถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ (natural latex glove) และถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางสังเคราะห์ (non-latex glove) ถุงมือทั้งสองชนิดนี้ยังสามารถแบ่งออกเป็นถุงมือปราศจากแป้ง (powder-free glove) และ ถุงมือแป้ง (powdered glove) ถุงมือที่ผลิตมาจากน้ำยางธรรมชาติจะมีโปรตีนตกค้างบนถุงมือ โดยเฉพาะถุงมือแป้งจะมีโปรตีนตกค้างมากเนื่องจากโปรตีนที่ออกมาจากยางหลังจากผ่านความร้อนจะถูกดูดซับโดยแป้งที่อยู่บนถุงมือ ขณะที่ถุงมือปราศจากแป้งจะถูกล้างออกด้วยสารละลายคลอรีนทำให้มีปริมาณโปรตีนตกค้างบนถุงมืออยู่ในระดับต่ำ อย่างไรก็ตาม โปรตีนที่ตกค้างอยู่อาจจะทำให้ผู้ใช้เกิดการแพ้และส่วนด้านที่สัมผัสกับคนไข้ก็มีโปรตีนตกค้างเพราะฉะนั้นถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติจึงไม่เหมาะสมในงานผ่าตัดภายใน ในงานผ่าตัดภายในจะนิยมใช้ถุงมือที่ผลิตมาจากน้ำยางสังเคราะห์มากกว่าที่ผลิตมาจากน้ำยางธรรมชาติ

เทคโนโลยีการเคลือบมากมายได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อที่จะลดปริมาณแป้งในการผลิตถุงมือทางการแพทย์ จากประวัติความเป็นมา แป้งได้ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยให้ง่ายต่อการดึงออกจากแม่พิมพ์ระหว่างการผลิตถุงมือและช่วยในการสวมใส่ถุงมืออย่างง่าย อย่างไรก็ตาม polymer coating ซึ่งเป็นการรวมกันของสารหล่อลื่นได้ถูกนำมาใช้ในการเคลือบพื้นผิวของถุงมือเพื่อสามารถสวมใส่ถุงมือในขณะที่เปียกและแห้งได้ดี ถุงมือสำหรับการผ่าตัดเคลือบด้วยสารหล่อลื่นที่ใช้อยู่ในทางการแพทย์ส่วนใหญ่จะถูกผลิตโดยการนำพอลิเมอร์มาเคลือบที่ผิวชั้นในของถุงมือซึ่งสามารถ

ทำได้โดยหลังจากกระบวนการ forming process เช่น นำถุงมือมาทำการล้างด้วยคลอรีนแล้วนำไปเคลือบด้วยสารหล่อลื่น เป็นต้น ในกระบวนการ chlorination จะเกิดการออกซิไดซ์ขึ้นที่ผิวด้านนอกของถุงมือ ทำให้เกิดการติดกันของพื้นผิวและนอกจากนี้ยังกำจัดแบคทีเรียที่ผิวของถุงมืออีกด้วย จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจึงได้มีการนำเทคโนโลยีการเคลือบผิวด้วยพอลิเมอร์มาใช้กับถุงมือที่ใช้ในทางการแพทย์ชนิด Protegrity Powder-Free ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ถุงมือหนึ่งของบริษัท Cardinal Health 222 (Thailand) Ltd. ซึ่งในแต่ละชั้นของถุงมือจะประกอบด้วยยางซึ่งมีอยู่ 3 ชั้นดังรูปที่ 1.1

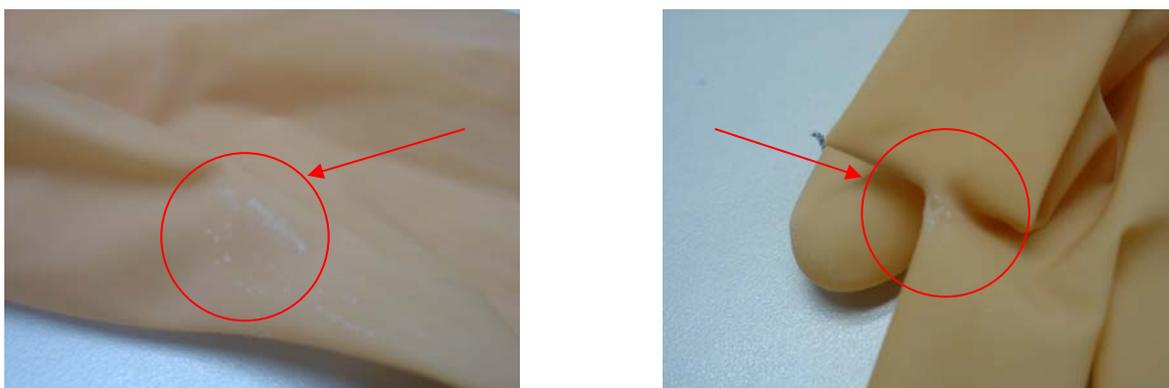


รูปที่ 1.1 Trilayer Polymeric Structure Fabricated โดยการใช้ TRIPLDSM Technology

Alligiance Applied Technology Center and Gloves Research and Development Groups ได้ค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี TRI-layered Polymer Latex Dipping เพื่อผลิต ProtegrityTM powder-free nitrile-coated surgical glove ซึ่งถุงมือชนิดนี้จะประกอบด้วยชั้นของยาง 3 ชั้น ซึ่งเกิดการเชื่อมโยง (vulcanization) กันในแต่ละชั้น โดยความร้อนที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิต (Research & Technology Supporting Your Decision, 2005, p 1 – 3)

ถุงมือชนิด Protegrity ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นน้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR) ซึ่งจะอยู่ด้านที่สัมผัสกับผู้ป่วยและอีกด้านหนึ่งจะเป็นยางไนไตร์เคลือบโดยด้านนี้จะสัมผัสกับผู้ใช้งาน ส่วนชั้นกลางถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติดของยางไนไตร์กับชั้นของยางธรรมชาติ ยางไนไตร์ (Acrylonitrile-Butadiene Rubber, NBR) เป็นยางที่ประกอบด้วยโคพอลิเมอร์ของอะคริโรไนไตร์ (acrylonitrile) กับบิวตะไดอิน (butadiene) คุณสมบัติของยางที่ได้นี้จะมีความต้านทานต่อน้ำมัน (oil resistance) ขึ้นอยู่กับปริมาณของสัดส่วนของอะคริโรไนไตร์ที่มีอยู่ในโครงสร้างจากองค์ประกอบของชั้นกลางของถุงมือชนิดนี้ซึ่งถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อช่วยในการเคลือบยางไนไตร์บนยางธรรมชาติ องค์ประกอบของชั้นนี้เป็นการผสมยางสองชนิดระหว่างยางธรรมชาติกับยางไนไตร์ซึ่งยางทั้งสองชนิดนี้มีความมีขั้วแตกต่างกัน สำหรับ

ยางไนไตรล์จะมีความเป็นขั้วมากกว่ายางธรรมชาติ ดังนั้น ในการผสมยางไนไตรล์กับยางธรรมชาติจึงทำให้เกิดการแยกเฟสซึ่งเฟสที่กระจายตัวจะมีขนาดของเฟสใหญ่ ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพของการยึดติดระหว่างพื้นผิวของชั้นยางทั้งสองไม่ดี เมื่อนำไปผ่านกระบวนการล้างด้วยสารละลายคลอรีนทำให้เกิดการลอก (ดูรูปที่ 1.2) ของชั้นเคลือบของยางไนไตรล์ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพและสมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ที่ได้



รูปที่ 1.2 การลอกของชั้นไนไตรล์ของถุงมือ Protegrity SMT

จากปัญหาที่พบดังกล่าวข้างต้นได้มีผู้ศึกษา (Karnika and Lewan, 1998) การนำตัวเชื่อมประสาน (compatibilizer) มาผสมกับ NR/NBR blends เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของยางธรรมชาติกับยางไนไตรล์เนื่องจากพอลิคลอโรพรีนมีโครงสร้างหลักคล้าย ๆ กับยางธรรมชาติแต่มีความเป็นขั้วมากกว่าเนื่องจากพอลิคลอโรพรีนมีหมู่แทนที่เป็นอะตอมของคลอรีน นอกจากนี้พอลิคลอโรพรีนยังมีค่าการละลาย (solubility parameter, δ) อยู่ระหว่างยางธรรมชาติและยางไนไตรล์ ($\delta_{CR} = 9.3 \text{ (Cal cm}^{-3}\text{)}^{1/2}$, $\delta_{NR} = 8.4 \text{ (Cal cm}^{-3}\text{)}^{1/2}$, $\delta_{NBR} = 14.0 \text{ (Cal cm}^{-3}\text{)}^{1/2}$) การมีขั้วของพอลิคลอโรพรีนทำให้เป็นไปได้ที่จะเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขั้ว (dipolar interaction) กับอะคริโรไนไตรล์ที่อยู่ในโครงสร้างของยางไนไตรล์ ด้วยเหตุนี้เอง ทำให้พอลิคลอโรพรีนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างยางทั้งสองชนิดซึ่งพอลิคลอโรพรีนจะปรับปรุงการยึดติดระหว่างเฟสของยางทั้งสองชนิดโดยการลดลงของแรงดึงผิวระหว่างเฟสของ NR และ NBR ทำให้ลดขนาดของเฟสที่กระจายตัวอยู่ การลดลงของขนาดของเฟสนี้ทำให้นิวโอมของความสามารถในการเข้ากันได้ของยางทั้งสองดีขึ้นและส่งผลให้สมบัติเชิงกลของผลิตภัณฑ์ที่ได้ดีขึ้นด้วย จากเหตุผลและความสำคัญดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการศึกษาของงานวิจัยนี้ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผสมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติด

ระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ Protegrity ชนิด 3 ชั้น และหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางผสมเพื่อให้ได้ถุงมือที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือ การผสมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของยางธรรมชาติและยางไนไตรล์บนถุงมือแพทย์ชนิดสามชั้น และหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางผสมเพื่อให้ได้ถุงมือที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการประสิทธิภาพการยึดติดของชั้นยางไนไตรล์กับชั้นของยางธรรมชาติของถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น โดยการผสมยางพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR และหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางผสมเพื่อให้ได้ถุงมือที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยโดยสังเขป

1. การศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. นำเสนอโครงร่างงานวิจัย
3. ออกแบบและวางแผนการทดลอง
4. การดำเนินงานวิจัย
 - 4.1 การเตรียมน้ำยางผสมโดยทำการผสมน้ำยางพอลิคลอโรพรีน 0 – 20 % ลงในน้ำยางผสม NR/NBR ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน
 - 4.2 นำน้ำยางผสมที่ได้มาทำการขึ้นรูปเป็นถุงมือ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการล้างคลอรีนและอบแห้ง
 - 4.3 นำถุงมือที่ได้มาวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้
 - ตรวจสอบประสิทธิภาพการยึดติดของชั้นไนไตรล์ด้วยการดูด้วยตาเปล่า
 - ตรวจสอบคุณสมบัติทาง morphology โดยใช้เทคนิค SEM
 - ทดสอบสมบัติเชิงกลโดยใช้ Tensile testing machine
 - วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของพื้นผิวที่เกิดการลอกด้วยเทคนิค ATR-FTIR
5. รวบรวมและวิเคราะห์ผลการวิจัย

6. สรุปผลการวิจัย
7. รายงานผลการวิจัย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

สิ่งที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ สามารถเตรียมน้ำยางผสมโดยการผสมยางพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น และหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางผสมเพื่อให้ได้ถุงมือแพทย์ที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

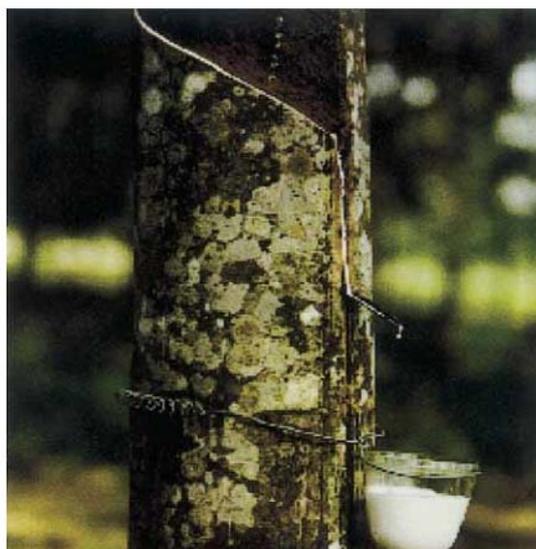
ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติมีการใช้กันอย่างกว้างขวางมานานหลายปีแล้ว เพราะว่ายางธรรมชาติมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีมาก (very good physical properties) โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการแบบจุ่ม (latex-dipped products) เช่น ถุงมือยางและถุงยางอนามัยซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติ excellent barrier protection ต่อต้าน microorganisms รวมทั้ง แบคทีเรีย, ไวรัส และ infections fluids เป็นต้น อันตรายจากการแพ้โปรตีน type I hypersensitivity จากน้ำยางที่ติดมากับถุงมือทางการแพทย์และผลิตภัณฑ์จากน้ำยางอื่น ๆ มีความเกี่ยวข้องอย่างมากกับผู้ที่ทำงานตามสถานพยาบาลและผู้ผลิตเอง (Turjanmaa, 1987 and Liss & Sussman, 1999)

2.1 น้ำยางธรรมชาติ

2.1.1 ความหมายของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยาง (latex) อาจเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยจะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอย คือ มีของเหลวเป็นตัวกลาง และมีอนุภาคแขวนลอยกระจายอยู่ในตัวกลางนั้นอนุภาคเหล่านี้จะเป็นสารพอลิเมอร์ เช่น ยาง หรือพลาสติก และพอลิเมอร์ก็อาจเป็นได้ทั้งพอลิเมอร์เชิงเดี่ยวเล็ก ๆ เช่น สารประกอบอินทรีย์ไม่อิ่มตัว เช่น เอทิลีน (ethylene) หรืออาจเป็นพอลิเมอร์เชิงซ้อนที่มีมอนอเมอร์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาต่อกัน ปกติแล้วอนุภาคเหล่านี้จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ

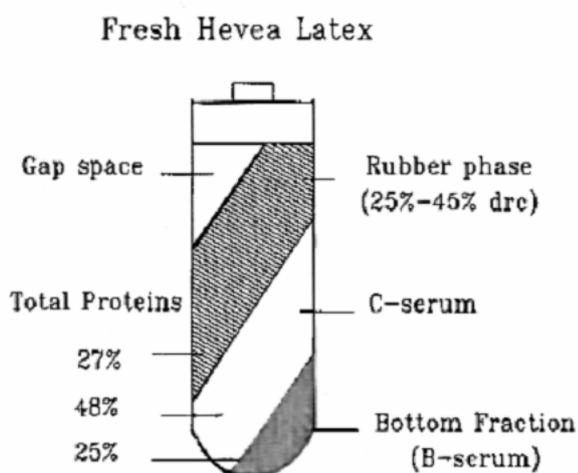
ผลิตภัณฑ์จากยางธรรมชาติได้มาจากน้ำยาง *Hevea brasiliensis* มีลักษณะสีขาวคล้ายน้ำนม ซึ่งได้มาจากการกรีดน้ำยางจากต้น *Hevea* ดังรูปที่ 2.1 มีความหนืดประมาณ 12 – 15 centipoise (น้ำบริสุทธิ์มีความหนืด 1 centipoise) มีความหนาแน่นประมาณ 0.975 – 0.980 กรัมต่อลูกบาศก์ เซนติเมตร มีความเป็นกรด – เบส (pH) ที่ 6.5 – 7.0 นอกจากนี้มีส่วนประกอบของสารต่าง ๆ ในปริมาณที่ไม่คงที่ในช่วงกว้าง โดยขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง เป็นต้น



รูปที่ 2.1 น้ำยางธรรมชาติที่ถูกเก็บอยู่ในถ้วยหลังจากกรีดขางจากต้นยาง *Hevea brasiliensis* (Moir, 1959)

2.1.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางประกอบด้วยสารประกอบ เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ อนุภาคยางไฮโดรคาร์บอนประกอบไปด้วย 25 ถึง 45 % ของน้ำยางทั้งหมด สารที่ไม่ใช่ยางมีส่วนประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น น้ำยางสามารถแยกออกเป็น 3 ส่วน (Moir, 1959) เมื่อนำไปทำการปั่นเหวี่ยง (ultracentrifugation) ที่ความเร็ว 59,000 g ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแยกชั้นของน้ำยางสดที่เก็บมาจากต้นยาง *Hevea brasiliensis* ซึ่งสามารถถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน เมื่อนำไปทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 59,000 g (1) เฟสอนุภาคยางไฮโดรคาร์บอน ด้านบน (2) C-serum ที่อนุภาคของทั้งหมดแขวนลอยอยู่ (3) อนุภาคที่ไม่ใช่ยางส่วนล่าง โดยเฉพาะ ลูทอยด์จะอยู่ใน B-serum (Moir, 1959)

ในน้ำยางประกอบไปด้วยโปรตีน 1 ถึง 1.5 % (Tata, 1980) เนื้อยาง 27 % , C-serum 48 % และ bottom fraction (B-serum) 25 % ของน้ำยางทั้งหมด การศึกษาโปรตีนด้วย sodium dodecylsulfate-polyacrylamide gel electrophoresis แสดงให้เห็นว่ามี 2 major surface-bound proteins คือ 14 kd และ 24 kd ในอนุภาคของยาง ถึงแม้ว่าโปรตีนที่ละลายน้ำได้ใน C-serum จะอยู่ในช่วงระหว่าง 7 – 133 kd แต่ที่พบใน B-serum จะมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลแคบกว่าและมีค่าอยู่ในช่วง 14 – 45 kd

มีปริมาณโปรตีนประมาณ 10 ชนิด (Palosuo, 1996) ที่ถูกพิสูจน์แล้วว่าทำให้เกิดการแพ้ซึ่งอยู่ในน้ำยาง โดยจะถูกกำจัดออกเมื่อผ่านกระบวนการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ มีปริมาณเพียงเล็กน้อยที่ยังตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเรียกว่า residual extractable proteins (EPs) ที่นำมาซึ่งปฏิกิริยาการแพ้ (allergy reaction) เมื่อสัมผัสกับผิวหนังของผู้ใช้

Residual extractable proteins (EPs) มีสมบัติที่สามารถละลายน้ำได้และจะสามารถถูกชะล้างออกได้โดยกระบวนการชะล้าง (leaching process) ดังนั้น จะมีปริมาณของ EPs เพียงเล็กน้อยที่ตกค้างอยู่ซึ่งขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในระหว่างกระบวนการผลิต

2.2 ชนิดของผลิตภัณฑ์ยางธรรมชาติ (Types of NR Product)

Hevea latex โดยปกติจะถูกนำมาทำเป็นวัตถุดิบสองชนิดหลัก ๆ คือ น้ำยางเหลวข้น (liquid latex concentrate) และยางแห้ง (dry rubber)

2.2.1 ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติ (NR latex products)

น้ำยางข้นจะถูกผสมกับสารเคมีหลายชนิดก่อนทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ลูกโป่ง หรือของเล่นสำหรับเด็ก วิธีการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสามารถทำได้โดย

- การนำแม่พิมพ์จุ่มลงในน้ำยาง
- การทำให้เป็นโฟมหรือฟองน้ำ
- การอัดรีดน้ำยางให้เป็นแผ่น

สำหรับผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (dipped products) (Pendle, 1995) แม่พิมพ์ (former) ที่ถูกออกแบบตามรูปร่างที่ต้องการจะถูกจุ่มลงในน้ำยางข้นเพื่อที่จะทำให้น้ำยางสามารถเกาะติดกับแม่พิมพ์ได้ ซึ่งกระบวนการจุ่มนี้สามารถทำได้ทั้งที่มีและไม่มีสารจับตัว เช่น coagulant และ strength dips ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์นี้จะถูกล้างในขณะที่เป็นเจลเปียก (wet gel) หรือ pre-cure leach เพื่อล้างสารเคมีส่วนเกินที่หลีกเลี่ยงการทำปฏิกิริยาออกก่อนที่จะถูกทำการวัลคาไนซ์ (vulcanized) ในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 – 120 องศาเซลเซียส กระบวนการชะล้างสามารถทำหลังจากวัลคาไนซ์ชันได้ด้วย เรียกว่า เจลแห้ง (dry-gel) หรือ post cure leach เพื่อล้างโปรตีนที่แพร่ออกมาสู่ผิวของ

ผลิตภัณฑ์ออก ในแง่ของปัญหาการแพ้โปรตีน ในขณะนี้ทำการแก้ไขโดยเน้นการหาวิธีการทำการชะล้างที่เหมาะสม (optimized leaching) เพื่อจะทำการกำจัดสารแพ้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ (soluble allergenic proteins) ออกให้ได้มากที่สุด หลังจากนั้นผลิตภัณฑ์จะถูกดึงออกจากแม่พิมพ์โดยถุงมือจะถูกจุ่มลงในน้ำแข็งที่ซึ่งแข็งจะเคลือบลงบนผลิตภัณฑ์ทำให้ไม่เกิดการติดกันของถุงมือ

2.2.2 ผลิตภัณฑ์ยางแห้งจากยางธรรมชาติ (NR dry rubber products)

น้ำยางแห้งคิบเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตยางรถยนต์ ท่อ พื้นรองเท้า ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนทางวิศวกรรม กาว และยางสำหรับใช้ในครัวเรือน เป็นต้น การผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้โดยทั่วไปจะมีการผสม (mixing) และการคอมปาวด์ (compounding) ของยางแห้งคิบกับสารเคมีหลายชนิดรวมไปถึงเขม่าดำที่ใช้ในการผลิตยางรถยนต์ กระบวนการขึ้นรูปลำดับต่อมาเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนมากจะมีกระบวนการผลิต เช่น moulding, injection moulding, extrusion และ calendering เป็นต้น การเลือกใช้กระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นผลิตภัณฑ์ยางจะถูกนำไปทำการวัลคาไนเซชันที่อุณหภูมิประมาณ 140 – 160 องศาเซลเซียส

2.3 ผลิตภัณฑ์น้ำยางธรรมชาติและการแพ้โปรตีน (NR latex products และ Protein Allergy)

การมีโปรตีนตกค้างซึ่งจัดเป็นสารแพ้ (allergens) ในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางผู้ใช้กับผู้ผลิตควรให้ความสนใจกับปริมาณหรือสัดส่วนของโปรตีนที่มีอยู่และที่ทำให้เกิดการแพ้ ส่วนใหญ่เกิดจากผลิตภัณฑ์จากน้ำยางธรรมชาติโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่เป็นถุงมือยาง (gloves)

จากการตรวจระดับโปรตีนตกค้าง (EP levels) ในถุงมือทางการแพทย์ด้วยการใช้วิธีการทดสอบแบบ Modified Lowry Test (MS 1392, 1998) พบว่าระดับโปรตีนตกค้างในถุงมืออยู่ระหว่าง 20 – 1000 µg/g จากรายงานของ Yunginger และคณะ (Yunginger et. al, 1994) ซึ่งวัดระดับโปรตีนตกค้างโดยวิธี modified triketohydrindene hydrate method และกำหนด allergen content โดยใช้เซรุ่มของสารแพ้ของแต่ละชนิดใน immunologic inhibition assay พบว่าค่าโปรตีนที่ได้จากวิธีการที่แตกต่างกันไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ (Ong et. al, 1998 และ Yip, 1997) เนื่องจากความแตกต่างในวิธีการทดสอบและสอบเทียบมาตรฐานที่ใช้ ถุงมือที่มี EP content ต่ำได้มาจากกระบวนการชะล้างที่ดีและเหมาะสม หรือเป็นถุงมือไร้แป้งที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยคลอรีน (chlorinated powder free gloves) ในขณะที่ถุงมือที่มี EP level สูงได้มาจากกระบวนการชะล้างที่ไม่ดีพอ

2.4 การลดปริมาณโปรตีนตกค้าง (EP content reduction)

ถุงมือที่มีปริมาณโปรตีนตกค้างบนพื้นผิวถุงมือสูงอาจจะทำปฏิกิริยาและทำให้ผู้ใช้เกิดการแพ้ได้ ดังนั้น จึงมีผู้ผลิตหลายรายพยายามที่จะลด EP content บนถุงมือ โดยเฉพาะในมาเลเซียซึ่งพยายามที่จะลด protein content ในผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในระดับต่ำ ความจริงแล้วมีเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในทางอุตสาหกรรมและประสบผลสำเร็จ ดังนี้

- การใช้น้ำยางโปรตีนต่ำ
- มีกระบวนการชะล้างก่อนและหลังการอบที่เหมาะสม
- การใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ทำลายโปรตีน
- การล้างคลอรีนหรือการทำคลอรีนชัน (การทำถุงมือไร้แป้ง)
- การเคลือบด้วยพอลิเมอร์ (polymer coating)

2.4.1 การใช้น้ำยางโปรตีนต่ำ

การผลิตถุงมือที่มีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำโดยการใช้ น้ำยางโปรตีนต่ำ การเตรียมน้ำยางโปรตีนต่ำรวมทั้งการลดโปรตีนระหว่าง liquid latex stage หรือลดที่วัตถุดิบ มีหลายวิธีที่สามารถทำได้แต่มีอยู่ 2 วิธีที่มีการพัฒนาอยู่บ่อย ๆ คือ

- 1) วิธีการเชิงกายภาพ (Physical mean): น้ำยางข้น (raw or prevulcanized latex) จะถูกทำให้เจือจางและทำการปั่นเหวี่ยงใหม่อีกครั้งเพื่อที่จะกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ในชั้นเซรุ่มเฟส อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้ คือ การทำครีมมิ่งและรีครีมมิ่งด้วยการเติม creaming agent
- 2) การทำเอนไซม์ทรินเมนต์ (Enzymatic treatment): น้ำยางข้นจะถูกทรีตด้วย proteolytic enzyme หลังจากนั้น น้ำยางที่ถูกทรีตจะถูกปั่นเหวี่ยงเพื่อที่จะกำจัดโปรตีนที่ถูกทำลายซึ่งอยู่ในเซรุ่มเฟส (Hafsah, 1994, Perrella, 1998, และ Ma'zam, 1999)

2.4.2 กระบวนการชะล้าง

จากการศึกษาโปรตีนตกค้างที่อยู่บนผิวของถุงมือจะพบว่าปริมาณมากบนด้านที่สัมผัสกับผู้สวมใส่ (หรือพื้นผิวด้านตรงข้ามกับด้านแม่พิมพ์ระหว่างกระบวนการขึ้นรูป) (Amir-Hashim, 1994 และ Yeang & Faridah, 1993) ซึ่งมีปริมาณมากเนื่องจากการเคลื่อนย้ายของโปรตีนที่ละลายน้ำได้ (soluble proteins) ภายในฟิล์มน้ำยางเปียก (wet latex film) ระหว่างกระบวนการผลิต การเกิดการเคลื่อนย้ายนี้เริ่มเกิดขึ้นเมื่อฟิล์มน้ำยางผ่านกระบวนการชะล้างที่ขณะเป็นเจลเปียกและ

ระหว่างกระบวนการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในเตาอบ ด้วยเหตุนี้ ทั้งระหว่างก่อนและหลังจากการอบขึ้นรูปจึงมีผลต่อการกำจัดโปรตีนตกค้างเป็นอย่างมาก (Ng KP et. al, 1994)

2.4.3 การใช้สารเคมีหรือเอนไซม์ทำลายโปรตีน

การทรีทน้ำยางดิบ (raw latex) ด้วยสารเคมีที่เหมาะสม หรือ proteolytic enzyme วิธีการนี้รวมถึงวิธีการการจุ่มถุงมือยางลงในสารละลายที่มีเอนไซม์ (enzyme solution) ระหว่างกระบวนการผลิตภายใต้สภาวะที่เหมาะสม (Elvig, 1992) ถุงมือที่ถูกทรีทด้วยเอนไซม์ (enzyme-treated gloves) บ่อยครั้งจะถูกล้างออกเพื่อกำจัดโปรตีนที่ไม่ต้องการรวมทั้งการย่อยและทำให้แตกออกของโปรตีนและเอนไซม์ในน้ำยาง นอกจากนี้ ยังรวมถึงสารเคมีที่ตกค้างอยู่บนถุงมืออีกด้วย

2.4.4 การล้างคลอรีนหรือการทำคลอรีนชัน

การบวนการคลอรีนชัน (chlorination process) ถูกนำมาใช้ในการบวนการผลิตถุงมือไร้แป้ง (Nor Aisah, 1994) เพราะว่ามันสามารถลดการติดกัน (tackiness) ของพื้นผิวของฟิล์มยางโดยปราศจากการเติมผงแป้ง โดยปกติกระบวนการทำคลอรีนชันจะรวมถึงการล้างถุงมือแป้ง (powder-free latex gloves) เพื่อที่จะกำจัดแป้งส่วนเกิน (excessive powder) โดยทำการล้างด้วยคลอรีนที่มีความเข้มข้นเหมาะสมแล้วตามด้วยการทำให้เป็นกลาง (neutralization) จากนั้น ทำการล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่งเพื่อทำการล้างสารตกค้างบนพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการล้างคลอรีนจะมีค่าระดับโปรตีนตกค้างลดลงอย่างมาก

2.4.5 การเคลือบด้วยพอลิเมอร์

การเคลือบด้วยพอลิเมอร์เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่จะลดการติดกันของพื้นผิวของถุงมือลาเท็กซ์มีแป้ง กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเคลือบผิวถุงมือด้วยพอลิเมอร์ซึ่งอาจเคลือบด้วยไฮโดรเจล อะโครลิก พอลิยูรีเทน ซิลิโคน หรือพอลิเมอร์ผสม ชนิดของพอลิเมอร์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับจุดมุ่งหมายของการใช้งานของวัสดุและข้อกำหนดของกระบวนการผลิต วัตถุประสงค์หลัก ๆ ของการเคลือบพอลิเมอร์ มี 2 ประการ คือ

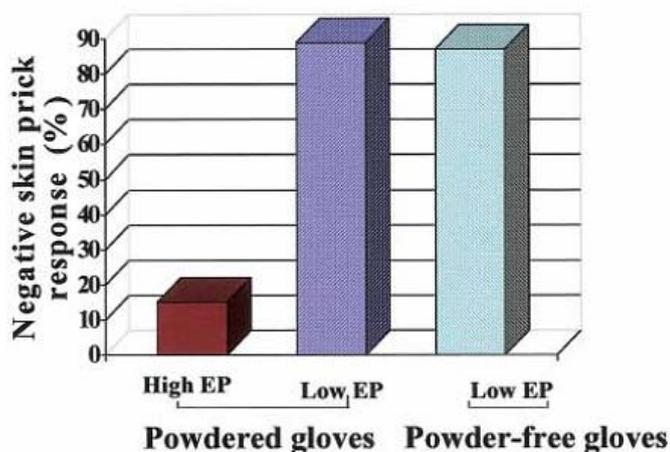
- 1) การเคลือบด้านสวมใส่เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการสวมใส่ของผู้ใช้
- 2) การทำคลอรีนชันถุงมือด้าน gripping side เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติของ grip characteristic

ในแต่ละกระบวนการผลิตดังได้กล่าวมาในข้างต้น ถ้าทำการผลิตภายใต้สภาวะการผลิตที่เหมาะสมสามารถจะลด EP content ของถุงมือลาเท็กซ์ได้ นอกจากนี้ ประโยชน์ของการรวมกันของน้ำยางโปรตีนต่ำและการทำการชะล้างก่อนและหลังการอบ พบว่า มีประสิทธิภาพอย่างมากในการลด EP content บนถุงมือ (Ng KP et. al, 1994)

2.5 ถุงมือแป้งและถุงมือไร้แป้ง (Powdered และ Powder-free gloves)

จากการรายงานของ Food and Drug Administration (FDA) ในปี 1997 (FDA's proposed rules, 1999) พบว่าจำนวนถุงมือแพทย์ 65% ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นถุงมือลาเท็กซ์มีแป้ง (powdered latex gloves) และที่เหลือ 35% เป็นของถุงมือลาเท็กซ์ไร้แป้ง (powder-free latex gloves) เนื่องจากสารแพ้ประเภทโปรตีนที่อยู่ในน้ำยางและความเป็นไปได้ซึ่งแป้งจากถุงมือแป้งสามารถที่จะกลายเป็นสารที่ทำให้เกิดการแพ้ทางอากาศ (aeroallergen) แต่ในปัจจุบัน แนวโน้มของการใช้ถุงมือกลับกัน คือ เปอร์เซ็นต์ของถุงมือไร้แป้งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ถุงมือแป้งมีปริมาณการใช้ลดลง Food and Drug Administration ได้พยากรณ์ว่าถุงมือไร้แป้งจะมีการใช้เพิ่มขึ้นเป็น 80% ภายใน 4 ปี และถุงมือแป้งจะลดลงเหลือเพียง 20 % ของปริมาณถุงมือแพทย์ที่ใช้ทั้งหมด

ในปัจจุบันแป้งข้าวโพด (cornstarch powder) ถูกนำมาใช้ในการผลิตถุงมือแป้งเพื่อช่วยให้การสวมใส่ง่ายและช่วยไม่ให้ถุงมือติดกันในกระบวนการทำถุงมือขั้นสุดท้ายซึ่งถุงมือยังติดอยู่กับแม่พิมพ์ โดยทั่วไปแล้ว การเคลือบแป้งทำได้โดยการจุ่มถุงมือลงในถังน้ำแป้ง (powder slurry tank) หลังจากนั้น จะถูกอบแห้งและดึงออกจากแม่พิมพ์ ในถังแป้งซึ่งมีโปรตีนตกค้างที่ยังไม่ได้เอาออกจากถุงมือจะถูกดูดซับโดยอนุภาคแป้งที่เกิดขึ้น ดังนั้น อนุภาคแป้งจากถุงมือที่ผ่านกระบวนการผลิตที่ไม่ดีจะทำให้ค่า EP content สูง ซึ่งเป็นโปรตีนที่ไม่ต้องการสามารถกลายเป็นสารที่ทำให้เกิดการแพ้ทางอากาศได้เมื่ออนุภาคแป้งฟุ้งปะปนไปกับอากาศ อย่างไรก็ตาม ถ้าถุงมือมีปริมาณโปรตีนตกค้างต่ำโดยความเข้าใจแล้วแป้งก็ควรจะมีปริมาณโปรตีนต่ำด้วย มีงานวิจัยของถุงมือแป้งของ Tomazic และคณะ (Tomazic et. al, 1994) ซึ่งรายงานว่าอนุภาคแป้งบนถุงมือมีการดูดซับโปรตีนบนถุงมือได้แต่มีปริมาณน้อยมาก ซึ่งผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่า โปรตีนที่ถูกดูดซับโดยแป้งลดลงอย่างมากเมื่อนำถุงมือที่มี EP content ต่ำไปทำการวิเคราะห์ นอกจากนี้ Yip และคณะ (Yip et. al, 1994, Yip et. al, 1997 และ Yip et. al, 2000) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง EP content และ allergenicity และ EP content กับ allergen content ของถุงมือยาง และได้เสนอความเห็นว่ ถุงมือแป้งที่มีระดับโปรตีนตกค้างต่ำจะมี allergenicity หรือ allergen content ต่ำมากหรืออาจตัดทิ้งได้ ซึ่งคล้ายกับถุงมือไร้แป้งที่มีโปรตีนต่ำ (low-protein powder-free gloves) ดังรูปที่



รูปที่ 2.3 การตอบสนองของสารแพ้ในเชิงลบ (negative allergenic response) โดยผิวหนังของคนทีว่องไวต่อผลิตภัณฑ์จากลาเท็กซ์ ซึ่งทดสอบกับถุงมือแป้งที่มี EP content สูง ($> 600 \mu\text{g/g}$) และที่มี EP content ต่ำ ($< 100 \mu\text{g/g}$) เปรียบเทียบกับถุงมือไร้แป้งที่มีปริมาณโปรตีนต่ำพอ ๆ กัน (Yip et. al, 2000)

ดังนั้น แป้งจะไม่เป็นปัญหามากเมื่อใช้ถุงมือไร้แป้งชนิดที่มีโปรตีนต่ำ แต่อย่างไรก็ตาม ถุงมือที่มีปริมาณแป้งมากก็ควรที่จะหลีกเลี่ยง

ถุงมือไร้แป้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ใช้ถุงมืออย่างซึ่งถุงมือที่ผ่านการล้างคลอรีนจะมีแป้งปริมาณเล็กน้อย ปัจจุบันสามารถหาซื้อถุงมือเหล่านี้ได้ตามท้องตลาด ในกระบวนการคลอรีนชัน จะเกิดการออกซิไดซ์ที่พื้นผิวของถุงมืออย่างด้านนอกเพื่อที่จะลดความเหนียวติดกัน ในขณะเดียวกันจะลด EP content ด้วยเหตุผลเนื่องมาจาก ในขั้นตอนการล้าง โปรตีนที่ไม่ละลายออกมาซึ่งจะอยู่ที่พื้นผิวของถุงมืออย่างจะเคลื่อนย้ายมาที่พื้นผิวของถุงมือได้น้อย อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการคลอรีนชันจะต้องมีการควบคุมปริมาณคลอรีนที่ดี มิฉะนั้น จะทำให้ถุงมือเกิดการเปลี่ยนสี หรือมีสีไม่สม่ำเสมอ (discoloration) และยังทำให้อายุการใช้งานด้อยลงอีกด้วย (Nor Aisah, 1994)

ถุงมือที่ทำการเคลือบด้วยพอลิเมอร์เป็นถุงมือไร้แป้งอีกชนิดหนึ่ง หน้าที่ของพอลิเมอร์เคลือบ คือ นำมาแทนแป้งเป็นสารหล่อลื่นเพื่อช่วยการสวมใส่ อย่างไรก็ตาม ความทนทานและความสามารถในการสวมใส่ของถุงมือเคลือบขึ้นอยู่กับคุณลักษณะการยึดติดกันและความยืดหยุ่นของสารเคลือบพอลิเมอร์ การยึดติดกันและความแตกต่างของความยืดหยุ่นระหว่างยางธรรมชาติและวัสดุเคลือบ (coating materials) สามารถทำให้เกิดแนวโน้มน้ำที่จะเกิดการแตกของสารเคลือบ (cracking) ขึ้นได้ระหว่างกระบวนการผลิตและการสวมใส่ โดยทั่วไป ระดับโปรตีนบนถุงมือเหล่านี้จะต่ำมาก แต่พบว่ามีกรณีการผันแปรจากผลของสภาวะในการขึ้นรูปที่แตกต่างกันของผู้ผลิต

2.6 การเลือกสรรถุงมือ (Choice of Gloves)

เนื่องด้วยหน้าที่พื้นฐานของของถุงมืออย่างเพื่อป้องกันทั้งผู้สวมใส่และคนไข้จากการติดเชื้อ ไมโครออร์แกนิซึม (microorganisms) สิ่งสำคัญสำหรับการเลือกถุงมืออย่างสำหรับการใช้ที่ปลอดภัย คือ ควรจะมี barrier performance ถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติจะต้องมีคุณสมบัติ barrier property, high strength, good elasticity, tactile sensitivity, comfort, fit, durability โดยเฉพาะถุงมือแป็ง หลายปีที่ผ่านมา ผู้ผลิตถุงมือสังเคราะห์พยายามที่จะเลียนแบบคุณสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันยังไม่มีถุงมือสังเคราะห์ของผู้ผลิตรายใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าและสามารถเปรียบเทียบกับถุงมือที่ทำมาจากยางธรรมชาติได้

ในปัจจุบัน ถุงมือที่สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดก็มีถุงมือชนิดนิโพรตินต่ำ ถุงมือไรแป็ง และถุงมือที่มีปริมาณแป็งต่ำ ซึ่งมีให้ผู้เลือกใช้เพื่อให้ตรงกับทั้งความต้องการของคุณสมบัติ barrier และปริมาณสารแพ้ต่ำ เพื่อที่จะช่วยให้ผู้ใช้ถุงมือเลือกถุงมืออย่างถูกต้อง ดังนั้น มาเลเซียจึงได้มีการพัฒนามาตรฐานของถุงมือเมื่อผ่านการรับรองทั้งหมดก็ควรจะทำให้ผู้ใช้ใช้ด้วยประสิทธิภาพ กล่าวคือ มี barrier protection และมีความเสี่ยงน้อยที่สุดต่อสารแพ้ที่มีอยู่ในน้ำยาง ควรหลีกเลี่ยงการผลิตภายใต้สภาวะที่ไม่เหมาะสมของกระบวนการผลิตถุงมือลาเท็กซ์กับปริมาณนิโพรตินสูง หรือสารแพ้ในปริมาณสูง และปริมาณแป็งที่มากเกินไป ถ้าเกิดปฏิกิริยาระหว่างการใช้ที่ผู้ใช้จะต้องป้องกันหรือให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

การหลีกเลี่ยงสารแพ้ควรเลือกถุงมือที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์ อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญคือต้องเพิ่มความระมัดระวังสารแพ้และหาวิธีกำจัดที่เหมาะสม เนื่องจากผู้ใช้ถุงมือส่วนใหญ่ไม่มีประสบการณ์ในการคำนึงถึงปฏิกิริยาของสารแพ้ (allergic reaction) กับถุงมือลาเท็กซ์ การใช้ถุงมือสังเคราะห์แทนถุงมือลาเท็กซ์ควรทำตามคำแนะนำ ดังนี้

- ถุงมือสังเคราะห์ โดยเฉพาะถุงมือไวไนลคุณสมบัติของ barrier performance ระหว่างการใช้ไม่ดีเท่าไรนัก (Korniewicz et. al, 1998, Korniewicz et. al, 1990, Klein et. al, 1990, Olsen et. al, 1993, Korniewicz et. al, 1993, Korniewicz et. al, 1994 และ Rego & Roley, 1999) (ดังแสดงในตารางที่ 2.1) ถ้าจะมีการใช้ถุงมือที่ทำจากวัสดุอื่น (Rego & Roley, 1999 และ Newsom, 1998) ควรจะพิจารณาถึงคุณสมบัติที่สำคัญของถุงมือนั้น ๆ คือ barrier performance ภายใต้สภาวะการใช้งาน
- ถึงแม้ว่าในปัจจุบันจะมีถุงมือสังเคราะห์ซึ่งอาจจะปราศจากนิโพรตินแต่ไม่ได้ปราศจากสารแพ้ ปฏิกิริยา allergic Type IV เป็นสาเหตุมาจากสารเคมีที่ตกค้างและ Type I hypersensitivity พบเสมอในถุงมือไวไนล (Osmundsen, 1998 และ Sugiura et. al, 2000) และไนไตรล์ (Brehler, 1996) ซึ่งมีรายงานไว้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติ barrier performance ระหว่างถุงมือไนลิตและถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติ (Osmundsen, 1998, Brehler, 1996 และ Sugiura et. al, 2000)

ปี ค.ศ.	วิธีทดสอบ	Glove failure (%)		
		NR latex	Vinyl	Reference
1989	Dye	3.3	53	Korniewicz et al
1990	Virus ϕ X174	7	63	Korniewicz et al
1990	Virus lambda	< 1 ⁽¹⁾	22 ⁽¹⁾	Klein et al
		< 1 ⁽²⁾	56 ⁽²⁾	
1993	Bacteria, Gram-negative	9	43	Olsen et al
1994	Dye/water leak test	4.1	51.3	Korniewicz et al
		3.8 ⁽³⁾	19.7 ⁽³⁾	
1999	Water leak test	0 – 4	26 – 61	Rego and Roley
			12 – 20 ⁽⁴⁾	

(1) No alcohol contact

(2) Pretreatment with 70% alcohol

(3) Double gloving

(4) Stretch vinyl

- การทำลายถุงมือยางธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (biodegradable) ส่วนการทำลายถุงมือยางสังเคราะห์ส่วนมากกำจัดโดยการเผาซึ่งจะมีการปลดปล่อยสารพิษออกมา ถ้าไม่มีการควบคุมกระบวนการให้ดีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

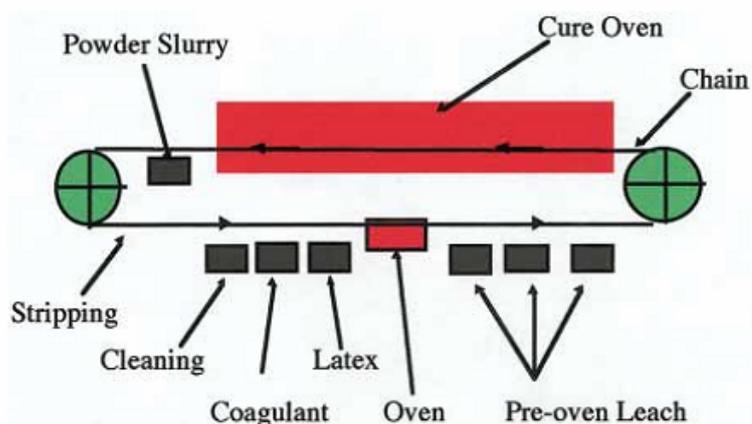
2.7 ชนิดของเครื่องมือและกระบวนการผลิตถุงมือทั่วไป

2.7.1 ชนิดและเครื่องมือสำหรับการผลิตถุงมือ

สำหรับกระบวนการผลิตถุงมือจากน้ำยางธรรมชาติหรือสังเคราะห์มีเครื่องมือโดยหลัก ๆ อยู่ 2 ชนิด (Calvert, 1982, p. 184 - 5) ดังนี้

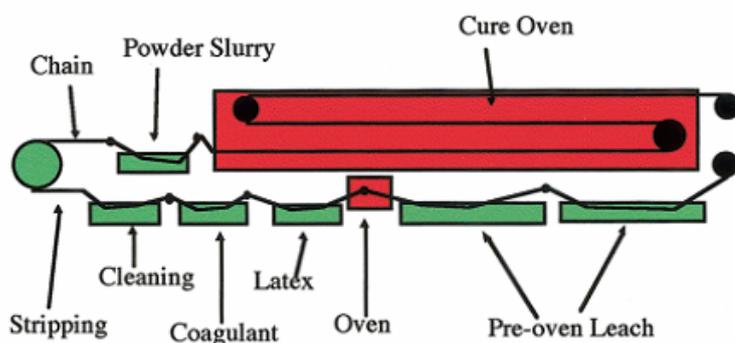
- 1) เครื่องผลิตแบบกะ (batch machine)
- 2) เครื่องผลิตแบบโซ่ต่อเนื่องหรือแบบลาก (continuous chain or drag line machines)

ในแต่ละแบบของเครื่องจักรมีการออกแบบที่หลากหลายเพราะว่าบ่อยครั้งที่ผู้ผลิตพยายามออกแบบและสร้างเป็นเทคโนโลยีของตัวเองหรือการออกแบบเพื่อขายเครื่องจักรของผู้ผลิตเอง เพื่อการอธิบายง่าย ๆ จะขอกล่าวถึงเครื่องจักรแบบธรรมดา



รูปที่ 2.4 เครื่องผลิตแบบกะ (Batch machine) (Calvert, 1982, p. 184 - 5)

การผลิตของเครื่องแบบกะดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนมากจะใช้กับถุงมือผ่าตัด (surgical glove) ในกระบวนการผลิต แม่พิมพ์จะผ่านถังจุ่ม (dipping tank) เป็นอนุกรม (series) เครื่องมือชนิดนี้มีความยืดหยุ่นมากเพราะว่าพารามิเตอร์สำหรับในแต่ละหน้าที่ของการจุ่ม (dipping function) ไม่ขึ้นต่อกันและกัน และไม่จำกัดพารามิเตอร์ของถังจุ่มอื่น ๆ ในกรณีที่เป็นเครื่องผลิตแบบต่อเนื่องแต่ละหน้าที่ของการจุ่มจะถูกจำกัดโดยกระบวนการจุ่มที่ช้าที่สุด



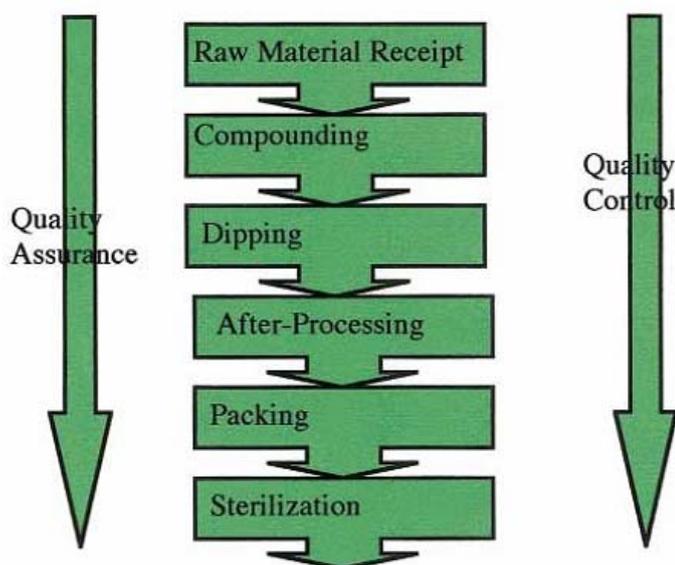
รูปที่ 2.5 เครื่องผลิตแบบโซ่ต่อเนื่อง (continuous chain machine) (Calvert, 1982, p. 184 - 5)

การออกแบบเครื่องผลิตแบบต่อเนื่อง (ดังรูปที่ 2.5) มีข้อจำกัดมากกว่าเครื่องผลิตแบบกะ ความเร็วของการเคลื่อนที่ของโซ่ ความยาวของถังจุ่ม ระยะทางของแต่ละถังจุ่ม ซึ่งขึ้นต่อกันอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเวลาในการจุ่มแช่ในถังชะล้าง (leaching) มีการปรับเปลี่ยนมันจะไม่สามารถทำได้เนื่องจากจะส่งผลต่อเวลาในการจุ่มแช่ของถังอื่น ๆ มีทางเดียวที่จะทำได้คือการเพิ่มความยาวของถังชะล้างได้เท่านั้น

เครื่องผลิตแบบกะ โดยทั่วไป จะใช้สำหรับการผลิตถุงมือผ่าตัดและส่วนของเครื่องผลิตแบบโซ่ต่อเนื่องจะสามารถใช้ได้ทั้งการผลิตถุงมือผ่าตัดและถุงมือสำหรับตรวจโรค

2.7.2 กระบวนการผลิตถุงมือโดยทั่ว ๆ ไป

ถึงแม้ว่าผู้ผลิตจะมีลักษณะของกระบวนการผลิตหลายแบบ แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีลำดับของกระบวนการดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนผังการไหลของกระบวนการผลิตถุงมือทั่วไป (Calvert, 1982, p. 175 - 6)

แม่พิมพ์รูปถุงมือ โดยทั่วไปจะทำมาจากเซรามิก (ceramic) (Calvert, 1982, p. 175 - 6) แต่ก็สามารถทำมาจากพลาสติกที่ทนความร้อนสูง พื้นผิวของแม่พิมพ์จะต้องคงความสะอาดเพื่อให้ได้การเคลือบของฟิล์มลาเท็กซ์ที่สม่ำเสมอและต่อเนื่อง ในขั้นตอนแรก กระบวนการส่วนใหญ่จะเป็นกระบวนการล้าง (cleaning process) แม่พิมพ์ มีสารทำความสะอาด (cleaning agent) หลายตัวที่ถูกใช้ รวมทั้งสารละลายด่าง (alkaline solution), สารละลายกรด (acid solution), oxidizing agents, surfactants และสารผสมของสารดังกล่าว

เมื่อพื้นผิวของแม่พิมพ์ถูกทำความสะอาดแล้ว กระบวนการต่อไปจะเป็นการเคลือบด้วยสารจับตัว (coagulant) (Mausser, 1987, p. 201 - 2) ซึ่งช่วยในการควบคุมปริมาณของน้ำยางที่มาเคลือบบนแม่พิมพ์ และเป็นตัวกำหนดความหนาของถุงมือ มีสารจับตัวหลายชนิดที่ใช้กัน แต่ส่วนมากที่ใช้จะเป็นแคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) สารละลายของสารจับตัวอาจจะมีสารเคมีบางส่วนที่ช่วยป้องกันการติดของน้ำยางบนแม่พิมพ์ และทำให้ถุงมือที่สุกแล้วสามารถถอดออก

จากแม่พิมพ์ได้โดยง่าย โดยส่วนใหญ่สารป้องกันการติดของน้ำยางบนแม่พิมพ์ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate) ในบางกระบวนการผลิตของถุงมือไร้แป้ง เกลีสชนิดอื่น ๆ และพอลิเมอร์บางชนิดจะใช้เป็นสารช่วยป้องกันการติดแม่พิมพ์ (mold releasing agent)

หลังจากแม่พิมพ์ถูกเคลือบด้วยสารจับตัวและอบแห้ง แม่พิมพ์จะถูกจุ่มในน้ำยาง (Blackley, 1997, p. 1 – 440) ซึ่งอาจจะเป็นน้ำยางธรรมชาติหรือน้ำยางสังเคราะห์ โดยทั่วไป จะเป็นยางคอมปาวด์ผสมด้วยสารทำให้ยางสุก สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และสารเพิ่มความเสถียร บางทีอาจจะถูกทำปรีวัลคาไนเซชัน ปรีวัลคาไนเซชัน (prevulcanization) เป็นกระบวนการทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงบางส่วนระหว่างอนุภาคยางด้วยกันก่อนที่จะนำมาใช้ในกระบวนการจุ่ม (dipping process)

น้ำยางที่เคลือบอยู่บนแม่พิมพ์จะถูกทำให้มีความแข็งแรงในขณะที่เป็นเจล (wet gel strength) ก่อนที่จะทำการชะล้าง กระบวนการล้าง (Mausser, 1987, p. 199) ก่อนที่จะทำการวัลคาไนเซชัน จะมีผลต่อการล้างแคลเซียมไนเตรทที่ตกค้างและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ น้ำร้อนจะถูกใช้ในกระบวนการนี้และจะมีน้ำไหลวนเพื่อทำให้น้ำที่อยู่ในถังยังคงสะอาดอยู่ตลอดเวลา

น้ำยางที่ผ่านการชะล้างจะผ่านเข้าไปในเตาอบ ในกระบวนการอบนี้มีความสำคัญมากกับคุณสมบัติของถุงมือยางซึ่งจะเกิดการเชื่อมโยงและออกจากเตาอบ จากนั้น ถุงมือจะถูกดึงออกจากแม่พิมพ์

2.8 การผลิตถุงมือแป้ง (powdered glove manufacture)

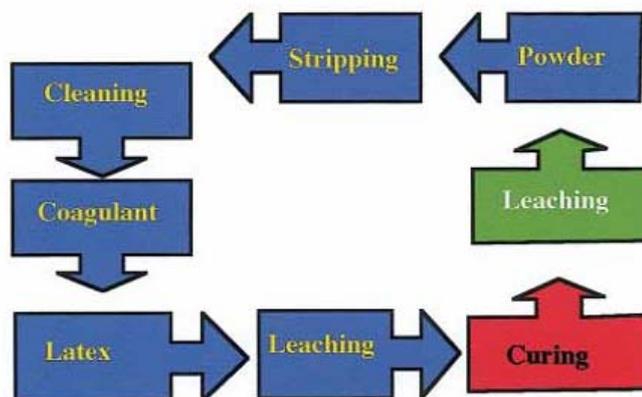
วิธีการผลิตถุงมือแป้งมีวิธีการผลิตหลัก ๆ อยู่ 3 แบบ ดังนี้ (Calvert, 1982, p. 188-90)

- 1) ถุงมือจะถูกจุ่มลงในถังแป้ง (powder slurry tank) แล้วถูกดึงออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นจะถูกนำไปบรรจุหีบห่อ
- 2) ถุงมือจะถูกชะล้างอีกครั้งหลังจากออกจากเตาอบแล้วจึงจุ่มลงในถังแป้ง
- 3) ถุงมือจะถูกดึงออกจากแม่พิมพ์แล้วผ่านกระบวนการล้างและอบให้แห้ง จากนั้นนำไปคลุกกับแป้งภายหลัง

กระบวนการที่ 1 เป็นกระบวนการอย่างง่ายและทำได้ไม่ยาก ถุงมือจะถูกดึงออกจากแม่พิมพ์และบรรจุหีบห่อ พื้นผิวของถุงมืออาจจะมีสารเคมีตกค้างอยู่บนถุงมือในปริมาณสูง

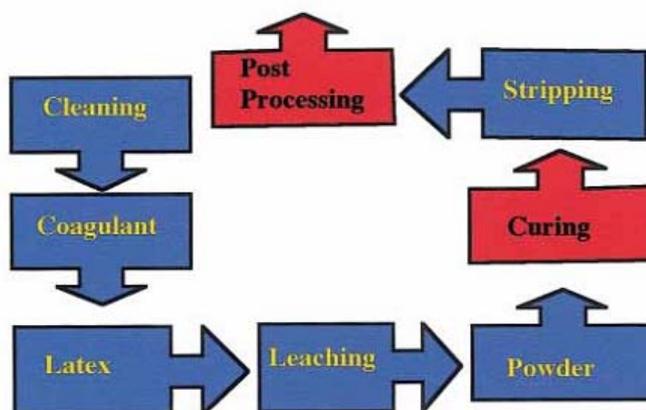
กระบวนการที่ 2 เป็นวิธีการธรรมดา โดยจะมีกระบวนการล้างหลังจากอบสุกแล้ว (post-oven leaching process) ระหว่างที่ยางเกิดการวัลคาไนเซชัน น้ำที่อยู่ในฟิล์มยางจะกลายเป็นไอน้ำซึมผ่านฟิล์มยางออกมาซึ่งมันจะพาสารไนเตรทที่ตกค้าง สารทำให้ยางสุก และโปรตีนที่ละลายน้ำได้ออกมาด้วย ผลที่ตามมา พื้นผิวของถุงมือยางในขณะที่อยู่ในเตาอบจะเต็มไปด้วยสารเคมีเหล่านี้

สารเคมีตกค้างและโปรตีนที่อยู่บนพื้นผิวในปริมาณเข้มข้นจะถูกชะล้างในถังที่มีน้ำร้อนอยู่ซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการล้างและยังมีประสิทธิภาพในการลดสารตกค้างที่กล่าวมาในข้างต้น ดังนั้น สำคัญมากที่ต้องทำให้น้ำในถังชะล้างสะอาดอยู่เสมอ มิฉะนั้น สารที่ถูกสกัดออกมาจะมีปริมาณในถังเข้มข้นขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดที่สิ่งปนเปื้อนจะถูกเพิ่มเข้าไปมากกว่าที่จะถูกกำจัดออกมา (ดูรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 Powdered glove manufacture, post-oven leach (Calvert, 1982, p. 188-90)

กระบวนการที่ 3 ถุงมือจะถูกทำหลังจากกระบวนการ (post-processed) หลังจากถุงมือถูกดึงออกจากแม่พิมพ์ มันจะถูกใส่ลงในเครื่องทำความสะอาด (commercial washer) ซึ่งจะถูกล้างด้วยน้ำร้อนและสารทำความสะอาด (detergent) แล้วตามด้วยการล้างน้ำร้อนอีกครั้ง โดยทั่วไป การล้างนี้จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีตกค้าง เช่น ไนเตรท สารเคมีของยางที่ไม่ทำปฏิกิริยา และลดปริมาณโปรตีนในถุงมือด้วย (ดูรูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 Powdered glove manufacture, off-line powdering (Calvert, 1982, p. 188-90)

สำหรับกระบวนการชะล้าง (cleaning process) มีความสำคัญในการกำจัดโปรตีนที่ละลายน้ำได้ สำหรับถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติแต่ไม่ใช่ถุงมือที่ทำมาจากยางสังเคราะห์

2.9 กระบวนการทำถุงมือไร้แป้ง (Powder-free processing)

ในปัจจุบันมีวิธีการหลายวิธีสำหรับการผลิตถุงมือไร้แป้ง ได้แก่ กระบวนการคลอรีนชัน (chlorination process), การเคลือบ (coating), powder-free coagulants and coatings

1) กระบวนการคลอรีนชัน (chlorination process)

กระบวนการคลอรีนชันเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับกระบวนการผลิตถุงมือไร้แป้ง (Blackley, 1977) พันธะคู่ในพอลิไอโซพรีนพอลิเมอร์ (polyisoprene polymer) ซึ่งอยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติมีความไวต่อปฏิกิริยาการเติมคลอรีนเป็นอย่างมาก ผลของการมีคลอรีนบนพื้นผิวคือทำให้ผิวของยางแข็ง (stiffen) และไม่เหนียวติดกัน (detackify) ในความเป็นจริงแล้วกระบวนการคลอรีนชันเป็นการทำให้ยางเสื่อมสภาพอย่างหนึ่งด้วย คลอรีนจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของถุงมือยางเสื่อมลง ด้วยเหตุผลนี้ ในกระบวนการคลอรีนชันจึงมีความสำคัญมากและต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวังเพราะถ้าเกิดปฏิกิริยาคลอรีนชันมากเกินไปจะมีผลกระทบต่อถุงมือโดยทำให้ถุงมือมีอายุการเก็บสั้น (short shelf-lives) และมีคุณสมบัติทางกายภาพด้อยลงอีกด้วย นอกจากนี้ ถุงมือยางธรรมชาติจะมีการเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเหม็นอีกด้วย สำหรับถุงมือยางสังเคราะห์อาจจะไม่เหนียวติดกันด้วยกระบวนการคลอรีนชัน

การทำคลอรีนชันถุงมือยางสามารถทำได้หลายวิธี ถุงมือสามารถผลิตในกระบวนการมาตรฐานที่ถุงมือแป้งจะผ่านกระบวนการคลอรีนชัน โดยส่วนมากเครื่องมือบางชิ้นที่ธรรมดาแล้วใช้ในการทำคลอรีนชันถุงมือ คือ rotating drum chlorinator ซึ่งหาซื้อได้ทั่วไป

ขั้นตอนในการทำคลอรีนชันอาจรวมถึงขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การล้างถุงมือ (Prewashing)
- การล้างด้วยสารละลายคลอรีน (Exposure to chlorine solution)
- การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)
- การชะล้าง (Rinsing)
- การอบแห้ง (Drying)

ถุงมือแป้งสามารถถูกใส่โดยตรงลงในเครื่อง chlorinator และถ้ามีการใช้ความเข้มข้นของคลอรีนสูง ถุงมืออาจจะถูกทำคลอรีนชันทั้งด้านนอกและด้านในแต่ด้านนอกจะได้รับปริมาณคลอรีนมากกว่าและถูกทำคลอรีนชันมากกว่าด้วย ถุงมือที่ผ่านกระบวนการคลอรีนชันด้วยวิธีการนี้โดยปกติถุงมือจะเปลี่ยนสีและมีกลิ่นเล็กน้อย นอกจากนี้ ถุงมือยังมีแนวโน้มที่มีสมบัติความทน

ต่อแรงดึง (tensile strength) ต่ำ และค่าหลังจาก aged คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงจะลดลงด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของถุงมือก่อนและหลัง aged

Nonchlorinated						
Original			Aged			
Modulus	Tensile	Elongation	Modulus	Tensile	Elongation	Protein
2.8	36.3	873	2.4	34.0	935	155 (µg/g)

อีกทางเลือกหนึ่งของกระบวนการผลิต คือ กลับถุงมือนำไปคลอรีนแล้วทำการคลอรีนซ้ำ โดยใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า แล้วกลับด้านถุงมือเหมือนเดิมและอบให้แห้ง หรืออาจจะนำไปทำ chlorination cycle ถัดไปเพื่อลดการติดกันของพื้นผิว ถุงมือที่ไม่ได้ทำคลอรีนซ้ำครั้งที่สองโดยทั่วไปจะมี grip characteristic ดี แต่มีแนวโน้มที่จะติดกันเองในกล่องบรรจุภัณฑ์ซึ่งยากต่อการบรรจุหีบห่อ ถุงมือที่มีการทำคลอรีนซ้ำสองครั้ง (double-chlorinated) จะมีผิวที่ให้ความรู้สึกเรียบและลื่น smooth feel แต่จะไม่เป็นก้อนในบรรจุภัณฑ์ กระบวนการที่ใช้ความเข้มข้นของคลอรีนต่ำกว่าจะผลิตแล้วให้คุณสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าที่ใช้ความเข้มข้นสูง

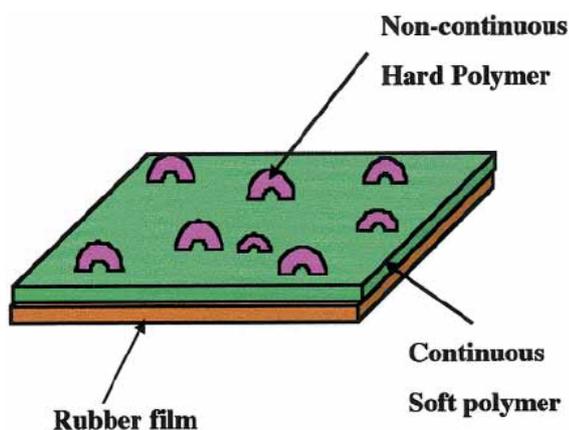
นอกจากนี้ยังมีเทคนิคอื่น ๆ คือ on-line chlorination ข้อดีของการใช้วิธีการนี้ ด้านนอกของถุงมือจะถูกคลอรีนซึ่งจะกลายเป็นด้านในสำหรับสวมใส่ เมื่อมันถูกกลับด้านที่กระบวนการถอดถุงมือ ปฏิกิริยาคลอรีนจะถูกทำน้อยมากที่พื้นผิวด้านนอก วัตถุประสงค์ของกระบวนการนี้จะรักษาคุณสมบัติทางกายภาพได้ดีกว่า นอกจากนี้ การสวมใส่จะถูกปรับปรุงและยังทำให้ถุงมือไม่เป็นก้อนในบรรจุภัณฑ์

2) การเคลือบ (coating)

การเคลือบพื้นผิวภายในของถุงมือกลายเป็นวิธีที่ธรรมดาที่ใช้ทำถุงมือไร้แปง ตัวอย่างของถุงมือที่ผลิตด้วยวิธีนี้คือ กระบวนการผลิตของ Ansell Perry Encore line (Ansell Perry, Massillon, Ohio) การเคลือบเสนอโอกาสให้สำหรับผู้ผลิตถุงมือเพื่อที่จะเพิ่มหรือปรับปรุงความสามารถในการสวมใส่ (donnability) ของถุงมือ การเคลือบบางครั้งให้คุณสมบัติที่ดีในการสวมใส่ทั้งขณะเปียกและแห้ง สารที่ใช้เคลือบเหล่านี้ เช่น พอลิอะคริเลท พอลิยูรีเทน และพอลิเมออร์ผสมของทั้งสองตัว การเคลือบสามารถแยกได้เป็น hydrogel (Podell et. al, 1986) และ nonhydrogel (Ansell et. al, 1993 และ Nile et. al, 1996) Hydrogel coatings ประกอบด้วยสารที่สามารถดูดซับ

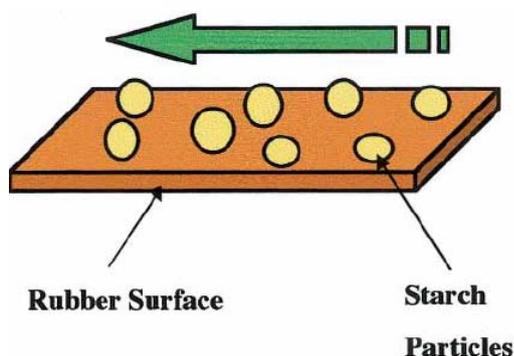
น้ำได้หลาย ๆ เท่าของน้ำหนักและฟองตัวจึงทำให้เกิดการลื่นที่ผิว (slippery) ซึ่งทำให้ง่ายต่อการสวมใส่ Nonhydrogel repel water เป็นการเคลือบที่เลียนแบบลักษณะของพื้นผิวที่มีแปรง

การเคลือบนี้จะทำให้ความสามารถในการสวมใส่ดีเพราะว่าโดยทั่วไปจะให้ลักษณะพื้นผิวที่คล้ายกับพื้นผิวภายในของถุงมือซึ่งบรรจุของแข็งรูปทรงกลมยื่นออกมาซึ่งฝังตัวในเนื้อที่มีความนุ่ม (soft binding matrix) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Powdered glove manufacture, coating (Podell et. al, 1986)

ลักษณะพื้นผิวที่คล้ายกับพื้นผิวที่มีแปรง (powdered surface) ซึ่งจะมีอนุภาคแข็งที่มีรูปร่างทรงกลม โดยทำหน้าที่เหมือนกับ ball-bearing ซึ่งจะช่วยให้มือสามารถลื่นไถลไปบนพื้นผิวของถุงมือได้ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Powdered-free glove manufacture, powdered (Podell et. al, 1986)

มีวิธีการทำการเคลือบบนถุงมือ ได้แก่ on-line และ after-processed

- Online-coating applications ซึ่งจะทำในขั้นตอนการผลิตโดยจะทำก่อนการอบครั้งสุดท้าย สารเคลือบจะถูกเคลือบลงบนผิวของฟิล์มถุงมือขณะเป็นเจลเปือก การเคลือบฟิล์มถุงมือในขณะที่เป็นเจลเปือกนี้บางครั้งถูกใช้เพื่อให้แน่ใจว่าสารเคลือบเกิดการยึดเกาะที่ดีของสารเคลือบบนพื้นผิวของถุงมือ (Podell et. al, 1986) โดยทั่วไป จะเป็นกรดหรือเกลือที่จะทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวเพื่อกระตุ้นพื้นผิวของถุงมือเพื่อให้วัสดุที่นำมาเคลือบยึดเกาะได้ดี
 - After-processed coating เกี่ยวข้องกับการล้างถุงมือ finished gloves ในถังชะล้างและในเวลาเดียวกันถุงมือจะถูกเคลือบด้วยวัสดุเคลือบ สารเคลือบที่ใช้ก็จะคล้าย ๆ กับที่ใช้ใน online-applications ถุงมือที่เคลือบจะเปือกซึ่งจะถูกอบแห้งในเครื่องอบ ข้อเสียของเทคนิคนี้ทั้งสองด้านของถุงมือจะถูกทำการเคลือบ ด้วยเหตุนี้ จะส่งผลกระทบต่อ grip characteristic ของพื้นผิวด้านนอก และบ่อยครั้งจะทำให้ความสามารถในการสวมใส่ (donnability) ลดลง
- 3) การใช้สารจับตัวที่ไม่ใช่แป้งและเคลือบด้วยสารเคลือบ (powder-free coagulants and coatings)

มีผู้ผลิตถุงมือมากมายใช้ถุงมือที่ไร้แป้ง เทคนิคที่มีการใช้ในอดีตคือการเคลือบ (coatings) ร่วมกับ powderless coagulant (Nile et. al, 2002) โดยปกติ coagulant ที่มีแป้งเป็น releasing agent เพื่อช่วยถอดออกจากแม่พิมพ์ได้ง่าย ในกรณีที่ใช้ Powder-free coagulants จะไม่มีการใช้แป้งเพื่อช่วยในการถอดถุงมือออกจากแม่พิมพ์ ต่อมาได้มีการพัฒนา Organic releasing agent ขึ้น ซึ่งกำลังจะถูกนำมาใช้แทนแป้ง สมบัติความเหนียวติดกันและ grip สามารถถูกควบคุมเพื่อให้ได้ตามลักษณะที่ต้องการของผู้ใช้ถุงมือ

ในบางกรณี มีการทำการปรับปรุงสูตรของน้ำยางและกระบวนการผลิตในขั้นตอนการอบแห้ง (เพื่อให้ยางติดกันน้อย) เพื่อกำจัดความต้องการของการใช้แป้งทุกชนิด

การไม่ใช้แป้งในกระบวนการผลิตถุงมือเป็นการขจัดขั้นตอนในการล้างและกระบวนการคลอรีนชัน อย่างไรก็ตาม อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณโปรตีนตกค้างในถุงมือที่ทำจากน้ำยางธรรมชาติเพราะว่าการล้างและการทำคลอรีนชันเป็นเทคนิคที่ดีเยี่ยมในการลดสารแพ้นถุงมือ

2.10 อุตสาหกรรมถุงมือแพทย์

เนื่องจากยางธรรมชาติมีคุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึงดีเยี่ยม แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมาก ในอุตสาหกรรมที่ผลิตถุงมือยางมีการนำน้ำยางธรรมชาติไปใช้งานมากมาย โดยเฉพาะโรงงานผลิตถุงมือแพทย์สำหรับผ่าตัดก็นิยมนำมาทำเป็นถุงมือแพทย์สำหรับงานผ่าตัดภายนอก บริษัท Cardinal Health 222 (Thailand) Ltd. เป็นบริษัทหนึ่งซึ่งประกอบธุรกิจการทำถุงมือแพทย์สำหรับใช้ในงานผ่าตัด โดยนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นถุงมือยางซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน ถุงมือซึ่งทำมาจากยางธรรมชาติและมีการผลิตขายมากชนิดหนึ่งภายใต้ชื่อทางการค้าของบริษัท คือ ผลิตภัณฑ์ Protegrity™ powder-free nitrile-coated surgical glove (Yeh, 2002) โดยถุงมือชนิดนี้จะมีลักษณะของชั้นยางแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังจะเห็นในรูปที่ 1.1 ซึ่งเนื้อยางหลักจะเป็นยางธรรมชาติโดยมีการเคลือบด้วยยางไนไตรล์และมีชั้นกลางเป็นยางผสมระหว่าง NR กับ NBR เพื่อช่วยในการยึดติดกันของชั้นยางทั้งสองชนิด

ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีการเคลือบ (coating technology) มากมายเพื่อจะลดปริมาณแป้งในการผลิตถุงมือ ในปัจจุบันความต้องการของถุงมือปราศจากแป้งมีความต้องการมากกว่าถุงมือแป้งเนื่องจากการแพ้โปรตีนที่อยู่บนถุงมือของผู้ผลิต จากประวัติความเป็นมาแป้งได้ถูกนำมาใช้ขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการดึงออกจากแม่พิมพ์ระหว่างการผลิตและวัตถุประสงค์ในการสวมใส่ถุงมือ อย่างไรก็ตาม การเคลือบด้วยพอลิเมอร์ซึ่งเป็นการรวมกันของสารหล่อลื่นถูกนำมาใช้กับพื้นผิวของถุงมือเพื่อเพิ่มความสามารถในการสวมใส่ถุงมือในขณะที่เปียกและแห้งได้ดี ถุงมือทางการแพทย์ที่มีการเคลือบ (coated surgical gloves) ที่ใช้อยู่ในทางการแพทย์ส่วนใหญ่จะถูกผลิตโดยการนำพอลิเมอร์มาเคลือบที่ผิวชั้นในของถุงมือซึ่งเป็นด้านที่สัมผัสกับผู้ใช้สามารถทำได้หลังจากกระบวนการขึ้นรูปแบบจุ่ม (dipping process) เช่น นำถุงมือมาทำการล้างด้วยน้ำคลอรีนแล้วนำไปเคลือบด้วยสารหล่อลื่น เป็นต้น ในกระบวนการคลอรีนชั้นจะเกิดการออกซิไดซ์ขึ้นที่ผิวด้านนอกของถุงมือทำให้ลดการติดกันของพื้นผิวยางและยังกำจัดแป้งที่อยู่ผิวหน้าของถุงมืออีกด้วย สมบัติของพอลิเมอร์ที่จะนำมาใช้เคลือบถุงมือทางการแพทย์จะต้องประกอบไปด้วยสมบัติ ดังต่อไปนี้

- พอลิเมอร์ที่นำมาใช้จะต้องยึดติดกับชั้นของยางได้ดีและให้สมบัติในด้านการสวมใส่ที่ดี (good donning characteristics)
- พอลิเมอร์จะต้องทนต่อกระบวนการล้างคลอรีนและอบแห้ง
- พอลิเมอร์จะต้องไม่เสื่อมสภาพหลังจากการฆ่าเชื้อ (sterilization)

ชนิดของพอลิเมอร์ที่นำมาเคลือบบนถุงมือทางการแพทย์โดยทั่วไป ได้แก่ hydrogel, acrylic, polyurethane silicone polymer หรือ polymer blends เป็นต้น ชนิดของพอลิเมอร์ที่จะนำมาใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งานซึ่งในแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันออกไป

Hydrogel ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ ในปี ค.ศ 1960 hydrogel coating จะไม่ละลายในน้ำและมีพฤติกรรมที่สามารถบวมตัวและดูดซับน้ำได้ถึง 20% โดยน้ำหนัก hydrogel coating ยังถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น catheters, angioplasty balloons, introducers, contact lens และ indwelling medical device อื่น ๆ เพื่อเพิ่มความลื่นของพื้นผิว (surface lubricity) หลักการประยุกต์ใช้งานคือ น้ำที่ถูกดูดซับเข้าไปใน hydrogel coating จะเกิด เป็นฟิล์มบาง ๆ บนพื้นผิวสัมผัสของผลิตภัณฑ์ซึ่งจะทำให้พื้นผิวมีความลื่นด้วยสมบัติที่แตกต่าง กันของยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์กับ hydrogel coating ทำให้เมื่อนำมาใช้จะเกิดการแตก (crack) ขณะขึ้นรูปและขณะที่ถูมือถูกดึงออกจากแม่พิมพ์หรือขณะที่ผู้ใช้สวมใส่ ถ้าการยึดติดกัน ระหว่างสารเคลือบกับยางไม่ดีจะทำให้เกิดการลอกออกของชั้นเคลือบ hydrogel coating จะมีปัญหา ถ้ามีการทำปฏิกิริยากับสารละลายที่เป็นกรด ในเทอมของสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลจะ ค่อยใน hydrogel coating

วัสดุ polyurethane ถูกใช้ในอุตสาหกรรมทางการแพทย์ที่ต้องมีการสัมผัสกับเลือดหรือผิว หนึ่งเนื่องจากมีสมบัติของ biocompatibility ที่ดีเยี่ยม polyurethane ยังสามารถทำให้เป็นวัสดุที่ แข็งหรืออ่อนได้ โดยธรรมชาติของวัสดุแล้ว polyurethane เป็นวัสดุที่ชอบน้ำนั่นหมายถึงมีแนว โนม์ที่จะดูดซับน้ำ ผลจากสมบัตินี้เองทำให้เมื่อดูดซับน้ำเข้าไปแล้วทำให้วัสดุอ่อนตัวและในบาง ครั้งจะมีการติดกันของพื้นผิว (surface tackiness) เกิดขึ้นเล็กน้อยหลังจากสัมผัสกับน้ำ การ ประยุกต์ใช้ในงานเคลือบทำได้โดยใช้ water-based polyurethane dispersions เคลือบได้โดยตรงลง บนยางได้เลย polyurethane coating ไม่เหมาะสำหรับใช้ในการเคลือบถุงมือ เนื่องจากพื้นผิวจะติด กันหลังจากผ่านกระบวนการล้างคลอรีน

Acrylics coating เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีสมบัติของความยืดหยุ่นอยู่ ถึงแม้ว่า acrylate polymer จะสามารถทำให้มีสมบัติที่คล้ายกันได้โดยการทำให้พอลิเมอร์ไรเซชันด้วยพอลิเมอร์ชนิด ต่าง ๆ คุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและการดึงยึดก็ยังมีค่าต่ำกว่ายางธรรมชาติ ด้วยเหตุที่ คุณสมบัติที่แตกต่างกันนี้ทำให้เมื่อนำไปเคลือบบนถุงมือจะเกิดการแตกหรือแยกออกบนพื้นผิวยาง จึงไม่เหมาะนำไปใช้เคลือบถุงมือที่ใช้ทางการแพทย์

Silicone coating ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงความลื่นของพื้นผิวของอุปกรณ์ทางการแพทย์ silicone coating เมื่อนำมาใช้กับถุงมือโดยการผสมจะทำให้ silicone เกิดการเคลื่อนย้ายออก มาอยู่ที่พื้นผิวของยางและถูกชะล้างออกมาสัมผัสกับผิวหนังของคน ด้วยเหตุที่ silicone coating สามารถถูกชะล้างทำให้เกิดความรู้สึกมันลื่นบนผิวหนังหลังจากการสวมใส่จึงไม่เหมาะกับการสวม ใส่ขณะเปียกซึ่งไม่ค่อยนิยมใช้

Nitrile เป็นยางสังเคราะห์ซึ่งประกอบไปด้วย acrylonitrile, butadiene และ carboxylic acid พอลิเมอร์ของ acrylonitrile เป็นวัสดุที่แข็งและทนต่อการซึมผ่านของอากาศ ทนต่อสารเคมีหลายชนิดโดยเฉพาะไฮโดรคาร์บอน น้ำมัน และตัวทำละลายต่าง ๆ หลังจากการทำให้อย่างคงรูป butadiene จะทำให้ยางที่ได้มีความอ่อนนุ่มและยืดหยุ่น ส่วน carboxylic acid ทำให้ยางมีความทนทานต่อแรงดึงสูงและความทนต่อแรงฉีกขาด เนื่องจากยางไนไตรล์มี barrier properties และสมบัติเชิงกลที่ดีจึงมีการนำมาใช้กับถุงมือยาง สมบัติของ nitrile coating เมื่อเปรียบเทียบกับ hydrogel และ polyurethane ยางไนไตรล์เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับถุงมือยางเนื่องจาก

- มีสมบัติทนทานต่อแรงดึงและความยืดหยุ่นสูง
- ทำให้ถุงมือมีความลื่นมากขึ้นหลังจากผ่านการล้างด้วยสารละลายคลอรีน
- มีสมบัติต้านทานต่อสารเคมีดีเยี่ยม

สมบัติของ polymer coating แต่ละชนิดแสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติเฉพาะของ polymer coating แต่ละชนิด (Research & Technology Supporting Your Decision, 2005, p. 4 – 5)

	COATING TYPE				
	Hydrogel	Polyurethane	Acrylic	Silicone	Nitrile
Tensile strength	Low	Medium-High	Low	Low	High
Adhesion to natural rubber	Low	Medium	Medium	Low	Medium
Elongation	Low	High	Low	Medium	High
Lubricity after chlorination	High	Medium	Medium	High	High
Puncture resistance	Low	Medium-High	Medium	Low	High
Abrasion resistance	Low	Medium	Medium	Low	Medium
Oil resistance	Medium	High	High	Low	High
Hydration/water swelling	High	Medium	Low	Low	Low
Integrity after stretching	Low	Medium-High	Low	Low	High

รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของ polymer coating ที่เคลือบบนถุงมือ Protegrity ซึ่งถูกดึงที่เปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่าง ๆ จากรูปจะเห็นได้ว่า nitrile coating มีความแข็งแรงของฟิล์มที่เคลือบได้ดีกว่า coating ชนิดอื่น ๆ

Protegrity™ glove with nitrile coating

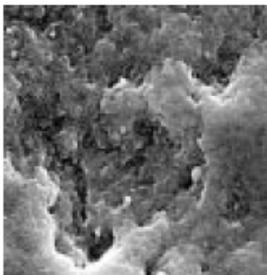


Figure 1a. Stretched 0%

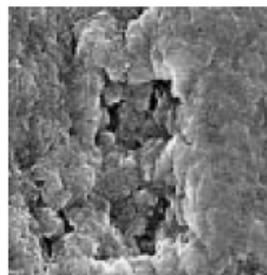


Figure 1b. Stretched 100%

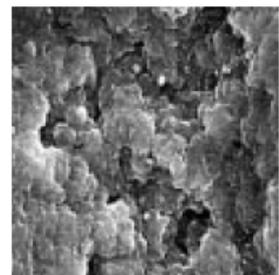


Figure 1c. Stretched 300%

Surgical glove with hydrogel coating (note cracks in coating)

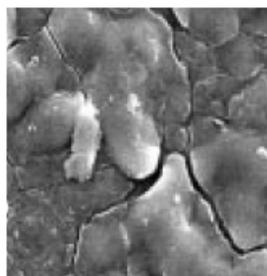


Figure 2a. Stretched 0%

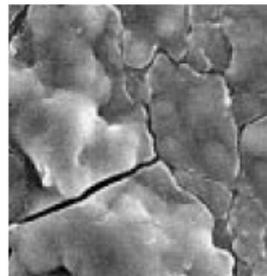


Figure 2b. Stretched 100%

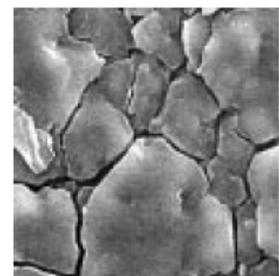


Figure 2c. Stretched 300%

Surgical glove with polymeric coating (note cracks in coating)

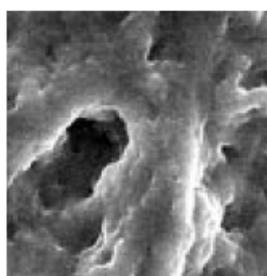


Figure 3a. Stretched 0%

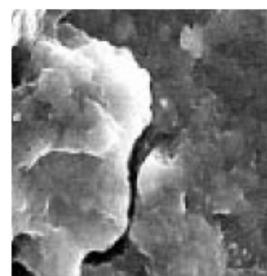


Figure 3b. Stretched 100%

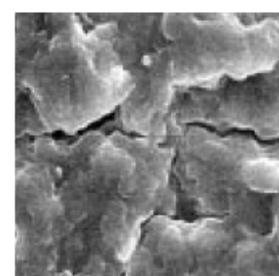
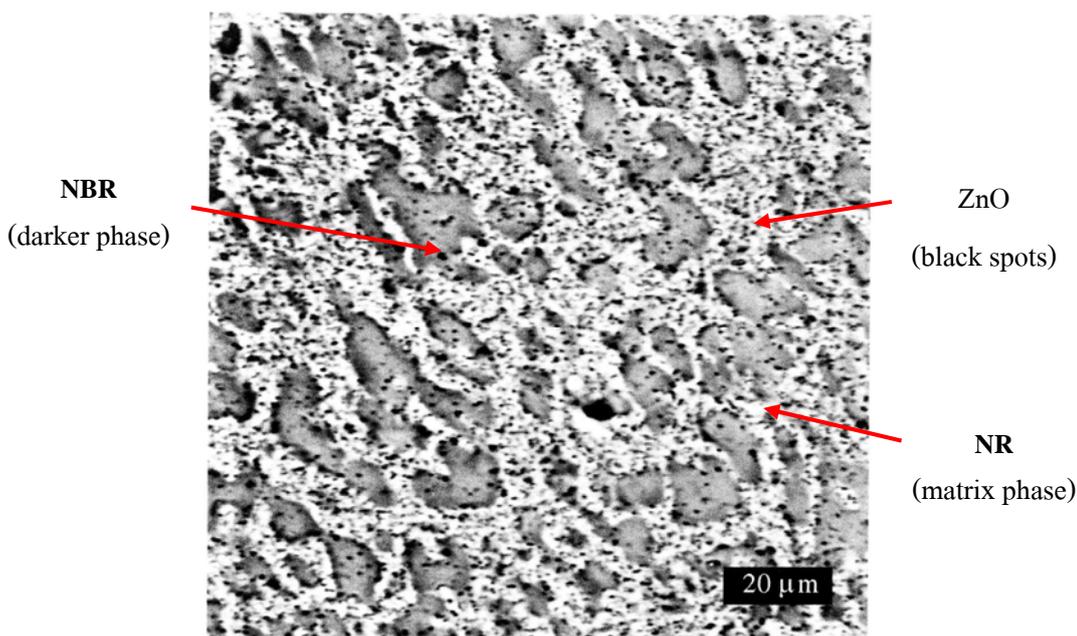


Figure 3c. Stretched 300%

รูปที่ 2.11 ภาพ SEM แสดงให้เห็นถึง morphology ของ polymer coating ที่เคลือบบนถุงมือ Protegrity ซึ่งถูกดึงที่ เปอร์เซ็นต์การดึงยืดต่าง ๆ (Research & Technology Supporting Your Decision, 2005, p. 4 – 5)

ยางไนไตรล์เหมาะที่จะนำมาใช้ในการเคลือบถุงมือแต่ปัญหาที่พบคือความเข้ากันได้ของน้ำยางผสมที่อยู่ชั้นกลางยังมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากยาง NR และ NBR มีความเป็นขั้วต่างกันมาก

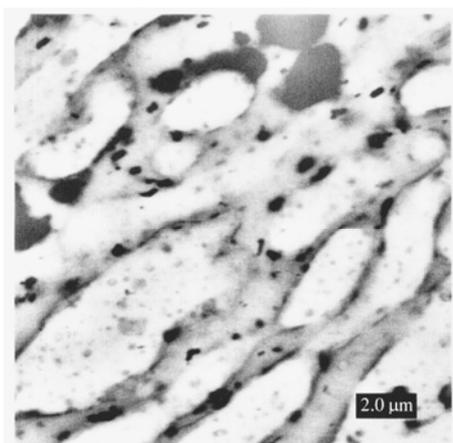
จากลักษณะโครงสร้างทางเคมีของ NBR ซึ่งเป็นโคพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วย acrylonitrile และ butadiene ซึ่งมีความมีขั้วสูงมากเนื่องด้วย Acrylonitrile ที่อยู่ในสายโซ่ เมื่อนำ NR และ NBR มาผสมกันจะเห็นได้ว่าเฟสที่กระจายตัวจะมีขนาดของเฟสที่ใหญ่ทำให้สมบัติของยางผสมที่ได้มีสมบัติที่ไม่ดี Michale V. Lewan (Karnika & Lewan, 1998) ได้ศึกษาการผสมของยางแห้งระหว่าง NR และ NBR ในอัตราส่วน 50 ต่อ 50 ของ NR/NBR41 จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าเฟสที่มีขนาดใหญ่ที่พบเกิดจากความแตกต่างของความมีขั้วและค่าการละลายที่แตกต่างกันด้วยระหว่างยางทั้งสองชนิด จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็น co-continuous phase ถึงแม้ว่า NBR (dark phase) จะมีบางส่วนเป็นเฟสที่ไม่ต่อเนื่องอนุภาคของ zinc oxide (black spot) ส่วนใหญ่จะปรากฏอยู่ในเฟสของยางธรรมชาติ



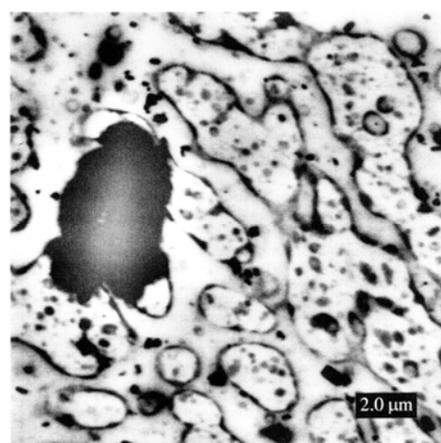
รูปที่ 2.12 Phase contrast micrograph ของ 50:50 NR:NBR41 gum blend vulcanizate (Karnika & Lewan, 1998).

จากปัญหาที่พบได้มีการค้นคว้าวิจัยที่จะหาตัวเชื่อมประสาน (compatibilizer) เพื่อช่วยให้ยาง NR กับ NBR สามารถเข้ากันได้มากขึ้น K. G. Karnika de Silva และ Michale V. Lewan ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทาง morphology โดยการผสม Heveaplus MG30 ซึ่งเป็น graft copolymer

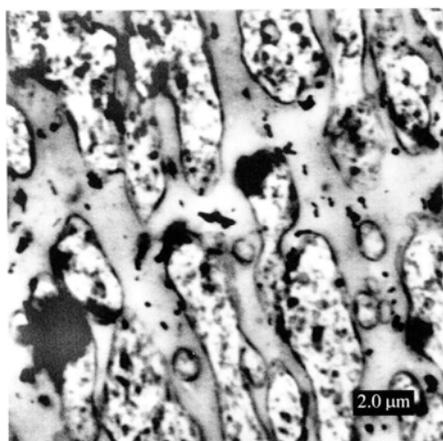
ของ NR ด้วย PMMA พบว่าสามารถปรับปรุงการยึดติด (adhesion) ระหว่างเฟสของพอลิเมอร์ด้วย incompatible polarities ซึ่งการผสม graft copolymer เข้าไปนี้จะทำให้ลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ระหว่างเฟสทั้งสองได้จึงทำให้เฟสของ NBR มีขนาดเล็กลง ผลที่ตามมา สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลดีขึ้น แต่ Heveaplus MG30 ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางการแพทย์โดยไม่ได้รับการอนุมัติจาก Food and Drug Administration (FDA) ดังนั้น Kongsin, K. และ Michale V. Lewan ได้ปรับปรุงสมบัติทาง morphology โดยการใส่ polychloroprene (CR) เป็นตัวเชื่อมประสาน โดย CR สามารถนำมาใช้ในงานทางการแพทย์ได้ เหตุผลที่นำ CR มาใช้ก็เพราะว่า CR มีความเป็นขี้ผึ้งมากกว่ายางธรรมชาติและมีค่าการละลายอยู่ระหว่าง NR และ NBR เนื่องจากมีหมู่แทนที่เป็นอะตอมของคลอรีน ในงานวิจัยนี้ได้นำ CR ผสมกับ NR/NBR โดยใช้ตัวเร่ง CBS/TBTD โดยอัตราส่วนของการใส่ CR ลงไป คือ 0 – 20 phr



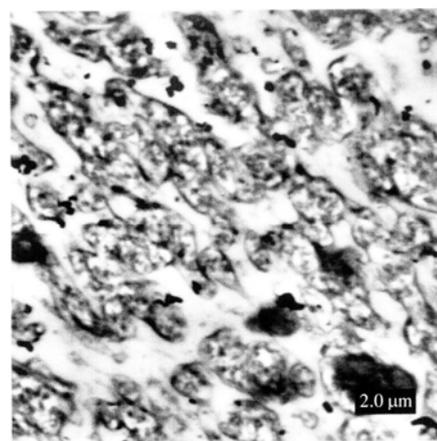
50:5:45 NR:CR:NBR34



40:10:50 NR:CR:NBR34



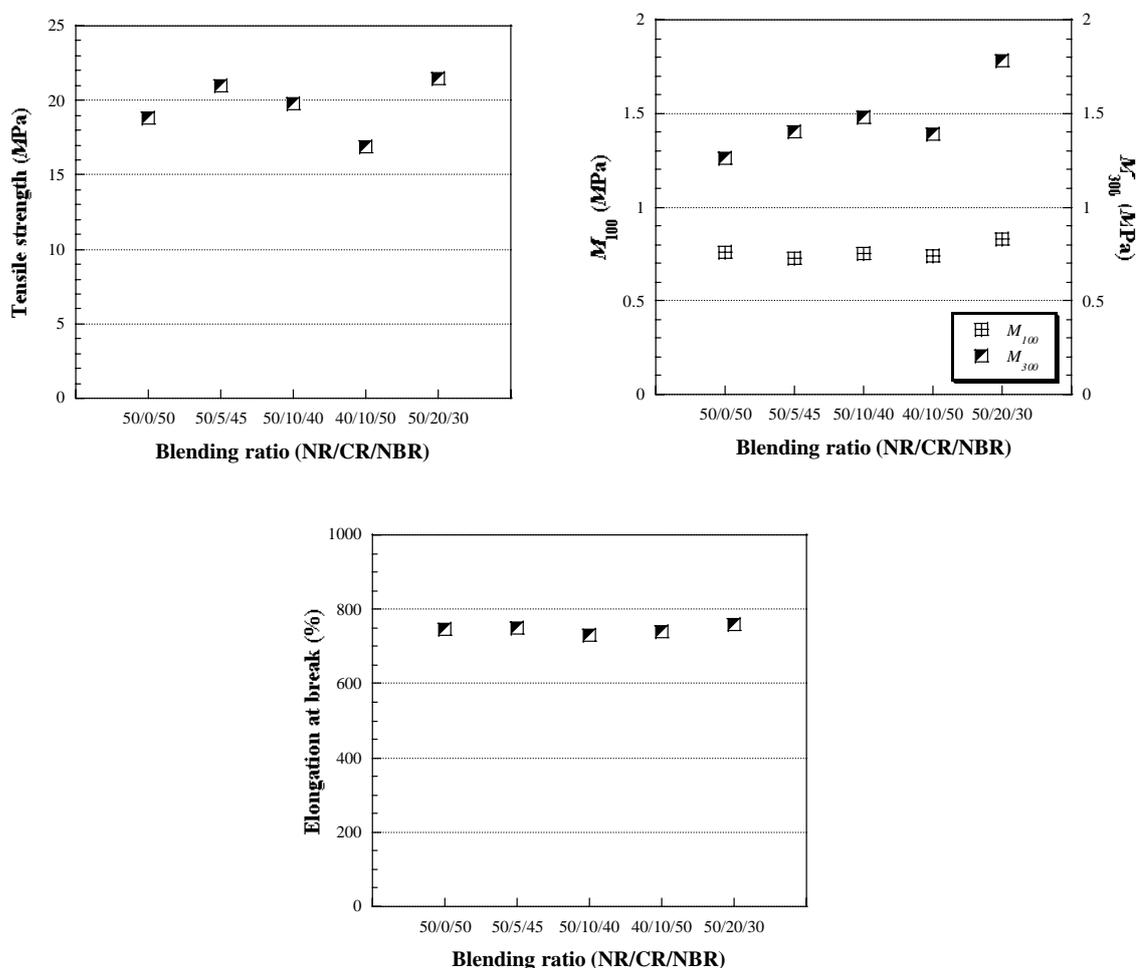
50:10:40 NR:CR:NBR34



50:20:30 NR:CR:NBR34

รูปที่ 2.13 STEM micrograph ของ NR:CR:NBR34 gum blend ที่อัตราส่วนต่าง ๆ (Karnika & Lewan, 1998)

จากรูปที่ 2.13 แสดง STEM micrograph ของ 50:5:45 NR/CR/NBR blends แสดงให้เห็นขนาดของเฟสลดลงซึ่งเล็กกว่าการผสมระบบ non-compatibilized blends เราจะเห็นได้ว่าแรงดึงผิวระหว่างยางทั้งสองลดลงเฟสของยางธรรมชาติจะเป็น darker phase ซึ่งเป็น matrix phase เราจะเห็นว่า NR ซึ่งเป็นจุดเล็ก ๆ จะเข้าไปอยู่ใน NBR phase ส่วนเส้นสีดำบาง ๆ ที่อยู่ระหว่างผิวของยางทั้งสองเป็น CR phase ยิ่งถ้ามีปริมาณของ CR มากขึ้นจะทำให้ CR บางส่วนเข้าไปอยู่ทั้งใน NR และ NBR phases จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าถ้าปริมาณอัตราส่วนของ CR มากขึ้นจนถึง 20 phr จะทำให้ความสามารถในการเข้ากันได้ของ NR และ NBR มีแนวโน้มมากขึ้นแต่ในทางอุตสาหกรรม CR ค่อนข้างจะมีราคาสูง ดังนั้น เราสามารถที่จะใส่ CR เพียง 5 – 10 phr ก็เพียงพอที่จะทำให้ได้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมได้ (ดังรูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 สมบัติเชิงกลของ NR/CR/NBR blends ที่อัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ตัวเร่ง CBS/TBTD ปรับปรุงจาก (Karnika & Lewan, 1998)

นอกจากนี้ มีการศึกษาหาตัวเชื่อมประสานเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้และสถานะของการผสม Clarke, J. และคณะ (Clarke, J. et. al, 2001) ได้ทำการศึกษาความเข้ากันได้ของยาง NR และ NBR (ที่อัตราส่วน 70/30) โดยการเติมเขม่าดำ จากผลการทดลองพบว่าเขม่าดำช่วยเพิ่มความสามารถในการเข้ากันได้ของยาง NR และ NBR ซึ่งเขม่าดำจะปรากฏอยู่ที่พื้นผิวของยางทั้งสอง Sirisinha, C. และคณะ (Sirisinha et. al, 2001 และ Sirisinha et. al, 2002) ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทาง morphology ของยาง ผสม 20:80 NR/NBR โดยเติม liquid natural rubber (LNR) และ epoxidised liquid natural rubber (ELNR) จากผลการทดลองพบว่า ขนาดของ NR dispersed phase ถูกควบคุมโดย viscosity ratio อย่างไรก็ตาม การใช้ยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะทำให้ได้ขนาดของเฟส NR ที่เล็กซึ่งจะทำให้ viscosity ratio เปลี่ยนแปลงจากเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่กล่าวมาที่มีความเป็นไปได้ในการนำยาง CR มาใช้ในการปรับปรุงความเข้ากันได้ของยางผสม NR/NBR ซึ่งในงานวิจัยที่จะศึกษานี้เป็นการผสมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิดสามชั้นและหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางผสมเพื่อให้ได้ถุงมือที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

2.11 แนวคิดจากงานวิจัย

เนื่องด้วยโครงสร้างหลักของพอลิคลอโรพรีนซึ่งมีหมู่แทนที่เป็นอะตอมของคลอรีนทำให้พอลิเมอร์แสดงคุณสมบัติความมีขั้ว นอกจากนี้ พอลิคลอโรพรีนยังมีค่าการละลายอยู่ระหว่างกลางของยางทั้งสองชนิด จากพฤติกรรมของพอลิคลอโรพรีนสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในยางผสม NR/NBR ซึ่งน่าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการยึดติดระหว่างชั้นของยางไนไตรล์กับชั้นของยางธรรมชาติของถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษารวมพอลิคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/NBR เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างชั้นของ NR และ NBR ในถุงมือแพทย์ชนิด 3 ชั้น และหาสัดส่วนที่เหมาะสมของระบบการผสมเพื่อให้ได้ถุงมือแพทย์ที่มีสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์ โดยงานวิจัยจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- 1) เตรียมน้ำยางผสมโดยผสมน้ำยางพอลิคลอโรพรีนลงในน้ำยางผสม NR/NBR ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน
- 2) นำน้ำยางผสม NR/CR/NBR ที่เตรียมได้มาทำการขึ้นรูปและทำการศึกษาคุณสมบัติทางพื้นผิวและประสิทธิภาพการยึดติดของชั้นยางไนไตรล์

- 3) การวิเคราะห์หาสัดส่วนของน้ำยางผสมที่เหมาะสมเพื่อให้ได้สมบัติการยึดติดที่ดีและคุณสมบัติเชิงกลของถุงมือที่ได้ตรงตามความต้องการของการนำไปประยุกต์ใช้ในงานผ่าตัดทางการแพทย์

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือแพทย์

- 1) สารจับตัว (coagulant)
- 2) น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex)
- 3) น้ำยางพอลิคลอโรพรีนคอมปาวด์ (polychloroprene rubber latex)
- 4) น้ำยางผสม (Latex Blends)
- 5) น้ำยางไนไตรล์สำหรับเคลือบผิว (Nitrile Coating Latex)
- 6) น้ำแป้ง (Slurry powder)

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือแพทย์นี้ถูกเตรียมและผสมโดย บริษัท Cardinal Health 222 (Thailand) Ltd. ส่วนรายละเอียดการเตรียมและอัตราส่วนในการผสมของน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตได้ถูกแสดงไว้ใน ภาคผนวก ก

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องผลิตสำหรับกระบวนการจุ่มแบบต่อเนื่อง (continuous chain dipping machine) ของบริษัท Electrowatt-Ekono (Thailand) Ltd.
- 2) เครื่องมือวัดความหนาถุงมือ (Mahr, model 1520 / 2025)
- 3) เครื่อง Instron Universal testing machine (Instron, model 1011)
- 4) เครื่อง Low vacuum scanning electron microscope (LV SEM, model S-3400N)
- 5) เครื่อง Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared Spectrometer (Bruker Optics, รุ่น Vertex 70)

3.3 การเตรียมน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลาง

การเตรียมน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลางเพื่อช่วยในการยึดติดของชั้นยางไนไตรล์ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวของถุงมือซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางผสม

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)
Soft water	—
100 % Igepal CO-630	0.50
100 % Darvan WAQ	0.20
54% Maturated NR latex compound	0, 25, 50, 75, 90
54 % Maturated CR latex compound	0, 5, 10, 15, 20
45 % NBR TYLAC 6874-01 latex	0, 25, 50, 75, 90

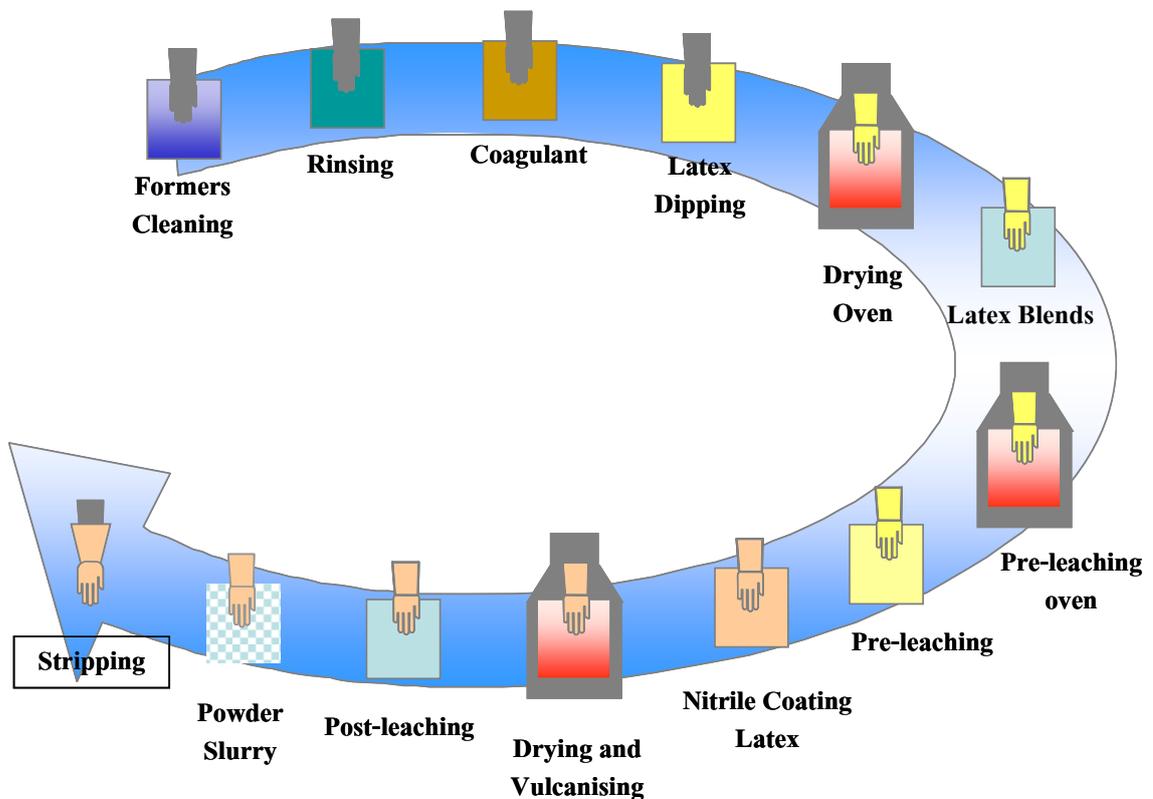
วิธีการเตรียมน้ำยางผสมสามารถเตรียมได้โดย เติมน้ำลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วสูง จากนั้นละลาย Igepal CO-630 ด้วยน้ำอุ่นแล้วกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายที่ได้ลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที เติม Darvan WAQ ตามปริมาณที่ต้องการลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 15 นาที ชั่งและเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ชั้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ 3.2 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 20 นาที ชั่งและเติมน้ำยางคลอโรพรีนคอมปาวด์ชั้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ 3.2 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 20 นาที ชั่งและเติมน้ำยางไนไตรล์ชั้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ 3.2 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 30 นาที ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) และค่า pH แล้วบันทึกค่าที่ได้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนน้ำยางผสม NR/CR/NBR

การทดลองที่	อัตราส่วนของน้ำยางผสม NR/CR/NBR (%)		
	น้ำยางธรรมชาติ (NR)	น้ำยางคลอโรพรีน (CR)	น้ำยางไนไตรล์ (NBR)
Control	75	0	25
1	75	5	20
2	75	10	15
3	75	15	10
4	75	20	5
5	0	5	95
6	0	10	90
7	0	15	85
8	0	20	80
9	95	5	0
10	90	10	0
11	85	15	0
12	80	20	0

3.4 กรรมวิธีการผลิตถุงมือแพทย์ผ่าตัด

ในงานวิจัยนี้เราได้ทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริงในอุตสาหกรรม กระบวนการจุ่มแบบต่อเนื่องและกระบวนการทำคลอรีนชันซึ่งเป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในการผลิตถุงมือแพทย์ผ่าตัดของ บริษัท คาร์ดิแนล เฮลท์ 222 (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อความเข้าใจในการวิจัยเราสามารถเขียนแผนผังของแต่ละกระบวนการไว้ในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แผนผังกระบวนการขึ้นรูปถุงมือ Protegrity SMT แบบจุ่ม (Dipping Process) ของ บริษัท คาร์ดิแนล เฮลท์ 222 (ประเทศไทย) จำกัด

3.4.1 กระบวนการจุ่ม (dipping process)

แม่พิมพ์รูปมือทำจากเซรามิกซึ่งสำคัญมากที่พื้นผิวของแม่พิมพ์จะต้องสะอาดเพื่อให้เกิดการเคลือบของฟิล์มลาเท็กซ์ที่สม่ำเสมอและต่อเนื่อง ในขั้นตอนแรก แม่พิมพ์จะผ่านกระบวนการล้างแม่พิมพ์ (former cleaning) ด้วยสารละลายของกรดมะนาว (citric acid) ที่ความเข้มข้นประมาณ 1 – 2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยน้ำที่ความเป็นด่าง pH ประมาณ 7 – 8 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนก่อนที่แม่พิมพ์จะถูกเคลือบด้วยสารจับตัวจะถูกล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง (rinsing) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส แล้วถูกทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

เมื่อพื้นผิวของแม่พิมพ์ถูกทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว กระบวนการต่อไปจะเป็นการเคลือบด้วยสารจับตัว (coagulant) ซึ่งสารจับตัวที่ใช้จะเป็นแคลเซียมไนเตรทและมีสารเคมีที่ช่วยป้องกันการติดของน้ำยางบนแม่พิมพ์ คือ แคลเซียมคาร์บอเนต สารจับตัวจะถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส โดยแม่พิมพ์ก่อนจุ่มลงในสารจับตัวจะมีอุณหภูมิประมาณ 60 องศา

เซลเซียส ซึ่งจะถูกรวมลงในสารจับตัวที่มีการควบคุมระยะเวลาในการจุ่ม และถูกทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

หลังจากแม่พิมพ์ถูกเคลือบด้วยสารจับตัวและอบแห้งแล้วแม่พิมพ์จะมีอุณหภูมิประมาณ 54 องศาเซลเซียส ซึ่งจะถูกรวมลงในถังที่มีน้ำยางธรรมชาติบรรจุอยู่ (latex dipping) น้ำยางถูกควบคุมที่อุณหภูมิประมาณ 25 – 28 องศาเซลเซียส โดยน้ำยางธรรมชาติที่ใช้เป็นน้ำยางคอมปาวด์ที่ผสมกับสารเคมีของยางเรียบร้อยแล้ว แม่พิมพ์จะถูกจุ่มลงในน้ำยางธรรมชาติที่มีการควบคุมระยะเวลาในการจุ่ม จากนั้น จะถูกอบใน drying oven ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส เพื่อให้ฟิล์มลาเท็กซ์เกิดการเชื่อมโยงบางส่วนก่อนที่จะถูกรวมลงในถังของน้ำยางผสม (latex blend) ที่มีการควบคุมระยะเวลาในการจุ่ม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยน้ำยางผสมที่ใช้นี้ถูกเตรียมและมีสัดส่วนในการผสมดังอธิบายไว้ในหัวข้อ 3.2

น้ำยางที่เคลือบอยู่บนแม่พิมพ์จะถูกทำให้มีความแข็งแรงขณะเป็นเจลเปียก (wet gel strength) ใน pre-leaching oven ที่อุณหภูมิ 175 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการนี้ฟิล์มลาเท็กซ์จะถูกม้วนขอบก่อนที่จะทำการชะล้าง (pre-leaching) กระบวนการล้างก่อนที่ฟิล์มลาเท็กซ์จะถูกวัดค่าไนซังจะมีผลต่อการล้างแคลเซียมในเตรทที่ตกค้างและโปรตีนที่ละลายน้ำได้ น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 70 – 75 องศาเซลเซียสจะถูกใช้ในกระบวนการนี้และจะมีน้ำไหลวนเพื่อทำให้น้ำที่อยู่ในถังยังคงสะอาดอยู่ตลอดเวลา ฟิล์มลาเท็กซ์จะถูกเป่าให้แห้งก่อนจะถูกจุ่มลงในถังของน้ำยางไนไตรล์ซึ่งจะเป็นชั้นเคลือบ เมื่อฟิล์มยางถูกเป่าให้แห้งแล้วจะถูกจุ่มลงในถังที่มีน้ำยางไนไตรล์บรรจุอยู่ (nitrile coating latex) ซึ่งน้ำยางจะถูกให้อุณหภูมิประมาณ 30 องศาเซลเซียส ที่มีการควบคุมระยะเวลาในการจุ่ม

ฟิล์มยางที่ผ่านกระบวนการชะล้างและเคลือบด้วยยางไนไตรล์จะผ่านเข้าไปในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 100 – 130 องศาเซลเซียส (drying and vulcanising) เป็นเวลาประมาณ 10 นาที ในกระบวนการอบนี้มีความสำคัญมากกับสมบัติของถุงมือยางที่ได้ซึ่งภายใต้ความร้อนนี้ยางจะเกิดการเชื่อมโยง หลังจากนั้นถุงมือจะผ่านกระบวนการ post-leaching ซึ่งถุงมือจะถูกการชะล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อล้างสารเคมีและโปรตีนที่ละลายน้ำได้อีกครั้ง น้ำแป้ง (powder slurry) ของแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอนุภาคนาขนาดเล็กถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการติดกันของถุงมือหลังจากถอดออกจากแม่พิมพ์ หลังจากนั้นถุงมือจะถูกอบแห้งและดึงออกจากแม่พิมพ์ (stripping)

ในขั้นตอนสุดท้าย ถุงมือจะถูกนำไปปั่นด้วยเครื่อง Tumbler ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 25 นาที และถูกทำให้เย็นที่อุณหภูมิต่ำกว่า 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที ด้วยความเร็วในการปั่นของเครื่อง Tumbler ที่ความเร็วรอบ 43 รอบต่อนาที หลังจากเสร็จกระบวนการนี้ถุงมือที่ได้จะถูกนำไปล้างด้วยสารละลายคลอรีนในกระบวนการถัดไป

3.4.2 กระบวนการคลอรีเนชัน (chlorination process)

กระบวนการคลอรีเนชันถูกนำมาใช้ในกระบวนการผลิตถุงมือไร้แป้งเพราะว่าสามารถลดการติดกัน (tackiness) ของพื้นผิวของฟิล์มยาง โดยปกติ กระบวนการคลอรีเนชันจะรวมถึงการล้างถุงมือแป้งเพื่อกำจัดแป้งส่วนเกิน การทำคลอรีเนชันถุงมืออย่างสามารถทำได้โดยการนำถุงมือแป้งใส่ลงในเครื่อง rotating drum chlorinator ขั้นตอนในการทำคลอรีเนชันจะรวมถึงขั้นตอนดังต่อไปนี้

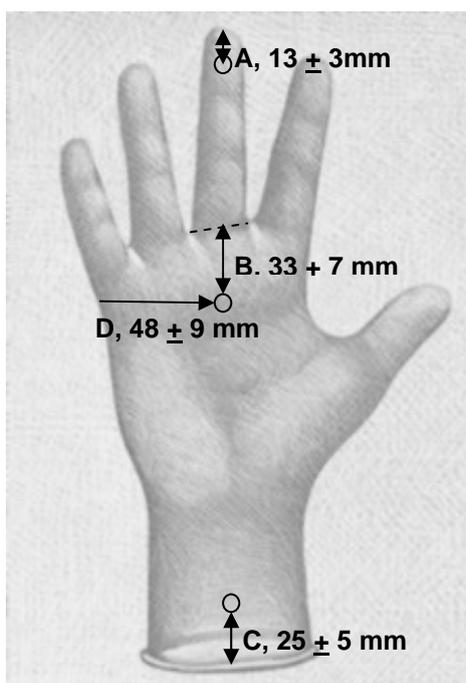
- การล้างถุงมือ (Pre Rinse)
- การล้างด้วยสารละลายคลอรีน (chlorination)
- การทำให้เป็นกลาง (neutralization)
- การชะล้าง (Post Rinse)
- การเคลือบด้วยสารหล่อลื่น (lubricant)
- การอบแห้ง (Drying)

ถุงมือแป้งจะถูกกลับเอาด้านของชั้นที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ออกก่อนที่จะใส่ลงในเครื่อง chlorinator ที่ใช้ความเข้มข้นของคลอรีนประมาณ 900 ppm ในกระบวนการล้างถุงมือจะถูกทำการล้างด้วยน้ำสะอาดก่อนที่จะถูกล้างด้วยสารละลายคลอรีน จากนั้น ถุงมือจะถูกทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายต่างและทำการล้างด้วยน้ำสะอาดอีกครั้งก่อนนำไปทำการเคลือบด้วยสารหล่อลื่น เมื่อถุงมือถูกเคลือบด้วยสารหล่อลื่นแล้วถุงมือจะถูกนำไปอบแห้งด้วยเครื่อง cyclone dryer ที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้น ทำการกลับถุงมืออีกด้านออกแล้วทำการอบอีกครั้ง ในขั้นตอนสุดท้าย ถุงมือจะถูกทำให้เย็นโดยการเป่าด้วยลมเย็นในเครื่องอบเย็น

3.5 การทดสอบทางกายภาพของถุงมือ

3.5.1 การวัดความหนาของถุงมือ

การวัดความหนาของถุงมือจะทำการวัด 3 จุด ได้แก่ ความหนาของนิ้ว ฝ่ามือ และ ข้อมือ ซึ่งเป็นการวัดความหนาของถุงมือผ่าตัดตามมาตรฐาน ASTM D 3577 ซึ่งตำแหน่งของแต่ละบริเวณแสดงดังในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งและบริเวณของการวัดความหนาของถุงมือผ่าตัด

ความหนาของนิ้ว เป็นการวัดความหนาของถุงมือจากปลายนิ้วเป็นระยะ 13 ± 3 มิลลิเมตร โดยทำการแยกฟิล์มถุงมือออกเป็นสองส่วนแล้วทำการวัดความหนาด้วยเครื่องวัดความหนา ในการวัดความหนานี้ควรหลีกเลี่ยงบริเวณที่มีการไหลกลับของน้ำยางบริเวณที่ปลายนิ้ว

ความหนาของฝ่ามือ เป็นการวัดความหนาของถุงมือโดยวัดจากจุดที่ห่างจากโคนของนิ้วกลางเป็นระยะ 33 ± 7 มิลลิเมตร และจากขอบของฝ่ามือเป็นระยะ 49 ± 8 มิลลิเมตร จุดมุ่งหมายของการวัดความหนาที่บริเวณฝ่ามือ คือ การวัดความหนาตรงบริเวณกลางฝ่ามือซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของถุงมือ

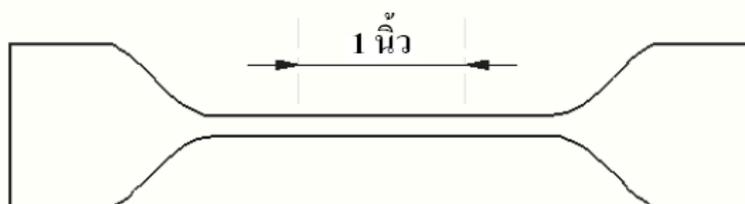
ความหนาของข้อมือ เป็นการวัดความหนาของถุงมือโดยวัดจากจุดที่ห่างจากขอบของถุงมือเป็นระยะ 25 ± 5 มิลลิเมตร

ถุงมือจำนวน 13 ชิ้น จะถูกทำการวัดความหนาตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น จากนั้น ทำการหาค่าเฉลี่ยที่วัดได้แล้วบันทึกผลที่คำนวณได้

3.5.2 การวัดสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ

การทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงเป็นการวัดสมบัติทางกลของวัสดุอย่างตามมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งถุงมือจะถูกทำการวัดสมบัติการทนต่อแรงดึงทั้งก่อนและหลังการทำคลอรีเนชัน ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ชิ้นงานตัวอย่างของฟิล์มยางที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 6 ชิ้น โดยชิ้นงานตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องถูกทิ้งไว้ที่สภาวะตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 2 °C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 %
2. นำชิ้นงานตัวอย่างของถุงมือที่ได้มาตัดตรงบริเวณฝ่ามือด้วยเครื่องตัดโดยใช้หัวค้าย type "C" ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งมีขนาดความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง 6 มิลลิเมตร การตัดชิ้นงานควรตัดโดยใช้แรงดันที่เหมาะสมเพื่อให้ชิ้นงานขาดและแน่ใจว่าขอบของชิ้นงานเรียบไม่มีรอยขาดซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบคลาดเคลื่อน
3. นำชิ้นงานรูปดัมเบลที่ได้มาวางบนพื้นเรียบแล้วทำการกำหนดระยะ Gauge marks บนชิ้นงานโดยทำการขีดเส้นสองเส้นที่ชิ้นงานเป็นระยะ 1 นิ้ว ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 รูปดัมเบลที่กำหนดระยะ (gauge mark) เป็นระยะ 1 นิ้ว

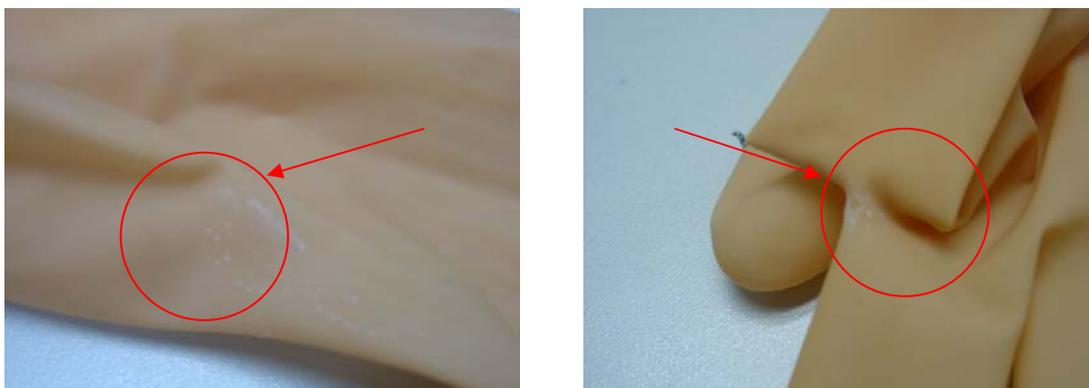
4. ใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีแรงดัน 22 ± 5 kPa (3.2 ± 0.7 PSI) วัดความหนาในระยะ gauge marks โดยทำการวัด 3 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยซึ่งค่าที่ได้คือความหนาของชิ้นงาน ทำการวัดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างทุกชิ้นที่จะทำการทดสอบ
5. นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester (Instron model 5564, 1011) โดยใช้ crosshead speed ที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที สมบัติการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานซึ่งจะทำการทดสอบ ได้แก่ tensile strength, modulus@300% & @500% และ elongation at break นำค่าที่ได้มาทำการหาค่าเฉลี่ยแล้วบันทึกผลที่ได้

3.6 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถุงมือที่ใช้ intermediate nitrile blend ในอัตราส่วนต่าง ๆ

พื้นผิวของน้ำยางไนไตรล์ทั้งก่อนและหลังการทำคลอรีเนชันจะถูกทำการวิเคราะห์ลักษณะของผิวที่ได้ซึ่งเราจะทำการวิเคราะห์โดยอาศัยการมองเห็นด้วยตาเปล่าและการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) ซึ่งการดูด้วยเทคนิค SEM จะสามารถเห็นลักษณะผิวที่เคลือบได้ชัดเจนยิ่งขึ้นซึ่งพื้นผิวนั้นอาจไม่สามารถแยกประสิทธิภาพของการเคลือบโดยการใช้น้ำยางผสมที่เป็นชั้นกลางด้วยระบบที่แตกต่างกันได้ด้วยตาเปล่า

3.6.1 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยการมองเห็นด้วยตาเปล่า

ถุงมือทั้งก่อนและหลังการทำคลอรีเนชันจำนวน 10 ชิ้น จะถูกทำการวิเคราะห์ลักษณะของพื้นผิวของถุงมือที่ทำการเคลือบด้วยน้ำยางไนไตรล์ซึ่งใช้น้ำยางผสมเป็นชั้นกลางด้วยระบบที่แตกต่างกัน โดยจะทำการรายงานการลอกของชั้นเคลือบในบริเวณที่แตกต่างกัน ได้แก่ นิ้ว ฝ่ามือ ข้อมือ และบริเวณใต้ข้อ (bead) ลักษณะของการลอกของชั้นไนไตรล์เราจะสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งเราจะสามารถสังเกตเห็นชั้นยางไนไตรล์เป็นขุย ๆ หรือลอกออกเป็นแผ่นดังรูป 3.4



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการลอกของชั้นไนไตรล์ของถุงมือ Protegrity SMT

3.6.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

ถุงมือก่อนและหลังการทำคลอรีเนชันจะถูกนำมาวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวอย่างละเอียด โดยที่ฟิล์มบริเวณฝ่ามือจะเป็นตัวแทนลักษณะของผิวเคลือบยางไนไตรล์ทั้งหมด ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อที่จะสามารถใส่เข้าไปในเครื่อง SEM ได้ ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง LV SEM รุ่น S-3400N ของบริษัท HITACHI Ltd. ซึ่งเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง EDX ยี่ห้อ HORIBA เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในชิ้นงานตัวอย่างนั้น ๆ

3.6.3 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR Spectroscopy

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Fourier Infrared Spectroscopy (FTIR) ในโหมด ATR ซึ่งนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวที่อยู่ในโมเลกุลของสารประกอบนั้น ๆ ในงานวิจัยนี้จะนำเอาเทคนิคนี้มาตรวจสอบหาแต่ละชั้นของถุงมือยาง โดยฟิล์มของถุงมือที่บริเวณฝ่ามือจะถูกนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันเพื่อใช้ในการยืนยันการลอกของฟิล์มยางไนไตรล์ ชิ้นงานตัวอย่างจะถูกนำวางลงบน ATR crystal ซึ่งทำจาก ZnSe การวิเคราะห์โดยเครื่องของบริษัท Bruker Optic รุ่น VERTEX 70 ช่วงของเลขคลื่นที่ทำการวิเคราะห์คือ $4000 - 650 \text{ cm}^{-1}$ จำนวนรอบของการสแกน 16 รอบ จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของแต่ละพื้นผิวที่ได้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติทางกายภาพของถุงมือ

4.1.1 ความหนาของถุงมือ

ถุงมือที่ใช้ในทางการแพทย์จะต้องมีความหนาตามมาตรฐาน ซึ่งในการทำการวิจัยนี้จึงได้ทำการวัดความหนาของถุงมือ ได้แก่ นิ้วมือ ฝ่ามือ และข้อมือ สำหรับผลของการวัดความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าความหนาของถุงมือแต่ละระบบที่ได้นั้นมีค่าไม่แตกต่างกันและความหนาของถุงมือที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานของลูกค้าและถุงมือที่สามารถใช้ได้ทางการแพทย์

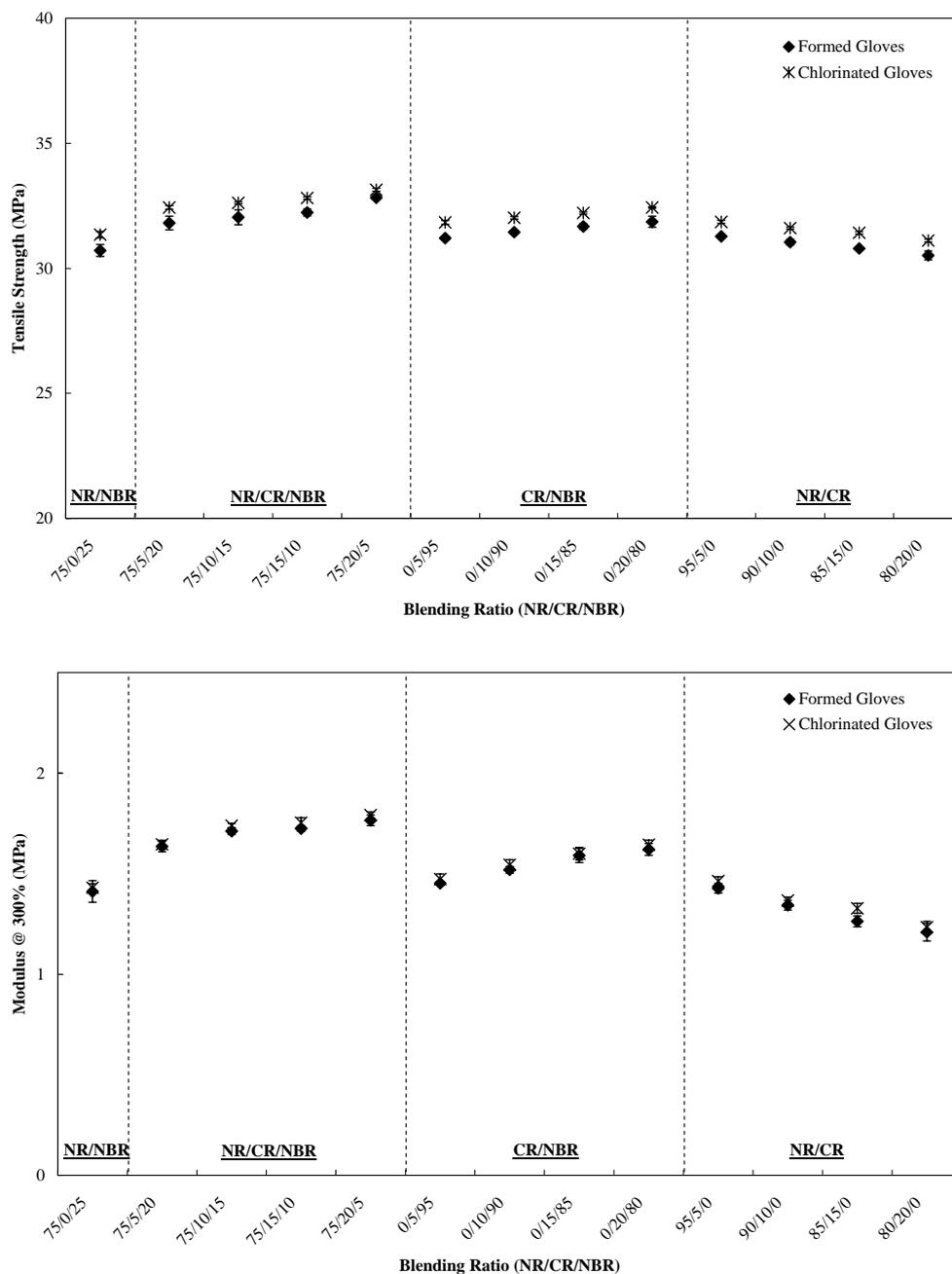
ตารางที่ 4.1 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกัน

ระบบยางผสม	อัตราส่วนผสม (NBR/CR/NBR)	ความหนาของถุงมือ (mm)		
		ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
		(0.17 – 0.21) *	(Min 0.20) *	(0.23 – 0.27) *
NR/NBR	75/0/25	0.18 ± 0.005	0.24 ± 0.005	0.26 ± 0.005
NR/CR/NBR	75/5/20	0.18 ± 0.004	0.24 ± 0.004	0.27 ± 0.008
	75/10/15	0.18 ± 0.006	0.24 ± 0.004	0.26 ± 0.005
	75/15/10	0.18 ± 0.006	0.24 ± 0.003	0.27 ± 0.005
	75/20/5	0.18 ± 0.006	0.24 ± 0.002	0.26 ± 0.005
CR/NBR	0/5/95	0.18 ± 0.004	0.23 ± 0.005	0.26 ± 0.004
	0/10/90	0.18 ± 0.003	0.23 ± 0.001	0.26 ± 0.003
	0/15/85	0.18 ± 0.004	0.23 ± 0.003	0.26 ± 0.005
	0/20/80	0.18 ± 0.004	0.23 ± 0.005	0.26 ± 0.005
NR/CR	95/5/0	0.18 ± 0.003	0.23 ± 0.005	0.26 ± 0.007
	90/10/0	0.18 ± 0.002	0.24 ± 0.002	0.27 ± 0.005
	85/15/0	0.18 ± 0.003	0.23 ± 0.004	0.25 ± 0.006
	80/20/0	0.18 ± 0.006	0.23 ± 0.005	0.26 ± 0.004

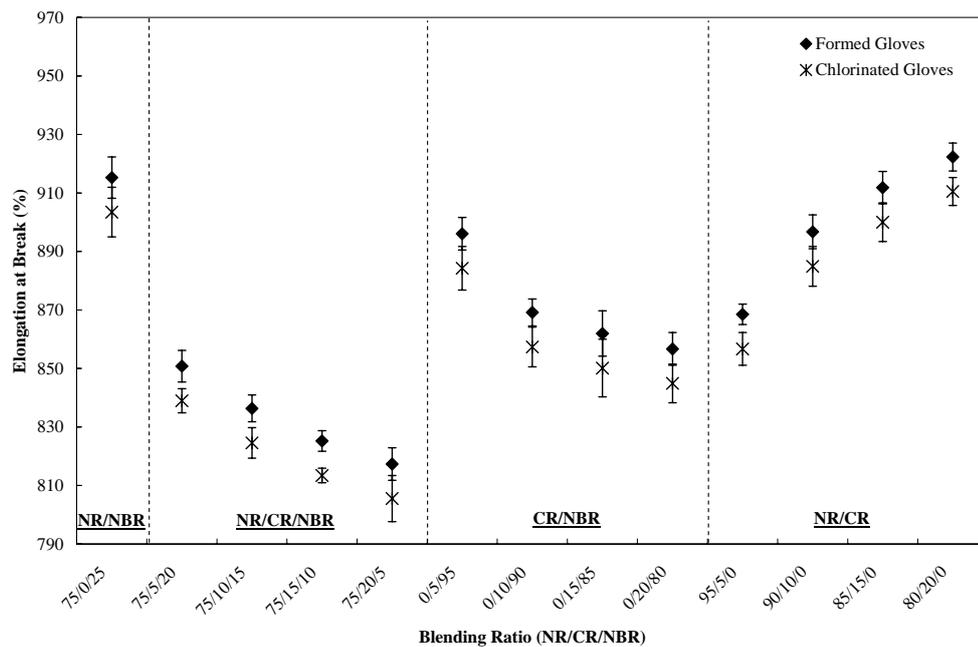
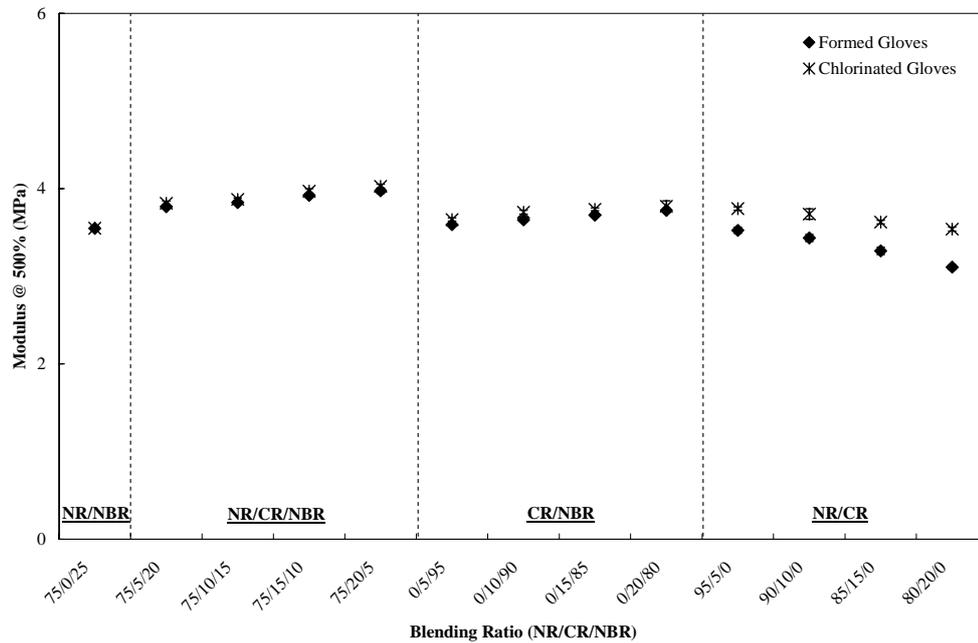
* มาตรฐานตามข้อตกลงกับลูกค้าของถุงมือ Protegrity SMT ของบริษัท Cardinal Health 222 (Thailand) Ltd.

4.1.2 สมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ

การวัดสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือซึ่งแสดงให้เห็นสมบัติของถุงมือที่ใช้ยางผสมของแต่ละระบบทั้งก่อนและหลังการล้างคลอรีน โดยจะนำชิ้นงานตัวอย่างตรงบริเวณฝ่ามือซึ่งเป็นบริเวณที่มีผิวเรียบที่สุดเป็นตัวแทนของชิ้นงานที่ได้ทั้งชิ้นงาน คุณสมบัติของถุงมือที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ใช้น้ำยางผสมที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.1 (ต่อ) สมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ใช้น้ำยางผสมที่แตกต่างกัน

จากผลการทดสอบสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือก่อนและหลังจากการล้างคลอรีน จะเห็นได้ว่า การเพิ่มปริมาณน้ำยางคลอโรพรีนในน้ำยางผสม NR/CR/NBR และ CR/NBR จะช่วยเพิ่มสมบัติในการทนต่อแรงดึงแต่ความสามารถในการดึงยืดลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากยางคลอโรพรีนที่อยู่ในระบบช่วยในการเข้ากันได้ของยางธรรมชาติและยางไนไตรล์ซึ่งยางคลอโรพรีนนี้ยังช่วยใน

การลดแรงดึงผิวของเฟสของยางทั้งสองอีกด้วย ยกเว้นในระบบที่เป็น NR/CR จะทำให้ความสามารถในการทนต่อแรงดึงลดลงแต่ความสามารถในการดึงยึดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบนํ้ายาลังจากการเคลือบด้วยนํ้ายาง NR/CR ทำให้ยางทั้งสองนี้เกิดการวัลคาไนซ์และอาจทำให้เหลือบริเวณสำหรับการเชื่อมโยงกับยางไนไตรล์ซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายทำให้ยางไนไตรล์ที่มาเคลือบทำปฏิกิริยากับชั้นกลางได้น้อยจึงเป็นเหตุผลทำให้ชั้นไนไตรล์ซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายสามารถยึดเกาะได้ไม่ดีและเกิดการลอกหลังจากผ่านกระบวนการคลอรีนชัน นอกจากนี้ ถุงมือหลังล้างคลอรีนยังมีสมบัติการทนต่อแรงดึงสูงกว่าถุงมือก่อนล้างคลอรีน ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากถุงมือหลังผ่านกระบวนการคลอรีนชันจะมีหมู่คีโตนเกิดขึ้นซึ่งจะสามารถทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขั้วตรงบริเวณหมู่คีโตน (ปฏิกิริยาแสดงในรูปที่ 4.10) จึงอาจมีผลทำให้สมบัติการทนต่อแรงดึงหลังจากกระบวนการคลอรีนชันนี้มีค่าเพิ่มมากขึ้นเล็กน้อย(Ho & Khew, 1999) ส่วนมากถุงมือที่ผ่านการล้างคลอรีนโดยปกติแล้วถ้าผ่านกระบวนการล้างคลอรีนที่มีความเข้มข้นคลอรีนสูงอาจจะทำให้ถุงมือเกิดการเสื่อมสภาพและสมบัติเชิงกลด้อยลงดังได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น

4.2 การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของถุงมือที่ใช้ intermediate nitrile blend ในอัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.1 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยการมองเห็นด้วยตาเปล่า

ถุงมือทั้งก่อนและหลังการทำคลอรีนชันถูกทำการวิเคราะห์คุณภาพของถุงมือที่ทำการเคลือบด้วยนํ้ายางไนไตรล์ซึ่งใช้นํ้ายางผสมเป็นชั้นกลางด้วยระบบที่แตกต่างกัน โดยจะทำการรายงานการลอกของชั้นเคลือบในบริเวณที่แตกต่างกัน ได้แก่ นิ้ว ง่ามนิ้ว ฝ่ามือ ข้อมือ และบริเวณใต้ขอบ (bead) ลักษณะของการลอกของชั้นไนไตรล์เราจะสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งเราจะสามารถสังเกตเห็นชั้นยางไนไตรล์เป็นขุย ๆ หรือลอกออกเป็นแผ่น

สำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพการยึดติดของยางไนไตรล์จะถูกทำโดยการดูด้วยตาเปล่าซึ่งเป็นการตรวจสอบในระดับการมองเห็นที่ใช้ในการตรวจสอบถุงมือในทางอุตสาหกรรมผลการตรวจสอบถุงมือที่ใช้ชั้นกลางเป็นนํ้ายางผสมด้วยระบบที่แตกต่างกันหลังจากผ่านกระบวนการล้างด้วยสารละลายคลอรีน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การลอกของถุงมือที่ใช้น้ำยาผสมชั้นกลางที่แตกต่างกันหลังจากผ่านกระบวนการล้างด้วยสารละลายคลอรีน

ระบบยาผสม	อัตราส่วนผสม (NR/CR/NBR)	บริเวณการลอกของถุงมือที่ตรวจพบ				
		นิ้ว	ง่ามนิ้ว	ฝ่ามือ	ข้อมือ	ขอบถุงมือ
NR/NBR	75/0/25	ไม่พบ	8/10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
NR/CR/NBR	75/5/20	ไม่พบ	2/10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	75/10/15	ไม่พบ	2/10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	75/15/10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	75/20/5	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
CR/NBR	0/5/95	ไม่พบ	2/10	ไม่พบ	ไม่พบ	8/10
	0/10/90	ไม่พบ	2/10	ไม่พบ	ไม่พบ	8/10
	0/15/85	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	8/10
	0/20/80	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ	8/10
NR/CR	95/5/0	ไม่พบ	10/10	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
	90/10/0	ไม่พบ	10/10	10/10	10/10	10/10
	85/15/0	ไม่พบ	10/10	10/10	10/10	10/10
	80/20/0	ไม่พบ	10/10	10/10	10/10	10/10

หมายเหตุ 1) ผลของตัวเลขที่แสดงในตารางได้มาจากการตรวจสอบชิ้นงานที่มีการลอกของยางไนไตรล์ต่อตัวอย่างที่สุ่มมาทั้งหมดเป็นจำนวน 10 ชิ้น

2) สำหรับการลอกบริเวณขอบของถุงมือเกิดเนื่องมาจากการกระแทกของระดับน้ำยาผสมต่ำกว่าชั้นเคลือบจึงทำให้เห็นการลอก ซึ่งในกรณีนี้เราจะไม่นำมาพิจารณาในการวิจัย

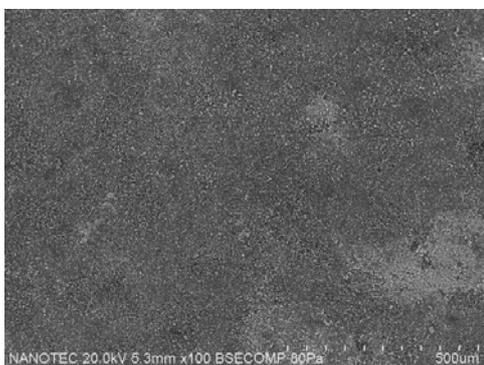
จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าถุงมือที่ใช้ชั้นกลางเป็นน้ำยาผสมในทุกระบบก่อนนำไปผ่านกระบวนการล้างคลอรีน ไม่พบการลอกของชั้นยางไนไตรล์บนถุงมือ แต่พบว่าถุงมือที่ได้หลังจากการล้างคลอรีนมีการลอกของชั้นไนไตรล์ในถุงมือที่ใช้ชั้นกลางเป็นน้ำยาผสมของบางระบบ สำหรับถุงมือที่เป็นระบบการผสม NR/NBR พบว่ามีการลอกบริเวณง่ามนิ้วและบริเวณฝ่ามือเพียงเล็กน้อย สำหรับถุงมือที่ใช้ชั้นกลางเป็นน้ำยาผสมที่เป็นระบบการผสม NR/CR/NBR และ CR/NBR พบว่ามีการลอกเช่นเดียวกันแต่เมื่อปริมาณการผสมของน้ำยากลอรีนมากกว่า 15% ของน้ำหนักยางแห้ง ขึ้นไป ไม่พบการลอกของไนไตรล์บนถุงมือ การลอกของถุงมือที่เกิดตรงบริเวณง่ามนิ้ว สามารถอธิบายได้ว่าอาจจะเกิดเนื่องมาจากปริมาณการเคลือบของน้ำยาชั้นที่สองที่

เคลือบนั้นมีปริมาณน้อยเพราะว่าตรงจุดนี้จะเป็นบริเวณที่การเคลือบเกิดไม่ค่อยดีเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณอื่น ๆ ซึ่งเป็นเหตุทำให้ยางไนไตรล์ซึ่งเป็นชั้นสุดท้ายของการยึดติดกันไม่ค่อยดีจึงทำให้เกิดการลอกได้ง่ายเมื่อถูมือไปผ่านกระบวนการล้างคลอรีน ส่วนในระบบ CR/NBR จะมีการลอกของถูมือบริเวณใต้ขอบ ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการทดลองได้ทำการทดลองกับกระบวนการผลิตจริงซึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับของการเคลือบของชั้นที่สองซึ่งจะต้องสูงกว่าชั้นที่สาม สำหรับกรณีนี้เกิดขึ้นเนื่องจากระดับของชั้นที่สามในถังอาจจะเกิดการกระเพื่อมซึ่งทำให้น้ำยางในชั้นสุดท้ายสูงกว่าระดับของน้ำยางในชั้นที่สองซึ่งเกิดการเคลือบที่ไม่ดีทำให้เกิดการลอกเมื่อผ่านกระบวนการล้างคลอรีน สำหรับระบบผสม NR/CR พบว่ามีการลอกอย่างเห็นได้ชัดซึ่งสามารถพบได้ทั่วทั้งบริเวณของถูมือและเมื่อปริมาณของยาง CR เพิ่มมากขึ้นเราจะเห็นการลอกของยางไนไตรล์มากขึ้นด้วย ทั้งนี้ เนื่องมาจากยางของชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองเกิดการทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกันได้ดีและทำให้ผิวของชั้นที่สองมีบริเวณที่จะเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงได้น้อย จึงเป็นผลทำให้เกิดการลอกออกของชั้นไนไตรล์หลังจากผ่านกระบวนการล้างคลอรีน

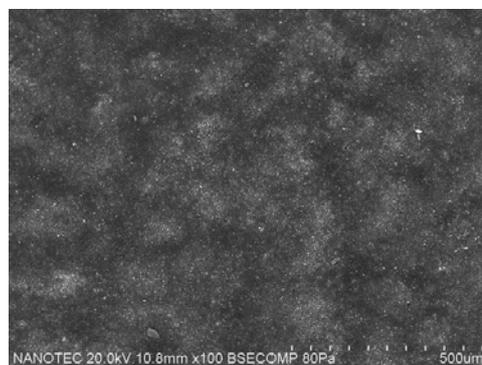
จากผลการทดลองที่ได้ แสดงให้เห็นว่าในระบบการเคลือบด้วยยางไนไตรล์ของถูมือขึ้นอยู่กับสถานะและชนิดของระบบของฟิล์มชั้นกลางโดยเฉพาะอุณหภูมิในการอบฟิล์มชั้นแรก ถ้ามากเกินไปจะทำให้ยางในชั้นแรกเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมากเกินไปที่ผิวซึ่งอาจเป็นผลทำให้ชั้นที่มาเคลือบไม่สามารถทำปฏิกิริยาได้ดี ดังนั้น เมื่อถูมือไปผ่านการล้างคลอรีนอาจจะทำให้เกิดการลอกได้ง่าย

4.2.2 การวิเคราะห์พื้นผิวของถุงมือโดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

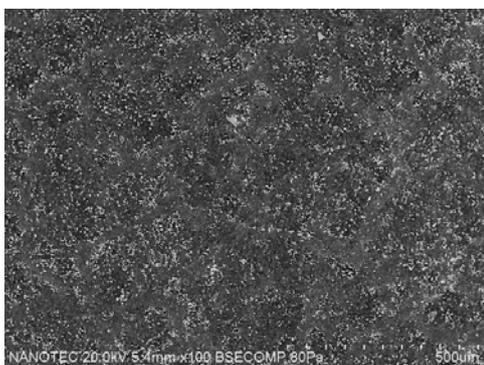
ลักษณะพื้นผิวของยางไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบที่ได้จากเครื่อง SEM ของถุงมือที่ใช้ในการผลิตปัจจุบัน ดังรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า พื้นผิวของด้านยางธรรมชาติจะมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตลดลงเล็กน้อยและไม่เกิดการแตกของพื้นผิวหลังจากถุงมือผ่านกระบวนการล้างคลอรีน ส่วนผิวด้านยางไนไตรล์ซึ่งเป็นสารเคลือบ จะพบว่าแคลเซียมที่ใช้เคลือบในกระบวนการจุ่มเพื่อป้องกันการติดกันของถุงมือถูกกำจัดออกหลังจากกระบวนการล้างด้วยคลอรีน นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้อีกว่าผิวด้านยางไนไตรล์มีรอยแตกร้าวซึ่งสามารถพบเห็นได้ทั่วบริเวณพื้นผิวของถุงมือ



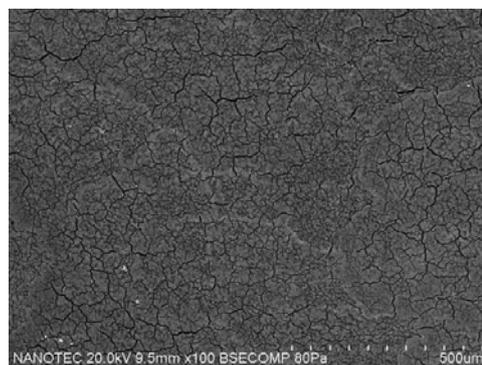
(1)



(2)



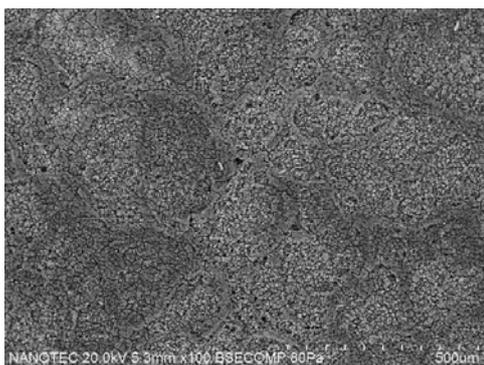
(3)



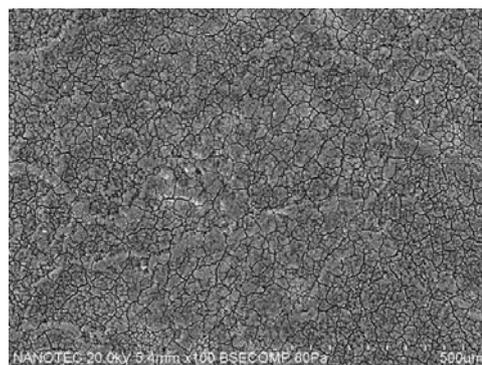
(4)

รูปที่ 4.2 พื้นผิวถุงมือก่อนและหลังการล้างคลอรีนทั้งด้านในและด้านนอก (1) พื้นผิวของยางธรรมชาติก่อนล้างคลอรีน (2) พื้นผิวของยางธรรมชาติหลังล้างคลอรีน (3) พื้นผิวของยางไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบก่อนล้างคลอรีนโดยใช้น้ำยาล้างชั้นกลาง NR/NBR 75:25 โดยน้ำหนัก (4) พื้นผิวของยางไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบหลังล้างคลอรีน NR/NBR 75:25 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 เท่า

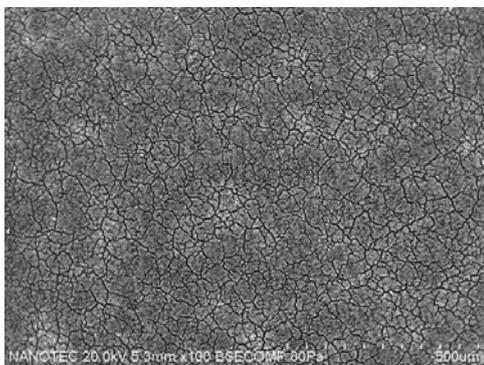
รูปที่ 4.3 แสดงพื้นผิวของยางไนไตรล์ที่ใช้ชั้นกลางเป็นยางผสม NR/CR/NBR โดยใช้ปริมาณของยาง CR ที่แตกต่างกัน จากรูปเห็นได้ว่า พื้นผิวที่มีรอยแตกร้าวและเป็นร่องลึกยังคงสามารถพบเห็นได้ทั่วบริเวณของถุงมือ แต่จะลดน้อยลงเมื่อเพิ่มปริมาณของยาง CR ในยางผสมชั้นกลาง



(1)



(2)



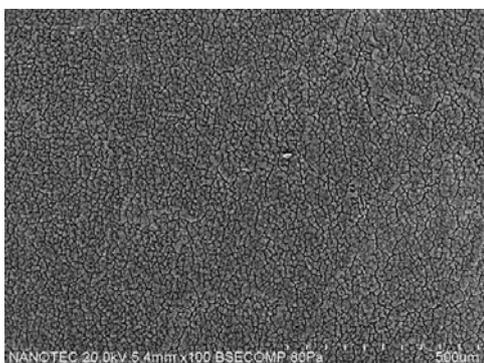
(3)



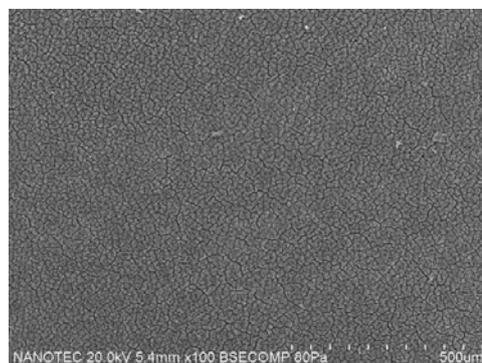
(4)

รูปที่ 4.3 พื้นผิวถุงมื่อด้านในที่เกิดรอยร้าวด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR/NBR เป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน (1) NR/CR/NBR 75:5:20 โดยน้ำหนัก (2) NR/CR/NBR 75:10:15 โดยน้ำหนัก (3) NR/CR/NBR 75:15:10 โดยน้ำหนัก (4) NR/CR/NBR 75:20:5 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 เท่า

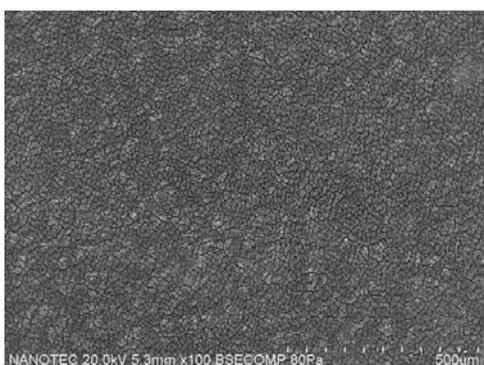
จากรูปที่ 4.4 แสดงพื้นผิวของยางไนไตรล์ที่ใช้ชั้นกลางเป็นยางผสม CR/NBR โดยใช้ปริมาณของยาง CR ที่แตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า พื้นผิวที่มีรอยแตกร้าวยังคงสามารถเห็นได้ แต่พื้นผิวที่ได้นี้จะแตกต่างจากที่ได้ในการเคลือบยางไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางที่เป็นน้ำยางผสม NR/CR/NBR ซึ่งลักษณะของผิวที่ได้มีการแตกของพื้นผิวแต่จะละเอียดและมีความสม่ำเสมอของการแตก นอกจากนี้ ความลึกของร่องที่เกิดการแตกไม่ลึกมากนักเมื่อเทียบกับพื้นผิวที่ได้จากการเคลือบยางไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางที่เป็นยางผสม NR/CR/NBR ซึ่งลักษณะพื้นผิวจะถูกปรับปรุงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของยาง CR ในยางผสมชั้นกลาง



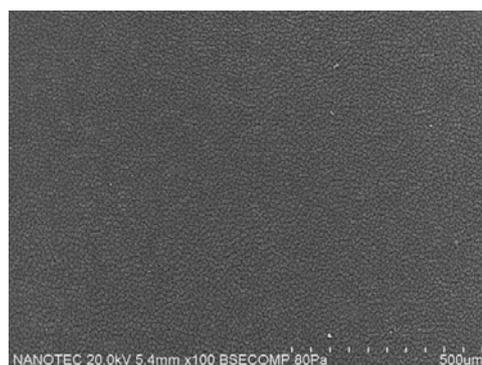
(1)



(2)

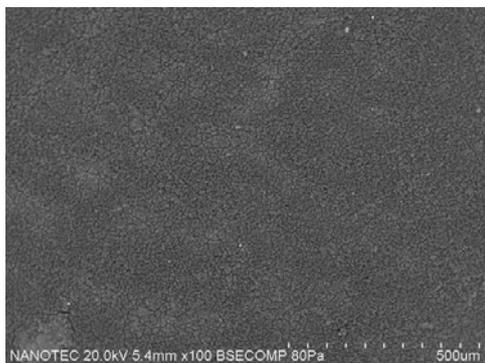


(3)

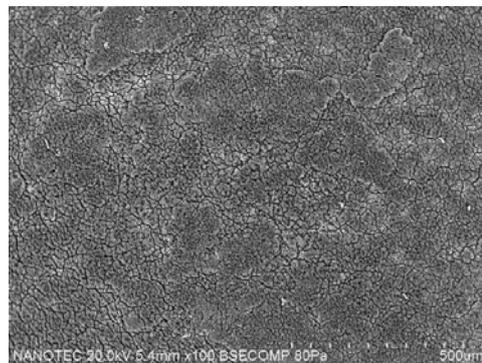


(4)

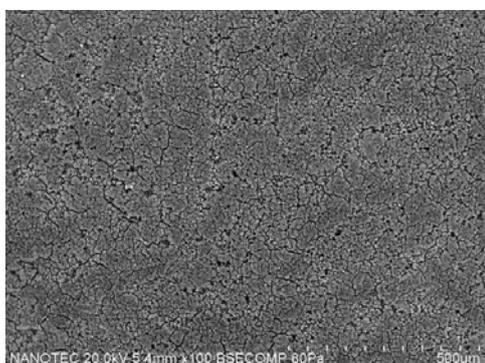
รูปที่ 4.4 พื้นผิวถุงมือด้านในที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยางผสม CR/NBR เป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน (1) CR/NBR 5:95 โดยน้ำหนัก (2) CR/NBR 10:90 โดยน้ำหนัก (3) CR/NBR 15:85 โดยน้ำหนัก (4) CR/NBR 20:80 โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 100 เท่า



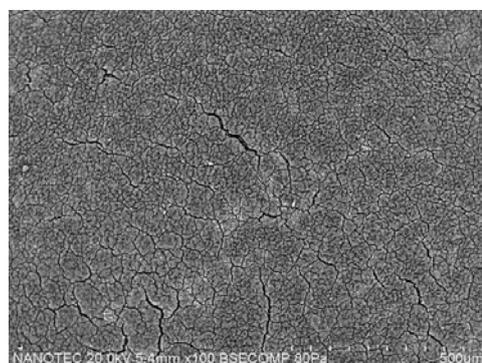
(1)



(2)



(3)



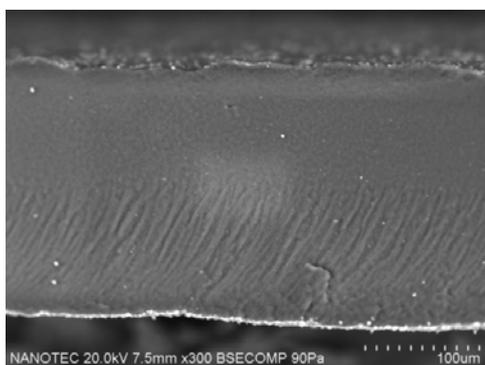
(4)

รูปที่ 4.5 พื้นผิวของมอด้านในที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้ยางผสม NR/CR เป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากล้างคลอรีนด้วยอัตราส่วน (1) NR/CR 95:5 โดยน้ำหนัก (2) NR/CR 90:10 โดยน้ำหนั (3) NR/CR 85:15 โดยน้ำหนั (4) NR/CR 80:20 โดยน้ำหนั ที่กำลังขยาย 100 เท่า

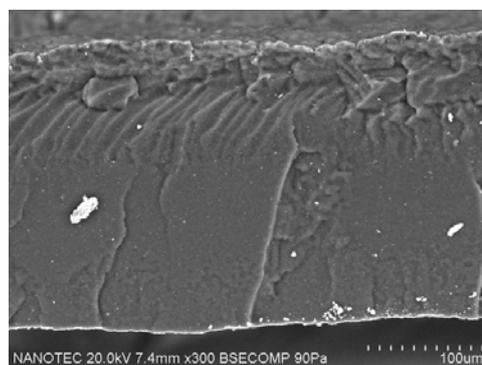
จากรูปที่ 4.5 แสดงพื้นผิวของยางไนไตรล์ที่ใช้ชั้นกลางเป็นยางผสม NR/CR โดยใช้ปริมาณของยาง CR ที่แตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า พื้นผิวที่มีรอยแตกกว้างและเป็นร่องลึกซึ่งขนาดของรอยแตกจะมีขนาดใหญ่สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจนแต่พื้นผิวที่ได้นี้จะแตกต่างจากที่ได้ในการเคลือบยางไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางที่เป็นยางผสม NR/CR/NBR และ CR/NBR ซึ่งลักษณะของผิวที่ได้มีการแตกของพื้นผิวและบางบริเวณพบว่าการหลุดออกของยางไนไตรล์ พื้นผิวที่ได้จากการเคลือบยางไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางที่เป็นยางผสม NR/CR จะเกิดการลอกออกของผิวและมีการแตกเป็นร่องลึกเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของยาง CR ในยางผสมชั้นกลาง ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่อเพิ่มปริมาณยาง CR ซึ่งยางนี้จะมีการทำ pre-vulcanization ยางผสมที่ใช้เป็นชั้นกลางซึ่งจะทำปฏิกิริยา

กับยางธรรมชาติชั้นแรกได้รวดเร็วเมื่อฟิล์มยางผ่านการอบและการ leaching ทำให้การเคลือบของชั้นยางไนไตรล์สามารถแทรกซึมเข้ามาทำปฏิกิริยาและยึดติดกับชั้นกลางได้ดี แต่ในการเคลือบโดยใช้ยางผสมที่เป็นชั้นกลางด้วยอัตราส่วน NR/CR 95:5 โดยน้ำหนัก มีผิวของการเคลือบดีเมื่อเปรียบเทียบกับมือปัจจุบัน

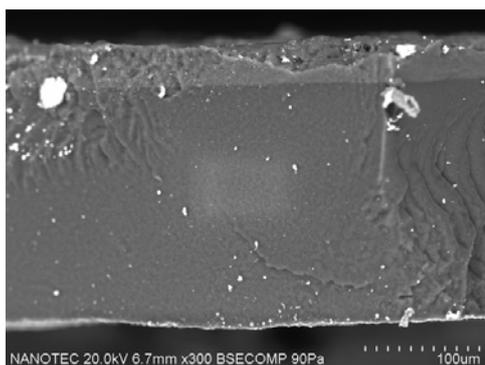
ในรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นภาคตัดขวางของการเคลือบยางไนไตรล์ลงบนถุงมือโดยมีการใช้ยางผสมที่เป็นชั้นกลางซึ่งมีระบบการผสมที่แตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่าความสม่ำเสมอในการเคลือบของยางไนไตรล์ของระบบยาง CR/NBR และ NR/CR มีการเคลือบที่สม่ำเสมอตลอดแนวซึ่งมีความแตกต่างจากระบบอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม สถานะที่ใช้ในการเคลือบของอาจจะต้องการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับระบบยางผสมที่ใช้ในการเคลือบไนไตรล์ ซึ่งต้องนำมาพิจารณาด้วย



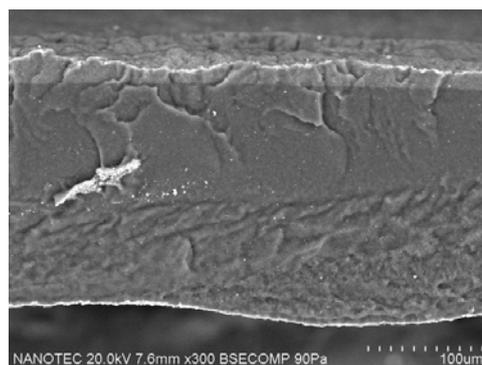
(1a) ก่อนล้างคลอรีน



(1b) หลังล้างคลอรีน

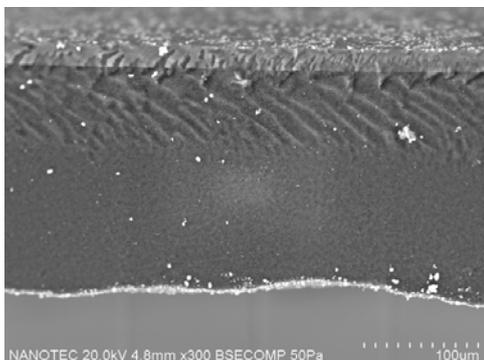


(2a) ก่อนล้างคลอรีน

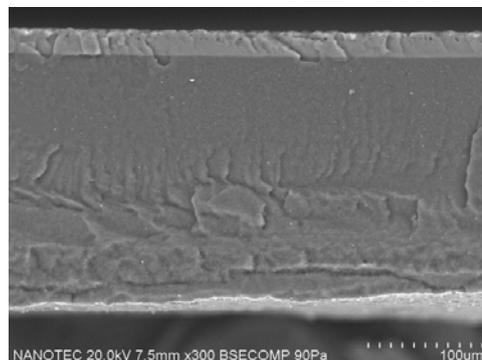


(2b) หลังล้างคลอรีน

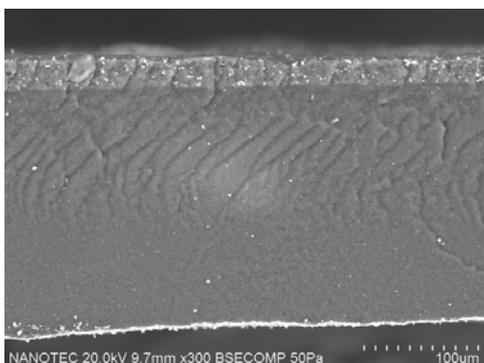
รูปที่ 4.6 ภาคตัดขวางของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (ชั้นด้านบนของรูป) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกันเป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์ก่อนและหลังจากผ่านการล้างคลอรีน (1) ระบบยางผสม NR/NBR 75:25 (2) ระบบยางผสม NR/CR/NBR 75:20:5 (3) ระบบยางผสม CR/NBR 20:80 (4) ระบบยางผสม NR/CR 80:20 ที่กำลังขยาย 300 เท่า



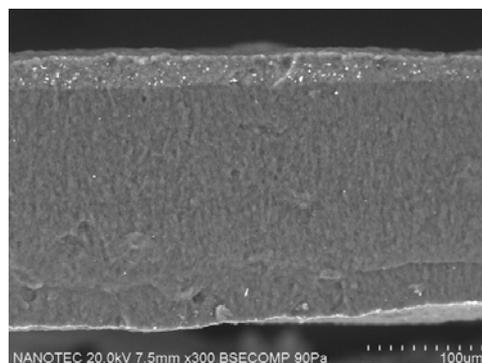
(3a) ก่อนล้างคลอรีน



(3b) หลังล้างคลอรีน



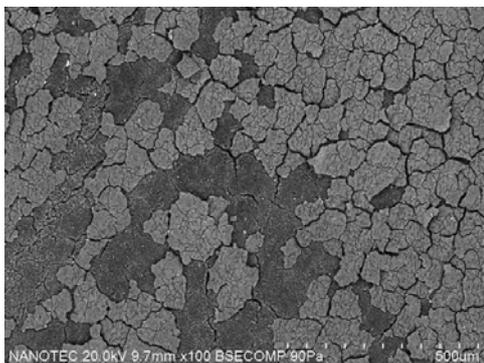
(4a) ก่อนล้างคลอรีน



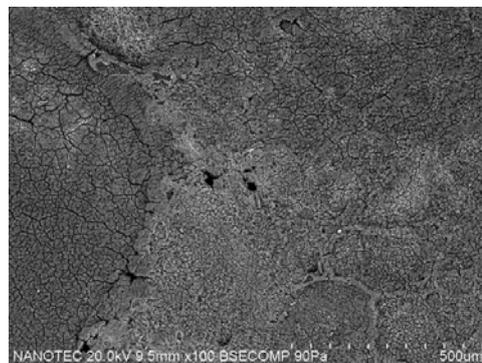
(4b) หลังล้างคลอรีน

รูปที่ 4.6 (ต่อ) ภาคตัดขวางของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (ชั้นด้านบนของรูป) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกันเป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์ก่อนและหลังจากผ่านการล้างคลอรีน (1) ระบบยางผสม NR/NBR 75:25 (2) ระบบยางผสม NR/CR/NBR 75:20:5 (3) ระบบยางผสม CR/NBR 20:80 (4) ระบบยางผสม NR/CR 80:20 ที่กำลังขยาย 300 เท่า

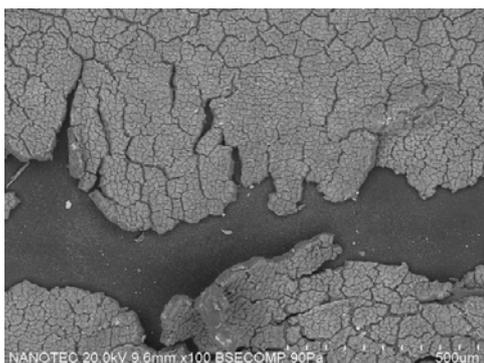
จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าส่วนมากจะเป็นการลอกซึ่งมาจากชั้นไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในรูปที่ 4.8 เป็นการแสดงให้เห็นถึงภาคตัดขวางของบริเวณถุงมือที่เกิดการลอก



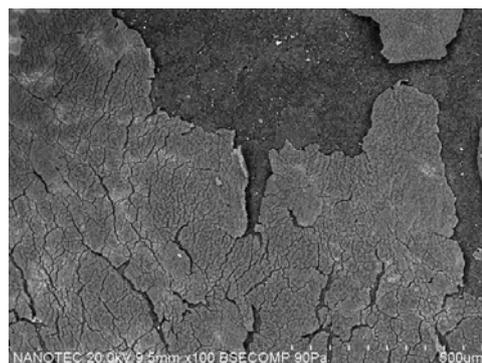
(1)



(2)



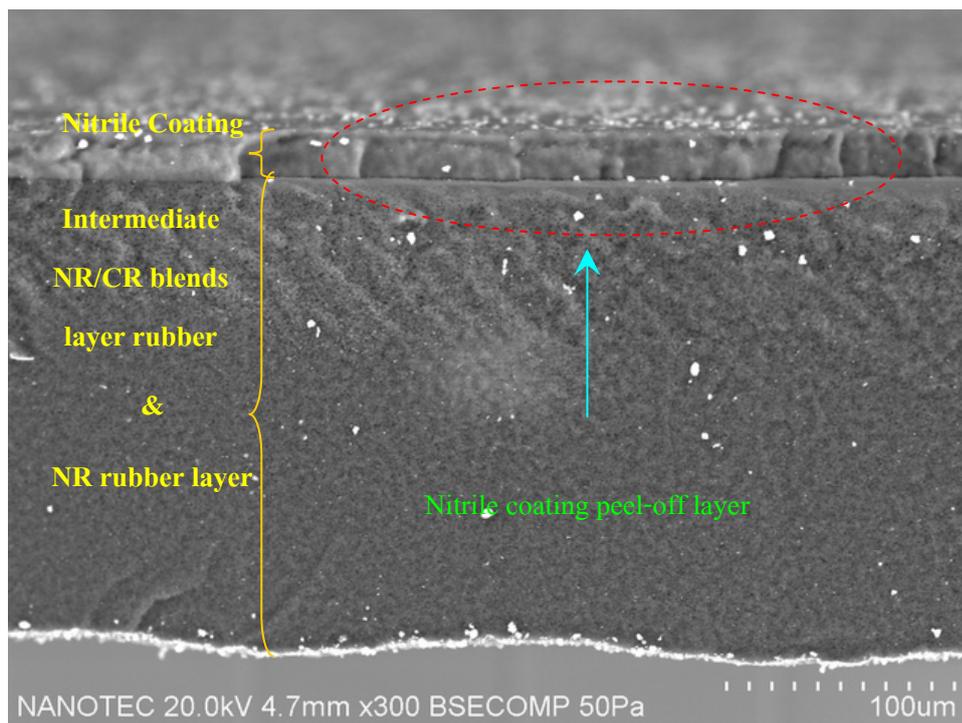
(3)



(4)

รูปที่ 4.7 พื้นที่การลอกของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (สีเทาสว่าง) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วยระบบยางผสมที่แตกต่างกันเป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์หลังจากผ่านการล้างคลอรีน (1) ระบบยางผสม NR/NBR 75:25 (2) ระบบยางผสม NR/CR/NBR 75:20:5 (3) ระบบยางผสม CR/NBR 20:80 (4) ระบบยางผสม NR/CR 80:20 ที่กำลังขยาย 100 เท่า

นอกจากนี้เรายังพบอีกว่าการลอกของชั้นไนไตรล์ที่เกิดขึ้นเป็นการลอกที่เกิดมาจากการยึดติดกันของชั้นกลางและชั้นของยางไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบไม่ดีพอ (ดังรูปที่ 4.8) ดังนั้น เมื่อนำถุงมือไปผ่านกระบวนการล้างด้วยคลอรีนจะทำให้ผิวด้านนอกทำปฏิกิริยากับคลอรีนและเมื่อถึงขั้นตอนการอบแห้งจะทำให้พื้นผิวด้านนอกเกิดการแตกออกได้ง่าย



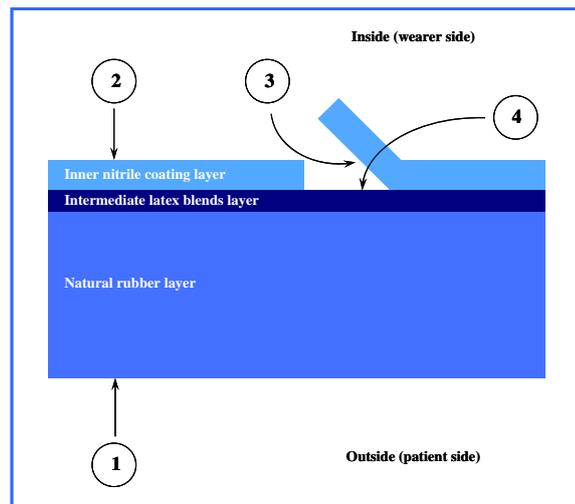
รูปที่ 4.8 ภาคตัดขวางบริเวณที่มีการลอกของพื้นผิวยางไนไตรล์ (ด้านบนของรูป) ซึ่งเป็นของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ที่ใช้น้ำยผสม NR/CR เป็นตัวช่วยในการยึดติดของยางไนไตรล์ หลังจากผ่านการล้างคลอรีน ที่กำลังขยาย 300 เท่า

4.2.3 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวบริเวณที่เกิดการลอกของชั้นเคลือบของยางไนไตรล์

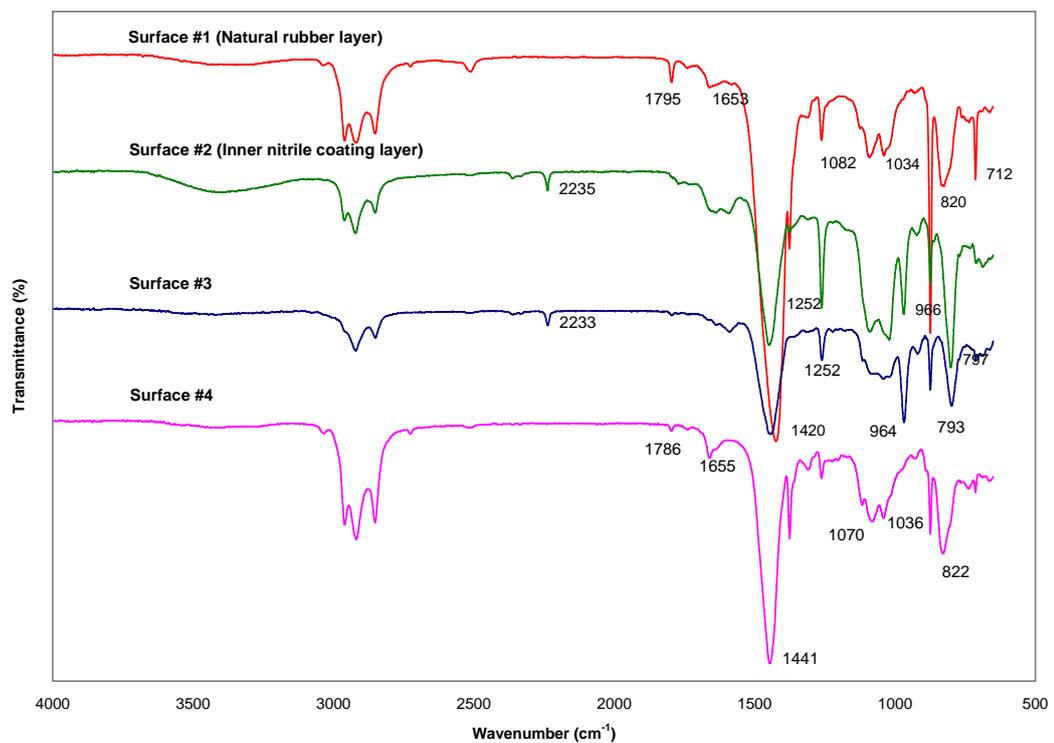
หลังจากผ่านกระบวนการคลอรีนชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR

พื้นผิวที่เกิดการลอกจะถูกนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค ATR-FTIR ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่อยู่บนพื้นผิวนั้น ๆ จากการศึกษาของ (Ho & Khew, 1999 และ Sen et. al, 2002) Romberg เกี่ยวกับหมู่ฟังก์ชันของยางธรรมชาติหลังผ่านกระบวนการคลอรีนชัน พบว่าสเปกตรัมของหน่วยไอโซพรีนที่อยู่ในยางธรรมชาติจะแสดงพีคของสเปกตรัมที่ 1260 cm^{-1} (H-rock on H—C—Cl), 915 cm^{-1} (Cl-stretch on Cl—C—C), และ 800 cm^{-1} (Cl-stretch on Cl—C—H) Extrand และ Gent ได้มีการรายงานว่าสเปกตรัมที่ได้จาก chlorinated materials ก่อนข้างจับซ้อนและก่อนข้างจะแตกต่างจาก nonchlorinated materials อย่างไรก็ตาม สเปกตรัมที่สามารถแสดงให้เห็นถึงวัสดุที่ผ่านการทำคลอรีนชัน โดยจะแสดงพีคที่ 1410 , 1260 , 750 และ 660 cm^{-1} Extrand และ Gent ได้ให้พีคที่สำคัญของ chlorinated natural rubber ได้แก่ พีคที่ 1410 cm^{-1} เป็นอิทธิพลของหมู่ Cl ที่อยู่ side chain ของ CH_2 bend (หมู่ฟังก์ชันของ $\text{CH}_2\text{—Cl}$) พีคที่ 1260 cm^{-1} เป็นอิทธิพลของหมู่ Cl ที่ติดอยู่กับ allylic C—H bend (หมู่ฟังก์ชันของ =C—C—H) และพีคที่ 915 , 718 cm^{-1} เป็น olefinic C—Cl stretch (หมู่ฟังก์ชันของ =C—Cl)

จากรูปที่ 4.9 แสดงสเปกตรัมของ ATR-FTIR ของพื้นผิวของฟิล์มถุงมือในแต่ละชั้น โดยมีน้ำยางผสม NR/CR เป็นชั้นกลาง สเปกตรัมของพื้นผิวที่ 1 เป็นพื้นผิวของยางธรรมชาติที่ผ่านการทำคลอรีนชันซึ่งลักษณะของสเปกตรัมที่ได้คล้ายกับที่ได้ในพื้นผิวที่ 4 ซึ่งพื้นผิวนี้นี้เป็นการผสมระหว่างยาง NR กับ CR ในอัตราส่วน 85:15 โดยน้ำหนัก พื้นผิวที่ 2 และ 3 ซึ่งเป็นพื้นผิวของชั้นไนไตรล์ด้านนอกที่เป็นสารเคลือบและผิวด้านในที่เกิดการลอกออก ตามลำดับ ลักษณะของพีคที่แสดงให้เห็นว่าเป็นชั้นเดียวกันคือ พีคที่ประมาณ 2235 cm^{-1} ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของการยึดของหมู่ $\text{—C}\equiv\text{N}$ ซึ่งเป็นแบนด์ที่สำคัญของยางไนไตรล์ จากลักษณะของสเปกตรัมที่แสดงในรูป 4.9 สามารถแสดงให้เห็นว่าการลอกออกของพื้นผิวเป็นการลอกออกของชั้นไนไตรล์ที่เคลือบในชั้นสุดท้าย



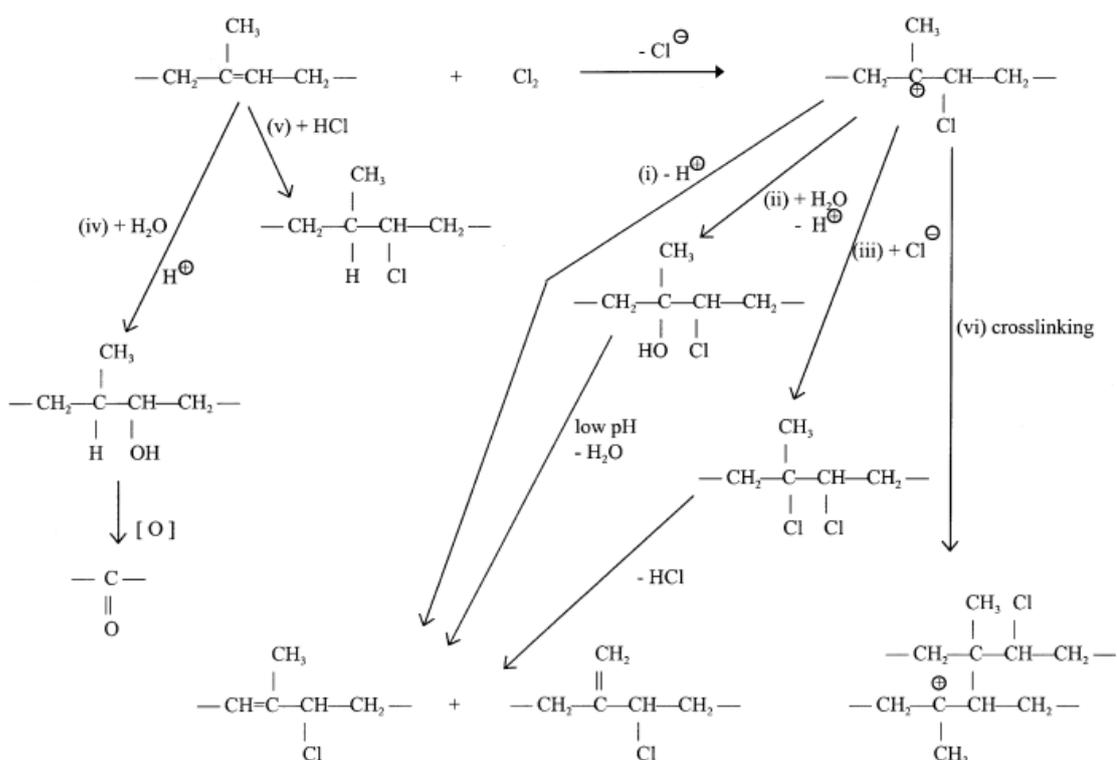
(a)



(b)

รูปที่ 4.9 (a) ภาพจำลองการลอกออกของชั้นยางไนไตรล์ที่เคลือบบนถุงมือหลังจากผ่านกระบวนการทำคลอรีนชันซึ่งมีน้ำยางผสม NR/CR อยู่ชั้นกลางทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการยึดติด (1) พื้นผิวของยางธรรมชาติ, ด้านสัมผัสกับคนไข้ (2) พื้นผิวของชั้นเคลือบยางไนไตรล์, ด้านสัมผัสกับผู้สวมใส่ (3) ผิวด้านในของชั้นเคลือบของยางไนไตรล์ที่เกิดการลอก (4) พื้นผิวของชั้นยางที่ติดกับชั้นของน้ำยางผสม, (b) ATR-FTIR สเปกตรัมของพื้นผิวของฟิล์มถุงมือในแต่ละชั้น โดยมีน้ำยางผสม NR/CR เป็นชั้นกลาง

ในกระบวนการล้างด้วยสารละลายคลอรีน โมเลกุลของคลอรีนจะเข้าทำปฏิกิริยากับ โมเลกุลของยางธรรมชาติผ่านกลไกไอออนิก (ionic mechanism) แล้วเกิดเป็นคาร์โบเนียมไอออน (carbonium ion) ในตอนเริ่มต้น จากนั้น คาร์โบเนียมไอออนสามารถที่จะเกิดปฏิกิริยาต่อได้อีกหลายปฏิกิริยา โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างจะซับซ้อนซึ่งสามารถแยกออกเป็นหมวดหมู่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10



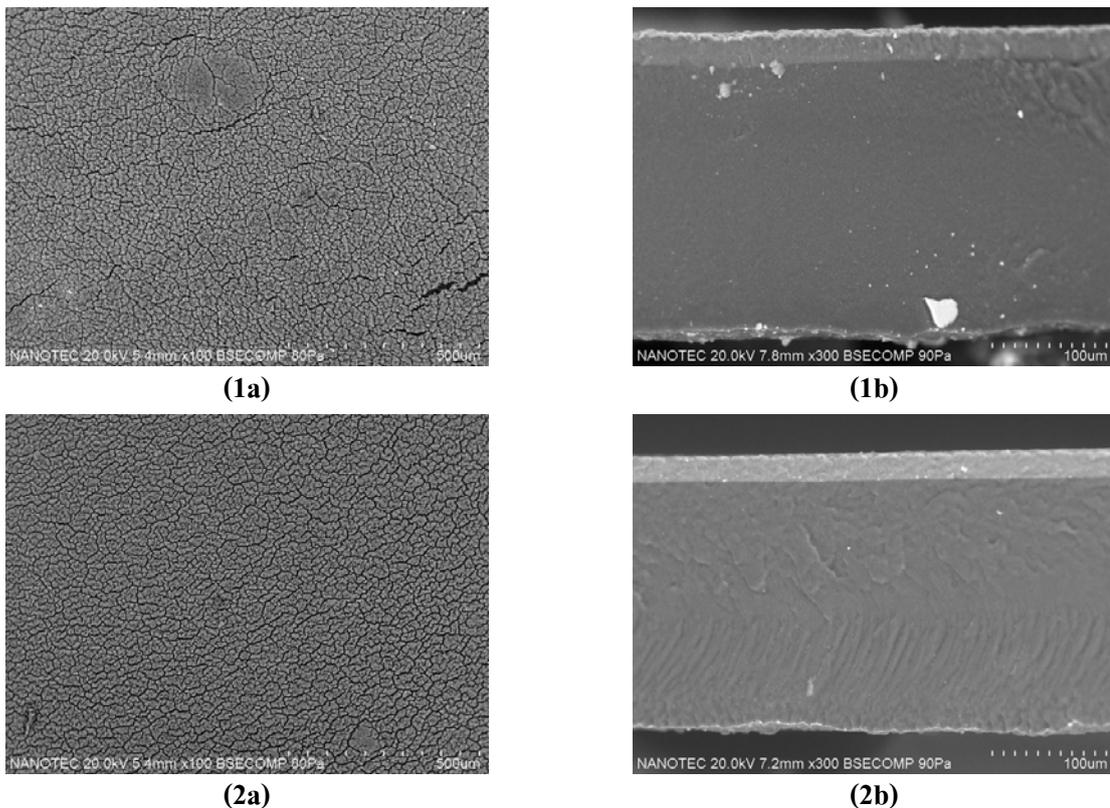
รูปที่ 4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการคลอรีนชัน

(Ho & Khew, 1999)

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.10 จะสังเกตเห็นได้ว่าเกิดหมู่ฟังก์ชันของคีโตนขึ้น ซึ่งเราจะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับสเปกตรัมของ ATR-FTIR (ในรูปที่ 4.9) พีคที่ 1790 cm^{-1} เป็นการยืดของหมู่ $-\text{C}=\text{O}$ และการยืดของหมู่ $-\text{C}-\text{C}$ ของคีโตนจะปรากฏพีคที่ 1655 cm^{-1} ด้วยเหตุนี้เอง เราจะสังเกตเป็นได้ว่าสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ผ่านกระบวนการคลอรีนชันมีค่าที่สูงขึ้นเล็กน้อย เหตุผลเนื่องมาจากเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างขั้ว (dipole - dipole interaction) ตรงบริเวณ หมู่ของคีโตน

4.3 ข้อค้นพบใหม่ระหว่างการดำเนินงานวิจัยที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์หรือพัฒนาต่อได้

ในงานวิจัยนี้ได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติมโดยนำถุงมือยางที่ใช้สารเคลือบเป็นยางผสมระหว่างยางพอลิคลอโรพรีนกับยางไนไตรล์ในอัตราส่วน CR/NBR 20:80 ซึ่งยาง NBR ที่ใช้ได้มีการใช้น้ำยางไนไตรล์ทั้งใส่และไม่ใส่สารที่ทำให้แข็งรูป (curatives) ซึ่งผลการทดลองที่ได้ พื้นผิวของการเคลือบมีลักษณะคล้าย ๆ กับการทำถุงมือแบบมีชั้นกลางในการช่วยการยึดติดดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 พื้นผิวและภาคตัดขวางของถุงมือที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์ (สีเทาสว่าง) ซึ่งใช้ชั้นกลางด้วยระบบยางผสม CR/NBR 20:80 เป็นสารเคลือบบนถุงมือหลังจากผ่านการล้างคลอรีน (1) ระบบยางผสม CR/NBR 20:80 (2) ระบบยางผสม CR/NBR (curatives) 20:80 ที่กำลังขยาย 100 เท่า สำหรับดูพื้นผิวยางไนไตรล์ และที่กำลังขยาย 300 เท่า สำหรับดูภาคตัดขวาง ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าพื้นผิวการเคลือบด้วยยางผสม CR/NBR (curatives) มีลักษณะพื้นผิวการเคลือบที่ดีกว่าและสม่ำเสมอด้วย ดังนั้นจากผลที่ได้นี้เราสามารถทำถุงมือที่เคลือบชนิดสองชั้นได้ ซึ่งจะเป็นการประหยัดต้นทุนในการผลิตและวัตถุดิบของน้ำยางที่ใช้ซึ่งอาจเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำถุงมือไร้แป้งชนิดใช้ยางไนไตรล์เป็นสารเคลือบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองที่ได้ ผลของความหนาและสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ได้เป็นไปตามมาตรฐานของถุงมือที่ใช้ในทางการแพทย์ ผลการทดลองของการเคลือบไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางซึ่งเป็นยางผสมในแต่ละระบบ แสดงให้เห็นว่า ถุงมือยางที่เคลือบด้วยยางไนไตรล์โดยใช้ชั้นกลางเป็นยางผสมที่เป็นระบบ CR/NBR ให้ประสิทธิภาพในการเคลือบของยางไนไตรล์ได้ดีที่สุด และประสิทธิภาพจะดีมากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณยางคลอโรพรีนในชั้นกลางจนถึง 20 % โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนการเคลือบโดยใช้ยางผสมระบบ NR/CR/NBR ก็ให้ผลที่ดีกว่าระบบ NR/NBR แต่ยังพบบริเวณที่เกิดการแตกของชั้นยางไนไตรล์ที่เป็นสารเคลือบ อย่างไรก็ตาม ถ้าเราพิจารณาพื้นผิวโดยดูจากการดูด้วยสายตาเราจะไม่สามารถแยกออกถึงประสิทธิภาพของการเคลือบระหว่างถุงมือที่ใช้ชั้นกลางเป็นยางผสมระบบ NR/NBR และ CR/NBR แต่เมื่อดูด้วยกล้องที่มีกำลังขยายสูงเราจะสามารถเห็นได้ถึงลักษณะของพื้นผิวการเคลือบซึ่งยางในระบบ CR/NBR ให้ผลที่ดีที่สุดและประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นถ้าปริมาณยางคลอโรพรีนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากยางคลอโรพรีนทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานในระบบยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางไนไตรล์ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ปริมาณยางคลอโรพรีนอยู่ระหว่าง 5 – 20 % โดยน้ำหนักแห้ง ทั้งนี้ ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตถุงมือขึ้นอยู่กับราคาและต้นทุนในการผลิตถุงมือของผู้ผลิต

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทดลองนี้ทำการเตรียมน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลางโดยการปรับปรุงสูตรจากน้ำยางไนไตรล์ผสมของเดิมที่มีอยู่ แต่ในงานวิจัยนี้ได้มีการผสมน้ำยางคลอโรพรีนเข้าไปในระบบยางผสมด้วยซึ่งตัวช่วยเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ที่ใช้นี้อาจจะยังไม่เหมาะสมกับระบบยางผสมของ CR/NBR นอกจากนี้ความเสถียรของน้ำยางผสมใหม่ที่ได้นั้นเมื่อนำไปใช้ในขบวนการผลิตจริงอาจจะมีการใช้งานที่ยาวกว่าหรือสั้นกว่าก็ได้ จากเหตุผลที่กล่าวมาในข้างต้นนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะและเป็นแนวทางในการศึกษาต่อดังนี้

- ทำการศึกษาหาตัวช่วยเพิ่มความเสถียรในระบบยางผสม CR/NBR เพื่อให้ได้น้ำยางผสมที่มีสมบัติที่สุดและเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน
- ทำการศึกษาอายุการใช้งานของน้ำยางผสมที่ได้เพราะในอุตสาหกรรมการผลิตจริงนั้น น้ำยางที่ใช้จะถูกทำให้เสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากความร้อนและสารเคมีที่ใช้อยู่ในกระบวนการจุ่ม

บรรณานุกรม

- Ansell CW, Medcalf N, Williams PW, inventors; Smith & Nephew Associated Companies plc, assignee. “Gloves” **US Patent 5 088 125**; February 18, 1992. **US Patent 5 272 771**; December 28, 1993.
- Amir-Hashim, MY., Effect of leaching on extractable protein content. Latex proteins and glove industry, Kuala Lumpur: The Rubber Research Institute of Malaysia; 1994. p. 51-8.
- Blackley DC, ed., “**Polymer Latices, Science & Technology**”, 2nd ed., London: Chapman and Hall; Vol 2 (1977), p. 548-58.
- Blackley DC, “**Science and technology. In: Polymer Latices**”, 2nd ed., London: Chapman and Hall, Vol 2 (1997), p. 1-440.
- Brehler R. “Contact urticaria caused by latex-free nitrile gloves” **Contact Dermatitis**, Vol. 34 (1996) : 296.
- Calvert KO, ed., “**Polymer Latices and Their Applications**”, Macmillan Publishing Co; 1982, p. 175-6.
- Calvert KO, ed., “**Polymer Latices and Their Applications**”, Macmillan Publishing Co; 1982, p. 184-5.
- Calvert KO, ed., “**Polymer Latices and Their Applications**”, Macmillan Publishing Co; 1982, p. 188-90.
- Clarke, J. et. al, “Compatibilising effect of carbon black on morphology of NR-NBR blends”, **Plastic, Rubber and Composites**, Vol. 30 (1), 2001 : 39 – 44.
- Elvig, N. “Enzyme application in latex device production to eliminate allergic reactions to latex medical devices” **Proceedings of the International Latex Conference: Sensitivity to Latex in Medical Devices**, Baltimore, Md, 5-7 November 1992. Baltimore, Md: Center For Disease Control—Food and Drug Administration and National Institute of Infectious Diseases. Paper No. 22, p. 34.
- FDA’s proposed rules: **surgeon’s and patient’s examination gloves**; reclassification. Federal Register 1999; 64:41709-43.
- Hafsah, G. “Factory production of natural rubber examination gloves from low protein latex” **J Nat Rubber Res**, Vol. 9 (1994) : 96 – 108.

- Ho, C.C. and Khew, M.C., "Surface characterization of chlorinated unvulcanised natural rubber latex films", **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Vol. 19 (1999) : 388 – 392.
- Karnika, K. G. de Silva and Lewan, M.V., "**Blends of Natural Rubber**", (ed. A. J. Tinker and K. P. Jones), Chapman and Hall, London, 1998, 53 – 93.
- Klein RC, Party E, Gershey EL. "Virus penetration of examination gloves" **Biotechniques**, Vol. 9 (1990) : 196 – 199.
- Korniewicz DM, Kirwin M, Cresci K, Larson E. "Leakage of latex and vinyl exam gloves in high and low risk clinical settings" **Am Ind Hyg Assoc J**, Vol. 54 (1993) : 22-6.
- Korniewicz DM, Kirwin M, Cresci K, Sing T, Choo TE, Wool M, Larson E. "Barrier protection with examination gloves: double versus single" **Am J Infect Control**, Vol. 22 (1994) : 12 – 15.
- Korniewicz DM, Laughon BE, Cyr WH, Lytle CD, Larson E. "Leakage of virus through used vinyl and latex examination gloves" **J Clin Microbiol**, Vol. 28 (1990) : 787 – 788.
- Korniewicz DM, Laughon BE, Bulz A, Larson E. "Integrity of vinyl and latex procedure gloves" **Nurs Res**, Vol. 38 (1998) : 144 – 146.
- Liss GM, Sussman GL. "Latex sensitization: occupational versus general population prevalence rates" **Am J Ind Med**, Vol. 35 (1999) :196 – 200.
- Malaysian standard for determination of soluble proteins of NR products. (MS 1392:98), also known as the RRIM modified Lowry test. Shah Alam: Malaysian Department of Standards; 1998.
- Mausser, RF, "**The Vanderbilt Latex Handbook**" 3rd ed., Norwalk, Conn: R. T. Vanderbilt Company Inc, 1987, p. 199.
- Mausser, RF, "**The Vanderbilt latex handbook**", 3rd ed., Norwalk, Conn: R. T. Vanderbilt Company Inc; 1987, p. 201-2.
- Ma'zam, MS. "Advanced materials for the latex industry: a new generation peroxide prevulcanized NR latex and low protein NR latex" **Proceedings of the International Latex Conference**, Akron, Ohio, 27-28 July 1999. Akron, Ohio: Rubber & Plastics News. Paper No. 3, p. 1-9.

- Moir GFJ. "Ultracentrifugation and staining of Hevea latex" **Nature**, Vol. 184 (1959) : 1626 – 1627.
- Newsom WB, Smith O, Shaw P. "A randomized trial of the durability of non-allergenic latex-free surgical gloves versus latex gloves" **J R Coll Surg Engl**, Vol. 80 (1998) : 288 – 292.
- Ng KP, Yip E, Mok KL. "Production of natural rubber latex gloves with low extractable protein content: some practical recommendations" **J Nat Rubber Res**, Vol. 9 (1994) : 87 – 95.
- Nile JG, Gromelski SJ, Brian AA, Hardwick ST, inventors; Ansell Perry Inc, assignee.
"Surgeon's glove having improved donning properties" **US patent 5 570 475**; November 5, 1996.
- Nile JG, Gromelski SJ, Gerber ND, inventors; Ansell Healthcare Products Inc, assignee.
"Manufacture of rubber articles" **US patent 6 352 666**; March 5, 2002.
- Nor Aisah AA., **Chlorination of gloves**. Latex proteins and glove industry, Kuala Lumpur: Rubber Research Institute of Malaysia; 1994, p. 59-67.
- Olsen RJ, Lynch P, Coyle MB, Cummings J, Bokete T, Stamm WE. "Examination gloves as barriers to hand contamination in clinical practice" **JAMA**, Vol. 270 (1993) : 350 – 353.
- Ong EL, Yip E, Lai PF. Latex protein allergy and your gloves. Kuala Lumpur: Rubber Research Institute of Malaysia, Malaysian Rubber Board; 1998. Monograph No. 1.
- Osmundsen PE. "Contact urticaria from nickel and plastic additives (butylhydroxy- toluene, oleylamide)" **Contact Dermatitis**, Vol. 6 (1980) : 452 – 454.
- Palosuo, T. "Identifying and quantifying natural rubber latex protein allergens" **Proceedings of the International Conference on Latex Protein Allergy: Managing the Issues**, Amsterdam, The Netherlands, 19 February 1996. London: Crain Communication Ltd., p. 11-16.
- Pendle, T., **Dipping with natural rubber latex**, Malaysian Rubber Producers' Research Association, Malaysian Research and Development Board; 1995, 1 – 33.
- Perrella, F. "Enzyme-treated natural rubber latex: a practical approach" **Proceedings of the International Latex Conference**, Akron, Ohio, 21-22 July 1998. Akron, Ohio: Rubber & Plastics News. Paper No. 3, p. 1-11.
- Podell HI, Goldstein A, Blackley DC, James MH, Bratby DM, Duck R, inventors; Howard I, Podell, assignee. "Dipped rubber article" **US patent 4 575 476**. March 11, 1986.

Rego A, Roley L. "In-use barrier integrity of gloves: latex and nitrile superior to vinyl" **Am J Infect Control**, Vol. 27 (1999) : 1 – 9.

Research & Technology Supporting Your Decision: Polymer Coatings for Powder-free Medical Gloves [Online], accessed 25 April 2005. Available from <http://www.allegiance.net>, p.4 – 5.

Research & Technology Supporting Your Decision: Polymer Coatings for Powder-free Medical Gloves [Online], accessed 25 April 2005. Available from <http://www.allegiance.net>, p.1 – 3.

Sen, S. et. al, "Development of a methodology for characterizing commercial chlorinated latex gloves", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 82 (2002) : 673 – 674.

Sirisinha, C. et. al, "Change in morphology and properties of NR-NBR blends: Effect of viscosity ratio modified by liquid natural rubber and epoxidised liquid natural rubber", **Plastic, Rubber and Composites**, Vol. 30 (7), 2001 : 314 – 317.

Sirisinha, C. et. al, "Relationships among blending conditions, size of dispersed phase, and oil resistance in natural rubber and nitrile rubber blends", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 82 (5), 2001 : 1232 – 1237.

Sirisinha, C. et. al, "Oil resistance controlled by phase morphology in natural rubber/nitrile rubber blends", **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 87 (1), 2002 : 83 – 89.

Sugiura K, Sugiura M, Hayakawa R, Sasaki K. "Di(2-ethylhexyl) phthalate (DOP) in the dotted polyvinyl-chloride grip of cotton gloves as a cause of contact urticaria syndrome" **Contact Dermatitis**, Vol. 43 (2000) : 237 – 238.

Tata, SJ. "Distribution of proteins between the fractions separated by ultracentrifugation" **J Rubber Res Inst Malaysia**, Vol. 28 (1980) :77 – 85.

Tomazic VJ, Shampaine EL, Lamanna A, Withrow TJ, Adkinson NF Jr, Hamilton RG. "Cornstarch powder on latex products is an allergen carrier" **J Allergy Clin Immunol**, Vol. 93 (1994) :751 – 758.

Turjanmaa, K. "Incidence of immediate allergy to latex gloves in hospital personnel" **Contact Dermatitis**, Vol. 17 (1987) : 270 – 275.

- Yeang HY, Faridah Y. "Latex allergy studies: differential leaching of soluble proteins from the inner and outer surfaces of natural rubber latex examination gloves" **J Nat Rubber Res**, Vol. 8 (1993) : 154 – 161.
- Yip E. "Measurements of total extractable proteins in latex gloves: a comparative study of the RRIM and ASTM tests" **J Nat Rubber Res**, Vol. 12 (1997) : 166 – 175.
- Yip E, Palosuo T, Alenius H, Turjanmaa K. "Correlation between total extractable proteins and allergen levels of natural rubber latex gloves" **J Nat Rubber Res**, Vol. 12 (1997) : 120 – 130.
- Yip E, Sussman GL. "Allergenicity of latex gloves with reference to latex protein sensitive individuals in a Canadian population" **J Nat Rubber Res**, Vol. 3 (2000) : 129 – 141.
- Yip E, Turjanmaa K, Ng KP, Mok KL. "Allergic responses and levels of extractable proteins in NR latex gloves and dry rubber products" **J Nat Rubber Res**, Vol. 9 (1994) : 79 – 86.
- Y.S.T. Yeh, D. Zhu, inventors; Allegence Corporation, assignee. "Powder-free nitrile-coated gloves with intermediate rubber-nitrile layer between the glove and the coating and method of making same" **US patent 6 391 409**; May 21, 2002.
- Yunginger JW, Jones RT, Fransway AF, Kelso JM, Warner MA, Hunt LW. "Extractable latex allergens and proteins in disposable medical gloves and other rubber products" **J Allergy Clin Immunol**, Vol. 93 (1994) : 836 – 842.

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตถุงมือ

ตารางที่ ก-1 คุณสมบัติของน้ำยางดิบธรรมชาติชนิดแอมโมเนียต่ำ (properties of raw natural latex, low ammonia)

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Total Solid Content, %	61.86
Dry Rubber Content,%	60.09
Non Rubber Solids, %	1.77
Ammonia Content (on Total Weight), %	0.24
Ammonia Content (on Water Phase), %	0.63
pH Value	10.12
KOH Number	0.5955
Volatile Fatty Acid Number (V.A.F)	0.0296
Mechanical Stability Time @ 55 %TS., sec	1050
Specific Gravity at 25 °C	0.946
Magnesium Content (on Solids), ppm	30
Chemical Stability Test (CST), ml.	2.1
Coagulum Content, (80 mesh), ppm	19
Viscosity (60 %TS, Spindle no. 1, 60 rpm), cps.	99.4
Protein (µg/g)	1,481

Remark: Free from pentachlorophenol

All tests are performed according to the relevant I.S.O 2004 – 1997 (E) Specification

ตารางที่ ก-2 คุณสมบัติของน้ำยางพอลิคลอโรพรีน 750 (Neoprene Liquid Dispersion 750)

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Total Solid Content, %	50.2
pH Value	13.0
10.5 liter (MeqHCl)	7.8
Delta liter (MeqHCl)	7.7
Strainability, ml.	500
Organic Volatile, %	0.1
Color	Deep Cream
Contamination	None

ตารางที่ ก-3 คุณสมบัติของน้ำยางพอลิคลอโรพรีน 671A (Neoprene Liquid Dispersion 671A)

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Total Solid Content, %	59.4
pH Value	13.1
10.5 liter (MeqHCl)	6.3
Delta liter (MeqHCl)	5.0
Strainability, ml.	500
Organic Volatile, %	0.1
Color	Deep Cream
Contamination	None

ตารางที่ ก-4 คุณสมบัติของน้ำยางไนไตรล์ TYLAC 6874-01

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Total Solid Content, %	44.70
pH Value	8.19
Viscosity (Spindle no. 1, 20 rpm), cps.	45
Coagulum on 200 Mesh, %	0.002
Surface Tension, dynes/cm	32.8
Residual Acrylonitrile, ppm	3

ตารางที่ ก-5 คุณสมบัติของน้ำยางไนไตรล์ TYLAC 6877-01

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Total Solid Content, %	43.20
pH Value	8.73
Viscosity (Spindle no. 1, 20 rpm), cps.	20
Coagulum on 200 Mesh, %	0.003
Surface Tension, dynes/cm	32.8
Residual Acrylonitrile, ppm	2

ตารางที่ ก-6 คุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต Calopake Extra Light

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Appearance Density, g/cm ³	0.45
Loss on Drying (to constant weight at 200 °C), %	0.94
45 µm British Standard sieve residue, %	0.06
Calcium carbonate assay, %	98.7
Magnesium and other alkali metals, %	0.74
Substances insoluble in Hydroxide acid, %	0.02
Arsenic, ppm	0.38
Lead, ppm	2.6
Barium	Passed
Iron, ppm	97
Heavy metals as lead, ppm	< 20
Fluoride, ppm	23
Mercury, ppm	< 0.05

ตารางที่ ก-7 คุณสมบัติของแคลเซียมคาร์บอเนต Precarb 100

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Assay of Calcium carbonate, % (Calculated by the Chemical Analysis)	99
Brightness, Blue Filter R457, %	99
Particle size, d50 (Sedigraph), µm	1.0
pH (10 %slurry)	10.0

ตารางที่ ก-8 คุณสมบัติของแคลเซียมไนเตรท Dipcal™ Calcium nitrate RQ

คุณสมบัติ	ผลทดสอบ
Ca, %	19.0
CaO, %	26.6
Ca(NO ₃) ₂ , %	77.8
Water insoluble, ppm	< 100
Fe, ppm	< 2
Mn, ppm	< 2
Cu, ppm	< 0.5
pH (5 %wL solution)	5.6
Colour of granules	White

ตารางที่ ก-9 คุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการจุ่มสำหรับผลิตถุงมือแพทย์

สารเคมี	ผลทดสอบ
Citric acid concentration, %	1.5 - 4.0
Coagulant - Powder Content, %	15.0
Coagulant - Specific Gravity	1.150 / 56 °C
Coagulant - Viscosity, sec	14.0
Coagulant - Cloud point, °C	50
Natural Latex - Total Solid Content, %	37.5
Natural Latex - pH	10.2
Natural Latex - Viscosity, sec	14.3
Nitrile Coating latex - Total Solid Content, %	5.5
Nitrile Coating latex - pH	8.0
Nitrile Coating latex - Viscosity, sec	14.0
Pre Carb Slurry - Powder Content, %	2.5
Pre Carb Slurry - pH	7.7

ตารางที่ ก-10 ชื่อทางเคมีของสารเคมีสำคัญที่ใช้ในการเตรียมและการผลิตถุงมือ

ตัวย่อ/ชื่อทางการค้า	ชื่อทางเคมี	ชื่อบริษัท
Cellosize QP 52,000	Hydroxyethyl Cellulose	Union Carbide Chemicals and Plastics Company, Inc.
Surfynol TG	Mixture of Acetylenic Diol and Ethylene Glycol	Air Products and Chemicals, Inc.
KOH	Potassium hydroxide	General Latex and Chemicals Corporation
Bostex 561	Aqueous mixture of Zinc dibutyldithiocarbamate	Akron Dispersions, Inc.
ZnO	Zinc Oxide	METACORP INDUSTRIES SDN BHD
Wingstay L	Butylated reaction product of p-cresol and dicyclopentadiene	GOODYEAR Chemicals Europe
Tioxide	Titanium dioxide	Tioxide (Malaysia) Sdn Bhd
MICHEM LUBE 180	Wax Emulsion	Michelman, Inc
Darvan SMO	Monosodium salt of sulfated methyl oleate	R. T. Vanderbilt Co., Inc.
Darvan WAQ	Soduim lauryl sulfate	R. T. Vanderbilt Co., Inc.
Uniflo 26 solution	Sodium Metasilicate Pentahydrate	Occidental Chemical Corporation
Silicone SM 2140	Silicone emulsion	GE SILICONES
Igepal CO-630	Poly(oxy-1,2-ethanedily)	RODIA Inc.
NaOCl	Sodium hypochlorite	Thai Organic Chemicals Co., Ltd.

ตารางที่ ก-11 คุณสมบัติของน้ำยางผสมของแต่ละระบบที่ใช้สำหรับกระบวนการจุ่ม

ระบบยางผสม	อัตราส่วนผสม (NBR/CR/NBR)	ผลทดสอบน้ำยางผสม		
		TSC (%)	pH	Viscosity (sec)
NR/NBR	75/0/25	10.8	9.24	14.03
NR/CR/NBR	75/5/20	10.7	9.60	16.35
	75/10/15	10.7	9.77	16.35
	75/15/10	10.7	9.86	16.35
	75/20/5	10.6	10.13	16.35
CR/NBR	0/5/95	10.6	8.95	15.45
	0/10/90	10.6	8.98	15.45
	0/15/85	10.6	9.12	15.45
	0/20/80	10.6	9.19	15.75
NR/CR	95/5/0	10.6	9.98	15.75
	90/10/0	10.7	10.12	15.88
	85/15/0	10.7	10.21	16.00
	80/20/0	10.8	10.28	16.15

ภาคผนวก ข

การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตถุงมือ

1. การเตรียมสารจับตัว (coagulant)

การเตรียมสารจับตัวซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการขึ้นรูปสำหรับกระบวนการผลิตถุงมือ โดยมีสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแสดงดังตารางที่ ข-1

ตารางที่ ข-1 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมสารจับตัว

สารเคมี		ปริมาณที่ใช้ (%)
Soft Water		73.83
Cellosize QP 52,000		0.06
Calcium Nitrate		19.00
Calcium Carbonate		6.30
Surfynol TG		0.35
Specification range	Powder content	14 – 17 %
	Specific gravity	1.100 – 1.200

ขั้นตอนในการเตรียมสารจับตัวสามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งน้ำ (soft water) ตามน้ำหนักที่ต้องการใส่ลงในถังผสม ทำการให้ความร้อนแก่น้ำในถังจนได้อุณหภูมิประมาณ 50 °C โดยเปิดใบกวนด้วยความเร็วรอบต่ำ
- 2) ชั่ง cellosize QP 52,000 ตามน้ำหนักที่ต้องการ จากนั้นค่อย ๆ เติม cellosize QP 52,000 ลงในถังผสมที่มีอุณหภูมิ 50 °C อย่างช้า ๆ ขณะเติมให้กวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3) นำแคลเซียมไนเตรทตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสมแล้วกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 4) เติมแคลเซียมคาร์บอเนต ในขณะที่เติมแคลเซียมคาร์บอเนตควรค่อย ๆ เติมอย่างช้า ๆ เพื่อป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของแคลเซียมคาร์บอเนต หลังจากเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการไล่ฟองอากาศโดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 4 ชั่วโมง เพื่อกำจัดฟองที่เกิดขึ้นหลังจากการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต

- 5) ละลาย surfynol TG ในน้ำ จากนั้นเติมลงในถังผสม
- 6) นำ coagulant ที่ได้ไปวัดปริมาณแป้ง (powder content) และค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) จากนั้นบันทึกค่าที่ได้

2. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติ

การเตรียมน้ำยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการขึ้นรูปถุงมือซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม แสดงดังตารางที่ ข-2

ตารางที่ ข-2 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางธรรมชาติ

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)
Soft water	—
60 % Natural rubber latex	100
10 % Potassium hydroxide solution	0.50
12 % Ammonium caseinate solution	0.20
50 % Sulfur dispersion	0.40
50 % ZDBC dispersion	0.40
60 % Zinc oxide dispersion	0.20
40 % Wingstay L dispersion	0.35
50 % Titanium dioxide dispersion	0.20

สำหรับขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางสามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการกวนสารเคมีซึ่งจะนำมาผสมกับน้ำยางด้วยเครื่องกวนความเร็วสูง (homogenizer) ก่อนนำมาทำการผสมอย่างน้อย 30 นาที ยกเว้นซัลเฟอร์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่าย จะต้องกวนอย่างน้อย 45 นาที
- 2) เติมน้ำยางธรรมชาติขึ้นลงในถังผสมตามปริมาณที่ต้องการ กวนด้วยความเร็วต่ำ
- 3) เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการลงในถังผสมที่มีน้ำยางชั้นอยู่ จากนั้นกวนด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที

- 4) ตรวจสอบแอมโมเนียมเคซิเนทว่ามีสิ่งเจือปนหรือมีการเปลี่ยนสีหรือไม่ จากนั้นชั่งตามน้ำหนักตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงไปในถังผสมกวนด้วยความเร็วสูง เป็นเวลา 10 นาที
- 5) ตรวจสอบซัลเฟอร์ให้แน่ใจว่าไม่มีการตกตะกอนอยู่ที่ก้นถัง ชั่งและเติมลงในถังผสมกวนเป็นเวลา 10 นาที
- 6) เติม ZDBC dispersion ตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 7) ชั่งและเติมน้ำตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนต่อเป็นเวลา 10 นาที
- 8) ชั่งและเติมซิงค์ออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 9) ชั่งและเติม Wingstay L dispersion ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 10) ชั่งและเติมไทเทเนียมไดออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 30 นาที
- 11) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC), ค่าความเป็นกรดและด่าง, ดัชนีของการวัดคาโนซ์เซชันโดยการวัดค่า Precure, ความหนืด (viscosity), ความเสถียรทางกล (Mechanical Stability Test; MST), total alkalinity จากนั้นบันทึกค่าที่ได้ทั้งหมด
- 12) ทำการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ เป็นเวลาอย่างน้อย 7 วัน
- 13) นำน้ำยางที่ผ่านการบ่มตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสมที่เตรียมไว้โดยทำการเทผ่านผ้ากรองเพื่อที่จะกรองแยกน้ำยางที่เป็นก้อนออก
- 14) เติมน้ำลงในถังผสมตามปริมาณที่ต้องการ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) และค่า pH แล้วบันทึกค่าที่ได้
- 15) ทำการบ่มน้ำยางเป็นเวลาอย่างน้อย 10 วัน
- 16) นำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้มาเติม Michemlube 180 ปริมาณ 0.25 phr ของน้ำยางชั้น อย่างช้า ๆ ลงในน้ำยางคอมปาวด์ ขณะเติมให้เดินความเร็วของใบกวนด้วยความเร็วรอบสูง เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที
- 17) เติมน้ำตาล (brown paste) ปริมาณ 0.165 phr ของน้ำยางชั้น ขณะเติมให้เดินความเร็วของใบกวนด้วยความเร็วรอบสูง เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที
- 18) เติมน้ำตาล (brown paste) ปริมาณ 0.165 phr ของน้ำยางชั้น ขณะเติมให้เดินความเร็วของใบกวนด้วยความเร็วรอบสูง เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที
- 19) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) และค่า pH แล้วบันทึกค่าที่ได้

3. การเตรียมน้ำยางพอลิคลอโรพรีนคอมปาวด์ข้น (compounded polychloroprene latex concentrate)

การเตรียมน้ำยางพอลิคลอโรพรีนคอมปาวด์ข้นเพื่อใช้ในการเตรียมน้ำยางผสม NR/CR/NBR สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมแสดงดังตารางที่ ข-3

ตารางที่ ข-3 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางพอลิคลอโรพรีน

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)
Deionized water	—
Neoprene 750 latex	55.00
Neoprene 671A latex	45.00
Darvan SMO solution	3.00
Darvan WAQ solution	1.00
Uniflo 26 solution	0.50
60 % ZnO dispersion	6.20
50 % Sulfur dispersion	1.00
50 % ZDBC dispersion	2.00
40 % Wingstay L dispersion	0.75
100% Michemlube 180	1.00

สำหรับขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางสามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการกวนสารเคมีซึ่งจะนำมาผสมกับน้ำยางด้วยเครื่องกวนความเร็วสูง (homogenizer) ก่อนนำมาทำการผสมอย่างน้อย 30 นาที ยกเว้นซิลเฟอร์ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่าย จะต้องกวนอย่างน้อย 45 นาที
- 2) เติมน้ำยางข้น neoprene 751 และ neoprene 671A ลงในถังผสมตามปริมาณที่ต้องการกวนด้วยความเร็วต่ำ
- 3) ละลาย Darvan SMO ตามปริมาณที่ต้องการด้วยน้ำในอัตราส่วน 40:60 แล้วกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทสารละลายที่ได้ลงในถังผสมที่มีน้ำยางข้นอยู่ จากนั้นกวนด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที

- 4) ละลาย Darvan WAQ ตามปริมาณที่ต้องการด้วยน้ำในอัตราส่วน 30:70 แล้วกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทสารละลายที่ได้ลงในถังผสม จากนั้นกวนด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที
- 5) ละลาย Uniflo 26 ตามปริมาณที่ต้องการด้วยน้ำในอัตราส่วน 10:90 แล้วกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เทสารละลายที่ได้ลงในถังผสมที่มีน้ำยางข้นอยู่ จากนั้นกวนด้วยความเร็วต่ำ เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที
- 6) ชั่งและเติมซิงค์ออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 7) ตรวจสอบซัลเฟอร์ให้แน่ใจว่าไม่มีการตกตะกอนอยู่ที่ก้นถัง ชั่งและเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 8) เติม ZDBC dispersion ตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 9) ชั่งและเติม Wingstay L dispersion ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 10) ชั่งและเติม Michemlube 180 ตามปริมาณที่ต้องการเติมลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 30 นาที
- 11) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC), ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) จากนั้นบันทึกค่าที่ได้ทั้งหมด
- 12) ทำการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้ เป็นเวลาอย่างน้อย 10 วัน
- 13) นำน้ำยางที่ผ่านการบ่มตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสมที่เตรียมไว้โดยทำการเทผ่านผ้ากรองเพื่อที่จะกรองแยกน้ำยางที่เป็นก้อนออก
- 14) เติมน้ำลงในถังผสมตามปริมาณที่ต้องการ
- 15) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) แล้วบันทึกค่าที่ได้

4. การเตรียมน้ำยางในไตรล์

การเตรียมน้ำยางในไตรล์เพื่อใช้ในการเคลือบผิวถุงมือซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการเตรียม แสดงดังตารางที่ ข-4

ตารางที่ ข-4 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางในไตรล์

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)
Soft water	—
45 % Nitrile latex, TYLAC 68074-01	41.65
45 % Nitrile latex, TYLAC 68077-01	41.65
50 % Sulfur dispersion	0.83
50 % ZDBC dispersion	0.83
60 % ZnO dispersion	0.25
50 % Silicone SM 2140	12.50

สำหรับขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางสามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ทำการกวนสารเคมีซึ่งจะนำมาผสมกับน้ำยางด้วยเครื่องกวนความเร็วสูง (homogenizer) ก่อนนำมาทำการผสมอย่างน้อย 30 นาที ยกเว้นซิลิโคนซึ่งสามารถตกตะกอนได้ง่าย จะต้องกวนอย่างน้อย 45 นาที
- 2) เติมน้ำลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วสูง จากนั้นเติมน้ำยางชั้น nitrile latex, TYLAC 68077-01 ตามปริมาณที่ต้องการ กวนด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที และเติม nitrile latex, TYLAC 68074-00 ลงในถังผสมตามปริมาณที่ต้องการ กวนต่อด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที
- 3) ตรวจสอบซิลิโคนให้แน่ใจว่าไม่มีการตกตะกอนอยู่ที่ก้นถัง ชั่งและเติมน้ำลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 4) เติม ZDBC dispersion ตามปริมาณที่ต้องการลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 5) ชั่งและเติมซิงค์ออกไซด์ตามปริมาณที่ต้องการเติมน้ำลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 6) ชั่งและเติม Silicone SM 2140 ตามปริมาณที่ต้องการเติมน้ำลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 7) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) และค่า pH แล้วบันทึกค่าที่ได้

5. การเตรียมน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลาง

การเตรียมน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลางเพื่อช่วยในการยึดติดของชั้นยางไนไตรล์ซึ่งเป็นสารเคลือบผิวของถุงมือซึ่งสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมแสดงดังตารางที่ ข-5

ตารางที่ ข-5 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียมน้ำยางผสม

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้ (phr)
Soft water	—
100 % Igepal CO-630	0.50
100 % Darvan WAQ	0.20
54% Maturated NR latex compound	0, 25, 50, 75, 90
54 % Maturated CR latex compound	0, 5, 10, 15, 20
45 % NBR TYLAC 6874-01 latex	0, 25, 50, 75, 90

สำหรับขั้นตอนในการเตรียมน้ำยางสามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) เติมน้ำลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วสูง จากนั้นละลาย Igepal CO-630 ด้วยน้ำอุ่น แล้วกวนจนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน เติมสารละลายที่ได้ลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลาอย่างน้อย 15 นาที
- 2) เติม Darvan WAQ ตามปริมาณที่ต้องการลงในถังผสม กวนด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 15 นาที
- 3) ชั่งและเติมน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์ขึ้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ ข-6 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 20 นาที
- 4) ชั่งและเติมน้ำยางคลอโรพรีนคอมปาวด์ขึ้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ ข-6 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 20 นาที
- 5) ชั่งและเติมน้ำยางไนไตรล์ขึ้นตามปริมาณดังแสดงในตารางที่ ข-6 กวนด้วยความเร็วสูงอย่างน้อย 30 นาที
- 6) ทำการวิเคราะห์หาปริมาณเปอร์เซ็นต์ของแข็ง (%TSC) และค่า pH แล้วบันทึกค่าที่ได้

ตารางที่ ข-6 อัตราส่วนน้ำยางผสม NR/CR/NBR

การทดลองที่	อัตราส่วนของน้ำยางผสม NR/CR/NBR (%)		
	น้ำยางธรรมชาติ (NR)	น้ำยางคลอโรพรีน (CR)	น้ำยางไนไตรด์ (NBR)
Control	75	0	25
1	75	5	20
2	75	10	15
3	75	15	10
4	75	20	5
5	0	5	95
6	0	10	90
7	0	15	85
8	0	20	80
9	95	5	0
10	90	10	0
11	85	15	0
12	80	20	0

6. การเตรียม calcium carbonate slurry

การเตรียม calcium carbonate slurry ซึ่งเป็นสารที่ช่วยในการป้องกันการติดกันของถุงมือหลังจากดึงถุงมือออกจากแม่พิมพ์โดยมีสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแสดงดังตารางที่ ข-6

ตารางที่ ข-6 สัดส่วนปริมาณของสารเคมีที่ใช้สำหรับการเตรียม calcium carbonate slurry

สารเคมี		ปริมาณที่ใช้ (%)
Soft Water		99.266
PreCarb 100		0.430
Sodium hypochlorite		0.304
Specification range	Powder content	1 – 3 %

ขั้นตอนในการเตรียม calcium carbonate slurry สามารถเตรียมได้ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) ชั่งน้ำ (soft water) ตามน้ำหนักที่ต้องการใส่ลงในถังผสม โดยเปิดใบกวนด้วยความเร็วรอบต่ำ
- 2) ชั่ง Sodium hypochlorite ตามน้ำหนักที่ต้องการ จากนั้นเติม Sodium hypochlorite ลงในถังผสม กวนเป็นเวลา 10 นาที
- 3) นำ Precarb 100 ตามปริมาณที่ต้องการ เติมลงในถังผสมแล้วกวนด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 30 นาที
- 4) หลังจากเติม Precarb 100 เสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการไล่ฟองอากาศโดยตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง ด้วยใช้ความเร็วของใบกวนต่ำเพื่อกำจัดฟองที่เกิดขึ้น
- 5) นำ calcium carbonate slurry ที่ได้ไปวัดปริมาณแห้ง (powder content) จากนั้นบันทึกค่าที่ได้

ภาคผนวก ก

การทดสอบน้ำยางคอมปาวด์และสารเคมีที่ใช้ในการผลิตถุงมือ

1. การทดสอบคุณสมบัติของน้ำยางธรรมชาติ pre-vulcanize ก่อนจะนำไปทำการขึ้นรูป

เมื่อน้ำยางคอมปาวด์ถูกเตรียมเสร็จแล้วจะต้องทดสอบคุณสมบัติข้างล่างนี้ทันทีหลังจากเตรียมเสร็จก่อนที่จะทำการ pre-vulcanization น้ำยาง

1.1 การหาปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)

การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางคอมปาวด์สามารถทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Syringe Method ซึ่งทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. นำจานสแตนเลสมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้ (A)
2. นำ syringe มาคูดน้ำยางคอมปาวด์ปริมาณ 6 มิลลิลิตร (หรือประมาณ 6 กรัม) วัตถุประสงค์ที่ใช้ syringe นี้เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของแอมโมเนีย
3. ชั่งน้ำหนัก syringe ที่มีน้ำยางคอมปาวด์อยู่แล้วบันทึกค่าไว้ (B)
4. ฉีดน้ำยางออกจาก syringe ลงบนจานสแตนเลสที่รู้ค่าน้ำหนักแล้ว ชั่งน้ำหนักของ syringe หลังจากฉีดน้ำยางออก (C)
5. นำจานสแตนเลสที่มีน้ำยางซึ่งต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนก้นจานไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. หลังจากอบเสร็จแล้วให้นำจานสแตนเลสที่มีน้ำยางไปผึ่งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักที่ได้ (D)
7. ทำการทดลองซ้ำให้ได้ค่าน้อย 2 ค่า ซึ่งทั้งสองค่าจะต้องมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 0.15 %
8. นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสูตรดังนี้

$$\% \text{ Total Solid Content (TSC)} = \frac{(D - A)}{(B - C)} \times 100$$

ในที่นี้

A = น้ำหนักของจานสแตนเลสอย่างเดียว

B = น้ำหนักของ syringe ที่มีน้ำยางคอมปาวด์

C = น้ำหนักของ syringe อย่างเดียว

D = น้ำหนักของจานสแตนเลสที่มีน้ำยางคอมปาวด์

9. นำค่า %TSC ทั้งสองค่ามาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้คือค่า %TSC ของน้ำยางคอมปาวด์

1.2 การวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)

น้ำยางคอมปาวด์ที่ได้จะถูกนำมาวัดค่า pH โดยการใช้อุปกรณ์ pH meter ก่อนทำการวัด จะต้องทำการสอบเทียบค่า pH แต่ละช่วงก่อนทำการวัดเสมอเพื่อความถูกต้องในการวัด จากนั้นนำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้มาเทลงในบีกเกอร์แล้วนำหัวอิเล็กโทรดจุ่มลงในน้ำยาง รอจนค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกค่า pH ที่ได้

1.3 การหาค่า precure ของน้ำยางคอมปาวด์

Chloroform coagulation test สำหรับน้ำยางธรรมชาติคอมปาวด์เป็นวิธีการอย่างง่ายในการตรวจสอบ degree of vulcanization อย่างคร่าว ๆ ของน้ำยางที่ผ่านกระบวนการ pre-vulcanization โดยการใช้คลอโรฟอร์มผสมกับน้ำยางคอมปาวด์ในปริมาณ 10 มิลลิลิตรเท่า ๆ กัน จากนั้นนำแท่งแก้วกวนจนน้ำยางเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน นำน้ำยางที่เป็นก้อนมาทำให้เป็นก้อนกลมแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 – 2 นาที แล้วดึงยางออกจากกัน สังเกตลักษณะของยางที่ได้แล้วนำมาเปรียบเทียบโดยการกำหนดค่า precure นั้น

1.4 การวัดค่าความเสถียรทางกล (Mechanical Stability)

การวัดค่าความเสถียรทางกลของน้ำยางธรรมชาติเป็นการวัดความสามารถในการทนต่อการเกิดการเสียดสีซึ่งน้ำยางจะจับตัวเป็นก้อน (coagulation) ภายใต้การกวนด้วยความเร็วสูงตามมาตรฐาน ISO 35-1982(E) สำหรับขั้นตอนในการทดสอบสามารถทำได้โดยชั่งน้ำยางปริมาณ 50 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่ใช้สำหรับเครื่อง Klaxon Mechanical Stability Test นำบีกเกอร์ที่มีน้ำยางไปวางไว้บนแท่นของเครื่องโดยให้ปลายใบกวนอยู่ห่างจากก้นของบีกเกอร์ด้านในประมาณ 0.5 ± 0.1 นิ้ว จากนั้นตั้งความเร็วของใบกวนที่ความเร็วรอบ $14,000 \pm 200$ รอบต่อนาที ทำการเดินเครื่อง ในขณะที่เดียวกันให้คนาฬิกาจับเวลาจนกระทั่งถึงจุดซึ่งน้ำยางจะเกิดการจับตัวกันเป็นก้อน ซึ่งเรียกว่า end point เราสามารถเช็คได้ว่าน้ำยางเกิดการจับตัวกันเป็นก้อนโดยนำน้ำยางที่กำลังถูกปั่นอยู่มาหยดลงในน้ำซึ่งเราจะสังเกตเห็นน้ำยางเกาะกันเป็นเม็ด ถ้าน้ำยางยังไม่เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนเราจะเห็นน้ำยาง กระจายตัวอยู่ในน้ำโดยปราศจากเม็ดน้ำยางเกิดขึ้น ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนแรกโดยใช้น้ำยางเดียวกันจากนั้น อ่านค่าเวลาบนหน้าปัดนาฬิกา นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยหาค่าเวลา บันทึกค่าเวลาที่ได้จากการคำนวณ

1.5 การหาค่าความเป็นด่าง (Total Alkalinity)

การทดสอบค่าความเป็นด่างตามมาตรฐาน ASTM D-1076 สามารถทำตามขั้นตอน
ดังนี้

1. คุคน้ำยด้วย syringe ปริมาณ 5 มิลลิลิตร นำไปชั่งบนเครื่องชั่งบันทึกค่าที่อ่านได้
2. ฉีดน้ำยที่อยู่ใน syringe ลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นอยู่ปริมาณ 300 มิลลิลิตร นำ syringe ที่ฉีดน้ำยออกแล้วไปชั่งอย่างทันทีทันใด บันทึกค่าที่อ่านได้
3. กวนน้ำกลั่นกับน้ำยให้เข้ากันด้วยแท่งแม่เหล็กกวน โดยใช้ hot plate/stirrer
4. นำ pH electrode ของเครื่อง pH meter ที่สอบเทียบมาตรฐานแล้ว จุ่มลงในบีกเกอร์ จากนั้นค่อย ๆ หยด 0.1 N HCl โดยใช้บิวเรต หยดจนกระทั่งค่า pH มีค่าเท่ากับ 6.0 บันทึกปริมาณกรดที่ใช้ในหน่วยของมิลลิลิตร
5. ทำการคำนวณ total alkalinity ตามสูตรดังต่อไปนี้

Alkalinity สามารถคำนวณเป็นกรัมของแอมโมเนีย (NH₃) ต่อ 100 กรัมของน้ำตามสูตรดังนี้

$$\text{Alkalinity (Water Phase)} = \frac{17 \times V}{M (100 - \text{TS})}$$

นอกจากนี้ Alkalinity สามารถคำนวณเป็นกรัมของแอมโมเนีย (NH₃) ต่อ 100 กรัมของน้ำยตาม
สูตรดังนี้

$$\text{Alkalinity (Wet Weight)} = \frac{0.17 \times V}{M}$$

ในที่นี้

V = ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในหน่วยลูกบาศก์เซ็นติเมตร

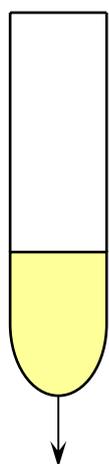
M = น้ำหนักของตัวอย่างในหน่วยกรัม

TS = ปริมาณของแข็งทั้งหมดของน้ำยในหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

6. บันทึกค่า Alkalinity ที่คำนวณได้

1.6 การหาค่าความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือ การต้านทานการไหลของของไหล เนื่องจากในกระบวนการผลิตต้องใช้เวลาเร็วในการวัดค่าความหนืดของน้ำยางคอมปาวด์ วิธีอย่างง่ายที่สามารถทำได้คือ ใช้เครื่องมือวัดความหนืด Zahn Viscosimeter GEH-1533E. West Lynn, Massachusetts: General Electric Company, (n.d.) ซึ่งเป็นการวัดเวลาการไหลของน้ำยางในปริมาตรที่กำหนดไว้ โดยที่น้ำยางจะไหลผ่านรูที่ก้นของ Zahn cup ค่าความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะเป็นเวลาในหน่วยวินาที โดยจะจับเวลาตั้งแต่ขอบบนของ Zahn cup ถูกยกขึ้นจากน้ำยางจนขอบพื้นจากผิวหน้าจนกระทั่งน้ำยางไหลออกจากถ้วยจนสังเกตเห็นการไหลของน้ำยางแบบไม่ต่อเนื่องให้คนาฬิกาจับเวลาแล้วบันทึกค่าเวลาที่ได้จากหน้าปัดของนาฬิกา



รูปที่ ค-1 รูปจำลองของเครื่องมือวัดความหนืด Zahn Viscosimeter

จากการทดสอบทั้งหมดตั้งแต่ข้อ 1.1 ถึง 1.6 เป็นการทดสอบน้ำยางหลังจากเตรียมเสร็จ ตั้งแต่หัวข้อ 1.7 จะต้องนำน้ำยางไปให้ความร้อนให้อ่างน้ำร้อนจนกระทั่งน้ำยางมีค่า precure มีค่าเท่ากับ 3.5 ± 0.5 เมื่อน้ำยางได้ค่า precure ตามที่กำหนด ให้บันทึกค่าที่ได้ หลังจากนั้นเราจะทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำยางอีกครั้งต่อไป

1.7 การหาค่า swollen diameter

การวัดค่า swollen diameter ของน้ำยางเป็นการทำนาย degree of vulcanization ของน้ำยางที่ซึ่งให้ค่าที่ดีกว่าการวัดค่า precure โดยวัดการบวมตัวของน้ำยางในสารละลายเฮกเซน (hexane solution) ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงเป็นค่าของเส้นผ่าศูนย์กลางที่ฟิล์มยางที่ขยายตัวจนถึงขนาดสมดุล วิธีการวัดสามารถทำได้ดังขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการหล่อฟิล์มยางคอมปาวด์ให้มีความหนาโดยประมาณ 0.003 ถึง 0.010 นิ้ว บนแผ่นสแตนเลสหรือกระจก
2. ทำให้ฟิล์มแห้งโดยการใช้พัดลมเป่าเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าตรวจเช็คความแห้งของฟิล์มยางก่อนลอกออกจากแผ่นสแตนเลสหรือกระจก
3. นำผงบดมาทาทั้งสองด้านของฟิล์มยางเพื่อป้องกันการติดกันของฟิล์มยาง
4. นำฟิล์มที่ลอกออกแล้วมาตัดให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.5 นิ้ว ด้วยหัวตัดที่เป็นวงกลม
5. นำจานกระจกใสวางบนกระดาษกราฟ เทเฮกเซนลงในจานกระจกแล้วนำฟิล์มยางรูปวงกลมที่เตรียมไว้จุ่มลงสารละลายเฮกเซน รอจนฟิล์มยางขยายตัวถึงสมดุลหรือรอเป็นเวลาประมาณ 25 นาที
6. อ่านค่าความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางบนกระดาษกราฟ
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 6 นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยแล้วบันทึกค่าที่คำนวณได้

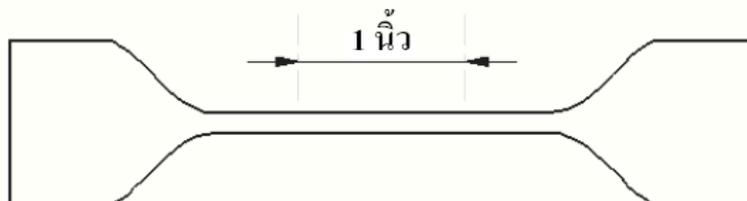
1.8 การทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของฟิล์มยางก่อนและหลัง aged

การทดสอบคุณสมบัติการทนต่อแรงดึงเป็นการวัดคุณสมบัติทางกลของวัสดุขยตามมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งสามารถทำได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. เตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยใช้แผ่นสแตนเลสที่ถูกให้ความร้อนที่ 70 ± 5 °C จุ่มแผ่นสแตนเลสที่ร้อนลงในสารจับตัว (coagulant) เพื่อช่วยให้น้ำยางเกิดการขึ้นรูปเป็นแผ่น โดยใช้เวลาในการจุ่มประมาณ 30 วินาที แล้วอบให้แห้ง จากนั้นนำไปจุ่มลงในถังที่บรรจุน้ำยางเป็นเวลาประมาณ 10 วินาที แล้วนำไปจุ่มลงในน้ำร้อนเพื่อทำการ leaching ที่มีอุณหภูมิประมาณ 49 – 66 °C เป็นเวลาประมาณ 20 นาที แล้วนำฟิล์มไปอบแห้งด้วยอุณหภูมิประมาณ 70 °C เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ทำการลอกฟิล์มยางออกโดยทาด้วยแป้ง Absorbo เพื่อป้องกันการติดกันของฟิล์มยางที่ได้ สำหรับ aged film ต้องนำฟิล์มที่ได้ไปอบต่อที่อุณหภูมิประมาณ 110 °C เป็นเวลาประมาณ 5 ชั่วโมง
2. ชิ้นงานตัวอย่างของฟิล์มยางที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 6 ชิ้น โดยชิ้นงานตัวอย่างที่เก็บมาจะต้องถูกทิ้งไว้ที่สภาวะตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งควบคุมอุณหภูมิที่ 23 ± 2 °C และที่ความชื้นสัมพัทธ์ 50 ± 5 %
3. นำชิ้นงานตัวอย่างของฟิล์มที่ได้มาตัดด้วยเครื่องตัดโดยใช้หัวค้าย type "C" ตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM D 412 ซึ่งมีขนาดความกว้างของชิ้นงานตัวอย่าง 6

มิลลิเมตร การตัดชิ้นงานควรตัดโดยใช้แรงดันที่เหมาะสมเพื่อให้ชิ้นงานขาด และแน่ใจว่าขอบของชิ้นงานเรียบไม่มีรอยขาดซึ่งอาจเป็นสาเหตุทำให้ค่าที่ได้จากการทดสอบคลาดเคลื่อน

- นำชิ้นงานรูปดัมเบลที่ได้มาวางบนพื้นเรียบแล้วทำการกำหนดระยะ (Gage marks) ของชิ้นงาน โดยทำการขีดเส้นสองเส้นที่ชิ้นงานเป็นระยะ 1 นิ้ว รูปที่ ก-2



รูปที่ ก-2 รูปดัมเบลที่กำหนดระยะ (gage mark) เป็นระยะ 1 นิ้ว

- ใช้ไมโครมิเตอร์ที่มีแรงดัน 22 ± 5 kPa (3.2 ± 0.7 PSI) วัดความหนาในระยะ gage marks โดยทำการวัด 3 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยซึ่งค่าที่ได้คือความหนาของชิ้นงาน ทำการวัดความหนาของชิ้นงานตัวอย่างทุกชิ้นที่จะทำการทดสอบ
- นำชิ้นงานที่ได้ไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensile Tester (Instron model 5564, 1011) โดยใช้ crosshead speed ที่ 500 มิลลิเมตรต่อนาที คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของชิ้นงานซึ่งจะทำการทดสอบ ได้แก่ tensile strength, modulus@300% & @500% และ elongation at break
- นำค่าที่ได้มาทำการหาค่ากลาง (median) แล้วบันทึกค่าที่ได้

2. การวัดและทดสอบสารจับตัว (coagulant) นํ้ายาง (latex) และนํ้าแป้ง (slurry powder)

2.1 การวัดและทดสอบสารจับตัว (coagulant testing)

การวัดและทดสอบสารจับตัว ได้แก่ ปริมาณแป้ง ความถ่วงจำเพาะ ความเป็นกรด-ด่าง จุดขุ่นมัว (cloud point) และความหนืด โดยสามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

ปริมาณแป้ง (powder content)

ทำการสุ่มตัวอย่างสารจับตัวจากในถังสารจับตัวระหว่างการผลิตใส่ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารจับตัวที่ได้เทลงในหลอดทดสอบปริมาณ 10 มิลลิลิตร

แล้วทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที อ่านค่าที่ได้จากสเกลแล้ว บันทึกค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)

ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)

ทำการวัดค่าความถ่วงจำเพาะโดยใช้เครื่องมือวัดไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) นำกระบอกตวงขนาดที่พอสำหรับให้ไฮโดรมิเตอร์ลอยได้ตักสารจับตัวในถังแล้วนำไฮโดรมิเตอร์จุ่มลงในกระบอกตวงที่มีสารจับตัวอย่างรวดเร็วพร้อมกับวัดอุณหภูมิขณะทำการวัดแล้วบันทึกค่าที่ได้

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สารจับตัวที่ได้จะถูกนำมาวัดค่า pH โดยการใช้อุปกรณ์ pH meter ก่อนทำการวัดจะต้องทำการสอบเทียบค่า pH แต่ละช่วงก่อนทำการวัดเสมอเพื่อความถูกต้องในการวัด จากนั้นนำสารจับตัวที่ได้มาเทลงในบีกเกอร์แล้วนำหัวอิเล็กโทรดจุ่มลงในน้ำยาง รอจนค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกค่า pH ที่ได้

จุดขุ่นมัว (cloud point)

นำของเหลวสีที่ได้หลังจากการปั่นเหวี่ยงมาถ่ายลงในหลอดทดลองแล้วนำมาวางลงในภาชนะที่บรรจุน้ำซึ่งมีการให้ความร้อน นำเทอร์โมมิเตอร์จุ่มลงในน้ำร้อนเพื่อสังเกตอุณหภูมิของน้ำ รอจนสารละลายที่อยู่ในหลอดทดลองกลายเป็นขุ่นแล้วอ่านอุณหภูมิที่ได้แล้วบันทึกผลในหน่วยของอุณหภูมิองศาเซลเซียส

ความหนืด (viscosity)

การวัดหาค่าความหนืดของสารจับตัวสามารถทำการวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด Zahn Viscosimeter GEH-1533E. West Lynn, Massachusetts: General Electric Company, (n.d.) ซึ่งเป็นการวัดเวลาการไหลของน้ำยางในปริมาตรที่กำหนดไว้ โดยที่น้ำยางจะไหลผ่านรูที่ก้นของ Zahn cup ค่าความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะเป็นเวลาในหน่วยวินาที โดยจะจับเวลาตั้งแต่ขอบบนของ Zahn cup ถูกยกขึ้นจากน้ำยางจนขอบพื้นจากผิวหน้าจนกระทั่งน้ำยางไหลออกจากถ้วยจนสังเกตเห็นการไหลของน้ำยางแบบไม่ต่อเนื่องให้คนาฬิกาจับเวลาแล้วบันทึกค่าเวลาที่ได้จากหน้าปัดของนาฬิกา

2.2 การวัดและทดสอบน้ำยาง (latex)

การวัดและทดสอบน้ำยาง ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ความเป็นกรด-ด่าง และ ความหนืด โดยสามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)

การหาปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำยางสามารถทำได้หลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการที่เรียกว่า Syringe Method ซึ่งวิธีการหา TSC สามารถทำได้ตามขั้นตอนที่แสดงไว้ในหัวข้อ 1.1

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สารจับตัวที่ได้จะถูกนำมาวัดค่า pH โดยการใช้อุปกรณ์ pH meter ก่อนทำการวัดจะต้องทำการสอบเทียบค่า pH แต่ละช่วงก่อนทำการวัดเสมอเพื่อความถูกต้องในการวัด จากนั้นนำสารจับตัวที่ได้มาเทลงในบีกเกอร์แล้วนำหัวอิเล็กโทรดจุ่มลงในน้ำยาง รอจนค่าที่อ่านได้คงที่บันทึกค่า pH ที่ได้

ความหนืด (viscosity)

การวัดค่าความหนืดของสารจับตัวสามารถทำการวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืด Zahn Viscosimeter GEH-1533E. West Lynn, Massachusetts: General Electric Company, (n.d.) ซึ่งเป็นการวัดเวลาการไหลของน้ำยางในปริมาตรที่กำหนดไว้ โดยที่น้ำยางจะไหลผ่านรูที่ก้นของ Zahn cup ค่าความหนืดที่ได้จากการวัดด้วยวิธีนี้จะเป็นเวลาในหน่วยวินาที โดยจะจับเวลาตั้งแต่ขอบบนของ Zahn cup ถูกยกขึ้นจากน้ำยางจนขอบพื้นจากผิวหน้าจนกระทั่งน้ำยางไหลออกจากถ้วยจนสังเกตเห็นการไหลของน้ำยางแบบไม่ต่อเนื่องให้คนาฬิกาจับเวลาแล้วบันทึกค่าเวลาที่ได้จากหน้าปัดของนาฬิกา

2.3 การวัดและทดสอบน้ำแป้งเคลือบ (Pre Carb slurry powder)

การวัดและทดสอบสารจับตัว ได้แก่ ปริมาณแป้ง และความเป็นกรด-ด่าง โดยสามารถทำตามขั้นตอนดังนี้

ปริมาณแป้ง (powder content)

ทำการสุ่มตัวอย่างสารจับตัวจากในถังสารจับตัวระหว่างการผลิตใส่ลงในหลอดทดสอบขนาด 15 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารจับตัวที่ได้เทลงในหลอดทดสอบปริมาณ 10 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที อ่านค่าที่ได้จากสเกลแล้วบันทึกค่าในหน่วยเปอร์เซ็นต์ (%)

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

สารจับตัวที่ได้จะถูกนำมาวัดค่า pH โดยการใช้อุปกรณ์ pH meter ก่อนทำการวัดจะต้องทำการสอบเทียบค่า pH แต่ละช่วงก่อนทำการวัดเสมอเพื่อความถูกต้องในการวัด จากนั้นนำสารจับตัวที่ได้มาเทลงในบีกเกอร์แล้วนำหัวอิเล็กโทรดจุ่มลงในน้ำยาง รอจนค่าที่อ่านได้คงที่ บันทึกค่า pH ที่ได้

ภาคผนวก ง

ตารางผลการทดลองของการผสมพอลิคลอโรพรีนลงในน้ำยางผสมซึ่งใช้เป็นชั้นกลางช่วยในการยึดติดของชั้นยางไนไตรล์ที่มีต่อสมบัติถุงมือที่ได้

ตารางที่ ง-1 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/NBR (75/25)

ระบบยางผสม		ความหนาของถุงมือ (mm)		
		ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
NR/NBR	1	0.181	0.227	0.272
	2	0.180	0.235	0.263
	3	0.170	0.236	0.265
	4	0.177	0.235	0.252
	5	0.177	0.233	0.272
	6	0.178	0.228	0.258
	7	0.171	0.244	0.268
	8	0.178	0.238	0.268
	9	0.174	0.231	0.265
	10	0.182	0.237	0.261
	11	0.186	0.235	0.262
	12	0.175	0.238	0.266
	13	0.187	0.239	0.263
		Avg	0.18	0.24
	Stdev	0.005	0.005	0.005

ตารางที่ ง-2 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR/NBR (75/5/20)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.180	0.247	0.261
2	0.176	0.241	0.272
3	0.176	0.235	0.271
4	0.182	0.244	0.280
5	0.182	0.239	0.261
6	0.172	0.238	0.261
7	0.173	0.239	0.262
8	0.183	0.240	0.262
9	0.183	0.245	0.281
10	0.177	0.236	0.272
11	0.177	0.242	0.273
12	0.181	0.248	0.262
13	0.181	0.243	0.279
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.24	0.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.004	0.008

ตารางที่ ง-3 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR/NBR (75/10/15)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.177	0.243	0.266
2	0.189	0.235	0.258
3	0.179	0.241	0.272
4	0.175	0.246	0.262
5	0.177	0.241	0.259
6	0.187	0.235	0.269
7	0.188	0.236	0.270
8	0.178	0.242	0.260
9	0.176	0.247	0.263
10	0.180	0.242	0.273
11	0.190	0.236	0.259
12	0.178	0.244	0.267
13	0.174	0.245	0.261
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.24	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.004	0.005

ตารางที่ ง-4 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR/NBR (75/15/10)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.178	0.238	0.265
2	0.181	0.239	0.271
3	0.188	0.238	0.274
4	0.192	0.239	0.267
5	0.177	0.232	0.264
6	0.186	0.243	0.260
7	0.187	0.244	0.261
8	0.178	0.233	0.265
9	0.193	0.240	0.268
10	0.189	0.239	0.275
11	0.182	0.240	0.272
12	0.179	0.239	0.266
13	0.191	0.238	0.266
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.24	0.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.003	0.005

ตารางที่ ง-5 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR/NBR (75/20/5)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.178	0.240	0.259
2	0.186	0.240	0.263
3	0.169	0.242	0.274
4	0.171	0.240	0.262
5	0.177	0.235	0.267
6	0.175	0.242	0.263
7	0.176	0.243	0.264
8	0.178	0.236	0.268
9	0.172	0.241	0.263
10	0.170	0.243	0.275
11	0.187	0.241	0.264
12	0.179	0.241	0.260
13	0.170	0.239	0.261
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.24	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.002	0.005

ตารางที่ ง-6 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ CR/NBR (5/95)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.173	0.225	0.248
2	0.179	0.226	0.258
3	0.182	0.229	0.256
4	0.181	0.230	0.255
5	0.185	0.231	0.258
6	0.176	0.239	0.258
7	0.177	0.240	0.259
8	0.186	0.232	0.259
9	0.182	0.231	0.256
10	0.183	0.230	0.257
11	0.180	0.227	0.259
12	0.174	0.226	0.249
13	0.180	0.229	0.254
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.005	0.004

ตารางที่ ง-7 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้ไนยางผสมระบบ CR/NBR (10/90)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.177	0.230	0.258
2	0.175	0.232	0.255
3	0.184	0.232	0.259
4	0.178	0.233	0.260
5	0.177	0.232	0.256
6	0.180	0.234	0.253
7	0.181	0.235	0.254
8	0.178	0.233	0.257
9	0.179	0.234	0.261
10	0.185	0.233	0.260
11	0.176	0.233	0.256
12	0.178	0.231	0.259
13	0.177	0.232	0.259
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003	0.001	0.003

ตารางที่ ง-8 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้ยางผสมระบบ CR/NBR (15/85)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.174	0.235	0.266
2	0.181	0.235	0.270
3	0.171	0.233	0.265
4	0.175	0.237	0.266
5	0.182	0.229	0.258
6	0.176	0.237	0.254
7	0.177	0.238	0.255
8	0.183	0.230	0.259
9	0.176	0.238	0.267
10	0.172	0.234	0.266
11	0.182	0.236	0.271
12	0.175	0.236	0.267
13	0.174	0.236	0.265
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.003	0.005

ตารางที่ ง-9 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้ไน้ยางผสมระบบ CR/NBR (20/80)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.176	0.231	0.250
2	0.183	0.234	0.262
3	0.180	0.224	0.261
4	0.174	0.240	0.263
5	0.182	0.234	0.263
6	0.173	0.230	0.260
7	0.174	0.231	0.261
8	0.183	0.235	0.264
9	0.175	0.241	0.264
10	0.181	0.225	0.262
11	0.184	0.235	0.263
12	0.177	0.232	0.251
13	0.173	0.239	0.262
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.004	0.005	0.005

ตารางที่ ง-10 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR (95/5)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.180	0.231	0.247
2	0.175	0.237	0.251
3	0.175	0.224	0.257
4	0.177	0.229	0.266
5	0.176	0.220	0.252
6	0.171	0.229	0.252
7	0.172	0.230	0.253
8	0.177	0.221	0.253
9	0.178	0.230	0.267
10	0.176	0.225	0.258
11	0.176	0.238	0.252
12	0.181	0.232	0.248
13	0.176	0.228	0.265
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003	0.005	0.007

ตารางที่ ง-11 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR (90/10)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.179	0.232	0.270
2	0.179	0.234	0.264
3	0.176	0.234	0.279
4	0.180	0.232	0.272
5	0.175	0.236	0.265
6	0.182	0.238	0.273
7	0.183	0.239	0.274
8	0.176	0.237	0.266
9	0.181	0.233	0.273
10	0.177	0.235	0.280
11	0.180	0.235	0.265
12	0.180	0.233	0.271
13	0.179	0.231	0.271
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.27
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.002	0.002	0.005

ตารางที่ ง-12 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR (85/15)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.185	0.233	0.253
2	0.180	0.239	0.264
3	0.182	0.239	0.247
4	0.179	0.229	0.256
5	0.175	0.234	0.247
6	0.177	0.229	0.259
7	0.178	0.230	0.260
8	0.176	0.235	0.248
9	0.180	0.230	0.257
10	0.183	0.240	0.248
11	0.181	0.240	0.265
12	0.186	0.234	0.254
13	0.178	0.228	0.255
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.003	0.004	0.006

ตารางที่ ง-13 ความหนาของถุงมือที่ทำการผลิตโดยใช้น้ำยางผสมระบบ NR/CR (80/20)

จำนวนข้อมูล	ความหนาของถุงมือ (mm)		
	ข้อมือ	ฝ่ามือ	นิ้วมือ
1	0.186	0.231	0.254
2	0.177	0.236	0.257
3	0.195	0.232	0.260
4	0.182	0.226	0.254
5	0.178	0.233	0.251
6	0.180	0.241	0.263
7	0.181	0.242	0.264
8	0.179	0.234	0.252
9	0.183	0.227	0.255
10	0.196	0.233	0.261
11	0.178	0.237	0.258
12	0.187	0.232	0.255
13	0.181	0.225	0.253
ค่าเฉลี่ย	0.18	0.23	0.26
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.006	0.005	0.004

ตารางที่ ง-14 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (formed glove) ที่ใช้น้ำยางผสม NR/NBR ในอัตราส่วน 75/25 โดยน้ำหนัก

No. of Data	Thickness (mm)	F300 (kg _p)	F500 (kg _p)	Fb (kg _p)	Extension (cm)	M_{300} (kg/cm ²)	M_{500} (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	Eb (%)
1	0.0224	0.19	0.48	4.13	25.5	14.1	35.7	307.3	903.9
2	0.0232	0.20	0.49	4.25	26.0	14.4	35.2	305.3	923.6
3	0.0228	0.19	0.49	4.18	25.5	13.9	35.8	305.6	903.9
4	0.0228	0.20	0.49	4.23	26.0	14.6	35.8	309.2	923.6
5	0.0225	0.20	0.48	4.16	25.5	14.8	35.6	308.1	903.9
6	0.0231	0.20	0.49	4.29	26.0	14.4	35.4	309.5	923.6
Avg						14.4	35.6	307.5	913.8
1	0.0231	0.19	0.49	4.31	25.8	13.7	35.4	311.0	915.7
2	0.0235	0.19	0.50	4.31	26.1	13.5	35.5	305.7	927.6
3	0.0230	0.20	0.49	4.23	25.5	14.5	35.5	306.5	903.9
4	0.0233	0.19	0.50	4.25	25.8	13.6	35.8	304.0	915.7
5	0.0225	0.19	0.48	4.18	25.7	14.1	35.6	309.6	911.8
6	0.0227	0.20	0.48	4.22	25.9	14.7	35.2	309.8	919.7
Avg						14.0	35.5	307.8	915.7
1	0.0225	0.20	0.48	4.11	25.6	14.8	35.6	304.4	907.9
2	0.0226	0.19	0.48	4.18	25.7	14.0	35.4	308.3	911.8
3	0.0225	0.20	0.48	4.16	25.8	14.8	35.6	308.1	915.7
4	0.0230	0.20	0.49	4.19	26.0	14.5	35.5	303.6	923.6
5	0.0233	0.20	0.49	4.25	25.9	14.3	35.1	304.0	919.7
6	0.0230	0.19	0.49	4.16	25.9	13.8	35.5	301.4	919.7
Avg						14.4	35.4	305.0	916.4
1	0.0231	0.19	0.49	4.29	25.8	13.7	35.4	309.5	915.7
2	0.0239	0.18	0.51	4.41	25.8	12.6	35.6	307.5	915.7
3	0.0233	0.19	0.49	4.31	25.8	13.6	35.1	308.3	915.7
4	0.0228	0.19	0.49	4.22	25.6	13.9	35.8	308.5	907.9
5	0.0235	0.20	0.50	4.35	25.9	14.2	35.5	308.5	919.7
6	0.0232	0.20	0.49	4.28	25.8	14.4	35.2	307.5	915.7
Avg						13.7	35.4	308.3	915.1
Average						14.1	35.5	307.1	915.3
Stdev						0.5	0.2	2.4	7.1

ตารางที่ ง-15 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (formed glove) ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR/NBR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description	Thickness (mm)	F300 (kg _p)	F500 (kg _p)	Fb (kg _p)	Extension (cm)	M ₃₀₀ (kg/cm ²)	M ₅₀₀ (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	Eb (%)	
75/5/20	1	0.0223	0.22	0.51	4.31	24.0	16.4	38.1	322.1	844.9
	2	0.0228	0.22	0.52	4.38	24.1	16.1	38.0	320.2	848.8
	3	0.0237	0.23	0.54	4.50	24.3	16.2	38.0	316.5	856.7
	4	0.0225	0.22	0.51	4.29	24.0	16.3	37.8	317.8	844.9
	5	0.0225	0.22	0.51	4.29	24.3	16.3	37.8	317.8	856.7
	6	0.0228	0.23	0.52	4.30	24.2	16.8	38.0	314.3	852.8
	Avg						16.4	37.9	318.1	850.8
	Stdev						0.3	0.1	2.7	5.4
75/10/15	1	0.0226	0.23	0.52	4.32	23.8	17.0	38.3	318.6	837.0
	2	0.0225	0.23	0.52	4.30	23.9	17.0	38.5	318.5	840.9
	3	0.0221	0.23	0.51	4.31	23.8	17.3	38.5	325.0	837.0
	4	0.0232	0.24	0.53	4.50	23.7	17.2	38.1	323.3	833.1
	5	0.0224	0.23	0.52	4.29	23.6	17.1	38.7	319.2	829.1
	6	0.0226	0.23	0.52	4.31	23.9	17.0	38.3	317.8	840.9
	Avg						17.1	38.4	320.4	836.4
	Stdev						0.2	0.2	3.0	4.6
75/15/10	1	0.0222	0.23	0.52	4.28	23.4	17.3	39.0	321.3	821.3
	2	0.0223	0.23	0.52	4.29	23.5	17.2	38.9	320.6	825.2
	3	0.0220	0.23	0.52	4.28	23.6	17.4	39.4	324.2	829.1
	4	0.0223	0.23	0.53	4.33	23.4	17.2	39.6	323.6	821.3
	5	0.0221	0.23	0.52	4.27	23.5	17.3	39.2	322.0	825.2
	6	0.0225	0.23	0.53	4.35	23.6	17.0	39.3	322.2	829.1
	Avg						17.2	39.2	322.3	825.2
	Stdev						0.1	0.3	1.4	3.5
75/20/5	1	0.0211	0.22	0.50	4.27	23.2	17.4	39.5	327.8	813.4
	2	0.0214	0.23	0.51	4.26	23.3	17.9	39.7	327.9	817.3
	3	0.0216	0.23	0.51	4.26	23.1	17.7	39.4	328.7	809.4
	4	0.0224	0.24	0.54	4.25	23.4	17.9	40.2	328.9	821.3
	5	0.0222	0.23	0.53	4.27	23.5	17.3	39.8	328.1	825.2
	6	0.0225	0.24	0.54	4.26	23.3	17.8	40.0	328.1	817.3
	Avg						17.7	39.8	328.3	817.3
	Stdev						0.3	0.3	0.4	5.6

ตารางที่ ง-16 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (formed glove) ที่ใช้น้ำยางผสม CR/NBR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description	Thickness	F300	F500	Fb	Extension	M_{300}	M_{500}	TS	Eb	
	(mm)	(kg _p)	(kg _p)	(kg _p)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	
0/5/95	1	0.0242	0.21	0.52	4.53	25.1	14.5	35.8	312.0	888.2
	2	0.0241	0.21	0.52	4.53	25.3	14.5	36.0	313.3	896.1
	3	0.0242	0.21	0.52	4.53	25.2	14.5	35.8	312.0	892.1
	4	0.0243	0.21	0.52	4.55	25.4	14.4	35.7	312.1	900.0
	5	0.0240	0.21	0.52	4.48	25.5	14.6	36.1	311.1	903.9
	6	0.0227	0.20	0.49	4.25	25.3	14.7	36.0	312.0	896.1
	Avg						14.5	35.9	312.1	896.1
	Stdev						0.1	0.2	0.7	5.6
0/10/90	1	0.0240	0.22	0.53	4.53	24.5	15.3	36.8	314.6	864.6
	2	0.0233	0.21	0.51	4.39	24.6	15.0	36.5	314.0	868.5
	3	0.0231	0.21	0.50	4.35	24.5	15.2	36.1	313.9	864.6
	4	0.0237	0.22	0.52	4.47	24.7	15.5	36.6	314.3	872.4
	5	0.0233	0.21	0.51	4.39	24.8	15.0	36.5	314.0	876.4
	6	0.0230	0.21	0.50	4.36	24.6	15.2	36.2	315.9	868.5
	Avg						15.2	36.4	314.5	869.2
	Stdev						0.2	0.3	0.8	4.6
0/15/85	1	0.0229	0.22	0.51	4.35	24.1	16.0	37.1	316.6	848.8
	2	0.0226	0.22	0.50	4.32	24.6	16.2	36.9	318.6	868.5
	3	0.0232	0.22	0.51	4.40	24.5	15.8	36.6	316.1	864.6
	4	0.0239	0.22	0.53	4.52	24.6	15.3	37.0	315.2	868.5
	5	0.0225	0.22	0.50	4.28	24.5	16.3	37.0	317.0	864.6
	6	0.0233	0.22	0.52	4.43	24.3	15.7	37.2	316.9	856.7
	Avg						15.9	37.0	316.7	861.9
	Stdev						0.4	0.2	1.1	7.7
0/20/80	1	0.0234	0.23	0.53	4.42	24.1	16.4	37.7	314.8	848.8
	2	0.0228	0.22	0.51	4.37	24.2	16.1	37.3	319.4	852.8
	3	0.0233	0.22	0.53	4.44	24.3	15.7	37.9	317.6	856.7
	4	0.0222	0.22	0.50	4.28	24.5	16.5	37.5	321.3	864.6
	5	0.0223	0.22	0.50	4.27	24.3	16.4	37.4	319.1	856.7
	6	0.0228	0.22	0.51	4.37	24.4	16.1	37.3	319.4	860.6
	Avg						16.2	37.5	318.6	856.7
	Stdev						0.3	0.3	2.2	5.6

ตารางที่ ง-17 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (formed glove) ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description	Thickness	F300	F500	Fb	Extension	M_{300}	M_{500}	TS	Eb	
	(mm)	(kg _p)	(kg _p)	(kg _p)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	
95/5	1	0.0219	0.19	0.46	4.10	24.5	14.5	35.0	312.0	864.6
	2	0.0212	0.18	0.45	3.98	24.6	14.2	35.4	312.9	868.5
	3	0.0212	0.18	0.45	3.97	24.5	14.2	35.4	312.1	864.6
	4	0.0216	0.19	0.46	4.06	24.7	14.7	35.5	313.3	872.4
	5	0.0226	0.19	0.47	4.25	24.6	14.0	34.7	313.4	868.5
	6	0.0211	0.18	0.45	3.96	24.7	14.2	35.5	312.8	872.4
	Avg						14.3	35.2	312.8	868.5
Stdev						0.2	0.3	0.6	3.5	
90/10	1	0.0219	0.18	0.45	4.08	25.1	13.7	34.2	310.5	888.2
	2	0.0233	0.19	0.48	4.36	25.2	13.6	34.3	311.9	892.1
	3	0.0238	0.19	0.49	4.41	25.3	13.3	34.3	308.8	896.1
	4	0.0229	0.18	0.48	4.28	25.5	13.1	34.9	311.5	903.9
	5	0.0226	0.18	0.47	4.21	25.4	13.3	34.7	310.5	900.0
	6	0.0232	0.19	0.47	4.31	25.4	13.6	33.8	309.6	900.0
	Avg					26.0	13.4	34.4	310.5	896.7
Stdev						0.2	0.4	1.1	5.8	
85/15	1	0.0233	0.18	0.46	4.31	25.5	12.9	32.9	308.3	903.9
	2	0.0227	0.17	0.45	4.20	25.6	12.5	33.0	308.4	907.9
	3	0.0241	0.18	0.47	4.45	25.7	12.4	32.5	307.7	911.8
	4	0.0236	0.18	0.46	4.36	25.8	12.7	32.5	307.9	915.7
	5	0.0218	0.17	0.44	4.02	25.9	13.0	33.6	307.3	919.7
	6	0.0244	0.18	0.48	4.51	25.7	12.3	32.8	308.1	911.8
	Avg						12.6	32.9	308.0	911.8
Stdev						0.3	0.4	0.4	5.6	
80/20	1	0.0236	0.17	0.44	4.29	25.9	12.0	31.1	303.0	919.7
	2	0.0245	0.17	0.45	4.49	25.8	11.6	30.6	305.4	915.7
	3	0.0236	0.17	0.44	4.33	25.9	12.0	31.1	305.8	919.7
	4	0.0237	0.17	0.44	4.31	26.0	12.0	30.9	303.1	923.6
	5	0.0220	0.17	0.41	4.05	26.1	12.9	31.1	306.8	927.6
	6	0.0233	0.17	0.44	4.29	26.1	12.2	31.5	306.9	927.6
	Avg						12.1	31.0	305.2	922.3
Stdev						0.4	0.3	1.7	4.8	

ตารางที่ ง-18 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (chlorinated glove) ที่ใช้น้ำยางผสม NR/NBR ในอัตราส่วน 75/25 โดยน้ำหนัก

No. of Data	Thickness (mm)	F300 (kg _p)	F500 (kg _p)	Fb (kg _p)	Extension (cm)	M_{300} (kg/cm ²)	M_{500} (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	Eb (%)
1	0.0223	0.19	0.47	4.21	25.2	14.2	35.1	314.6	892.1
2	0.0223	0.19	0.47	4.20	25.8	14.2	35.1	313.9	915.7
3	0.0229	0.20	0.49	4.31	25.1	14.6	35.7	313.7	888.2
4	0.0227	0.19	0.48	4.28	25.8	14.0	35.2	314.2	915.7
5	0.0231	0.20	0.49	4.35	25.2	14.4	35.4	313.9	892.1
6	0.0235	0.20	0.50	4.42	25.6	14.2	35.5	313.5	907.9
Avg						14.3	35.3	314.0	902.0
1	0.0231	0.20	0.49	4.31	25.5	14.4	35.4	311.0	903.9
2	0.0224	0.19	0.48	4.21	25.9	14.1	35.7	313.2	919.7
3	0.0235	0.20	0.50	4.42	25.1	14.2	35.5	313.5	888.2
4	0.0238	0.20	0.51	4.49	25.6	14.0	35.7	314.4	907.9
5	0.0237	0.20	0.50	4.46	25.4	14.1	35.2	313.6	900.0
6	0.0238	0.20	0.51	4.47	25.5	14.0	35.7	313.0	903.9
Avg						14.1	35.5	313.1	903.9
1	0.0224	0.19	0.48	4.21	25.3	14.1	35.7	313.2	896.1
2	0.0233	0.20	0.50	4.41	25.5	14.3	35.8	315.5	903.9
3	0.0232	0.20	0.50	4.35	25.4	14.4	35.9	312.5	900.0
4	0.0240	0.21	0.51	4.50	25.8	14.6	35.4	312.5	915.7
5	0.0218	0.19	0.46	4.10	25.6	14.5	35.2	313.5	907.9
6	0.0219	0.19	0.47	4.09	25.5	14.5	35.8	311.3	903.9
Avg						14.4	35.6	313.1	904.6
1	0.0239	0.21	0.51	4.51	25.5	14.6	35.6	314.5	903.9
2	0.0246	0.21	0.52	4.59	25.6	14.2	35.2	311.0	907.9
3	0.0245	0.21	0.52	4.61	25.4	14.3	35.4	313.6	900.0
4	0.0230	0.20	0.49	4.35	25.4	14.5	35.5	315.2	900.0
5	0.0241	0.21	0.51	4.52	25.6	14.5	35.3	312.6	907.9
6	0.0243	0.21	0.52	4.60	25.4	14.4	35.7	315.5	900.0
Avg						14.4	35.4	313.7	903.3
Average						14.3	35.5	313.5	903.4
Stdev						0.2	0.2	1.2	8.5

ตารางที่ ง-19 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (chlorinated glove) ที่ใช้น้ำยผสม NR/CR/NBR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description		Thickness (mm)	F300 (kg _p)	F500 (kg _p)	Fb (kg _p)	Extension (cm)	M_{300} (kg/cm ²)	M_{500} (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	Eb (%)
75/5/20	1	0.0234	0.23	0.54	4.54	23.7	16.4	38.5	323.4	833.1
	2	0.0231	0.23	0.53	4.50	23.9	16.6	38.2	324.7	840.9
	3	0.0231	0.23	0.53	4.49	23.9	16.6	38.2	324.0	840.9
	4	0.0231	0.23	0.53	4.49	23.8	16.6	38.2	324.0	837.0
	5	0.0228	0.22	0.53	4.45	24.0	16.1	38.7	325.3	844.9
	6	0.0232	0.23	0.53	4.52	23.8	16.5	38.1	324.7	837.0
	Avg						16.5	38.3	324.3	839.0
	Stdev						0.2	0.2	0.7	4.1
75/10/15	1	0.0241	0.25	0.56	4.71	23.5	17.3	38.7	325.7	825.2
	2	0.0231	0.24	0.54	4.53	23.7	17.3	39.0	326.8	833.1
	3	0.0240	0.25	0.56	4.70	23.4	17.4	38.9	326.4	821.3
	4	0.0219	0.23	0.51	4.29	23.5	17.5	38.8	326.5	825.2
	5	0.0221	0.23	0.51	4.32	23.3	17.3	38.5	325.8	817.3
	6	0.0228	0.24	0.53	4.46	23.5	17.5	38.7	326.0	825.2
	Avg						17.4	38.8	326.2	824.5
	Stdev						0.1	0.2	0.4	5.2
75/15/10	1	0.0223	0.23	0.53	4.40	23.1	17.2	39.6	328.8	809.4
	2	0.0238	0.25	0.56	4.68	23.3	17.5	39.2	327.7	817.3
	3	0.0239	0.25	0.57	4.70	23.2	17.4	39.7	327.8	813.4
	4	0.0235	0.25	0.56	4.63	23.2	17.7	39.7	328.4	813.4
	5	0.0233	0.25	0.56	4.59	23.2	17.9	40.1	328.3	813.4
	6	0.0238	0.25	0.57	4.68	23.2	17.5	39.9	327.7	813.4
	Avg						17.5	39.7	328.1	813.4
	Stdev						0.2	0.3	0.5	2.5
75/20/5	1	0.0241	0.26	0.58	4.80	22.9	18.0	40.1	332.0	801.6
	2	0.0225	0.24	0.54	4.48	23.1	17.8	40.0	331.9	809.4
	3	0.0239	0.26	0.58	4.75	22.7	18.1	40.4	331.2	793.7
	4	0.0231	0.25	0.56	4.58	23.2	18.0	40.4	330.4	813.4
	5	0.0234	0.25	0.57	4.65	23.2	17.8	40.6	331.2	813.4
	6	0.0225	0.24	0.54	4.48	22.9	17.8	40.0	331.9	801.6
	Avg						17.9	40.3	331.4	805.5
	Stdev						0.2	0.3	0.6	7.9

ตารางที่ ง-20 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (chlorinated glove) ที่ใช้น้ำยางผสม CR/NBR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description	Thickness (mm)	F300 (kg _p)	F500 (kg _p)	Fb (kg _p)	Extension (cm)	M ₃₀₀ (kg/cm ²)	M ₅₀₀ (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	Eb (%)	
0/5/95	1	0.0223	0.20	0.49	4.25	24.8	14.9	36.6	317.6	876.4
	2	0.0237	0.21	0.52	4.52	25.1	14.8	36.6	317.9	888.2
	3	0.0232	0.20	0.51	4.43	24.8	14.4	36.6	318.2	876.4
	4	0.0234	0.21	0.51	4.47	25.2	15.0	36.3	318.4	892.1
	5	0.0235	0.21	0.51	4.51	25.2	14.9	36.2	319.9	892.1
	6	0.0242	0.21	0.53	4.62	24.9	14.5	36.5	318.2	880.3
	Avg						14.7	36.5	318.4	884.3
	Stdev						0.3	0.2	0.8	7.5
0/10/90	1	0.0241	0.22	0.54	4.64	24.2	15.2	37.3	320.9	852.8
	2	0.0235	0.22	0.53	4.52	24.4	15.6	37.6	320.6	860.6
	3	0.0232	0.22	0.52	4.46	24.1	15.8	37.4	320.4	848.8
	4	0.0241	0.22	0.54	4.63	24.5	15.2	37.3	320.2	864.6
	5	0.0235	0.22	0.52	4.51	24.5	15.6	36.9	319.9	864.6
	6	0.0241	0.22	0.54	4.62	24.2	15.2	37.3	319.5	852.8
	Avg						15.4	37.3	320.2	857.3
	Stdev						0.3	0.2	0.5	6.8
0/15/85	1	0.0234	0.22	0.53	4.52	23.8	15.7	37.7	321.9	837.0
	2	0.0232	0.22	0.52	4.49	24.4	15.8	37.4	322.6	860.6
	3	0.0234	0.22	0.53	4.52	24.1	15.7	37.7	321.9	848.8
	4	0.0235	0.23	0.53	4.55	24.4	16.3	37.6	322.7	860.6
	5	0.0225	0.22	0.51	4.35	24.2	16.3	37.8	322.2	852.8
	6	0.0226	0.22	0.51	4.36	23.9	16.2	37.6	321.5	840.9
	Avg						16.0	37.6	322.1	850.1
	Stdev						0.3	0.2	0.4	9.9
0/20/80	1	0.0244	0.24	0.54	4.75	23.8	16.4	36.8	323.9	837.0
	2	0.0239	0.24	0.55	4.65	24.0	16.7	38.4	324.3	844.9
	3	0.0238	0.23	0.54	4.63	23.9	16.1	37.8	324.2	840.9
	4	0.0240	0.24	0.55	4.67	24.3	16.7	38.2	324.3	856.7
	5	0.0233	0.23	0.54	4.54	24.0	16.5	38.6	324.7	844.9
	6	0.0245	0.24	0.56	4.77	24.0	16.3	38.1	324.5	844.9
	Avg						16.4	38.0	324.3	844.9
	Stdev						0.2	0.6	0.3	6.6

ตารางที่ ง-21 คุณสมบัติการทนต่อแรงดึงของถุงมือ (chlorinated glove) ที่ใช้น้ำยางผสม NR/CR ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

Description	Thickness	F300	F500	Fb	Extension	M_{300}	M_{500}	TS	Eb	
	(mm)	(kg _p)	(kg _p)	(kg _p)	(cm)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)	
95/5	1	0.0216	0.19	0.49	4.12	24.2	14.7	37.8	317.9	852.8
	2	0.0226	0.20	0.51	4.33	24.4	14.7	37.6	319.3	860.6
	3	0.0220	0.19	0.50	4.21	24.1	14.4	37.9	318.9	848.8
	4	0.0223	0.20	0.50	4.26	24.5	14.9	37.4	318.4	864.6
	5	0.0220	0.19	0.50	4.21	24.3	14.4	37.9	318.9	856.7
	6	0.0216	0.19	0.49	4.12	24.3	14.7	37.8	317.9	856.7
	Avg						14.6	37.7	318.6	856.7
	Stdev						0.2	0.2	0.6	5.6
90/10	1	0.0235	0.19	0.52	4.46	24.8	13.5	36.9	316.3	876.4
	2	0.0235	0.19	0.52	4.45	25.0	13.5	36.9	315.6	884.3
	3	0.0230	0.19	0.52	4.36	24.9	13.8	37.7	315.9	880.3
	4	0.0230	0.19	0.52	4.36	25.3	13.8	37.7	315.9	896.1
	5	0.0240	0.20	0.52	4.55	25.1	13.9	36.1	316.0	888.2
	6	0.0232	0.19	0.52	4.41	25.0	13.6	37.4	316.8	884.3
	Avg						13.7	37.1	316.1	884.9
	Stdev						0.2	0.6	0.4	6.8
85/15	1	0.0231	0.18	0.50	4.36	25.2	13.0	36.1	314.6	892.1
	2	0.0231	0.18	0.50	4.35	25.4	13.0	36.1	313.9	900.0
	3	0.0238	0.19	0.52	4.48	25.3	13.3	36.4	313.7	896.1
	4	0.0236	0.19	0.51	4.46	25.6	13.4	36.0	315.0	907.9
	5	0.0236	0.19	0.51	4.45	25.6	13.4	36.0	314.3	907.9
	6	0.0233	0.19	0.51	4.39	25.3	13.6	36.5	314.0	896.1
	Avg						13.3	36.2	314.2	900.0
	Stdev						0.2	0.2	0.5	6.6
80/20	1	0.0246	0.18	0.52	4.58	25.6	12.2	35.2	310.3	907.9
	2	0.0228	0.17	0.48	4.25	25.6	12.4	35.1	310.7	907.9
	3	0.0229	0.17	0.49	4.28	25.5	12.4	35.7	311.5	903.9
	4	0.0239	0.17	0.51	4.46	25.8	11.9	35.6	311.0	915.7
	5	0.0227	0.17	0.48	4.25	25.8	12.5	35.2	312.0	915.7
	6	0.0249	0.19	0.53	4.65	25.7	12.7	35.5	311.2	911.8
	Avg						12.3	35.4	311.1	910.5
	Stdev						0.3	0.2	0.6	4.8

รูปแสดงพื้นผิวของถุงมือด้านที่เคลือบด้วยชั้นยางไนไตรล์ (ด้านสัมผัสกับผู้ใช้) โดยใช้ตัวอย่างผสม
ในระบบที่แตกต่างกันหลังจากกระบวนการล้างคลอรีน



NR/NBR 75:25 intermediate latex blends (control sample)









CR/NBR 15:85 intermediate latex blends



CR/NBR 20:80 intermediate latex blends



NR/CR 95:5 intermediate latex blends



NR/CR 90:10 intermediate latex blends



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นายดำรงค์ คุ่มเขตร์
 ที่อยู่ 124/81 หมู่ 3 ตำบลบ่อวิน อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230
 เบอร์โทรศัพท์ มือถือ 08-4352-7993 บ้าน 0-5632-3106

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ จากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม
 พ.ศ. 2547 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2544 ฝึกงานอยู่แผนก Technical & Development Research
 C.P. Petrochemicals Co., Ltd. (Rigid PVC Plant, Rayong)
 พ.ศ. 2545 ทำงานตำแหน่ง **Production Supervisor**, Production Department,
 UMW Auto Parts (Thailand) Co., Ltd. (Rayong)
 พ.ศ. 2546 ทำงานตำแหน่ง **Research Technical Staff**, Technical Research Center,
 Thainox Steel Limited (Rayong)
 พ.ศ. 2547 ทำงานตำแหน่ง **Process Coordinator**, Manufacturing Technologies Department,
 Cardinal Health 222 (Thailand) Limited (Rayong)
 พ.ศ. 2549 ทำงานตำแหน่ง **Process Engineer**, Manufacturing Technologies Department,
 Cardinal Health 222 (Thailand) Limited (Rayong)