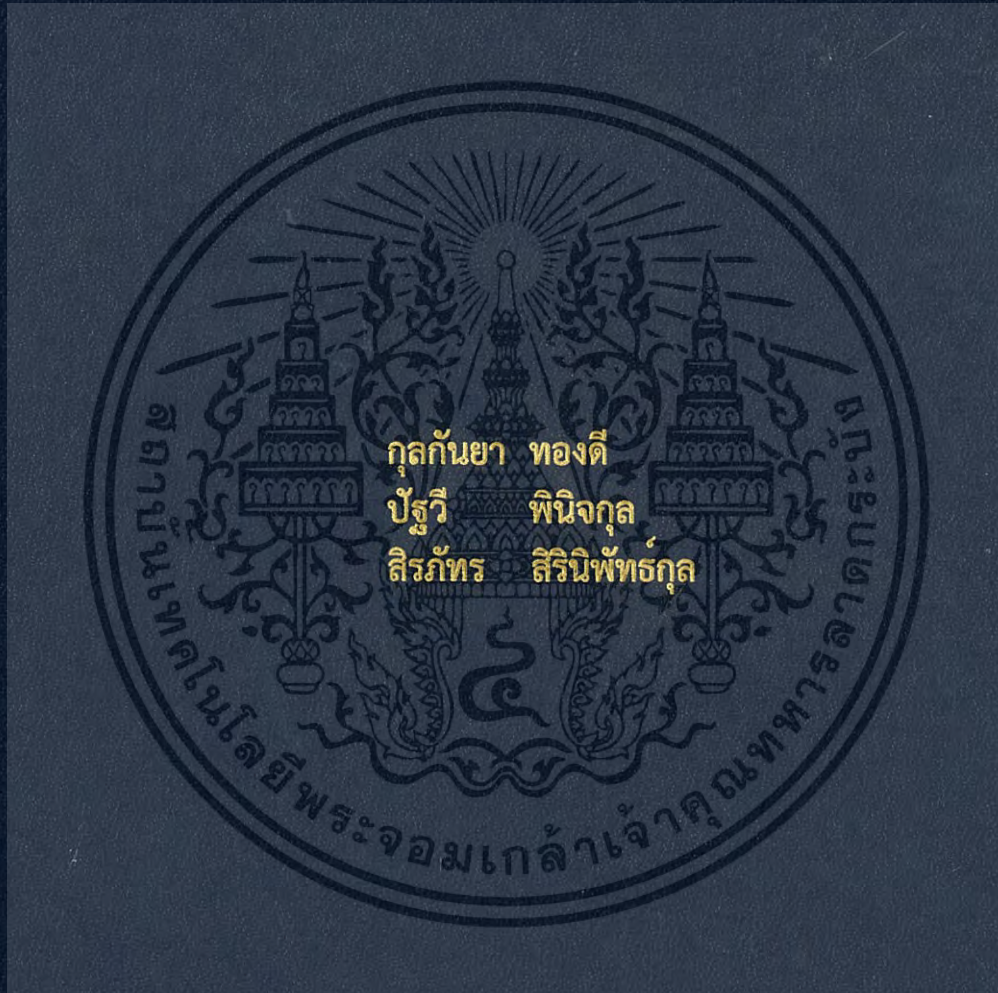


การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม
จากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน

DEVELOPMENT OF BREAST CANCER TRAINING MODEL
FROM NR FOAM WITH SILICONE SKIN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม
จากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน

DEVELOPMENT OF BREAST CANCER TRAINING MODEL
FROM NR FOAM WITH SILICONE SKIN



T149179



กุลกัญญา ทองดี
ปัฐวี พินิจกุล
สิริภัทร สิรินิพัทธ์กุล

ส.พ.
๓ ๗ ๒๔ ๖
๒๐๐๘

เลขหมู่..... 149179
ลงทะเบียน..... 29 ส.ค. 2561
รับเดือนปี.....

๗ ๑๒ ๘ ๘๐ ๕๐ ๒๗

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2558 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF BREAST CANCER TRAINING MODEL FROM NR FOAM WITH SILICONE SKIN



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ
เคลือบผิวซิลิโคน
Development of breast cancer training model from NR foam
with silicone skin

ชื่อนักศึกษา นางสาวกุลกัญญา ทองดี รหัสนักศึกษา 55050578
นายปัฐวี พินิจกุล รหัสนักศึกษา 55050729
นางสาวสิริภัทร สิริทรัพย์กุล รหัสนักศึกษา 55050829

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกุลกัญญา	ทองดี	รหัสนักศึกษา	55050578
	นายปัฐวี	พินิจกุล	รหัสนักศึกษา	55050729
	นางสาวสิริภัทร	สิรินิพัทธ์กุล	รหัสนักศึกษา	55050829
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)			
ภาควิชา	เคมี			
คณะ	วิทยาศาสตร์			
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)			
ปีการศึกษา	2558			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันมะเร็งเต้านมเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเป็นอันดับต้นๆ ของสุขภาพสตรี แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์และผู้สนใจในการฝึกสอนการตรวจมะเร็งเต้านม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ (NR) โดยสร้างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม 2 แบบ คือแบบเคลือบยางซิลิโคนและไม่เคลือบยางซิลิโคน มีปัจจัยที่ศึกษาคือ เวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ ปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ และปริมาณน้ำมันซิลิโคน โดยทำการศึกษาวิธีขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองด้วยยางซิลิโคน ทำการวิเคราะห์ต้นทุน และทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานกับบุคลากรทางการแพทย์ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ความหนาแน่นโคมยางมีค่าลดลง รวมทั้งความแข็ง ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การหดตัวและเปอร์เซ็นต์การยุบตัวมีแนวโน้มคงที่ ในการทดสอบยางซิลิโคนพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงส่งผลให้ยางมีความแข็งแรงดึง การยืด ณ จุดขาดลดลงและมีค่าความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนทำให้ยางมีความแข็งแรง โมดูลัส ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด และการยืด ณ จุดขาดลดลง จากการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์พบว่าชอบแบบจำลองที่เคลือบด้วยยางซิลิโคนมากกว่า เพราะสามารถค้ำพบก้อนมวล (Mass) ในเต้านมได้และมีความสมจริง โดยพบว่ามีเกณฑ์การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองที่เคลือบยางซิลิโคนในระดับที่พอใจสูงสุดถึง 56 เปอร์เซ็นต์ อาจสรุปได้ว่า แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคนที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีความพึงพอใจสูง สามารถใช้งานได้ และมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ความสำคัญ : ก้อนมวล แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม โคมยางธรรมชาติ ยางซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of breast cancer training model from natural rubber foam with silicone skin	
Students	Miss Kulkanya Thongdee	Student ID 55050578
	Mr. Pattawee pinidkul	Student ID 55050729
	Miss Sirapat Sirinipatkul	Student ID 55050829
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Associate Professor Dr.Ittipol Jangchud	

Abstract

Nowadays, breast cancer is one of the most leading causes of women deaths. Breast cancer training models are important tools used in teaching and training medical staffs and patients. This work was focused on developing breast cancer training model from natural rubber (NR) foam. Two models were developed, i.e., models coated with and without silicone rubber skin. Studied factors included emulsifier stirring time, emulsifier loading, peroxide and silicone oil loadings. In this work, three types of masses inside breast representing cancers, cysts, and tumors were prepared. Coating methods of silicone rubber on NR foam were studied. Cost analysis and satisfaction survey of model by users were also carried out. It was found that foam density, hardness, %shrinkage decreased but %compression set of NR foam was unchanged as the stirring time was increased. When the emulsifier loading was increased, foam density was unchanged, whereas %shrinkage was increased but %compression set of NR foam was unchanged. For silicone rubber, as peroxide loading was increased, tensile strength and elongation at break were decreased, but hardness was increased. As silicone oil loading was increased, hardness, rubber modulus, tensile strength, tear strength and %elongation at break were decreased. In satisfaction survey of medical staffs, the model with silicone rubber skin was more satisfied compared to that without the skin. Because masses in that breast model were detectable and realistic. They showed the highest satisfaction (56%) for the silicone coated model. It can be concluded that the breast cancer training model from natural rubber foam with silicone skin in this work was developed to a high satisfaction with potentials to be commercialized.

Keywords : Mass, Breast cancer training model, Natural rubber foam, Silicone rubber

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ โดยได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่าย ทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจิต และคณะกรรมการสอบ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้เป็นอย่างดี รวมถึงอาจารย์ภาควิชาเคมี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำในการศึกษาเชิงโพลีเมอร์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณคุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน

ขอขอบพระคุณ นพ.ยอดยิ่ง วาสุภิตย์ และบุคลากรทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโรคมะเร็งเต้านม และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเสมอ มารวมถึงขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกคนที่ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้



กุลกัญญา ทองดี
ปัฐวี พินิจกุล
สิรภัทร สิรินิพัทธ์กุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ยางธรรมชาติ.....	5
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำยางสดและน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย.....	7
2.1.2 อนุภาคยาง.....	8
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย.....	9
2.2.1 ผลทางเคมีของการเติมแอมโมเนีย.....	9
2.2.2 การเกิดประจุลบของกรดไขมันที่ระเหยได้.....	10
2.2.3 ผลการเก็บรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่อความเสถียรของคอลลอยด์.....	10
2.3 การเตรียมสารผสมน้ำยาง.....	11
2.4 การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์.....	11
2.5 ยางพองน้ำ.....	11
2.6 สมบัติของยางพองน้ำ.....	12
2.6.1 การขยายตัวและความหนาแน่น.....	12
2.6.2 การยุบตัวจากแรงกด.....	12
2.6.3 ความแข็ง.....	12
2.6.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด.....	13
2.6.5 ความล้า.....	13
2.7 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโฟมยาง.....	14
2.7.1 กำมะถัน.....	14
2.7.2 สารตัวเร่ง.....	14
2.7.2.1 ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate).....	15
2.7.2.2 ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole).....	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.2.3 DPG (Diphenyl guanidine).....	15
2.7.3 สารกระตุ้น.....	16
2.7.4 สารป้องกันออกซิชั่น.....	16
2.7.5 สารทำให้เกิดฟอง.....	17
2.7.6 สารลดแรงตึงผิว.....	18
2.8 ยางซิลิโคน.....	20
2.9 การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization).....	22
2.9.1 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	23
2.9.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....	24
2.9.3 ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....	24
2.9.4 อัตราเร็วการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์และโคเอเจนต์.....	24
2.9.5 การโพสต์เคียว (Post cure).....	25
2.9.6 ข้อควรระวังในการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	25
2.10 กระบวนการดันลอป.....	25
2.10.1 น้ำยาง.....	27
2.10.2 หลักการเกิดเจล กลไกการเกิด และ สารก่อเจล.....	27
2.10.3 การทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง.....	28
2.10.4 การขึ้นรูปในแม่พิมพ์/การเกิดเจล/การคงรูป/การล้า และอบแห้ง.....	29
2.10.5 ลักษณะยางฟองน้ำที่ไม่พึงประสงค์และข้อเสนอแนะการแก้ไข.....	30
2.11 กระบวนการทาลาเลย์.....	31
2.11.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และการทำให้เกิดฟอง.....	31
2.11.2 แม่พิมพ์.....	31
2.12 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม.....	32
2.12.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม.....	32
2.12.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม.....	34
2.12.3 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม.....	36
2.12.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง.....	37
2.12.4.1 สํารวจลักษณะภายนอก.....	37
2.12.4.2 การคลำ.....	37
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	39
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	43
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	43
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 สารเคมี.....	44
3.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	45
3.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ.....	45
3.2.2 การศึกษาพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	45
3.2.2.1 การศึกษาพัฒนาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์.....	45
3.2.2.2 การศึกษาพัฒนาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	46
3.2.3 การเตรียมยาซิลิโคน.....	46
3.2.4 การเตรียมก้อนของแข็งด้วยยางซิลิโคนแทนก้อนมะเร็ง, ซีสต์, เนื้องอก.....	46
3.2.5 การศึกษาสมบัติยางซิลิโคน.....	48
3.2.5.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคน.....	48
3.2.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคน.....	48
3.2.6 การทดลองฝังก้อนของแข็งทำจากยางซิลิโคน แทนก้อนมะเร็ง, ซีสต์ และเนื้องอก.....	48
3.2.7 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโคมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน.....	48
3.2.7.1 การทางยางซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	48
3.2.7.2 การหล่อแบบสลัซซ์.....	48
3.2.7.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดย ใช้แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็ง ตรวจมะเร็งเต้านมเป็นตัวอย่าง.....	49
3.3 การทดสอบสมบัติชิ้นงาน.....	50
3.3.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอก (ยางซิลิโคน).....	50
3.3.2 ส่วนที่เป็นชั้นใน (ยางธรรมชาติ).....	50
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	52
4.1 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติของโคมยางธรรมชาติ.....	52
4.1.1 ศึกษาผลของเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์.....	52
4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	55
4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ.....	59
4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางซิลิโคน.....	60
4.3.1 ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยง.....	60
4.3.2 ศึกษาผลของปริมาตรน้ำมันซิลิโคน.....	63
4.4 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโคมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน.....	66
4.4.1 การทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	66
4.4.2 การหล่อแบบสลัซซ์.....	67

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกอบโดยใช้แบบจำลองฝักตรวจ มะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเป็นตัวกด.....	67
4.5 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม จากโคมยางธรรมชาติ.....	68
4.6 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....	68
4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์.....	76
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	80
เอกสารอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก. ภาพการถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม จากโคมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์.....	86
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง.....	7
2.2 ตัวอย่างองค์ประกอบของส่วนอนุภาคยางในน้ำยาสด.....	8
2.3 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ.....	21
2.4 ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตยางฟองน้ำ.....	30
3.1 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ.....	44
3.2 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง.....	46
4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้เวลา การปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน.....	53
4.2 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติ เมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตแตกต่างกัน.....	56
4.3 สูตรโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม จากโฟมยางธรรมชาติที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง.....	59
4.4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม จากโฟมยางธรรมชาติ 1 ชิ้น.....	76
4.5 การประเมินราคาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม จากโฟมยางธรรมชาติกับแบบจำลองที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์.....	78
ก.1 ความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนโฟมยางธรรมชาติ.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม.....	1
1.2 แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์.....	2
2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	5
2.2 อนุภาคยางในน้ำยางสด.....	8
2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate).....	15
2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole).....	15
2.5 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine).....	16
2.6 โครงสร้างของ Antioxidant Wingstay L.....	17
2.7 รูปโครงสร้างของโทแทสเซียมโอเลต [26].....	18
2.8 โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัว (Hydrophillic), ส่วนหาง (Hydrophobic).....	19
2.9 การจัดเรียงตัวของ surfactants ที่ระดับความเข้มข้นต่าง.....	19
2.10 การจัดเรียงตัวของ Micelles ในแบบต่างๆเมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น.....	20
2.11 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน.....	21
2.12 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	23
2.13 ลำดับขั้นการผลิตยางพองน้ำ.....	26
2.14 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง.....	33
2.15 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง.....	33
2.16 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม.....	35
2.17 การตรวจเต้านมโดยสำรวจลักษณะภายนอก.....	37
2.18 การตรวจเต้านมโดยการยึนคลำ.....	38
2.19 การตรวจเต้านมโดยการนอนคลำ.....	38
2.20 การตรวจเต้านมโดยใช้อีกข้างในการตรวจหา.....	38
2.21 หุ่นสาธิตการฝีกตรวจมะเร็งเต้านมสตรี (แบบมีชุดสวม).....	40
2.22 โมเดลเต้านมเทียมด้วยซิลิโคนเพื่อสอนการตรวจมะเร็งเต้านมให้นักศึกษา.....	41
2.23 ชุดโมเดลฝีกตรวจเต้านม.....	41
3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติ.....	45
3.2 การเตรียมยางซิลิโคน.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การเตรียมก้อนมะเร็ง.....	47
3.4 การเตรียมซีสต์และเนื้องอก.....	47
3.5 การทายางซิลิโคนที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	48
3.6 การหล่อแบบสลัซซ์	49
3.7 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกอบโดยใช้แบบจำลองมะเร็งเต้านมโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกด.....	49
4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการบ่มกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	54
4.2 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติ เทียบกับเวลาการบ่มกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	54
4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติ เทียบกับเวลาการบ่มกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	55
4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หดตัวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการบ่ม.....	55
4.5 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	57
4.6 การจัดเรียงตัวของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชั้น (Bilayers).....	57
4.7 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	57
4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	58
4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติ เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	58
4.10 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของยางซิลิโคนเทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide.....	60
4.11 กราฟแสดงค่ามอดูลัส (Modulus 100) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide.....	61
4.12 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide.....	61
4.13 กราฟแสดงค่าการื่อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (Elongation at break) เทียบกับ ปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide.....	62
4.14 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อการฉีกขาด Tear strength เทียบกับปริมาณสาร เชื่อมโยงPeroxide.....	62
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพ (Physical Property) กับความ หนาแน่นการเชื่อมโยง (Cross-link Density).....	63
4.16 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิว (Hardness) เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	64
4.17 กราฟแสดงค่ามอดูลัส (Modulus 100) เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	64
4.18 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	65
4.19 กราฟแสดงค่าการื่อยละการดึงยืด ณ จุดคราก (%Elongation at break) เทียบกับ ปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 กราฟแสดงค่าค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	66
4.21 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	66
4.22 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการหล่อแบบสลัซซ์.....	67
4.23 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบ โดยใช้แบบจำลองยางฝัก ตรวจสอบมะเร็งเต้านมโพลียเอทิลีนเป็นตัวอย่าง.....	67
4.24 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน.....	68
4.25 แบบจำลองยางฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....	68
4.26 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองยางฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมของบุคลากรทาง การแพทย์.....	69
4.27 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	70
4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	71
4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	72
4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	73
4.31 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	74
4.32 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	75
4.33 บริษัท BM Simulator ได้ผลิตหุ่นสาธิตการฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมสตรี.....	77
4.34 แบบจำลองยางฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์.....	77
ก.1 ถอดแบบจำลองฝักตรวจสอบมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนออกจากแม่พิมพ์.....	86
ข.1 หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิกศัลยกรรมเต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี.....	90
ข.2 หอผู้ป่วยไอ.ซี.ยู (ICU) หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบบ่อยที่สุดในผู้หญิง เกิดจากความผิดปกติของเซลล์ที่อยู่ภายในท่อน้ำนมหรือต่อมน้ำนม ดังรูปที่ 1.1 จากสถิติของสถาบันมะเร็งแห่งชาติพบว่าผู้หญิงเป็นมะเร็งเต้านมร้อยละ 37 ของมะเร็งทั้งหมด และยังมีอัตราการเสียชีวิตเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด [1] ดังนั้นการดูแลตัวเองเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็ง และการค้นพบมะเร็งตั้งแต่ระยะเริ่มแรกในขณะที่ยังมีขนาดเล็ก และก้อนมะเร็งยังอยู่เฉพาะที่เต้านม ยังไม่แพร่กระจายไปต่อมน้ำเหลืองจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะมีโอกาสหายขาดมากขึ้น เมื่อเทียบกับการตรวจพบก้อนมะเร็งที่มีขนาดใหญ่ หรือกระจายไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้แล้ว หากมีการตรวจพบมะเร็งเต้านมในระยะเริ่มต้นสามารถรักษาให้หายขาดได้ และการรักษาอาจทำได้โดยการตัดเฉพาะก้อนมะเร็งออกไม่จำเป็นต้องผ่าตัดทั้งเต้านม ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีการตรวจค้นหามะเร็งเต้านม รอจนกระทั่งมีอาการผิดปกติมะเร็งอาจแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่นๆ อาจทำให้เสียชีวิต



รูปที่ 1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม [2]

แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม (Breast cancer training model) คือแบบจำลองเลียนแบบเต้านม ที่มีการฝังก้อนของแข็ง (Mass) เพื่อเลียนแบบก้อนมะเร็ง เป็นอุปกรณ์ที่บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปสามารถใช้ฝึกการคลำ เพื่อฝึกการตรวจพบก้อนมะเร็ง แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 1.2 เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ในการตรวจมะเร็งเต้านม อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีราคาแพง มีก้อนของแข็งแบบเดียว และนำเข้าจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แบบจำลองยางฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์ [3]

งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือระหว่างภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) และคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล โดยเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงการพิเศษปีการศึกษา 2557 ของภาควิชาเคมี เรื่อง “การศึกษาแบบจำลองยางฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน” ทำการศึกษาแบบจำลองยางฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณสารเคมี ระดับความเร็ว และเวลาที่ใช้ในการปั่นโพลียเอทิลีนที่มีผลต่อสมบัติของยาง มีการฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมวล ได้แก่อ่อนซีสต์ เนื้องอก และมะเร็ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมามีปัญหาเรื่อง ความแข็งของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนยังไม่ใกล้เคียงกับความจริง รวมถึงก้อนมวลในเต้านมยังไม่เสมือนจริง ทั้งรูปร่างและความแข็ง รวมทั้งผิวของโพลียเอทิลีนไม่เหมือนผิวหนังจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อการพัฒนาแบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน โดยเน้นพัฒนาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ได้โพลียเอทิลีนที่มีสมบัติตามที่ต้องการ เช่น พัฒนาให้โพลียเอทิลีนมีความนิ่มมากขึ้น พัฒนาให้พองในโพลียเอทิลีนมีความเสถียร และละเอียดมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาทดลองสูตรยางซิลิโคน (Silicone rubber) แล้วทดลองเตรียมแบบจำลองที่มีการเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนให้มีความเรียบสม่ำเสมอสวยงาม คล้ายผิวหนังมนุษย์ มีการพัฒนาการทดลองฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมวลในเต้านม ให้มีลักษณะและความแข็งของก้อนมะเร็ง ซีสต์ และเนื้องอกให้มีรูปร่างเหมือนจริง งานวิจัยนี้ทำการเตรียมแบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมที่ใกล้เคียงกับความจริง สามารถใช้งานได้จริง และมีความเป็นไปได้ในการใช้งานเชิงพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่มีรูปร่างคล้ายซิลิโคน โดยพัฒนาสูตรโพลียเอทิลีน และสูตรยางซิลิโคน ทำการศึกษาปัจจัยบางประการที่มีผลต่อสมบัติของยาง รวมทั้งการพัฒนาก่อนมวลเลียนแบบก่อนมะเร็ง เนื้องอก และซิสต์ ให้มีรูปร่าง และขนาดที่เหมือนจริง มีความเป็นไปได้ในการใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ผสมและเตรียมตัวอย่างโพลียเอทิลีน (NR) และศึกษาสมบัติต่างๆ ของโพลียเอทิลีน เช่น ความหนาแน่น, ความแข็ง (Shore OO), การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set), และศึกษาสัณฐานวิทยาของโพลียเอทิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
- 3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของโพลียเอทิลีน ได้แก่
 - ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการบ่มอิมัลซิไฟเออร์ (3, 5, 7, 9 และ 11 นาที)
 - ศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ (10, 15 และ 20 phr)
- 4) ผสมและเตรียมตัวอย่างยางซิลิโคน (Silicone rubber, MQ) และศึกษาสมบัติต่างๆ ของยาง เช่น เวลาแข็งตัว (Cure time), สมบัติเชิงกล (Tensile strength, %Elongation at break, Rubber modulus (M100), Hardness (Shore OO) และ Tear strength)
- 5) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางซิลิโคน ได้แก่
 - ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide (3, 4 และ 5 phr)
 - ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน (20, 30, 40 และ 50 phr)
- 6) เตรียมจำลองก้อนของแข็ง 3 แบบ แทนก้อนมะเร็ง, ซิสต์ และเนื้องอกที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน
- 7) ทำการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่มีรูปร่างคล้ายซิลิโคน ที่มีการฝังก้อนมวล 3 แบบ ที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน
- 8) ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมที่เตรียมได้ โดยใช้แบบสอบถามความพึงพอใจของแพทย์ที่โรงพยาบาลรามาริบัติ มหาวิทยาลัยมหิดล และสถาบันมะเร็งแห่งชาติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมที่สามารถใช้งานได้จริงราคาไม่แพง และมีความเป็นไปได้ในการใช้งานเชิงพาณิชย์
- 2) เพิ่มมูลค่าและปริมาณการใช้งานของยางพาราในประเทศ
- 3) บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อฝีกการตรวจความผิดปกติของเต้านม เช่น มะเร็งเต้านม ก้อนเนื้องอก และก้อนซิสต์ เป็นต้น ทำให้สามารถรักษาได้ทัน และช่วยลดผู้ป่วยมะเร็งเต้านมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

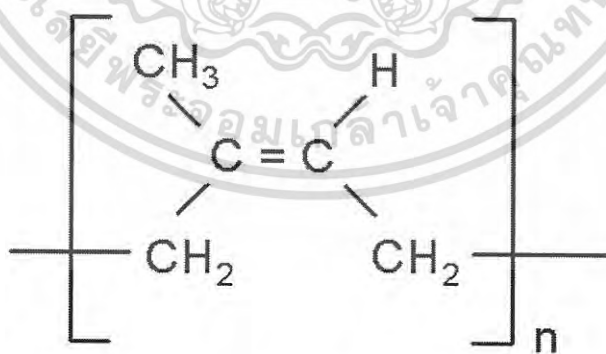
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ [4]

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อเยื่อแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็ง

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene (C_5H_8) โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้งางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [4]

ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับกระบวนการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนเี่ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางผสมหรือยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่าวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้ เราเรียกว่า "ยางสุกหรือยางคงรูป" (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถังมือยาง ถูงยาง อานามัย ยางรัดของ เป็นต้น
- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น
- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะขึ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่างๆ ดังกล่าว

2.1.1 องค์ประกอบของน้ำยางสดและน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย [4-7]

องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยางสด แตกต่างจากองค์ประกอบในน้ำยางที่ผ่านการรักษาด้วยแอมโมเนียไม่ว่าจะทำหรือไม่ทำให้ขึ้นก็ตาม น้ำยางสดคือ น้ำ (Sap) ที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางพาราจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทันทีที่ไหลออกจากต้นและทันทีที่มีการเติมแอมโมเนีย ผลด้านเคมีที่สำคัญเมื่อเติมแอมโมเนียลงในน้ำยาง คือ การเสริมความเป็นด่างให้กับน้ำยาง เมื่อน้ำยางสดถูกผ่านกรรมวิธีทำให้เข้มข้นโดยวิธีใดๆ ก็ตาม ก็จะมีผลต่อการกระจายขนาดของอนุภาคยาง และมีผลต่อสัดส่วนระหว่างสารที่ไม่ใช่ยางกับส่วนของเนื้อยาง

น้ำยางสดที่กรีดจากต้นยางพาราเป็นของเหลวมีสีออกขาว ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 Mgm^{-3} ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0-7.0 Surface free energy 40-45 mJm^{-2} ความหนืดแปรปรวน การเจือจางน้ำยางสดด้วยน้ำจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงแรก จนถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลง ทั้งนี้เพราะลูทอยด์ (Lutoids) เกิดการบวมพองแล้วแตกออก เนื่องจากน้ำยางเป็นผลผลิตจากธรรมชาติ องค์ประกอบในน้ำยางสดจึงมีความแปรปรวนสูง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง [4]

องค์ประกอบ	ส่วน (% w/w) ของน้ำยาง
ส่วนที่เป็นของแข็ง (Total solids)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber)	33
สารโปรตีน (Proteinaceous substances)	1-1.5
สารเรซิน (Resinous substances)	1-2.5
เถ้า (Ash)	1
น้ำตาล	1
น้ำ...ปริมาณที่รวมกันกับยางและสารอื่นแล้ว	100

สารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำยางสดกระจายอยู่ในส่วนหรือเฟส (Phase) ต่างๆ 3 ส่วนหลัก คือ

- 1) อนุภาคยาง Rubber particles (ประมาณ 35% w/w ของน้ำยาง)
- 2) ส่วนที่เป็นน้ำ Aqueous phase (ประมาณ 55% ของน้ำยาง)
- 3) ส่วนของลูทอยด์ Lutoid phase (ประมาณ 10% w/w ของน้ำยาง)

สารอื่นๆ นอกจากยางซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่ไม่ใช่ยางสารเหล่านี้ส่วนใหญ่ละลายในส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่า “เซรัม” ของน้ำยาง บางส่วนดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคยางและบางส่วนแขวนลอยอยู่ในน้ำยางอนึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำยางชั้นที่รักษาสภาพความเสถียรซึ่งผู้ใช้ในประเทศต่างๆ ได้รับมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างจากน้ำยางสดที่กรีดจากต้นทั้งนี้เพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับน้ำยางในระหว่างการเก็บรวบรวม การรักษาสภาพความเสถียรทำให้น้ำยางเข้มข้นตลอดจนการเก็บรักษา และการเคลื่อนย้ายระหว่างการขนส่งน้ำยาง

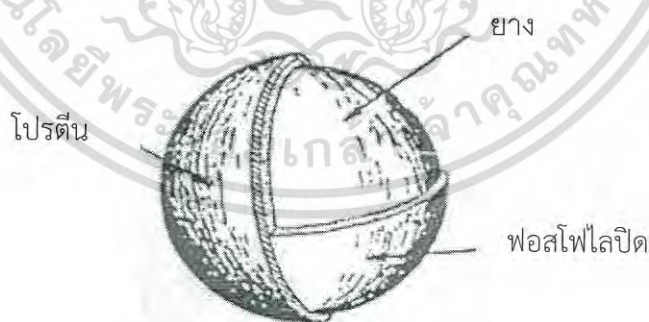
2.1.2 อนุภาคยาง [5]

น้ำยางสดมีส่วนของอนุภาคยางไม่แน่นอน คือประมาณ 20-45% โดยน้ำหนักน้ำยาง ความแปรปรวนของปริมาณเนื้อยาง เนื่องจากปัจจัยต่างๆ ได้แก่ พันธุ์ยาง อายุต้นยาง วิธีการกรีตและฤดูกาล เป็นต้น อนุภาคยางส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและอาจเป็นรูปลูกแพร์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอายุและพันธุ์ยาง โดยอาจมีขนาดตั้งแต่ 20-5000 nm ในส่วนที่เป็นยางประกอบด้วยสารต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 ตัวอย่างองค์ประกอบของส่วนอนุภาคยางในน้ำยางสด

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างองค์ประกอบของส่วนอนุภาคยางในน้ำยางสด [5]

องค์ประกอบ	ส่วน (% w/w) ของน้ำยาง
ยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ (เป็นไปได้ที่จะกระจายอยู่ในอนุภาคยาง)	10
สารโปรตีน	1
สารไลปิด	3

อนุภาคยางในน้ำยางสดมีส่วนที่หุ้มชั้นในเป็นฟอสโฟไลปิด (Phospholipids) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชนิด Lecithin และชั้นนอกเป็นโปรตีน (Protein) ซึ่งอาจเหมือนกับที่อยู่ในส่วนของน้ำ คือ α -globin ทั้งนี้ ทั้งสองชั้นค่อนข้างผสมกันมากกว่าที่แสดงแยกชั้นชัดเจนตามรูป อย่างไรก็ตามจากรูปที่แสดงเห็นว่าฟอสโฟไลปิด เป็นส่วนที่เชื่อมระหว่างผิวยางกับโปรตีน ฟอสโฟไลปิดอื่นที่พบในน้ำยางสด ได้แก่ Metal phosphatides และ Cephalins เป็นที่เชื่อกันว่าประจุไฟฟ้าบนผิวอนุภาคยางในน้ำยางสดส่วนใหญ่ เนื่องมาจากส่วนของ Carboxylate anions ที่มาจากสารโปรตีน (Proteineous substances)



รูปที่ 2.2 อนุภาคยางในน้ำยางสด [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยาที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย [9-11]

โปรตีนและสารเรซินของน้ำยาที่รักษาสภาพไว้ด้วยแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงและเปลี่ยนไปเป็น Polypeptide, Amino acids, Soaps, Glycerol, Organic bases และ Inorganic phosphate ความเข้มข้นของ อีออนที่อยู่ในส่วนที่เป็นน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ Carboxylate anions ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและต่ำ Phosphate amino และ Amino acid anions สำหรับ Cations ส่วนใหญ่มาจากแอมโมเนียที่ใช้รักษาสภาพน้ำยา ความเข้มข้นของ Ionic magnesium ในส่วนที่เป็นน้ำลดลงมาก ซึ่งมีผลต่อความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ของน้ำยา ยกเว้นกรณีน้ำยาบางพันธุ์ เช่น พันธุ์ Glenshiell การเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวนี้มีผลทำให้สถานะคอลลอยด์ของน้ำยาไม่เสถียร (Colloidal-unstable preservatives) อนึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้มีนัยสำคัญต่อสถานะคอลลอยด์ของน้ำยาธรรมชาติมีผลต่อกระบวนการผลิต แต่ไม่มีผลต่อสมบัติทางเทคนิคของฟิล์มยางที่ผ่านการทำให้คงรูป มีการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยาที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียและเก็บไว้ระยะหนึ่งพบว่า สมบัติหลักที่เปลี่ยนแปลงคือ ความเสถียรต่อแรงกล ความเข้มข้นของ Volatile fatty acid (VFA) anions และความเข้มข้นของ Cations ซึ่งประเมินโดยค่า KOH number

2.2.1 ผลทางเคมีของการเติมแอมโมเนีย [9]

ผลทางเคมีที่สำคัญของการเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางสด คือ การเร่ง Hydrolysis ของโปรตีน ทำให้เกิด Polypeptides และ Amino acid และการ Hydrolysis phospholipids ทำให้เกิดสารหลายชนิด ได้แก่ Glycerol, Long-chain carboxylate anions, Phosphate anions และ Organic bases ซึ่งประจุลบของสายโซ่ยาวของคาร์บอกซิเลต (Long-chain carboxylate anions) จะถูกดูดซับที่ผิวอนุภาค มีผลช่วยเสริมสถานะคอลลอยด์ของน้ำยาให้มีความเสถียรขึ้น เชื่อว่านี่คือเหตุผลหนึ่งที่ทำให้น้ำยาซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมีความเสถียรในระหว่างการเก็บรักษา นอกจากนี้มีการตั้งสมมติฐานว่าประจุไฟฟ้ารอบอนุภาคของน้ำยาที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ส่วนใหญ่เป็นผลเนื่องมาจากประจุลบบนสายโซ่ยาวของคาร์บอกซิเลต (Absorbed long-chain carboxylated anions) ที่มาจากการ Hydrolysis ของ Phospholipids อย่างไรก็ตามบางการทดลองพบว่าประจุไฟฟ้าเหล่านั้นมาจากโปรตีนที่ดูดซับรอบอนุภาค

การเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ของ Lipid ขึ้นอยู่กับสถานะการเก็บรักษาน้ำยางว่าเป็นสถานะมือออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน (Aerobic or Anaerobic) หรือขึ้นอยู่กับปริมาณประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ว่ามีการฟอร์มขึ้นมามากน้อยเพียงใด หรืออีกนัยหนึ่งคือ KOH number กับ VFA number มีความแตกต่างเมื่อเก็บรักษาน้ำยางภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนมากกว่าเมื่อเก็บไว้ในที่ที่ไม่มีออกซิเจน ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดไขมันที่ระเหยไม่ได้และกรดอื่นๆ ฟอร์มโดยกระบวนการภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

กล่าวคือน้ำยาที่เติมแอมโมเนียรักษาสภาพประกอบด้วยคอลลอยด์ 2 ส่วน (Two-phase colloid system) คือ อนุภาคยางและส่วนที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีความเสถียรด้วยประจุลบของกรดไขมันที่ดูดซับรอบผิว และด้วยการดูดซับรอบผิวอนุภาคของประจุลบที่มาจากโปรตีน แทนที่จะเป็นโปรตีนตามลำพัง เช่น กรณีของน้ำยางสด ทั้งนี้สังเกตได้จากความแตกต่างของสถานะคอลลอยด์ และลักษณะของกระบวนการผลิตระหว่างการใช้น้ำยางสดกับน้ำยาที่เติมแอมโมเนียรักษาสภาพ นั่นคือการเติมกรดเจือจางลงในน้ำยางสดจะไม่ทำให้สถานะคอลลอยด์เสียความเสถียรไปในทันที แต่จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อยๆ เกิดเป็นเจล (Gelation) อย่างช้าๆ ในทางตรงกันข้าม เมื่อเติมกรดเจือจางลงในน้ำยางที่มีแอมโมเนีย น้ำยางจะฟอร์มยางจับตัว (Coagulum) ทันที

2.2.2 การเกิดประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ [10]

กรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญในน้ำยางธรรมชาติได้แก่ กรดฟอร์มิก อะซิติก และโพรพิโอนิก ประจุลบของกรดเหล่านี้ฟอร์มจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะการทำงานของแบคทีเรียกับคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในส่วนน้ำ (Aqueous phase) ของน้ำยาง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะชะลอลงเมื่อเติมแอมโมเนียหรือสารอื่นที่ป้องกันปฏิกิริยาของแบคทีเรีย ด้วยเหตุดังกล่าว ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียจึงเป็นค่าที่บ่งชี้ระดับการทำงานของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ น้ำยางถูกกรีตออกมาจากต้นยาง

หลักความจริงเกี่ยวกับการฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ และจุลินทรีย์มีส่วนในการฟอร์มนั้นคือ ให้เชื่อว่าน้ำยางที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางปราศจากแบคทีเรีย และมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้เกือบเป็นศูนย์ เมื่อน้ำยางไหลออกจากต้นยางจะมีแบคทีเรียจากหลายแหล่ง (เช่น ที่เปลือกต้นยาง อุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับน้ำยาง) ลงไปปะปนในน้ำยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในส่วนที่เป็นน้ำของน้ำยางเป็นกรดไขมันระเหยได้ชนิดต่างๆ ดังกล่าวแล้ว มีรายงานการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการฟอร์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น และสูงขึ้นเต็มที่ที่อุณหภูมิประมาณ 35°C ถ้าอุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นอีกอัตราการฟอร์มจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นแบบอย่างของปฏิกิริยาที่เร่งการฟอร์มโดยเอนไซม์ (Process catalyzed by enzymes) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การฟอร์มกรดไขมันระเหยได้ลดลง เพราะความร้อนลดระดับการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์

กรดบอริกมีผลขัดขวางการฟอร์มกรดไขมันระเหยได้ในน้ำยาง จึงใช้เป็นสารช่วยเสริมการรักษาสภาพน้ำยาง (Secondary preservative) ร่วมกับแอมโมเนีย ประสิทธิภาพการขัดขวางเนื่องมาจากกรดบอริกลดระดับการทำงานของจุลินทรีย์ที่จะผลิตเอนไซม์ที่ไปกระตุ้นการฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ และกรดบอริกจากฟอร์ม Chelate complex ที่ไประงับการทำหน้าที่ Substrate ของคาร์โบไฮเดรตในการฟอร์มกรดไขมันระเหยได้

2.2.3 ผลการเก็บน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่อความเสถียรของคอลลอยด์ [11]

ความเสถียรทางกลและทางเคมีของสถานะคอลลอยด์ของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย และเก็บรักษาไว้ระยะเวลาสั้น เกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยที่นอกเหนือจากความเสถียรเริ่มแรกของน้ำยางเอง ปัจจัยที่สำคัญเชื่อว่าประกอบด้วย

- 1) การฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ มีแนวโน้มลดความเสถียรของคอลลอยด์เพราะมีส่วนของประจุบวกร่วมด้วย
- 2) ประจุลบที่โซ่ยาวของกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งฟอร์มขึ้นจากการไฮโดรไลซิสไลปิด มีแนวโน้มเพิ่มความเสถียรของคอลลอยด์

ผลสถานะความเสถียรของคอลลอยด์สุดท้าย คือความสมดุลของปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่าปัจจัยอุณหภูมิมีผลต่อความเสถียรของคอลลอยด์ การเก็บน้ำยางที่ถูกรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลต่อความเสถียรของคอลลอยด์เพียงเล็กน้อย การเก็บน้ำยางที่ 40°C มีผลให้น้ำยางลดความเสถียรอย่างรวดเร็วหลังจากการเพิ่มความเสถียรในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงแรก จากผลการศึกษาดังกล่าวนี้ จึงได้มีข้อเสนอแนะว่าควรหลีกเลี่ยงการเก็บรักษาและเคลื่อนย้าย น้ำยางที่อุณหภูมิสูงเกิน 30°C หรืออย่างน้อยควรลดสถานะการเก็บน้ำยางให้ต้องสัมผัสอุณหภูมิสูง ดังกล่าวน้อยที่สุด

2.3 การเตรียมสารผสมน้ำยาง [12]

โดยทั่วไปสารต่างๆ ที่จะผสมกับน้ำยาง ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารผสมกับน้ำ กล่าวคือถ้าเป็น ของแข็งหรือของเหลวที่ละลายน้ำได้ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย ถ้าเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพิซชัน (Dispersion) และหากเป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ ให้เตรียมเป็น อิมัลชัน (Emulsion) อย่างไรก็ตามมีกรณียกเว้นสำหรับการผลิตยางพองน้ำ สามารถเติมสารตัวเติมใน รูปยางแห้งโดยตรงผสมกับน้ำยางบางชนิดได้ และเติม Plasticizers ชนิด Ester โดยตรงลงผสมกับน้ำ ยาง Vinyl acetate ได้

2.4 การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ [13-15]

โดยปกติแสดงสูตรสำหรับน้ำยางคอมปาวด์เป็นน้ำหนัก ซึ่งยังคงหมายถึงน้ำหนักของสารต่างๆ ปัญหาของการแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ คือ มีน้ำหนักที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 ส่วน คือมวลของส่วน ที่เป็นสารหลักที่เป็น Active ingredient ที่ต้องการ และมวลของสารละลาย ดิสเพิซชัน หรือ อิมัลชัน ที่มีสารหลักอยู่ ในทางปฏิบัติทั่วไปมักแสดงมวลของทั้งสองส่วน นั่นคือแสดงในสถานะน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักเปียกหรือน้ำหนักที่ใช้ หนึ่ง “น้ำหนักที่ใช้” น่าจะเป็นคำที่เหมาะสมกว่า “น้ำหนักเปียก” เพราะคำแรกมีความหมายที่สัมพันธ์กับปริมาณจริงของสารละลายดิสเพิซชัน หรืออิมัลชันที่ต้องการ เติมนลงในน้ำยาง นอกจากนั้นยังเป็นที่ทราบกันดีว่าสารบางชนิดที่เติมผสมลงในน้ำยาง อาจเติมในรูป สารอื่นที่ไม่ใช่สารละลายดิสเพิซชัน หรืออิมัลชันโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจเติมในรูปของผงแห้งและเหลว

การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาความเหมาะสม และถูกต้องสำหรับประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต (Processability) และคุณภาพของ ผลผลิต หรือสมบัติของผลผลิตนั้นควรแสดงทั้ง 2 ส่วน คือ มวลหรือน้ำหนักแห้ง และมวลหรือน้ำหนัก ที่ใช้จริง (นิยมใช้ “น้ำหนักเปียก”) และในส่วนของสารต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลายดิสเพิซชัน หรืออิมัลชัน จะต้องระบุ % ความเข้มข้นให้ชัดเจนด้วย ทั้งนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องและนักเทคโนโลยีที่สนใจใน เรื่องของน้ำยางโดยทั่วไป ได้ตระหนักและให้ความสำคัญในเรื่องการแสดงหรือนำเสนอสูตรน้ำยาง คอมปาวด์ตามที่กล่าวข้างต้นเป็นอย่างดี

2.5 ยางพองน้ำ [16]

คำว่า “ยางพองน้ำ” (Latex foam rubber) หรือที่นิยมเรียกทับศัพท์ว่า “โฟมลาเท็กซ์” หมายถึงผลิตภัณฑ์ยางที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำมาจากน้ำยาง ซึ่งรูพรุนเป็นได้ทั้งรูที่ต่อเนื่อง หรือ ต่อเนื่องบ้างและไม่ต่อเนื่องบ้าง และใช้คำว่า Skin หรือ Natural skin สำหรับผิวเรียบของยางพองน้ำ ส่วนที่ติดกับผิวของแม่พิมพ์ วิวัฒนาการที่สำคัญของอุตสาหกรรมยางพองน้ำ น่าจะเป็นการพัฒนาการ ในแบบของกระบวนการดันลอป (Dunlop process) ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1920 แม้ว่ารายละเอียด ของวิธีการจะแตกต่างจากวิธีสมัยใหม่ แต่แนวความคิดและหลักการที่พัฒนาในช่วงนั้นเป็นพื้นฐาน กระบวนการที่มีความสำคัญมากในช่วงนั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1936 ได้มีการผลิตยางพองน้ำโดยวิธีอื่นๆ แต่ไม่มีวิธีใดที่ประสบความสำเร็จจริงๆ ยกเว้นวิธีที่ประดิษฐ์โดย Talalay ซึ่งต่อมาก็ได้กลายเป็นอีก คำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งวิธีการที่ใช้ผลิตยางฟองน้ำแบบใช้แม่พิมพ์ (Molded latex foam rubber) อย่างกว้างขวาง นอกเหนือจากวิธีหรือกระบวนการดันลอย

2.6 สมบัติของยางฟองน้ำ [17-18]

2.6.1 การขยายตัวและความหนาแน่น [17]

การขยายตัวหรือพองตัว (Expansion) ของยางฟองน้ำ เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุนิยามที่เหมาะสม คือ ปริมาตรของอากาศในยางฟองน้ำ ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่น สมบัตินี้มีความสำคัญต่อผู้ผลิตในแง่ของต้นทุนวัตถุดิบและสำคัญต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำในด้านการรับน้ำหนัก นอกจากนี้เรื่องสูตรน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งชี้ความหนาแน่นของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid phase) แล้วจะหาความหนาแน่นของยางฟองน้ำได้จากระดับการขยายตัวระหว่างการป็นน้ำยางให้เป็นฟอง และการหดตัวของยางฟองน้ำภายหลังการขึ้นรูปในแม่พิมพ์สามารถหาความหนาแน่นของยางฟองน้ำ โดยหารซึ่งและวัดส่วนของยางฟองน้ำที่มีขนาดเรขาคณิตปกติ ถ้าชิ้นงานมีขนาดไม่ปกติ จะใช้วิธีการชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ โดยที่ก่อนชั่งในน้ำจะต้องนำชิ้นทดสอบไปเคลือบด้วยแว็กซ์ที่เหมาะสม เช่น Paraffin โดยการจุ่มชิ้นทดสอบลงในแว็กซ์ที่หลอมเหลว เพื่อป้องกันยางฟองน้ำดูดซึมน้ำเข้าข้างในเมื่อยางฟองน้ำจุ่มและแช่อยู่ในน้ำ ชั่งน้ำหนักของแว็กซ์ทั้งก่อนและหลังเคลือบชิ้นทดสอบต้องการรู้ความหนาแน่นของแว็กซ์ควบคุมอุณหภูมิของน้ำและอากาศภายในห้องชั่งด้วย แล้วคำนวณหาความหนาแน่นของยางฟองน้ำ

2.6.2 การยุบตัวจากแรงกด [17]

การวัดสมบัติการยุบตัวจากแรงกด (Compression set บางครั้งเรียก Permanent set) ของยางฟองน้ำตามมาตรฐาน ASTM D395 และ ISO 815 เป็นการหาสถานการณ์คงรูปของยางฟองน้ำ ซึ่งอาจหาออกมาเป็นการสูญเสียความหนาของชิ้นงาน (เป็นร้อยละ) ภายหลังการกดชิ้นงานลง 50% ของความหนาเดิมนาน 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C และตั้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ชิ้นทดสอบคืนตัว ที่อุณหภูมิห้องค่าความหนาที่สูญเสียไปคำนวณเป็นร้อยละของความหนาเดิม ซึ่งโดยทั่วไปยอมรับที่ค่าต่ำกว่า 10% หรือหาในลักษณะของการเสียรูปภายหลังการออกแรงกดแล้วปล่อยแรงกดออก หาเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของความหนาเริ่มแรกของชิ้นทดสอบ หรือหาเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของแรงกดสูงสุด

2.6.3 ความแข็ง [17]

ค่าความแข็ง (Hardness) ของยางฟองน้ำ ตามมาตรฐาน ASTM D314, D531 และ D1415 คือค่าแรงที่อินเดนเตอร์ (Indenter) ซึ่งมีรูปร่างเฉพาะกดลงที่ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำขนาดของอินเดนเตอร์ควรใหญ่พอที่จะทำหน้าที่กดพื้นที่ผลิตภัณฑ์ได้คล้ายคลึงกับการรับแรงขณะใช้งาน ตัวอย่าง เช่น มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร การกดลงที่ผลิตภัณฑ์ประมาณ 60% ของความหนาเดิม ความแข็งของยางฟองน้ำเมื่ออยู่กับความหนาแน่นของยางฟองน้ำ มีความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง คือ ความแข็ง = $K(\text{ความหนาแน่น})^n$ เมื่อ n เป็นค่าคงที่ ซึ่งปกติอยู่ระหว่าง 2.0-3.0 ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของยางฟองน้ำ ส่วนค่าคงที่ K จะขึ้นอยู่กับความลึกที่ชิ้นทดสอบถูกกด ขนาดของอินเดนเตอร์ และ Degree of indentation อนึ่งถ้าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้คงที่ K คือ มอดุลัสของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuous polymer phase นอกจากนี้ความแข็งของยางพองน้ำ ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นโพรงหรือแกน (Core) ของยางพองน้ำ ระยะ และการเรียงตัวของ Core

2.6.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด [18]

ความต้านแรงดึง (Tensile strength) ของยางพองน้ำตามมาตรฐาน ASTM D412 ขึ้นอยู่กับระดับการขยายตัวของพองยาง และยิ่งขึ้นอยู่กับคุณภาพของเฟสที่เป็นของแข็ง (Solid phase) ส่วนความยาวที่จุดขาดไม่ขึ้นอยู่กับกรขยายตัวของพองน้ำ โดยหลักการแล้วความยาวที่จุดขาดบ่งบอกถึงคุณภาพส่วนที่เป็นของแข็งของวัสดุ นอกจากนี้คุณภาพนี้ยังลดลงเพราะสารบางตัวที่เติมขณะเตรียมคอมพาวด์ เช่น สารตัวเติม การหาค่าความยาวที่จุดขาดเพียงอย่างเดียวสามารถหาได้โดยการเตรียมตัวอย่างเป็นรีวูรูปลี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำเครื่องหมาย 2 ตำแหน่งห่างกัน เช่น 2.54 เซนติเมตร แล้วใช้แคลมป์จับตัวอย่างเพื่อดึงขึ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน วัดความยาวที่ขึ้นงานทดสอบถูกดึงให้ยืดออกก่อนขาด คำนวณหาค่าความยาวที่จุดขาดเป็นร้อยละของความยาวเริ่มแรกที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ ถ้าต้องการหาทั้งค่าความต้านแรงดึงกับค่าความยาวที่จุดขาด จะเตรียมขึ้นทดสอบรูปดัมเบลจากตัวอย่างยางพองน้ำ ซึ่งกำหนดความหนาของขึ้นทดสอบ (เช่น 6 มิลลิเมตร) ทำเครื่องหมาย 2 เส้นขนานกันตรงตำแหน่งแคบของขึ้นทดสอบรูปดัมเบล แล้วให้แคลมป์ของเครื่องดึงยางจับขึ้นทดสอบ ดึงขึ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน คำนวณหาค่าความยาวที่จุดขาด และหาความต้านแรงดึงที่เป็นสัดส่วนของแรงที่ดึงขึ้นทดสอบจนขาดต่อพื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งแคบของขึ้นทดสอบรูปดัมเบล

2.6.5 ความล้า (Fatigue) [18]

การทดสอบตามมาตรฐาน ISO 132 แบ่งเป็น 2 ประเภท 1) Static fatigue เป็นการหาการสูญเสียความแข็ง และความหนาของยางพองน้ำเมื่อถูก Static load เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง น้ำหนักที่กดโดย Circular indenter ระดับของน้ำหนักที่ใช้ ขึ้นอยู่กับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่างยางพองน้ำ 2) Dynamic fatigue มีวิธีการทดสอบหลายวิธีของการหักงอ (Flexing) และ Pounding เพื่อให้ยางพองน้ำถูกกด (Compression) และคืนตัว (Recovery) ตามจำนวนรอบที่กำหนด ด้วยการกระทำดังกล่าวต่อขึ้นทดสอบ จะสามารถประเมินความต้านทานต่อการล้าของตัวอย่างได้ โดยการตรวจสอบการแตกของโครงสร้างเซลล์ของยางพองน้ำ หรือทดสอบความเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่ทดสอบ ในกลุ่มสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาแนวโน้มตัวอย่างจะทนต่อ Dynamic fatigue ได้ คือ ความหนาและการทดสอบ Compression or indentation ในส่วนของการทำให้ขึ้นทดสอบถูกกด และคืนตัวตามจำนวนรอบ (Cycle) ที่กำหนดมี 2 วิธี วิธีหนึ่งคือให้ขึ้นทดสอบถูกกระทำให้เสียรูปอย่างเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น 2.5×10^5 Cycles to a fixed indentation อีกวิธีหนึ่งให้ขึ้นทดสอบถูกกระทำโดยน้ำหนักเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น 8×10^4 Cycles with maximum load of 750 N

การสูญเสียความแข็งระหว่างถูก Constand load pounding ของคอมพาวด์ๆ หนึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความหนาแน่นสูง การสูญเสียจะน้อย อย่างไรก็ตามคุณภาพของพอลิเมอร์เฟสก็มีส่วนสำคัญ และถ้าใช้สารตัวเติมมากเกินไปก็สามารถให้ผลด้านลบ กรณีของยางพองน้ำที่ขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ การออกแบบแม่พิมพ์และการกำหนดตำแหน่งและขนาดของ Core มีผลต่อสมบัติความล้า

การออกแบบแม่พิมพ์และการกำหนดตำแหน่งและขนาดของ Core มีผลต่อสมบัติความล้า การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาด Core ใหญ่เกินไปหรือผนังเซลล์มีความหนาไม่เพียงพอสามารถทำให้เกิดความเครียดสูง (Excessive strains) ขณะ Dynamic fatigue จนมีผลทำลายโครงสร้างของยางพองน้ำ

2.7 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโฟมยาง [19-26]

2.7.1 กำมะถัน [19]

สารที่ทำให้ยางคงรูปที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในยางที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัวในสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ โดยทั่วไปการเติมกำมะถันลงในน้ำยาง ใช้ประมาณ 1-2 phr กำมะถันที่ใช้จะต้องมีคุณภาพดี เตรียมเป็นดิสฟิสิกซ์ที่ละเอียดในน้ำ

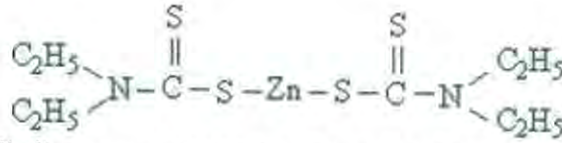
ปัจจุบันเป็นที่ยอมรับว่าชนิดของพันธะเชื่อมโยงที่ฟอร์มโดยกำมะถันในยางมี 3 ชนิด Monosulphidic, Disulphidic และ Polysulphidic ซึ่งเป็นการเรียกตามจำนวนอะตอมของกำมะถันในแต่ละพันธะเชื่อมโยง สัดส่วนของชนิดของพันธะเชื่อมโยงชนิดต่างๆ ดังกล่าว จะบ่งชี้สมบัติเชิงกล และสมบัติการเสื่อมสภาพของยางที่เชื่อมโยงแล้ว (Vulcanizate) โดยพันธะเชื่อมโยงแบบ Polysulphide ให้ความแข็งแรงต่อสมบัติการต้านแรงดึงได้สูงมาก (High tensile strength) ส่วนพันธะเชื่อมโยงแบบ Monosulphide มีความเสถียรต่อความร้อนดีกว่าในกรณีของยางคงรูปที่มาจากน้ำยาง โดยปกติทั้งสูตรและเงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยาของคงรูปในช่วงเริ่มแรกมักจะเกิดการฟอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบ Polysulphidic เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามการทำ Post-treatment of the Vulcanizate มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเชื่อมโยงแบบอื่นขึ้น คือ มีปัจจัย 2 ปัจจัยที่มีผลต่อการฟอร์มพันธะเชื่อมโยงในช่วงแรกเป็นแบบ Polysulphidic มากกว่าพันธะอีก 2 แบบ สำหรับยางคงรูปจากน้ำยางโอเลฟินส์ชนิดไม่อิ่มตัว ปัจจัยแรกคือสัดส่วนของสารตัวเร่งกับกำมะถันที่เป็นแบบธรรมดาซึ่งใช้กันทั่วไป (Conventional vulcanization) มากกว่าที่จะเป็นสัดส่วนแบบ Efficient vulcanization โดยสัดส่วนแบบหลังนั้นส่วนของสารตัวเร่งต่อกำมะถันจะสูงกว่า อีกปัจจัยหนึ่งคือการฟอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบ Polysulphidic มักเกิดกับการคงรูปที่อุณหภูมิต่ำ

2.7.2 สารตัวเร่ง [20]

สารตัวเร่งชนิดอินทรีย์สารสำหรับเร่งปฏิกิริยาสำหรับยางประเภทโอเลฟินส์ชนิดไม่อิ่มตัว คงรูปโดยกำมะถันมีหลายชนิด โดยทั่วไปสารที่มีความไวสูงที่สุดในการเกิดปฏิกิริยาเท่านั้นที่มีความสำคัญต่อเทคโนโลยีของน้ำยาง เพราะอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างต่ำ สารตัวเร่งที่สำคัญเป็นสารในกลุ่มเกลือของ Substituted dithiocarbamic acids เมื่อคำนึงถึงความเป็นประจุบวก (Cations) ของเกลือเหล่านี้ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ อีออนของโลหะ (Metal ions) และอีออนของ Substituted ammonium ซึ่งชนิดที่ใช้กันทั่วไปมากที่สุด คือ เกลือของกรด Dialkylthiocarbamic และมีการใช้ไทอาโซล (Thiazoles) และ ไทยูแรมซัลไฟด์ (Thiuram sulphides) เป็นส่วนน้อย เพื่อทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งรอง (Secondary accelerators) ร่วมกับ Dithiocarbamate

2.7.2.1 ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate)

สารตัวเร่งประเภทซิงค์ไดไธโอคาร์บาเมต มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.3 สารเคมีในกลุ่มนี้ เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยงยาง โดยใช้อากาศร้อนหรือน้ำ เพราะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น สามารถคงรูปได้ดี และวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำที่ 115-125°C ในระยะเวลาสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดการ Reversion ขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควร Cure เกิน 125°C [20]



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate) [21]

2.7.2.2 ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole)

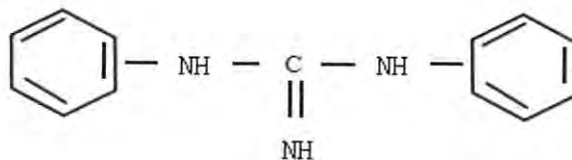
สารตัวเร่งในกลุ่มไฮโอโซล มีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 2.4 สารเคมีในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบของการวัลคาไนซ์ และสามารถกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น โดยการใช้ตัวเร่งที่เป็นต่าง เช่น สารพวกไดไธโอคาร์บาเมต และไฮยูแรม แต่การกระตุ้นนี้มีผลให้ Scorch time สั้นลงด้วย และถ้าใช้ร่วมกับ Basic accelerator โดยใช้สัดส่วนจำนวนโมลเท่ากัน จะให้ผลสูงสุดและความเร็วในการเชื่อมโยงเร็วกว่าที่จะใช้เดี่ยวๆ โดย Basic accelerator ที่นิยมใช้จะเป็นพวกกำวนิติน เช่น DPG เป็นต้น [21]



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole) [21]

2.7.2.3 DPG (Diphenyl guanidine)

สารตัวเร่งในกลุ่มกำวนิติน มีสูตรโครงสร้างดัง รูปที่ 2.5 สารตัวเร่งกลุ่มกำวนิตินเป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางสุก (Cure) ช้า ถ้าใช้เป็นตัวเร่งเสริมจะมีการกระตุ้นสูงมาก โดยเฉพาะการกระตุ้นพวกไฮโอโซล ถ้าใช้สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งหลักจะไม่สามารถ วัลคาไนซ์โดยใช้อากาศร้อนได้ เพราะจับตัวช้าเกินไป การทำงานของกำวนิตินต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวกระตุ้น แต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรดไขมัน [18]



รูปที่ 2.5 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine) [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 สารตัวกระตุ้น (Activators) [22-23]

สารกระตุ้นสามารถทำให้น้ำยางธรรมชาติคงรูปในระบบกำมะถัน และมีสารประกอบของซิงค์เป็นสารตัวเร่ง เช่น ซิงค์ไดไฮโอคาร์บาเมตตามล้าพัง อย่างไรก็ตามปกติพบว่าการคงรูปจะดียิ่งขึ้นเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อเป็นสารตัวกระตุ้น ซิงค์ออกไซด์อาจมีผลลดความเสถียรของคอลลอยด์ของน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย ทำให้เกิดปรากฏการณ์ของน้ำยางหนืดโดยซิงค์ออกไซด์ (Zinc-oxide thickening) และบางครั้งเกิดเป็นเจล สารประกอบซิงค์ออกไซด์ชนิดอื่นได้แก่ ซิงค์สเตียเรตและซิงค์คาร์บอเนตให้ผลน้ำยางหนืดน้อยกว่า อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้เตรียมเป็นดิสเพชันยากกว่ากรณีซิงค์ออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนตอนุภาคละเอียดให้ฟิล์มยางที่ใสมากกว่าเมื่อใช้ในปริมาณที่เท่าๆกัน

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นตัวเร่ง ให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยเมื่อใส่ไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้มอดูลัสสูงขึ้น และบางครั้งถ้าไม่มีการใส่สารกระตุ้นก็จะไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้ ZnO เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3-5 phr ได้ และถ้า ZnO มีขนาดอนุภาคเล็กก็สามารถลดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ และถ้าใช้มากกว่า 5 phr ขึ้นไป มักมีจุดประสงค์อื่นมากกว่าจะใช้เป็นสารกระตุ้น เช่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการทำให้ยางสุกโดยใช้อากาศร้อน

2.7.4 สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants) [24]

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารป้องกันการออกซิเดชันในน้ำยางชนิด Olefinically unsaturated เพราะยางในฟอร์มนี้มีคุณลักษณะด้านการเสื่อมได้ดี และเหตุผลส่วนหนึ่งเพราะไม่มีการทำให้ยาง Degrade เช่น การบดยางให้นิ่ม (Mastication) หรือผ่านอุณหภูมิสูงขณะอยู่ในสายการผลิต กรณีของน้ำยางธรรมชาติคุณลักษณะที่ติดังกล่าวนั้นเสริมด้วยส่วนของสารที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) ที่มีอยู่ในน้ำยาง ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันออกซิเดชัน ส่วนกรณีของน้ำยางสังเคราะห์ก็เช่นเดียวกัน สารต่างๆ ที่มีหน้าที่ป้องกันออกซิเดชันได้ถูกเติมในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ (ด้วยเหตุผลบางอย่าง) นอกจากนี้สารตัวเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปที่เติมลงในน้ำยางเพื่อเหตุผลอื่นแสดงหน้าที่ในการป้องกันออกซิเดชันด้วย

สารหลักที่ป้องกันออกซิเดชันมี 2 กลุ่ม คือ เอมีน (Amine compounds) และฟีนอลิก (Phenolic compounds) กลุ่มแรกมีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มหลัง และมีประสิทธิภาพดีในการป้องกันยางเสื่อมอันเกิดจากผลของออกซิเจน ความร้อน แสง และการกระตุ้นโดยโลหะต่างๆ ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามสารดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์เมื่อมีอายุถึงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งการเปลี่ยนเป็นสีแดงอมน้ำตาลจะเริ่มเกิดขึ้นจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนๆ เปลี่ยนเป็นสีที่ไม่สวยงาม แม้กลุ่มฟีนอลิกจะมีประสิทธิภาพป้องกันออกซิเดชันไม่ดีเท่าเอมีน แต่ข้อดีคือไม่มียผลเสียมากในด้านการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์ในระหว่างที่ผลิตภัณฑ์มีอายุนานขึ้น อนึ่ง ได้มีความสนใจเกี่ยวกับ Chemically-combining antioxidant moieties กับโมเลกุลยาง ซึ่งที่รู้จักกัน คือ Network-bound หรือ Rubber-bound antioxidants เพื่อป้องกันโอกาสที่จะมีการสัมผัสโดยตรงกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งปัจจุบันเชื่อว่าสารป้องกันออกซิเดชันของยางมีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้ นั่นคือสารเหล่านั้นอาจเป็นสารก่อมะเร็งกับมนุษย์ได้

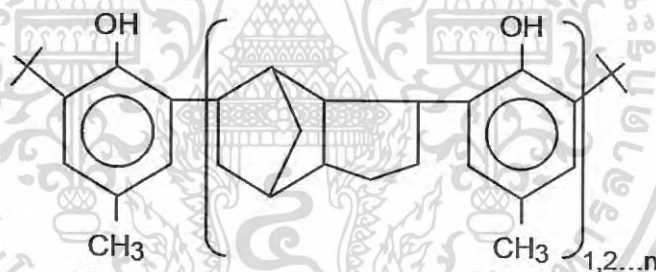
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สารป้องกันออกซิเดชันชนิด Network (rubber)-bound

ได้มีความสนใจในการเตรียมสารป้องกันออกซิเดชันให้เชื่อมกับโมเลกุลยางโดย Covalent bounds ฟอรัมเป็น Rubber-bound antioxidants เพราะสารนี้มีข้อดี ดังนี้

- 1) ทนการสกัดออกโดยของเหลวใดๆ ก็ตามที่ยางจะสัมผัส
- 2) ไม่ระเหยแม้ในอุณหภูมิสูง
- 3) ไม่แยกตัวไปปนเปื้อนสิ่งอื่นที่ยางอาจสัมผัส

อย่างไรก็ตามการที่สารป้องกันออกซิเดชันชนิด Rubber-bound ไม่มีความสามารถในการกระจายตัวภายในเนื้อยาง ก็เป็นข้อเสียในกรณีที่เป็นความต้องการให้สารเคลื่อนตัวอยู่ที่ผิวของยาง เพื่อให้ช่วยป้องกันการเสื่อมสภาพได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ยังมีความเป็นไปได้ที่สารป้องกันออกซิเดชันชนิด Rubber-bound อาจมีประสิทธิภาพน้อยกว่าสารป้องกันออกซิเดชันปกติในปริมาณที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามความเห็นในปัจจุบันเกี่ยวกับกลไกการทำงานของสารป้องกันออกซิเดชันและการเสื่อมสภาพของยาง รวมทั้งความไวต่อประสิทธิภาพของสารป้องกันออกซิเดชัน ระบุว่า Covalent bonding ของสารป้องกันออกซิเดชันกับยางไม่น่าจะมีผลต่อความไวของปฏิกิริยาป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งก็ได้มีการทดลองเพื่อยืนยันความเห็นนี้ อนึ่ง แม้ว่าเทคนิคการเตรียมสารป้องกันออกซิเดชันชนิด Rubber-bound จะมีประโยชน์ต่อวงการอย่างมาก แต่ปรากฏว่ามีการใช้งานเชิงอุตสาหกรรมเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้เหตุผลหลักคือทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างสารป้องกันออกซิเดชัน ดังรูปที่ 2.6



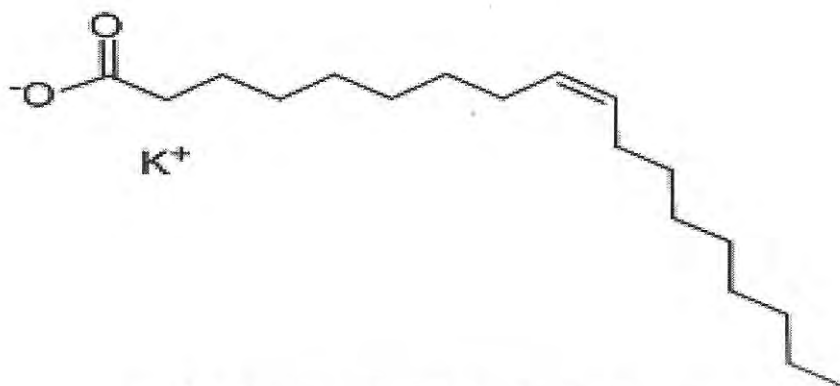
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของ Antioxidant Wingstay L [25]

2.7.5 สารทำให้เกิดฟอง [26]

สารที่ใช้ทำให้เกิดฟอง (Foam promoters) สำหรับกระบวนการผลิตที่มีการฟอรัมเจล (Gel process) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กระบวนการดันลอป ปกติใช้สบู่คาร์บอกซิเลต (Carboxylate soaps) ซึ่งชนิดที่ใช้มากที่สุดคือ Oleates, Ricinoleates, Castor-oil soaps และ Resonates โดยใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกัน การใช้สบู่คาร์บอกซิเลตผสมกันให้ประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แยกกัน สบู่ Castor-oil ให้ประสิทธิภาพการเกิดฟองต่ำกว่า Oleates ซึ่งให้ฟองเร็วและฟองมีลักษณะละเอียด การใช้สารทำให้เกิดฟองในธรรมชาติ น้ำยางธรรมชาติ ใช้ประมาณ 0.2-2 phr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของฟองพูนที่ต้องการ น้ำยางสังเคราะห์ใช้สารช่วยการเกิดฟองปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่ใช้กับน้ำยางธรรมชาติ เพื่อให้ได้ยางที่มีขนาดฟองพูนขนาดเดียวกัน เพราะในน้ำยางสังเคราะห์มีส่วนของสบู่คาร์บอกซิเลตปริมาณมากแล้ว ด้วยเหตุผลนี้การใช้สบู่ในปริมาณที่แน่นอนจึงขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำยางสังเคราะห์ที่ใช้ ซึ่งบางเกรดสามารถเกิดฟองได้โดยไม่ต้องเติมสบู่ โพลีเอทเธียมโอเลเอต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Potassium oleate) เป็นสารที่ใส่ในน้ำยางเพื่อให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการบั่นฟอง ดังรูปที่ 2.7



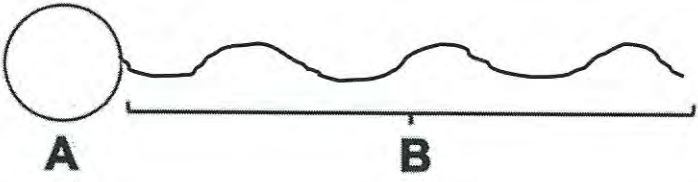
รูปที่ 2.7 รูปโครงสร้างของโพแทสเซียมโอเลอเตต [26]

2.7.6 สารลดแรงตึงผิว [27]

Surfactants คือ Surface-active-agents เป็นสารที่มีสมบัติดูดซับ (Adsorb) บนพื้นผิว (Surface) หรือระหว่างพื้นผิว (Interface) แล้วสามารถเปลี่ยนพลังงานพื้นผิว (Surface free energy) นั้นๆได้ แม้ใช้ในปริมาณเล็กน้อย Surface free energy คือ งาน (Work) ที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการสร้างพื้นผิว Surfactants จึงมีบทบาทอย่างมากในระบบที่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Phase boundary) เช่น Emulsion, Foams, Dispersions ของของแข็ง ฯลฯ Surfactants มีโครงสร้างโมเลกุลที่มีส่วนชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนไม่ชอบน้ำหรือชอบน้ำมัน (Hydrophobic) เมื่อเติมไปในน้ำ (หรือตัวทำละลาย) สามารถช่วยลดแรงตึงผิว ทำให้แต่ละวัฏภาคชอบกันมากขึ้นจึงใช้งานเป็นสารช่วยเปียก (Wetting agents) สบู่ (Emulsifiers) สารช่วยกระจาย (Dispersing agents) สารช่วยเกิดโฟม (Foaming agents) สารหล่อลื่น (Lubricants) ฯลฯ โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัว (Hydrophilic), ส่วนหาง (Hydrophobic) ดังรูปที่ 2.8

A. ส่วนหัว – ชอบน้ำ (Hydrophilic component) มีหัว มี 4 ชนิดคือ ประจุบวก (Cationic), ประจุลบ (Anionic), มีสองประจุ (Zwitterionic) และไม่มีประจุ (Nonionic)

B. ส่วนหาง – ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic component) หรือส่วนชอบน้ำมัน (Lipophilic) ไม่มีหัวส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายโซ่ยาวอาจเป็นสายโซ่ที่มีฮาโลเจน (Halogen) ออกซิเจน (Oxygen) หรือซิล็อกเซน (Siloxane)

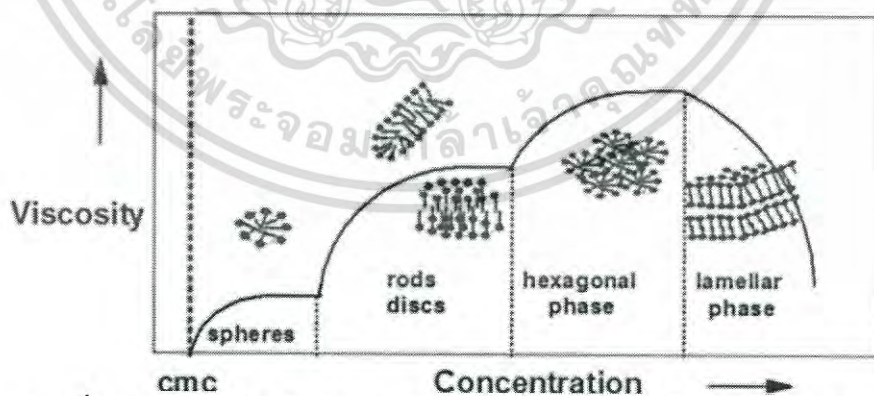


	Hydrophilic	A	Lipophilic	B
Ionic	Sulfate	$-\text{OSO}_3^-$	Linear or branched	C_7-C_{25}
	Sulfonate	$-\text{SO}_3^-$	alkyl	C_7-C_{25}
	Carboxylate	$-\text{CO}_2^-$	Alkynebenzene	
	Quaternary ammonium	R_4N^+	Fluoroalkyl	-
Nonionic	Alcohol	$-\text{CR}_2\text{OH}$	Poly(ethylene oxide)	$(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_x-$
	Ether	$-\text{COC}-$		$-(\text{OSi}(\text{CH}_3)_2)_x-$
	Poly(propylene oxide)	$-(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_x-$	Polysiloxane	

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัว (Hydrophilic), ส่วนหาง(Hydrophobic) [27]

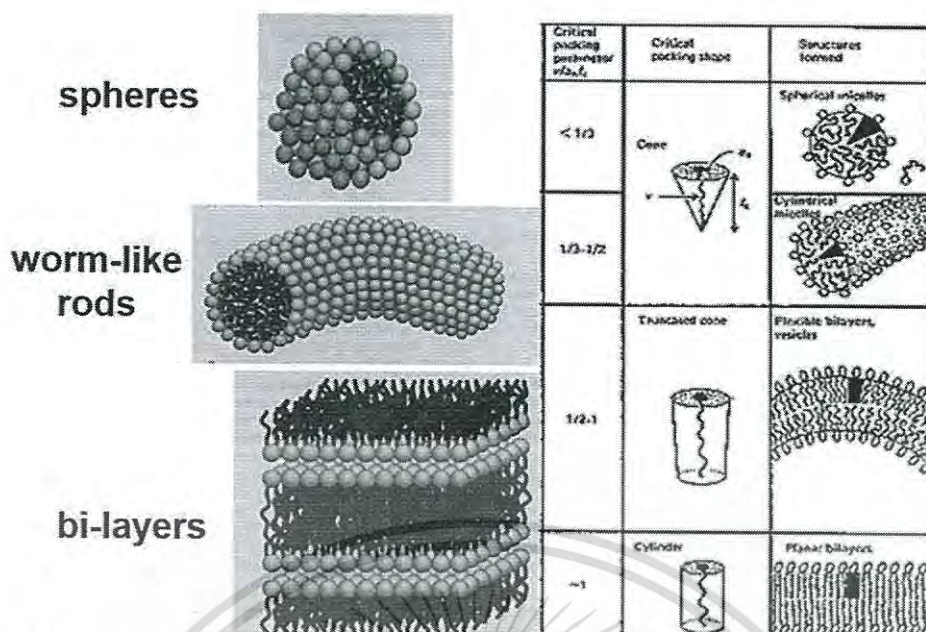
โมเลกุลของ Surfactants จัดเรียงตัวเป็นรูปร่างต่างๆ ขึ้นกับ “ความเข้มข้น” ณ จุดความเข้มข้นที่ระดับ CMC (Critical micelle concentration) โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีรูปร่างต่างๆ กันตามระดับความเข้มข้น ดังรูปที่ 2.9 ตัวอย่าง การจัดเรียงตัวในแบบต่างๆ ของ Micelles เมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น ดังรูปที่ 2.10

Micellar aggregation and flow



รูปที่ 2.9 การจัดเรียงตัวของ surfactants ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ [27]

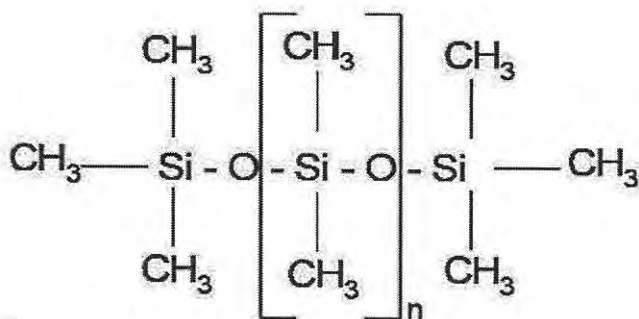
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การจัดเรียงตัวของ Micelles ในแบบต่างๆ เมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น [27]

2.8 ยางซิลิโคน [27]

ยางซิลิโคน (Silicone Rubber, Q) หรือยางพอลิไซล๊อกเซน (Polysiloxane rubber) เป็นยางที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเป็นอย่างมากเนื่องจากมีสมบัติที่มีความหลากหลายในการใช้งาน ยางซิลิโคนจัดเป็นยางสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (Inorganic-organic nature) เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เหมือนยางชนิดอื่น กล่าวคือมีสายโซ่หลักเป็นอะตอมของซิลิกอน (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) ที่เป็นปริมาตรกีดกันของหน่วยไดเมทิลไซล๊อกเซน (Dimethylsiloxane) มีมาก และผลึกไม่ให้สายโซ่ข้างเคียงเข้าใกล้ ทำให้ยางซิลิโคนมีความยืดหยุ่นสูง มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (T_g) ต่ำมาก และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) รวมทั้งความสามารถในการกดอัด (Compressibility) สูง การที่สายโซ่หลักเป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic backbone) ทำให้ยางซิลิโคนมีความต้านทานต่อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ยางซิลิโคนสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของเมทิลคลอโรไซเลน (Methylchlorosilanes) ทำให้ได้ยางซิลิโคนคือ ไดเมทิลไซล๊อกเซน (Dimethylpolysiloxane, MQ) มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สูตรโครงสร้างโดเมทิลไซลอกเซน (Dimethylsiloxane)

ตารางที่ 2.3 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ [27]

ชื่อ	สมบัติ	โครงสร้าง
MQ	ยางซิลิโคนทั่วไป (ชนิดแรก)	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$
MPQ	ยางซิลิโคนที่มีสมบัติที่อุณหภูมิต่ำดี	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n - \left[\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_m$
MVQ	ยางซิลิโคนที่มี Compression set ต่ำ	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n - \left[\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_m$
MPVQ	ยางซิลิโคนที่มีความแข็งแรงและสมบัติที่อุณหภูมิต่ำดี	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n - \left[\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_m - \left[\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_o$
FVQ	ยางซิลิโคนทนน้ำมัน	$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_2\text{CH}_2\text{CF}_3 \end{array} \right]_n - \left[\begin{array}{c} \text{CH}=\text{CH}_2 \\ \\ \text{Si} - \text{O} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_m$

การประยุกต์ใช้ยางซิลิโคนมากมาย โดยเฉพาะการใช้งานที่ต้องการคงสมบัติใช้งานที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง หรือที่อุณหภูมิสูงและต่ำเป็นเวลานาน เช่น ท่อยาง ท่อส่งตัวทำละลาย ก๊าซและอาหาร ฯลฯ เนื่องจากยางซิลิโคนไม่เป็นพิษ ไม่มีกลิ่นและรส นอกจากนี้ยางซิลิโคนยังสามารถเข้าได้ดีกับเนื้อเยื่อสิ่งมีชีวิต (Biocompatibility) เนื่องจากธรรมชาติของยางชนิดนี้เป็นทั้งสารอนินทรีย์-อินทรีย์ (Inorganic-organic) จึงนิยมใช้ยางซิลิโคนในการผ่าตัดเป็นวัสดุเสริม (Implants) อวัยวะเทียมและการตกแต่งเสริมความงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization) [27]

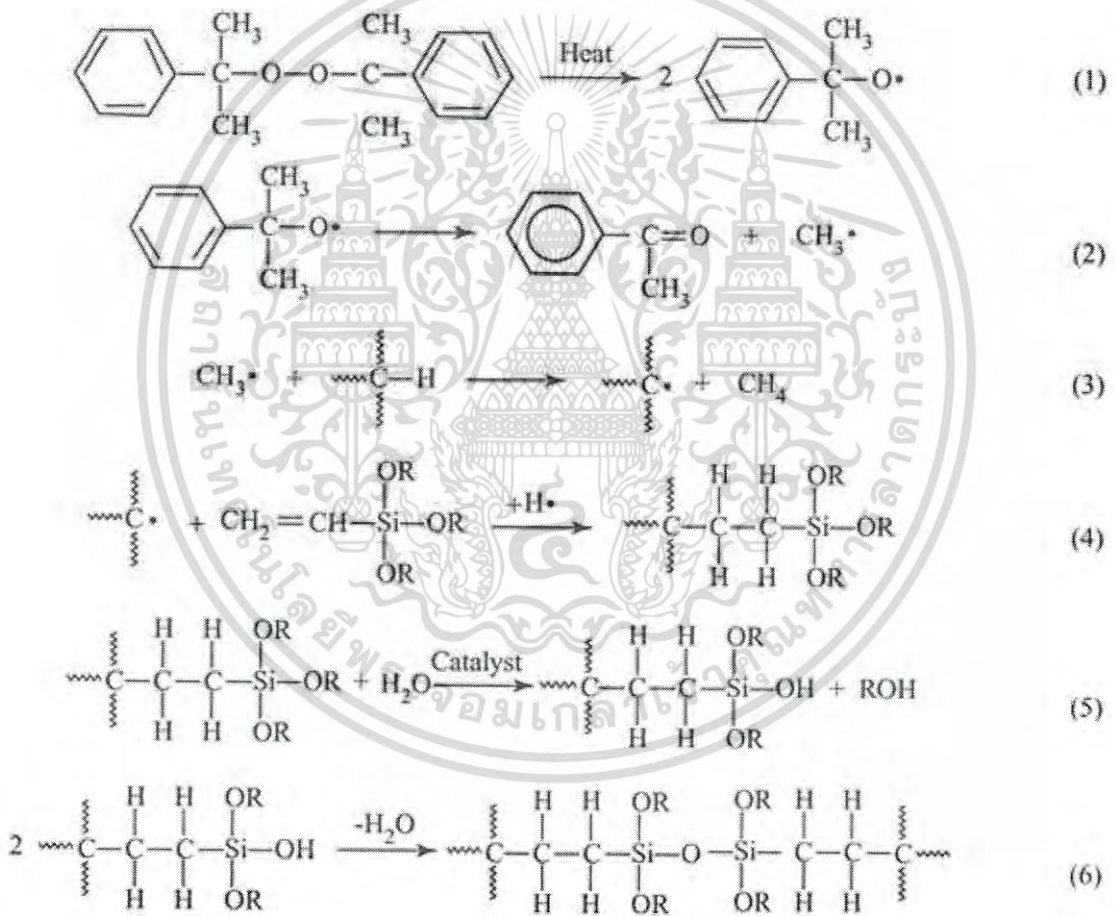
การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เกิดจากการเชื่อมโยงโดยการแตกตัวของอนุมูลอิสระ (Free radical) เมื่อให้ความร้อนสูงขณะการเชื่อมโยง อนุมูลอิสระเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางทำให้เกิดเป็นสายโซ่โมเลกุลที่มีอนุมูลอิสระ (Macro-radical) เมื่ออนุมูลอิสระสองสายโซ่มาเจอกันจะเกิดเป็นพันธะคาร์บอนกับคาร์บอนเกิดขึ้น (C-C bonds) เชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เกิดเป็นพันธะที่มีความแข็งแรงเกิดขึ้น และเป็นการเชื่อมโยงที่มีข้อเด่นกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน สามารถใช้กับยางที่มีความอิ่มตัว (Saturated rubbers) และยางที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated rubbers) นิยมใช้โดยเฉพาะยางที่อิ่มตัวที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาเชื่อมโยง เช่น ยางซิลิโคน ยางเอทิลีนพรอพิลีน (EPM) หรือยางที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลน้อยมาก เช่น HNBR และยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีเสถียรภาพมากกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน มีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน (Heat-aging properties) ที่ดี มีการเปลี่ยนแปลงถาวรหรือเซต (Permanent set) น้อย และมีสมบัติการยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน

เนื่องจากพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C bonds) ซึ่งมีพลังงานพันธะสูง (350 kJ/mol) มีความเสถียรกับความร้อน และแรงกระทำต่างๆ เทียบกับพันธะที่ทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทั้งแบบโมโนซัลฟิดิก และพอลิซัลฟิดิก (C-S bonds) และ (S-S bonds) มีพลังงานพันธะ 285 และ 170 kJ/mol ตามลำดับ ทำให้ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีความเสถียรมากกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันแต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีข้อจำกัดบางประการ เกิดกลิ่นเหม็นที่ไม่พึงปรารถนาของสารที่ปลดปล่อยออกมา เช่น การใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide DCP) จะได้กลิ่นที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา (By product) เป็นอะซิโตนระหว่างเชื่อมโยง และในผลิตภัณฑ์ยางเปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีที่มีความอันตราย อาจระเบิดหรือติดไฟ ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการใช้และการเก็บรักษา เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งชนิดอื่นในยางมากกว่ากำมะถันดังนั้นจึงมีข้อจำกัด และต้องมีความรอบคอบในการเลือกใช้สารเคมีบาง เช่น การเลือกใช้สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) สารพวกนี้อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการได้ และไม่ควรเลือกใช้เทคนิคการให้ความร้อนที่มีบรรยากาศของออกซิเจนในการเชื่อมโยงยาง เช่น เทคนิคการให้ความร้อนเชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อน (Hot air cure) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เคลื่อนย้ายจากเปอร์ออกไซด์ไปยังสายโซ่พอลิเมอร์ในปฏิกิริยาการเชื่อมโยงอาจถูกออกซิไดซ์เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศทำให้เกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) และไม่เกิดการเชื่อมโยงหรือเกิดการเสื่อมสภาพ (Degradation) สลายตัวเนื่องจากความร้อน

2.9.1 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาโฮโมไลติกดีคอมโพสิชัน (Homolytic decomposition) สลายตัวเนื่องจากความร้อน แตกตัวเกิดเป็นอัลคอกซี (Alkoxy radicals RO·) สองตัวซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชื่อมโยง ในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงอย่างไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) อนุมูลอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่บนสายโซ่เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ (Polymer radicals หรือ Macro-radicals) นั้นจะเกิดการรวมกันของอนุมูลอิสระที่ต่างสายโซ่เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยง ดังรูปที่ 2.12

นอกจากนี้อนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ในยางไม่อิ่มตัวแล้วอนุมูลอิสระยังเข้าจับไฮโดรเจนในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย เช่น (Allylic hydrogen) เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงอย่างอิ่มตัว การรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.12 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ [27]

2.9.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์

สารประกอบเปอร์ออกไซด์หลายชนิดที่สามารถใช้ได้ในการเชื่อมโยงยาง เช่น ไดอะซิลเปอร์ออกไซด์ (Diacyl peroxides) และเปอร์ออกซีเอสเทอร์ (Peroxy esters) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมในอุตสาหกรรมยางได้แก่

- ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP)
- ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ (Di-t-butyl peroxide, DBP)
- ไดเมทิลไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซน (2,5-Dimethyl(2,5-di(t-butyl-peroxy)hexane) ชนิดนี้มีกลิ่นน้อยกว่าชนิดอื่น

สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ DCP มีจำหน่ายทั้งในรูปแบบของแข็ง และของเหลว ความบริสุทธิ์ประมาณ 90-99% เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงมีจำหน่ายในรูปของผสมกับตัวกลางเฉื่อยบางชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ความเข้มข้น 40-50% และใช้ในรูปแบบของผสมพร้อมสารเพิ่มเนื้อ ไดบิวทิลเปอร์ออกไซด์ DBP เป็นที่นิยมน้อยกว่าเนื่องจากกลายเป็นไอง่ายขณะใช้งาน ส่วนไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซนนิยมใช้เชื่อมโยงที่อุณหภูมิสูง (180°C) เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่า และมีกลิ่นเหม็นของสารอะซิโดฟีนอน ในการใช้งานสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ควรหลีกเลี่ยงการเก็บสารที่อุณหภูมิสูง (สูงเกิน 40°C) เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ควรเก็บให้ห่างจากแหล่งให้ความร้อน และไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์ติดไฟง่ายและดับยาก

2.9.3 ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Half-life of peroxide)

ครึ่งชีวิต (Half life) ของสารประกอบเปอร์ออกไซด์คือ เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของสารประกอบเปอร์ออกไซด์หายไปครึ่งหนึ่ง ดังนั้นครึ่งชีวิตจึงสามารถใช้เป็นตัวบอกรหรือใช้เปรียบเทียบเสถียรภาพและความเร็วในการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ กล่าวคือถ้าเปอร์ออกไซด์มีครึ่งชีวิตสั้นแสดงว่าเปอร์ออกไซด์ชนิดนั้นแตกตัวเร็ว ว่องไวสูง หรือมีเสถียรภาพต่ำทำให้มีอัตราการเชื่อมโยงสูง แต่จะเริ่มต้นเชื่อมโยงเร็ว (Scorch time สั้น) วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบเสถียรภาพ ของเปอร์ออกไซด์ คือ “อุณหภูมิครึ่งชีวิต 10 ชั่วโมง” (10 Hour half-life temperature, 10-hr HL) นิยามเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการสลายครึ่งหนึ่งของเปอร์ออกไซด์ในเวลา 10 ชั่วโมง อีกค่าหนึ่งที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ “อุณหภูมิครึ่งชีวิต 1 ชั่วโมง” (1 Hour half-life temperature, 10-hr HL) ซึ่งนิยามเหมือนกันต่างที่เวลา 1 ชั่วโมง

2.9.4 อัตราเร็วการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์และโคเอเจนต์

อัตราเร็วของปฏิกิริยาการเชื่อมโยงยางด้วยสารประกอบเปอร์ออกไซด์ขึ้นอย่างมากกับ “อุณหภูมิ” เป็นไปตามจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาแตกตัวของอนุมูลอิสระที่สัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลกับอุณหภูมิ ดังนั้นการเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์จึงสามารถควบคุมความเร็วการเชื่อมโยงด้วยอุณหภูมิ โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเร่งเหมือนการเชื่อมโยงด้วยกัมมะถัน กล่าวคือถ้าต้องการให้ยางเชื่อมโยงเร็วก็ใช้อุณหภูมิสูงขึ้น อย่างไรก็ตามในอุตสาหกรรมที่เชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์อาจมีการใช้สารเร่งที่เรียกว่า “โคเอเจนต์” (Co-agent)

โคเอเจนต์ คือ สารอินทรีย์ที่มีหมู่ฟังก์ชันหลายหมู่ที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ ทำให้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ สาเหตุที่ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงยางด้วยเอ็กสารเป็นเอ็กสารที่สวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นประโยชน์ของการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้โคเอเจนต์เนื่องจากโคเอเจนต์ช่วยระงับยับยั้งปฏิกิริยาข้างเคียง (Side reaction) ของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นที่ไม่ได้ทำให้อนุมูลอิสระเกิดควบรวม (Coupling) เป็นพันธะการเชื่อมโยง เช่น ปฏิกิริยาตัดสายโซ่ (Chain scission) ปฏิกิริยาดีสพรอพอชันเนชัน (Disproportionation) สองสายโซ่ที่มีอนุมูลอิสระแลกเปลี่ยนโปรตอนทำให้ได้สายโซ่หนึ่งอิมตัวและอีกสายโซ่หนึ่งเป็นพันธะคู่

2.9.5 การโพสต์เคียว (Post cure)

เพื่อกำจัดกลิ่นของสารพลอยได้ (By products) จากปฏิกิริยาของเปอร์ออกไซด์ รวมทั้งเพื่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีและมีอายุการใช้งานยาวนาน ในอุตสาหกรรมนิยมเพิ่มขึ้นขั้นตอนการให้ความร้อนแก่ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง เรียกขั้นตอนนี้ว่า “โพสเคียว” (Post cure) เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่ตกค้าง และระเหยกำจัดสารพลอยได้ที่เหม็นให้หมดไป

2.9.6 ข้อควรระวังในการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

เปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา การใส่สารเคมีบางชนิด เช่น สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) และสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidants) อาจเกิดปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระในขณะที่เกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เป็นผลให้เกิด “ปรากฏการณ์เจือจางการเชื่อมโยง” (Dilute crosslinking effect) ได้ความหนาแน่นเชื่อมโยงน้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนี้ควรหลีกเลี่ยงการใส่สารตัวเติมแต่งที่เป็น “กรด” เช่น สารตัวเติมซิลิกา (Silica) หรือเขม่าดำ (Carbon black) ที่เป็นกรดเนื่องจากกรดสามารถเร่งให้เปอร์ออกไซด์สลายตัวแบบไม่เกิดอนุมูลอิสระ (Nonradical-generating decomposition) ทำให้เกิดการสูญเสียของสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ เช่นเดียวกับสารเติมแต่งอื่นๆ อาจหยุดปฏิกิริยาหรือเปลี่ยนแปลงอนุมูลอิสระระหว่างเกิดปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิเมอร์ เป็นผลให้เกิดพันธะเชื่อมโยงหรือพันธะเชื่อมโยงน้อย

2.10 กระบวนการดันลอป [28-30]

การผลิตยางพองน้ำโดยกระบวนการที่ทราบกันทั่วไปว่า คือ กระบวนการดันลอป (Dunlop process) หรือกระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ (Silicofluoride process) นั้น ได้มีการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ.1930 ซึ่งสิทธิบัตรครอบคลุม 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการแรก การผลิตยางพองน้ำจากน้ำยางที่ไวต่อความร้อน (Heat-sensitive latex) ทำให้น้ำยางที่ฟอรั่มพองแล้วเกิดเจลได้โดยความร้อน ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การเติมสารต่างๆ ลงในน้ำยางที่เป็นพองแล้ว เพื่อให้พองยางฟอรั่มเจล สารนี้ได้แก่ โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ และแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ซัลเฟต (Ammonium peroxodisulfate) ทั้งนี้ในเวลาต่อมาวิธีการหลังคือวิธีการที่รู้จักกันในชื่อวิธีการ “กระบวนการดันลอป” สำหรับผลิตยางพองน้ำ โดยใช้สารก่อเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) เป็น Alkali-metal silicofluoride คือ เกลือโซเดียม (Sodium salt) กระบวนการดันลอปดังกล่าวนี้เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตยางพองน้ำ

หลักการของกระบวนการดันลอปประกอบด้วยขั้นตอนเป็นลำดับ ดังนี้

- ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เป็นฟอง โดยที่มีสารช่วยการเกิดฟอง (Foaming agent) เช่น Ammonium oleate

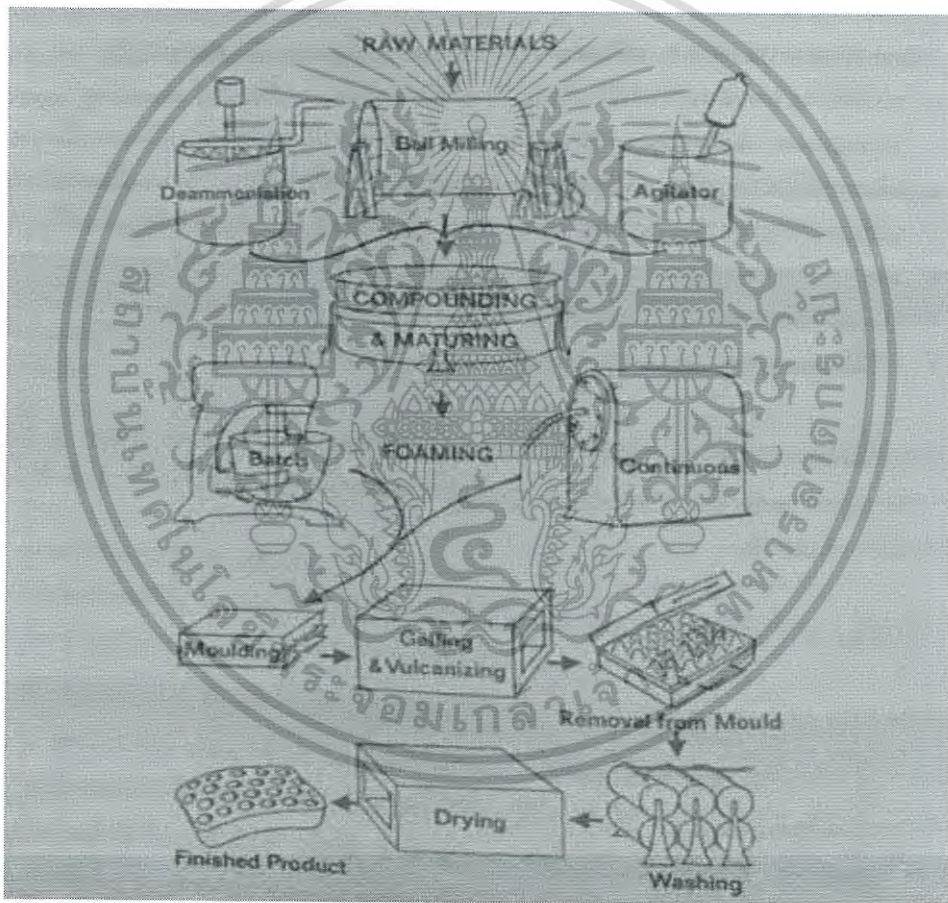
- เติมสารก่อเจล เช่น Alkali-metal silicofluoride อย่างช้าๆ บางกรณีอาจมีการใช้สารเสริมการก่อเจล (Secondary gelling agent) เช่น Diphenylguanidine

- เทฟองยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ตามรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ

- ปล่อยให้ฟองยางฟอร์มเจลที่อุณหภูมิปกติ หรือที่อุณหภูมิสูงเล็กน้อย

- ทำให้เจลของฟองยางคงรูปแล้วล้าง และนำไปอบแห้ง

การผลิตฟองยางโดยกระบวนการดันลอปอาจเป็นกระบวนการผลิตเป็นชุด (Batch) หรือผลิตอย่างต่อเนื่อง (Continuous process) รูปที่ 2.13 แสดงลำดับขั้นตอนของการผลิตยางฟองน้ำ โดยกระบวนการดันลอป



รูปที่ 2.13 ลำดับขั้นตอนการผลิตยางฟองน้ำ [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 น้ียง

น้ียงที่ใช้ผลิตยางพองน้ำโดยกระบวนการต้นลอปโดยทั่วไปใช้น้ียงธรรมชาติชั้นชนิดที่ผลิตจากการใช้เครื่องปั่น และรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียมากหรือน้อย อย่างไรก็ตามน้ียงชั้นชนิดที่ผลิตโดยวิธีคริมมิงก็สามารถใช้ได้ กรณีการใช้น้ียงสังเคราะห์ก็จะใช้ชนิด สไตรีนบิวทาไดอิน(เอสบีอาร์) ตามลำพัง หรือใช้ผสมกับน้ียงธรรมชาติ ทั้งนี้การใช้เดี่ยวหรือใช้ผสมนั้นจะขึ้นอยู่กับราคา ลักษณะที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต (Processing behavior) ตลอดจนสมบัติของผลิตภัณฑ์พองน้ำในขั้นสุดท้ายของการผลิต นอกจากการใช้น้ียงเอสบีอาร์ยังมีการใช้น้ียงสังเคราะห์ชนิด พอลิคลอโรพรีน และมีการใช้น้ียงสังเคราะห์ชนิดอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอิน

ในการใช้น้ียงธรรมชาติชั้นจะต้องทำการลดแอมโมเนีย (De-ammoniation) ก่อนการเติมสารเคมี จุดมุ่งหมายของการลดแอมโมเนียก็เพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการ (เช่น ความแข็งแรงของเจลพองเปื่อย) ของผลิตภัณฑ์ ควรตรวจสอบความเป็นต่างทั้งก่อน และหลังการผสมสารต่างๆ ทั้งหมด ยกเว้นซิงค์ออกไซด์ และสารก่อเจล ปริมาณแอมโมเนียของน้ียงที่ใช้ในกระบวนการที่ทำการผลิตเป็นแบทช์จะสูงกว่ากรณีการผลิตต่อเนื่อง เพราะในกระบวนการแบบแรกมีการสูญเสียแอมโมเนียระหว่างการตีพอง ปริมาณแอมโมเนียก่อนที่จะเกิดฟอร์มเจลควรประมาณ 0.15% w/w ซึ่ง pH จะประมาณ 9 ปกติทำการลดปริมาณแอมโมเนียโดยการเป่าลม ที่มาของการผลิตน้ียงธรรมชาติชั้นชนิดรักษาสภาพด้วยปริมาณแอมโมเนียน้อยเพื่อใช้ในการผลิตยางพองน้ำ ด้วยเหตุผลนี้น้ียงจึงมีโอกาสสูญเสียแอมโมเนียระหว่างการตีพองโดยวิธีการทำเป็นแบทช์ ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้น้ียงที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียน้อยในการผลิตแบบแบทช์

ในการผลิตแบบต่อเนื่องต้องการน้ียงที่มีความเสถียรเชิงกลมากกว่ากรณีการผลิตแบบแบทช์ ซึ่งค่อนข้างที่จะเป็นเรื่องแปลก เพราะการตีน้ียงให้เกิดพองสำหรับการผลิตแบบต่อเนื่องนั้นใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาที ในขณะที่ต้องใช้เวลาประมาณ 30 นาที ในการตีน้ียงให้เกิดพองในกรณีของการตีพองแบบแบทช์ อย่างไรก็ตามการผลิตแบบต่อเนื่องมีการเกิด Shear stress มาก ระหว่างที่น้ียงผสมอากาศผ่านส่วนของเครื่องตีพอง ซึ่งแรงเฉือนดังกล่าวจะมากกว่าที่เกิดกับการตีพองแบบแบทช์ นอกจากการควบคุมปัจจัยสมบัติด้านความเสถียรเชิงกลของน้ียงยังต้องควบคุมสมบัติโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH No.) ของน้ียงด้วย เพราะถ้าค่า KOH No. ต่ำ ค่า pH จะต่ำ ซึ่งมีผลต่อการเกิดฟอร์มเจลโดย Silicofluoride anions

2.10.2 หลักการเกิดเจล กลไกการเกิด และสารก่อเจล [29,31]

การเกิดเจลของน้ียง (Latex gelling) [31] อาจนิยามเป็นการจับตัวของยางเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous coagulation) ระบบที่ทำให้เกิดเจลในการผลิตยางพองน้ำมี 2 ระบบ คือ เจลด้วยความร้อน และเจลอย่างช้า (Heat gelling and Delayed-action gelling) ชนิดของสารที่สำคัญในระบบแรก คือ Zinc oxide-ammonium salt system ที่อยู่ในสถานะสารละลาย โดยเชื่อว่าซิงค์ออกไซด์ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่อยู่ในเซรุ่มของน้ียงแล้วฟอร์มเป็น Zinc amines complexes ที่อุณหภูมิห้อง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง จะเกิดการฟอร์ม Tetraamine complexes และที่อุณหภูมิสูงจะเกิด Lower amine complexes ซึ่งเชื่อว่า Lower amine คือ ตัวที่ทำให้เริ่มเกิดเจล Gelling pH ที่อุณหภูมิห้องในระบบ Zinc oxide-ammonium salt คือ 9-10

นอกจากสารข้างต้นแล้ว ยังมี Polyvinyl methyl ether (PVME) ที่ใช้เป็น Heat gelling ด้วยการกระตุ้นด้วยความร้อนของสารนี้ pH ควรประมาณ 8.0 โดยไม่มีซิงค์ออกไซด์ ถ้ามีซิงค์ออกไซด์การเกิดเจลจะอยู่ที่ระดับ pH ประมาณ 9-9.5

สารก่อเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) ที่ดี สามารถผสมเข้ากับน้ำยางได้โดยง่าย ทำให้เกิดเจลอย่างช้าๆ ภายในเวลาที่เหมาะสม ส่วนใหญ่เป็นสารเชิงซ้อนของ Fluoro ได้แก่ Fluorosilicates, Fluorostannates, Fluorotitanates และ Fluorozirconates of Sodium and Potassium สารเหล่านี้ละลายน้ำได้บ้าง Sodium fluorosilicates ละลายได้เพียง 1% ส่วนเกลือโปแตสเซียมละลายได้น้อยกว่าเกลือโซเดียม ระดับ pH ที่ 20% ดิสเพิซชันของโซเดียมซิลิโกฟลูออไรด์ (SSF) คือ 3.3 สารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสมของ SSF คือ Bentonite clay สามารถเติม Surfactant ที่ว่องไวที่ pH 3 ได้ถ้าจำเป็น และชนิดที่เหมาะสมคือ Naphthaline formaldehyde sulfonates แม้ว่า SSF จะมีความเป็นกรด แต่เนื่องจากละลายได้น้อยมาก การเติมลงในน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย จึงไม่มีความเสี่ยงต่อการจับตัวของน้ำยางเป็นหย่อมๆ

2.10.3 การทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง [28, 30, 32]

- ทำให้เกิดฟองเป็นชุด/ครั้ง (Batch foaming)

การทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง (Foaming) โดยการปั่นน้ำยางด้วยเครื่องมือกล (Mechanical agitation) ในสภาวะอากาศ ในขณะที่น้ำยางคอมปาวด์มีแรงตึงผิวต่ำ และมีความหนืดสูง ก็จะช่วยทำให้ฟองที่เกิดขึ้นเสถียร ช่วงเริ่มต้นที่มีการผลิตยางฟองน้ำใช้การปั่นหรือตีให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟองในเครื่องที่ประกอบด้วยหม้อปั่นใช้บรรจุน้ำยาง และมีอุปกรณ์ปั่นลักษณะคล้ายลูกตะกร้อทำด้วยโลหะหมุนได้รอบตัวเองและรอบหม้อปั่น (ลักษณะเครื่องดังกล่าวเหมือนเครื่องสำหรับทำขนมเค้ก) ปรับระดับความเร็วได้ ปัจจุบันยังมีการใช้เครื่องลักษณะดังกล่าวในการผลิตยางฟองน้ำเป็นชุด หรือเป็นครั้งๆ การผลิตเป็นชุดเหมาะสำหรับการผลิตฟองน้ำที่มีขนาดเล็ก หรือเมื่อต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นและ/หรือสีต่างๆ ขึ้นตอนการปั่นเริ่มจากซังน้ำยางคอมปาวด์ใส่ลงในหม้อปั่น แล้วเริ่มปั่นด้วยความเร็วรอบสูง เพื่อให้ฟองเกิดฟองอย่างรวดเร็วที่สุด จนได้ระดับความสูงของฟองตามที่ต้องการแล้วจึงลดระดับความเร็วของการปั่น โดยจะทำการเติมซิงค์ออกไซด์ทันทีก่อนที่จะได้ปริมาตรหรือความสูงของฟองยาง (สังเกตจากการตรวจดูระยะที่จุดสูงสุดของฟองยางห่างจากขอบหม้อปั่น) ตามที่ต้องการ จากนั้นทำการปั่นต่ออีกประมาณ 45-60 วินาที แล้วจึงลดความเร็วของการปั่นลงต่ำสุด และเติมสารก่อเจล (SSF) ลงในหม้อปั่นอย่างช้าๆ

- ทำให้เกิดฟองอย่างต่อเนื่อง (Continuous foaming)

สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ความหนาแน่นตามที่กำหนดไว้ และต้องการผลิตในปริมาณมากจะใช้ระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง และใช้สายพานลำเลียงแม่พิมพ์ วิธีการของระบบการผลิตอย่างต่อเนื่องจะมีมอเตอร์วัดแรงจ่ายน้ำยาง และอัดอากาศที่ผ่านเข้าส่วนหัวของเครื่องปั่นฟอง (Mixing or Foaming head) ซึ่งมีโรเตอร์ (Rotor) อยู่ภายในสเตเตอร์ (Stators) 2 ตัว ทั้งโรเตอร์ และสเตเตอร์มีเดียจำนวนมากเรียงถี่เพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงเฉือนพอให้เกิดฟองยางเมื่อโรเตอร์หมุน ฟองยางที่เกิดขึ้นจะผ่านท่อไปยังส่วนผสม (Blender) ที่จะมีการผสมดิสเพิซชันซิงค์ออกไซด์ และสารก่อเจลกับฟองยาง จากนั้นฟองยางที่มีส่วนของสารต่างๆ พร้อมแล้ว (Fully compounded foam) จะถูกปล่อยลงแม่พิมพ์โดยท่อ PVC หรือท่อ PE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การขึ้นรูปในแม่พิมพ์/การเกิดเจล/การคงรูป/การล้างและการอบแห้ง [28]

- การขึ้นรูปในแม่พิมพ์ (Molding)

เมื่อเสร็จการปั่นน้ำยางจนได้ฟองตามต้องการแล้ว จะต้องรีบเทฟองลงแม่พิมพ์ (อุณหภูมิ 30-40°C) พื้นที่ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำเป็นที่นอน หมอน และผลิตภัณฑ์รองรับการกระแทก ซึ่งโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นโพร่ง โครงสร้างเช่นนี้เกิดจากการใช้แม่พิมพ์มีเดือย (Core pin) เรียงเป็นระเบียบ (ปกติเดือยจะอยู่ที่แม่พิมพ์แผ่นบน โดยเดือยจะยื่นลงไปแม่พิมพ์อีกแผ่นหนึ่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างลักษณะรังผึ้งที่ด้านหนึ่ง) โครงสร้างดังกล่าวมีส่วนช่วยด้านการรับน้ำหนัก และยังช่วยการคงรูป และการอบแห้งภายในเวลาสั้น

แม่พิมพ์ทำจากวัสดุ Cast aluminium alloy มีสมบัติถ่ายเทความร้อนดี ทนทานต่อการกัดกร่อน น้ำหนักเบา ผิวหน้าเรียบลื่น ง่ายต่อการลอกผลิตภัณฑ์ฟองน้ำออก วัสดุ Alloy ไม่ควรมีทองแดงเจือปน อนึ่งเพื่อลดเขยการหดตัวของฟองน้ำ ควรออกแบบให้แม่พิมพ์มีขนาดใหญ่กว่า (ปกติประมาณ 8%) ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ ควรทำการทดลองกับน้ำยางคอมปาวด์ให้ทราบถึงระดับการหดตัวจริงๆ ก่อนที่จะตัดสินใจกำหนดขนาดของแม่พิมพ์

เนื่องจากพื้นที่ที่ยางฟองน้ำผ่านการคงรูป ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานแรงฉีกขาดของยางฟองน้ำขณะเปียกจะต่ำกว่าเมื่อยางฟองน้ำแห้ง ดังนั้นจำเป็นต้องมั่นใจว่าการลอกยางฟองน้ำออกจากแม่พิมพ์ง่าย และสะดวกมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปกติเดือยจะเป็นลักษณะปลายเรียว อนึ่งเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการลอกผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ ควรทำให้ผิวด้านในของแม่พิมพ์ลื่นโดยพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์ (Mold release agent) ก่อนการเทฟองลงแม่พิมพ์

- การเกิดเจล (Gelation)

ฟองยางภายในแม่พิมพ์จะเกิดเจลหรือเซตตัวภายในระยะเวลาหนึ่งๆ (Gelling time) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณของสารก่อเจล (Gelling agent) ซึ่งคือออกไซด์ที่เติมลงไปใต้น้ำยางคอมปาวด์ ปริมาณ และธรรมชาติของสารช่วยความเสถียร และธรรมชาติหรือสมบัติของน้ำยางที่ใช้ ซึ่งคือออกไซด์มีส่วนในการเกิดเจลโดยเป็นตัวควบคุมการเสถียรสถานะคอลลอยด์ของอนุภาคยาง ทั้งนี้มาจากผลที่ซึ่งคือออกไซด์ละลายในน้ำยางซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียได้บ้าง ทำให้เกิดการฟอร์มสารเชิงซ้อนของซิงค์แอมโมเนียม เมื่อ pH ลดลง สารเชิงซ้อนนี้ทำปฏิกิริยากับ Fatty acid soaps ฟอร์มเป็น Insoluble zinc soaps ดังนั้นจึงทำให้บางส่วนของสารที่ช่วยความเสถียรรอบอนุภาคยางถูกแยกออกไป เป็นผลให้สนับสนุนการเกิดเจล ปกติการเกิดเจลควรสมบูรณ์ในเวลา 10-15 นาที ซึ่งสามารถปรับให้เหมาะสมได้โดยสังเกตจากการดูฟองยางล้นแม่พิมพ์

- การคงรูป (Vulcanization)

ภายหลังจากที่ฟองยางเกิดเจลแล้วควรทำให้คงรูปทันที เพื่อลดปัญหาการหดตัว การทำให้ฟองยางคงรูปที่อุณหภูมิ 100°C ประมาณ 20-30 นาที ระยะเวลาการคงรูปจะขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์ แผ่นยางฟองน้ำบางอาจใช้เวลา 20-30 นาที หมอนและผลิตภัณฑ์รองรับการกระแทกใช้เวลา 25-35 นาที ที่นอนอาจใช้เวลานานถึง 50 นาที ปกติใช้ความร้อนจากไอน้ำในการทำให้ยางฟองน้ำคงรูป อย่างไรก็ตามสามารถใช้ลมร้อน หรือน้ำร้อนในการทำให้ยางฟองน้ำคงรูป หรือสามารถใช้วิธีการหุ้มแม่พิมพ์ให้ร้อน (Jacketed mould)

- การล้าง

เมื่อยางฟองน้ำคงรูปแล้ว เปิดแม่พิมพ์เอายางฟองน้ำซึ่งเปียก (Wet cured foam) ออกจากแม่พิมพ์ล้างด้วยน้ำ อาจใช้วิธีการพ่น/ฉีดน้ำ และใช้ลูกกลิ้งบีบชะล้าง หรือใช้เครื่องปั่นชะล้างเพื่อเอากาวนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเทเนาไปเซบระยะชันดานการคําไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำจัดสารเคมีที่ละลายน้ำได้ออกจากยางฟองน้ำ ซึ่งจะเป็นการช่วยให้สมบัติความทนต่อการเสื่อมสภาพดีขึ้น และช่วยลดกลิ่นของยางฟองน้ำ

- การอบแห้ง

การอบแห้งยางฟองน้ำภายหลังเสร็จการล้าง อาจอบแห้งเป็นชุดในตู้อบ (Oven) ที่มีลมร้อนหมุนเวียนที่อุณหภูมิประมาณ 80°C หรืออบแห้งโดยระบบต่อเนื่องในอุโมงค์ร้อนควบคุมอุณหภูมิตลอดทางของอุโมงค์ ในขณะการอบแห้งควรวางยางฟองน้ำในแนวราบ ไม่ให้บิดเบี้ยว เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียรูปอย่างถาวร หลีกเลี่ยงการวางฟองน้ำแต่ละชั้นติดกันเพราะจะแยกออกจากกันได้ง่าย ซึ่งอาจมีผลให้เกิดการฉีกขาด หรือเกิดตำหนิที่ผิวฟองน้ำ ทำให้ต้องคัดแยกเป็นของเสีย

2.10.5 ลักษณะยางฟองน้ำที่ไม่พึงประสงค์และข้อเสนอแนะการแก้ไข [28,33]

การยุบตัวมาก-น้อยของยางฟองน้ำมาจากรูพรุนเล็กๆ ของฟองยางแตกตัวออกเกิดเป็นโพรงใหญ่ ทำให้โครงสร้างของฟองยางหยาบลักษณะเป็นรูใหญ่ ซึ่งสาเหตุมาจากปริมาณสารช่วยการก่อเจลไม่เพียงพอ หรือการเกิดเจลที่ pH ต่ำเกินไป ผิวฟองน้ำยุบเนื่องจากแม่พิมพ์เย็นเกินไป ในขณะที่แม่พิมพ์ที่ร้อนเกินไปทำให้ผิวฟองน้ำมีลักษณะหยาบกระด้าง หรือเกิดตำหนิเป็นรอยไหลของฟองยางที่ผิวฟองน้ำได้ ตำหนิลักษณะเป็นแอ่งตื้นเกิดจากการใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม และถ้าฟองยางเจลเร็วมากเกินไปจะมีแนวโน้มเกิดรอยแตกที่ตำแหน่งกลางชิ้นงาน

ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตยางฟองน้ำนั้น แต่ละลักษณะอาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายสาเหตุ อย่างไรก็ตามพอจะสรุปรูปแบบของลักษณะที่ผิดปกติและสาเหตุของการเกิดพร้อมข้อเสนอแนะวิธีการแก้ไข ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตยางฟองน้ำ [28,33]

ลักษณะผิดปกติ	สาเหตุที่อาจเป็นไปได้	ข้อเสนอแนะเพื่อแก้ไข
โครงสร้างหยาบ	เกิดเจลที่ pH ต่ำมากเกินไป	เพิ่มปริมาณสารเสริมการก่อเจล (Secondary gelling agent)
ฟองยางเป็นรูใหญ่	เกิดเจลที่ pH ต่ำมากเกินไป	เพิ่มปริมาณสารเสริมการก่อเจล (Secondary gelling agent)
ผิวหน้ายุบ	- ปริมาณสารก่อเจลไม่เพียงพอ - แม่พิมพ์เย็นเกินไป	- เพิ่มปริมาณ SSF และ/หรือ สารเสริมการก่อเจล - ใช้แม่พิมพ์ที่อุ่นขึ้น
ผิวหยาบหนา	- แม่พิมพ์ร้อนเกินไป	ใช้แม่พิมพ์ที่เย็นลง
ผิวมีรอยทางไหลของยาง	- แม่พิมพ์ร้อนเกินไป - เกิดเจลเร็วเกินไป	- ใช้แม่พิมพ์ที่เย็น - ลดปริมาณ SSF
ผิวมีรอยเป็นแอ่งตื้น	- สารหล่อลื่นแม่พิมพ์มากเกินไป - สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ยังไม่แห้ง	- ลดปริมาณการใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ - ทำให้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์แห้ง
มีรอยแตกแยกที่ส่วนกลางของชิ้นงาน	เกิดเจลเร็วเกินไป	ลดปริมาณ SSF ใช้แม่พิมพ์ที่เย็นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 กระบวนการทาลาเลย์ [34-36]

ชื่อกระบวนการทาลาเลย์ (Talalay process) มาจากชื่อของผู้ประดิษฐ์วิธีการ คือ J.A.A and L Talalay ในช่วงปี ค.ศ. 1950 ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการมาโดยตลอดจนปัจจุบันการทำยางฟองน้ำโดยกระบวนการทาลาเลย์มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำยางฟองน้ำโดยกระบวนการดันลอปในบางส่วน กล่าวคือ เริ่มจากการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง และใช้สุญญากาศทำให้ขยายตัว ขึ้นรูปยางฟองในแม่พิมพ์ ทำให้ฟองยางเจล และคงรูป ล้าง และอบแห้ง อย่างไรก็ตามในแต่ละขั้นตอนจะมีความแตกต่างกับกรณีของกระบวนการดันลอปบ้าง

2.11.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และการทำให้เกิดฟอง

วิธีการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ทำนองเดียวกับกรณีของกระบวนการดันลอป แต่ใช้น้ำยางเอสปีอาร์ แม่บ่างสูตรจะใช้น้ำยางธรรมชาติผสมด้วย แต่ก็ผสมในปริมาณเพียงเล็กน้อย (10-20%)

ช่วงระยะเริ่มต้นของการคิดค้นวิธีการทาลาเลย์ ได้ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เป็นฟองโดยใช้ Enzyme catalase (มาจาก Yeast) เร่งการสลายของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ละลายอยู่ใน Latex aqueous phase ได้ออกซิเจนไปขยายน้ำยางจนเกิดเป็นฟองต่อมาได้มีการใช้วิธีการทางเคมีที่ทำให้ น้ำยางเป็นฟองเป็นวิธีที่ต้องควบคุมเป็นอย่างดี ซึ่งการควบคุมยากมาก จึงใช้วิธีการทำให้เกิดฟองยาง โดยเครื่องกลร่วมกับใช้สุญญากาศ (Vacuum expansion) แล้วทำให้ฟองยางแข็งตัวโดยเทคนิค freeze-gel น้ำยางคอมปาวด์ซึ่งไม่ต้องผ่านการบ่มจะถูกทำให้เริ่มเกิดฟอง (Pre-foam) ที่มีความหนาแน่นสูงโดยใช้เครื่อง Oakes type แล้วซังน้ำหนั pre-foam อย่างระมัดระวังใส่ลงในแม่พิมพ์ ปิดแม่พิมพ์แล้วทำให้เกิดสุญญากาศ ฟองยางจะขยายตัวฟองเต็มแม่พิมพ์ (ไม่มีการใช้สารก่อเจล)

โดยวิธีการที่ประณีตดังกล่าว จึงสามารถทำผลิตภัณฑ์ฟองน้ำที่มีความหนาแน่นช่วงต่างๆ ได้ โดยไม่จำเป็นต้องคอยปรับระดับความหนาแน่นของฟองยางที่เครื่องผสม นอกจากนั้นยังไม่จำเป็นต้องควบคุมความหนาแน่นของฟองยางอย่างเข้มงวด เพราะควบคุมปริมาณฟองยางที่เทลงแม่พิมพ์โดย น้ำหนักไม่ใช่โดยปริมาตร

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างกระบวนการดันลอปกับกระบวนการทาลาเลย์ คือ การใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้กับกระบวนการทาลาเลย์มีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากมีเต็อยจำนวนมาก จึงยากที่จะทำให้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์เคลือบผิวแม่พิมพ์อย่างทั่วถึง ซึ่งแก้ปัญหานี้โดยใช้สารหล่อลื่น (Internal lubricant) ผสมลงไปกับ Pre-foam ก่อนที่จะเทลงแม่พิมพ์ สารที่ใช้เป็น Internal lubricant คือ สารละลายเจือจางของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กลไกการหล่อลื่นแม่พิมพ์ของสารดังกล่าวยังไม่เป็นที่เข้าใจ

2.11.2 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปยางฟองน้ำที่ใช้กระบวนการทาลาเลย์ เป็นแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปยางฟองน้ำ ซึ่งผลิตโดยกระบวนการดันลอป ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิให้รวดเร็ว และแม่นยำ แม่พิมพ์จะมีส่วนของช่องทางผ่านของส่วนผสม Glycol/water ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแน่นอน ความร้อนเข้าถึง และออกจากยางฟองน้ำโดยแผงเต็อยที่เรียงอย่างชิดกัน ปลายของเต็อยจากแผ่นทั้ง 2 แผ่นจะฝังอยู่ในยางฟองน้ำ ทางไหล 4 ทางของส่วนผสม Glycol/water ถูกใช้ในระบบ Heat exchange

2.12 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม [37]

ก้อนในเต้านม (Breast mass หรือ Breast lump) คือ ก้อนเนื้อผิดปกติที่เกิดขึ้นในเต้านม อาจเกิดเพียงข้างเดียว (ซึ่งพบได้บ่อยกว่า) หรือ เกิดทั้งสองข้างของเต้านม (ซึ่งพบได้น้อยกว่ามาก) อาจเกิดเพียงก้อนเดียว (ซึ่งพบได้บ่อยกว่า) หรือเกิดได้หลายก้อน (ซึ่งพบได้น้อยกว่ามาก) ก้อนเนื้ออาจมีขนาดเล็ก ตรวจพบได้จากการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งเต้านมด้วยการตรวจภาพรังสีเต้านม หรือแมมโมแกรม (Mammogram) หรืออัลตราซาวด์เต้านม หรือก้อนเนื้ออาจมีขนาดใหญ่จนสามารถคลำได้โดยตัวผู้ป่วยเองหรือโดยแพทย์

ก้อนเนื้อในเต้านมพบได้ในทุกอายุ ตั้งแต่เด็กจนถึงผู้สูงอายุ โดยในเด็กมักพบในช่วงวัยรุ่นที่ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศต่างๆ เต้านมจึงมีการขยายใหญ่ขึ้น และเริ่มมีการสร้างต่อมต่างๆ สำหรับการสร้างน้ำนม จึงอาจส่งผลให้คลำได้คล้ายก้อนเนื้อ แต่ก้อนเนื้อเหล่านี้จะค่อยๆ หายไปเมื่อเติบโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่

ก้อนเนื้อในเต้านม พบเกิดได้ทั้งในผู้หญิงและในผู้ชาย โดยทั่วไปมักพบในผู้หญิง ในเด็กชายมักคลำได้ก้อนในเต้านมโดยเฉพาะใต้หัวนมในช่วงวัยรุ่น ซึ่งพบได้เป็นปกติโดยมีสาเหตุจากการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศในวัยนี้ ซึ่งก้อนจะค่อยๆ ยุบหายไปเอง

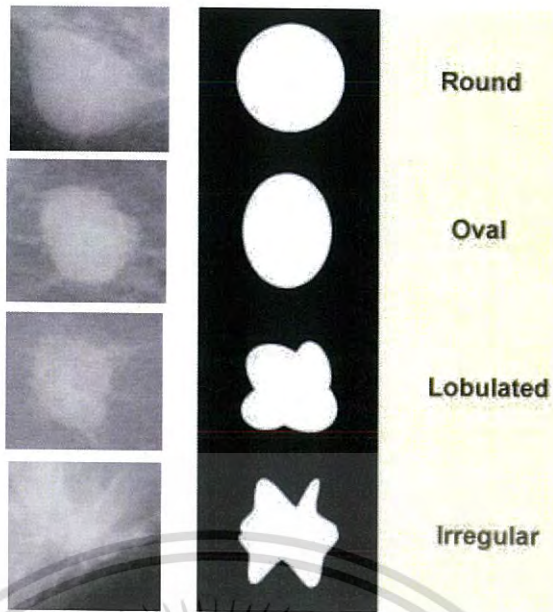
ก้อนเนื้อในเต้านม พบได้เรื่อยๆ ไม่ถึงกับบ่อยนัก มีการศึกษาพบว่าประมาณ 16% ของผู้หญิงช่วงวัย 40-69 ปี จะมาพบแพทย์ด้วยเรื่องปัญหาเกี่ยวกับเต้านม ซึ่งในกลุ่มนี้ ประมาณ 40% จะมาด้วยเรื่องมีก้อนในเต้านมอย่างไรก็ตามการมีก้อนที่เต้านมในผู้หญิงไม่ได้หมายความว่าจำเป็นต้องเป็นมะเร็งเสมอไป ก้อนในเต้านมส่วนมากไม่ใช่มะเร็ง จากสถิติพบว่าถ้าพบก้อนในเต้านมในผู้หญิงที่อายุน้อยกว่า 30 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งเพียง 1.4% แต่ถ้าพบก้อนในผู้หญิงที่มีอายุมากกว่า 50 ปี จะมีโอกาสเป็นมะเร็งสูงถึง 58%

2.12.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม [38-40]

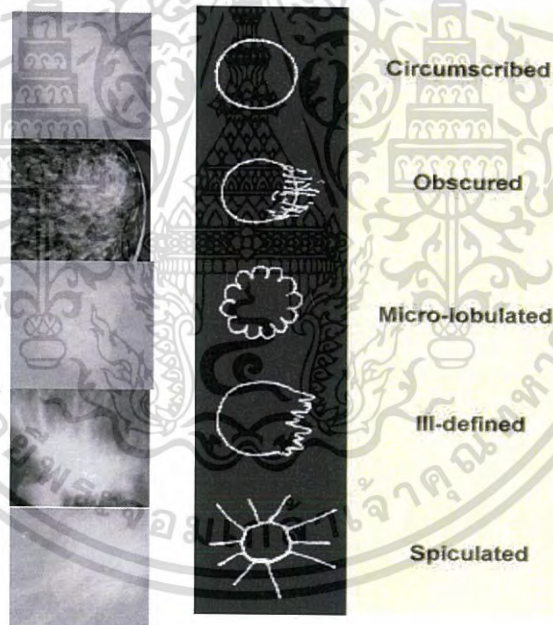
ก้อนเนื้อในเต้านมมีได้หลากหลายชนิด ที่พบได้บ่อย คือ

- 1) ไฟโบรซิสติก (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 หรือเนื้องอกชนิด Adenosis
- 4) เนื้องอกมะเร็ง

- รูปร่างของก้อนมะเร็งได้ ดังรูปที่ 2.14 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็งได้ ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง [39]



รูปที่ 2.15 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม [38-40]

• ชนิดไฟโบรซิสติก (Fibrocystic changes) เป็นภาวะที่พังผืด ต่อมและท่อน้ำนมมีปฏิกิริยามากเกินไปต่อการกระตุ้นของฮอร์โมนระหว่างการตกไข่ ทำให้พังผืดเกาะตัวเป็นกลุ่มเป็นก้อน หรือมีถุงน้ำเล็กๆ จำนวนมากปะปนอยู่ อาการคือ มีก้อนโตขึ้นและเจ็บเต้านมก่อนจะมีประจำเดือน แล้วค่อยๆ ดีขึ้นเมื่อประจำเดือนหมด ซึ่งการกินยาเม็ดคุมกำเนิดจะบรรเทาอาการเหล่านี้ลง ในขณะที่ถ้ากินฮอร์โมนชดเชย เช่น หลังผ่าตัดรังไข่ อาการต่างๆ จะมากขึ้น ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ มักไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง (โรคมะเร็งเต้านม)

• ชนิดไฟโบรอะดีโนมา (Fibroadenoma) เป็นเนื้องอกธรรมดาที่มีก้อนแข็งประกอบด้วยพังผืดและเนื้อเยื่อจากต่อมน้ำนม พบบ่อยสุดในวัย 18-35 ปี มักไม่มีอาการเจ็บนอกจากบางครั้งอาจรู้สึกคัดๆ เต้านมบ้างก่อนมีประจำเดือน เวลาคลำจะรู้สึกว่ามีก้อนลื่นๆ ไปได้ ก้อนของเต้านมส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่ร้ายแรง ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

• ชนิดเกิดจากเซลล์ไขมันตาย (Fat necrosis and oil cyst) พบได้ภายหลังจากเต้านมถูกกระแทก หรืออุบัติเหตุเต้านม หรือจากการผ่าตัดเต้านม หรือฉายรังสีรักษาบริเวณเต้านม ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์ไขมันซึ่งมีอยู่มากมายในเต้านมตาย เกิดเป็นพังผืด หรือเป็นถุงน้ำชนิดภายในเป็นน้ำมัน จึงเกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น ก้อนเนื้อจะมีลักษณะค่อนข้างกลม ไม่แข็ง เคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย อาจเจ็บหรือไม่เจ็บได้ ทั้งนี้มักมีประวัติดังกล่าวมาก่อนคลำพบก้อนเนื้อ และก้อนเนื้อชนิดนี้ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม

• ชนิดถุงน้ำ/ซิสต์ (Breast cyst) เป็นชนิดที่ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่เชื่อว่าสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิง เพราะมักพบเกิดร่วมกับก้อนเนื้อไฟโบรซิสติก พบในวัยเจริญพันธุ์ และถุงน้ำยุบหายไปเองได้ภายหลังวัยหมดประจำเดือนแล้ว ก้อนเนื้อค่อนข้างกลม หรือ รูปไข่ อาจเจ็บหรือไม่เจ็บ เคลื่อนที่ได้ แข็งคล้ายลูกโป่งใสๆ มีได้ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ได้หลายเซนติเมตร โดยทั่วไปถุงน้ำไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง ยกเว้นส่วนน้อยมากที่เซลล์ผนังถุงน้ำเกิดการเจริญเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

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

• ก้อนเนื้อไขมัน (Lipoma) เป็นก้อนเนื้อที่ยังไม่ทราบสาเหตุการเกิดที่ชัดเจน แต่เชื่อว่าอาจเกิดจากความผิดปกติทางพันธุกรรมบางชนิด เป็นก้อนเนื้อที่มีลักษณะขอบเขตชัดเจน ค่อนข้างกลม นิ่ม มักไม่เจ็บ (แต่อาจเจ็บได้) เคลื่อนที่ได้ ขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบประจำเดือน ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม มีโอกาสกลายเป็นโรคมะเร็งของเซลล์ไขมัน (Liposarcoma) ได้ แต่โอกาสเกิดน้อยมาก

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

• ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของท่อน้ำนม (Duct ectasia) เกิดจากท่อน้ำนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังหนากว่าปกติจนทำให้สามารถคลำได้เป็นก้อนเนื้อ ไม่แข็งมาก อยู่ใต้หัวนม หัวนมอาจบวมได้

และอาจมีน้ำสีออกเขียว หรือดำคล้ำออกจากหัวนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม

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

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

- **ก้อนเนื้อชนิดมีเซลล์เจริญเกินปกติ (Hyperplasia)** ถ้ามีเพียงเซลล์เจริญเกินปกติ จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อก้อนเนื้อเกิดเป็นมะเร็งเต้านม 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ แต่ถ้ามีทั้งเซลล์เจริญเกินปกติ ร่วมกับเซลล์เจริญเปลี่ยนรูปแบบ (Atypia) จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อก้อนเนื้อกลายเป็นมะเร็ง 4-5 เท่าของผู้หญิงปกติ

ก้อนเนื้อชนิดต่างๆ ทุกชนิด อาจมีเซลล์เจริญเกินปกติได้ ซึ่งแพทย์ทราบได้จากการตัดชิ้นเนื้อหรือผ่าตัดก้อนเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา ซึ่งถ้าเกิดมีเซลล์เจริญเกินปกติเกิดขึ้น จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นโรคมะเร็งเต้านมได้ ดังรูปที่ 2.16 ตัวอย่างก้อนในเต้านม



รูปที่ 2.16 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม [40]

2.12.3 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม [41]

หลังจากที่มีการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านมแล้วจะต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติม เพื่อประเมินว่ามีการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปยังบริเวณอื่นนอกจากบริเวณเต้านมหรือไม่ เพื่อประเมินระยะความรุนแรงของโรคและวางแผนการรักษาต่อไป

การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งในร่างกายมี 3 ทาง

- 1) ทางเนื้อเยื่อข้างเคียงมีการลุกลามเข้าไปในเนื้อเยื่อปกติที่อยู่รอบๆ
- 2) ทางระบบน้ำเหลืองมีการลุกลามต่อมน้ำเหลือง

3) ทางเลือดมีการลุกลามเข้าไปยังเส้นเลือดดำ และเส้นเลือดฝอยมีการแพร่กระจายไปยังบริเวณต่างๆ ของร่างกาย เมื่อเซลล์มะเร็งมีการแพร่กระจายผ่านทางระบบน้ำเหลืองหรือเลือดไปยังบริเวณอื่นในร่างกายอาจทำให้เกิดมะเร็งทุติยภูมิในร่างกายกระบวนการนี้เรียกว่า การแพร่กระจายของโรค (Metastasis) โดยชนิดของเซลล์มะเร็งทุติยภูมิจะเป็นชนิดเดียวกันกับมะเร็งปฐมภูมิ

- ระยะ 0 (Carcinoma in situ) มี 2 ชนิด

1) Ductal carcinoma in situ (DCIS) จะพบเซลล์ผิดปกติในบริเวณเยื่อบุท่อน้ำนมซึ่งเป็นระยะที่ไม่มีการลุกลามของโรคแต่มีโอกาสที่จะกลายเป็นมะเร็งระยะลุกลามได้โดยที่ปัจจุบันยังไม่สามารถพยากรณ์ได้ว่ารอยโรคบริเวณใดจะกลายเป็นระยะลุกลาม

2) Lobular carcinoma in situ (LCIS) เป็นภาวะที่พบเซลล์ผิดปกติใน Lobules ของเต้านมสภาวะนี้นานๆ ครั้งจะกลายเป็นระยะลุกลามได้อย่างไรก็ตามใน Lobar carcinoma in situ ในเต้านมข้างเดียวจะเพิ่มปัจจัยเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเต้านมได้ทั้งสองข้าง

- ระยะ I ขนาดของก้อนเล็กกว่า หรือเท่ากับ 2 cm และยังไม่มีการกระจายออกนอกบริเวณเต้านม

- ระยะ IIA มี 3 ภาวะ ได้แก่

- 1) ไม่มีก้อนที่เต้านมแต่พบมะเร็งที่ต่อมน้ำเหลืองใต้รักแร้
- 2) ก้อนมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 cm และมีการแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองใต้รักแร้
- 3) ก้อนมีขนาด 2-5 cm แต่ไม่มีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลือง

- ระยะ IIB มี 2 ภาวะ ได้แก่

- 1) ก้อนมีขนาด 2-5 cm และมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองใต้รักแร้
- 2) ก้อนใหญ่กว่า 5 cm แต่ไม่มีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลือง

- ระยะ IIIA มี 4 ภาวะ ได้แก่

1) ไม่มีก้อนที่เต้านมแต่มีมะเร็งที่ต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้บริเวณใกล้เคียงเต้านม และบริเวณรักแร้

2) เนื้องอกมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 cm และมีมะเร็งแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม

3) เนื้องอกมีขนาด 2-5 cm และมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม

4) เนื้องอกมีขนาดใหญ่กว่า 5 cm และแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม

- ระยะ IIIB ก้อนมะเร็งมีขนาดเท่าไรก็ได้ร่วมกับเนื้องอกมีการแพร่ไปยังอวัยวะใกล้เคียง เช่น

อกส่วนเนื้อหรือผิวหนังบริเวณหน้าอก และมีการแพร่กระจายของมะเร็งไปยังต่อมน้ำเหลือง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ระยะ III C เนื่องจากมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณเหนือไหปลาร้า และอาจจะพบร่วมกับการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม สามารถแบ่งเป็นชนิดผ่าตัดได้และผ่าตัดไม่ได้ โดยชนิดที่ผ่าตัดได้จะต้องประกอบด้วยลักษณะดังนี้

- 1) แพร่กระจายของมะเร็งไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้มากกว่า 10 ต่อมน
- 2) พบต่อมน้ำเหลืองบริเวณใต้กระดูกไหปลาร้า
- 3) พบต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านมชนิดที่ผ่าตัดไม่ได้ เนื่องจากมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณเหนือไหปลาร้า

-ระยะ IV มะเร็งมีการแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่นของร่างกายส่วนมากพบที่กระดูก, ปอด, ตับหรือสมอง

2.12.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง [42]

90% ของมะเร็งจะมาด้วยก้อนเต้านมเป็นอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกายสามารถคลำได้ การคลำด้วยตนเองเป็นประจำทุกเดือนจะทำให้เกิดความคุ้นเคยสามารถรู้สึกถึงเปลี่ยนแปลงได้เร็ว

2.12.4.1 สรรวจลักษณะภายนอก

- 1) เต้านมทั้งสองข้างเท่ากันหรือไม่
- 2) ผิวหนังมีรอยย่น บวม เป็นแผล หรือมีลักษณะคล้ายผิวส้มหรือไม่
- 3) หัวนมมีลักษณะหดเข้าด้านใน มีของเหลวไหลออกมาหรือไม่



รูปที่ 2.17 การตรวจเต้านมโดยสำรวจลักษณะภายนอก [42]

2.12.4.2 การคลำ

การตรวจก้อนในเต้านมด้วยตนเอง จะใช้นิ้วสัมผัส 3 นิ้ว (นิ้วชี้ นิ้วกลาง นิ้วนาง) โดยใช้บริเวณกึ่งกลางนิ้วส่วนบนซึ่งจะสัมผัสได้ดี และกว้างกว่าส่วนปลายนิ้ว โดยจะโค้งฝ่ามือเพื่อปรับให้นิ้วทั้งสามอยู่ในสภาพแบนราบสัมผัสกับเต้านม แล้วเคลื่อนนิ้วกววนไปทั่วเต้านม

- ยืนคลำ (สามารถตรวจขณะอาบน้ำสองมือถูด้วยสบู่เพื่อป้องกันการคลำหา)

- 1) ใช้หัวแม่มือกับนิ้วชี้บีบหัวนมเบาๆ
- 2) กดหัวนมดูว่ามีก้อนแข็งหรือไม่
- 3) บีบหัวนมดูว่ามีน้ำเหลวไหลออกมาหรือไม่



รูปที่ 2.18 การตรวจเต้านมโดยการยื่นคลำ [42]

- นอนคลำ (สามารถผสมน้ำมันทาตัว หรือครีมสำหรับทาเต้านมลงบนฝ่ามือเพื่อช่วยต่อการคลำหา)

- 1) นอนลงโดยไม่ต้องมีหมอนรอง
- 2) หัวไหล่ซ้ายรองหมอนใบเล็กไว้ มือซ้ายวางไว้หลังศีรษะ
- 3) วิธีการตรวจเหมือนกับตอนยื่นคลำ



รูปที่ 2.19 การตรวจเต้านมโดยการนอนคลำ [42]

ระวัง : วิธีการตรวจด้วยการกด คลำ หรือลูบนั้น ให้ใช้นิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วนาง ของมืออีกข้างในการตรวจหา



รูปที่ 2.20 การตรวจเต้านมโดยใช้มืออีกข้างในการตรวจหา [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาภรณ์ คลีโบ และคณะ [43] ได้ศึกษาการทำแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ โดยศึกษาปริมาณสารเคมีที่พิษของปริมาณสารเชื่อมโยงกำมะถัน 1, 2, 3 และ 4 phr ศึกษาปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว (SSF) 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 และ 4.5 phr ระดับความเร็ว และเวลาที่ใช้ในการปั่นโฟมยางธรรมชาติที่มีผลต่อความหนาแน่น ความแข็ง การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด และสัมประสิทธิ์ขยายตัวของโฟม มีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคน และศึกษาการฝังก้อนมวล (Mass) ได้แก่อ่อนซีสต์ เนื้อออก และมะเร็ง จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันทำให้ความแข็งและความหนาแน่นของโฟมยางเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดลดลง พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยางธรรมชาติแต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโฟมยางถ้า SSF มีค่ามากถึงค่าหนึ่ง ในการศึกษาเวลาในการปั่น KO และความเร็วการปั่นพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการปั่น KO หรือระดับความเร็วในการปั่น ทำให้ความหนาแน่น และความแข็งของโฟมยางลดลง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มขึ้น ในการศึกษาเคลือบผิวแบบจำลองยางด้วยซิลิโคน พบว่าเกิดปัญหาการยึดติดระหว่างผิวซิลิโคนกับโฟมยาง

อภิรักษ์ สุประเสริฐ [44] ได้ทำการศึกษาสิ่งประดิษฐ์หุ่นจำลองยางพาราหลายรูปแบบ หนึ่งในนั้นคือ หุ่นด้านมนุษยเพื่อการศึกษาฝึกหัดตรวจหามะเร็งเต้านม โดยมีวิธีการ และกรรมวิธีการประดิษฐ์คือเริ่มจาก สร้างหุ่นจำลองต้นแบบโดยศึกษาจากอวัยวะจริง จากรูป หรือจากตำราโดยใช้ดินน้ำมันเป็นต้นแบบเลียนแบบของจริง จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องโดยผู้เชี่ยวชาญ เมื่อคิดว่าต้นแบบมีความถูกต้องแล้วจึงเริ่มสร้างแม่พิมพ์ ดำเนินการเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ 1.หล่อขึ้นงานต้นแบบเป็นปูนปลาสเตอร์ เพื่อง่ายต่อการตกแต่งรายละเอียด และง่ายต่อการขัดเรียบ 2.จัดทำเป็นแม่พิมพ์ถาวรจากต้นแบบปูนปลาสเตอร์ จากนั้นเริ่มการหล่อขึ้นงาน โดยใช้น้ำยางดิบผ่านขบวนการตีฟอง (Latex foam from silicofluoride process) ตามสูตร KU-NR60 แล้วนำมาเทลงแม่พิมพ์ถาวร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 30-60 นาที เพื่อให้ยางคงรูป แล้วนำไปอบไอน้ำ เมื่ออบไอน้ำเสร็จแล้วถอดแม่พิมพ์ จากนั้นนำไปอบให้แห้ง แล้วนำหุ่นจำลองยางพาราที่ได้มาตัดตกแต่งให้สมบูรณ์ ระบายสี บรรจุในหีบห่อ โดยน้ำยาผสมสูตร KU-NR60 นั้นประกอบด้วยน้ำยางดิบ Potassium oleate, กำมะถัน, Zinc diethyl dithiocarbamate, Silica, Calcium carbonate, Zinc-2-mercapto benzthiazole, Phenol 4-methyl, Zinc oxide, Sodium Silicofluoride และ Diphenyl guanidine ผสมให้เข้ากันโดยการกวนด้วยความเร็วรอบระหว่าง 20-60 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5-50 นาที ที่อุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส

บังอร ดวงรัตน์ และคณะ [45] จากวิทยาลัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และสาธารณสุขกาญจนาภิเษก ได้ทำการการพัฒนาหุ่นจำลองแขนฝึกทักษะเย็บแผลชนิดยางพารา โดยได้มีขั้นตอนและเทคนิคการผลิตที่คงที่ ซึ่งสรุปได้ดังนี้ เริ่มจาก เทน้ำยางชั้นใส่ภาชนะสำหรับตีฟองปั่นไล่แอมโมเนีย และใช้ไม้พายช่วยในการปั่นใช้เวลา 2 นาที ในความเร็วของเครื่องปั่นระดับ 2 จากนั้นเติม Potassium Oleate ปั่นให้เกิดฟองใช้เวลา 6 นาทีที่ความเร็วของเครื่องปั่นระดับ 4 และให้สีจำนวน 8 หยด จากนั้นเติมน้ำยาเคมี กลุ่มที่ 2 ในหม้อปั่น ใช้เวลา 2 นาที ที่ระดับความเร็วของเครื่องปั่นระดับ 2 ต่อมาเติมน้ำยาเคมีกลุ่มที่ 3 ในหม้อปั่นใช้เวลา 2 นาที ที่ระดับความเร็วของเครื่องปั่นระดับ 2 จากนั้นเติมน้ำยาเคมี กลุ่มที่ 4 ในหม้อปั่นใช้เวลา 1 นาที หรือใช้การทดสอบโดยการบีบฟองยางพาราเพื่อสังเกตการแตกตัว แล้วเทลงในแม่พิมพ์ รอให้เกิดการเซตตัวของน้ำยางใช้เวลาประมาณ 10-30 นาที โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ควรใช้แม่พิมพ์ที่ทำจากซิลิโคน เพราะทำให้เนื้อหุ่นจำลองแน่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าที่ทำจากแม่พิมพ์ปูน แล้วนำแม่พิมพ์ไปนึ่งที่อุณหภูมิ 100°C กลับแขนด้านละ 1 ชั่วโมง รวมเวลา 2 ชั่วโมง จึงนำยางออกจากแม่พิมพ์ ล้างด้วยน้ำธรรมดา 3 นาที ผึ่งในที่ร่มจนแห้งโดยใช้เวลาประมาณ 2-3 วัน

บริษัท BM Simulator [46] ได้ทำการประดิษฐ์ หุ่นสาธิตการฝึกตรวจมะเร็งเต้านมสตรี (แบบมีชุดสวม) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- หุ่นลักษณะเป็นเสื้อจำลองช่วงลำตัว และหน้าอกของสตรี ทั้งด้านหน้า และหลัง
- หุ่นใช้สวมกับตัวคนหรือหุ่นได้ และสามารถให้คนหรือหุ่นสวมใส่ในท่ายืนหรือนอนได้
- ตัวหุ่นลักษณะภายนอกมีผิวสัมผัสที่มีความอ่อนนุ่มคล้ายจริง
- บริเวณด้านในของหุ่นมีช่องสำหรับการถอด-เปลี่ยนเต้านมพยาธิสภาพแบบต่างๆ
- หุ่นมีเต้านมแบบต่างๆสำหรับถอด-เปลี่ยนจำนวน 6 ชิ้น โดยแต่ละชิ้น อาจารย์ผู้สอนเป็นผู้ออกแบบและระบุชนิด ขนาด และตำแหน่งของพยาธิสภาพแบบต่างๆ เองได้

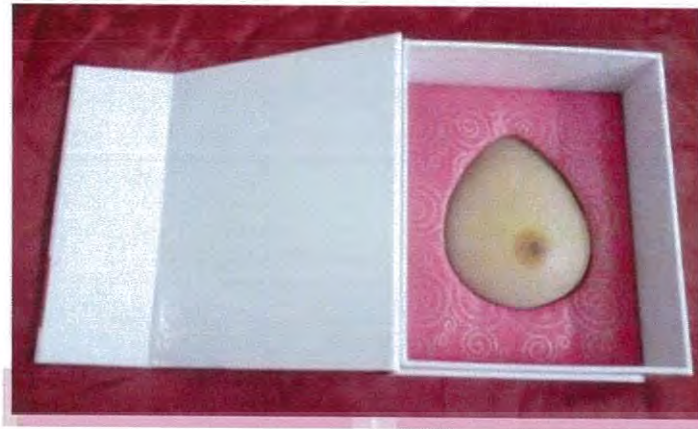


รูปที่ 2.21 หุ่นสาธิตการฝึกตรวจมะเร็งเต้านมสตรี (แบบมีชุดสวม) [46]

ศราวจุ ริมตุสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ [47] ได้พัฒนาเต้านมเทียมจากซิลิโคน ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเต้านมจริง โดยฝังก้อนมะเร็งจำลองไว้ภายใน เพื่อฝึกทักษะการคลำตรวจหาความเสี่ยงของมะเร็งเต้านมได้ด้วยตนเอง โดยทำเต้านมเทียมทั้ง 200 ชุดเพื่อส่งมอบให้กรมอนามัยใช้เป็นต้นแบบการเรียนการสอนในโรงเรียนแพทย์ ซึ่งเต้านมเทียมที่พัฒนาขึ้นนี้ทำจากซิลิโคนชนิดพิเศษ มีลักษณะใกล้เคียงกับเต้านมจริง โดยได้ฝังก้อนซิลิโคนแข็งขนาดแตกต่างกัน 5 จุด ในระดับความลึกต่างกันเพื่อแทนก้อนมะเร็ง ส่วนต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 1,500-2,000 บาท เมื่อเทียบกับเต้านมเทียมนำเข้า ราคา 1 หมื่นบาทขึ้นไป

เบญจมาศ มีชัย [48] ทำโมเดลเต้านมเทียมด้วยซิลิโคนเพื่อสอนการตรวจมะเร็งเต้านมให้นักศึกษา โดยได้พบปัญหาเรื่องวัตถุดิบ เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องคุณภาพของซิลิโคนในประเทศที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตเต้านมเทียมโดยพบกับปัญหาเมื่อขึ้นรูปแล้วไม่อยู่ตัว เมื่อหดตัวแล้วทำให้รูปทรงเปลี่ยนไป ไม่ได้ขนาด ไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งพบกับปัญหา แห้งเร็วแห้งช้าไม่เท่ากัน กำหนดสูตรที่ตายตัวไม่ได้ จึงพยายามหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ อีกทั้งยังลองใช้ซิลิโคนหลายเกรด โดยหาเกรดที่ใช้กับร่างกายภายนอกที่เหมาะสม ซึ่ง food grade หรือ medical เกรดมีราคาแพงเกินไปไม่มีความจำเป็น จึงต้องเอาเกรดที่เหมาะสมกับการใช้งานภายนอกที่สัมผัสกับผิวหนังเท่านั้น เมื่อได้วัตถุดิบจากต่างประเทศมาลองผลิตแล้วเป็นที่พึงพอใจของผู้ใช้งาน อีกทั้งสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 โมเดลเต้านมเทียมด้วยซิลิโคนเพื่อสอนการตรวจมะเร็งเต้านมให้นักศึกษา [48]

บริษัท มีชัยการรัชต์ จำกัด [49] ทำชุดโมเดลฝึกตรวจเต้านม ประกอบด้วยโมเดลเต้านมฝั่ง 5 จุด ใช้สำหรับฝึกคลำหาก้อนเนื้อที่ผิดปกติในเต้านม มีความนุ่มเหมือนเต้านมจริง และมีความทนทานในราคา 2,996 บาท โดยมีการกำหนดตำแหน่งที่ฝังของก้อนเนื้อทั้งหมด 5 ตำแหน่ง รวมทั้งลักษณะ และขนาดของก้อนเนื้อ โดยจะเห็นได้ว่าขนาดของก้อนเนื้อนั้นจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงประมาณ 6-12 มิลลิเมตร และมีลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกันไปทั้งรูปทรงแบน ผิวขรุขระ และรูปทรงกลม ผิวเรียบ ดังรูปที่ 2.23

หุ่นเต้านมเทียมใช้สอนตรวจมะเร็ง
จุดที่สามารถสัมผัสก้อนเนื้อที่ผิดปกติ
มีทั้งหมด 5 จุดดังนี้



จุดที่ 1 ก้อนขนาด 14 x 19 x 6 มม. รูปทรงแบน ผิวขรุขระ
จุดที่ 2 ก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. รูปทรงกลมผิวเรียบ
จุดที่ 3 ก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. รูปทรงกลมผิวเรียบ
จุดที่ 4 ก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มม. รูปทรงกลมผิวเรียบ
จุดที่ 5 ก้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม. รูปทรงกลมผิวเรียบ

รูปที่ 2.23 ชุดโมเดลฝึกตรวจเต้านม [49]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกำมะถันทำให้ความแข็งและความหนาแน่นของโพลียางเพิ่มขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดลดลง
- พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโพลียางธรรมชาติแต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโพลียางถ้า SSF มีค่ามากถึงค่าหนึ่ง
- การศึกษาเวลาในการปั้น KO และความเร็วการปั้นพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการปั้น KO หรือระดับความเร็วในการปั้น ทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโพลียางลดลง และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเพิ่มขึ้น
- การศึกษาเคลือบผิวแบบจำลองยางด้วยซิลิโคน พบว่าเกิดปัญหาการยึดติดระหว่างผิวซิลิโคนกับโพลียาง

งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาคือ พัฒนาสูตรโพลียางให้นิ่มมากขึ้นและพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมให้มีความสวยงามมากขึ้นโดยการเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนพร้อมทั้งฝังก้อนมวลที่มีรูปร่างและขนาดที่สมจริงมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) แม่พิมพ์ Fiber glass สำหรับโฟมยางมะรึ่งเต้านม
- 2) แม่พิมพ์ ปูนปาสเตอร์สำหรับยางซิลิโคน
- 3) แม่พิมพ์ประกบสำหรับยางซิลิโคน
- 4) แม่พิมพ์โลหะ ขนาด 152.4x152.4 ตารางมิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร
- 5) แผ่นใสชนิดเข้าเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ ยี่ห้อ Victor
- 6) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น FOR LP-2020 บริษัท แล็บเทคเอ็นจิเนียร์ จำกัด
- 7) เครื่องผสมแบบปั่นหมุนมอเตอร์พร้อมใบพัด ยี่ห้อ Cuizimate รุ่น RBSMIXERNEW
- 8) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Meler Toledo รุ่น ML204
- 9) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert Germany รุ่น UF260
- 10) เครื่องทดสอบความแข็ง(Hardness) ยี่ห้อ Teclock Durometer Shore OO รุ่น GS-754G : Peak pointer type
- 11) เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) รุ่น LR5K บริษัท ลอยด์อิน สตุเมนท์ จำกัด
- 12) ชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)
- 13) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) บริษัท Carl Zeiss จำกัด รุ่น Evo 10-15-71

3.1.2 สารเคมี

- 1) น้ำยางข้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูง จากสถาบันวิจัยยาง
- 2) โปแทสเซียมโอเลอเต Potassium oleate 10% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 3) กำมะถัน (Sulfur) 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
- 7) DPG (Diphenyl guanidine) 33% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 8) วิงสเตย์แอล (Wingstay L) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 9) SSF (Sodium silicofluoride) 12.5% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยยาง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
10) ยางซิลิโคน Silicone RTV#222 จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd.ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 11) สารเชื่อมโยงยางซิลิโคน จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd
- 12) น้ำยาล้างจาน ซัลไลต์ จากบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดีนิกส์ จำกัด
- 13) น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโคมยางธรรมชาติ

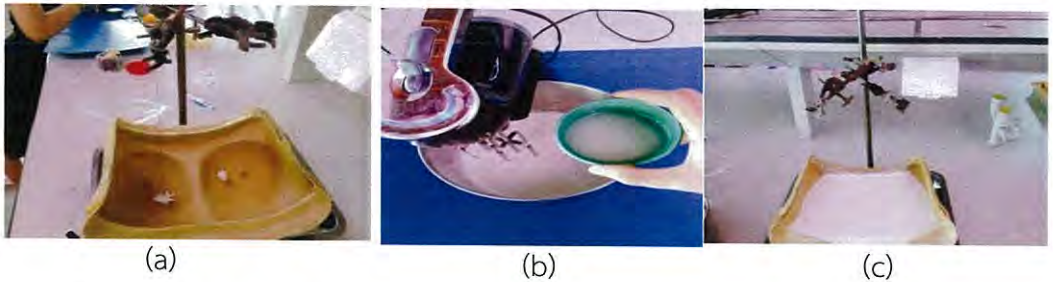
น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	167.0	100.0
10% โพลีเอทิลีนโกลีเอต	15.0	1.5
50% กำมะถัน	2.0	1.0
50% ZDEC	2.0	1.0
50% ZMBT	2.0	1.0
50% Wingstay L	2.0	1.0
50% ZnO	10.0	5.0
33% DPG	4.0	1.32
12.5% SSF	6.0	0.75

3.2 ขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ

- 1) ทำการชั่งสารตามสูตรผสมดังตารางที่ 3.1 ลงในถ้วยพลาสติก
- 2) ทาน้ำยาล้างจานเพื่อให้ปลดชิ้นงานออกได้ง่ายโดยไม่ทำให้พื้นผิวเสียหาย และเตรียมการฝังของแข็ง (เซลล์มะเร็ง, เนื้องอก และซีสต์) โดยมีดก้อนของแข็งกับเส้นด้าย และทำการผูกกับแคลมป์เพื่อให้ก้อนของแข็งรอยอยู่เหนือแม่พิมพ์ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1a
- 3) เทน้ำยางชั้นใส่ภาชนะสำหรับปั่นกวน เติมโพลีเอทิลีนโกลีเอต ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์เป็นอันดับแรกเพื่อทำการปั่นกวนทำให้เกิดฟองที่เสถียร แสดงดังรูปที่ 3.1b
- 4) ปรับระดับความเร็วของการปั่นกวนเป็นระดับ 1 (ระดับต่ำสุด) ระหว่างการปั่นกวนทำการหมุนภาชนะปั่นกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก และใช้ไม้พายช่วยผสมกำจัดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่เมื่อสังเกตว่าน้ำยางที่ทำการปั่นกวนมีฟองอากาศที่มีความสม่ำเสมอเป็นเวลา 10 นาที
- 5) เติมสารละลายกำมะถัน, ZDEC, ZMBT และ Wingstay L ในภาชนะปั่นกวนโดยทำการรีบหมุนภาชนะปั่นกวนแล้วเทสารเคมีลงไปเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้นโดยใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนเดิมเป็นเวลา 1 นาที
- 6) เติม DPG, ZnO รีบหมุนภาชนะปั่นกวน และใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีเป็นเวลา 1 นาที เติม SSF ปั่นกวน 30 วินาที
- 7) ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบเพื่อความสวยงาม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการเซ็ตตัว ดังรูปที่ 3.1c
- 8) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อให้โคมยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์

เอกสารนี้เป็น 9) แกะโคมยางออกจากแม่พิมพ์ Fiber glass ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ (a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง (b) การเติมโฟมทาสีเขียวโอลิเอตสำหรับการปั่นกวน และ (c) เทโฟมยางธรรมชาติพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ

3.2.2 การศึกษาพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านม

3.2.2.1 การศึกษาพัฒนาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

-ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์เป็นปริมาณ 3, 5, 7, 9 และ 11 นาที

3.2.2.2 การศึกษาพัฒนาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

-ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 แต่เปลี่ยนปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เป็น 10, 15 และ 20 phr

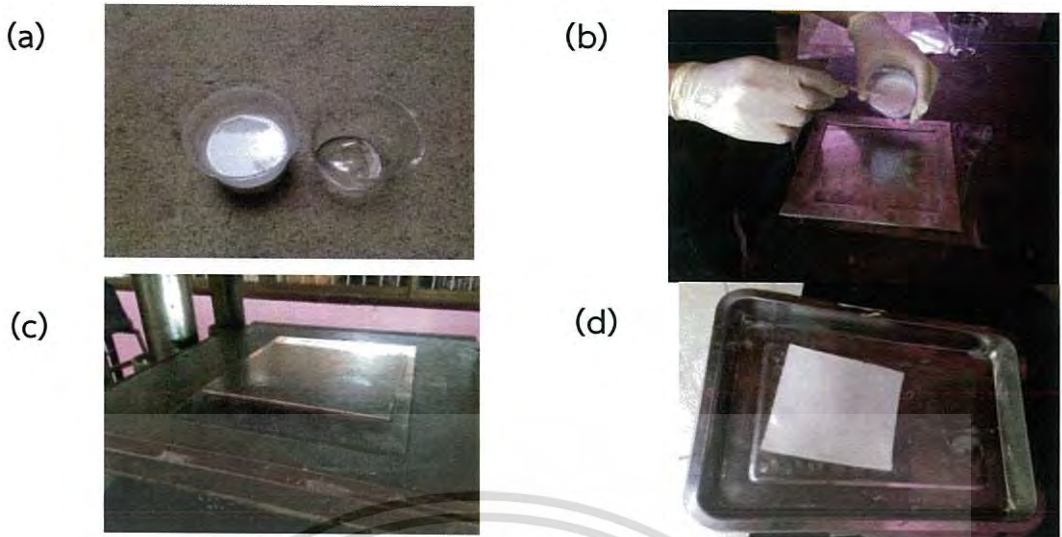
3.2.3 การเตรียมยางซิลิโคน

- 1) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยง ตามตารางที่ 3.2
- 2) ผสมสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคนเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทลงแม่พิมพ์เหล็กสำหรับกดอัดขึ้นรูป (Mold) โดยมีแผ่นใสรองเพื่อความเรียบของชิ้นงานพร้อมทาน้ำยาล้างจาน ดังรูปที่ 3.2b
- 3) นำแผ่นใสปิดยางซิลิโคนด้านบนแล้วตามด้วยแม่พิมพ์แผ่นเหล็กด้านบนแล้วนำเข้าเครื่อง Compression โดยให้ความร้อน 70°C ดังรูปที่ 3.2c
- 4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ได้ชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.2d

ตารางที่ 3.2 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง

สารเคมี	ปริมาตรสารเคมี (phr)
ยางซิลิโคน	100
สารเชื่อมโยง	3, 4, 5
น้ำมันซิลิโคน	20, 30, 40 , 50

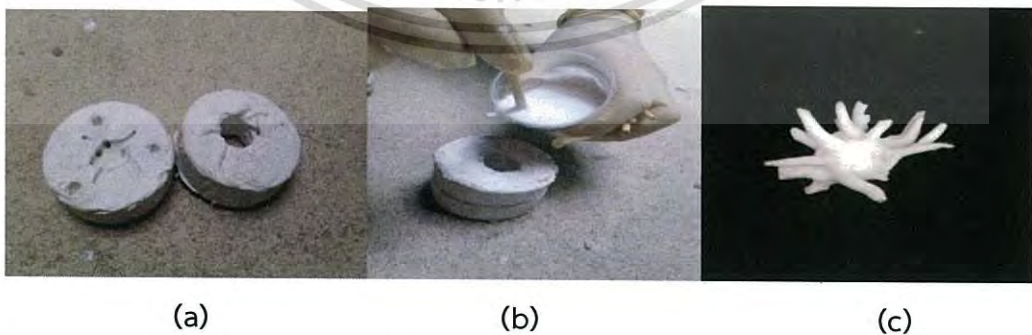
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การเตรียมยางซิลิโคน (a) ยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยง (b) ผสมสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคน (c) นำเข้าเครื่อง Compression molding และ (d) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการกดอัด

3.2.4 การเตรียมก้อนของแข็งด้วยยางซิลิโคนแทนก้อนมะเร็ง, ซีสต์และเนื้องอก-การเตรียมก้อนมะเร็ง

- 1) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยง ตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr
- 2) ใช้น้ำยาล้างจาน (Mold release) เทใส่แม่พิมพ์ด้านที่ต้องการเทยางซิลิโคน ดังรูปที่ 3.3a
- 3) ประคบแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้วผสมยางซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงเป็นเวลา 1 นาที เทยางซิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วเข้าแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 3.3b
- 4) ตั้งทิ้งไว้ให้ยางซิลิโคนแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง 1 ชม. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 5) เปิดแม่พิมพ์ออกแกะชิ้นงานด้วยความระมัดระวัง (เนื่องจากชิ้นงานค่อนข้างมีความซับซ้อน) ดังรูปที่ 3.3c



รูปที่ 3.3 การเตรียมก้อนมะเร็ง (a) ใช้น้ำยาล้างจานทาแม่พิมพ์ก้อนมะเร็ง (b) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (c) แบบจำลองก้อนมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-การเตรียมซิสต์และเนื้องอก

- 1) ชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 20 phr (เนื้องอก), 50 phr (ซิสต์) ตามตารางที่ 3.2
- 2) ทำการผสมยางซิลิโคนและน้ำมันซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงแล้วเทเข้าถุงมือยาง ดังรูปที่ 3.4a
- 3) ใช้ยางวงลัดยางซิลิโคนที่เทลงไปให้เป็นรูปทรงกลมที่บริเวณนิ้วของถุงมือยางอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีพร้อมปลดชิ้นงานออกจากถุงมือ ดังรูปที่ 3.14
- 4) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยงดังตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr ทารอบยางซิลิโคนก่อนกลม (เฉพาะซิสต์)



รูปที่ 3.4 การเตรียมซิสต์และเนื้องอก (a) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุงมือยาง (b) ลัดถุงมือด้วยยาง และ (c) แบบจำลองซิสต์ และเนื้องอก

3.2.5 การศึกษาสมบัติของยางซิลิโคน

3.2.5.1 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคน

- ทำการทดลองเหมือน 3.2.3 เพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้ ดังตารางที่ 3.2
- ความแข็งแรงดึง - มอดุลัส 100
- การยืด ณ จุดขาดลดลง - ความแข็งแรงกด
- ความแข็งแรงฉีกขาด

3.2.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคน

- ทำการทดลองเหมือน 3.2.3 และเตรียมสารดังตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr

3.2.6 การทดลองฝังก้อนของแข็งทำจากยางซิลิโคนแทน ก้อนมะเร็ง, ซิสต์ และเนื้องอก

- ทำการทดลองเหมือน 3.2.4 แต่เปลี่ยนขนาดแม่พิมพ์ 2 ขนาด 1 และ 2 เซนติเมตร

3.2.7 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน

3.2.7.1 การทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

- 1) ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยง และน้ำมันซิลิโคน ตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 40 phr ทาที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านมโดยทาสีที่เข้มกว่าบริเวณหัวนม และทาโทนสีที่อ่อนกว่าบริเวณเต้านม ดังรูปที่ 3.5
- เพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การทายางซิลิโคนที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

- 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C 2 ชั่วโมง
- 3) ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 และทำการเทโฟมยางธรรมชาติลงแม่พิมพ์ที่ทำการทายางซิลิโคน

3.2.7.2 การหล่อแบบสลัซซ์

- 1) ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนที่มีสีเข้มกว่าบริเวณเต้านมตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 40 phr ทำการผสมแล้วทายางซิลิโคนบริเวณหัวนม
- 2) ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โทนสีอ่อนกว่าบริเวณหัวนม และสารเชื่อมโยงแล้วเทลงบนแม่พิมพ์ให้ความหนาตามต้องการถ้ามียางซิลิโคนมากไปใช้วิธีการตักออกแล้วกลิ้งให้ยางซิลิโคนกระจายเรียบไปกับแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การหล่อแบบสลัซซ์

- 3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เพื่อเร่งการเชื่อมโยงและอบที่อุณหภูมิ 100°C
- 4) ทำการทดลองเหมือน 3.2.1 และทำการเทโฟมยางธรรมชาติลงแม่พิมพ์ลงบนแม่พิมพ์ที่หล่อแบบด้วยวิธีสลัซซ์

3.2.7.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเป็นตัวกด

- 1) นำแม่พิมพ์ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C
- 2) ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนโทนสีเข้มกว่าบริเวณเต้านมตามตารางที่3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 40 phr ทาบนบริเวณหัวนม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โตนสีอ่อนกว่าบริเวณหัวนมและสารเชื่อมโยงแล้วทาบริเวณเต้านม (ขั้นที่ 1) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C 15 นาที ทำการทาขั้นที่ 2 นำไปอบ 15 นาที

4) เทยางซิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วลงแม่พิมพ์ตามด้วยแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติกดทับยางซิลิโคนให้กระจายตัวทั่วแม่พิมพ์ใช้น้ำหนักกด 3 กิโลกรัม เป็นตัวกดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกอบโดยใช้แบบจำลองมะเร็งเต้านมโคมยางธรรมชาติเป็นตัวกด

3.3 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

3.3.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอก (ยางซิลิโคน)

- การทดสอบสมบัติการรับแรงดึง (Tensile test)

หาค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength), ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ตามมาตรฐาน ASTM D 412 [50] โดยใช้เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ เตรียมชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล ความหนา 2 mm วิธีเตรียมดังตารางที่ 3.2 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 cm³ แล้วนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และคำนวณความหนาแน่นของยางพองน้ำ จากสูตร

$$D = M / V$$

โดยที่ D คือความหนาแน่น (g/cm³)

M คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g)

V คือปริมาตรของชิ้นงาน (cm³)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1425-2540 [51] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ที่นอนยางพองน้ำลาเท็กซ์ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ (t_1) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปวางในชุดทดสอบ แล้วเลื่อนแผ่นชุดทดสอบทั้งสองเข้าหากัน จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกกดจนมีความหนาลดลง 50% ของความหนาเดิม ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบออกจากชุดทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_2) นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาการจัดตัวจากแรงอัด จากสูตร

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

โดยที่ t_1 คือความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (cm)

t_2 คือความหนาของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (cm)

t_n คือความหนาของแท่งเหล็กกัน (cm)

3) การทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 2240 [52] โดยเตรียมชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $12 \times 12 \text{ cm}^2$ และทดสอบชิ้นงานที่ความหนา 6 cm โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกด Shore OO ใช้น้ำหนักกด 464.5 กรัม กดเป็นเวลา 5 วินาทีก่อนอ่านค่า โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดห่างกันอย่างน้อย 0.6 mm

4) การทดสอบการหดตัว (Shrinkage)

การทดสอบการหดตัวของชิ้นงานโดยเตรียมชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $12 \times 12 \times 7 \text{ cm}^3$ โดยปล่อยให้ชิ้นงานหดตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วนำมาวัดขนาดการหดตัวของชิ้นงาน

$$\text{เปอร์เซ็นต์การหดตัว} = [(A-B)/A] \times 100$$

โดย A แทนเส้นผ่านศูนย์กลางของแม่พิมพ์ (cm)

B แทนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นพองน้ำ (cm)

5) การทดสอบสัณฐานวิทยา

ศึกษาขนาดและความสม่ำเสมอของฟองของโฟมยางธรรมชาติโดยเตรียมชิ้นงานขนาด $10 \times 50 \times 3 \text{ mm}^3$ ไปแช่ในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 30 นาที แล้วหักชิ้นงานที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) จากนั้นนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปเคลือบทองคำแล้วทำการศึกษาชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาสูตรโพลีเอทิลีนเพื่อขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยศึกษาปัจจัยบางประการ เช่น เวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ให้แบบจำลองมีความนิ่มเหมือนจริงรวมถึงการฝังก้อนมวล ได้แก่ ก้อนมะเร็ง, เนื้องอก และก้อนซิสต์มีการพัฒนาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพลีเอทิลีนด้วยยางซิลิโคนเพื่อให้แบบจำลองมีความสวยงามมากขึ้น

4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของโพลีเอทิลีน

4.1.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

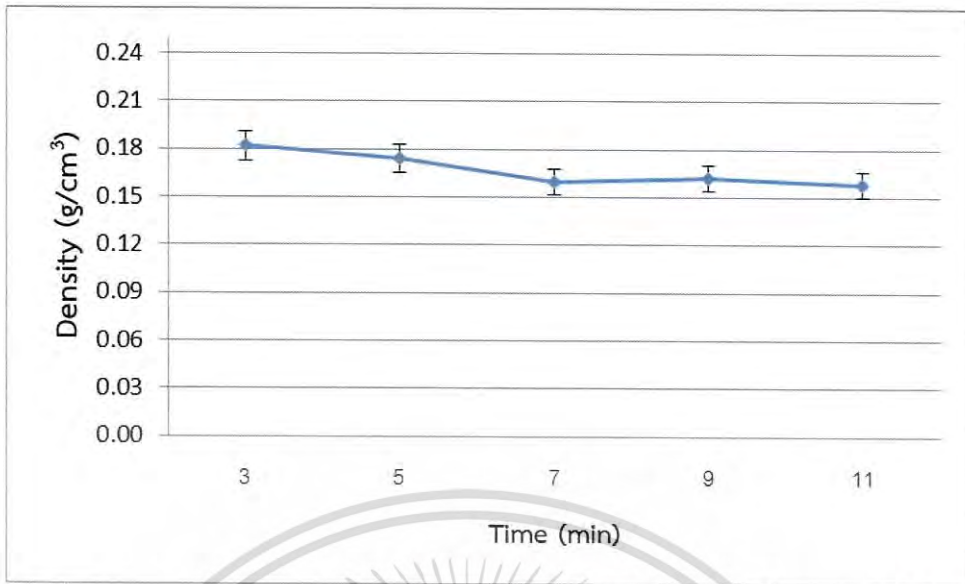
จากการศึกษาผลของเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้นความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนลดลง ดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากอากาศสามารถแทรกเข้าไปในโพลีเอทิลีนได้มากขึ้นหรือเกิดฟองได้มากขึ้นมีขนาดฟองเล็ก ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) ลดลง ดังรูปที่ 4.2 และสัมพันธ์กันกับค่าความแข็ง คือ เมื่อความหนาแน่นลดค่าความแข็งลดลง อย่างไรก็ตามเวลาการปั่นกวนที่น้อยเกินไปได้ฟองขนาดใหญ่มีความเสถียรน้อย อาจแตก หรือฟองมารวมกันทำให้ความแข็งแรงของผนังฟองมีน้อยจึงมีค่าความแข็งลดลง และเมื่อผนังฟองมีความแข็งแรงมากขึ้นค่าความแข็ง เพิ่มขึ้นที่เวลาการปั่นกวน อิมัลซิไฟเออร์ 5 นาทีแล้วลดลงเมื่อเวลาการปั่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากได้ฟองขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้เวลากการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน

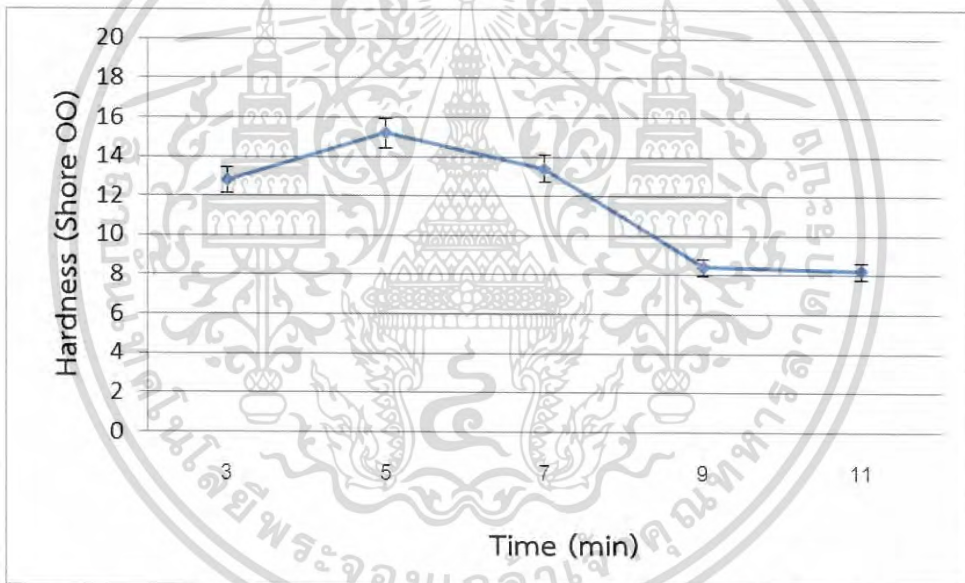
เวลาการปั่นกวน (นาที)	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (SEM)	
	10X	20X
3		
5		
7		
9		
11		

เอกสารนี้เป็นเอกสาร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และต้องขออนุญาตใช้ของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนเทียบกับเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์

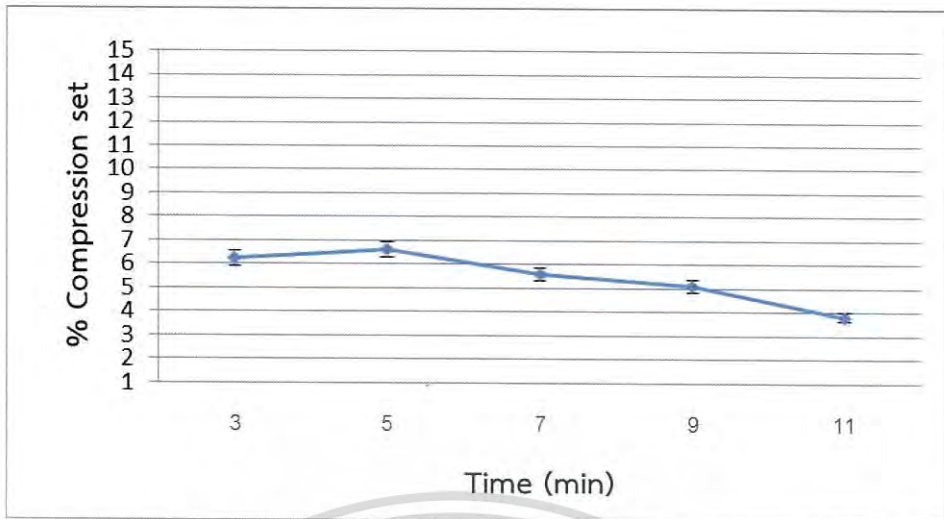


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโพลีเอทิลีนเทียบกับเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์

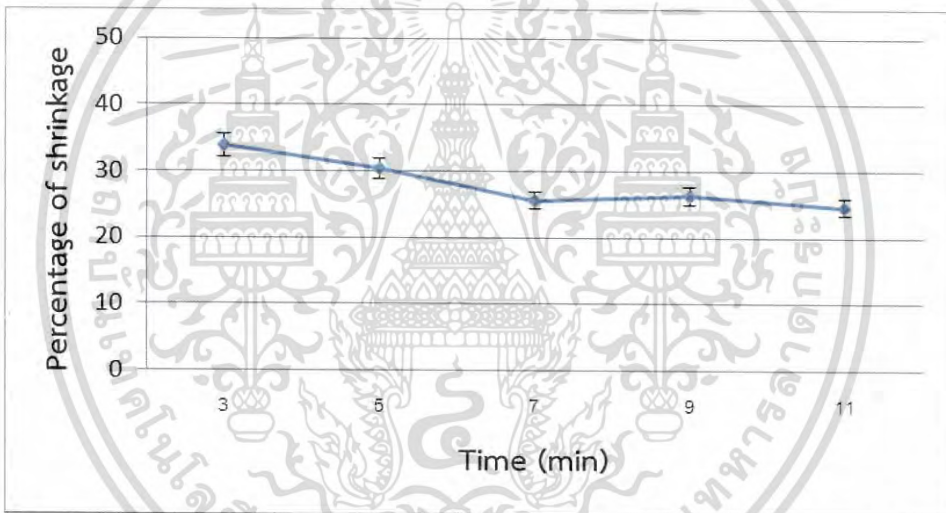
จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีแนวโน้มคงที่ ดังรูปที่ 4.3 เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการปั่นทำให้ฟองขนาดเล็กส่งผลให้ผนังของฟองมีโอกาสบางกว่าผนังของฟองที่มีขนาดใหญ่ ดังตารางที่ 4.1 ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมโยงยางสามารถแพร่เข้าไปทำให้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังสามารถคงรูปฟองยางได้ดี มีเปอร์เซ็นต์การหดตัวลดลง ดังรูปที่ 4.4 เนื่องจากการหดตัวของโพลีเอทิลีนเกิดจากการระเหยของน้ำแต่เมื่อมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพฟองยางสามารถคงรูปได้ดีมีการหดตัวที่ลดลง

จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจจะเร่งเต้านมจากโพลีเอทิลีน คือ 9 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการปั้นกวนอิมัลซิไฟเออร์



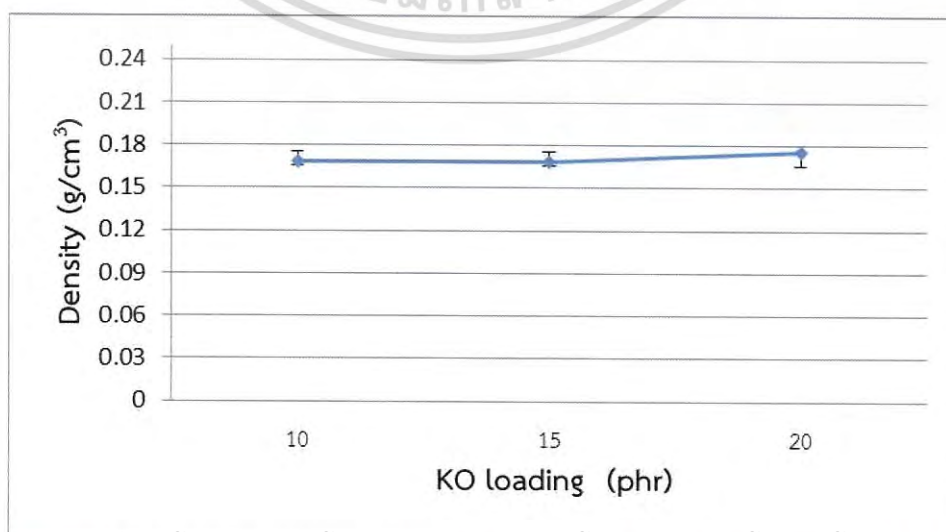
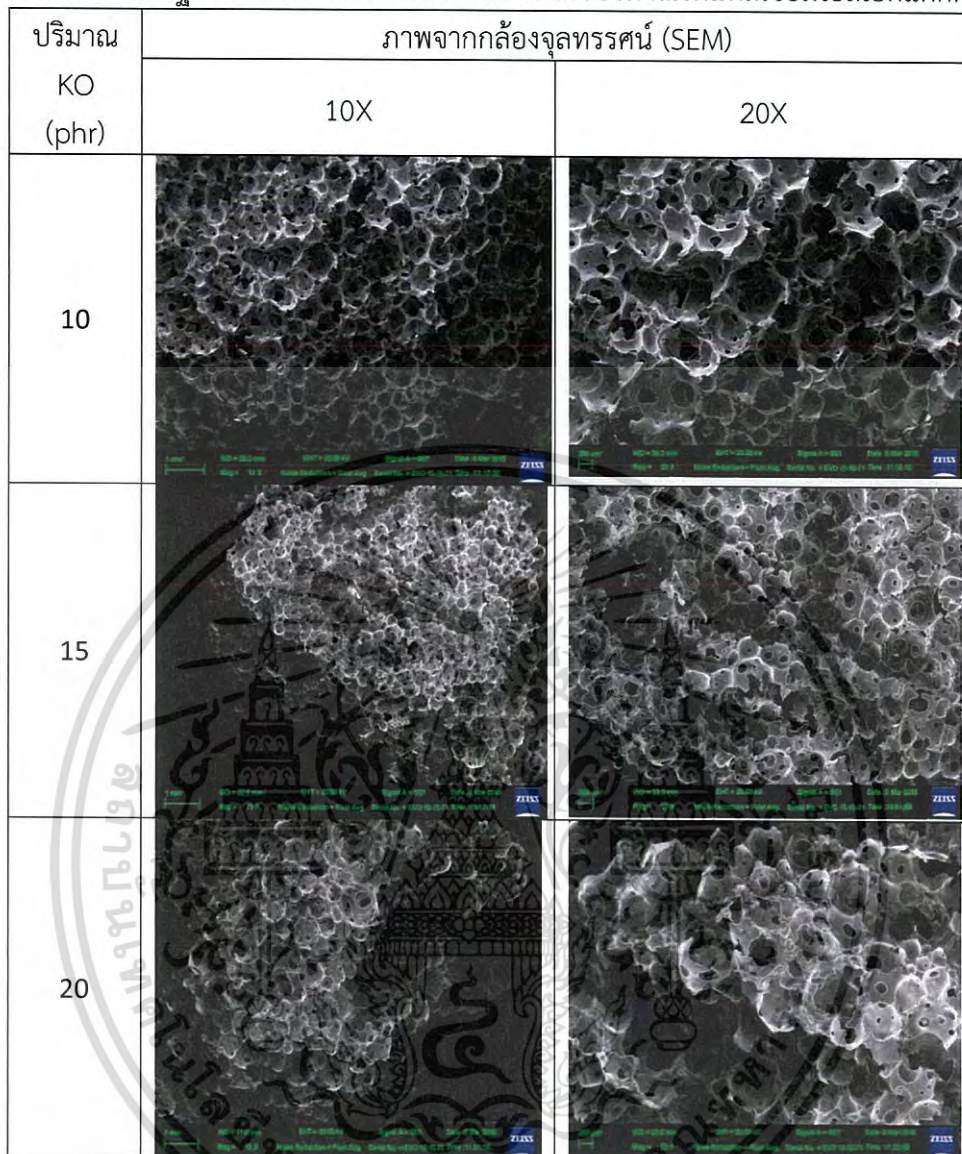
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หดตัวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการปั้นกวนอิมัลซิไฟเออร์

4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

จากการศึกษาปริมาณอิมัลซิไฟเออร์พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตค่าความหนาแน่นของโฟมยางมีแนวโน้มคงที่ ดังรูปที่ 4.5 จากการทดลองเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์จาก 10 phr เป็น 15 phr ค่าความแข็งโฟมยางลดลง ดังรูปที่ 4.7 เนื่องจากที่ปริมาณ 10 phr อาจมีปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่เพียงพอต่อการทำให้ฟองยางเกิดความเสถียร ฟองยางจึงมีโอกาสที่จะแตกมารวมกันได้เกิดการกระจายตัวของฟองไม่ดีทำให้มีความแข็งที่สูงกว่าที่ปริมาณ 15 phr และเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตเป็น 20 phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากมีปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่มากเกินไป ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโพแทสเซียมโอเลตเป็น 2 ชั้น (Bilayers) ดังรูปที่ 4.6 [27] ซึ่งทำให้ความเสถียรของฟองยางลดลง และแตกออกเป็นบางส่วนในโฟมยาง ดังตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งจึงเพิ่มสูงกว่าที่ปริมาณ 15 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

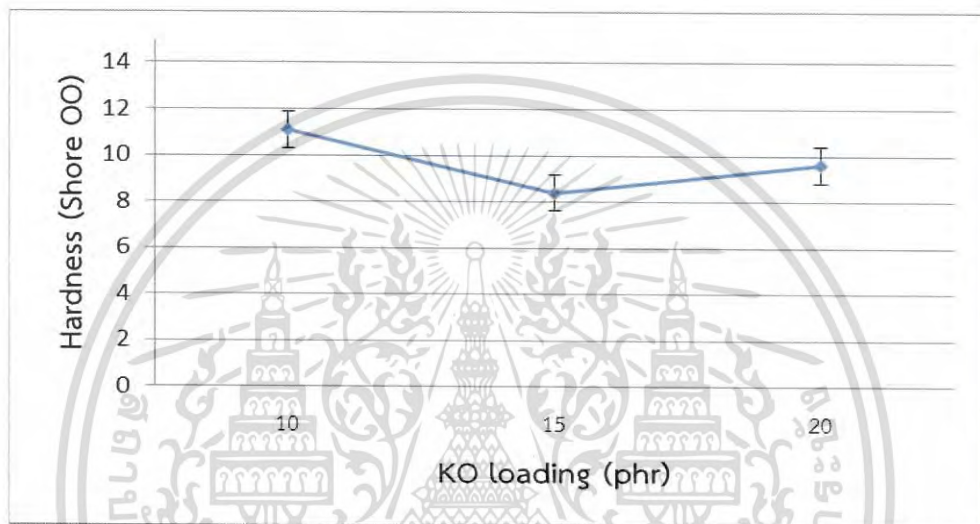
ตารางที่ 4.2 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตแตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ กรุงเทพมหานคร
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

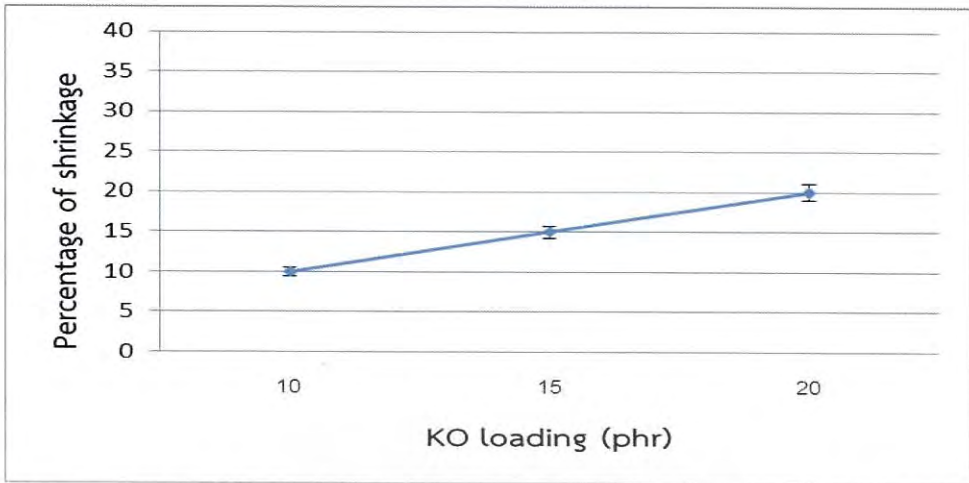


รูปที่ 4.6 การจัดเรียงตัวของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชั้น (Bilayers) [27]

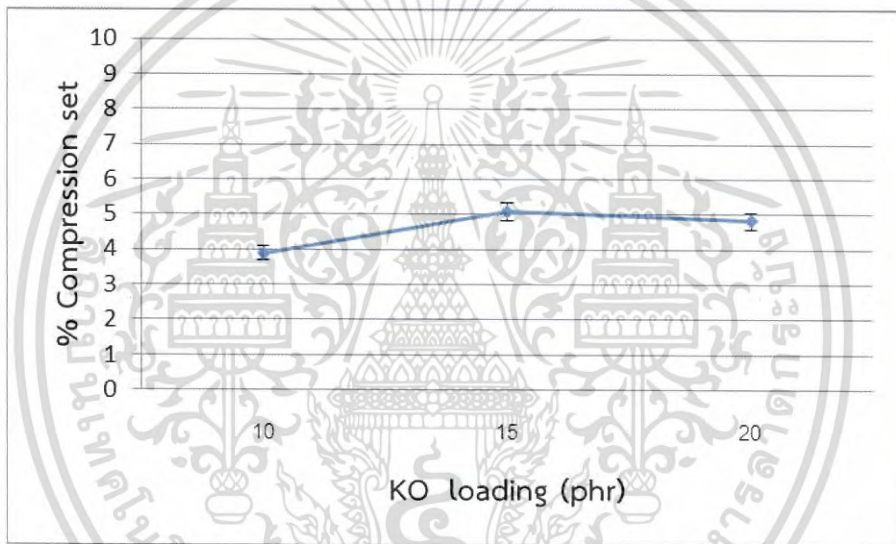


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโพลียเอทิลีน เททราฟลูออไรด์เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ หรือโพแทสเซียมโอเลตค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.8 เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์มีส่วนประกอบของน้ำ 90% การเพิ่มอิมัลซิไฟเออร์จึงเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มน้ำลงไปมากขึ้น ทำให้น้ำระเหยได้มากยิ่งขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีแนวโน้มคงที่



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลียเอทิลีนเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโพลียเอทิลีนเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน

จากการศึกษาสูตรโพลียเอทิลีนพบว่าสูตรที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง และตรงกับความต้องการของแพทย์มากที่สุด ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นสูตรที่มีความแข็งประมาณ 8 (Hardness Shore OO)

ตารางที่ 4.3 สูตรโพลียเอทิลีนที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม จากโพลียเอทิลีนที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักเปียก (g)	เวลาในการปั่น (min)	ระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่น
60 % น้ำยางชั้น (NR-LA)	167.0	9	1
10 % โพลีเอทิลีนโอลิเอต	15.0		
50 % กำมะถัน	2.0		
50 % ZDEC	2.0		
50 % ZMBT	2.0	1	
50 % Wingstay L	2.0		
50 % ZnO	10.0	1	
33 % DPG	4.0		
12.5 % SSF	6.0	0.5 วินาที	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

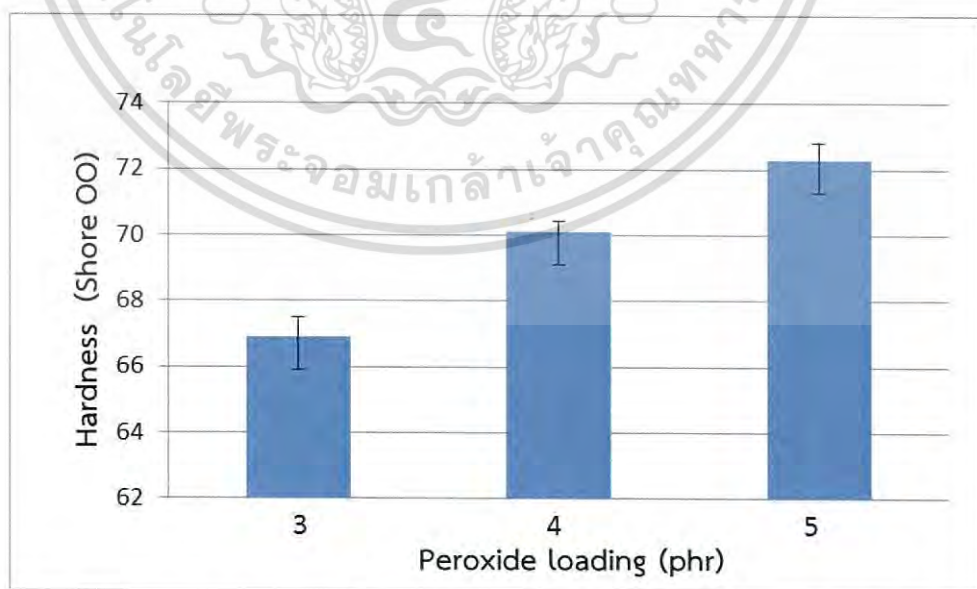
4.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางซิลิโคน

ทำการศึกษาสมบัติยางซิลิโคนโดยศึกษาปัจจัยบางประการ เช่น ปริมาณสารเชื่อมโยง และปริมาณของน้ำมันซิลิโคนเพื่อนำไปพัฒนาวิธีการขึ้นรูปผิวเคลือบยางซิลิโคนกับแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติให้มีความสวยงาม และแข็งแรง

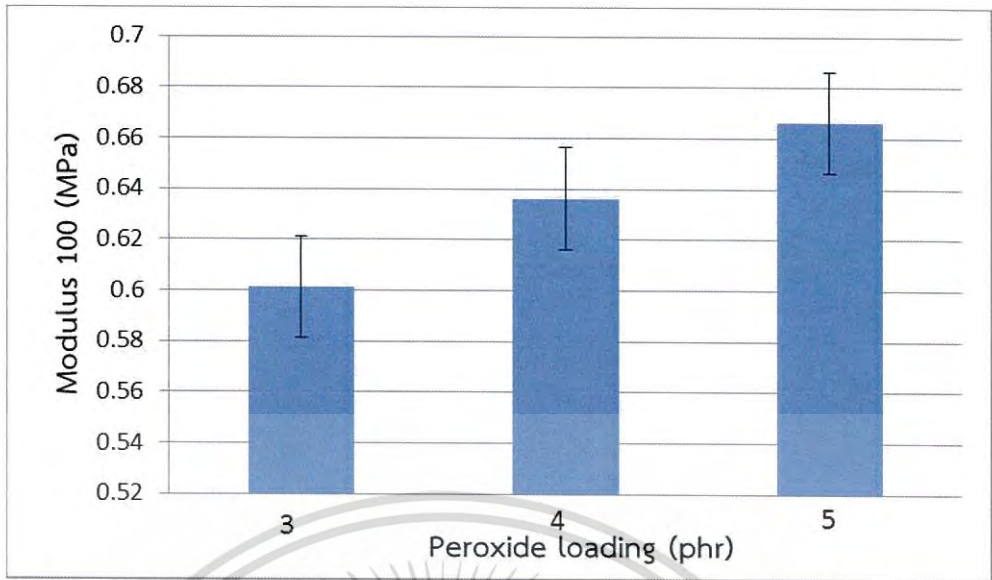
4.3.1 ศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide (3, 4 และ 5 phr)

จากการศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ Peroxide ความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มสูงขึ้น จากผลการทดลองพบว่า ความแข็ง และมอดุลัส (Modulus 100) ของยางซิลิโคนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 เนื่องจากการทดสอบความแข็ง และมอดุลัสเป็นการทดสอบที่ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย เมื่อความหนาแน่นการเชื่อมโยงสูงขึ้น ความสามารถในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุลดลง ความแข็งจึงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.15 ในทางกลับกัน เมื่อปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด (Tear strength) ลดลง ดังรูปที่ 4.12 4.13 และ 4.14 เนื่องจากการทดสอบค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และ ค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด เป็นการทดสอบที่ทำให้วัสดุเสียหาย ดังนั้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นในการเชื่อมโยงที่มากเกินไปทำให้โมเลกุลเกิดการสั้นได้ยากขึ้น ความสามารถในการกระจายแรงจึงลดต่ำลง ส่งผลให้เกิดการเสียหายแบบเปราะ ดังรูปที่ 4.15

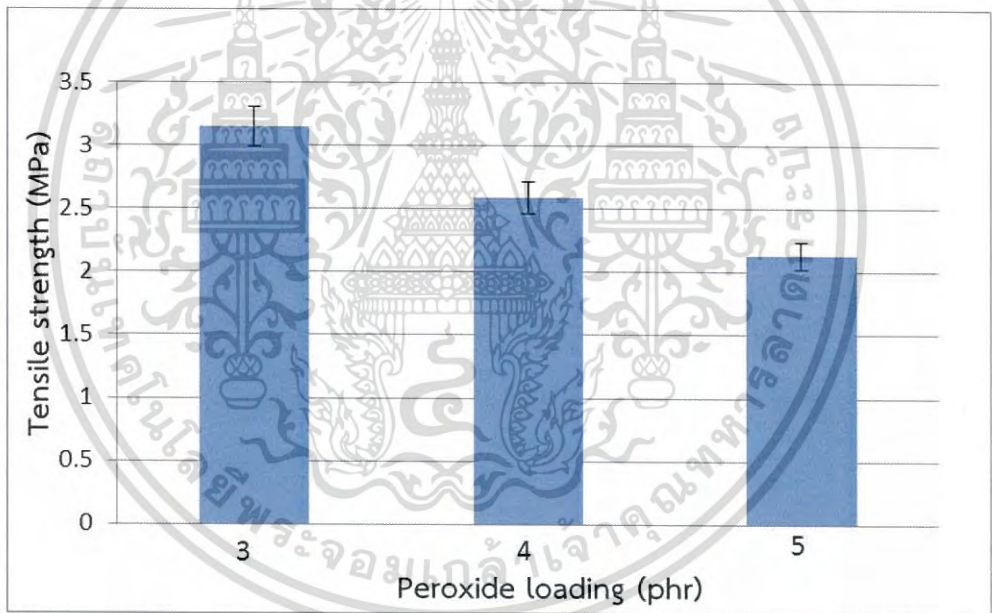
ดังนั้นจากการทดลองพบว่าผลของปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ 3 phr เนื่องจากมีความแข็งแรงมากพอในการขึ้นรูปผิวเคลือบยางซิลิโคน และมีความแข็งน้อยที่สุดตรงตามความต้องการ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของยางซิลิโคนเทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide

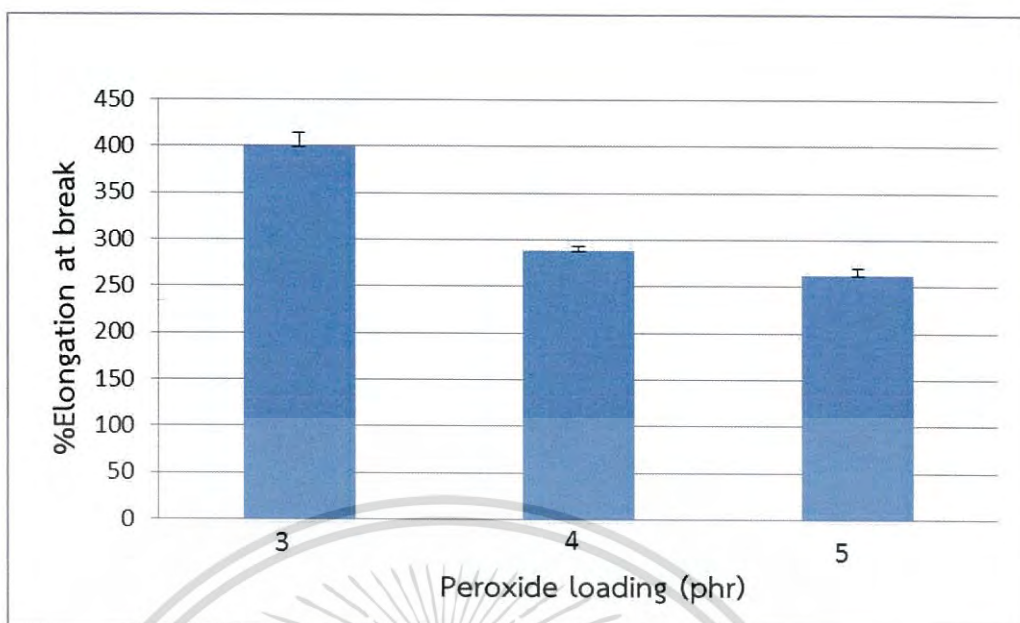


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่ามอดุลัส (Modulus 100) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide

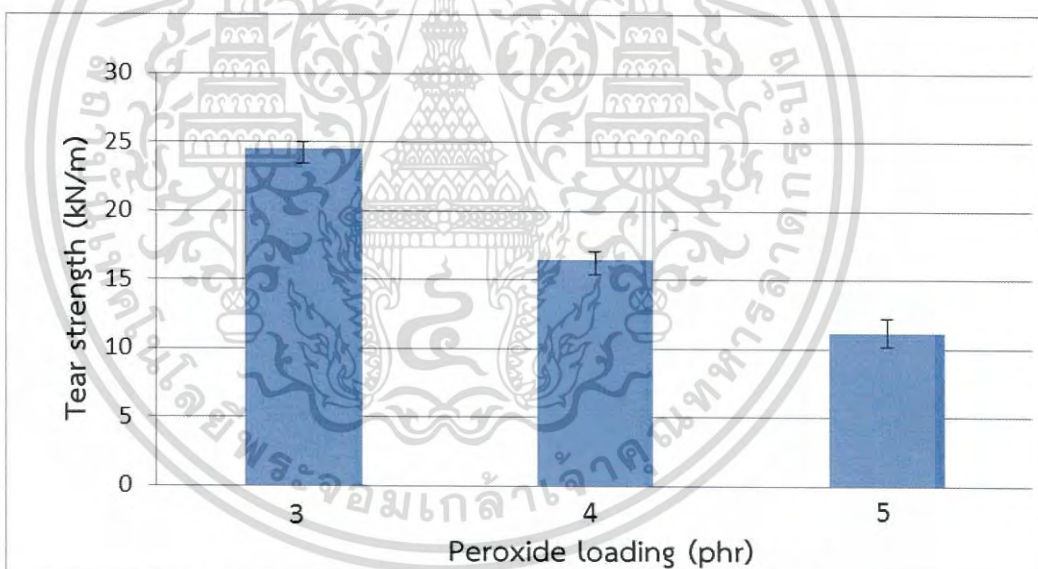


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

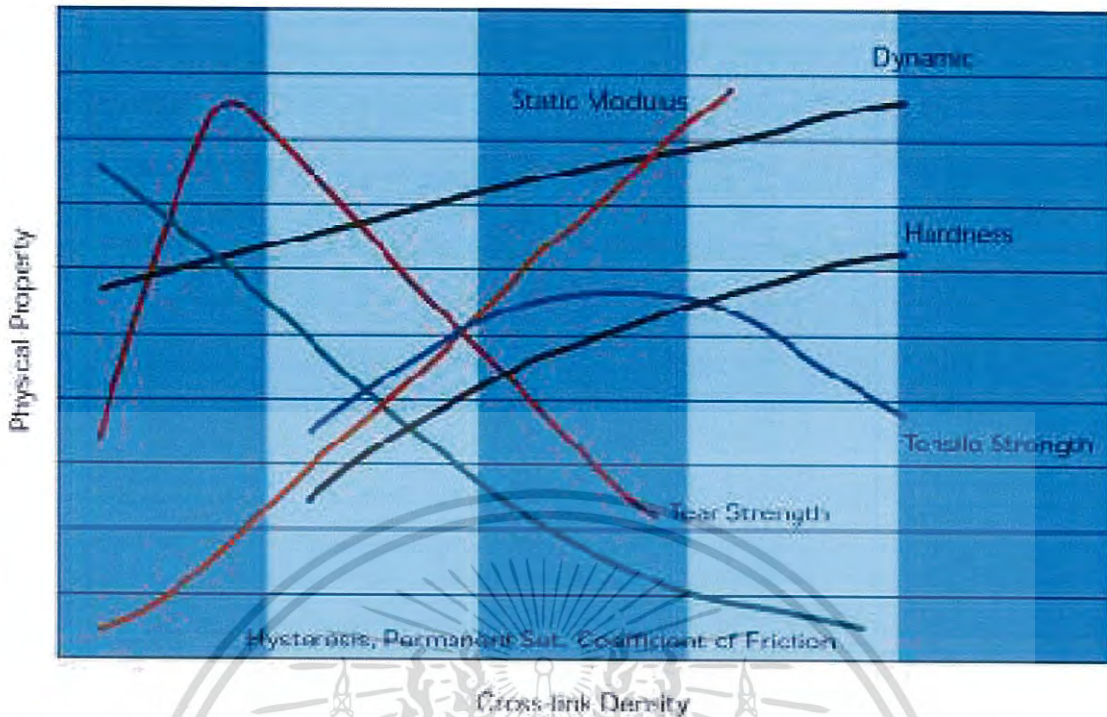


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (Elongation at break) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เทียบกับปริมาณสารเชื่อมโยง Peroxide

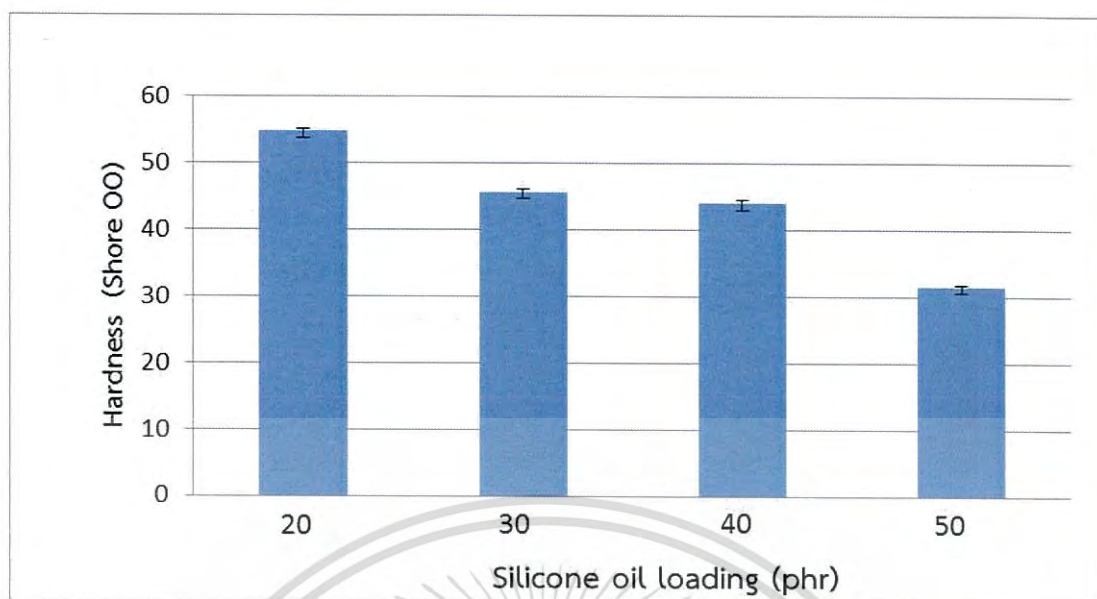
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



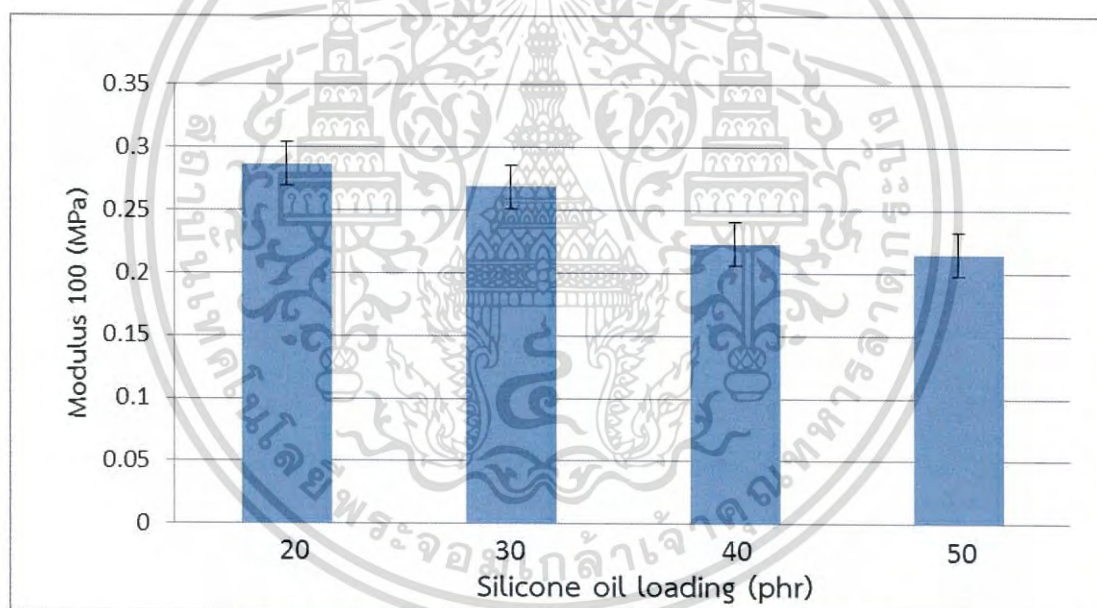
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติทางกายภาพ (Physical property) กับความหนาแน่นการเชื่อมโยง (Cross-link density) [53]

4.3.2 ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน

จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนส่งผลให้ค่าความแข็ง และค่ามอดูลัสลดลง ดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนน้ำหนักโมเลกุลต่ำเข้าไปแทรกระหว่างยางซิลิโคนทำให้ปริมาตรอิสระเพิ่มขึ้นโดยน้ำมันซิลิโคนทำหน้าที่คล้าย Plasticizer ทำให้ยางซิลิโคนเกิดความนิ่มมากขึ้น ทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางซิลิโคนอยู่ห่างกันมากขึ้น การยึดติดกันของสายโซ่ลดลง เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำจึงส่งผลให้รับแรงได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง, ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ดังรูปที่ 4.18- 4.20 แต่เมื่อมีน้ำมันซิลิโคนมากเกินไปทำให้ความสามารถในการละลายของน้ำมันซิลิโคนในยางซิลิโคนลดลง จึงเกิดการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคนสังเกตได้จากเมื่อเพิ่มน้ำมันซิลิโคน 40 phr เป็น 50 phr มีค่าสมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.17-4.20

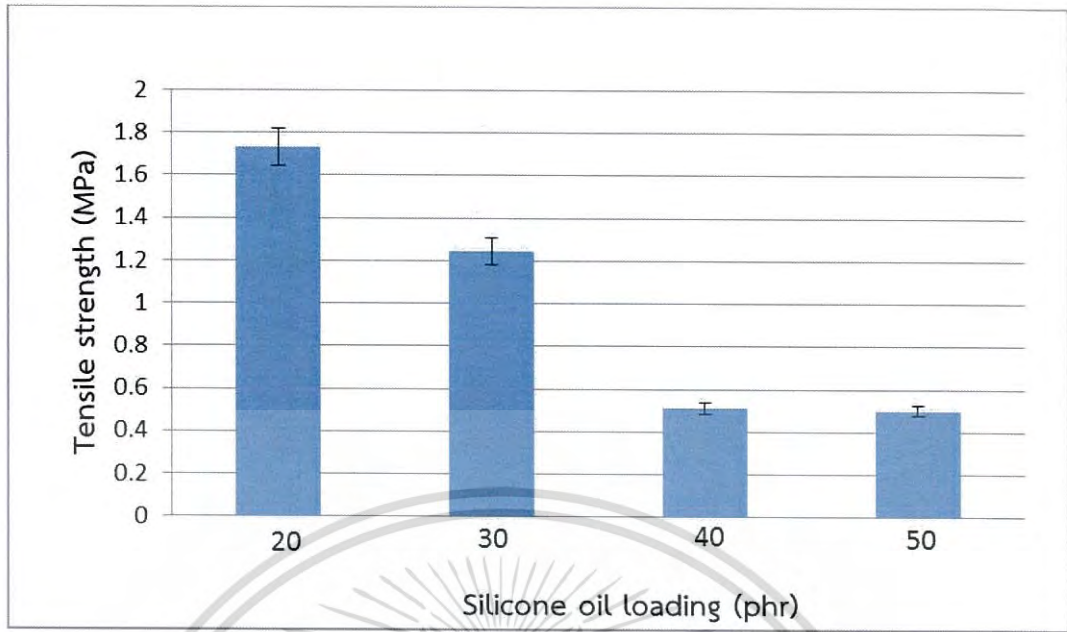


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงค่าความแข็งพื้นผิวเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

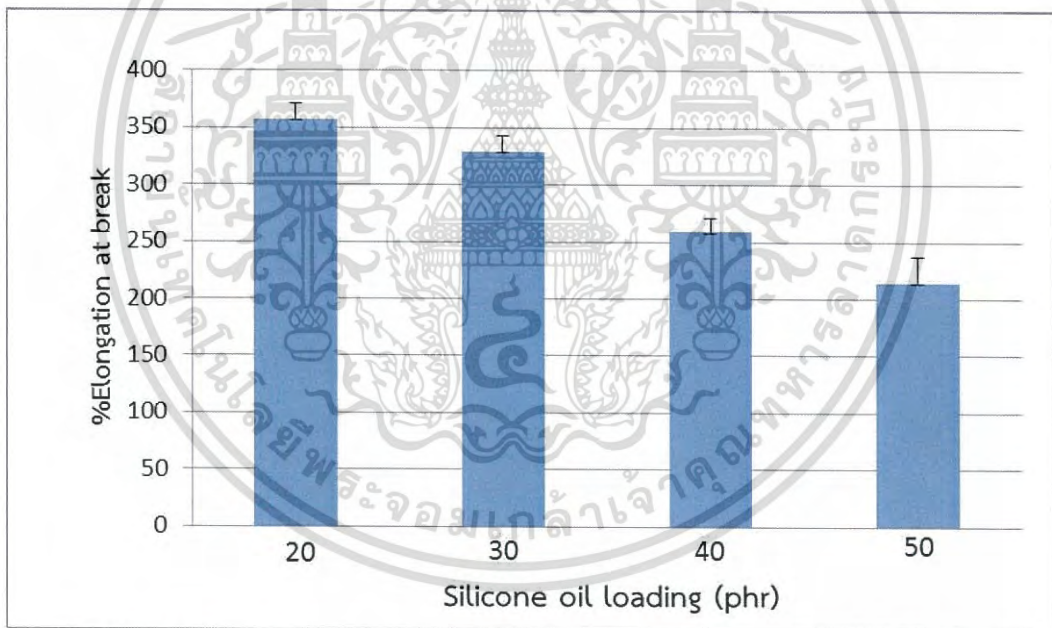


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่ามอดูลัสเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

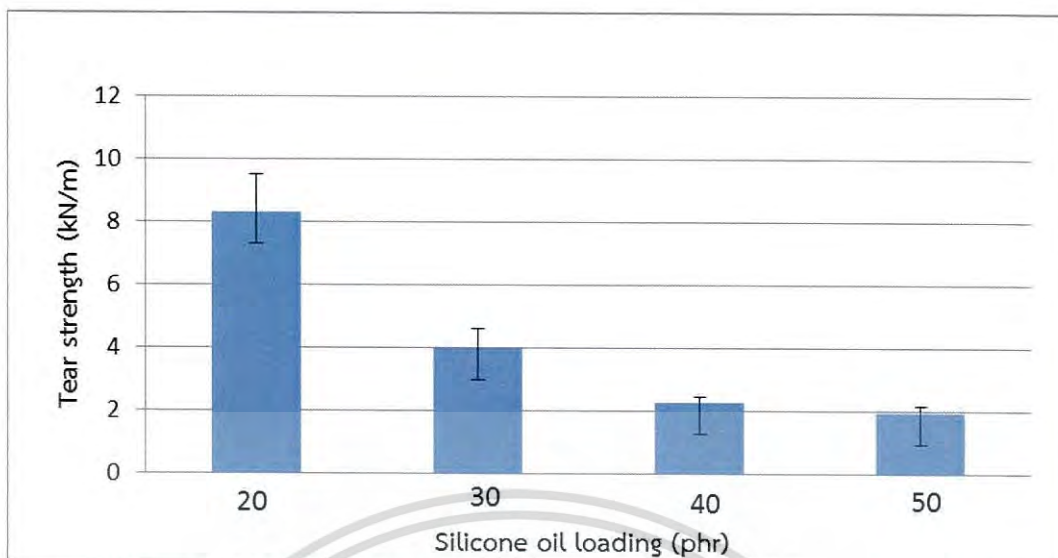


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

4.4 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพลีเอทิลีนด้วยยางซิลิโคน

จากการศึกษาพบว่าโพลีเอทิลีนสามารถเกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ง่ายทำให้ความแข็งแรงเปลี่ยนแปลงจึงมีการทดลองการเคลือบผิวด้วยซิลิโคนเนื่องจากยางซิลิโคนมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเนียนสวยงามมีความยืดหยุ่นสูง และง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์, การหล่อแบบสลัซซ์, การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ประกบเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีความบางสม่ำเสมอเรียบเนียนสวยงาม

4.4.1 การทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

จากการทดลองพบว่าวิธีนี้ได้ชั้นผิวเคลือบยางซิลิโคนที่มีความบางของชั้นผิวไม่สม่ำเสมอมีลักษณะขรุขระซึ่งยากต่อการตรวจคลำ วิธีนี้เป็นการขึ้นรูปแบบจำลองโดยเทโพลีเอทิลีนภายหลังจากทาทายซิลิโคนเพื่อทำผิวเคลือบซึ่งโพลีเอทิลีนมีการหดตัวทำให้ลักษณะเต้านมที่ทำการเคลือบซิลิโคนเกิดการยุบตัวมีลักษณะภายนอกของแบบจำลองเต้านมไม่สวยงาม ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การหล่อแบบสลัซซ์

จากการทดลองพบว่าวิธีการหล่อแบบสลัซซ์ได้ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากยางซิลิโคนมีความเหลวไหลย้อยลงที่ต่ำทำให้ความหนาไม่สม่ำเสมอจึงทำให้ยากต่อการตรวจคลำหาก่อนมวล และเป็นการขึ้นรูปแบบจำลองโดยเทโพนยางธรรมชาติภายหลังการทาทายางซิลิโคนเพื่อทำผิวเคลือบซึ่งโพนยางธรรมชาติมีการหดตัวมีลักษณะภายนอกไม่สวยงามเหมือนวิธีการทาทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการหล่อแบบสลัซซ์

4.4.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโพนยางธรรมชาติเป็นตัวกด

จากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้แม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองโพนยางธรรมชาติเป็นตัวกดได้ชั้นผิวเคลือบซิลิโคนที่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากใช้แบบจำลองโพนยางที่มีการหดตัวเรียบร้อยแล้วเป็นตัวกดเพื่อให้ได้ชั้นความหนาของซิลิโคนตามรูปร่างแม่พิมพ์ และมีการควบคุมความหนาโดยใช้การทาทายางซิลิโคนให้ได้ความหนาตามต้องการกับแม่พิมพ์ 2 mm ตามด้วยเทยางซิลิโคนเพื่อชดเชยส่วนที่ไม่เรียบ ดังรูปที่ 4.23 จึงทำให้วิธีการใช้แม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติเป็นตัวกดนั้นได้ความสม่ำเสมอของชั้นเคลือบเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการเคลือบแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม



รูปที่ 4.23 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโพนยางธรรมชาติเป็นตัวกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติ

เนื่องจากการตรวจมะเร็งเต้านมหรือสิ่งผิดปกติบริเวณเต้านมมีท่าการตรวจดู 2 แบบ คือแบบนอน และแบบยืน จึงมีการพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติจากแบบตั้งโต๊ะเป็นแบบชุดสวมเพื่อให้่ายต่อการใช้งานมากขึ้น ดังรูปที่ 4.24 และสะดวกต่อการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ในการสอนการตรวจคลำเต้านมในท่าลักษณะต่างๆ



(a) แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ (b) แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบชุดสวม
รูปที่ 4.24 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติ

4.6 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เมื่อได้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติที่มีทั้งแบบไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคนและเคลือบด้วยยางซิลิโคน ดังรูป 4.25 ที่มีลักษณะรูปร่าง และความแข็งของแบบจำลองเต้านมพร้อมก้อนมวลที่ทำการฝังด้านในแบบจำลองมีความตรงตามความต้องการของแพทย์ผู้ใช้งาน จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์โรงพยาบาลรามาริบัติ



a) แบบจำลองไม่เคลือบซิลิโคน (b) แบบจำลองเคลือบซิลิโคน
รูปที่ 4.25 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ที่มาผลประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมดังนี้

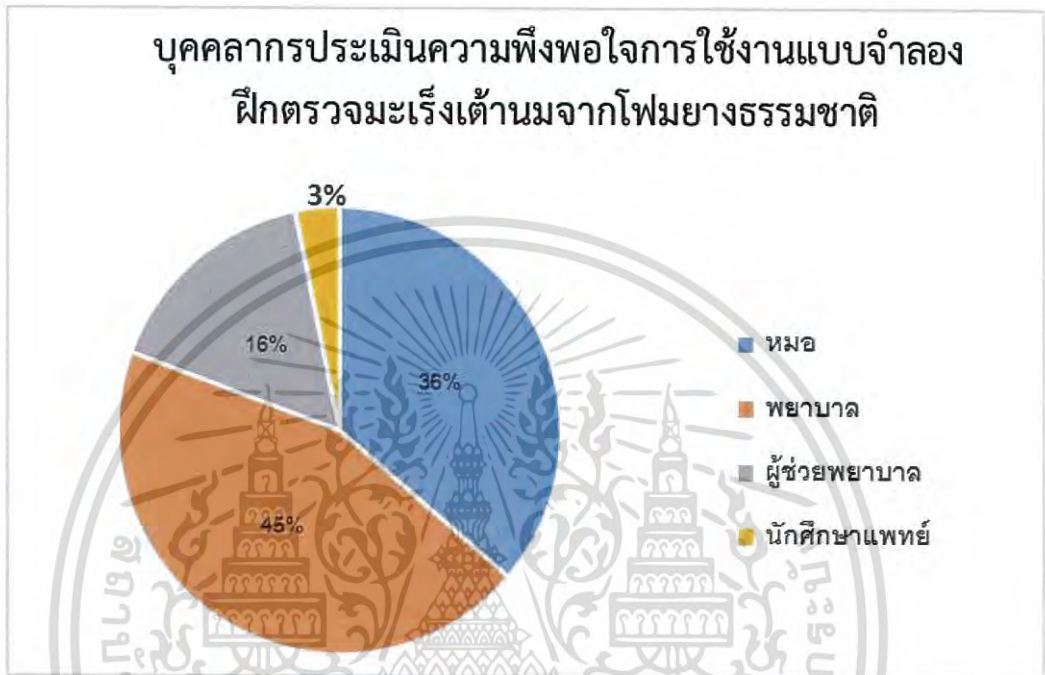
- หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงพยาบาลรามาริบัติ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หอผู้ป่วยไอ.ซี.ยู (ICU) หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

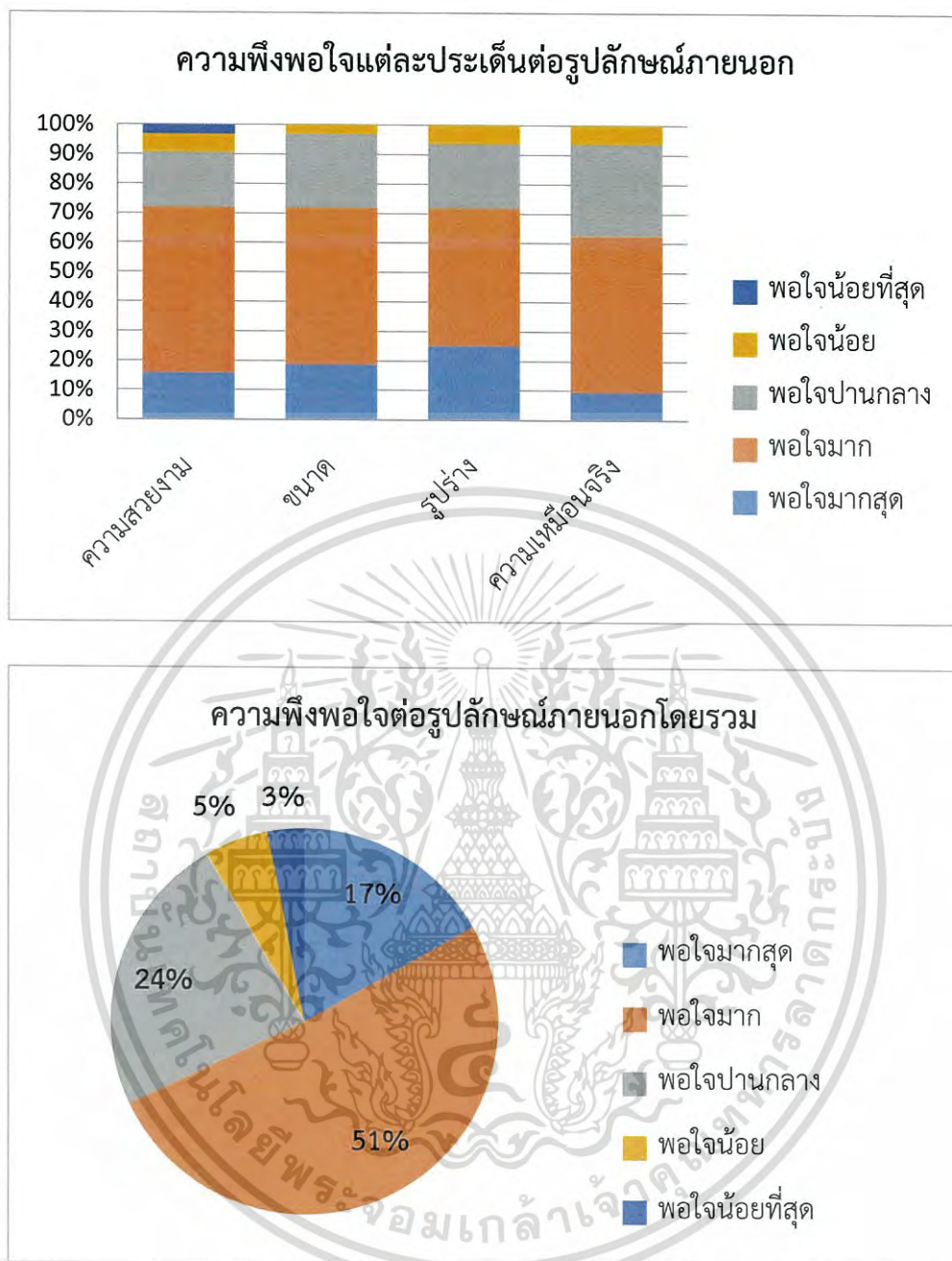
การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์ ดังรูปที่ 4.25 เป็นเพศหญิง 47% และเพศชาย 53% สมรสแล้ว 70% และโสด 30% มีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-40 ปี รวมทั้งหมด 32 คน



รูปที่ 4.26 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์

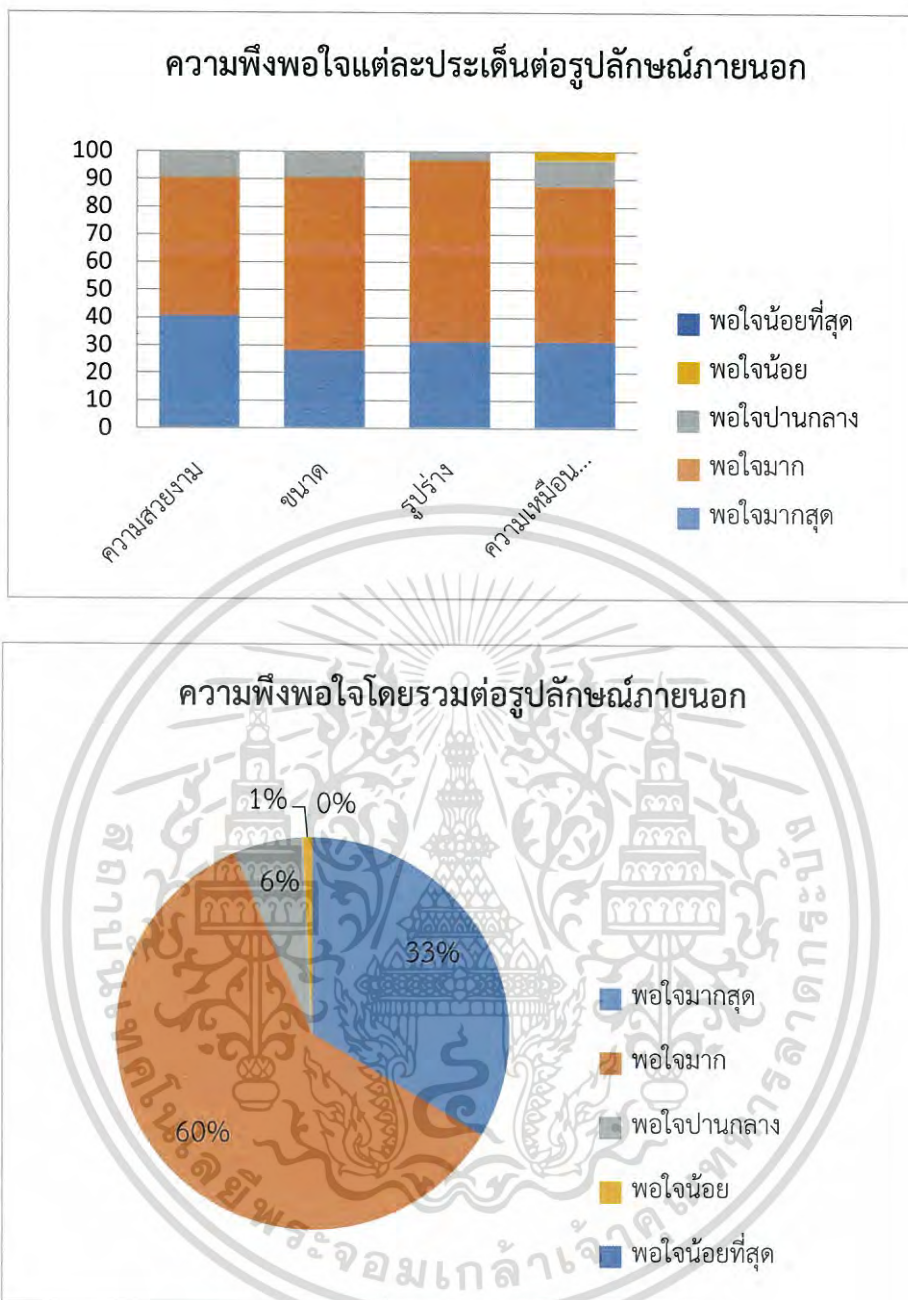
จากการประเมินผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเคลือบซิลิโคนมากกว่าไม่เคลือบซิลิโคน เนื่องจากแบบเคลือบซิลิโคนมีลักษณะภายนอกที่สวยงามมากกว่าใกล้เคียงความเป็นจริง อีกทั้งบุคลากรทางการแพทย์ยังเล็งเห็นถึงความทนทานของแบบเคลือบด้วยซิลิโคน และการเก็บรักษาทำความสะอาดที่ทำได้ง่ายกว่าแบบไม่เคลือบซิลิโคน ดังรูปที่ 4.27 และ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลยางธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

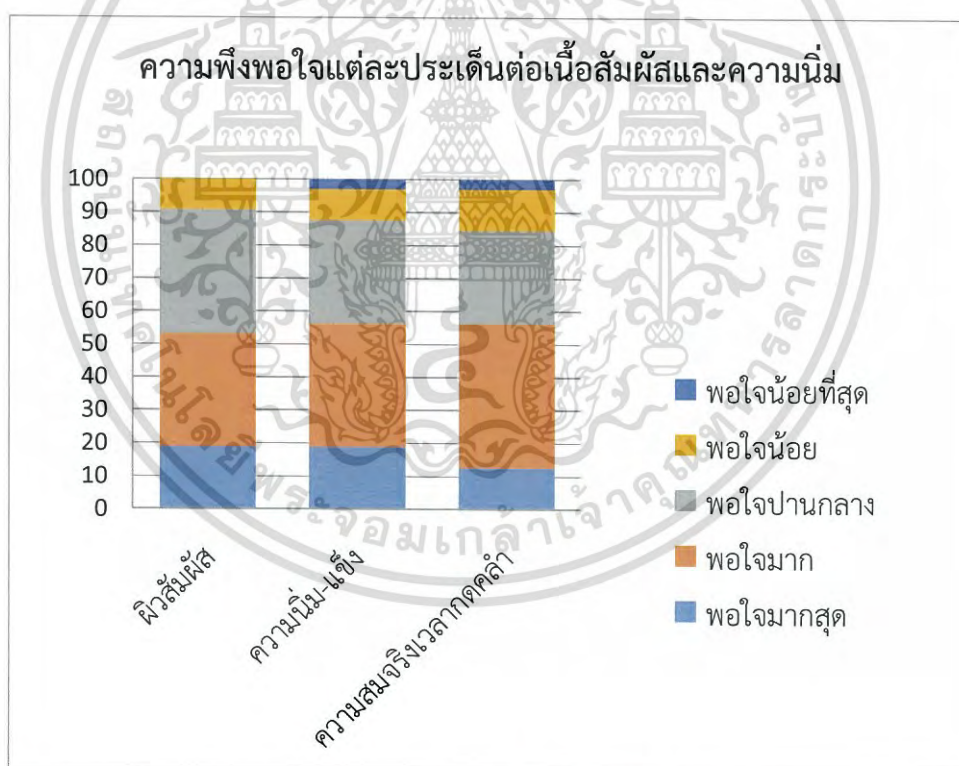
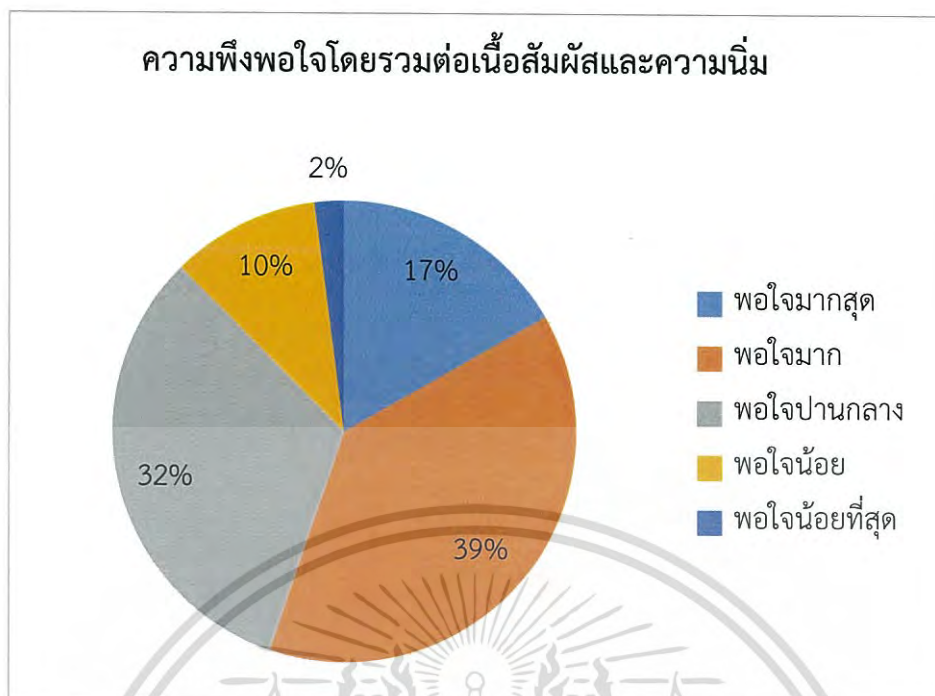
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลยางธรรมชาติเคลือบด้วยยางซิลิโคน

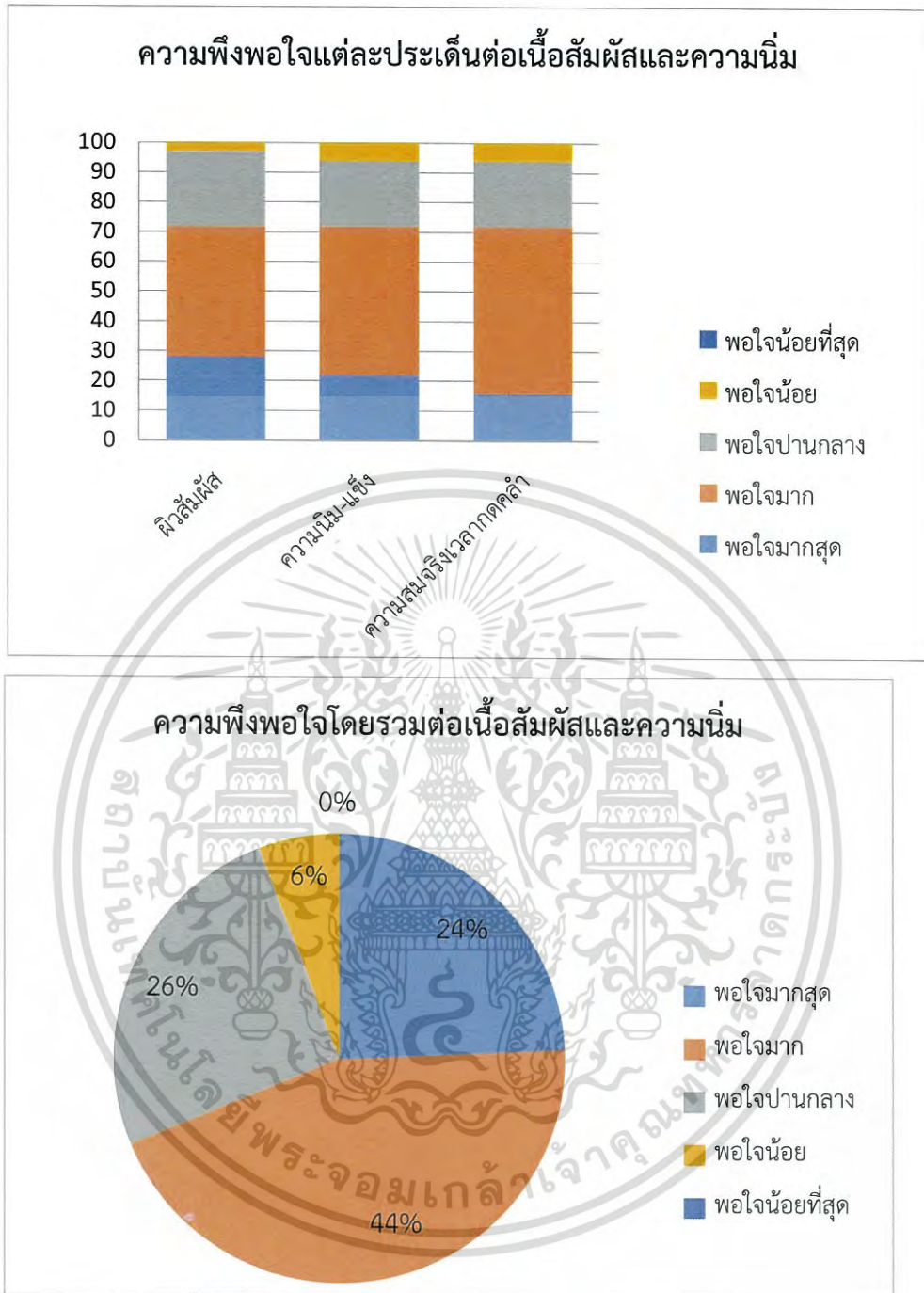
ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัส และความนิ่มแข็งพบว่า บุคลากรทางการแพทย์พอใจกับแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ทำการเคลือบด้วยซิลิโคนมากกว่าแบบไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน เนื่องจากแบบจำลองที่เคลือบด้วยยางซิลิโคนมีความเรียบบริเวณพื้นผิวสัมผัสมากกว่าพื้นผิวโพลยางธรรมชาติแบบไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคนที่มีลักษณะหยาบจึงอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพอใจมากกว่า ดังรูปที่ 4.29 และ 4.30 อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่เคลือบด้วยยางซิลิโคนต้องมีการทาแป้งตลอดเพื่อป้องกันการเหนียวติดมือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อนือสัมผัส และความนิ่มของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

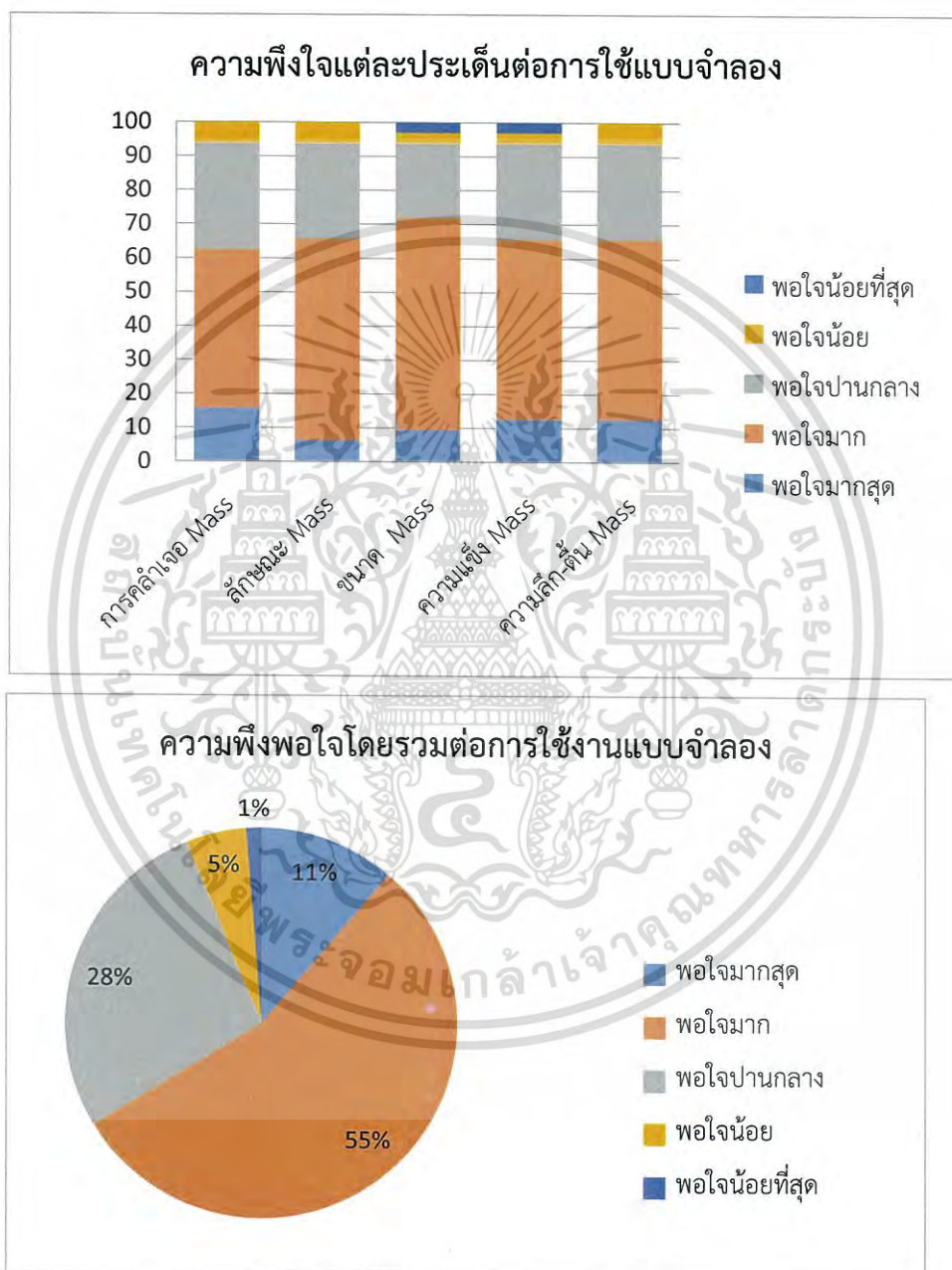
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัส และความนิ่มของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลายเอทิลีนเคลือบด้วยยางซิลิโคน

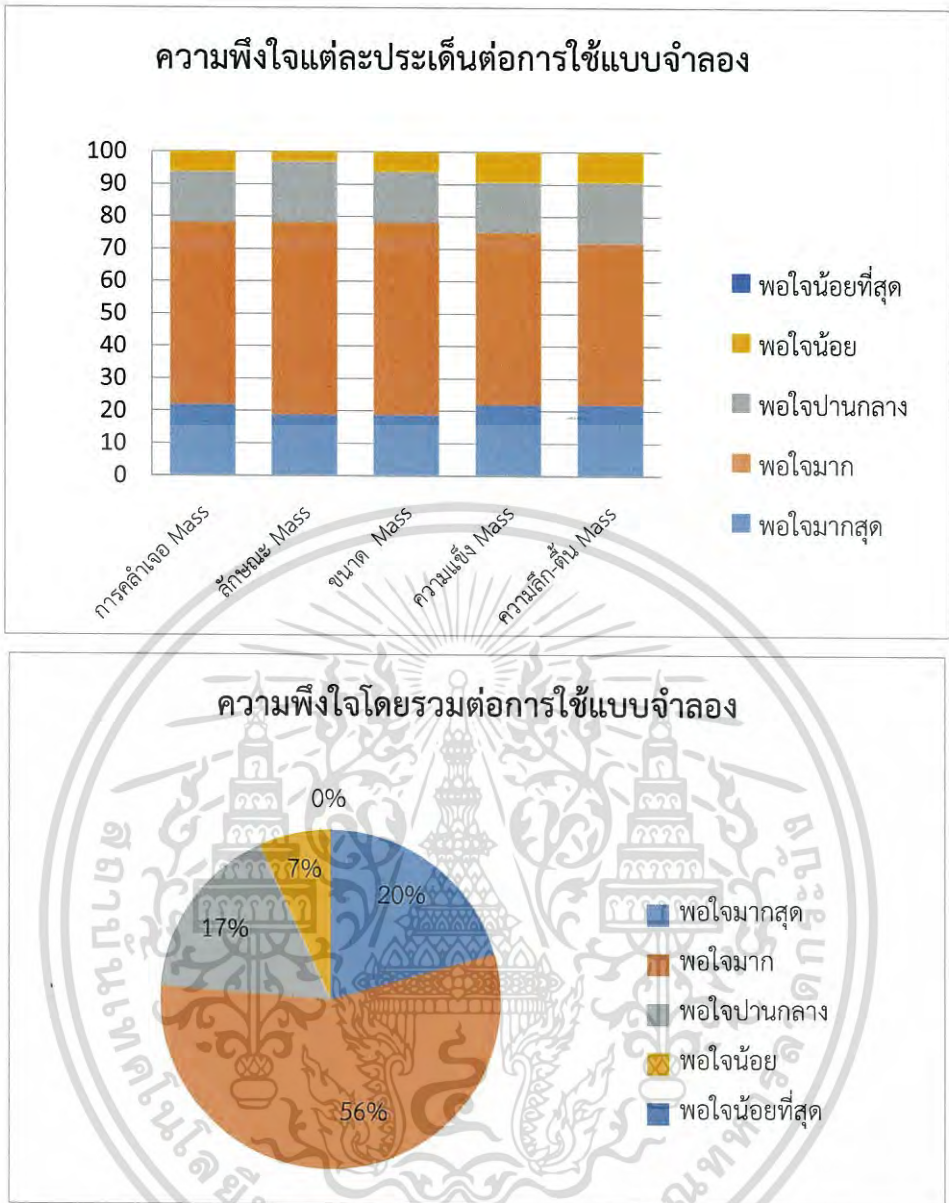
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้แบบจำลองบุคลากรทางการแพทย์สามารถค้นหา ก่อนมวลเจอทั้งแบบเคลือบด้วยยางซิลิโคน และไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน สามารถแยกชนิดของก้อน มวลได้ในบุคลากรทางการแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญมากทั้งขนาดก้อน 1 และ 2 เซนติเมตร ความแข็ง และความสมจริงของมวลลิค-ตันของก้อนมวลอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมากสามารถค้นหาเจอได้ ดังรูปที่ 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.31 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคม ยางธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคม ยางธรรมชาติเคลือบด้วยยางซิลิโคน

จากการประเมินพบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจกับแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็ง เต้านมจากโคมยางธรรมชาติแบบเคลือบยางซิลิโคนมากกว่าแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคม ยางธรรมชาติแบบไม่เคลือบยางซิลิโคน เนื่องจากแบบเคลือบยางซิลิโคนมีความสวยงามมากกว่า และมีผิวสัมผัสที่นุ่ม และสามารถทำความสะอาดได้ง่ายซึ่งง่ายต่อการใช้งานมากกว่าแบบจำลองไม่เคลือบ ยางซิลิโคนที่เป็นผิวของโคมยางธรรมชาติที่สามารถทำความสะอาดได้ยากกว่าอีกทั้งส่วนที่เป็นโคม ยางธรรมชาติเมื่อเวลาผ่านไปจะมีสีของโคมยางที่เปลี่ยนไปเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพเป็นสีเหลืองหรือ น้ำตาลทำให้ดูไม่สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การวิเคราะห์ต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์ต้นทุนของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน การวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบไม่รวมถึงค่าเครื่องมืออุปกรณ์อื่นๆ ดังตารางที่ 4.4 แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่ไม่เคลือบยางซิลิโคนมีต้นทุนวัตถุดิบ 69 บาท/ชิ้น ซึ่งมีราคาต่ำกว่าแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่เคลือบด้วยยางซิลิโคนมีราคา 724 บาท/ชิ้น แต่ทั้งนี้การเคลือบแบบจำลองด้วยยางซิลิโคนเป็นการเพิ่มความสวยงามให้กับแบบจำลองเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มมูลค่าของชิ้นงานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม

ตารางที่ 4.4 ต้นทุนราคาวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน 1 ชิ้น

น้ำยางและสารเคมี	ราคา (บาท/ชิ้น)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	53
10% โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์	2
50% กำมะถัน	1
50% ZDEC	1
50% ZMBT	2
50% Wingstay L	3
50% ZnO	4
33% DPG	2
12.5% SSF	1
ยางซิลิโคน	550
น้ำมันซิลิโคน	105
แบบจำลองไม่เคลือบซิลิโคน	69
แบบจำลองเคลือบซิลิโคน	724

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การประเมินราคาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติกับ
แบบจำลองที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์

แบบจำลอง	ราคา
แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ แบบไม่เคลือบซิลิโคน	69 บาท
แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ แบบเคลือบซิลิโคน	724 บาท
หุ่นสาธิตการฝีกตรวจมะเร็งเต้านมสตรี	40,500 บาท
แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์	25,000 บาท

จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ มีราคาที่ถูกกว่าแบบจำลองที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ ทั้งแบบที่ไม่เคลือบซิลิโคนและแบบที่เคลือบซิลิโคน โดยการประเมินราคาของแบบจำลองที่เคลือบและไม่เคลือบซิลิโคนนั้น เป็นการประเมินเฉพาะราคาต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสูตรโพนียงธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ ให้มีความเหมือนจริงทั้งความนิ่ม และขนาดรูปร่างแบบจำลองให้มีความสวยงาม และศึกษาสูตรยางซิลิโคนในการเคลือบผิวชั้นนอกแบบจำลองด้วยยางซิลิโคน รวมทั้งออกแบบขนาดรูปร่างและความแข็งของก้อนมวลให้มีความเหมือนจริงพร้อมฝังในแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม และทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ผู้ใช้งาน ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ตอนที่ 1 การศึกษาสูตรโพนียงธรรมชาติ

- การศึกษาเวลาการปั้นโพแทสเซียมโอเลต (KO) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั้นจนทำให้ความหนาแน่น และความแข็งของโพนียงธรรมชาติลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าคงที่ และเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าลดลง
- เวลาที่ใช้ในการปั้นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ คือ 9 นาที
- การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมโอเลต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตความหนาแน่นมีแนวโน้มคงที่ และความแข็งของโพนียงธรรมชาติลดลงเมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตในปริมาณที่เหมาะสม จากการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าคงที่
- ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ คือ 15 phr

ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางซิลิโคน

- การศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงมีผลโดยตรงต่อความแข็ง และมอดูลัสมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง, ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง
- ปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ 3 phr เนื่องจากมีความแข็งแรงมากพอในการขึ้นรูปผิวเคลือบยางซิลิโคน และมีความแข็งน้อยที่สุดตรงตามความต้องการ
- ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนค่าความแข็ง และมอดูลัสลดลง รวมถึงค่าความแข็งแรงดึง, ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง
- ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อนเนื้ออกใช้น้ำมันซิลิโคน 30 phr และการขึ้นรูปก้อนซิสต์ใช้น้ำมันซิลิโคน 50 phr ขึ้นรูปผิวเคลือบใช้น้ำมันซิลิโคน 40 phr เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์เพื่อเป็นการปรับความแข็งของยางซิลิโคนให้ได้ก้อนมวลตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจาก โฟมยางธรรมชาติ

- บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติแบบเคลือบด้วยซิลิโคนมากกว่าไม่เคลือบด้วยซิลิโคน เนื่องจากมีความเหมือนจริง และความนุ่มต่อผิวสัมผัสที่ดีกว่าไม่เคลือบด้วยซิลิโคน
- บุคลากรทางการแพทย์มีความพึงใจต่อการใช้งานแบบจำลองมากสามารถตรวจคลำหาก้อนมวลภายในแบบจำลองได้ และสามารถแยกความแตกต่างระหว่างก้อนซิสต์, มะเร็ง และเนื้องอกได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) เพิ่มลักษณะภายนอกเต้านมให้มีความหลากหลาย เช่น หัวนมบอด, แผลบริเวณเต้านม และผิวสัมผัส (ลักษณะผิวหนังหยาบ)
- 2) ปรับปรุงแบบการฝังก้อนมวลให้สามารถถอดเปลี่ยนสลับตำแหน่งได้
- 3) ปรับปรุงลักษณะก้อนมะเร็ง เช่น ให้มีรูปร่างการแตกแขนงของก้อนมะเร็งให้ยาวมากขึ้น และปรับปรุงลักษณะของก้อนซิสต์ให้เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเมื่อทำการตรวจคลำ
- 4) ทดลองใช้งานจริงตามโรงพยาบาลต่างๆ หรือผู้ที่สนใจ



เอกสารอ้างอิง

- [1] ยอดยิ่ง วาสุธิตย์ สาขาศัลยศาสตร์ศีรษะ คอและ เต้านม ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราช พยาบาล.2555. เรื่องที่น่ารู้และข้อควรปฏิบัติสำหรับผู้ป่วยมะเร็งเต้านม. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราช
- [2] Wholly Medical. 2015. การรักษาโรคมะเร็งเต้านมในแต่ละระยะ. [Online]. Available : www.whollymedical.com/index.php?mo=14&newsid=319734
- [3] Koken.Co.Ltd. 2005. Inspection and Palpation of Breast Cancer Training Model II LM107. [Online]. Available : www.kokenmpc.co.jp/english/products/Lifesimulation_models/nursing_education/lm-017
- [4] Rubber.sc.mahidol. 2559. ยางธรรมชาติ. [Online] Available : <http://rubber.sc.mahidolac.th/rubbertech/rubbertech.htm>
- [5] Neoplast.biz 2559. อนุภาคยาง. [Online]. Available : <http://www.neoplast.biz/index.php?lay=show&ac=article&id=174420>
- [6] Chen, S.F. 1997. Composition of Hevea Latex in Latex and Rubber Analysis RRIM, 44
- [7] Rubber Processing. 1979. Lecture Notes for Diploma of Natural Rubber Processing, RRIM, 21
- [8] Gazeley, K.F. Gorton, A.D.T. and Pendle, T.D. 1988. Latex concentrates: Properties and composition, in Natural Rubber Science and Technology, Edited by Roberts, A.D., Oxford University Press, 66
- [9] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2559. น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย. [Online]. Available : <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-3949/773>
- [10] Nstda. 2559. กรดไนโตรที่ระเหยได้. [Online]. Available : <http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/10021-treatment-nitrate>
- [11] Gotoknow.org 2559. ความเสถียรของคอลลอยด์. [Online]. Available : <https://www.gotoknow.org/posts/291823>
- [12] Ng.Chew.Sum. 1979. Chemical used in preservation in Latex and Rubber Analysis, RRIM, 33
- [13] Finn, J. 2011 .Selection, use of water-based dispersions in latex, Rubber World, 243
- [14] thailandindustry. 2559. สูตรน้ำยางคอมปาวด์. [Online]. Available : <http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=19286§ion=9&rcount=Y>
- [15] Gorton, A.D.T. and Pendle, T.D. 1981. Dispersion particle size in natural rubber latex technology, Part 1 Particle size distributions of various compounding ingredients, in NR Technology, MRPRA, Volume 12, Part 1, 1, 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] Blackley, D.C., 1997. *Polymer Latices Science and Technology*, Volume 3 : Applications of Latices, 2nd Edition, Chapman&Hall, 229-233.
- [17] Rubbercenter.org 2559. สมบัติของยางฟองน้ำ. [Online]. Available : <http://www.rubbercenter.org/files/foam.pdf>
- [18] Bmroller 2559. คุณสมบัติที่ใช้ทดสอบยาง. [Online]. Available : <http://www.bmroller.com>
- [19] Rubberthai 2559. น้ายางการผลิตตุ๊กตาฟอง. [Online]. Available : <http://www.rubberthai.com/information/product/dall2.htm>
- [20] Technicchan 2559. การออกสูตรยาง. [Online]. Available : http://www2.Technicchan.ac.th/~polymer/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=56
- [21] วิริยะ ทองเรือง, ยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ, เจริญยุทธ เดชวากุล, จิตรระดา สุนโท. 2547. การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ : สถาบันยาง.
- [22] Thaimisc.pukpik 2559. รายละเอียดเกี่ยวกับการทำฟองน้ำยาง. [Online]. Available : <http://thaimisc.pukpik.com/freewebboard/php/vreply.php?user=rubber&topic=920>
- [23] Gorton, A.D.T. 1988. Evaluation of a New Activator/ Accelerator in Natural Rubber Latex, in *NR Technology, MRPRA*, Volume 19, Part 4, 62-67
- [24] Siamglove 2559. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกัมมันต์จากยางพารา. [Online]. Available : <http://www.siamglove.com/%E0%B8%96%E0%B8%B8%E0%B%87%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/chemical-for-rubber.html>
- [25] North Wanxing Chemical Co.,Ltd. 2559. Antioxidant PL / Wingstay L. [Online]. Available : <http://www.wanchem.com.cn/products/wingstay-L.html>
- [26] rubber-mold. 2011. สารเคมีสำหรับยาง. [Online]. Available : <http://rubber-mold.blogspot.com/2011/05/blog-post.html>
- [27] อธิพิล แจ้งชัด. 2557. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [28] Fallows, J. C. 1982. *Moulded Latex Foam in Polymer Latices and Their Applications*, Edited by Calvert, K.O., Applied Science Publishers, 207-215.
- [29] Km.rubber. 2011. การเกิดเจลของน้ำยาง. [online]. Available : http://km.rubber.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=82:2011-04-19-02-17-13&catid=23:2011-04-19-02-31-23&Itemid=1
- [30] An Introduction to Latex Foam Manufacture, *NR Technical Bulletin*. 2559. The Natural Rubber Producers Research Association, 2-5, 11-19.
- [31] Thomas, E. V. 1994. *Foam Products Manufacturing Technology*, in *Rubber Products Manufacturing Technology*, Edited by Bhowmick, A. K., Marcel Dekker Inc., 849-851.

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [32] Stem, H. J. 1967. Rubber, Natural and Synthetic 2nd Edition. Maclaren and Sons Ltd., 447.
- [33] วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ. (2529). การผลิตยางฟองน้ำ. เอกสารวิธีการผลิตยาง, ฉบับที่ 2, กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยาง, ศูนย์วิจัยยางสงขลา, 13 -14.
- [34] Naturefoam 2559. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : <http://www.naturefoam.com/index.php?lay=show&ac=article&id=461181>
- [35] Rubbercenter 2559. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : <http://www.rubbercenter.org/thesis/thesisDetail.php?ID=525>
- [36] 2553. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : http://kb.psu.ac.th/puskb/bitstream/2553/1759/7/221944_ch2.pdf
- [37] ยอดยิ่ง วาสฤติย์ สาขาศัลยศาสตร์ศีรษะ คอและ เต้านม ภาควิชาศัลยศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราช พยาบาล. 2555. การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราช
- [38] พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2012. ก้อนในเต้านม Breast mass. [Online]. Available : <http://haamor.com>
- [39]. 2559 มะเร็งเต้านม. [Online]. Available : http://www.nci.go.th/th/Knowledge/index_cancer.html
- [40] Siamhealth. 2559. มะเร็งเต้านม. [Online]. Available : http://www.siamhealth.net/public_html/Disease/cancer/breast/breast.html#.VPnEmHysWSo
- [41] Chulacancer. 2559. การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม. [Online]. Available : <http://www.chulacancer.net/patient-knowledge-inner.php?id=49>
- [42] Medinfo2.psu. 2559. ขั้นตอนการตรวจเต้านมด้วยตนเอง. [Online]. Available : http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_ca.php?newsID=38&typeID=18
- [43] สุภาพรณ คลีไบบและสุ่มัทนา นาคฤทธิ. 2557. โครงการพิเศษการศึกษา แบบจำลองยางฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ. สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [44] อภินันท์ สุประเสริฐ. 2557. ทำการศึกษาสิ่งประดิษฐ์หุ่นจำลองยางพารา. [Online]. Available : <http://ag-ebook.lib.ku.ac.th/ebooks/2015/20150084/index.html#25>
- [45] บังอร ดวงรัตน์. 2557. การพัฒนาหุ่นจำลองแขนฝึกรวบรวมผลผลิตยางพารา. [Online]. Available : <http://www.aihd.mahidol.ac.th/sites/default/files/images/new/pdf/journal/janapr2009/Research004.pdf>
- [46] Bmsimulator. 2559. ประดิษฐ์หุ่นสาธิตการฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมสตรี. [Online]. Available : http://www.bmsimulator.com/cat_product.php?sub_id=8
- [47] ศราวุธ รีมดุสิต และทีมวิจัยจุฬาฯ. 2559. การพัฒนาเต้านมเทียมจาก ซิลิโคนที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเต้านมจริงโดยฝังก้อนมะเร็งจำลองไว้ภายใน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย[Online]. Available : http://www.moe.go.th/mobile1/viewNews.php?nCatId=news11&moe_mod_news_ID=9958

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] เบญจมาศ มีชัย. 2559. การทำโมเดลเต้านมเทียมด้วยซิลิโคนเพื่อสอนการตรวจมะเร็งเต้านมให้นักศึกษา. [Online]. Available : <http://ejournal.dip.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=FWtENpO4xY%3D&tabid=70>
- [49] บริษัท มีชัยการรัชต์ จำกัด. 2559. ชุดโมเดลฝึกตรวจเต้านมประกอบด้วยโมเดลเต้านมฝั่ง 5 จุด. [Online]. Available : <http://www.thaitechno.net/t1/productdetails.php?id=70915&uid=40428>
- [50] ASTM D412-68 Committee on Standard. 1969. Standard Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber. Philadelphia. American Society for Testing and Material.
- [51] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเทกซ์. มอก. 1425-2540.
- [52] ASTM D2240-05 Committee on Standard. 2010. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. Philadelphia. American Society for Testing and Material.
- [53] Allsealsinc 2559. Relationship of Cross-link Density and Physical Properties. [Online]. Available : <http://www.allsealsinc.com/allseals/Orings/or13.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ภาพการถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์



รูปที่ ก.1 ถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์
ตารางที่ ก.1 ความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนโคมยางธรรมชาติ

ระดับความเร็ว	ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)
1	636
2	804
3	864

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน



แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองเชิงฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโหมยงธรรมชาติ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การออกแบบและสร้างแบบจำลองเชิงฝึกตรวจมะเร็งเต้านม” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองเชิงฝึกตรวจมะเร็งเต้านม (Breast Cancer Training Model) จากยางธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีกรแสดงที่มาของข้อมูล และผลการประมวลของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษานี้เท่านั้น

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/หย่าแยก
4. อาชีพ 1.แพทย์ 2.พยาบาล 3.นักศึกษาแพทย์ 4.นักศึกษาพยาบาล
 5.อื่นๆ (โปรดระบุ).....
5. การศึกษา 1.มัธยมศึกษา 2.อนุปริญญาปวส. 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อแบบจำลองyangฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

ตัวอย่างแบบจำลองที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					
	4 พอใจมาก ที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจ ปาน กลาง	1 พอใจ น้อย	0 พอใจ น้อย ที่สุด	ไม่สามารถ ประเมินได้
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาด (ใหญ่ เล็ก)						
- รูปร่างลักษณะ (เช่น ความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)						
- ความสมจริงเวลากดคลำ						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
- ความสมจริงในการคลำจุก่อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง ขนาด 1 เซนติเมตร ขนาด 2 เซนติเมตร						
- ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของความดัน-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองyangฝึกตรวจมะเร็งเต้านมชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่? ใช่ ไม่ใช่ เพราะเหตุใด
(โปรดระบุ)

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี)

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างแบบจำลองที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					ไม่สามารถประเมินได้
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาด (ใหญ่ เล็ก)						
- รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)						
- ความสมจริงเวลากดคลำ						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
- ความสมจริงในการคลำเจอก่อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง ขนาด 1 เซนติเมตร ขนาด 2 เซนติเมตร						
- ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของความคืน-ลึกลับของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองyangฝึกตรวจจะเร่งเต้านมชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่? ใช่ ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี)

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.1 หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิก ศัลยศาสตร์เต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี



รูปที่ ข.2 หอผู้ป่วยไอ.ซี.ยู (ICU) หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้