การศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

STUDY OF BREAST CANCER RUBBER TRAINING MODEL MADE FROM NATURAL RUBBER FOAM

นางสาวสุภาภรณ์ คลี่ใบ

นางสาวสุมัทนา นาคฤทธิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

STUDY OF BREAST CANCER RUBBER TRAINING MODEL MADE FROM NATURAL RUBBER FOAM

นางสาวสุภาภรณ์ คลี่ใบ

นางสาวสุมัทนา นาคฤทธิ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

STUDY OF BREAST CANCER RUBBER TRAINING MODEL MADE FROM NATURAL RUBBER FOAM

MISS SUPAPORN KLEEBAI

MISS SUMATHANA NAKARIT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ (Study of Breast Cancer Rubber Training Model made from Natural Rubber Foam)		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุภาภรณ์	คลี่ใบ	รหัสนักศึกษา 54050314
	นางสาวสุมัทนา	นาคฤทธิ์	รหัสนักศึกษา 54050315
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ้งชัด		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ (Study of Breast Cancer Rubber Training Model made from Natural Rubber Foam)		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุภาภรณ์	คลี่ใบ	รหัสนักศึกษา 54050314
	นางสาวสุมัทนา	นาคฤทธิ์	รหัสนักศึกษา 54050315
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด		

บทคัดย่อ

มะเร็งเต้านมเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ของผู้หญิง มะเร็งเต้านมสามารถรักษาให้หายได้ และมีอัตราการเสียชีวิตลดลงอย่างมากถ้าตรวจพบในระยะเริ่มต้น แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรมบุคคลากรทางการแพทย์ในการฝึกตรวจมะเร็งเต้านม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม จากโฟมยางธรรมชาติ (NR) เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและสามารถผลิตได้ในเชิงพาณิชย์ โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่นโฟมยางธรรมชาติ ที่มีผลต่อความหนาแน่น ความแข็ง การยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัด และสัณฐานวิทยาของโฟม รวมทั้งทดลองขึ้นรูปแบบจำลองแบบเล็กและใหญ่ ศึกษาการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน และศึกษาการฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมวล (Mass) ได้แก่ก้อนซีสต์ เนื้องอก และมะเร็ง แล้วทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจกับบุคคลากรทางการแพทย์ จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันทำให้ความแข็งและความหนาแน่นของโฟมเพิ่มขึ้น ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดลดลง พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยางธรรมชาติ แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโฟมยางถ้าปริมาณ SSF มีค่ามากถึงค่าหนึ่ง ในการศึกษาเวลาการปั่น KO และความเร็วการปั่นพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการปั่น KO หรือระดับความเร็วในการปั่น ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโฟมยางธรรมชาติลดลง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มขึ้น ในการศึกษาการเคลือบผิวแบบจำลองยางด้วยยางซิลิโคน พบว่าเกิดปัญหาการยึดติดระหว่างผิวซิลิโคนกับโฟมยาง ทำให้ต้องมีการพัฒนาต่อไป จากการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ด้วยแบบสอบถามพบว่า บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองยางแบบใหญ่มากกว่าแบบเล็ก ส่วนการฝังก้อนซีสต์ ก้อนเนื้องอก และก้อนมะเร็ง พบว่าในแบบจำลองยางแบบเล็ก มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าแบบจำลองยางขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : โฟมยางธรรมชาติ แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

Special Project Title	Study of Breast Cancer Rubber Training Model made from Natural Rubber Foam		
Students	Miss Supaporn	Kleebai	Student ID 54050314
	Miss Sumathana	Nakarit	Student ID 54050315
Degree	Bachelor of Science (Industrial chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2014		
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol Jangchud		

Abstract

Nowadays, breast cancer is one of the most fatal causes of death in women. Breast cancer can be cured if the cancer is found in the early stage. "Breast cancer training model" is one of the most important tools for training medical personnel to identify breast mass. This research work was focused on preparing the breast cancer training model from natural rubber (NR) foam which is cheap, naturally abundant, and practical to be used by medical personnel in hospitals. Factors affecting NR foam properties were studied, i.e., sulfur loading, SSF loading, speed and stirring time of potassium oleate (KO). Studied properties of NR foam included density, hardness, compression set, and morphology. An attempt to coat the foam model with silicone skin was also studied. Finally, questionnaires about the satisfaction in using the models with different sizes (small and big), hardness, and ability to identify the mass were carried out. It was found that hardness and density of NR foam tended to increase and %compression set was decreased when sulfur loading was increased (0.5-2 phr). SSF affected gel time of NR foam, however, foam hardness and density were unaffected by SSF when it reached a minimum loading. When stirring time of KO and stirring speed of NR were increased, foam density and hardness were decreased and %compression set was increased. When mixing batch size was increased, properties of NR foam were slightly changed. In the attempt to coat the NR model with silicone, adhesion problems were found. More studies are needed. By using questionnaires, satisfaction of using the NR models was tested by medical personnel. It was found that large model was more preferred than small one. However, the small model was more satisfied in terms of the realistic embedded mass.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords : Rubber foam, Breast cancer training model

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด และคณะกรรมการสอบ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้เป็นอย่างดี รวมถึงอาจารย์ภาคเคมีทุกท่าน

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือแระอำนวยความสะดวกในทุกๆด้านอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ นพ.ยอดยิ่ง วาสุถิตย์ และบุคลากรทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโรงมะเร็งเต้านม และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและบุคคลในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกคนที่ให้กำลังใจและให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานพิเศษฉบับนี้

นางสาวสุภาภรณ์ คลี่ใบ

นางสาวสุมัทนา นาคฤทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ฎ

สารบัญรูป.....ฐ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยาง.....6

2.1.1 ยางธรรมชาติ.....6

2.1.1.1 สมบัติของยางธรรมชาติ.....6

2.1.1.2 การแข็งตัวขณะเก็บรักษา.....7

2.1.1.3 การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของสายโมเลกุล.....8

2.1.1.4 ส่วนประกอบของยางธรรมชาติ.....9

2.2 วิวัฒนาการใช้ประโยชน์จากยาง.....11

2.2.1 การใช้น้ำยางโดยตรง.....11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.3 น้ำยางธรรมชาติ....12

2.3.1 การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำยางธรรมชาติ....12

2.3.2 สารรักษาสภาพน้ำยาง....13

2.3.2.1 สมบัติของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง....14

2.3.2.2 ชนิดของสารรักษาสภาพน้ำยาง....14

2.3.3 สารทำให้น้ำยางจับตัว....17

2.3.4 วัตถุดิบยางธรรมชาติ....17

2.3.4.1 ยางแห้ง....17

2.3.4.2 น้ำยางข้น....18

2.4 น้ำยางข้น และน้ำยางคงรูป....18

2.4.1คุณภาพน้ำยางสด....19

2.4.1.1 จำนวนกรดไขมันระเหยได้....19

2.4.1.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง....19

2.4.1.3 ปริมาณแมกนีเซียม....20

2.4.1.4 การรักษาสภาพและการรวบรวมน้ำยางสด....20

2.4.2 วิธีการผลิตน้ำยางข้น....21

2.4.2.1 วิธีการระเหยน้ำ....21

2.4.2.2 วิธีการทำให้เกิดครีม....22

2.4.2.3 วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า....23

2.4.2.4 วิธีการปั่น....23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.2.4.1 การรวบรวม และรักษาสภาพของน้ำยางข้น.....25

2.4.2.4.2 การเก็บ และการขนส่งน้ำยางข้น.....25

2.4.3ชนิดของน้ำยางข้น.....26

2.5 การผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง.....27

2.5.1สารประกอบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง.....27

2.5.2สารทำให้ยางคงรูป.....28

2.5.3 สารตัวเร่งให้ยางคงรูป.....29

2.5.4 สารตัวกระตุ้นสารตัวเร่ง.....29

2.5.5สารตัวเติม.....29

2.5.6สารช่วยในกรรมวิธีการผลิต.....30

2.5.7 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ.....30

2.5.8 สารอื่นๆ.....31

2.6 การขึ้นรูปโฟมยาง.....32

2.6.1 การผลิตโฟมยางจากลาเท็กซ์.....32

2.6.1.1 การเกิดโฟมด้วยวิธีแบบดันลอป.....32

2.6.1.2การเกิดโฟมด้วยวิธีแบบทาลาเลย์.....33

2.7 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตโฟมยาง.....33

2.7.1 กำมะถัน.....33

2.7.2 DEC.....34

2.7.3 ZMBT.....34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7.4 DPG.....35

2.7.5 ซิงค์ออกไซด์.....35

2.7.6 Antioxidant wingstay L.....35

2.7.7 โพแทสเซียมโอลิเอต.....36

2.7.8 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์.....36

2.8 ยางซิลิโคน.....36

2.9 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม.....39

2.9.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม.....39

2.9.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม.....41

2.9.3 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง.....43

2.9.3.1 การดู.....43

2.9.3.2 การคลำ.....43

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....47

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....49

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....49

3.1.2 สารเคมี.....49

3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....51

3.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยาง
ธรรมชาติแบบไม่มีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน.....51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.2.2 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยาง
ธรรมชาติแบบมีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน.....52

3.2.2.1 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกัน
โดยไม่มีตัวช่วยในการยึดติด.....52

3.2.2.2 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกัน
โดยมีตัวช่วยในการยึดติด.....54

3.2.3 การศึกษาผลของปริมาณกำมะถัน.....57

3.2.4 การศึกษาผลปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว.....57

3.2.5 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน.....57

3.2.6 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซีไฟเออร์.....57

3.2.7 การศึกษาผลของจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง.....57

3.2.8 การทดลองฝังก้อนของแข็งแทนก้อนมะเร็ง.....58

3.2.8.1 ขั้นตอนการเตรียมก้อนของแข็ง.....58

3.2.8.2 ขั้นตอนการฝังก้อนของแข็งในแบบจำลองยางฝึกตรวจ
มะเร็งเต้านม.....59

3.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน.....60

3.3.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอก (ยางซิลิโคน).....60

3.3.2 ส่วนที่เป็นชั้นใน (ยางธรรมชาติ).....60

3.3.3 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ
และมีการเคลือบผิวด้านนอกด้วยยางซิลิโคน.....62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การทดลองสูตรโฟมยางธรรมชาติ....63

4.1.1 การศึกษาปริมาณกำมะถัน....63

4.1.2 การศึกษาปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว....65

4.1.3 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต....67

4.1.4 การศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวน....69

4.1.5 จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง....71

4.1.6 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)....73

4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ....75

4.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม....76

4.3 การเคลือบผิวแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน....76

4.3.1 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของยางซิลิโคน (Tensile strength)....76

4.3.2 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกัน....76

4.4 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม....77

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย....82

5.2 ข้อเสนอแนะ....83

เอกสารอ้างอิง....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางสดและของยางแห้ง....9

2.2 ผลกระทบของสารที่ไม่ใช่ยางต่อสมบัติยางธรรมชาติ....10

2.3 ชนิดของน้ำยางข้นและสารรักษาสภาพ....26

2.4 การจัดกลุ่มยางและสารสำหรับทำผลิตภัณฑ์ยาง....27

2.5 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ....38

3.1 แสดงปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ....50

4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณกำมะถันที่แตกต่างกัน....64

4.2 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัวที่แตกต่างกัน....66

4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้เวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตที่แตกต่างกัน....68

4.4 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนที่แตกต่างกัน....70

4.5 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางแตกต่างกัน....71

4.6 แสดงสูตรโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง....75

4.7 แสดงความแข็งของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม....76

4.8 ผลการทดลองการเคลือบผิวแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน....77

4.9 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก....78

4.10 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบใหญ่....79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง **หน้า**

5.1 แสดงสูตรโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง.....83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม....1

1.2 แบบจำลองเชิงพาณิชย์....3

2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ....7

2.2 ผลของโครงสร้างโมเลกุลต่อการเกิดผลึกของพอลิเมอร์....8

2.3 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด....12

2.4 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง....13

2.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางต่อจำนวนบักเตรี....15

2.6 ภาพหน้าตัดตามยาวของหัวปั่นน้ำยางข้น....24

2.7 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC....34

2.8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT....34

2.9 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG....35

2.10 โครงสร้างของ Antioxidant wingstay L....35

2.11 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน....37

2.12 แสดงลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง....40

2.13 แสดงลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง....40

2.14 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม....43

2.15 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่าวางมือข้างลำตัวในลักษณะผ่อนคลาย....44

2.16 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่ายกมือขึ้นไว้เหนือศีรษะ....44

2.17 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่าวางมือไว้ที่เอว เกร็งหน้าอก และก้มตัวลงมาข้างหน้า....45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.18 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบก้นหอย....46

2.19 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย....46

2.20 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง....46

3.1 สารเคมีและน้ำยางธรรมชาติ....51

3.2 การเทสารเคมีสำหรับการปั่นโฟมยาง....51

3.3 การปาดฟองผิวหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ....52

3.4 การชั่งซิลิโคนเหลวใสในภาชนะสำหรับผสม....52

3.5 การทายางซิลิโคนเคลือบผิวด้านในของแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์....53

3.6 การเทโฟมยางธรรมชาติลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีการเคลือบซิลิโคนเหลวอยู่ด้านใน....53

3.7 การปาดฟองผิวหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ....54

3.8 การวางผ้าซับยางบนผิวของซิลิโคน....54

3.9 แสดงโฟมยางธรรมชาติที่แกะออกมาจากแม่พิมพ์....55

3.10 แสดงชั้นยางซิลิโคนเหลวที่แข็งตัวแล้ว....56

3.11 แสดงชั้นยางซิลิโคนที่แกะออกจากแม่พิมพ์....56

3.12 แสดงการบีบไกปืนให้เนื้อกาวไหลติดบนโฟมยางธรรมชาติ....57

3.13 แสดงลักษณะของเจลทำความสะอาดคีบอร์ด เจลของเล่น และยางซิลิโคนแบบนิ่ม....58

3.14 แสดงการบรรจุเจลของเล่นลงในถุงมือยาง....58

3.15 แสดงลักษณะของก้อนของแข็งทั้ง 3 แบบ....59

3.16 แสดงลักษณะการกรีดแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้า....59

3.17 แสดงลักษณะการนำก้อนของแข็งมาใส่ในแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม....59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณกำมะถัน.....64

4.2 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10X เมื่อใช้ปริมาณกำมะถัน ที่แตกต่างกัน.....65

4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ SSF.....66

4.4 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10X เมื่อใช้ปริมาณ SSF แตกต่างกัน.....67

4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาที่ใช้ในการปั่น โพแทสเซียมโอลิเอต.....68

4.6 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10X เวลาในการปั่นกวน โพแทสเซียมโอลิเอตที่แตกต่างกัน.....69

4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับระดับความเร็วการปั่นกวน.....70

4.8 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10X เมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวน แตกต่างกัน.....71

4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง (Hardness) กับ จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง.....72

4.10 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย10X.....72

4.11 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ระดับความเร็วปั่นกวนระดับ 1.....73

4.12 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ระดับความเร็วปั่นกวนระดับ 3.....73

4.13 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ SSF 0.5 phr.....74

4.14 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ SSF 0.5 phr.....74

4.15 แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....77

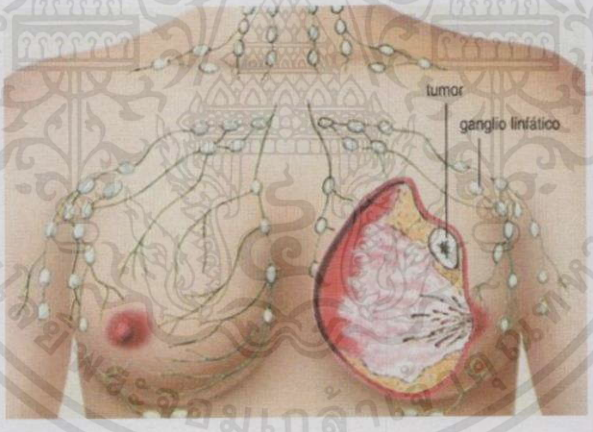
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันมะเร็งเต้านม (Breast cancer) ถือเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตอันดับต้นๆ ในผู้หญิง มะเร็งเต้านมเกิดจากความผิดปกติของเซลล์ที่อยู่ภายในท่อน้ำนมหรือต่อมน้ำนม ดังแสดงในรูปที่ 1.1 เซลล์เหล่านี้มีการแบ่งตัวผิดปกติ ไม่สามารถควบคุมได้ มักแพร่กระจายไปตามทางเดินน้ำเหลือง ไปสู่อวัยวะที่ใกล้เคียงเช่น ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ หรือแพร่กระจายไปสู่อวัยวะที่อยู่ห่างไกล เช่น กระดูก ปอด ตับ และสมอง เช่นเดียวกับมะเร็งชนิดอื่นๆ เมื่อเซลล์มะเร็งมีจำนวนมากขึ้นก็จะแย่งสารอาหารและปล่อยสารบางอย่างที่เป็นอันตรายและทำลายอวัยวะต่างๆ จนทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตในที่สุด [1]



รูปที่ 1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม [2]

มะเร็งเต้านมพบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย โดยผู้ชายมีโอกาสพบได้น้อยมากเพียง 1% ของมะเร็งเต้านมทั้งหมด จากสถิติของสถานวิทยามะเร็ง โรงพยาบาลศิริราชพบว่ามะเร็งเต้านมเป็นอันดับหนึ่งของมะเร็งทั้งหมดในผู้หญิงไทย และมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้นทุกปี [1]

ผู้หญิงทุกคนมีโอกาสป่วยเป็นมะเร็งเต้านม สถิติในปัจจุบันพบผู้ป่วยมะเร็งเต้านมเฉลี่ยประมาณ 30-40 คนต่อประชากร 100,000 คน ผู้หญิงในกลุ่มที่มีโอกาสเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเต้านมสูงกว่าผู้หญิงทั่วไปได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผู้หญิงที่เคยได้รับการวินิจฉัยว่าป่วยเป็นมะเร็งเต้านมหรือมีประวัติคนในครอบครัวป่วยเป็นมะเร็งเต้านม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นญาติใกล้ชิด เช่น แม่ พี่สาวหรือน้องสาว เป็นต้น
- ผู้หญิงที่ไม่มีบุตรหรือมีบุตรคนแรกเมื่ออายุมากกว่า 30 ปี
- ผู้หญิงที่รอบเดือนมาเร็ว และหมดช้า หรือใช้ฮอร์โมนทดแทนเป็นเวลานานกว่า 10 ปี
- ผู้หญิงที่มีอายุตั้งแต่อายุ 40 ปีขึ้นไป

ผู้หญิงในกลุ่มเหล่านี้มีความเสี่ยงที่จะเป็นมะเร็งเต้านมสูงกว่าผู้หญิงทั่วไปราว 1.5 เท่า แต่หากว่าญาติใกล้ชิดซึ่งป่วยเป็นมะเร็งเต้านมได้รับการวินิจฉัยขณะที่มีอายุต่ำกว่า 40 ปีจะเพิ่มความเสี่ยงเป็นประมาณ 3 เท่าของผู้หญิงปกติ

มะเร็งเต้านมส่วนน้อยเท่านั้นที่เกิดขึ้นจากการถ่ายทอดความผิดปกติทางพันธุกรรม ผู้ป่วยมะเร็งเต้านมส่วนใหญ่ไม่มีความผิดปกติทางพันธุกรรม แต่เกิดจากความผิดปกติของเซลล์ซึ่งเกิดขึ้นภายหลัง และโดยมากเกิดเมื่ออายุมาก เช่น อายุที่พบบ่อยที่สุดในมะเร็งเต้านมได้แก่อายุประมาณ 45 -50 ปี

ผู้หญิงที่เป็นมะเร็งเต้านมในประเทศไทยส่วนมากจะมาพบแพทย์ด้วยปัญหาก้อนที่เต้านม ซึ่งอาจมีขนาดของก้อนมะเร็งใหญ่เล็กแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการมีก้อนที่เต้านมในผู้หญิงไม่ได้หมายความว่าจะต้องเป็นมะเร็งเสมอไป ก้อนในเต้านมส่วนมากไม่ใช่มะเร็ง จากสถิติพบว่าถ้าพบก้อนที่เต้านมในผู้หญิงที่อายุน้อยกว่า 30 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งเพียง 1.4 % แต่ถ้าพบก้อนในผู้หญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งสูงถึง 58 % และนอกจากก้อนที่เต้านมแล้วอาการอย่างอื่นที่ควรรีบไปพบแพทย์ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของผิวหนังบริเวณหน้าอก เช่น มีรอยบุ๋ม ย่น หดตัว หนา ผิดปรกติคล้ายเปลือกส้ม หรือบางส่วนเกิดเป็นสะเก็ด ความเปลี่ยนแปลงของหัวนม เช่น มีการหดตัว หัวนมบอด คันหรือแดงผิดปรกติ เลือดออกทางหัวนม อาการเจ็บเต้านม หรือ มีก้อนที่รักแร้

มะเร็งเต้านมสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ [1]

- <u>ระยะที่หนึ่ง</u> ก้อนมะเร็งมีขนาดเล็กกว่า 2 ซม. และยังไม่มีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้
- <u>ระยะที่สอง</u> ก้อนมะเร็งมีขนาดระหว่าง 2 - 5 ซม. และ/หรือมีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปยังต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ข้างเดียวกัน
- <u>ระยะที่สาม</u> ก้อนมะเร็งมีขนาดใหญ่กว่า 5 ซม. แพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ข้างเดียวกันอย่างมาก จนทำให้ต่อมน้ำเหลืองเหล่านั้นมารวมติดกันเป็นก้อนใหญ่หรือติดแน่นกับอวัยวะข้างเคียง
- <u>ระยะที่สี่</u> ก้อนมะเร็งมีขนาดโตเท่าไหร่ก็ได้ แต่พบว่ามีการแพร่กระจายไปยังส่วนอื่นของร่างกายที่อยู่ไกลออกไป เช่น กระดูก ปอด ตับ หรือสมอง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มะเร็งเต้านมสามารถรักษาให้หายขาดได้หากเป็นในระยะเริ่มต้น ดังนั้นการตรวจมะเร็งเต้านมด้วยตนเองจึงเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่จะช่วยป้องกันการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ได้โฟมยางที่มีสมบัติตามต้องการ เช่น ผลของปริมาณสารเชื่อมโยง, ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ และ ความเร็วการปั่นกวน เป็นต้น นอกจากนี้ยังทดลองเตรียมแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ ที่มีการเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน การทดลองฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนในเต้านม ทำการปรับสูตรเพื่อให้ได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง มีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริงและผลิตขายในเชิงพาณิชย์ รูปที่ 1.2 เป็นภาพแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์ที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ในการตรวจมะเร็งเต้านม ซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

รูปที่ 1.2 แบบจำลองเชิงพาณิชย์ [3]

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณสารเชื่อมโยงกำมะถัน, ปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว, ระดับความเร็วในการปั่นกวน และ เวลาในการปั่นกวน รวมทั้งการทำแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติโดยมีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน และการฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนในเต้านม ที่สมจริงและใช้งานได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากแม่แบบปูนปลาสเตอร์ โดยศึกษาวิธีการขึ้นรูป 2 แบบคือ การขึ้นรูปจากโฟมยางธรรมชาติ และการขึ้นรูปจากโฟมยางธรรมชาติที่มีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน
2. ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยเปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมโยงกำมะถันเป็น 4, 3, 2 และ 1 phr สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ
3. ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยเปลี่ยนปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว (SSF) เป็น 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 และ 4.5 phr สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ
4. ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการปั่นเป็นระดับ 1, 2 และ 3 (537, 777 และ 956 rpm) สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ
5. ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์เป็น 1, 3, 5 และ 7 นาที สำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ
6. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของโฟมยางธรรมชาติ ได้แก่
   - ความหนาแน่น
   - ความแข็ง (Shore OO)
   - การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด
   - ลักษณะสัณฐานวิทยาฟองของโฟม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) และกล้องจุลทรรศน์ (Optical microscope)
7. ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของยางซิลิโคน ได้แก่
   - ความแข็งแรงดึง ด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM)
8. ศึกษาความแข็งของแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ โดยมีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน
9. ทดลองฝังเจลทำความสะอาดคีย์บอร์ด, เจลของเล่น และ ยางซิลิโคนแบบนิ่ม แทนก้อนซีสต์ ก้อนเนื้องอก และก้อนมะเร็ง ตามลำดับ ในแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม
10. ทดสอบแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมว่ามีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงโดยการทำแบบสอบถาม เพื่อประเมินความพึงพอใจของแพทย์ผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม ที่สามารถผลิตในเชิงพาณิชย์ ราคาถูก สามารถใช้งานได้จริง และมีความสะดวกในการใช้งาน
2. ช่วยเพิ่มมูลค่ายางธรรมชาติ และเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติในประเทศ
3. ช่วยให้สุภาพสตรี พยาบาล บุคลากรทางการแพทย์ และบุคคลทั่วไป มีแบบจำลองราคาถูกที่จะช่วยฝึกตรวจมะเร็งเต้านม ช่วยตรวจพบมะเร็งหรือก้อนเนื้อในระยะเริ่มต้น ช่วยลดผู้ป่วยมะเร็งเต้านม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับยาง

ยาง (Rubber) เป็นสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (Macromolecule) ซึ่งทางเคมีจัดเป็นสารประกอบพอลิเมอร์ (Polymer) นั้น มีสมบัติพิเศษประการหนึ่งที่เป็นเอกลักษณ์ คือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง คำรวม ๆ ของยาง และสารที่เหมือนยางจึงใช้คำว่า "Elastomer"

จากสมบัติความยืดหยุ่นดังกล่าวทำให้ยางถูกใช้เป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในอดีตก่อนสงครามโลกครั้งที่ 1 ประมาณ พ.ศ.2457 วัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางมีเพียงยางที่มาจากธรรมชาติคือจากต้นพืช ซึ่งเรียกว่า "ยางธรรมชาติ" (Natural rubber ; NR) และสืบเนื่องจากต้นพืชสำคัญที่ให้น้ำยางซึ่งนำไปแปรรูปเบื้องต้นเป็นยางดิบชนิดต่างๆ คือต้นพืชในสกุล *Hevea-Brasiliensis* มีศูนย์กลางการปลูกและซื้อขายอยู่ที่เมืองท่าบนฝั่งแม่น้ำอะเมซอน เมืองพาราประเทศบลาซิล โดยที่ในการซื้อขาย "ยาง" จากต้นไม้นี้ใช้ชื่อเรียกว่า "ยางพารา" ซึ่งเป็นชื่อที่คุ้นเคยกันโดยทั่วไปสำหรับประเทศไทย และใช้ชื่อนี้เรียกต้นพืชที่ให้น้ำยางว่า "ต้นยางพารา" นอกจากยางที่ได้มาจากต้นพืชแล้วยังมียางที่ผลิตมาจากวิธีการทางเคมีซึ่งเรียกยางชนิดนี้ว่า "ยางสังเคราะห์หรือยางเทียม" (Synthetic rubber ; SR) [4]

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural rubber ; NR)

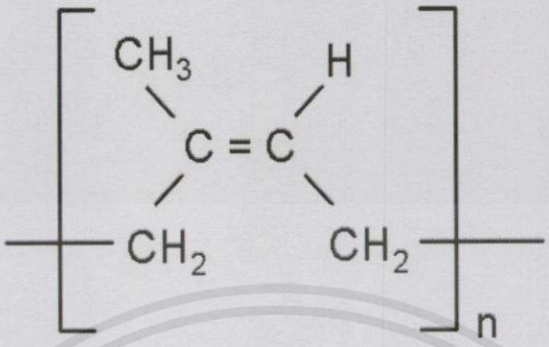
2.1.1.1 สมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่หน่วยย่อยของแต่ละหน่วยประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอม และไฮโดรเจน 8 อะตอม เขียนเป็นสูตรเคมีคือ C_5H_8 เรียกชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (Isoprene)

โครงสร้างหนึ่งโมเลกุลยางประกอบด้วย หน่วยไอโซพรีนที่ประกอบกันเป็นสายเส้นตรงแบบซิส (Linear cis-1,4 polyisoprene) [รูปที่ 2.1] ประมาณ 3,000 ถึง 5,000 หน่วยไอโซพรีน มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 200,000 ถึง 400,000 มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมากซึ่งทำให้ยางธรรมชาติมีลักษณะกระบวนการแปรรูปที่ดีเลิศ (Excellent process behavior) อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปยางธรรมชาตินอกจากประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนแล้วยังมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งเจือปนอื่นๆ ประมาณ 5 % ได้แก่ สารโปรตีน เถ้า สารที่สกัดได้ด้วยอะซิโตน (Acetone extractable) และความชื้น



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (Cis-1,4 polyisoprene) [5]

เนื่องจากแต่ละหน่วยของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) และหมู่อัลฟา-เมทธีลิน (α-methylene group) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยายางคงรูปด้วยกำมะถัน นั่นคือ พันธะคู่ของยางเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการคงรูปด้วยกำมะถัน อย่างไรก็ตามพันธะคู่ดังกล่าวก็ไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจน หรือโอโซน ซึ่งเป็นผลให้ยางเกิดการเสียสภาพ (Degrade) ได้ นอกจากนี้ยังสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาอื่นๆ เช่น ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเกิด Hydrogenated rubber กับคลอรีนเกิด Chlorinate rubber กับไฮโดรเจนคลอรีนเกิด Hydrogen chlorinate rubber

ในขั้นตอนการอบยางด้วยแรงเฉือนสูงภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนเพียงเล็กน้อย จะทำให้สายโมเลกุลยางธรรมชาติขาด ทำให้น้ำหนักโมเลกุลยางลดลงจนสามารถผสมสารต่างๆได้ ซึ่งในโรงงานเรียกขั้นตอนนี้ว่า "การตียาง" (Mastication process)

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 ที่ 20 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำให้ยางเย็นจนแข็งหรือเมื่อยางยืด มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature; Tg) ประมาณ -70 องศาเซลเซียส คือยางจะเปลี่ยนจากมีความยืดหยุ่นเป็นของแข็งและแตกได้คล้ายแก้ว ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงโดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้า (Specific resistivity) ประมาณ $1x10^{15}$–$2x10^{15}$ ohms-cm อย่างไรก็ตามปัจจัยที่เป็นตัวแปรของสมบัติทางไฟฟ้าของยางธรรมชาติขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนที่ละลายน้ำได้ที่มีอยู่ในยาง

2.1.1.2 การแข็งตัวขณะเก็บรักษา (Storage Hardening)

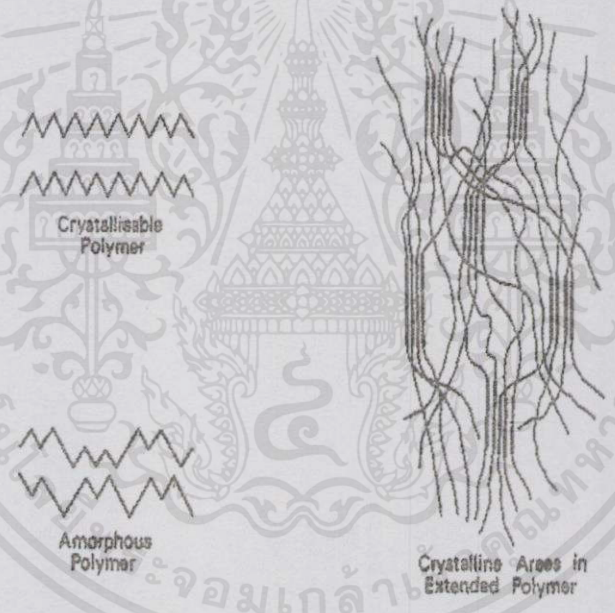
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงสถานะความนิ่มหรือ Viscosity เมื่อเก็บรักษาไว้ช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ โดยที่ปฏิกิริยาการเกิดยางแข็งตัวขณะเก็บรักษาจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นภายใต้เงื่อนไข

อุณหภูมิสูง และความชื้นต่ำ ซึ่งเชื่อว่าปฏิกิริยายางแข็งตัวดังกล่าวเนื่องมาจากหมู่ผิดปกติ (Abnormal group) ในโมเลกุลยางซึ่งอาจเป็นสารกลุ่ม Aldehyde สารนี้ทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนของอะมิโนอิสระและโปรตีนเกิดพันธะเชื่อมโมเลกุล ซึ่งหมู่สารดังกล่าวสามารถถูกทำให้ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี และกีดขวางการเกิดปฏิกิริยายางแข็งตัวขณะเก็บรักษาได้โดยให้ยางทำปฏิกิริยากับ 0.15% Hydroxylamine salt จะได้ยางที่มีค่า Viscosity เสถียร โดยมีความเปลี่ยนแปลงของค่า Viscosity เพียง 4-8 หน่วยภายหลังการเก็บไว้ที่อุณหภูมิปกติประมาณ 5 ปี

2.1.1.3 การเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของสายโมเลกุล (Crystallization)

คำว่า Crystallization ในกรณีของ High polymer หมายถึงบริเวณที่สายโมเลกุลเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบมากกว่าหมายถึงการเกิดผลึก (Discrete crystal) โครงสร้างการจัดเรียงตัวเป็นผลึกของพอลิเมอร์แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลของโครงสร้างโมเลกุลต่อการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ [4]

ยางธรรมชาติในสภาวะอุณหภูมิห้องมีสถานะเป็นอสัณฐาน (Amorphous) แต่โดยที่สายโมเลกุลมีลักษณะ High steroregularity ดังนั้นยางธรรมชาติจึงเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบของสายโมเลกุลได้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำหรือสภาวะที่ถูกแรงยืด (Low temperature or strain-induced crystallization) การเรียงตัวของสายโมเลกุลที่อุณหภูมิต่ำเกิดได้เมื่อยางถูกเก็บในสภาวะประมาณ -26 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามถ้าเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นานๆ ประมาณ 2-3 สัปดาห์ ยางก็อาจเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบของสายโมเลกุลได้ ลักษณะที่เกิดดังกล่าวเกิดประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

25-30% เท่านั้น การเกิด Crystallize จะทำให้ยางกระด้างขึ้น แต่ต่างจากลักษณะของ Storage hardening และสามารถทำให้ยางที่ Crystallize กลับสู่สภาพเดิม โดยการให้ความร้อน นั่นคือการเก็บยางไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำจนทำให้ยาง Crystallize ได้ จำเป็นต้องทำให้ยางอ่อนตัวลงโดยให้ความร้อนก่อนนำไปบดผสมกับสารต่างๆ สามารถป้องกันยางเกิด Crystallize ได้โดยเปลี่ยนหมู่ cis บ้างเล็กน้อยให้เป็นหมู่ trans โดย treat กับ Sulphur dioxide

การที่ยางธรรมชาติเกิด Crystallize เมื่อถูกยืดจะทำให้ยางธรรมชาติที่เป็นเนื้อยางล้วนๆ ไม่เติมสารตัวเติมช่วยเสริมแรง (Pure gum) มีค่าความต้านทานแรงดึงและความต้านทานการฉีกขาดสูง อย่างไรก็ตามในการ Extrude คอมปาวด์ยางธรรมชาติผ่านดาย (Die) แม้ว่าอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ยางก็อาจเกิด Crystallize ทำให้มีปัญหาในกระบวนการขึ้นรูปได้

2.1.1.4 ส่วนประกอบของยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยอนุภาคยางไฮโดรคาร์บอน และสารที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber) แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็น Aqueous serum phase มีปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content ; DRC) ประมาณ 30-45% ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางสดและของยางแห้ง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างส่วนประกอบของน้ำยางสดและของยางแห้ง [4]

ส่วนประกอบ	น้ำยาง (%โดยน้ำหนัก)	ยางแห้ง (%โดยน้ำหนัก)
ยางไฮโดรคาร์บอน	36	93.7
โปรตีน	1.4	2.2
คาร์โบไฮเดรต	1.6	0.4
นิวทรอลไลปิด	1.0	2.4
ไกลโคไลปิด+ฟอสโฟไลปิด	0.6	1.0
อนินทรีย์สาร	0.5	0.2
อื่นๆ	0.4	0.1
น้ำ	58.5	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการทำให้น้ำยางจับตัว (Coagulation) เพื่อทำยางแห้งนั้น สารที่ไม่ใช่ยางซึ่งละลายน้ำได้จะแยกออกไป แต่สารไลปิดส่วนใหญ่ยังคงอยู่กับยาง และเกินครึ่งจะเป็นสารโปรตีนโดยมีเกลืออนินทรีย์และสารอื่นๆบ้างเล็กน้อย ซึ่งสารที่ไม่ใช่ยางแต่ละกลุ่มประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ มากมาย เช่น สารไลปิด ประกอบด้วย mono-, di- and triglycerides, sterol acids, glycolipids and phospholipids นั่นคือ ยางธรรมชาติประกอบด้วยสารย่อยๆ มากกว่า 100 ชนิด สารเหล่านี้มีผลต่อสมบัติของยางทั้งยางดิบที่ยังไม่ผ่านการทำให้คงรูป และยางที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้ว (Raw and vulcanized state) ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของยางธรรมชาติที่จะถูกกระทบโดยสารที่ไม่ใช่ยาง [4]

ตารางที่ 2.2 ผลกระทบของสารที่ไม่ใช่ยางต่อสมบัติยางธรรมชาติ [4]

สมบัติยาง	ผลกระทบของสารที่ไม่ใช่ยาง
ความเสถียรของน้ำยาง (Latex stability)	สารคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ที่เจริญทำให้เพิ่มกรดไขมันระเหยได้ซึ่งเป็นผลให้ความเสถียรของน้ำยางลดลง
สี (Color)	- สีเหลือง เนื่องจาก β-carotenes - สีดำ เนื่องจาก Enzymic reaction ของ Polyphenol oxidase
การคงรูปของยาง (Vulcanization)	ฟอสโฟไลปิดและโปรตีนบางชนิดทำหน้าที่เป็น Natural accelerators กรดไขมันทำหน้าที่เป็น Activators
การออกซิเดชัน (Oxidation)	Tocotrienols ทำหน้าที่เป็น Antioxidants อิออนของทองแดง แมงกานีส เหล็ก เป็น pro-oxidants
การแข็งตัวขณะเก็บรักษา (Storage hardening)	โปรตีนและกรดอะมิโนอิสระทำปฏิกิริยากับ Abnormal group ในยาง
การจัดเรียงตัวเป็นระเบียบของโมเลกุล (Crystallization)	อัตราการเกิดการเรียงตัวเป็นระเบียบของโมเลกุลยางที่ไม่ได้ยืดจะเพิ่มขึ้นโดยกรดสเตียริก สารที่ละลายน้ำได้บางตัวจะชะลอการเกิดการเรียงตัวของโมเลกุลยาง
Creep and stress relaxation	ปริมาณโปรตีน และเถ้ามากทำให้การดูดความชื้นสูง เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ผลให้ยางที่คงรูปมีค่า Creep และ Stress relaxation สูง
Modulus	เพิ่มขึ้นโดยโปรตีน
ผลด้านสารตัวเติม	โปรตีนทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม 1 ส่วนของโปรตีนมีผลเท่าเทียมกับ 3 ส่วนของเขม่าดำชนิด HAF (High Abrasion Furnace Black)
การเกิดความร้อนสะสม (Heat build-up)	ความร้อนสะสมที่วัดจาก Goodrich flexometer ลดลงเมื่อกรดไขมัน และโปรตีนเพิ่มขึ้น
ความแข็งแรงต่อการฉีกขาด (Tear strength)	เพิ่มขึ้นโดยโปรตีน
Dynamic crack growth	ความต้านทานเพิ่มขึ้นโดยโปรตีน

2.2 วิวัฒนาการใช้ประโยชน์จากยาง

2.2.1 การใช้น้ำยางโดยตรง

ชาวอเมริกาได้รู้จักนำน้ำยางมาทำของใช้ต่างๆ เป็นเวลานานมาก่อน ในขณะที่ชาวยุโรปไม่สามารถจะนำมาใช้ประโยชน์รูปของน้ำยางได้ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำยางจะจับตัวแข็งเสียก่อนในระหว่างการขนส่ง จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวิธีการรักษาน้ำยางให้คงสภาพของเหลวไว้ และในปีพ.ศ. 2434 De Fourcroy พบว่าสามารถใช้แอมโมเนียเก็บรักษาน้ำยางให้คงอยู่ในสภาพของเหลวได้ แต่เนื่องจากน้ำยางสดที่ได้จากต้นยางมีเนื้อยางแห้งอยู่ประมาณ 30% เท่านั้น ทำให้การขนส่งย้ายน้ำยางสดจากแหล่งกำเนิดไปยังโรงงานอุตสาหกรรมยางครั้งหนึ่งๆ จะต้องขนส่วนที่เป็นน้ำยาง 70% อันเป็นการสิ้นเปลืองมาก ดังนั้นจึงได้ค้นคว้าจนพบวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น ซึ่งต่อมาก็ได้มีการทำน้ำยางให้ข้นถึงประมาณ 60% โดยวิธีการต่าง ๆ เช่น

- เติมสารเคมีเพื่อทำให้เป็นครีม – Creaming
- ใช้เครื่องมือกลปั่นแยกน้ำออก – Centrifuging
- ใช้ความร้อนระเหยน้ำออก - Evaporation
- ใช้กระแสไฟฟ้าแยก – Electrodecantation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

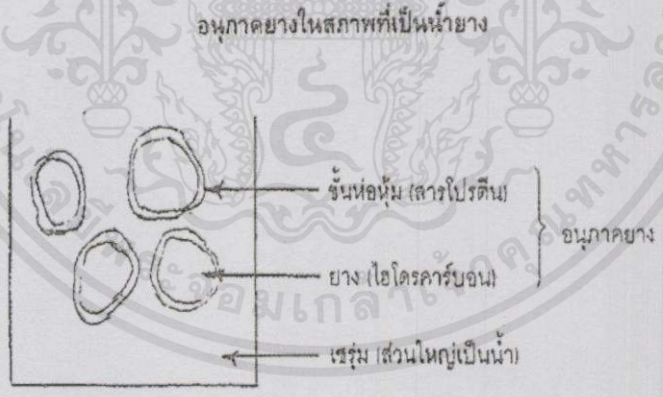
การใช้น้ำยางแทนการใช้สารละลายยางในการทำถุงมือยาง และวัตถุสำเร็จรูปยางชนิดต่างๆที่ต้องขึ้นรูปโดยกรรมวิธีจุ่มแบบพิมพ์ ได้เริ่มใช้แทนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2467 เป็นต้นมา แต่ในระยะแรก

ปริมาณน้ำยางที่ใช้โดยตรงมีจำนวนเล็กน้อย จนกระทั่งปี พ.ศ.2473 บริษัทดันลอป (Dunlop Rubber Co., Ltd.) ได้ใช้น้ำยางข้นทำการผลิตยางฟองน้ำขึ้นมาได้ โดยกรรมวิธีของกระบวนการซิลิโคฟลูโอไรด์ (Silicofluoride process) จึงทำให้ปริมาณการใช้น้ำยางโดยตรงเพิ่มสูงขึ้นและการผลิตยางฟองน้ำก็ได้ขยายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้การผลิตยางฟองน้ำเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำยางข้นมากที่สุดในขณะนั้น น้ำยางที่ใช้ได้นับรวมถึงน้ำยางชนิดที่สังเคราะห์ขึ้นด้วย [4]

2.3 น้ำยางธรรมชาติ

2.3.1 การรักษาสภาพและการเสียสภาพของน้ำยางธรรมชาติ

ในทางเคมี จัดน้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง (Rubber particles) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรุ่ม (Serum) และเป็นที่ทราบกันดีว่าในน้ำยางมีส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง เช่น สารโปรตีน ส่วนหนึ่งของสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบบริเวณผิวของอนุภาคยางฟอร์มชั้นหรือเปลือกห่อหุ้ม (Hydrated protein envelope) อนุภาคยางไว้ (รูปที่ 2.3) ชั้นห่อหุ้มนี้มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัวเป็นของเหลวหรือความเสถียรของน้ำยาง เพราะชั้นโปรตีนนี้จะป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางมารวมตัว และจับกันเป็นก้อน (Coagulation)

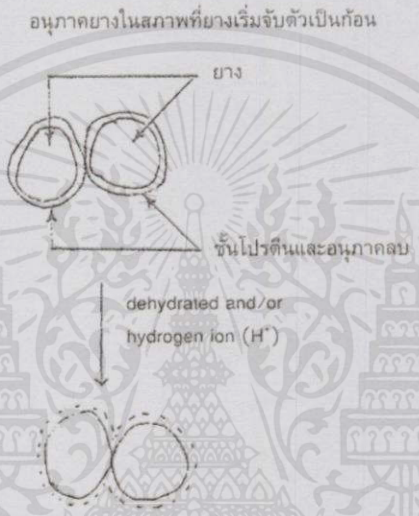


รูปที่ 2.3 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด [4]

นอกจากชั้นโปรตีนจะห่อหุ้มทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยางแล้ว ในชั้นโปรตีนนี้ ยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต (Carboxylate, $ROOC^-$) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือ น้ำยางคงอนุภาคเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัย 2 ประการ คือ 1) ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และ 2) อนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสียสภาพ (Destability) จากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซีเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนยาง เรียกว่า "โคแอกกูลั่ม" (Coagulum) แยกตัวออกจากส่วนของเซรุ่ม (รูปที่ 2.5) เนื่องจากก้อนยางที่จับตัวนี้มีลักษณะขาวนวลหยุ่นตัวคล้ายก้อนเต้าหู้อ่อน ชาวสวนยางจึงเรียกว่า "ยางก้อนเต้าหู้"



รูปที่ 2.4 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง [4]

มีทฤษฎีที่อธิบายกลไกของการเกิดการเสียสภาพของน้ำยางสด และจับก้อนเองตามธรรมชาติ (Natural or spontaneous coagulation) ทฤษฎีแรกอ้างว่ามีกรดเกิดขึ้น อันเนื่องจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์กับสารที่ไม่ใช่ยางซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง ส่วนทฤษฎีที่สองเชื่อว่ามีการสลายตัวของอิออนของกรดไขมันจากการ Hydrolysis ของสารไลปิดต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาง อิออนเหล่านี้จะถูกดูดซับแทนที่โปรตีนที่ผิวอนุภาคยางตั้งแต่เริ่มแรก หรือเกิดจากการหลุดออกมาจากสารประกอบที่เกิดโดยปฏิกิริยาของ Enzyme ในน้ำยาง [4]

2.3.2 สารรักษาสภาพน้ำยาง

เนื่องจากในน้ำยางสด มีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางหลายชนิดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส ฟรุคโตส ดังนั้นเมื่อกรีดเอาน้ำยางออกจากต้นยาง จุลินทรีย์ในอากาศจะลงไปปะปนในน้ำยาง มีปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงที่ก่อให้เกิดกรดทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง ทำให้ยางจับตัวเป็นก้อน การเกิดลักษณะเช่นนี้จะช้าหรือเร็วเพียงใดขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น สภาพแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ความเสถียรของน้ำ พันธุ์ยาง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนเวลาที่ต้องการ หรือเพื่อให้น้ำยางอยู่ในสภาพของเหลวตามที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservatives)

2.3.2.1 สมบัติของสารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง

สารที่จะใช้รักษาสภาพน้ำยางควรมีสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีประสิทธิภาพในการทำลายหรืออย่างน้อยสามารถระงับการเจริญของจุลินทรีย์ในน้ำยาง
2. ควรมีสภาพเป็นด่างเพื่อส่งเสริมสถานะสารแขวนลอยน้ำยาง
3. ทำให้อนุมูลโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอนุมูลเหล่านี้จะส่งเสริมการเจริญของจุลินทรีย์
4. สามารถระงับการทำงานของเอนไซม์ที่ช่วยการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
5. ไม่รบกวนต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และควรมีราคาเหมาะสม
6. ไม่เป็นพิษต่อสุขภาพของคนและต่อคุณภาพของยาง อีกทั้งยังสามารถขจัดออกจากน้ำยางได้โดยง่ายและสะดวก เมื่อถึงช่วงเวลาที่ไม่ต้องการ

2.3.2.2 ชนิดของสารรักษาสภาพน้ำยาง

สารชนิดแรกที่พบว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางได้คือ "แอมโมเนีย" ซึ่งมีบันทึกการจดสิทธิบัตรโดย Johnson และโดย Norris ในปี พ.ศ. 2396 จากนั้นเป็นต้นมาก็พบว่าระบบรักษาสภาพน้ำยางสดที่สำคัญประกอบด้วยการใช้แอมโมเนียจนทุกวันนี้ นอกจากแอมโมเนียยังมีสารอื่นๆ ที่รักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ ฟอร์มาลดีไฮด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์

1. การใช้แอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยาง

ปริมาณแอมโมเนีย 0.2% ในน้ำยางโดยน้ำหนัก พอเพียงสำหรับการรักษาสภาพน้ำยางช่วงเวลาสั้นๆ (Short-term preservation) ถ้าต้องการรักษาสภาพน้ำยางในช่วงเวลายาวนานควรใช้ปริมาณ 0.7% โดยน้ำหนัก โดยไม่ต้องมีสารอื่นช่วยเสริม การปฏิบัติโดยทั่วไปที่นิยมใช้กันมานานแล้วคือจะเติมแอมโมเนียปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.01% โดยน้ำหนัก ทันทีที่กรีดยางเพื่อป้องกันน้ำยางเริ่มจับตัว อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวอาจให้ผลตรงข้ามเพราะอาจเป็นการเร่งการขยายหรือเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดมากกว่าที่ไม่มีการเติมแอมโมเนียก็ได้

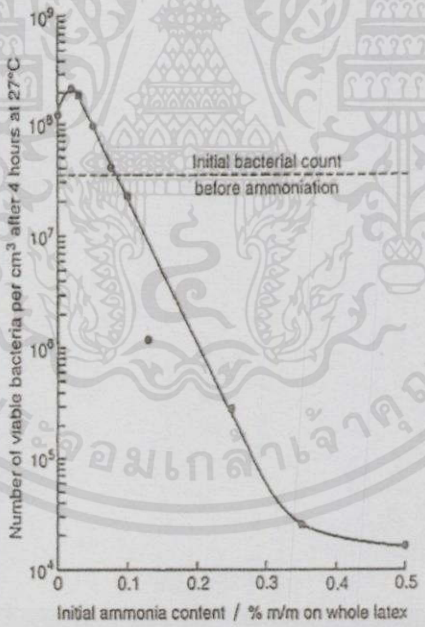
ปกติจะนิยมใช้แอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ Anhydrous liquid บรรจุในถังมากกว่าการใช้ในรูปของแอมโมเนียน้ำเข้มข้น ทั้งนี้เพราะแอมโมเนียน้ำเข้มข้นจะมีความปลอดภัยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

เคลื่อนย้ายน้อยกว่าแอมโมเนียที่อยู่ในรูปของ Anhydrous liquid บรรจุถัง นอกจากนี้การใช้แอมโมเนียน้ำเข้มข้นโดยตรงจะทำให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนหย่อมๆ ได้

อนึ่งแอมโมเนียจัดเป็นสารที่มีสมบัติสอดคล้องกับสมบัติของสารรักษาสภาพน้ำยางตามที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น (2.3.2.1)

แอมโมเนียเป็นสารที่ทำลายบักเตรีได้ (Bactericide) โดยจะมีประสิทธิภาพทำลายบักเตรีได้ถ้าเติมในปริมาณ 0.35% ในน้ำยางโดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามผลการทดลองได้บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพในการรักษาสภาพน้ำยางขึ้นอยู่กับเวลาที่เติมแอมโมเนียลงในน้ำยางรวดเร็วมากน้อยหลังจากที่น้ำยางถูกกรีดและไหลจากต้นยาง จากผลการทดลองพบว่าปริมาณแอมโมเนียเล็กน้อย (ประมาณ 0.05%) กระตุ้นการขยายตัวของบักเตรีซึ่งคาดว่าอาจเนื่องมาจาก pH ของน้ำยางเพิ่มจาก 6.5 ตามที่อยู่ในต้นยางสูงขึ้นเป็นประมาณ 8.0 โดยที่ ณ pH ระดับนี้เหมาะสมกับการเพิ่มจำนวนบักเตรีชนิดทั่วๆ ไป ฉะนั้นปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางควรจะต้องมีปริมาณอย่างน้อย 0.1% โดยน้ำหนักน้ำยาง เพื่อให้จำนวนบักเตรีคงที่



รูปที่ 2.5 ผลของปริมาณแอมโมเนียในน้ำยางต่อจำนวนบักเตรี [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบรักษาสภาพน้ำยางโดยใช้แอมโมเนียปริมาณน้อย (Low Ammonia Preservative systems)

แม้ว่าการใช้แอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยางจะมีข้อเสียหรือบกพร่องหลายๆ ประการ เป็นต้นว่าการสูดหายใจเข้าไปในปริมาณมากหรือสัมผัสกับปริมาณที่เข้มข้นมากๆ ก็จะมีอันตรายได้ ตลอดจนได้มีความพยายามที่จะหาสารอื่นๆ ที่ดีกว่าทดแทนการใช้แอมโมเนียก็ตาม แต่พบว่ายังไม่สามารถหาสารใดที่มีข้อได้เปรียบกว่าและทำหน้าที่รักษาสภาพน้ำยางแทนแอมโมเนียได้ นอกเสียจากวิธีการลดปริมาณการใช้สารแอมโมเนียด้วยการใช้สารอื่นๆ ช่วยเสริมประสิทธิภาพรักษาสภาพน้ำยาง (Secondary preservatives) สารเหล่านี้จะทำหน้าที่เสริมประสิทธิภาพในการทำลายบักเตรี น้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพโดยระบบนี้เรียกว่า Low-ammonia (LA) ซึ่งแตกต่างจากระบบปกติที่ใช้แอมโมเนียเพียงอย่างเดียว ซึ่งเรียกว่า High-ammonia (HA) สารต่างๆ ที่ใช้เป็นตัวเสริมในระบบ LA ได้แก่ Pentachlorophenates, Zinc dialkyldithiocarbamates, Thiuramsulphides, Aminophenols และ Boric acid ปริมาณการใช้แอมโมเนียในระบบ LA ที่มีสารอื่นช่วยเสริมการรักษาน้ำยางจะลดเหลือประมาณ 0.2% โดยน้ำหนักและใช้สารอื่นร่วมประมาณ 0.2 % โดยน้ำหนักต่อน้ำยางทั้งหมด

3. สารอื่นๆที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง

- ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นสารที่ใช้เป็น Anticoagulant โดยการเติมในรูปสารละลาย 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในถ้วยและถังรับน้ำยางสด ประมาณ 0.02% โดยน้ำหนักต่อยางทั้งหมด แต่ก็ได้พบว่าการใช้ฟอร์มาลดีไฮด์รักษาน้ำยางสดที่จะนำไปปั่นทำน้ำยางข้นเพื่อใช้ในการทำยางฟองน้ำจะไม่เหมาะสม เนื่องจากฟอร์มาลดีไฮด์ทำให้สารโปรตีนในน้ำยางเปลี่ยนแปลงและมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำยางฟองน้ำ

- โซเดียมซัลไฟต์เป็นสารที่ใช้เป็น Anticoagulant โดยการเติมในรูปสารละลาย 3% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ลงในถ้วยและถังรับน้ำยางสดประมาณ 0.05% โดยน้ำหนักต่อน้ำยางทั้งหมด ซึ่งการใช้สารนี้โดยเฉพาะกับกรณีที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นยางเครพขาวหรือเครพสีจาง (Pale crepe) เพราะยางชนิดนี้เน้นเรื่องสียางจะต้องจางที่สุด อาจกล่าวได้ว่าการใช้โซเดียมซัลไฟต์ในการผลิตผงเครพสีจางก็เพื่อช่วยทำหน้าที่ป้องกันปฏิกิริยาของ Enzyme ที่จะทำให้ยางมีสีเข้ม

- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารตัวเลือกนอกเหนือจากแอมโมเนียเพื่อใช้รักษาสภาพน้ำยางสด การใช้โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์สำหรับรักษาน้ำยางข้นชนิดที่ใช้กรรมวิธีระเหยน้ำ (Evaporated natural rubber latex concentrate) เนื่องด้วยสารนี้มีความเป็นด่างสูงจึงป้องกันปฏิกิริยาของบักเตรีได้ และรักษาความเสถียรของน้ำยางได้ดี อีกทั้งไม่มีปัญหาในเรื่องการฟอร์มสถานะหนืดอันเนื่องจากการมีปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide thickening) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 สารทำให้น้ำยางจับตัว

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าน้ำยางสดจะเกิดการจับตัวได้เองตามธรรมชาติ อันเนื่องมาจากปฏิกิริยาที่จุลินทรีย์ใช้สารบางชนิดในน้ำยางเป็นอาหาร จนก่อให้เกิดการทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคยาง อย่างไรก็ตาม การเกิดน้ำยางจับตัวตามธรรมชาตินั้นกว่าจะเกิดการจับตัวอย่างสมบูรณ์จนสามารถแยกก้อนยางทั้งหมดออกจากเซรุ่มได้จะต้องใช้เวลานาน ดังนั้นในกรณีที่ต้องการจะผลิตยางดิบชนิดยางแห้ง หลักการขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตยางแห้งไม่ว่าจะเป็นชนิดใดๆ ก็ตาม จะต้องทำให้น้ำยางเป็นก้อน หากจะรอให้น้ำยางเกิดการจับตัวเองอย่างสมบูรณ์ตามธรรมชาติจะต้องเสียเวลารอคอยนาน จึงจำเป็นต้องเร่งการจับตัวของยาง โดยการใส่สารเคมีประเภทที่มีฤทธิ์เป็นกรด ซึ่งกรดจะสลายตัวให้อิออนของไฮโดรเจน ไปทำลายชั้นห่อหุ้มอนุภาคชั้นของยาง เรียกการจับตัวของน้ำยางอันเนื่องมาจากกรดว่า "Acid coagulation"

กรดใดๆ ก็ตามที่สลายตัวให้อิออนบวกของไฮโดรเจน (H^+) สามารถใช้ทำให้น้ำยางธรรมชาติจับตัวได้ เพราะ H^+ จะทำลายอนุมูลอิสระของคาร์บอกซีเลต ที่อยู่รอบๆอนุภาคยางซึ่งทำหน้าที่รักษาความเสถียรในการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยาง เกิดเป็นกรดไขมัน (Fatty acid) ขึ้นรอบอนุภาคยาง ทำให้พลังยึดรอบอนุภาคยางสูญเสียไป ชั้นห่อหุ้มอนุภาคยางแฟบลง สถานะการเป็นสารแขวนลอยของยางจะเสียไป อนุภาคยางรวมกันและจับกันเป็นก้อน [4]

2.3.4 วัตถุดิบยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการแปรรูปขั้นต้นของน้ำยางสดจากต้นยางพารา ซึ่งอาจจำแนกได้ 2 ประเภทหลักคือ ประเภทยางแห้ง (Solid form or dry rubber) และประเภทของเหลวคือ น้ำยางข้น (Concentrated latex)

2.3.4.1 ยางแห้ง

ยางธรรมชาติในรูปยางแห้งแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะกรรมวิธีการผลิต คือ

1. ยางแบบธรรมดา ผลิตโดย Conventional process ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ
2. ยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานตามสากล (Technically specified process) ได้แก่ ยางแท่งมาตรฐาน (Standard block rubber)
3. ยางแบบอื่นๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะหรือเพื่อวัตถุประสงค์ จะปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ตัวอย่างยางกลุ่มนี้ ได้แก่ ยางที่มีความหนืดคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Viscosity stabilized rubber ; CV) ยางที่มีคุณสมบัติความพิเศษในกระบวนกานผลิต (Superior processing rubber ; SP) ยางผสมน้ำมัน (Oil extended natural rubber ; OENR) ยางเทอร์โมพลาสติก ยางอิพอกซิไดซ์ ยางผง และยางเหลว เป็นต้น

2.3.4.2 น้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วประเทศ อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือน้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (Treated) กับสารเคมีหรือวิธีการใดๆ เพื่อให้โมเลกุลยางเปลี่ยนไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำยางข้นที่ได้ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยสารเคมี หรือด้วยการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ประเภทหลังนี้เรียกว่า “น้ำยางคงรูป” หรือ “น้ำยางพรีวัลคาไนซ์” (Prevulcanized or vulcanized latex) หรือบางครั้งอาจเรียกว่าน้ำยางผสมเสร็จ [4]

2.4 น้ำยางข้น และน้ำยางคงรูป

น้ำยางสดจากต้นยางโดยทั่วไปมีปริมาณเนื้อยางแห้งตั้งแต่ 20% ขึ้นไป และอาจถึง 45% (ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย) มีส่วนของสารที่ไม่ใช่ยางประมาณ 5% นอกนั้นเป็นน้ำเสียส่วนใหญ่ ซึ่งไม่เป็นการประหยัดเลยหากว่าจะต้องทำการขนย้ายน้ำยางสดจากสวนไปสู่โรงงานที่อยู่ไกลๆ วิธีการปฏิบัติในกรณีต้องการใช้ยางในสถานะของน้ำยางไปผลิตเป็นวัตถุสำเร็จรูป คือ ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งระดับความเข้มข้นที่นิยม คือ 60% เนื้อยางแห้ง โดยทั่วไปเรียกว่า "น้ำยางข้น" (Concentrated latex) การขนย้ายน้ำยางในสถานะที่ข้นขึ้นย่อมประหยัดและได้เปรียบกว่า และกรรมวิธีการผลิตวัตถุสำเร็จรูปยางประเภทที่ต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้นว่า กรรมวิธีจุ่มแบบพิมพ์ (Dipping process) เช่นการผลิตลูกโป่ง ผลิตถุงมือยาง ฯลฯ กรรมวิธีผลิตยางฟองน้ำ (Latex foam process) กรรมวิธีผลิตผ้าใบฉาบด้วยยาง (Coating) กรรมวิธีเหล่านี้ควรใช้น้ำยางที่มีเนื้อยางอย่างน้อยไม่ควรต่ำกว่า 60% และอีกประการหนึ่ง การใช้น้ำยางข้นจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอกว่าการใช้น้ำยางสด ทั้งนี้ เนื่องด้วยสารที่ไม่ใช่ยางบางส่วนได้ถูกแยกออกจากน้ำยางขณะผ่านกรรมวิธีการทำให้น้ำยางข้นขึ้น การกล่าวถึงน้ำยางธรรมชาติในความหมายของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตวัสดุสำเร็จรูป โดยทั่วไปจะหมายถึงน้ำยางในสถานะที่ทำให้ข้นแล้ว

วิธีการสำคัญสำหรับการผลิตน้ำยางข้น คือ วิธีระเหยน้ำ (Evaporation) วิธีการทำให้เกิดครีม (Creaming) วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า (Electrodecantation) และวิธีการปั่น (Centrifuging) วิธีการวิธีแรกเป็นการระเหยหรือแยกเอาแต่ส่วนของน้ำเพียงอย่างเดียวออกจากน้ำยาง ดังนั้นปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยาง (ที่นอกเหนือจากน้ำ) จึงยังคงอยู่ในน้ำยางข้น และอนุภาคขนาดต่างๆ ของยางที่กระจายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในน้ำยางก็ยังคงเหมือนเดิม ส่วนวิธีการ 3 วิธีหลังนั้น เป็นวิธีการที่มีการแยกเอาบางส่วนของสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยางออกด้วย อนุภาคขนาดต่างๆ ของยางที่กระจายอยู่ในน้ำยางที่ข้นแล้วนี้จะต่างไปจากที่อยู่ในสถานะน้ำยางก่อนทำให้ข้น เพราะอนุภาคยางขนาดเล็กๆได้ถูกแยกออกระหว่างกรรมวิธีการผลิตน้ำยางข้น วิธีการผลิตน้ำยางข้นทั้ง 4 วิธีที่กล่าว วิธีการปั่นน้ำยางเป็นวิธีที่นิยมและทำกันเป็นการค้ามากที่สุด การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีปั่น ประมาณมากกว่า 90% ของการผลิตน้ำยางทั้งหมด และมีการผลิตโดยวิธีทำให้เกิดครีมบ้างเล็กน้อย ส่วนวิธีอื่นๆ นั้นมีข้อจำกัดเพราะเป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก สิ้นเปลืองเวลา จึงไม่ค่อยนิยมใช้เป็นวิธีการผลิตน้ำยางข้นเชิงพาณิชย์

อนึ่ง ในการผลิตน้ำยางข้นจะมีผลพลอยได้ คือ หางน้ำยางที่ปกติจะทำการแปรรูปขั้นต้นเป็นยางแห้ง ซึ่งเรียกว่า ยางสกิม (Skim rubber) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปต่อจากน้ำยางข้นอีกระดับหนึ่งเป็นน้ำยางที่พร้อมใช้งาน คือได้มีการเติมสารจำเป็นต่อการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ไปแล้ว เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า น้ำยางคงรูป หรือน้ำยาง(พรี)วัลคาไนซ์ [4]

2.4.1 คุณภาพน้ำยางสด

คุณภาพน้ำยางสดเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำยางข้นที่จะผลิต ดังนั้นจึงมีสมบัติบางประการของน้ำยางสดที่จะต้องคำนึงถึง ซึ่งจะต้องตรวจสอบและควบคุมโดยเฉพาะสำหรับการผลิตน้ำยางข้น

2.4.1.1 จำนวนกรดไขมันระเหยได้ (Volatile fatty acid number ; VFA No.)

น้ำยางสดที่มีการรักษาสภาพไม่ดีพอ จะเกิดกรดไขมันระเหยได้ (VFA) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติกฟอร์มิก และพรอพิโอนิก (Acetic, formic and propionic) จะมีกรดอื่นๆบ้างเล็กน้อย กรดเหล่านี้เกิดขึ้นเพราะบักเตรีใช้สารคาร์โบไฮเดรต (เป็นส่วนใหญ่) และกรดอะมิโน (Amino acid) ในน้ำยางสดเป็นอาหาร ปกติน้ำยางที่สดและไม่มีบักเตรีลงปะปน จะไม่มีกรดไขมันระเหยได้เหล่านั้น แต่ขณะที่เก็บรักษาน้ำยางสดก่อนนำไปปั่นทำน้ำยางข้น มีโอกาสที่จะเกิดกรดไขมันระเหยได้ ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ที่เกิดขึ้นนั้นจะทดสอบ และระบุค่าเป็น VFA No. โดยค่านี้จะบ่งชี้สถานะการรักษาน้ำยาง กรณีของน้ำยางสด ถ้ามีค่า VFA No. ต่ำกว่า 0.05 หมายความว่าน้ำยางสดนั้นได้ถูกเก็บรักษาสภาพไว้ดี มีความเหมาะสมที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางขั้นต่อไป ส่วนกรณีน้ำยางข้นนั้น กรดไขมันระเหยได้มีผลต่อสมบัติความเสถียรเชิงกล (Mechanical Stability Time ; MST) ของน้ำยาง กล่าวคือ ถ้าค่า VFA No. สูงจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ให้ค่า MST ต่ำคือ น้ำยางจะมีความเสถียรเชิงกลต่ำ ทำให้เสียสภาพจับตัวได้ง่าย

2.4.1.2 ปริมาณเนื้อยางแห้ง (Dry rubber content ; DRC)

ปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางสดมีผลต่อเนื้อยางแห้งของน้ำยางข้น และต่อประสิทธิภาพการผลิตน้ำยางข้นเป็นอย่างมาก จำเป็นที่จะต้องใช้น้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่าที่จะหาได้ รวบรวมและควบคุมความสม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง โดยทั่วไปจะไม่ค่อยใช้น้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่า 25% ปั่นทำน้ำยางข้นเพราะจะมีผลให้ประสิทธิภาพการผลิตต่ำ

2.4.1.3 ปริมาณแมกนีเซียม (Magnesium content)

ปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดเป็นค่าสำคัญอีกค่าหนึ่งที่จำเป็นต้องนำมาพิจารณาในการผลิตน้ำยางข้น โดยปกติปริมาณแมกนีเซียมในน้ำยางสดจะแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ยาง การใส่ปุ๋ย สภาพของพื้นที่ปลูก และฤดูกาล เป็นต้น เมื่อรวบรวมน้ำยางสดได้แล้วจะต้องตรวจสอบ และทำให้ปริมาณแมกนีเซียมลดลงมากที่สุด คือ ควรให้ต่ำกว่า 100 ppm on total solid ซึ่งปรับได้โดยการเติมสาร Diammonium hydrogen phosphate (DAHP) หรือ Diammoniumphosphate (DAP) สารนี้จะทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียที่มีอยู่ในน้ำยางเกิด Magnesium ammonium phosphate ที่จะถูกแยกออกในลักษณะตมหรือสลัดจ์ (Sludge) ตกตะกอนก่อนการปั่น และขณะการปั่นน้ำยาง การที่ไม่แนะนำให้นำน้ำยางสดที่มีปริมาณแมกนีเซียมสูงไปปั่นเพราะแมกนีเซียมจะทำให้น้ำยางสูญเสียความเสถียรเชิงกล คือลด MST อันเนื่องมาจากการฟอร์ม Magnesium higher fatty acid soaps ที่ไม่ละลายน้ำ นอกจากนี้ หากน้ำยางมีปริมาณแมกนีเซียมสูงจะยิ่งต้องการ Lauric soap เพื่อเร่งการเพิ่ม MST ในปริมาณสูงกว่ากรณีน้ำยางที่มีปริมาณแมกนีเซียมต่ำ

อนึ่ง ตามที่ได้กล่าวข้างต้นถึงความสำคัญของปริมาณแมกนีเซียมต่อคุณภาพของน้ำยางข้น จึงมีความจำเป็นต้องควบคุมปริมาณให้เหมาะสมโดยการเติมสาร DAHP หรือ DAP นั้นจะต้องมีความรู้และเข้าใจวิธีการใช้สารดังกล่าวให้ถูกต้อง เพราะมิฉะนั้นอาจเกิดผลกระทบต่อกระบวนการนำน้ำยางข้นไปขึ้นรูปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่นการทำถุงมือยางได้

2.4.1.4 การรักษาสภาพและการรวบรวมน้ำยางสด

น้ำยางสดที่ได้มาจากสวนยาง ถ้าไม่ใส่สารป้องกันน้ำยางจับตัว น้ำยางจะเสียสภาพ คือ เกิดการจับตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงหลังจากกรีดยาง ซึ่งการเสียสภาพดังกล่าว เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเนื่องจากปฏิกิริยาของบักเตรีกับสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง ดังนั้นการที่จะนำน้ำยางสดไปผลิตเป็นน้ำยางข้น จึงจำเป็นต้องมีการเติมสารเพื่อรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นของเหลว ข้อบ่งชี้ความไม่เหมาะสมที่จะนำน้ำยางสดไปสู่กระบวนการทำเป็นน้ำยางข้นอาจได้แก่ น้ำยางมีค่า VFA No. สูง การมีสิ่งปลอมปนตลอดจนการสูญเสียสถานะของเหลว

การเพิ่มของค่า VFA No. เนื่องมาจากปฏิกิริยาของบักเตรี เพราะเซรุ่มของน้ำยางสนับสนุนการขยายจำนวนบักเตรีได้เป็นอย่างดี โดยบังเตรีชนิดทั่วๆไป จะขยายจำนวนเพิ่มเป็นสองเท่าได้ภายใน 20 นาที เมื่ออยู่ในน้ำยางสดที่ไม่ได้เติมสารรักษาสภาพน้ำยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

แอมโมเนียเป็นสารที่ใช้อย่างกว้างขวางเพื่อรักษาน้ำยางสดที่จะนำไปผลิตน้ำยางข้น การเติมแอมโมเนียประมาณ 0.1-0.2% โดยน้ำหนักในน้ำยางจะรักษาน้ำยางได้ 12 ถึง 24 ชั่วโมง แต่ก็มิได้หมายความว่าน้ำยางจะปราศจากกรดไขมันระเหยได้ ปริมาณแอมโมเนียต่ำสุดที่จะป้องกันปฏิกิริยาของบักเตรีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ควรประมาณ 0.35% โดยน้ำหนักในน้ำยาง ปริมาณระดับนี้จะช่วยให้น้ำยางข้นที่ผลิตได้มีค่า VFA No. และ KOH No. (Potassium Hydroxide Number) ต่ำ ขณะเดียวกันจะช่วยให้ค่า MST สูงด้วย

การรักษาน้ำยางสดอีกระบบหนึ่งที่นิยมใช้ในการผลิตน้ำยางข้นคือใช้ Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD) และ Zinc Oxide ในสัดส่วน 1:1 ประมาณ 0.02% โดยน้ำหนัก เป็นสารเสริมรวมกับแอมโมเนียจะช่วยในการควบคุมค่า VFA No. ได้ดี โดยที่ปริมาณการใช้แอมโมเนียจะลดลง อนึ่งหากควบคุมการใช้แอมโมเนียให้ต่ำที่สุดได้ก็จะไม่เพียงแต่ลดต้นทุน หากยังเป็นการช่วยลดปริมาณกรดที่ใช้จับตัวน้ำยางสกิมที่เป็นผลพลอยได้จากการปั่นน้ำยางข้น นั้นคือ ช่วยลดมลพิษของสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ในการจัดการกับน้ำยางสดก่อนนำไปเข้าเครื่องปั่นน้ำยางข้นนั้น เมื่อนำน้ำยางสดมาถึงโรงงานผลิตน้ำยางข้น จะผ่านการกรองโดยใช้แร่งขนาด 80 เมช ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง หากน้ำยางสดนั้นมีปริมาณเนื้อยางแห้งน้อยกว่า 25 % จะไม่แนะนำให้นำไปผลิตน้ำยางข้น เมื่อทราบปริมาณเนื้อยางแห้งว่าเหมาะสมแล้วจึงเติมแอมโมเนียเพิ่มขึ้นให้ได้ประมาณ 0.4% ของน้ำยาง แล้วจึงปล่อยให้น้ำยางได้ตกตะกอนสิ่งแปลกปลอมจนวันรุ่งขึ้น หากทดสอบพบว่าน้ำยางสดมีปริมาณแมกนีเซียมสูง ก็ให้เติม DAHP เพื่อให้มีปฏิกิริยาการเกิด Magnesium ammonium phosphate ซึ่งจะตกตะกอนลงก้นถังขณะทิ้งไว้ข้ามคืน ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 100 ppm on total solid และเมื่อปั่นข้นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 50 ppm on total solid อย่างไรก็ตามบางผู้ผลิตอาจตั้งเกณฑ์ค่าดังกล่าวต่างไปบ้าง) และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมันระเหยได้อีกครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางข้นได้ [4]

2.4.2 วิธีการผลิตน้ำยางข้น

หลักการสำคัญของการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.4.2.1 วิธีการระเหยน้ำ

น้ำยางสดจากสวนก่อนการทำให้ข้นโดยวิธีการระเหยน้ำ จะต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางมีความเสถียร (Stabilizer) ได้แก่สบู่บางชนิด เช่น Potassium soap เสียก่อน การระเหยน้ำออกจากน้ำยางที่จะเกิดขึ้นภายในถัง หรือภาชนะที่หมุนได้รอบๆแกน ตามแนวนอน และถังนี้จะถูกให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการใช้

ความร้อนรอบๆถัง การระเหยน้ำจากน้ำยางจะทำให้ได้น้ำยางข้นซึ่งมีส่วนประกอบโดยประมาณ คือ ส่วนของของแข็งทั้งหมด 75% ปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% Caustic potash 1.5% และสารช่วยทำให้น้ำยางมีความเสถียรกับสารโปรตีน ฯลฯ อีกประมาณ 13.5% น้ำยางข้นที่ได้จากวิธีระเหยน้ำนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่สารตัวเติม (Filler) จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตกาว Latex-cement น้ำยางนี้เหมาะหรือใช้ได้ผลดีกรณีที่ต้องการนำไปทำกาวประเภทที่สารอื่นๆที่อยู่ในน้ำยาง ช่วยรักษาความเสถียรของน้ำยางเป็นข้อได้เปรียบกับการทำกาวนั้นๆ อย่างไรก็ตามในทางการค้าไม่ค่อยนิยมการทำยางข้นโดยวิธีนี้ เพราะเป็นวิธีที่ยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลา

2.4.2.2 วิธีการทำให้เกิดครีม

น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะสด หรือสถานะที่มีการใส่สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preserved latex) ประกอบด้วยระบบของสารละลายคอลลอยด์แบบอิมัลชัน (Colloid emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า เซรุ่ม อนุภาคเล็กๆของยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรุ่มแสดงการเคลื่อนไหวในทุกทิศทางอย่างไม่เป็นระเบียบ (Brownian movement) และการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใส่สารรักษาสภาพ อนึ่ง เนื่องจากอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้นอนุภาคยางเหล่านี้จึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้ และตามกฎของ Stokes อาจคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางตามสูตรต่อไปนี้

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

V = อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง (มม./วินาที)

g = ความเร่งที่เนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (ซม./วินาที/วินาที)

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

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

r = รัศมีของอนุภาคยาง (เฉลี่ย 0.5 ไมโครมิเตอร์)

γ = ความหนืดของเซรุ่ม (ประมาณ 0.02 poise)

จากสูตรดังกล่าวอาจคำนวณได้ว่าอนุภาคยางจะเคลื่อนที่ได้ (ตามทฤษฎี) ประมาณเดือนละ 6 เซนติเมตร และเนื่องจากว่าความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับกำลังสองของรัศมีของอนุภาค ดังนั้น การแยกตัวของอนุภาคยางเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ที่ผิวหน้าน้ำยางจะรวดเร็วขึ้นถ้าอนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และอนุภาคยางจะใหญ่ขึ้นได้เมื่อเติมสารคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง จึงเรียกสารนี้ว่าเป็นตัวการทำให้เกิดครีม (Creaming agent)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสารพวกนี้ได้แก่ Sodium alginate, Locust bean gum, Karaya gum tragacanth เป็นต้น อนึ่ง การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีทำให้เกิดครีมยุ่งยาก และสิ้นเปลืองเวลา แต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิธีการนี้ คือสามารถทำให้เกิดน้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีนี้บริสุทธิ์ และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดครีมซ้ำหลายๆ ครั้ง นอกจากนี้ยังไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์หรือเครื่องราคาแพงอีกด้วย

2.4.2.3 วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

จากการที่ในสถานะของน้ำยาง อนุภาคยางที่แขวนลอยในเซรุ่มต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอกซิเลทอิออน (Carboxylate ion, $RCOO^-$) ที่มีประจุเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยวิธีการทางไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากส่วนของเซรุ่มได้ โดยวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวก ลงในน้ำยางที่ได้เติมสารช่วยทำให้น้ำยางมีความเสถียรไว้แล้ว อนุภาคยางจะค่อยๆ เคลื่อนไปรวมอยู่ทางขั้วบวก และลอยตัวสูงขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้ เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำกว่าความหนาแน่นของเซรุ่ม อย่างไรก็ตาม วิธีการทำน้ำยางให้ข้นโดยใช้ไฟฟ้านี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัด จึงเป็นเพียงวิธีการสำหรับการค้นคว้าวิจัย และไม่เป็นที่นิยมในเชิงพาณิชย์

2.4.2.4 วิธีการปั่น

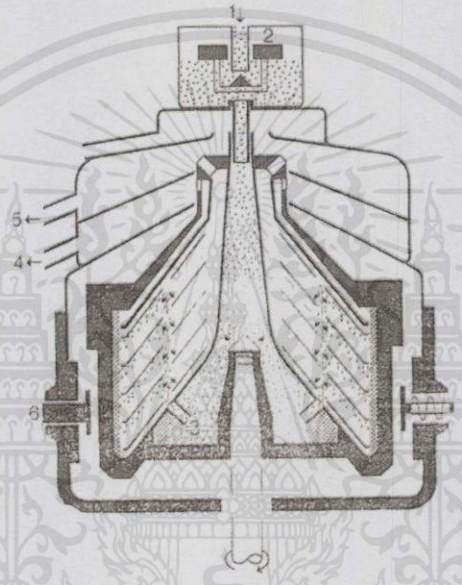
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ (Colloid system) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยาง (Rubber particle) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลาง คือ เซรุ่ม อนุภาคยางเหล่านี้มีการเคลื่อนไหวแบบ Brownian และอนุภาคยางเบากว่าเซรุ่ม ดังนั้นอนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงได้ถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น หรือคือเพื่อการแยกส่วนที่เป็นเนื้อยางออกจากส่วนของเซรุ่มนั่นเอง

เครื่องปั่นน้ำยางข้นผลิตจำหน่ายโดยหลากหลายบริษัท เช่น บริษัท Alfa-Laval ประเทศสวีเดน บริษัท WestfaliaSepatatro Co., ประเทศเยอรมัน และบริษัท Guangzhong Centrifuge Manufacturing Co, Ltd. ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะหน้าตัดภายในของหัวปั่น น้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วง ไปที่จุดกลางของหัวปั่น และแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดจานแยก (3) จากนี้น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีน้ำหนัก (Heavy phase) คือหางน้ำยาง (Skim latex) ไหลออกสู่รอบนอกของหัวปั่น และไปตามทางด้านบนของเครื่องผ่านสกรูปรับ (Regulating screw) สู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง (4) ส่วนข้นของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาง (Concentrate or cream) ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางหัวปั่นไปยังด้านบนเครื่องเข้าสู่ที่เก็บ (5)

ปกติจะมีการปรับเครื่องปั่นให้ผลิตน้ำยางที่มีความเข้มข้นประมาณ 60% เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำเป็นต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างตม (Sludge) ที่ติดอยู่ในหัวปั่นของเครื่อง



รูปที่ 2.6 ภาพหน้าตัดตามยาวของหัวปั่นน้ำยางข้น 1) Feed 2) Feed cup with float 3) Distribution tubes 4) Outlet for skim 5) Outlet for the concentrate 6) Mechanical brake [4]

ในการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น โรงงานผลิตน้ำยางข้นจะต้องจัดหาน้ำยางสดจากสวน ปกติจะตั้งจุดรับซื้อน้ำยางตามที่ต่างๆ หรือชาวสวนยางบางรายอาจขนน้ำยางสดมาส่งให้ที่โรงงานโดยตรง การรวบรวมน้ำยางจากสวนจะโดยวิธีใดๆ ก็ตาม ข้อสำคัญที่ต้องคำนึงถึง และถือปฏิบัติ คือ การรักษาความสะอาด การใช้สารรักษาสภาพน้ำยางอย่างถูกต้อง และพอเพียง ปกติจะใช้แอมโมเนียตามลำพังหรือร่วมกับสารช่วยเช่น TMTD กับ ZnO ควรนำน้ำยางสดที่รวบรวมได้เข้ากระบวนการผลิตให้เร็วที่สุด จึงจะได้น้ำยางข้นที่มีคุณภาพดี เมื่อนำน้ำยางสดเข้าโรงงานแล้วจะทำการถ่ายลงถังรวม เก็บตัวอย่างตรวจสอบปริมาณเนื้อยางแห้ง และปริมาณกรดไขมันระเหยได้ตลอดจนปริมาณธาตุแมกนีเซียม เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับสมบัติน้ำยางสดให้เหมาะสมต่อไป ในทางปฏิบัติโรงงานจะเติม DAHP ลงในน้ำยางอย่างน้อย 1 วัน เพื่อตกตะกอนธาตุแมกนีเซียม ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนี้จะไขน้ำยางออกจากถังเก็บสู่การปั่นด้วยเครื่องปั่นซึ่งน้ำยางที่ออกจากเครื่องปั่นส่วนหนึ่ง คือ น้ำยางข้นที่ต้องการ และอีกส่วนเป็นผลพลอยได้ คือ หางน้ำยาง

2.4.2.4.1 การรวบรวม และรักษาสภาพของน้ำยางข้น

ขั้นตอนสุดท้ายของการปั่นน้ำยางข้น คือ การรวบรวม และรักษาสภาพของน้ำยางข้นสารที่นิยมใช้เก็บรักษาสภาพน้ำยางข้น คือ แอมโมเนีย และแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิด เช่น Zinc Oxide, Zinc Diethyl Dithiocarbamate, Tetra Methyl ThiuramDisulphide เป็นต้น

2.4.2.4.2 การเก็บ และการขนส่งน้ำยางข้น

การเก็บน้ำยางข้นไว้ในโรงงานเพื่อรอถ่าย และขนส่งต่อไปหรือเพื่อรอการนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาจบรรจุน้ำยางข้นได้ประมาน 30-100 ตัน หรือขนาดความจุ 200 ลิตร น้ำยางข้นที่เก็บไว้โดยไม่ถูกกวนจะมีปัญหาเกิดครีมขึ้นบนผิวหน้า เนื่องจากอนุภาคยางลอยขึ้นอยู่ผิวหน้าทำให้น้ำยางส่วนบนข้นมากขึ้น จึงจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางภายในถัง ซึ่งประกอบด้วยใบพัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 – 3/4 ของเส้นผ่านศูนย์กลางถัง การกวนควรใช้ความเร็วต่ำๆ เช่น 15-30 รอบต่อนาที ระยะเวลาและความถี่ของการกวนเพื่อให้น้ำยางคงเป็นเนื้อเดียวกันตลอดขึ้นกับอุณหภูมิการเก็บน้ำยาง ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำยางจะเกิดครีมได้เร็วขึ้น หากเก็บน้ำยางไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ควรจะกวนน้ำยางทุกวัน วันละประมาณ 30 นาที และถ้าเก็บน้ำยางไว้ในอุณหภูมิสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ควรกวนน้ำยางทุกวัน วันละประมาณ 1-2 ชั่วโมง

กรณีการเก็บน้ำยางในถังขนาดใหญ่ ต้องทำให้ถังสะอาด และฆ่าเชื้ออยู่เสมอ วิธีการที่ดีที่สุดคือ เมื่อถ่ายน้ำยางออกจากถังแล้วควรปล่อยให้น้ำยางที่ติดถังอยู่บ้างแห้ง แล้วจึงลอกออกล้างถังด้วยน้ำยาฆ่าเชื้อ เช่น ฟอร์มาลดีไฮด์ หรือ Chlorinated tri-sodium phosphate

ส่วนการเก็บน้ำยางไว้ในถังขนาด 200 ลิตร น้ำยางมีแนวโน้มจะเกิดครีมขึ้นทำนองเดียวกับการเก็บในถังขนาดใหญ่ ดังนั้น ต้องอย่าวางถังน้ำยางไว้นิ่งเป็นเวลานานๆ อนึ่ง เพื่อลดการเกิดครีมในถัง ควรเก็บน้ำยางที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 20 องศาเซลเซียส และกลิ้งถังเพื่อเป็นการกวนน้ำยางสัปดาห์ละครั้ง แต่การที่ต้องกลิ้งน้ำยางทุกถังอาจเป็นเรื่องยุ่งยาก จึงควรถ่ายน้ำยางลงเก็บในถังขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์สำหรับกวนน้ำยางไว้

การขนส่งน้ำยางข้นไปยังโรงงานผู้ใช้กระทำโดยบรรจุในถังขนาด 200 ลิตร หรือใช้รถติดแท็งก์ความจุประมาณ 9,000 – 14,000 ลิตร หรือความจุมากกว่านี้ ซึ่งเป็นวิธีการที่มีปัญหาน้อยปัญหาที่อาจเกิด เช่น เกิดการแข็งตัวเนื่องจากเย็นจัด เกิดการตกตะกอน หรือเกิดครีมลอยขึ้นผิวหน้า และมีการปนเปื้อน เนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุ หรือจากสารอื่นที่อยู่ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาชนะที่ใช้เก็บน้ำยางข้นควรเคลือบผนังด้านในด้วยสารที่ทนกรดอ่อน เช่น สารเคลือบประเภทไบทูเมน (Bitumen) และสารอีพอกซีเรซิน (Epoxy-resin) เป็นต้น

การถ่ายน้ำยางกระทำได้โดยวิธีต่างๆ เช่น โดยใช้แรงโน้มของโลก ให้ถังเก็บน้ำยางอยู่ในที่สูงแล้วปล่อยให้น้ำยางไหลไปยังที่ต้องการ โดยวิธีใช้ปั๊มซึ่งต้องเลือกปั๊ม ที่ไม่ทำให้เกิดแรงเฉือนสูง ปั๊มที่ใช้ได้ เช่น Centrifugal pump, Single screw และแบบ Diaphragm เป็นต้น อีกวิธีหนึ่งที่นิยมใช้สำหรับการถ่ายน้ำยางโดยใช้แรงอัดอากาศ (Air compressor) [4]

2.4.3 ชนิดของน้ำยางข้น

ตารางที่ 2.3 แสดงชนิดของน้ำยางข้นและสารเคมีรักษาสภาพ อย่างไรก็ตาม แม้ปัจจุบันประเทศไทยจะมีการตื่นตัวในกิจการของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นเป็นอย่างมาก แต่น้ำยางข้นที่ผลิตในประเทศทั้งหมดโดยวิธีการใช้เครื่องปั่น และส่วนใหญ่รักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก (HA) จะมีเพียงส่วนน้อยที่ผลิตน้ำยางข้น และรักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียร่วมกับสารช่วยบางชนิดสำหรับพวกหลังนั้นมักเป็นระบบ LA-TZ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการผลิตและรักษาสภาพน้ำยางข้นด้วยระบบที่อยู่ระหว่าง HA กับ LA ซึ่งเรียกกันว่า น้ำยางชนิด MA

ตารางที่ 2.3 ชนิดของน้ำยางข้นและสารรักษาสภาพ [4]

ชนิดของน้ำยาง	สารรักษาสภาพ
1) น้ำยางข้นจากการปั่นแยก (DRC ต่ำสุด 60%)	
(a) High ammonia (HA)	0.7% Ammonia
(b) Low ammonia-santobrite (LA-SPP)	0.2% Ammonia + 0.2% Sodium pentacholorophenate
(c) Low ammonia-boric acid (LA-BA)	0.2% Ammonia + 0.24% Boric acid +0.05% Lauric acid
(d) Low ammonia-Zinc Diethyl dithiocarbamate (LA-ZDC)	0.02% Ammonia + 0.10% ZDC + 0.05% Lauric acid
(e) Low ammonia-tetramethyl-	0.02% Ammonia + 0.013% TMTD +

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thiuramdisulphide/zinc oxide (LA-TZ)	0.013% ZnO + 0.05% Lauric acid
2) น้ำยางข้นจากการทำครีม (DRC ต่ำสุด 60%)	
(a) High ammonia (HA)	0.7% Ammonia
(b) Low ammonia (เช่นเดียวกับน้ำยางข้นจากการปั่นแยก)	เช่นเดียวกันกับน้ำยางข้นจากการปั่นแยก (b) – (e)
3) น้ำยางข้นจากการระเหยน้ำ	
(a) High solid (min, 72% TSC)	250 milliequivalents KOH + Soap
(b) Low solid (about 63% TSC)	250 milliequivalents KOH + Soap
(c) High ammonia (about 62% TSC)	0.7% Ammonia

2.5 การผลิตผลิตภัณฑ์จากยาง

2.5.1 สารประกอบสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ยาง

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง วัตถุดิบหลักคือ ยางธรรมชาติหรือยางสังเคราะห์ หรือยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับยางสังเคราะห์ และวัตถุดิบประเภทสารประกอบต่างๆ ที่จำเป็น ซึ่งอาจจัดกลุ่มตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การจัดกลุ่มยางและสารสำหรับทำผลิตภัณฑ์ยาง [4]

1. ยาง	ก) ยางธรรมชาติ ข) ยางสังเคราะห์ ค) ยางรีเคลม
2. สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent)	ก) ซัลเฟอร์ หรือกำมะถัน ข) สารอื่นๆ (ขึ้นอยู่กับชนิดของยางที่ใช้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการใช้งานที่ไม่แสวงหาผลประโยชน์ทางการค้า ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สารตัวเร่งให้ยางคงรูป (Accelerator)	ก) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาช้า ข) ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเร็ว
4. สารตัวกระตุ้น (Activator)	ก) อนินทรีย์สาร ข) อินทรีย์สาร
5. สารตัวเติม (Filler)	ก) เขม่าดำ - ช่วยเพิ่มความแข็งแรง - ไม่เพิ่มความแข็งแรง ข) ไม่เป็นสีดำ - ช่วยเพิ่มความแข็งแรง - ไม่เพิ่มความแข็งแรง
6. สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids)	ก) ช่วยฉีกขาดโมเลกุล ข) ช่วยหล่อลื่นในโมเลกุลยาง ค) ช่วยให้สมบัติเหนียวติดกันเองดีขึ้น
7. สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Age-resistors)	ก) เปลี่ยนสี ข) ไม่เปลี่ยนสี
8. สารอื่นๆ (Miscellaneous ingredients)	ก) ช่วยฉีกขาดโมเลกุล ข) ช่วยให้ยางแข็ง ค) ไม่ติดเปลวไฟ ง) สีต่างๆ จ) ช่วยให้เกิดความเหนียวติด ฉ) ช่วยให้เกิดฟอง ช) ช่วยการเชื่อมติด ซ) ช่วยระงับกลิ่น

2.5.2 สารทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agent)

สารทำให้ยางคงรูปชนิดแรกที่ค้นพบโดย Goodyear คือ กำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ ธาตุอื่นๆที่อยู่ในกรุ๊ปเดียวกับซัลเฟอร์ เช่น ซิลิเนียม และเทลลูเลียม และอนุพันธ์ของธาตุเหล่านี้ก็สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาคงรูปได้ เช่นเดียวกันกับซัลเฟอร์ สำหรับธาตุที่กล่าวถึงเหล่านี้จะใช้เมื่อมีความต้องการพิเศษ เช่น ต้องการให้ผลิตภัณฑ์มีความทนทานต่อความร้อน เป็นต้น

ปฏิกิริยายางคงรูป หรือ ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Vulcanization) เป็นศัพท์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมยาง เพื่ออธิบายถึงกระบวนการที่ยางมีปฏิกิริยากับสารเคมี โดยมีความร้อนร่วมด้วย ปฏิกิริยานี้ทำให้ยางเปลี่ยนจากสถานะที่ไม่คงรูป (Unvulcanized) ไปเป็นสถานะที่คงรูปซึ่งอยู่ในสถานะที่เรียกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Vulcanized or elastic state คือ มีความยืดหยุ่น สำหรับยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางไออาร์ ยางเอสบีอาร์ ยางบิวไทล์ ยางไนไตรล์ (IR, SBR, Butyl and NBR) จะทำปฏิกิริยากับกำมะถัน หรือสารประกอบที่ให้กำมะถัน (Sulphur donor) เกิดยางคงรูปได้และยางสังเคราะห์บางชนิด เช่น ยางนีโอพรีน จะใช้สารกลุ่มโลหะออกไซด์และแมกนีเซียมออกไซด์เป็นสารที่ทำให้ยางคงรูป [4]

2.5.3 สารตัวเร่งให้ยางคงรูป (Accelerators)

การใช้สารตัวเร่งให้ยางคงรูป เพื่อลดเวลาที่จะทำให้ยางคงรูป โดยการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยายางคงรูปให้เร็วขึ้น โดยปกติแล้วการเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ จะช่วยปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ด้วย

โดยทั่วไปแล้ว ยางสังเคราะห์จะต้องการปริมาณสารตัวเร่งให้ยางคงรูปมาก และต้องการกำมะถันน้อยกว่ายางธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องด้วยสายโมเลกุลของยางสังเคราะห์ มีส่วนของโครงสร้างที่ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการคงรูป (Non-vulcanizable structure) ซึ่งจะไม่ต้องการกำมะถัน [4]

ตัวอย่างสารตัวเร่งให้การคงรูป เช่น

- DPG : Diphenyl guanidine
- MBT : Mercaptobenzole
- TMTD : Tetramethylthiuramdisulphide
- ZDC : Zinc diethyl dithiocarbamate

2.5.4 สารตัวกระตุ้นสารตัวเร่ง (Activators)

สารนี้จะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนเมื่อมีปฏิกิริยากับสารตัวเร่งให้ยางคงรูป ซึ่งจะเกิดการช่วยให้เร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ยางจะคงรูปเร็วยิ่งขึ้น และปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ให้ดียิ่งขึ้นด้วย

โดยทั่วไปจะใช้สารตัวกระตุ้นสารตัวเร่งพวก ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก (หรือกรดไขมันอื่นๆ) กับยางธรรมชาติ ยางเอสบีอาร์ ยางไออาร์ และยางไอไออาร์ [4]

2.5.5 สารตัวเติม (Filler)

สารตัวเติมที่ใช้ผสมกับยาง อาจแยกตามความสามารถของสารได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มหนึ่งช่วยเสริมความแข็งแรง (Reinforcing) ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งไม่ช่วยเสริมแรง (Non-reinforcing) ให้กับยาง และอาจแบ่งตามลักษณะของสาร เป็นสารตัวเติมชนิดมีสีดำ คือ เขม่าดำ กับชนิดไม่เป็นสีดำ คือ แป้งต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวเติม มีจำหน่ายเป็นเกรดต่างๆ ตามความสามารถในการปรับปรุงสมบัติให้ยาง ตัวอย่างเช่น SAF (Super Abrasion Furnace), HAF (High Abrasion Furnace), FEF (Fast Extrusion Furnace) และ GPF (General Purpose Furnace)

สารตัวเติมที่ไม่เป็นสีดำได้แก่ ไชน่าเคลย์ แป้งทัลคัม ไว้ติ้ง (Chaina clay, Talcum, Whiting) เป็นต้น สารเหล่านี้ไม่เพียงแต่ลดต้นทุนการผลิตเท่านั้น แต่ยังช่วยทำให้ยางคอมปาวด์มีความเรียบ (Smooth) ง่ายต่อการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการขึ้นรูปโดยผ่านกรรมวิธีรีดเรียบ (Calendering)

เมื่อมีความต้องการสารตัวเติมที่ไม่เป็นสีดำและให้ความแข็งแรงกับยางด้วย ก็ต้องใช้ซิลิกา สารนี้จะช่วยให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติทางกายภาพที่ดี และสารนี้มีความจำเป็นโดยเฉพาะเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นยางสังเคราะห์ อนึ่ง สารตัวเติมที่สามารถให้ความแข็งแรงได้ดีก็ยังคงเป็นสารตัวเติมสีดำซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการผลิตยางล้อชนิดต่างๆ อย่างไรก็ตามการที่จะเลือกใช้สารตัวเติมเพื่อให้เสริมความแข็งแรงกับยางนั้น ก็ขึ้นอยู่กับสีของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการด้วย

ในการเลือกใช้สารตัวเติมนั้น จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมต่อสภาพการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการผลิตภัณฑ์ที่ทนทานต่อสารเคมีต่างๆ (Chemical resistance) และโดยเฉพาะในสภาวะที่เป็นกรด การใช้ไวติ้งพวกแคลเซียมคาร์บอเนตก็จะไม่เหมาะสมและสารประเภทซิลิกา หรือ ซิลิเคต ไชนาเคลย์ แป้งทัลคัม จะเหมาะสมกว่าสำหรับการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับกรดมาก สารแบเรียมซัลเฟต จะเหมาะสมกว่า [4]

2.5.6 สารช่วยในกรรมวิธีการผลิต (Processing aids)

สารที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารที่ทำให้ยางนิ่ม โดยช่วยฉีกขาดโมเลกุลยาง (Peptizing agent) ทำให้ยางนิ่ม โดยช่วยหล่อลื่นโมเลกุลยาง (Plasticizers) สารช่วยเพิ่มสมบัติการเหนียวติดกันของยาง (Tackifier) สารช่วยลดปัญหายางติดเครื่องขณะบดสัมผัสกับสารเคมี (Lubricants) ตัวอย่างสารที่ช่วยกรรมวิธีการผลิตเช่น Phthalates, Sebacates, Alizarates, Extender oil, Castor oil, Resin เป็นต้น [4]

2.5.7 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Age-resistors)

ยางทั่วๆ ไปมีขีดจำกัดในการต่อต้านการเสื่อมสภาพ ดังนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารที่มีความสามารถป้องกันยางเสื่อมสภาพ เนื่องจากการนำผลิตภัณฑ์ยางไปใช้งาน โอกาสที่ยางจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น หรือเกิดปฏิกิริยากับโอโซนเป็นไปได้เสมอ และผลจากการปฏิบัติดังกล่าวจะทำให้ผิวยางแตกสูญเสียสมบัติทางกายภาพ ใช้งานไม่ได้ ฉะนั้น จึงจำเป็นต้องใส่สารต่อต้านปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชั่น สารต่อต้านปฏิกิริยาของยางกับโอโซน และในการผลิตสารนี้ในเชิงการค้า จะมีทั้งที่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสีได้ และชนิดที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสี [4]

ตัวอย่างสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เช่น

- PBN : Phenyl b-Naphthylamine
- IPPD : N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine
- DPPD : N, N'-Diphenyl-[-phenylenediamine]

2.5.8 สารอื่นๆ (Miscellaneous)

การใช้สารอื่นๆ ดังที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ขึ้นอยู่กับความต้องการสมบัติพิเศษบางประการในกระบวนการผลิตหรือในตัวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต

1) Peptizer สารเหล่านี้ถูกจัดเป็นสารช่วยในกระบวนการผลิตก็ได้ สารนี้จะทำหน้าที่ฉีกขาดโมเลกุลยางโดยทางเคมี (Chemical scission) ตัวอย่างสารพวกนี้ เช่น Peptone-22 (Dibenzamidophenyldisulphide) เป็นต้น
2) Stiffeners สารช่วยให้ยางมีความแข็ง ใช้ช่วยปรับความแข็งโดยเฉพาะกับยางที่มี plasticity ต่ำ การใช้อาจใช้เพียงเล็กน้อย ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ได้แก่ Dihydrazine-sulphate ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมาก จึงใช้ในปริมาณเพียง 1/8-1/4% ของปริมาณยาง
3) Flame retardants สารกลุ่มนี้ได้แก่ Chlorinated materials และซิลิเนียม อย่างไรก็ตามควรระมัดระวังในการใช้สารนี้ เพราะเป็นสารพิษ
4) Colors and Pigment สารทำให้เกิดสีสันต่างๆ ควรจะใช้สารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชั่นชนิดที่ไม่เปลี่ยนสีเพื่อให้สีของยางสะอาด ทำให้ได้โทนสีที่ต้องการได้ การใช้ Lithopone (สารผสมของ 28% ซิงค์ซัลไฟด์ + 71% แบเรียมซัลเฟต +1% ซิงค์ออกไซด์ โดยประมาณ) หรือ Thitanium dioxide จะช่วยให้ยางมีสีสันดีขึ้น
5) Takifying agent เป็นสารช่วยให้เกิดความเหนียวติดที่ดีขึ้น ได้แก่ พวก Wood Resins, Coumarone resins, Pine tar เป็นต้น
6) Blowing agent เป็นสารที่ให้ก๊าซที่อุณหภูมิขณะที่ยางเกิดการคงรูป จึงทำให้ยางเกิดเป็นฟองขึ้น สารนี้ใช้กับผลิตภัณฑ์ยางที่ต้องการให้เป็นฟองพรุน เช่น ผลิตภัณฑ์ยาง sponge สารที่ใช้เพื่อให้ยางเป็นฟองพรุน ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต (มีกรดไขมันหรือกรดโอเลอิกมากพอ) ซึ่งจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และเป็นสารอินทรีย์บางชนิดจะให้ก๊าซไนโตรเจน ส่วนแอมโมเนียคาร์บอเนตชนิดเม็ด (Pellets) จะให้ก๊าซแอมโมเนีย ขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในยางนั้น ควบคุมได้ด้วยชนิดของสารที่ให้ก๊าซ และอัตราการเกิดก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) Bonding agent การใช้สารนี้จำกัดเฉพาะงานบางอย่าง เช่น การใช้ Manganese หรือ Cobalt recinoleates เพื่อช่วยปรับปรุงการเชื่อมของยางกับแผ่นทองเหลือง หรือสังกะสี และใช้ Resorcinol-formaldehyde/latex เพื่อช่วยปรับปรุงการเชื่อมโยงของยางติดกับเนื้อของ Rayon, Polyester เป็นต้น [4]

2.6 การขึ้นรูปโฟมยาง

เทคนิคการขึ้นรูปโฟมยาง [4] ได้แก่

1. การหล่อแบบสลัชช์ (Slush molding) หลักการสำคัญของเทคนิคนี้คือ การเทน้ำยางผสมสูตร (Latex compound) ลงในแม่พิมพ์ (Mold) แล้วทำให้น้ำยางผสมสูตรเข้าจับตัวที่ผิวด้านในของแม่พิมพ์จนได้ความหนาที่ต้องการ แล้วจึงเทน้ำยางส่วนเกินออกจากแม่แบบ จะได้ผลิตภัณฑ์ยางกลวงน้ำหนักเบา ผิวบาง เช่น การผลิตตุ๊กตายางชนิดกลวง ข้อจำกัดของเทคนิคนี้คือ ความหนาของผลิตภัณฑ์อาจไม่สม่ำเสมอ

2. การหล่อแบบหมุน (Rotational molding) ใช้ในการเทน้ำยางผสมสูตรในปริมาณที่พอเหมาะใส่ภายในแม่แบบ แล้วทำการหมุนแม่แบบพร้อมๆกันในหลายๆแกน จะทำให้น้ำยางไหลเคลือบผิวแม่แบบด้านในอย่างสม่ำเสมอ

3. การหล่อแบบธรรมดา ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ยางตัน โดยการเทน้ำยางผสมสูตรลงในแม่แบบแล้วทิ้งให้ยางแข็งตัว วิธีนี้มีข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้ผลิตชิ้นส่วนขนาดใหญ่ เพราะน้ำยางข้นมีน้ำเป็นองค์ประกอบปริมาณมาก (ประมาณ 40%) เมื่อแข็งตัวจะทำเกิดการหดตัวหรือเปลี่ยนปริมาตรอย่างมาก

2.6.1 การผลิตโฟมยางจากลาเท็กซ์

ยางลาเท็กซ์นิยมใช้ในการผลิตฟองน้ำยาง เช่น ที่นอนฟองน้ำ หมอน เบาะรองนั่ง ตุ๊กตายางฟองน้ำ ฯลฯ วิธีที่ใช้ในการผลิตโฟมยางลาเท็กซ์ มี 2 วิธี คือ

2.6.1.1 การเกิดโฟมด้วยวิธีแบบดันลอป (Dunlop Process)

Dunlop Process เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางพาราที่ประหยัดพลังงาน จะทำโดยนำน้ำยางที่ผสมสารเคมีแล้ว ไปปั่นให้ฟู แล้วเทลงแม่พิมพ์หล่อขึ้นรูปจนเต็ม อบด้วยความร้อนจนยางสุก นำออกจากแม่พิมพ์ แล้วนำไปผ่านกระบวนการล้างสารเคมีออกเพื่อไม่ให้มีกลิ่นเหม็นของสารเคมี และอบให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟองยางที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีแบบดันลอป จะมีระดับความนิ่มของฟองยางไม่สม่ำเสมอตลอดความหนาของฟองยาง โดยด้านล่างจะแข็งกว่าด้านบน ส่วนการควบคุมความแข็งของฟองยางในการผลิตด้วยวิธีแบบดันลอป สามารถทำได้โดยการควบคุมระดับของการตีฟอง ตีฟองมากๆ ตีฟองนานๆ ก็ได้ฟองนิ่มฟู ถ้าตีฟองน้อยๆ ตีไม่นาน ก็ได้ฟองที่แข็งแน่น [6]

2.6.1.2 การเกิดโฟมด้วยวิธีแบบทาลาเลย์ (Talalay Process)

Talalay Process เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางพาราวิธีหนึ่งที่พัฒนาขึ้น แม่พิมพ์ที่ใช้ในการผลิตต้องเป็นแม่พิมพ์สุญญากาศ ทนทานต่อแรงดันสูงๆ น้ำยางจะถูกตีให้เป็นฟองเช่นเดียวกับวิธีแบบ Dunlop แล้วเทฟองยางเข้าไปในแม่พิมพ์ จากนั้นจึงทำให้เป็นระบบปิด แล้วใช้พลังงานสูงในการสร้างบรรยากาศแบบสุญญากาศ เพื่อให้ฟองยางฟูเต็มแม่พิมพ์ หลังจากนั้นจะลดอุณหภูมิลงอย่างรวดเร็วเพื่อให้ฟองยางแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (หากทิ้งไว้นาน จะเป็นการเสียพลังงานอย่างมากเพื่อสร้างระบบสุญญากาศ) หลังจากที่ทำให้ฟองยางแข็งตัวแล้ว จึงนำไปอบเพื่อให้ยางสุก

ฟองยางที่ได้จากกระบวนการผลิตด้วยวิธีแบบทาลาเลย์ จะมีระดับความนิ่มของฟองยางค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดทั้งความหนาของชิ้นฟองยาง กล่าวง่ายๆก็คือ ด้านบนและด้านล่างแข็งเท่าๆกัน แต่วิธีแบบทาลาเลย์ มีข้อเสียคือ จะไม่สามารถผลิตฟองยางที่มีความแข็งแน่นได้ด้วยข้อจำกัดของการสร้างสภาวะสุญญากาศที่จะทำให้ได้ฟองยางที่นิ่มตลอดเวลา แม้จะสามารถปรับระดับความแข็งได้ แต่ก็ไม่สามารถทำแบบที่แข็งแน่นในระดับที่ทำได้ด้วยวิธีแบบดันลอป [6]

2.7 สารเคมีที่ใช้ในการผลิตโฟมยาง

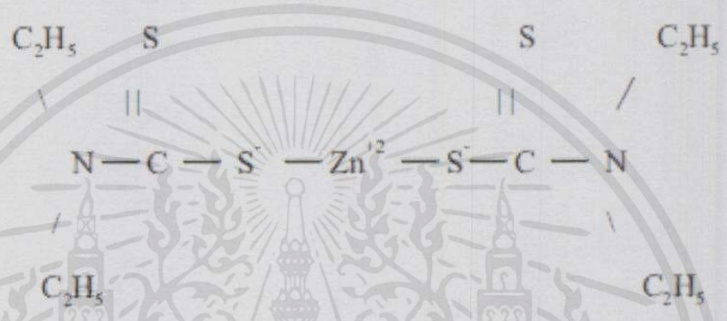
2.7.1 กำมะถัน (Sulphur)

กำมะถันเป็นสารที่ใช้เพื่อวัลคาไนซ์ยาง โดยเมื่อใส่กำมะถันเข้าไปในยางแล้วให้ความร้อน จะเกิดการวัลคาไนซ์ ทำให้สมบัติของยางดีขึ้นคือ เมื่อร้อนไม่เหนียว เมื่อเย็นไม่แข็ง ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายในตัวทำละลาย เป็นต้น ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากกำมะถันทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลยาง (Crosslink) การเชื่อมขวางในยางทำให้โมเลกุลของยางใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการหลอมเหลวเมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นเป็นไปได้ยากขึ้น ปริมาณกำมะถันในยางทำให้ปริมาณการเชื่อมขวางเพิ่มขึ้นและสมบัติของยาง เช่น ความต้านทานแรงดึง ความแข็ง โมดูลัส และความกระเด้งตัวของยางก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามการเชื่อมขวางด้วย [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate)

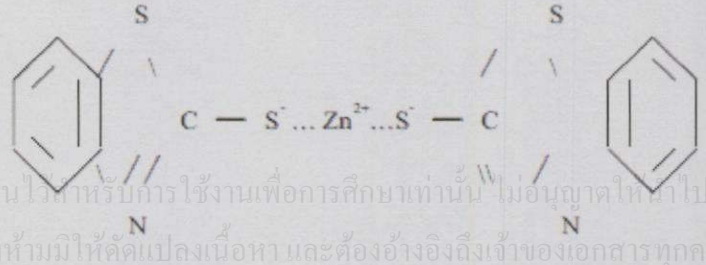
เป็นสารตัวเร่งประเภทซิงค์ไดไธโอคาร์บาเมต มีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 2.7 สารเคมีในกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยงยาง โดยใช้อากาศร้อนหรือไอน้ำ เพราะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น สามารถคงรูปได้ดีและวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำที่ 115-125 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดการ Reversion ขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควร Cure เกิน 125 องศาเซลเซียส [7]



รูปที่ 2.7 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate) [7]

2.7.3 ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole)

เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มไธอาโซล มีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 2.8 สารเคมีในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบของการวัลคาไนซ์ และสามารถกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น โดยการใช้ตัวเร่งที่เป็นด่าง เช่น สารพวกไดไธโอคาร์บาเมตและไธยูแรม แต่การกระตุ้นนี้มีผลให้ Scorch time สั้นลงด้วย และถ้าใช้ร่วมกับ Basic accelerator โดยใช้สัดส่วนจำนวนโมลเท่ากัน จะให้ผลสูงสุดและความเร็วในการเชื่อมโยงเร็วกว่าที่จะใช้เดี่ยวๆ โดย Basic accelerator ที่นิยมใช้จะเป็นพวกกัวนิดีน เช่น DPG เป็นต้น [7]

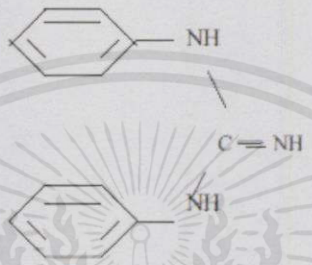


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole) [7]

2.7.4 DPG (Diphenyl guanidine)

เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มกัวนิดีน มีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 2.9 สารตัวเร่งกลุ่มกัวนิดีนเป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางสุก (Cure) ช้า ถ้าใช้เป็นตัวเร่งเสริมจะมีการกระตุ้นสูงมาก โดยเฉพาะการกระตุ้นพวกไธอาโซล ถ้าใช้สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งหลักจะไม่สามารถวัลคาไนซ์โดยใช้อากาศร้อนได้เพราะจับตัวช้าเกินไป การทำงานของกัวนิดีนต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวกระตุ้น แต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรดไขมัน [7]



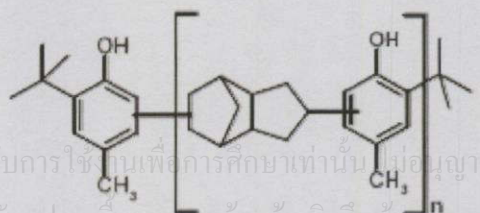
รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine) [7]

2.7.5 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO)

ซิงค์ออกไซด์ ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นตัวเร่ง ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเมื่อใส่ไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้โมดูลัสสูงขึ้น และบางครั้งถ้าไม่มีการใส่สารกระตุ้นก็จะไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้ ZnO เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3-5 phr ได้ และถ้า ZnO มีขนาดอนุภาคเล็กก็สามารถลดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ และถ้าใช้มากกว่า 5 phr ขึ้นไป มักมีจุดประสงค์อื่นมากกว่าจะใช้เป็นสารกระตุ้น เช่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการทำให้ยางสุกโดยใช้อากาศร้อน [7]

2.7.6 Antioxidant wingstay L

เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อป้องกันยางเสื่อมสภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ Antioxidant wingstay L [8]

2.7.7 โพแทสเซียมโอลิเอต (Potassium oleate)

เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการปั่นฟอง

2.7.8 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride ; SSF)

เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางจับตัวเป็นเจล

2.8 ยางซิลิโคน

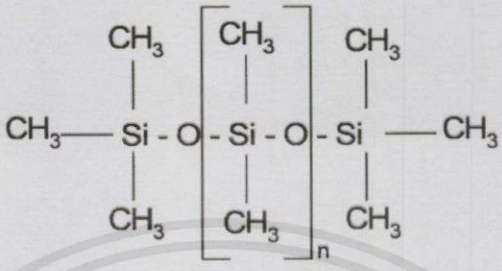
ยางซิลิโคน (Silicone Rubber, Q) หรือยางพอลิไซล็อกเซน (Polysiloxane rubber) จัดเป็นยางสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ (Inorganic-organic nature) เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เหมือนยางชนิดอื่นกล่าวคือมีสายโซ่หลักเป็นอะตอมของซิลิกอน (Silicon , Si) สลับกับอะตอมของออกซิเจน คล้ายกับโครงสร้างของแก้ว (Glass) และควอตซ์ (Quartz) พันธะซิลิกอน-ออกซิเจน (Si-O bond) เป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานพันธะ (Bond energy) ประมาณ 88-117 kcal/mole สูงกว่าพลังงานพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน (C-C bond) (85 kcal/mole) เป็นสาเหตุให้ยางซิลิโคนมีความทนทานต่อความร้อนสูง เนื่องจากอะตอมของซิลิกอนมีขนาดใหญ่เทียบกับคาร์บอน และหมู่เมทิล (CH_3-) มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง ทำให้ปริมาตรอิสระ (Free volume) ที่เป็นปริมาตรกีดกันของหน่วยไดเมทิลไซล็อคเซน (Dimethylsiloxane) มีมาก และผลักไม่ให้สายโซ่ข้างเคียงเข้าใกล้ ทำให้ยางซิลิโคนมีความยืดหยุ่นสูง มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ต่ำมาก และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) รวมทั้งความสามารถในการกดอัด (Compressibility) สูง การที่สายโซ่หลักเป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic backbone) ทำให้ยางซิลิโคนมีความต้านทานต่อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ

หมู่เมทิลประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนชนิดปฐมภูมิ (Primary hydrogen) เป็นโครงสร้างส่วนมาก (99.9%) ของหมู่ข้างเคียงในยางซิลิโคน ไม่เหมือนยางชนิดอื่นที่มีไฮโดรเจนชนิดทุติยภูมิ (Secondary) ตติยภูมิ (Tertiary) อะลิลิก (Allylic) หรือเบนซิลิก (Benzylic) ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ทำให้ยางซิลิโคนทนทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถคงสมบัติได้ดีแม้ว่าจะใช้งานที่อุณหภูมิสูง นอกจากนี้โครงสร้างของสายโซ่หลักของยางซิลิโคนเป็นพันธะเดี่ยวมีความทนทานต่อโอโซน ออกซิเจน แสงอัลตราไวโอเลต หรืออุณหภูมิสูง ที่ทำให้เกิดการขาดของสายโซ่

ถ้าใช้งานยางที่อุณหภูมิห้อง ยางซิลิโคนอาจมีความแข็งแรงต่ำกว่ายางทั่วไป แต่ความแข็งแรงของยางซิลิโคนที่อุณหภูมิสูง (400 °F) เหนือกว่ายางชนิดอื่น ยางซิลิโคนนิยมใช้งานเป็นฉนวนเช่น สายไฟ และสายเคเบิล สำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากยางซิลิโคนมีสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี และความเป็นฉนวนไม่เปลี่ยนแปลงแม้ที่อุณหภูมิสูงหรือเมื่อติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางซิลิโคนสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของเมทิลคลอโรไซเลน (Methylchlorosilanes) ทำให้ได้ยางซิลิโคนคือ ไดเมทิลไซล็อคเซน (Dimethylpolysiloxane, MQ) มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน [5]

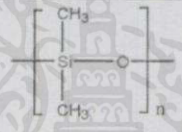
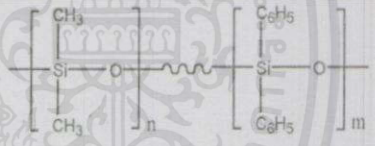
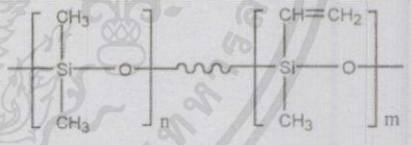
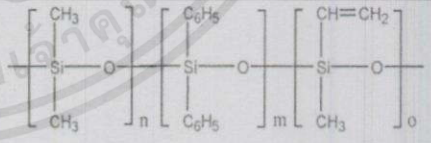
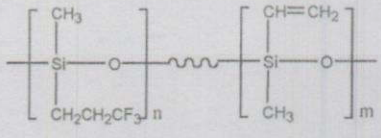
ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสังเคราะห์สมบัติยางซิลิโคนหลายเกรด แสดงดังตารางที่ 2.5 ตัวอย่างเช่นสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำสามารถปรับปรุงได้โดยการแทนที่หมู่เมทิลในโครงสร้างบางส่วน (ประมาณ 5%) ด้วยหมู่ฟีนิล (Phenyl, $-C_6H_5$) ทำให้ได้ยางซิลิโคนแบบไดเมทิลฟีนิลพอลิไซล็อคเซน (Dimethylphenylpolysiloxane ; MPQ) โครงสร้างที่ใหญ่ของหมู่ฟีนิลจะช่วยขัดขวางการเกิดผลึก (Crystallization) และเพิ่มระยะห่างระหว่างสายโซ่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ของยางลดต่ำลง สามารถใช้งานยางได้ที่ต่ำกว่า -130 °F (ปกติยางซิลิโคนแบบ MQ แข็งตัวใช้งานไม่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า -60 °F)

เราสามารถเชื่อมโยงยางซิลิโคนด้วยสารเชื่อมโยงจำพวกเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) เช่น เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoylperoxide) ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide ; DCP) การสังเคราะห์ยางซิลิโคนให้มีหมู่ไวนิล (Vinyl groups, $-CH=CH_2$) ปริมาณเล็กน้อย (น้อยกว่า 0.5 %) ดังโครงสร้างยางซิลิโคนที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมสามชนิดหรือเทอร์พอลิเมอร์แบบ MVQ และ MPVQ ในตารางที่ 2.5 จะทำให้ยางซิลิโคนสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลดี เกิดการเปลี่ยนขนาดถาวรเนื่องจากแรงกดอัด (Compression set) น้อยลง ยางซิลิโคนมีสมบัติทนทานต่อตัวทำละลายอะซิโตนและเอสเทอร์ดีแต่บวมตัว (Swell) ประมาณ 200 % ในตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ตรงและอะโรมาติก การเปลี่ยนหมู่เมทิลหนึ่งหมู่ให้เป็นหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วเช่น ไตรฟลูออโรพรอพิล (Trifluoropropyl ; $-CH_2CH_2CF_3$) ในโครงสร้างยางซิลิโคนแบบ FVQ ในตารางที่ 2.5 จะทำให้ยางมีความทนทานต่อตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการประยุกต์ใช้ยางซิลิโคนมากมาย โดยเฉพาะการใช้งานที่ต้องการคงสมบัติใช้งานที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือที่อุณหภูมิสูงและต่ำเป็นเวลานานเช่นท่อยาง ท่อส่งตัวทำละลาย ก๊าซและอาหาร ฯลฯ เนื่องจากยางซิลิโคนไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่นและรส นอกจากนี้ยางซิลิโคนยังสามารถเข้าได้ดีกับเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) เนื่องจากธรรมชาติของยางชนิดนี้เป็นทั้งสารอนินทรีย์-อินทรีย์ (Inorganic-organic) จึงนิยมใช้ยางซิลิโคนในการผ้าตัด เป็นวัสดุเสริม (Implants) อวัยวะเทียมและการตบแต่งเสริมความงาม อย่างไรก็ดี ยางซิลิโคนมีข้อจำกัดบางประการคือความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ต่ำเทียบกับยางชนิดอื่น และความยุ่งยากในการเชื่อมโยงยางด้วยสารจำพวกเปอร์ออกไซด์ [5]

ตารางที่ 2.5 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ [5]

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
MQ	ยางซิลิโคนทั่วไป (ชนิดแรก)	
MPQ	ยางซิลิโคนที่มีสมบัติที่อุณหภูมิต่ำดี	
MVQ	ยางซิลิโคนที่มี Compression set ต่ำ	
MPVQ	ยางซิลิโคนที่มีความแข็งแรงและสมบัติที่อุณหภูมิต่ำดี	
FVQ	ยางซิลิโคนทนน้ำมัน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม

ก้อนเนื้อในเต้านม (Breast mass หรือ Breast lump) คือ ก้อนเนื้อผิดปกติที่เกิดขึ้นในเต้านม อาจเกิดเพียงข้างเดียว (ซึ่งพบได้บ่อยกว่า) หรือ เกิดทั้งสองข้างของเต้านม (ซึ่งพบได้น้อยกว่ามาก) อาจเกิดเพียงก้อนเดียวหรือเกิดได้หลายก้อน ก้อนเนื้ออาจมีขนาดเล็ก ตรวจพบได้จากการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งเต้านมด้วยการตรวจภาพรังสีเต้านม หรือ แมมโมแกรม (Mammogram) หรืออัลตราซาวด์เต้านม หรือก้อนเนื้ออาจมีขนาดใหญ่จนสามารถคลำได้โดยตัวผู้ป่วยเอง หรือโดยแพทย์

ก้อนเนื้อในเต้านม พบเกิดได้ทั้งในผู้หญิงและในผู้ชาย โดยทั่วไปมักพบในผู้หญิง ในเด็กชายมักคลำได้ก้อนในเต้านมโดยเฉพาะใต้หัวนมในช่วงวัยรุ่น ซึ่งพบได้เป็นปกติ โดยมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศในวัยนี้ ซึ่งก้อนจะค่อยๆยุบหายไปเอง

ก้อนเนื้อในเต้านม พบได้เรื่อยๆ ไม่ถึงกับบ่อยนัก มีการศึกษาพบว่าประมาณ 16% ของผู้หญิงช่วงวัย 40-69 ปี จะมาพบแพทย์ด้วยเรื่องปัญหาเกี่ยวกับเต้านม ซึ่งในกลุ่มนี้ ประมาณ 40 % จะมาด้วยเรื่องมีก้อนในเต้านม อย่างไรก็ตามการมีก้อนที่เต้านมในผู้หญิงไม่ได้หมายความว่าจะต้องเป็นมะเร็งเสมอไป ก้อนในเต้านมส่วนมากไม่ใช่มะเร็ง จากสถิติพบว่าถ้าพบก้อนในเต้านมในผู้หญิงที่อายุน้อยกว่า 30 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งเพียง 1.4 % แต่ถ้าพบก้อนในผู้หญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งสูงถึง 58 % [1]

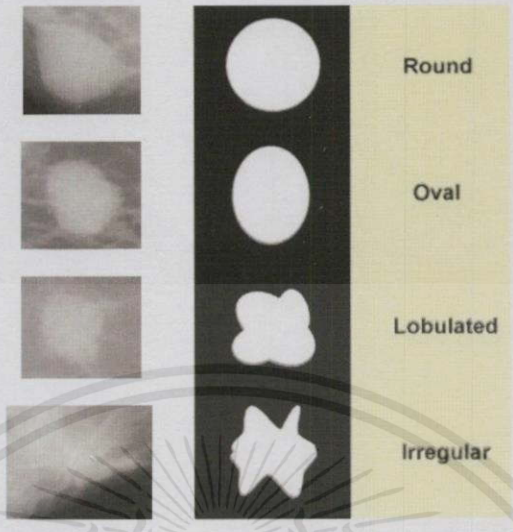
2.9.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม

ก้อนเนื้อในเต้านมมีได้หลากหลายชนิด ที่พบได้บ่อย คือ

1. ชนิดที่เรียกว่า ไฟโบรซีสติค (Fibrocystic changes หรือ เรียกย่อว่า FCC) ซึ่งพบได้ประมาณ 40% ของก้อนเนื้อในเต้านมทั้งหมด
2. เนื้องอกชนิด ไฟโบรอะดีโนมา (Fibroadenoma) พบได้ประมาณ 7-10%
3. ก้อนเนื้ออื่นๆ ที่ไม่ใช่มะเร็ง พบรวมกันได้ประมาณ 13-20% ซึ่งที่พบได้บ่อยในกลุ่มนี้ คือ ถุงน้ำ (Cyst), เป็นฝี, ก้อนไขมัน (Lipoma), เนื้องอก ชนิดที่เรียกว่า Phyllodes, เนื้องอกชนิดที่เซลล์มีการเจริญเกินปกติ (Hyperplasia), เนื้องอกในท่อน้ำนม หรือ เนื้องอกชนิด Adenosis
4. เนื้องอกมะเร็ง (โรคมะเร็งเต้านม) พบได้ประมาณ 10% [9]

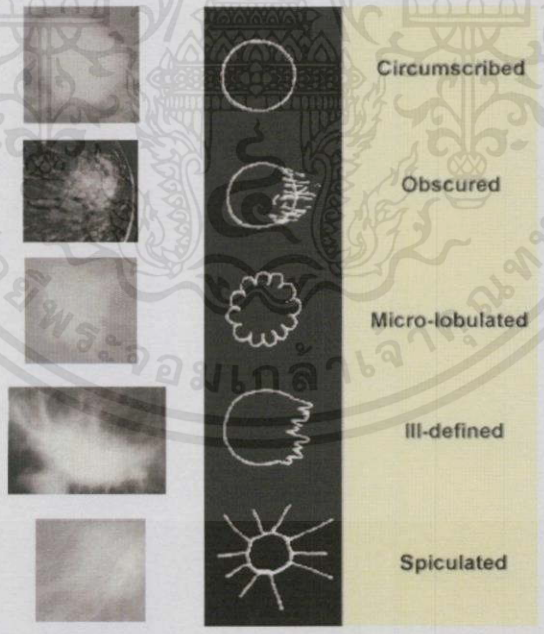
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปร่างของก้อนมะเร็ง



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง [10]

- ลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง



รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม

สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านมขึ้นกับชนิดของก้อนเนื้อ [9]

• **ชนิดไฟโบรซีสติค** (Fibrocystic changes) เป็นภาวะที่พังผืด ต่อมและท่อน้ำนมมีปฏิกิริยามากเกินไปต่อการกระตุ้นของฮอร์โมนระหว่างการตกไข่ ทำให้พังผืดเกาะตัวเป็นกลุ่มเป็นก้อนและ/หรือ มีถุงน้ำเล็กๆ จำนวนมากปะปนอยู่ อาการคือ มีก้อนโตขึ้นและเจ็บเต้านมก่อนจะมีประจำเดือน แล้วค่อยๆ ดีขึ้นเมื่อประจำเดือนหมด ซึ่งการกินยาเม็ดคุมกำเนิดจะบรรเทาอาการเหล่านี้ลง ในขณะที่ถ้ากินฮอร์โมนชดเชย เช่น หลังผ่าตัดรังไข่ อาการต่างๆจะมากขึ้น ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ มักไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง (โรคมะเร็งเต้านม)

• **ชนิดไฟโบรอะดีโนมา** (Fibroadenoma) เป็นเนื้องอกธรรมดาที่มีก้อนแข็งประกอบด้วยพังผืดและเนื้อเยื่อจากต่อมน้ำนม พบบ่อยสุดในวัย 18-35 ปี มักไม่มีอาการเจ็บนอกจากบางครั้งอาจรู้สึกคัด ๆ เต้านมบ้างก่อนมีประจำเดือน เวลาคลำดูจะรู้สึกว่ามันกลิ้งไปมาได้ ก้อนของเต้านมส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่ร้ายแรง ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

• **ชนิดเกิดจากเซลล์ไขมันตาย** (Fat necrosis and oil cyst) พบได้ภายหลังจากเต้านมถูกกระแทก หรือ อุบัติเหตุเต้านม หรือจากการผ่าตัดเต้านม หรือฉายรังสีรักษาบริเวณเต้านม ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ไขมันซึ่งมีอยู่มากมายในเต้านมตาย เกิดเป็นพังผืด และ/หรือเป็นถุงน้ำชนิดภายในเป็นน้ำมัน จึงเกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น ก้อนเนื้อจะมีลักษณะค่อนข้างกลม ไม่แข็ง เคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย อาจเจ็บหรือไม่เจ็บก็ได้ ทั้งนี้มักมีประวัติดังกล่าวนำมาก่อนคลำพบก้อนเนื้อ และก้อนเนื้อชนิดนี้ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม

• **ชนิดถุงน้ำ/ซีสต์** (Breast cyst) เป็นชนิดที่ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่เชื่อว่าสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิง เพราะมักพบเกิดร่วมกับก้อนเนื้อไฟโบรซีสติค พบในวัยเจริญพันธุ์ และถุงน้ำยุบหายเองได้ภายหลังวัยหมดประจำเดือนแล้ว ก้อนเนื้อค่อนข้างกลม หรือ รูปไข่ อาจเจ็บหรือไม่ก็ได้ เคลื่อนที่ได้ แข็งคล้ายลูกโป่งใส่น้ำ มีได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ได้หลายเซนติเมตร โดยทั่วไปถุงน้ำไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง ยกเว้นส่วนน้อยมากที่เซลล์ผนังถุงน้ำเกิดการเจริญเปลี่ยนรูปแบบ ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

• **เนื้องอกชนิด** Phyllodes หรือ Phylloides กลายเป็นมะเร็งได้น้อย ประมาณ 5% ของเนื้องอกชนิดนี้ แต่โรคนี้มีโอกาสย้อนกลับเป็นซ้ำได้สูงภายหลังการผ่าตัด อาการและลักษณะก้อนเนื้อเช่นเดียวกันกับในก้อนเนื้อ ไฟโบรอะดีโนมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **ก้อนเนื้อไขมัน** (Lipoma) เป็นก้อนเนื้อที่ยังไม่ทราบสาเหตุการเกิดที่ชัดเจน แต่เชื่อว่าอาจเกิดจากมีความผิดปกติทางพันธุกรรมบางชนิด เป็นก้อนเนื้อที่มีลักษณะขอบเขตชัดเจน

ค่อนข้างกลม นิ่ม มักไม่เจ็บ (แต่อาจเจ็บได้) เคลื่อนที่ได้ ขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบประจำเดือน ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม มีโอกาสกลายเป็นโรคมะเร็งของเซลล์ไขมัน (Liposarcoma) ได้ แต่โอกาสเกิดน้อยมากๆ

• **เนื้องอกในท่อน้ำนม** (Intraductal papilloma) คือ เนื้องอกที่เกิดในท่อน้ำนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว แต่พบสองข้างได้บ้าง โดยทั่วไปมักคลำก้อนเนื้อไม่ได้ แต่ถ้าก้อนเนื้อโตขึ้น มักคลำได้ก้อนเนื้อโตอยู่ใต้หัวนม และผู้ป่วยอาจมีน้ำนม น้ำเหลือง หรือ น้ำเลือด ออกจากหัวนมได้ โดยทั่วไป เนื้องอกชนิดนี้เปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งได้บ้าง แต่โอกาสเกิดน้อยมาก

• **ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของท่อน้ำนม** (Duct ectasia) เกิดจากท่อน้ำนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังหนากว่าปกติจนทำให้สามารถคลำได้เป็นก้อนเนื้อ ไม่แข็งมาก อยู่ใต้หัวนม หัวนมอาจบุ๋มได้ และอาจมีน้ำสีออกเขียว หรือ ดำคล้ำออกจากหัวนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม

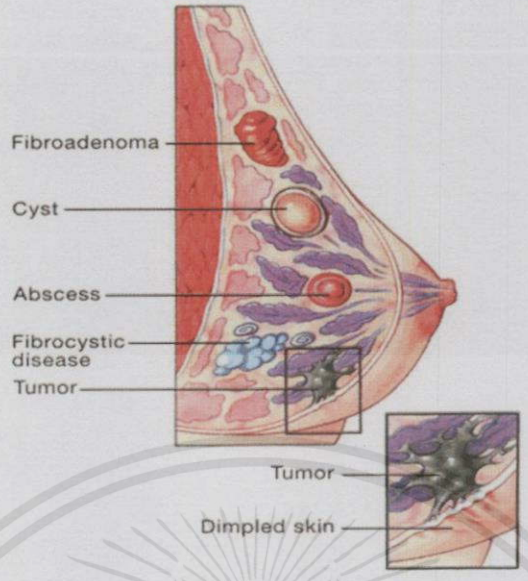
• **ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของต่อมน้ำนม** (Adenosis) ได้แก่ ก้อนเนื้อที่เกิดจากต่อมน้ำนมขยายใหญ่ขึ้น และมีจำนวนต่อมเพิ่มกว่าปกติจนทำให้เกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว (แต่พบเกิดได้ทั้งสองข้าง) อาจคลำได้ทั้งเป็นก้อนที่ไม่แข็ง หรือเป็นก้อนที่แข็ง เนื่องจากมีพังผืด ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสาเหตุให้เต้านมผิดรูปร่างได้ (Sclerosing adeno sis) ก้อนเนื้อชนิดไม่แข็ง มักไม่เปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งเต้านม แต่ชนิดที่แข็งมีพังผืดมาก เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นมะเร็งเต้านมได้ประมาณ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

• **ก้อนเนื้อจากการอักเสบ/ฝี** มักเกิดในช่วงให้นมบุตร โดยเกิดจากเซลล์เต้านมติดเชื้อแบคทีเรีย มักเกิดร่วมกับมีไข้ เต้านมบวม แดง ร้อน เจ็บ มีลักษณะเป็นฝี อาจมีหนองออกทางหัวนม เกิดได้กับเต้านมข้างเดียว หรือทั้งสองข้าง โรคนี้ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเต้านม และโรคมะเร็งเต้านมชนิดรุนแรง แต่จะทำให้เกิดอาการคล้ายการอักเสบของเต้านมได้ ซึ่งแพทย์แยกได้จากอายุ ประวัติให้นมบุตร และการตัดชิ้นเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา

• **ก้อนเนื้อชนิดมีเซลล์เจริญเกินปกติ** (Hyperplasia) ถ้ามีเพียงเซลล์เจริญเกินปกติจะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อก้อนเนื้อเกิดเป็นมะเร็งเต้านม 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ แต่ถ้ามีทั้งเซลล์เจริญเกินปกติ ร่วมกับเซลล์เจริญเปลี่ยนรูปแบบ (Atypia) จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อก้อนเนื้อกลายเป็นมะเร็ง 4-5 เท่าของผู้หญิงปกติ

ก้อนเนื้อชนิดต่างๆ ทุกชนิด อาจมีเซลล์เจริญเกินปกติได้ ซึ่งแพทย์ทราบได้จากการตัดชิ้นเนื้อ หรือ ผ่าตัดก้อนเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา ซึ่งถ้าเกิดมีเซลล์เจริญเกินปกติเกิดขึ้น จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลาย เป็นโรคมะเร็งเต้านมได้ รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างก้อนในเต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม [11]

2.9.3 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง

90% ของมะเร็งจะมาด้วยก้อน เต้านมเป็นอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกายสามารถคลำได้ การคลำด้วยตนเองเป็นประจำทุกเดือน จะทำให้เกิดความคุ้นเคย สามารถรู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงได้เร็ว [10]

2.9.3.1 การดู

ท่าที่ 1 วางมือข้างลำตัวในลักษณะผ่อนคลาย

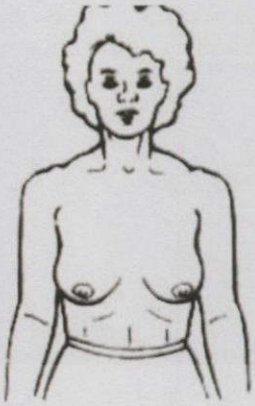
- เปรียบเทียบเต้านมซ้ายและขวา

- สังเกตว่ามีการเปลี่ยนแปลงในขอบ รูปทรง สีผิวหนังหรือไม่

- ตรวจเช็คมีรอยยุบย่น หรือการเปลี่ยนแปลงของผิวหนัง

- ตรวจสอบหัวนมดูว่ามีแผล สะเก็ด หรือความมัน และมีของเหลวออกจากหัวนมหรือไม่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงอื่นใดบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่าวางมือข้างลำตัวในลักษณะผ่อนคลาย [10]

ท่าที่ 2 ยกมือขึ้นไว้เหนือศีรษะ

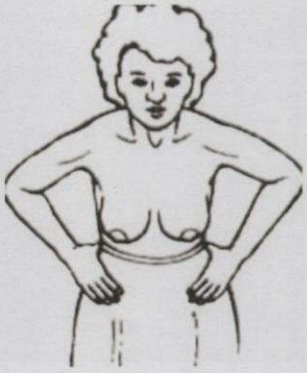
- มองจากด้านหน้าและมองจากด้านข้าง เพื่อสังเกตว่ามีรอยบุ๋มที่เต้านมหรือไม่
- ตรวจสอบความสมดุลของรูปทรงเต้านม

รูปที่ 2.16 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่ายกมือขึ้นไว้เหนือศีรษะ [10]

ท่าที่ 3 วางมือไว้ที่เอว เกร็งหน้าอก และก้มตัวลงมาข้างหน้า

- ตรวจสอบตำแหน่งของหัวนม
- ตรวจสอบดูความสมดุล รูปทรง
- สังเกตว่าเต้านมทั้งสองข้างห้อยลงตามปกติหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การตรวจเต้านมด้วยตนเองในท่าวางมือไว้ที่เอว เกร็งหน้าอก และก้มตัวลงมาข้างหน้า [10]

2.9.3.2 การคลำ

การตรวจก้อนในเต้านมด้วยตนเอง จะใช้นิ้วสัมผัส 3 นิ้ว (นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง) โดยใช้บริเวณกึ่งกลางนิ้วส่วนบน ซึ่งจะสัมผัสได้ดีและกว้างกว่าส่วนปลายนิ้ว โดยจะโค้งฝ่ามือเพื่อปรับให้นิ้วทั้งสามอยู่ในสภาพแบนราบสัมผัสกับเต้านม แล้วเคลื่อนนิ้วกดวนไปทั่วเต้านม [10]

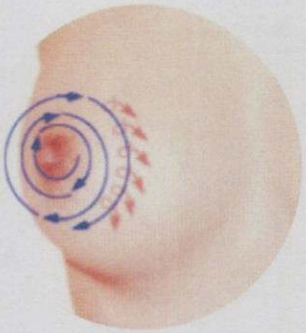
การกดมี 3 ระดับ คือ

- กดเบาๆ เพื่อให้รู้สึกถึงบริเวณใต้ผิวหนัง
- กดปานกลาง เพื่อให้รู้สึกถึงกึ่งกลางของเต้านม
- กดหนักขึ้น เพื่อให้รู้สึกได้ถึงส่วนลึกใกล้ผนังปอด

รูปแบบการคลำมี 3 แบบ โดยจะเลือกใช้แบบใดก็ได้

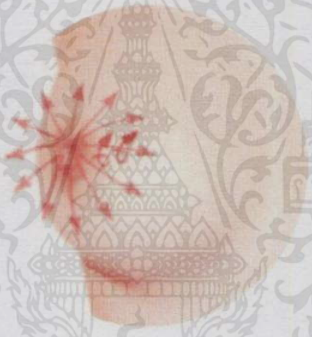
แบบที่ 1 การคลำแบบก้นหอย โดยเริ่มต้นจากการคลำเป็นวงกลมกว้างๆ ด้านนอกขอบเต้านมก่อน แล้ววนให้วงกลมนี้แคบเข้า โดยใช้นิ้วมือของท่านทั้งคลำและกดลงที่เต้านมเป็นวงกลมเล็กๆ ในขณะที่คลำตามวงรอบใหญ่จนกระทั่งถึงหัวนม ดังแสดงในรูปที่ 2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบก้นหอย [12]

แบบที่ 2 การคลำแบบดาวกระจาย โดยจินตนาการแบ่งเต้านมเป็นช่วงๆ ตามเข็มนาฬิกา เริ่มต้นคลำจาก 12 นาฬิกาไปที่ 1, 2, 3 นาฬิกาเรื่อยๆ จนครบพื้นที่เต้านม ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย [12]

แบบที่ 3 การคลำแบบขึ้นและลง โดยจินตนาการว่าเต้านมเป็นลูกคลื่นในทะเล คลำเต้านมขึ้นและลงตามยอดคลื่น อย่าลืมใช้นิ้วมือคลำเป็นวงกลมเล็กๆ ไปพร้อมๆ กันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.20 การคลำก้อนในเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง [12]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร.วิริยะ ทองเรือง และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติให้มีคุณภาพ ทำการทดลองปรับปริมาณสารเคมีต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยาง (1 ส่วน) และเล็งเห็นว่าในระบบอุตสาหกรรมครัวเรือนนั้นการปั่นน้ำยางครั้งละ1 ส่วน จะเป็นการเสียเวลาและได้ผลิตภัณฑ์ครั้งละไม่มาก จึงทำการทดลองเอาสูตร 1 ส่วนที่ดีที่สุดมาปรับเป็นการทำ 2 ส่วน แต่ปรากฏว่าคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้ไม่ดี จึงทำการพัฒนาสูตร 2 ส่วน จนได้อัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยาง 2 ส่วน แล้วนำสูตร 2 ส่วนที่พัฒนาแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโฟม นอกจากนี้ยังพบว่าการนึ่งจะทำให้คุณภาพของเนื้อโฟมด้อยกว่าการอบ เนื่องจากการนึ่งจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการอบ จึงทำให้ฟองยางที่อยู่ข้างบนเกิดการวัลคาไนซ์ก่อน และวัลคาไนซ์ได้ดีกว่าฟองยางที่อยู่บริเวณก้นแม่พิมพ์ที่เย็นกว่า ทำให้คุณภาพของเนื้อโฟมไม่สม่ำเสมอ ส่วนการอบจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนช้ากว่า ฟองยางได้รับความร้อนสม่ำเสมอ จึงวัลคาไนซ์ได้ดีเท่ากันทุกๆ จุดและพบว่ายางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วที่สุดเมื่อใช้แม่พิมพ์โลหะ เมื่อเทียบกับแม่พิมพ์พลาสติกและแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แต่คุณภาพของเนื้อโฟมภายในใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารคงรูป (Sulphur) สารตัวเร่ง (ZMBT, ZDEC, DPG) สารตัวกระตุ้น (ZnO) และสารทำให้เกิดเจล (SSF) พบว่าการเพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อเวลาในการอบยางและความหนาแน่นของโฟมที่ได้ (ความหนาแน่นเฉลี่ยของโฟมยางมีค่าเท่ากับ 0.167 g/cm^3) แต่การแปรค่าปริมาณสารเคมีจะส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟม

พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์ และคณะ [13] ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของยางฟองน้ำชนิดตันที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติเพื่อลดต้นทุน โดยใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง และสารตัวเติม 50% แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 0, 5, 10, 20 และ 30 phr ใช้วิธีการเตรียมยางฟองน้ำแบบดันลอป โดยมีลำดับการเติม $CaCO_3$ ก่อนและหลังการเติม K-oleate ทำการทดสอบสมบัติต่างๆของยางฟองน้ำแต่ละสูตร ได้แก่ การทดสอบความแข็ง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกด การทดสอบความทนแรงอัดซ้ำคงที่ การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงกดและการทดสอบการบ่มเร่ง ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางฟองน้ำลาเทกซ์ (มอก.1425-2540) พบว่ายางฟองน้ำสูตรที่ใช้วิธีการเติม $CaCO_3$ ปริมาณ 5 phr หลังการเติม K-oleate จะได้ตัวอย่างยางฟองน้ำที่มีลักษณะทั่วไปค่อนข้างดี คือ ผิวหน้าของตัวอย่างยางฟองน้ำเรียบเนียนและลักษณะฟองยางค่อนข้างสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับใช้ในการเตรียมยางฟองน้ำที่นำไปใช้งานได้หลากหลาย และต้นทุนราคาวัตถุดิบจะลดลงประมาณ 3.37 บาทต่อกิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุไรรัตน์ สุริยวงศ์และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเบาะยางพาราเพื่อสุขภาพ โดยใช้ขี้เลื่อยเป็นสารเติมแต่ง เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต โดยปริมาณขี้เลื่อยที่ใช้คือ 0 , 2.5 , 5.0 และ 7.5 phr ใช้วิธีการเตรียมแบบดันลอป ศึกษาลักษณะผิวหน้าตัดของยางฟองน้ำธรรมชาติพบว่าฟองน้ำที่ไม่มีสารตัวเติมขี้เลื่อยจะมีสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ ฟองยางมีขนาดเล็กละเอียดและสม่ำเสมอ ฟองน้ำที่เติมขี้เลื่อย 2.5 phr ฟองน้ำมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวหน้าไม่เรียบและขนาดฟองยางสม่ำเสมอ ฟองน้ำที่เติมขี้เลื่อย 5 phr ฟองน้ำมีสีน้ำตาล ผิวหยาบและฟองน้ำมีขนาดใหญ่ ส่วนฟองน้ำที่เติมขี้เลื่อย 7.5 phr พบว่าฟองน้ำมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวหยาบ เนื้อฟองตรงกลางร่วน ไม่ยึดติดกัน มีลักษณะฟองยางไม่ชัดเจน และฟองน้ำยุบตัวเป็นแอ่งอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากการกดอัด และการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวและการยุบตัวของยางฟองน้ำ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของยางฟองน้ำเพิ่มขึ้น ที่ปริมาณขี้เลื่อย 5 phr มีเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากการกดอัดน้อยที่สุดนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณขี้เลื่อยเพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวและการยุบตัวของฟองน้ำเพิ่มมากขึ้น และพบว่ายางฟองน้ำสูตรที่เติมขี้เลื่อย 5 phr สามารถช่วยลดราคาวัตถุดิบได้ 16 บาทต่อกิโลกรัม

สรุปการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- จากการศึกษางานวิจัยพบว่าการเพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อเวลาในการอบโฟมยางธรรมชาติและความหนาแน่นของโฟม แต่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโฟม
- การเพิ่มจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต จะต้องมีการควบคุมทั้งปริมาณสารเคมีและน้ำยาง รวมทั้งเวลาที่ใช้อย่างเหมาะสม
- ความหนาและวัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์มีผลต่อเวลาในการอบ พบว่าโฟมยางสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วเมื่อใช้แม่พิมพ์โลหะเมื่อเทียบกับแม่พิมพ์พลาสติกและปูนปลาสเตอร์
- การให้ความร้อนในการทำให้เกิดการวัลคาไนซ์นั้นสำหรับแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์การอบจะได้เนื้อโฟมที่มีคุณภาพดีกว่าการนึ่ง
- การเติมสารตัวเติมขี้เลื่อยในการผลิตโฟมยางธรรมชาติ จะทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็นการช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่การเติมขี้เลื่อยในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ยางฟองน้ำที่ได้มีสีน้ำตาล ผิวหยาบ และคุณภาพของเนื้อโฟมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์
2. แม่พิมพ์กระจกทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 9.5x11x0.4 cm
3. แม่พิมพ์โลหะ ขนาด 12x12x6 cm
4. เครื่องผสมแบบปั่นหมุนมอเตอร์พร้อมใบพัดยี่ห้อ Cuizimate รุ่น RBSMIXERNEW
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งยี่ห้อ Melter Toledo รุ่น ML204
6. ตู้อบความร้อนยี่ห้อ Memmert Germany รุ่น UF260
7. เครื่องทดสอบความแข็ง ยี่ห้อ TeclockDurometer (Shore OO) รุ่น GS-754G : Peak pointer type
8. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) รุ่น Lloyd LR5K
9. ชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด
10. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Optical microscope) ยี่ห้อ Vitiny Digital Portable Microscope รุ่น VT300

3.1.2 สารเคมี

1. น้ำยางข้น 60% ชนิดแอมโมเนียต่ำ (NR-LA) จากบริษัท Lucky Four จำกัด
2. โพแทสเซียมโอลิเอต (Potassium oleate) 10% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
3. กำมะถัน (Sulphur) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
4. ZDEC (Zinc diethyl dithiocarbamate) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
5. ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
6. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. DPG (Diphenyl guanidine) 33% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
8. วิงสเตย์แอล (Wingstay L) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
9. SSF (Sodium silicofluoride) 12.5% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
10. ยางซิลิโคน (Elastosil® M 4514) จากบริษัท WackerChemie AG
11. สารเชื่อมโยงยางซิลิโคน (Wacker® Catalyst T 40) จากบริษัท Wacker Chemie AG

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ [4]

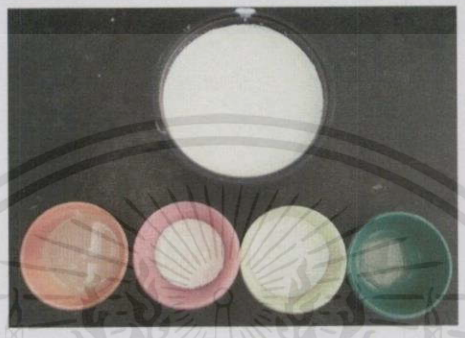
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางข้น (Latex)	167	100
10% โพแทสเซียมโอลิเอต	15	9
50% กำมะถัน	4	2.4
50% ZDEC	2	1.2
50% ZMBT	2	1.2
50% Wingstay L	2	1.2
50% ZnO	10	6
33% DPG	3	1.8
12.5% SSF	6	3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติแบบไม่มีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน

1) ทำการชั่งสารตามสูตรผสมดังตารางที่ 3.1 ลงในถ้วยพลาสติก ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สารเคมีและน้ำยางธรรมชาติ

2) เทน้ำยางข้นใส่ภาชนะสำหรับปั่นกวน เติมโพแทสเซียมโอลิเอต ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้เกิดฟองที่เสถียร ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 การเทสารเคมีสำหรับการปั่นโฟมยาง

3) ปรับความเร็วการหมุนปั่นระดับ 1 (ระดับต่ำสุด) ทำการปั่นเป็นเวลา 3 นาที
4) เติม สารละลายกำมะถัน, ZDEC, ZMBT และ Wingstay L ทำการปั่นโดยใช้ความเร็วการปั่นระดับเดิม เป็นเวลา 1 นาที
5) เติม DPG และ ZnO ทำการปั่นโดยใช้ความเร็วการปั่นระดับเดิม เป็นเวลา 1 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เติม SSF ปั่นเป็นเวลา 1 นาที สังเกตลักษณะของฟองข้น เริ่มหนืด แล้วรีบนำฟองยางที่ได้เทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

7) ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ ดังรูปที่ 3.3 แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวหน้าเริ่มเซ็ตตัวและเพื่อให้ฟองอากาศยุบตัวจนหมดก่อน ป้องกันการฟูของโฟมยางจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรูปร่างไม่สวยงาม

รูปที่ 3.3 การปาดฟองผิวหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ

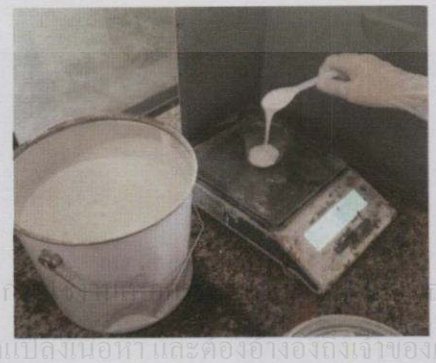
8) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อให้โฟมยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์

9) แกะโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

3.2.2 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติแบบมีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน

3.2.2.1 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกันโดยไม่มีตัวช่วยในการยึดติด

1) ชั่งยางซิลิโคนใส่ในภาชนะสำหรับผสม ดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 การชั่งซิลิโคนเหลวใสในภาชนะสำหรับผสม

2) หยดสารเชื่อมโยงยางซิลิโคนลงไป 2% ของน้ำหนักยางซิลิโคน แล้วคนให้เข้ากันอย่างช้าๆ

3) เทยางซิลิโคนเหลวที่ผสมกับสารเชื่อมโยงแล้วลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ ทำการทายางซิลิโคนเหลวให้เคลือบไปทั่วแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 3.5 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการผสมยางส่วนที่เป็นชั้นใน

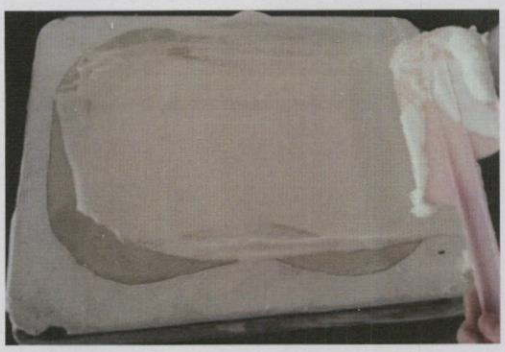
รูปที่ 3.5 การทายางซิลิโคนเคลือบผิวด้านในของแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

4) ทำการปั่นโฟมยางธรรมชาติ เหมือนขั้นตอนที่ 3.2.1 แต่นำโฟมยางที่ปั่นกวนได้มาเทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีการเคลือบยางซิลิโคนอยู่ด้านในแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.6

รูปที่ 3.6 การเทโฟมยางธรรมชาติลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีการเคลือบซิลิโคนเหลวอยู่ด้านใน

5) ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ ดังรูปที่ 3.7 แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการผสมกันของสารเคมีในโฟมยางได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การปาดฟองผิวหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบ

6) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้ยางชั้นในเกิดการวัลคาไนซ์
7) นำชิ้นงานออกมา โดยที่ยังไม่แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ยางซิลิโคนซึ่งเป็นผิวชั้นนอกเกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์
8) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

3.2.2.2 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกันโดยมีตัวช่วยในการยึดติด

วิธีที่ 1 การใช้ผ้าซับยาง

1) ทำการขึ้นรูปชั้นยางซิลิโคนเหมือนขั้นตอนที่ 1-3 ในหัวข้อ 3.2.2.1
2) ตัดผ้าซับยางเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมเล็กๆ ขนาดประมาณ 2x2 เซนติเมตร แล้วนำไปวางบนชั้นซิลิโคน ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การวางผ้าซับยางบนผิวของซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการปั่นโฟมยางธรรมชาติ เหมือนขั้นตอนที่ 1-6 ในหัวข้อ 3.2.1
4) นำมาเทลงในแม่พิมพ์ โดยไม่ต้องรอให้ยางซิลิโคนแข็งตัวก่อน ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ยางชั้นในเกิดการวัลคาไนซ์
5) นำชิ้นงานออกมา โดยที่ยังไม่แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ยางซิลิโคนซึ่งเป็นผิวชั้นนอกเกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์
6) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์

วิธีที่ 2 การใช้กาวสเปรย์

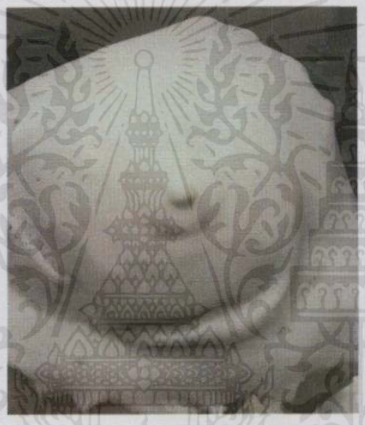
1) ทำการปั่นโฟมยางธรรมชาติ เหมือนขั้นตอนที่ 3.2.1
2) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ จะได้เป็นชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติที่ยังไม่มีการเคลือบผิวด้านนอก ดังรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 แสดงโฟมยางธรรมชาติที่แกะออกมาจากแม่พิมพ์

3) ทำการขึ้นรูปชั้นยางซิลิโคนเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1-3 ในหัวข้อ 3.2.2.1 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 8 ชั่วโมง เพื่อให้ยางซิลิโคนเกิดการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์ จะได้ชั้นยางซิลิโคนที่แข็งตัวแล้วดังรูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 แสดงชั้นยางซิลิโคนเหลวที่แข็งตัวแล้ว



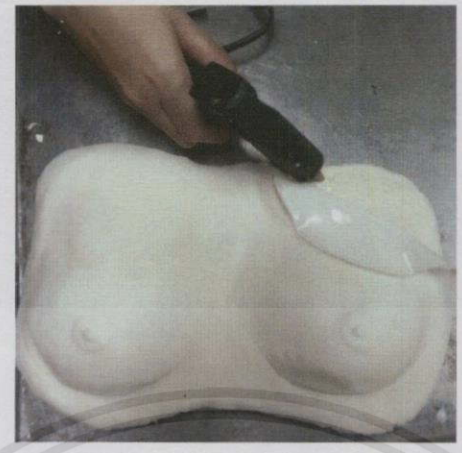
รูปที่ 3.11 แสดงชั้นยางซิลิโคนที่แกะออกจากแม่พิมพ์

4) พ่นกาวสเปรย์ลงบนชั้นยางซิลิโคนซึ่งยังไม่ได้แกะออกจากแม่พิมพ์ จากนั้นนำโฟมยางธรรมชาติที่ขึ้นรูปไว้แล้วมาวางทาบลงไปบนชั้นยางซิลิโคน ทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้กาวแห้ง

วิธีที่ 3 การใช้กาวแห่ง

1) ทำการขึ้นรูปชั้นยางซิลิโคนและโฟมยางธรรมชาติเหมือนขั้นตอนที่ 1-3 ของวิธีการใช้กาวสเปรย์
2) บีบไกปืนให้เนื้อกาวไหลติดบนโฟมยางธรรมชาติ ตามรูปที่ 3.12 จากนั้นนำชั้นยางซิลิโคนมาวางทาบบนโฟมยางธรรมชาติ กดเบาๆให้ชั้นยางซิลิโคนติดกับผิวโฟมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงการบีบไกปืนให้เนื้อกาวไหลติดบนโฟมยางธรรมชาติ

3.2.3 การศึกษาผลของปริมาณกำมะถัน

ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนปริมาณสารเชื่อมโยงกำมะถันเป็น 3, 2, 1 กรัม

3.2.4 การศึกษาผลของปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว

ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนเป็นปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัวเป็น 1.5, 2.5, 3.5, 4.5 และ 6 กรัม

3.2.5 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นโฟม

ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นโฟมเป็นระดับ 2, 3, 4 และ 5

3.2.6 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์เป็น 3, 5 และ 7 นาที

3.2.7 การศึกษาผลของจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง

ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางจาก 1 เท่า เป็น 2, 3 และ 4 เท่า

เอกสารนี้เป็นที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 การทดลองฝังก้อนของแข็งแทนก้อนมะเร็ง

ทำการทดลองฝังก้อนของแข็งแทนก้อนมะเร็งในแบบจำลองมะเร็งเต้านม 3 แบบ คือ

แบบที่ 1 ฝังเจลทำความสะอาดคีบอร์ด ขนาดประมาณ 2 cm แทนก้อนซีสต์

แบบที่ 2 ฝังเจลของเล่น ขนาดประมาณ 2 cm แทนก้อนเนื้องอก

แบบที่ 3 ฝังยางซิลิโคนแบบนิ่ม ขนาดประมาณ 2 cm แทนก้อนมะเร็ง

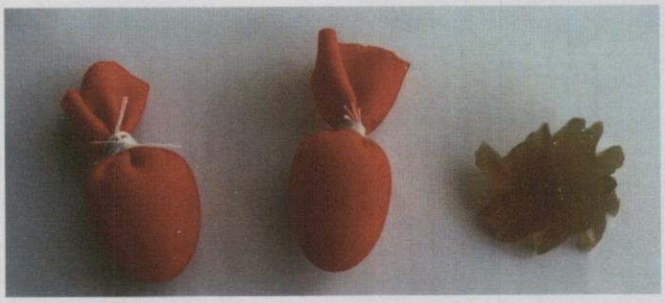
3.2.8.1 ขั้นตอนการเตรียมก้อนของแข็ง

ลักษณะของเจลทำความสะอาดคีย์บอร์ด เจลของเล่น และยางซิลิโคนแบบนิ่ม แสดงดังรูปที่ 3.13 สำหรับเจลทำความสะอาดคีบอร์ดและเจลของเล่น ซึ่งใช้แทนก้อนซีสต์และก้อนเนื้องอก จะทำการบรรจุเจลในถุงมือยางแล้วมัดให้แน่นเพื่อให้คงรูปไม่เกิดการเสียรูปร่าง ส่วนยางซิลิโคนแบบนิ่มซึ่งใช้แทนก้อนมะเร็ง จะนำยางซิลิโคนมาตัดเป็นก้อนที่มีขอบไม่เรียบ ดังรูปที่ 3.14 และรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.13 แสดงลักษณะของเจลทำความสะอาดคีบอร์ด เจลของเล่น และยางซิลิโคนแบบนิ่ม

รูปที่ 3.14 แสดงการบรรจุเจลของเล่นลงในถุงมือยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงลักษณะของก้อนของแข็งทั้ง 3 แบบ

3.2.8.2 ขั้นตอนการฝังก้อนของแข็งในแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม

- ใช้มีดกรีดด้านหลังของแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม ดังรูปที่ 3.16 ให้มีความลึกประมาณ ¾ ของความสูงของเต้านม

รูปที่ 3.16 แสดงลักษณะการกรีดแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม

- นำก้อนของแข็งที่เตรียมได้มาใส่ในแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม ตามรอยที่กรีดไว้ ดังรูปที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ[illegible]ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.17 แสดงลักษณะการนำก้อนของแข็งมาใส่ในแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม

3.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

3.3.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอก (ยางซิลิโคน)

1. การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (Tensile strength)

หาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 [15] โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ เตรียมชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล ความหนา 2 mm ใช้สภาวะที่ทดสอบดังนี้

- ความเร็วในการดึง (Test speed) : 500 mm/min
- ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) : 25 mm
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ (Load cell) : 5 kN

3.3.2 ส่วนที่เป็นชั้นใน (ยางธรรมชาติ)

1. การทดสอบความหนาแน่น

ทดสอบความหนาแน่น โดยการเตรียมชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 6x6x4 cm แล้วนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และคำนวณความหนาแน่นของยางฟองน้ำ จากสูตร

$$D = M / V$$

โดยที่ D คือความหนาแน่น (g/cm^3)
M คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g)
V คือปริมาตรของชิ้นงาน (cm^3)

2. การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1425-2540 [16] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่นอนยางฟองน้ำลาเทกซ์ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ (t_1) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปวางในชุดทดสอบ แล้วเลื่อนแผ่นชุดทดสอบทั้งสองเข้าหากัน จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกกดจนมีความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง 50% ของความหนาเดิม ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบออกจากชุดทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_2) นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าการจัดตัวจากแรงอัด จากสูตร

$$\text{การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (\%)} = [(t_1 - t_2) / (t_1 - t_n)] \times 100$$

โดยที่ t_1 คือความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (cm.)

t_2 คือความหนาของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (cm.)

t_n คือความหนาของแท่งเหล็กกั้น (cm.)

3. การทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 2240 [17] โดยเตรียมชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 12x12 cm และทดสอบชิ้นงานที่ความหนา 6 cm โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกด shore OO ใช้น้ำหนักกด 464.5 กรัม กดเป็นเวลา 5 วินาทีก่อนอ่านค่า โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดห่างกัน 0.6 mm

4. การทดสอบสัณฐานวิทยา

- Optical microscope (OM)

ศึกษาขนาดและความสม่ำเสมอของฟองของโฟมยางธรรมชาติ โดยเตรียมชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 6x4 cm หนา 2.5 cm โดยใช้กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ 10, 20 และ 30 เท่า

- Scanning electron microscope (SEM)

ศึกษาขนาดและความสม่ำเสมอของฟองของโฟมยางธรรมชาติ โดยเตรียมชิ้นงานขนาด 10x50x3 mm ไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 30 นาที แล้วหักชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปเคลือบทองคำ แล้วทำการศึกษาชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติและมีการเคลือบผิวด้านนอกด้วยยางซิลิโคน

1. ทดสอบสมบัติความแข็ง (Hardness)

การทดสอบความแข็งนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 2240 [17] โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกด shore A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ ที่สามารถใช้งานได้ในเชิงพาณิชย์ โดยทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณสารเชื่อมโยงกำมะถัน, ปริมาณสารช่วยให้เกิดฟองจับตัว และระดับความเร็วในการปั่นกวน เพื่อให้ได้ความแข็งที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

4.1 การทดลองสูตรโฟมยางธรรมชาติ

ทำการพัฒนาสูตรโฟมยางธรรมชาติ จากสูตร 1 เท่าของน้ำหนักสูตรยาง เป็น 2 เท่า เพื่อให้ได้ปริมาตรของโฟมยางธรรมชาติที่เพียงพอต่อการทดสอบสมบัติของโฟมยาง

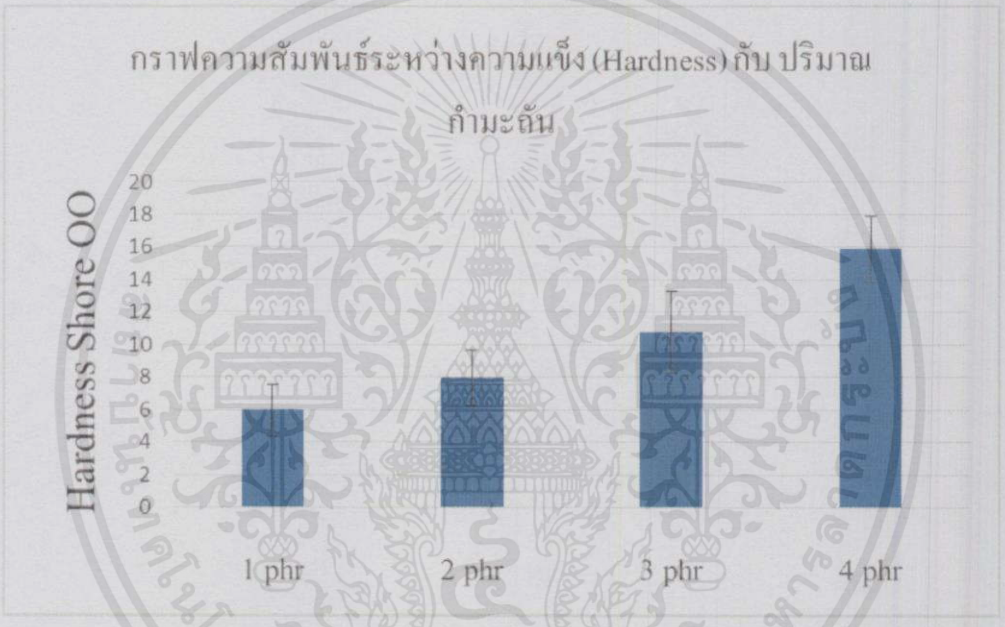
4.1.1 การศึกษาปริมาณกำมะถัน

จากการศึกษาผลของปริมาณกำมะถัน (S) ซึ่งเป็นสารเชื่อมโยงพบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้นจะทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งเพิ่มขึ้น และเมื่อปริมาณกำมะถันลดลง โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งลดลง จากการทดลองพบว่าเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (% Compression set) ลดลง เนื่องจากปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงอัดยากขึ้น ส่วนความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาตินั้นมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณกำมะถันเพิ่มขึ้น แต่ค่าที่ได้มีค่าแตกต่างกันไม่มาก ดังตารางที่ 4.1 และลักษณะของเนื้อโฟมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 4.2 จากการทดลองพบว่าปริมาณกำมะถันที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม คือ 2 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณกำมะถันที่แตกต่างกัน

ปริมาณกำมะถัน (phr)	1	2	3	4
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.1502	0.1669	0.1645	0.1592
Compression set (%)	53.7	49.6	44.6	40.4
Hardness (Shore OO)	6	8	10.8	15.9



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณกำมะถัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) กำมะถัน 1 phr

b) กำมะถัน 2 phr

c) กำมะถัน 3 phr

d) กำมะถัน 4 phr

รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง OM กำลังขยาย 10X เมื่อใช้ปริมาณกำมะถันที่แตกต่างกัน

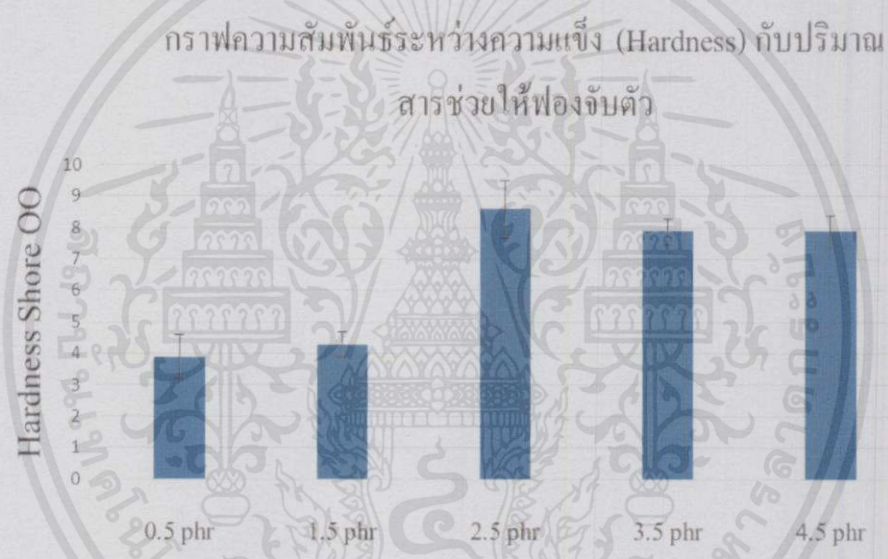
4.1.2 การศึกษาปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว

การศึกษาปริมาณ SSF ซึ่งเป็นสารช่วยให้ฟองจับตัว พบว่าเมื่อทำการเพิ่มและลดปริมาณ SSF ความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติที่ได้มีค่าไม่แตกต่างกันมาก จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณ SSF ลดลงมาก จะทำให้เปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (% Compression set) เพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 4.2 เนื่องจากปริมาณ SSF ที่น้อยเกินไป ทำให้โฟมยางจับตัวเป็นเจลได้ไม่สม่ำเสมอ เกิดฟองอากาศภายในเนื้อโฟมส่งผลให้โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งแรงลดลง เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงอัดง่ายขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยาง และลักษณะของเนื้อโฟมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 4.4 จากการทดลองพบว่า ปริมาณ SSF ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม คือ 2.5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

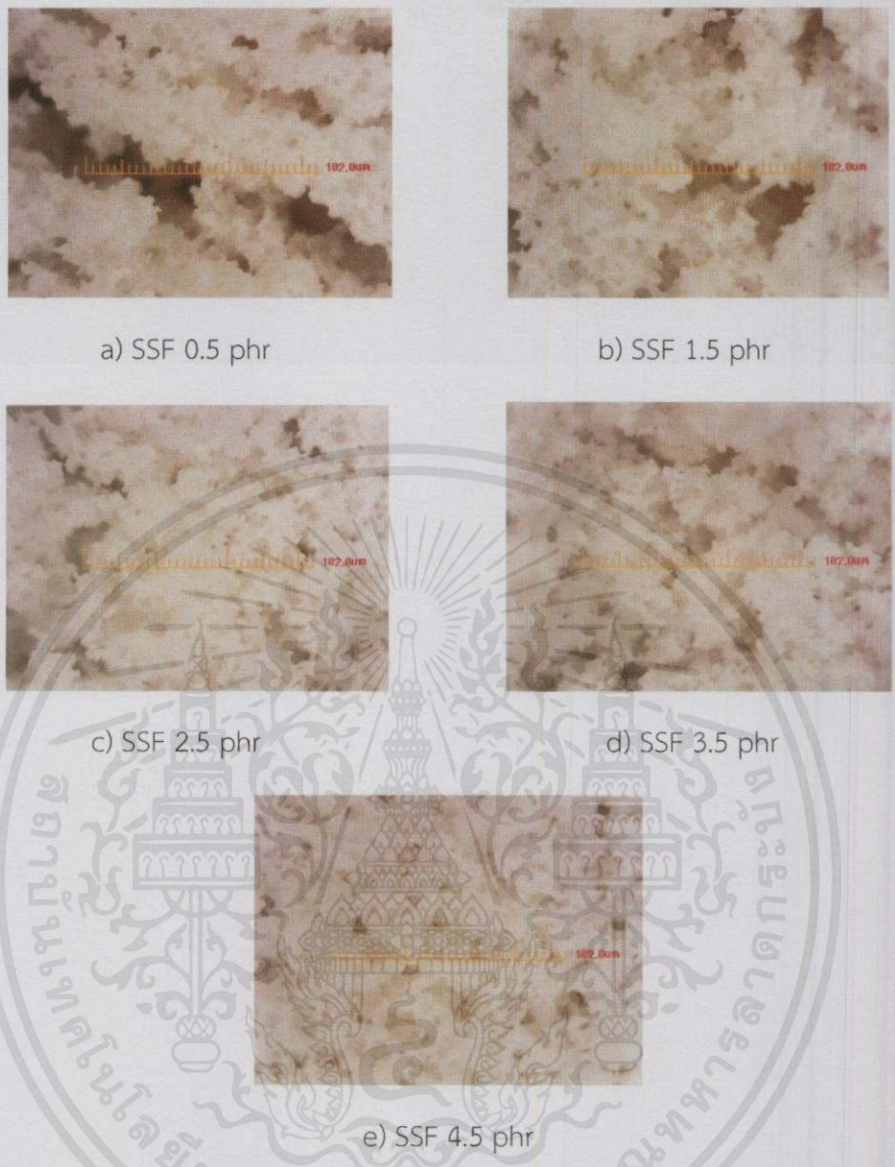
ตารางที่ 4.2 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัวที่แตกต่างกัน

ปริมาณ SSF (phr)	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.1373	0.1337	0.1404	0.1333	0.1422
Compression set (%)	13.6	14.5	3.5	9.2	6.8
Hardness (Shore OO)	3.9	4.3	8.6	7.9	7.9



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ SSF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) SSF 0.5 phr

b) SSF 1.5 phr

c) SSF 2.5 phr

d) SSF 3.5 phr

e) SSF 4.5 phr

รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง OM กำลังขยาย 10X เมื่อใช้ปริมาณ SSF แตกต่างกัน

4.1.3 การศึกษาเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต

จากผลการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต (KO) พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโฟมยางธรรมชาติมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาตรของฟองยางเพิ่มขึ้น ฟองยางที่ได้มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และเมื่อเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (% Compression set) มากขึ้น เนื่องจากฟองยางที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความแข็งแรงของโฟมยางน้อยลง เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงอัดได้ง่ายขึ้น ดังตารางที่ 4.3 และลักษณะของเนื้อโฟมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ แสดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 4.6 จากการทดลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม คือ 3 นาที

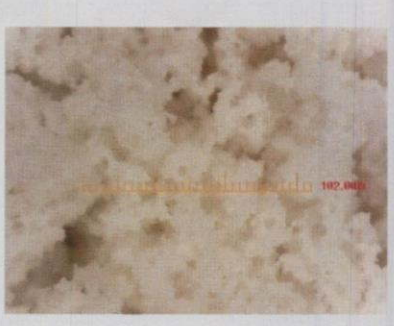
ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้เวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตที่แตกต่างกัน

เวลาปั่น KO (นาที)	1	3	5	7
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.1949	0.1797	0.1568	0.1544
Compression set (%)	18.0	17.5	19.1	20.2
Hardness (Shore OO)	14.5	12.8	12.7	11.9

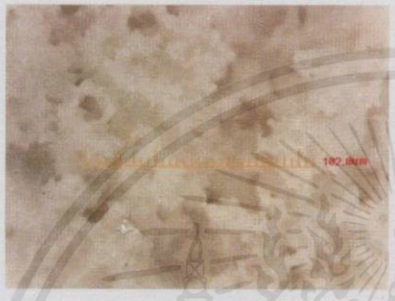
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a) 1 นาที



b) 3 นาที



c) 5 นาที

d) 7 นาที

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง OM กำลังขยาย 10X เมื่อใช้เวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอตที่แตกต่างกัน

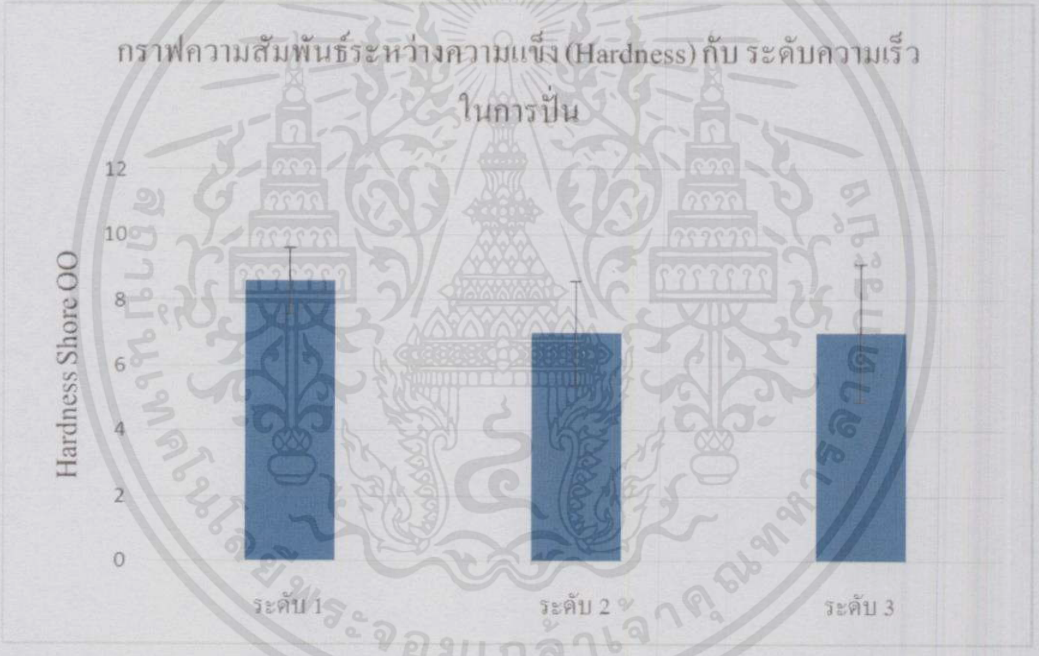
4.1.4 การศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวนโฟมยางธรรมชาติ

จากผลการศึกษาระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวนโฟมยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโฟมยางธรรมชาติมีค่าลดลง เนื่องจากฟองยางมีขนาดที่ใหญ่ขึ้น และเมื่อระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวรเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (% Compression set) มากขึ้น เนื่องจากฟองยางที่มีขนาดใหญ่ จะทำให้ความแข็งแรงของโฟมยางน้อยลง เกิดการเสียรูปเนื่องจากแรงอัดได้ง่ายขึ้น ดังตารางที่ 4.4 และลักษณะของเนื้อโฟมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 4.8 จากการทดลองพบว่า ระดับความเร็วในการปั่นกวนที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม คือ ความเร็วระดับ 1 (537 rpm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

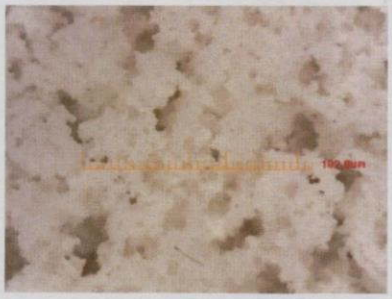
ตารางที่ 4.4 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนที่แตกต่างกัน

ระดับความเร็วในการปั่นกวน	ระดับ 1 (537 rpm)	ระดับ 2 (777 rpm)	ระดับ 3 (956 rpm)
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.2209	0.1747	0.1634
Compression set (%)	53.3	55.1	66.0
Hardness (Shore OO)	8.6	7	7



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับระดับความเร็วการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a) ระดับ 1

b) ระดับ 2

c) ระดับ 3

รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง OM กำลังขยาย 10X เมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนที่แตกต่างกัน

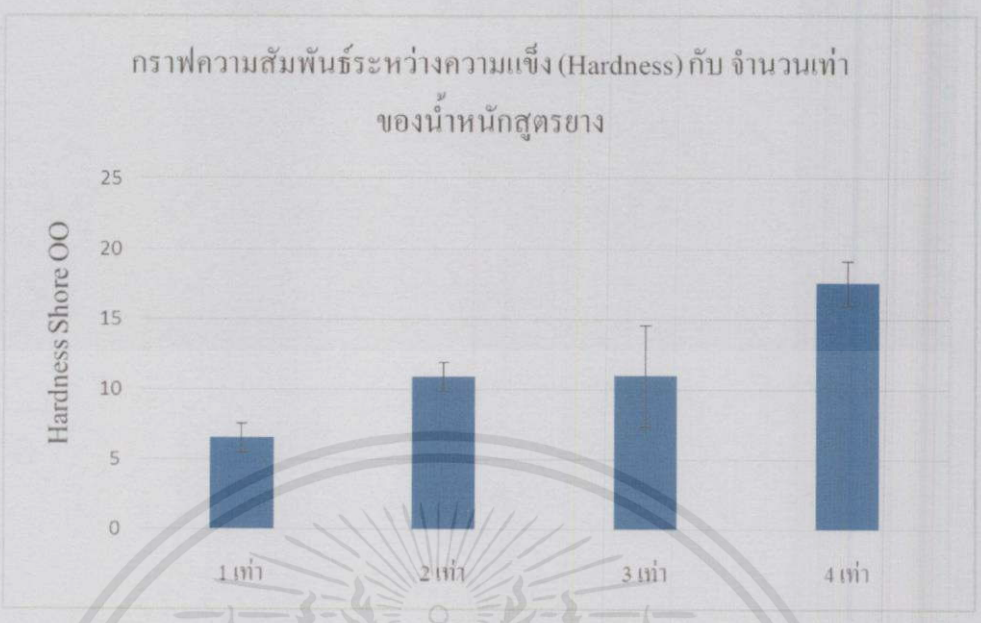
4.1.5 จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง

จากการทดลอง พบว่าเมื่อจำนวนเท่าเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่น ความแข็ง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (% Compression set) ของโฟมยางธรรมชาติมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ดังตารางที่ 4.5 ซึ่งอาจเกิดจากการใช้เวลาในการปั่นโฟมยางธรรมชาติเท่ากันทุกสูตร ส่งผลให้สูตรที่มีจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางมาก มีเวลาไม่เพียงพอที่น้ำยางจะเกิดฟองได้มาก และสารเคมีกับน้ำยางอาจเกิดการผสมกันได้ไม่ดีพอ ลักษณะของเนื้อโฟมที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ แสดงดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.5 แสดงสมบัติเชิงกลของโฟมยางธรรมชาติเมื่อจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางแตกต่างกัน

จำนวนเท่า	1 เท่า	2 เท่า	3 เท่า	4 เท่า
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.1949	0.1537	0.246	0.2055
Compression set (%)	51.0	44.7	90.6	96.7
Hardness (Shore OO)	6.6	10.9	11	17.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง (Hardness) กับ จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง

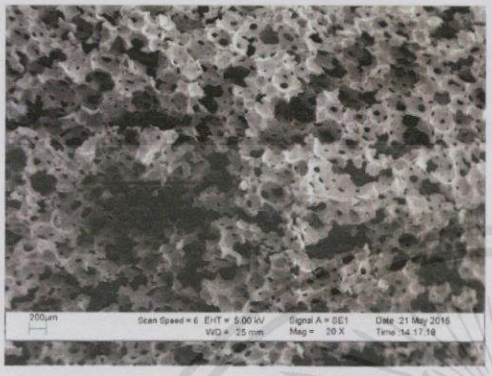
a) 1 เท่า b) 2 เท่า

c) 3 เท่า d) 4 เท่า

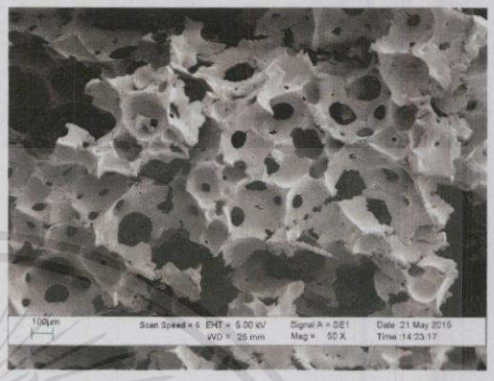
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง OM กำลังขยาย 10X เมื่อจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางแตกต่างกัน

4.1.6 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

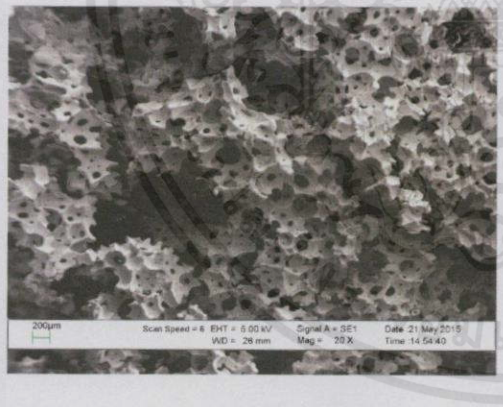


a) กำลังขยาย 20X



b) กำลังขยาย 50X

รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนระดับ 1

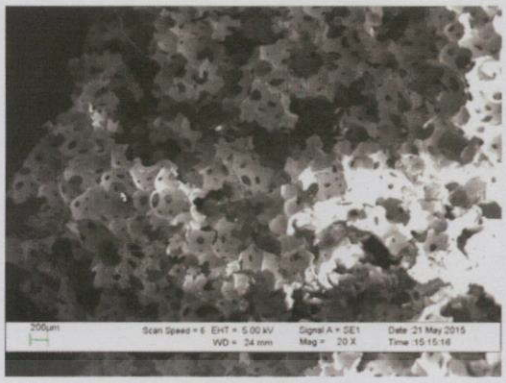


a) กำลังขยาย 20X

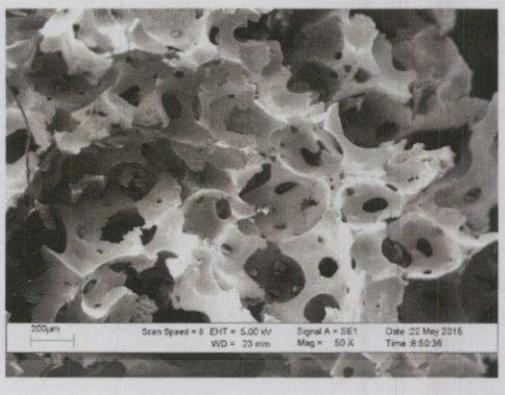
b) กำลังขยาย 50X

รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนระดับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

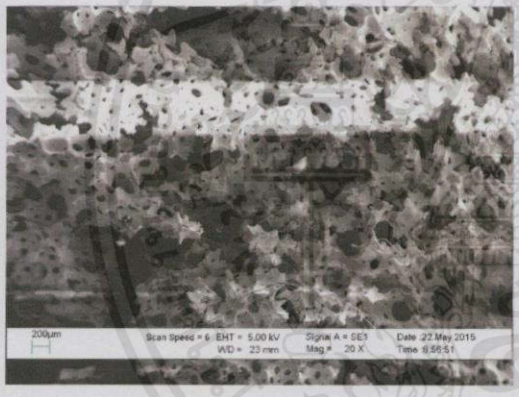


a) กำลังขยาย 20X



b) กำลังขยาย 50X

รูปที่ 4.13 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ SSF 0.5 phr



a) กำลังขยาย 20X

b) กำลังขยาย 50X

รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะเนื้อโฟมจากกล้อง SEM สูตรที่มีการใช้ SSF 4.5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

จากการศึกษาสูตรโฟมยางธรรมชาติ พบว่าสูตรที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริงและตรงกับความต้องการของแพทย์มากที่สุด เป็นดังตารางที่ 4.6 ซึ่งเป็นสูตรที่มีความแข็งประมาณ 9 (Hardness Shore OO)

ตารางที่ 4.6 แสดงสูตรโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักเปียก (g)	เวลาในการปั่น (min)	ระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่น
60 % น้ำยางข้น (NR-LA)	167	3	1
10 % โพแทสเซียมโอลิเอต	15		
50 % กำมะถัน	2	1	
50 % ZDEC	2		
50 % ZMBT	2		
50 % Wingstay L	2		
50 % ZnO	10	1	
33 % DPG	3		
12.5 % SSF	2.5	30 วินาที	

จากตารางที่ 4.6 นำมาทำการขึ้นรูปเป็นแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม ด้วยแม่พิมพ์ขนาดเล็ก (คัพ AA) ซึ่งใช้จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง 2 เท่า พบว่าความแข็งของแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม เป็นความแข็งเดียวกับความแข็งที่แพทย์ต้องการ แต่เมื่อนำมาทำการขึ้นรูปเป็นแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านม ด้วยแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ (คัพ C) ซึ่งต้องใช้จำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง 4 เท่า พบว่าความแข็งของโฟมยางที่ได้เพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรที่ใช้น้ำหนักสูตรยาง 2 เท่า จึงได้ทำการเพิ่มเวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต จาก 3 นาที เป็น 15 นาที เพื่อให้น้ำยางธรรมชาติเกิดฟองได้มากขึ้น ส่งผลให้แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมที่ได้ มีความแข็งลดลงใกล้เคียงกับสูตรเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 การทดสอบสมบัติเชิงกลของแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านม

ทำการทดสอบความแข็งของแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านม ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งกด Shore OO

ตารางที่ 4.7 แสดงความแข็งของแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านม

แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านม	ความแข็ง (Shore OO)	%Compression set
แบบเล็ก (คัพ AA)	9.12	3.5
แบบใหญ่ (คัพ C)	8.46	2.8

4.3 การเคลือบผิวแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน

4.3.1 การทดสอบสมบัติการรับแรงดึงของยางซิลิโคน (Tensile strength)

จากการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (% Elongation at break) ของยางซิลิโคน ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ โดยใช้ชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล ความหนาเฉลี่ย 1.7 mm ได้ค่าความแข็งแรงดึง 1.66 MPa และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก 646.98

เนื่องจากแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมที่ขึ้นรูปจากโฟมยางธรรมชาติ มีผิวสัมผัสที่ไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง จึงได้มีการทดลองเคลือบผิวด้านนอกด้วยยางซิลิโคน โดยได้ศึกษาวิธีการเคลือบแบบต่างๆ

4.3.2 การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกัน

ผลการทดลองการเคลือบผิวแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน เป็นดังตารางที่ 4.8 ซึ่งพบว่าโฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่สามารถติดกันได้ เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติมีน้ำเป็นองค์ประกอบ เมื่อนำไปผ่านการอบ น้ำก็จะระเหยไป ส่งผลให้โฟมยางธรรมชาติที่ได้เกิดการหดตัว การยึดติดกันของชั้นยางซิลิโคนและโฟมยางธรรมชาติจึงทำได้ยาก นอกจากนี้ยางซิลิโคนและโฟมยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ต่างชนิดกัน มีสภาพความเป็นขั้วที่ต่างกัน จึงมีความสามารถในการยึดติดกันได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีการพัฒนาวิธีการทดลองในการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคนต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการเคลือบผิวแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน

การทำให้โฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคนยึดติดกัน		**ผลการทดลอง**
แบบไม่ใช้ตัวช่วยในการยึดติด		โฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่ติดกัน
แบบใช้ตัวช่วยในการยึดติด	1. การใช้ผ้าซับยาง	โฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่ติดกัน
	2. การใช้กาวสเปรย์	โฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่ติดกัน
	3. การใช้กาวแท่ง	โฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่ติดกัน

4.4 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เมื่อได้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ ที่มีความแข็งใกล้เคียงความเป็นจริงและตรงกับความต้องการของแพทย์ผู้ใช้งาน จึงทำการฝังก้อนของแข็งแทนก้อนในเต้านม 3 ชนิด ทั้งในแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก (คัพ AA) และแบบใหญ่ (คัพ C) ดังรูปที่ 4.15 จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ โรงพยาบาลรามาธิบดี ผลการประเมินเป็นดังตารางที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.10

a) แบบจำลองแบบเล็ก (คัพ AA) b) แบบจำลองแบบใหญ่ (คัพ C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.15 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ตารางที่ 4.9 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก

ประเด็นความพึงพอใจ	เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจ					
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	ไม่สามารถประเมินได้
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
– ความสวยงามโดยรวม		**60%**	30%	10%		
– ขนาด (ใหญ่ เล็ก)	10%	**50%**	30%	10%		
– รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)	10%	**50%**	30%	10%		
– ความเหมือนจริง		40%	20%	40%		
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
– ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)		**50%**	40%	10%		
– ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)		20%	30%	**40%**	10%	
– ความสมจริงเวลากดคลำ		20%	**50%**	30%		
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
3.1 การฝังก้อนซีสต์						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง		30%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง		**60%**	30%	10%		
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง		**60%**	30%	10%		
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง		**50%**	30%	20%		
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง		40%	**50%**	10%		
3.2 การฝังก้อนเนื้องอก						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**70%**	10%		
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	30%	**40%**	20%		
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	20%	20%	**60%**			
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	20%	20%	**40%**	20%		
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	30%	**50%**	10%		
3.3 การฝังก้อนมะเร็ง						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**40%**	30%	10%	
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**50%**	20%	10%	
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**50%**	20%	10%	
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**60%**	20%		

ที่มา : หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิกศัลยศาสตร์เต้านมและต่อไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงบาลรามาธิบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบใหญ่

ประเด็นความพึงพอใจ	เปอร์เซ็นต์ความพึงพอใจ					
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	ไม่สามารถประเมินได้
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
– ความสวยงามโดยรวม	10%	**50%**	30%	40%		
– ขนาด (ใหญ่ เล็ก)	10%	**80%**	10%			
– รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)	20%	**50%**	30%			
– ความเหมือนจริง	10%	**50%**	30%	10%		
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
– ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)	10%	20%	**50%**	20%		
– ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)	10%	20%	30%	30%	10%	
– ความสมจริงเวลากดคลำ	10%	20%	30%	**40%**		
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
3.1 การฝังก้อนซีสต์						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**70%**			
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**50%**	20%		
3.2 การฝังก้อนเนื้องอก						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**60%**	10%		
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	40%	40%	10%		
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	40%	**50%**			
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	40%	**50%**			
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	40%	40%	10%		
3.3 การฝังก้อนมะเร็ง						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	30%	30%	10%	
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	20%	**40%**	20%	10%	
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**50%**	20%		
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**50%**	20%	10%	
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง	10%	10%	**50%**	30%		

ที่มา : หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone Dคลินิกศัลยศาสตร์เต้านมและต่อไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงบาลรามาธิบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์ ซึ่งประกอบด้วยแพทย์ 60% พยาบาล 20% ผู้ช่วยพยาบาล 10% และนักศึกษาแพทย์ 10% เป็นเพศหญิง 60% และเพศชาย 40% สมรสแล้ว 70% และโสด 30% มีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-40 ปี

พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบใหญ่ (คัพ C) มากกว่าแบบเล็ก (คัพAA) เนื่องจากมีขนาดที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

ความพึงพอใจต่อความนิ่มและผิวสัมผัส พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก (คัพAA) มากกว่าแบบใหญ่ (คัพ C) แต่อย่างไรก็ตามความพึงพอใจยังอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความเห็นว่าควรปรับลดความแข็งของแบบจำลองลงอีก เนื่องจากในการคลำหาก้อนในเต้านม ใช้การกดเพียงเบาๆ ถ้าแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมมีความแข็งมากเกินไปจะทำให้คลำหาก้อนในเต้านมได้ยาก

สำหรับการฝังเจลทำความสะอาดคีย์บอร์ดแทนก้อนซีสต์ พบว่าลักษณะ, ขนาด และความแข็งของก้อนซีสต์ในแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก (คัพAA) มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าแบบจำลองแบบใหญ่ (คัพ C) ส่วนความตื้นลึกของก้อนซีสต์ในแบบจำลองทั้ง 2 แบบ พบว่าความพึงพอใจอยู่ในระดับปานกลาง บุคลากรทางการแพทย์มีความเห็นว่าก้อนซีสต์ควรมีความยืดหยุ่นมากกว่านี้ และควรฝังก้อนซีสต์ในตำแหน่งที่ใกล้ผิวมากขึ้น

สำหรับการฝังเจลของเล่นแทนก้อนเนื้องอก พบว่าความพึงพอใจต่อลักษณะ, ขนาด และความแข็งของก้อนเนื้องอกในแบบจำลองทั้ง 2 แบบเท่ากันคืออยู่ในระดับปานกลาง ส่วนความตื้นลึกและความสมจริงของก้อนเนื้องอกในแบบจำลองแบบเล็ก (คัพAA) มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า บุคลากรทางการแพทย์มีความเห็นว่าลักษณะของก้อนเนื้องอกค่อนข้างสมจริง แต่การคลำหาก้อนยังทำได้ยาก ควรทำการฝังก้อนเนื้องอกในตำแหน่งที่ใกล้ผิวมากขึ้น

สำหรับการฝังยางซิลิโคนแบบนิ่มแทนก้อนมะเร็ง พบว่าความพึงพอใจต่อลักษณะ, ขนาด และความแข็งของก้อนมะเร็ง รวมทั้งความตื้นลึก และความสมจริงของก้อนมะเร็งในแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก (คัพAA) มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่าแบบจำลองแบบใหญ่ (คัพ C) บุคลากรทางการแพทย์มีความเห็นว่าควรเพิ่มความแข็งของก้อนมะเร็ง เพิ่มรอยหยักและเพิ่มการแตกกิ่งของมะเร็งให้ชัดเจนขึ้น รวมทั้งควรทำการฝังก้อนมะเร็งในตำแหน่งที่ใกล้ผิวมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมทั้ง 2 แบบของบุคลากรทางการแพทย์ สามารถสรุปได้ว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์

ภายนอกของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบใหญ่ (คัพ C) มากกว่าแบบเล็ก (คัพAA) ส่วนการฝังก้อนทั้ง 3 แบบ แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมขนาดเล็ก (คัพAA) มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีการศึกษาสูตรโฟมยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง และศึกษาการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน รวมทั้งทำการฝังก้อนของแข็งแทนก้อนในเต้านม และทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของแพทย์ผู้ใช้งาน ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสูตรโฟมยางธรรมชาติเพื่อใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม โดยผลการศึกษาปัจจัยต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

- การศึกษาปริมาณกำมะถัน พบว่าปริมาณกำมะถันมีผลโดยตรงต่อความแข็งและความหนาแน่นของโฟมยางของโฟมยางธรรมชาติ และปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดลดลง

- การศึกษาปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว (SSF) พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยางธรรมชาติ แต่ปริมาณ SSF ที่น้อยเกินไปจะทำให้โฟมยางจับตัวเป็นเจลได้ไม่สม่ำเสมอ เกิดฟองอากาศภายในเนื้อโฟม ส่งผลให้โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งแรงลดลง และทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น

- การศึกษาเวลาที่ใช้ในการปั่นโพแทสเซียมโอลิเอต (KO) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการปั่น KO ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโฟมยางธรรมชาติลดลง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น

- การศึกษาระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวนโฟมยางธรรมชาติ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นกวน ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโฟมยางธรรมชาติมีค่าลดลง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น

- การศึกษาจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยาง พบว่าเมื่อจำนวนเท่าของน้ำหนักสูตรยางเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติของยางโฟมยางธรรมชาติเปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกิดจากการควบคุมเวลาในการปั่นกวนและใช้เครื่องปั่นกวนที่มีขนาดไม่เหมาะสมกับปริมาตรของสูตรยาง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การศึกษาการเคลือบผิวแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน พบว่าโฟมยางธรรมชาติและชั้นยางซิลิโคนไม่สามารถยึดติดกันได้ ทำให้ต้องมีการพัฒนาต่อไป

ตอนที่ 2 การทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

- บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบใหญ่ (คัพ C) มากกว่าแบบเล็ก (คัพAA) เนื่องจากมีขนาดที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า แต่ควรลดความแข็งของแบบจำลองลงอีก

- การฝังก้อนทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ก้อนซีสต์ ก้อนเนื้องอก และก้อนมะเร็ง พบว่าในแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเล็ก (คัพAA) มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปรับปรุงสมบัติการยึดติดของโฟมยางธรรมชาติและยางซิลิโคน โดยแก้ไขให้โฟมยางธรรมชาติเกิดการหดตัวน้อยที่สุด หรือแก้ไขขั้นตอนระหว่างการประกบยางทั้ง 2 ชนิด

2. ปรับปรุงลักษณะของก้อนในเต้านมทั้ง 3 ชนิด ให้มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น รวมทั้งฝังก้อนในตำแหน่งที่ใกล้ผิวมากขึ้น

3. ปรับลดความแข็งของแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น

4. ปรับปรุงความสวยงามของแบบจำลอง และเพิ่มความสะดวกในการนำไปใช้งานจริง

5. ปรับปรุงพื้นผิวของแม่พิมพ์ให้เรียบขึ้น เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีผิวเรียบเรียนสมจริง

6. ควรใช้ขนาดของเครื่องปั่นกวนให้เหมาะสมกับปริมาตรน้ำยาง เพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างสารเคมีกับน้ำยางได้สม่ำเสมอ

7. แม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ที่มีความหนาน้อยเกินไปจะแตกง่าย ทำให้อายุการใช้งานสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สาขาศัลยศาสตร์ศีรษะ คอและ เต้านม ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. 2555. "**เรื่องที่น่ารู้และข้อควรปฏิบัติสำหรับผู้ป่วยมะเร็งเต้านม.**" (พิมพ์ครั้งที่ 1).

[2] Wholly Medical. "**การรักษาโรคมะเร็งเต้านมในแต่ละระยะ.**" 2015. [online]. Available: www.whollymedical.com/index.php?mo=14&newsid=319734

[3] Koken Co.,Ltd. **"Inspection and Palpation of Breast Cancer Training Model II LM-107."** 2005. [online]. Available: www.kokenmpc.co.jp/english/products/life_simulation_models/nursing_education/lm-017

[4] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2549. "**ยางธรรมชาติ : การผลิตและการใช้งาน (Natural Rubber : Production and Application).**" (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด ซีโนดีไซน์.

[5] อิทธิพล แจ้งชัด. 2557. "**เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง.**" ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[6] เอกชัย ตรีวัฒนาวงศ์. **"Nature Foam."** 2010. [online]. Available: http://www.naturefoam.com

[7] วิริยะ ทองเรือง, เจริญยุทธ เดชวากุล, จิตระดา สุนโท, ยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ. 2547. "**การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ.**"

[8] North Wanxing Chemical Co.,Ltd. "**Antioxidant PL / Wingstay L.**" [online]. Available: http://www.wanchem.com.cn/products/wingstay-L.html

[9] พวงทอง ไกรพิบูลย์. **"ก้อนในเต้านม (Breast mass).**" 2012. [online]. Available: http://haamor.com/th/%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A1/

[10] แพทย์หญิงวิภาวรรณ อภิวาท ศูนย์ถันยรักษ์ มูลนิธิถันยรักษ์ ในพระราชปูถัมภ์สมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี. **"มะเร็งเต้านม."**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Siamhealth. **"มะเร็งเต้านม."** [online]. Available: http://www.siamhealth.net/public_html/Disease/cancer/breast/breast.html#.VPnEmHysWSo

[12] ฟ้าใสวัยทอง. **"วิธีการตรวจเต้านมด้วยตนเอง."** [online]. Available: www.waithong.com/consumer/bse/bse_method.html

[13] พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์, นุชนาฎ ณ ระนอง, ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, วิภาวี พัฒนกุล, สุมนา แจ่เหมือน. "**การพัฒนาสูตรและเทคนิคการผลิตยางฟองน้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิตและสร้างเครื่องต้นแบบ.**" กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.

[14] จุไรรัตน์ สุริยงค์, สุราชิณี ปันก้อ, กัลย์สุดา กาวิโรจน์, เจนจิรา โนภีระ, รัชนีกร สุจริต. **"เบาะยางพาราเพื่อสุขภาพ."** โรงเรียนหางดงรัฐราษฎร์อุปถัมภ์ อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่.

[15] ASTM D412-68 Committee on Standard "**Standard Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber.**" Philadelphia. American Society for Testing and Material. 1969.

[16] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2540. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางฟองน้ำลาเทกซ์**. มอก. 1425-2540.

[17] ASTM D2240-05 Committee on Standard "**Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.**" Philadelphia. American Society for Testing and Material. 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

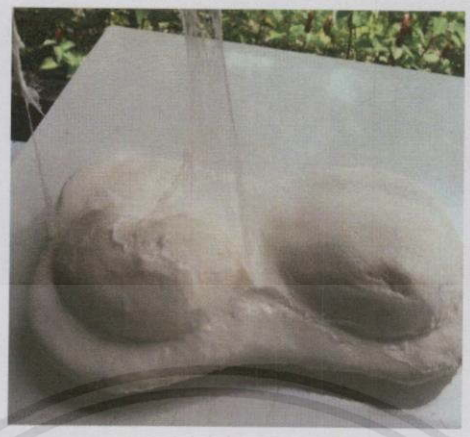
ภาคผนวก ก.

รูปภาพแสดงการไม่ยึดติดกันของยางซิลิโคนและโฟมยางธรรมชาติ

แบบไม่ใช้ตัวช่วยในการยึดติด

แบบใช้ผ้าซับยางช่วยในการยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



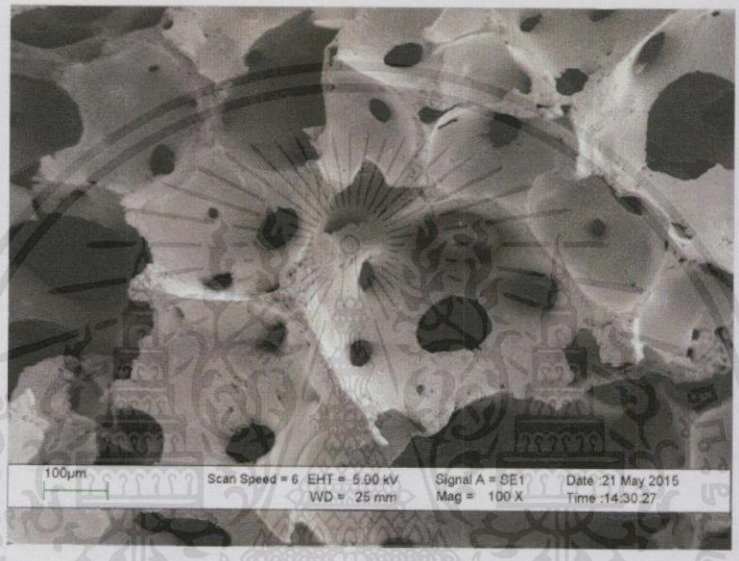
แบบใช้กาวสเปรย์ช่วยในการยึดติด

แบบใช้กาวแท่งช่วยในการยึดติด

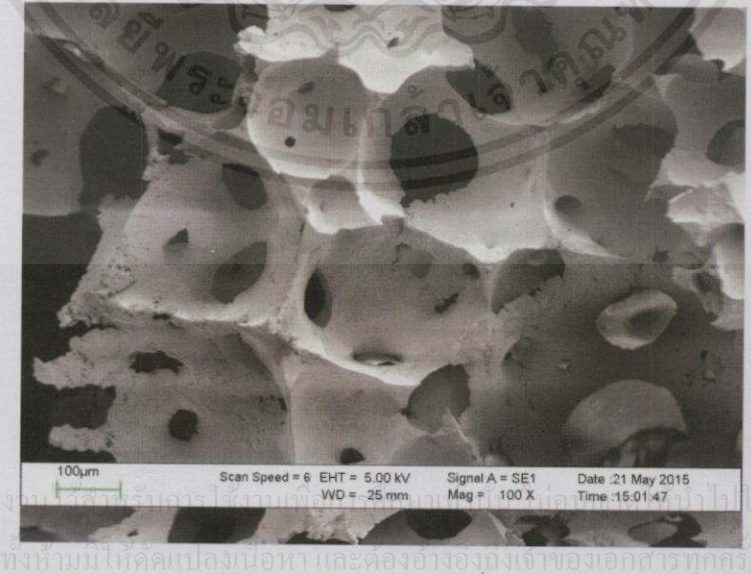
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ภาพลักษณะสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติจากกล้อง SEM กำลังขยาย 100X

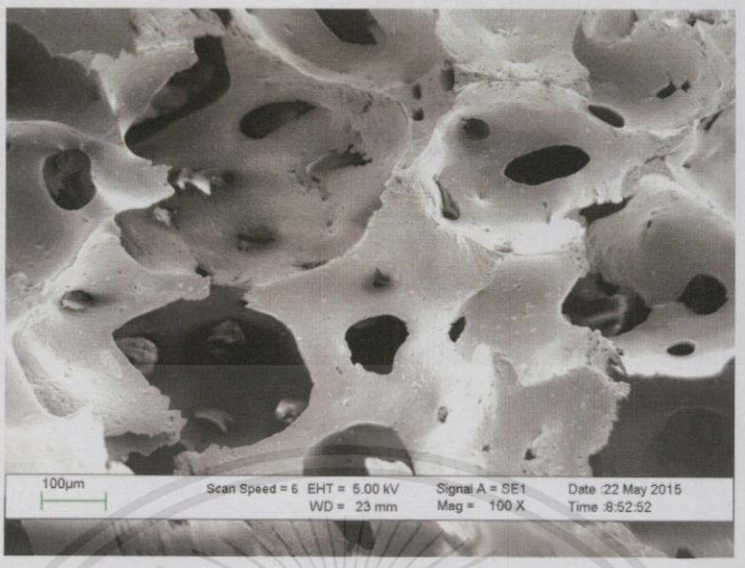


การใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนระดับ 1

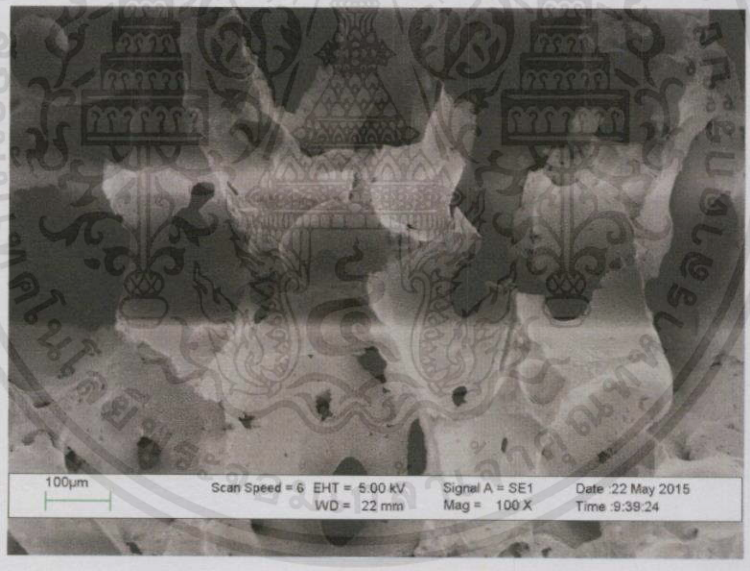


การใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนระดับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การใช้ SSF 0.5 phr



การใช้ SSF 4.5 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน

แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

DISCLAIMER : แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง "การออกแบบและสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม" ซึ่งเป็นงานวิจัยร่วมระหว่างภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) กับคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม (Brest Cancer Training Model) ที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีการแสดงที่มาของข้อมูล ผลการประมวลของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อใช้ประกอบงานวิจัยเท่านั้น ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างยิ่งที่ให้ข้อมูลกรอกแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน ☐ หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. ปัจจุบันท่านอายุ ☐ 15-20 ปี ☐ 21-30 ปี ☐ 31-40 ปี ☐ 41-50 ปี ☐ 51-60 ปี ☐ 61 ปีขึ้นไป
2. เพศ ☐1.หญิง ☐2.ชาย
3. สถานภาพสมรส ☐1.โสด ☐2.สมรส ☐3.หม้าย/หย่า/แยก
4. อาชีพ ☐1.แพทย์ ☐2.พยาบาล ☐3.นักศึกษาแพทย์ ☐4.นักศึกษาพยาบาล
   ☐5.อื่นๆ (โปรดระบุ).....
5. การศึกษา ☐1.มัธยมศึกษา ☐2.อนุปริญญา/ปวส. ☐3.ปริญญาตรี ☐4.ปริญญาโท ☐5.ปริญญาเอก
6. ท่านเคยได้รับทราบข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการตรวจมะเร็งเต้านมด้วยตนเองจากแหล่งใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
   ☐1.การเรียนการสอน ☐2.โทรทัศน์/วิทยุ ☐3.หอกระจายข่าว ☐4.หนังสือพิมพ์ ☐5.อินเตอร์เน็ต
   ☐6.แผ่นพับ/ใบปลิว/โปสเตอร์ ☐7.เพื่อน/ญาติ/คนใกล้ชิด ☐8.อสม. ☐9.แพทย์/พยาบาล/จนท.สาธารณสุข
   ☐10.ไม่เคยได้รับข้อมูล ☐11.อื่นๆ (โปรดระบุ).....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	ไม่สามารถประเมินได้
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
– ความสวยงามโดยรวม						
– ขนาด (ใหญ่ เล็ก)						
– รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)						
– ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
– ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
– ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)						
– ความสมจริงเวลากดคลำ						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
3.1 การฝังก้อนซีสต์						
– ความสมจริงในการคลำจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
3.2 การฝังก้อนเนื้องอก						
– ความสมจริงในการคลำจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	ไม่สามารถประเมินได้
3.3 การฝังก้อนมะเร็ง						
– ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
– ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่ ? ☐ ใช้ ☐ ไม่ใช้ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....

.....

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี).....

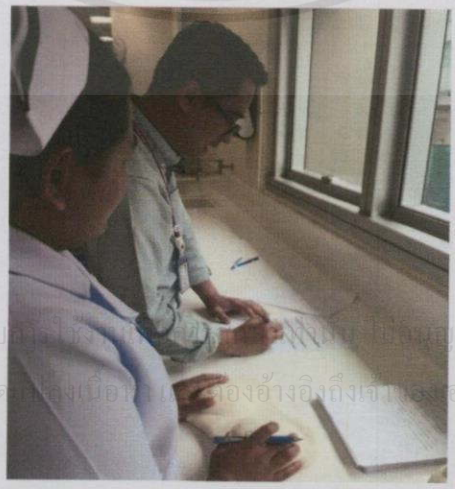
.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพการทำแบบสอบถามของบุคลากรทางการแพทย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้