

การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม
จากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทน

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



ชญาพร เกิดทอง
ดวงกมล ภูทอง
ปานเลขา ชลสวัสดิ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม
จากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทน

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



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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

ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ เคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทน		
	Development of Breast Cancer Training Model and Artificial Breast Made From NR Foam with Silicone Skin		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชฎาพร	เกิดทอง	รหัสนักศึกษา 56050474
	นางสาวดวงกมล	ภูทอง	รหัสนักศึกษา 56050492
	นางสาวปานเลขา	ชลสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 56050533
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด		

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ		
	เคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทน		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชฎาพร	เกิดทอง	รหัสนักศึกษา 56050474
	นางสาวดวงกมล	ภูทอง	รหัสนักศึกษา 56050492
	นางสาวปานเลขา	ชลสวัสดิ์	รหัสนักศึกษา 56050533
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรคมะเร็งเต้านมเป็นหนึ่งในโรคอันตรายที่สุดที่ทำให้สุขภาพสตรีเสียชีวิต หากตรวจพบ มะเร็งเต้านมตั้งแต่ระยะเริ่มแรก จะช่วยให้มีโอกาสในการรักษาให้หายขาดได้มากขึ้น แบบจำลองฝีก ตรวจมะเร็งเต้านมจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการฝีกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ และบุคคล ทั่วไปงานวิจัยเป็นการพัฒนาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน โดยการเพิ่มความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคนให้ทนทานต่อการฉีกขาดมากยิ่งขึ้นโดยการปรับสูตร ยาง และการใช้ผ้าเสริมแรง จากการทดลองปรับสูตรยางซิลิโคนพบว่า การเพิ่มปริมาณของน้ำมัน ซิลิโคนทำให้ค่าความแข็ง และความแข็งแรงอย่างต่ำลง ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ คือ 60 phr การเสริมแรงของผิวยางซิลิโคนด้วยผ้า 3 ชนิด คือ ผ้าขาวบาง ผ้าดิบ และผ้าไนลอน ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมาก ผลจากการเสริมแรงด้วยผ้าไนลอนไม่ทำให้ค่า ความแข็งสูงขึ้นเหมือนผ้าชนิดอื่น แต่ยังคงให้ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาดสูง ดังนั้นการเสริมแรง ด้วยผ้าไนลอนจึงเหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในงานวิจัยนี้ ในการศึกษาการเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทน จากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้า พบว่าจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามขนาดคัพ แต่ ยังคงมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมทดแทนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด การเพิ่ม น้ำหนักเต้านมทดแทนจากโคมยางสามารถเพิ่มน้ำหนักโดยการใส่สารตัวเติม โทเทเนียมไดออกไซด์ กับ แคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วนที่ 20/60 โดยน้ำหนัก จากประเมินความพึงพอใจพบว่า บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปมีความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมในระดับ พอใจมากถึงมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ทั้งรูปลักษณะภายนอก เนื้อสัมผัส-ความนิ่ม และการใช้งาน แบบจำลอง สามารถแยกความแตกต่างของก้อนของแข็งในแบบจำลองได้ สำหรับการสำรวจความพึง อกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอใจต่อเต้านมทดแทน ผู้ป่วยพึงพอใจเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนมากกว่าแบบไม่เคลือบ เนื่องจากมีความสวยงามและน้ำหนักที่เสมือนจริง สรุปได้ว่าทั้งแบบจำลองและเต้านมทดแทน แสดงผลงานวิจัยที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

คำสำคัญ : เต้านมทดแทน แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม โฟมยางธรรมชาติ ยางซิลิโคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Development of breast cancer training model and artificial breast made from NR foam with silicone skin		
Students	Miss Chadaporn	Kerdtong	Student ID 56050474
	Miss Doungkamon	Phutong	Student ID 56050492
	Miss Panlekha	Cholsawat	Student ID 56050533
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Associate Professor Dr.Ittipol Jangchud		

Abstract

Nowadays, breast cancer is one of the most deadly diseases resulting in women death. If the cancer can be detected in the early stage, high percentages of patients can be cured. "Breast cancer training model" is an important tool used in teaching and training medical staffs and people. This research work was focused on developing breast cancer training model made from NR foam with silicone skin in order to improve strengths of silicone skin by changing rubber formulas and using fabric to reinforce the silicone skin. By increasing silicone oil loading, rubber hardness and strengths were decreased. An appropriate loading of the oil in this work was 60 phr. By using 3 types of fabrics (i.e., cotton, cotton-polyester, and nylon fabrics) to reinforce the silicone, it was found the strengths of materials were improved dramatically. It was found that nylon fabric seemed to fit well to use in this work since nylon fabric did not increase hardness as high as the others. nylon reinforced silicone also yielded the highed elongation at break compared to other fabrics. In the making of artificial breast for patients who have surgery, appropriate weight of the breast was studied. The weight was increased as the size was increased. However, the NR foam breast was lighter than standard weight of artificial breast in the market. By adding $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ fillers (20/60 by weight) in the formula, the breast weight can be increased. By using questionnaires to test satisfaction of using the model with

medical staffs and people, most of them was satisfied with the appearance, texture and softness, detection of masses inside the model. For the NR foam breast, they preferred the NR with silicone skin compared to the uncoated one due to its appearance and suitable weight. In conclusion, both the model and artificial breast showed promising results with high potentials to be commercialized.

Keywords : Artificial breast, Breast cancer training model, Rubber foam, Silicone rubber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี โดยได้รับความกรุณาจากบุคคลหลายฝ่ายทั้งอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต และคณะกรรมการสอบ ที่กรุณาคอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้ความรู้เป็นอย่างดี ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความใจใส่อย่างดียิ่ง รวมถึง

ขอขอบพระคุณ นพ.ยอดยิ่ง วาสุภิตย์ และบุคลากรทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโรคมะเร็งเต้านม และให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน

ขอขอบพระคุณ คุณเมตตา สุขเจริญ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย ที่คอยช่วยแก้ปัญหาพร้อมทั้งให้คำแนะนำในการศึกษาเรื่องโพลิเมอร์ยางธรรมชาติ

ขอขอบพระคุณคุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ ผู้ช่วยวิจัย เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกด้านอย่างเต็มที่

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคาร ฝึกงานพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาและทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจเสมอมา รวมถึงขอบคุณเพื่อน ๆ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรมทุกคนที่ให้กำลังใจ และคอยให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้

ชฎาพร เกิดทอง

ดวงกมล ภูทอง

ปานเลขา ชลสวัสดิ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม.....	7
2.1.1 ชนิดก้อนเนื้อในเต้านม.....	7
2.1.2 สาเหตุ ลักษณะและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม.....	8
2.2 โรคมะเร็งเต้านมและอาการของมะเร็งเต้านม.....	10
2.2.1 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม.....	10
2.2.2 การแพร่กระจายของมะเร็งเต้านมไปต่อมน้ำเหลือง.....	14
2.2.3 การตรวจคัดกรองเต้านม.....	15
2.2.4 การตรวจเต้านมด้วยตัวเอง.....	16
2.2.5 รูปแบบการคลำเต้านม.....	17
2.3 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม.....	18
2.3.1 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์.....	18
2.3.2 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ.....	19
2.4 ยางธรรมชาติ.....	20
2.5 น้ำยางธรรมชาติ.....	22
2.5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ.....	22
2.5.2 อนุภาคของน้ำยางธรรมชาติ.....	22
2.6 โฟมยางธรรมชาติ.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 กระบวนการผลิตโพนยางธรรมชาติ.....	24
2.7 สมบัติของโพนยางธรรมชาติ.....	24
2.7.1 การขยายตัวและความหนาแน่น.....	24
2.7.2 การยุบตัวจากแรงกด.....	25
2.7.3 ความแข็ง.....	25
2.7.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด.....	25
2.7.5 ความล้า.....	26
2.8 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโพนยางธรรมชาติ.....	26
2.8.1 สารเชื่อมโยงกำมะถัน.....	27
2.8.2 สารตัวเร่ง.....	27
2.8.2.1 ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate).....	27
2.8.2.2 ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole).....	28
2.8.2.3 DPG (Diphenyl guanidine).....	28
2.8.3 สารตัวกระตุ้น.....	29
2.8.4 สารป้องกันออกซิเดชัน.....	29
2.8.5 โพนแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate, KO).....	29
2.8.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF).....	30
2.8.7 สารตัวเติม.....	30
2.8.7.1 แคลเซียมคาร์บอเนต.....	30
2.8.7.2 ไททาเนียมไดออกไซด์.....	30
2.8.7.3 ซิลิกา.....	31
2.9 ยางซิลิโคน.....	32
2.10 น้ำมันซิลิโคน.....	33
2.11 สารเปอร์ออกไซด์.....	34
2.11.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	34
2.11.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....	35
2.11.3 ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....	36
2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยง	
กับสมบัติเชิงกลของยาง.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13 ผ้า.....	38
2.13.1 ผ้าทอ.....	38
2.13.2 ผ้าถัก.....	39
2.13.3 ผ้าไม่ถักไม่ทอ.....	39
2.13.4 ผ้าอื่นๆ.....	39
2.14 เส้นใยและการแบ่งประเภทของเส้นใย.....	39
2.14.1 โครงสร้างของเส้นใย.....	40
2.14.2 สมบัติของเส้นใย.....	41
2.14.2.1 ความยาวของเส้นใย.....	41
2.14.2.2 ความละเอียดของเส้นใย.....	41
2.14.2.3 รูปทรงตามภาคตัดขวางของเส้นใย.....	42
2.14.2.4 ความหยิกงอบนเส้นใย.....	43
2.14.2.5 ความแข็งแรงของเส้นใย.....	43
2.14.2.6 ความหนาแน่น.....	44
2.14.2.7 สภาพยืดหยุ่น การคืนตัวจากแรงยืด และการยืดตัว.....	44
2.14.3 เส้นใยฝ้ายเซลลูโลสธรรมชาติ.....	44
2.14.4 เส้นใยสังเคราะห์.....	47
2.14.4.1 ไนลอน.....	49
2.14.4.2 พอลิเอสเตอร์.....	50
2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	56
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....	56
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	60
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	60
3.3.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน.....	62
3.3.1.1 ศึกษาปริมาณของน้ำมันซิลิโคนที่มีความเหมาะสม	
สำหรับการขึ้นรูปผิวซิลิโคนในปริมาณต่างๆ.....	62
3.3.1.2 ศึกษาชนิดของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง	
ให้กับผิวเคลือบซิลิโคน.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....	66
3.3.2.1 การขึ้นรูปโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....	66
3.3.2.2 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติ.....	68
3.3.2.3 การศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....	69
3.3.3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....	69
3.3.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติ.....	69
3.3.4.1 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติที่เคลือบผิวยางซิลิโคน.....	69
3.3.4.2 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติที่ไม่เคลือบผิวยางซิลิโคน.....	69
3.3.5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทน.....	70
3.4 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน.....	70
3.4.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....	70
3.4.2 ส่วนที่เป็นชั้นใน.....	72
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	74
4.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน.....	74
4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	74
4.1.2 การศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของผิวซิลิโคนเคลือบผิวเพื่อเสริมแรง.....	77
4.1.3 การศึกษาการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์.....	81
4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....	81
4.2.1 ศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นอิมัลชันไฟเบอร์.....	81
4.3 ทดสอบความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์อย่างธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน.....	85
4.3.1 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลอง ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	89
4.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ.....	93
4.4.1 เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติที่เคลือบผิวยางซิลิโคน.....	93
4.4.2 เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน.....	94
4.5 ทดสอบความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทน โดยผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา.....	99
4.6 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์.....	106
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	110
5.1 สรุปผลงานวิจัย.....	110
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	111
เอกสารอ้างอิง.....	112
ภาคผนวก.....	118
ภาคผนวก ก.....	119
ภาคผนวก ข.....	127
ภาคผนวก ค.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างแบบจำลองเต้านมเทียมสำหรับฝึกตรวจมะเร็งที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....	3
2.1 ยางซิลิโคนชนิดต่าง ๆ.....	33
2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใย.....	40
2.3 ขนาดความละเอียดของเส้นใยธรรมชาติ.....	41
2.4 สูตรทางเคมีอย่างง่ายของหน่วยซ้ำในเส้นใยชนิดต่าง ๆ.....	48
3.1 สมบัติบางประการของยางซิลิโคน.....	57
3.2 สมบัติทางกายภาพของผ้าชาวบาง.....	58
3.3 สมบัติทางกายภาพของผ้าดิบ.....	58
3.4 สมบัติทางกายภาพของผ้าไนลอน.....	59
3.5 ความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดึง.....	59
3.6 ปริมาณยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคน.....	62
3.7 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโพลียเอทิลีน.....	66
3.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารตัวเติม.....	70
4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโพลียเอทิลีนเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวานิมัลซีเฟออร์ที่แตกต่างกัน.....	82
4.2 น้ำหนักของเต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน.....	94
4.3 น้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนที่มีการเพิ่มน้ำหนักโดยใช้สารตัวเติม $TiO_2/CaCO_3$ ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....	98
4.4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน 1 ชั้น ณ เดือน เมษายน 2560.....	107
4.5 ตัวอย่างราคาต้นทุนวัตถุดิบของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ A).....	108
4.6 การประเมินราคาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนและเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนเทียบกับราคาเชิงพาณิชย์.....	109
ข.1 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง.....	127
ข.2 ปริมาณน้ำหนักเปียกของน้ำยางและสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปเต้านมทดแทนสูตรการใช้สารตัวเติม $TiO_2/CaCO_3$ อัตราส่วนที่ต่างกัน.....	129
ค.1 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ B).....	130
ค.2 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ C).....	131
ค.3 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ D).....	132

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2560.....	2
1.2 อัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี เมื่อตรวจพบก้อนมะเร็ง.....	2
1.3 แบบจำลองยางฝึกรตรวจมะเร็งเต้านมจากโฝมายางธรรมชาติ และเต้านมทดแทนจากโฝมายางธรรมชาติ.....	5
1.4 ผิวยางซิลิโคนที่เกิดการฉีกขาดจากการใช้งานจริงของแบบจำลอง ฝึกรตรวจมะเร็งเต้านมปีการศึกษา 2558	5
1.5 ภาพการประเมินความพึงพอใจเต้านมทดแทนจากโฝมายางธรรมชาติ จากกลุ่มผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมในการทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดโจทย์วิจัย.....	5
2.1 ลักษณะของก้อนเนื้อ (Tumor) ก้อนซีสต์ (Cyst) และก้อนมะเร็ง (Cancer) ในเต้านม.....	9
2.2 มะเร็งระยะที่ 0.....	10
2.3 มะเร็งระยะที่ 1 (ระยะที่ 1A-ระยะที่ 2B).....	11
2.4 มะเร็งระยะที่ 2.....	11
2.5 มะเร็งระยะที่ 3A.....	12
2.6 มะเร็งระยะที่ 3B.....	12
2.7 มะเร็งระยะที่ 3C.....	13
2.8 มะเร็งระยะที่ 4.....	13
2.9 ลักษณะรูปทรงของก้อนมะเร็งเต้านมจากเครื่องแมมโมแกรม.....	14
2.10 ลักษณะของต่อมน้ำเหลือง.....	15
2.11 การตรวจเต้านมด้วยทำยีนบลูยแซนสองข้างอยู่ข้างลำตัว.....	16
2.12 การตรวจเต้านมด้วยทำยีนยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ.....	16
2.13 การตรวจเต้านมด้วยทำยีนตรงเท้าสะเอวแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า.....	16
2.14 การคลำตรวจเต้านมด้วยทำยีนยกแขนข้างเดียวที่จะตรวจชั้นเหนือศีรษะ.....	17
2.15 การคลำตรวจเต้านมด้วยทำนอน.....	17
2.16 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบก้นหอย.....	17
2.17 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย.....	18
2.18 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง.....	18
2.19 ตัวอย่างแบบจำลองฝึกรตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ (a) ผลิตจากซิลิโคน และ (b) ผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC).....	19
2.20 แบบจำลองฝึกรตรวจมะเร็งเต้านมจากโฝมายางธรรมชาติ.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.21 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	21
2.22 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ.....	23
2.23 ลักษณะผิวพอยมยางธรรมชาติที่เรียบและลักษณะเนื้อเยื่อเป็นรูพรุน.....	23
2.24 สูตรโครงสร้างของ ZDEC.....	28
2.25 สูตรโครงสร้างของ ZMBT.....	28
2.26 สูตรโครงสร้างของ DPG.....	29
2.27 สูตรโครงสร้างของโพแทสเซียมโอเลต.....	30
2.28 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน.....	32
2.29 สูตรโครงสร้างของน้ำมันซิลิโคน.....	34
2.30 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	35
2.31 สูตรโครงสร้างของ (a) Dialkyl peroxide และ (b) Peroxyketals.....	35
2.32 สูตรโครงสร้างของ Benzoyl peroxide.....	36
2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงของยาง กับสมบัติเชิงกลบางประการของยาง.....	37
2.34 ผ้าทอที่ประกอบด้วยด้ายและเส้นใย.....	38
2.35 รูปแบบโครงสร้างของผ้าทอ (a) โครงสร้างผ้าทอลายขัด และ (b) โครงสร้างผ้าทอลายสอง.....	38
2.36 รูปแบบโครงสร้างของผ้าถัก (a) โครงสร้างผ้าถักด้ายพุ่ง และ (b) โครงสร้างผ้าถักด้ายยืน.....	39
2.37 รูปทรงตามขวางและสภาพผิวของเส้นใยต่าง ๆ.....	42
2.38 ตัวอย่างของกราฟระหว่างการดึงกับการยืด.....	43
2.39 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	45
2.40 ภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย.....	46
2.41 ภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย.....	46
2.42 การสังเคราะห์ไนลอน 6,6.....	49
2.43 การสังเคราะห์ไนลอน 6.....	49
2.44 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้กรดเทรฟทาลิกกับเอทิลีนไกลคอลในการผลิต PET.....	51
3.1 ชนิดของผ้าที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงชั้นผิวเคลือบซิลิโคน (a) ผ้าขาวบาง (b) ผ้าดิบ และ(c) ผ้าใยบัว.....	59
3.2 แผนผังการดำเนินงาน.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3 การเตรียมยางซิลิโคน (a) เทยางซิลิโคนที่ทำการผสมสูตรเรียบร้อยแล้ว ลงบนแม่พิมพ์อะลูมิเนียม และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป.....	62
3.4 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบซิลิโคนเพื่อหาปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม.....	63
3.5 การเตรียมยางซิลิโคนแบบใส่ผ้า (a) การวางผ้าลงบนสารผสมระหว่างยางซิลิโคน น้ำมันซิลิโคนและสารเชื่อมโยง และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป.....	64
3.6 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบซิลิโคนที่มีการเสริม ความแข็งแรงด้วยผ้าแต่ละชนิด.....	65
3.7 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ (a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง, (b) เทโฟมยางธรรมชาติพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ และ (c) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป.....	67
3.8 แผนผังการเตรียมโฟมยางธรรมชาติขึ้นในของแบบจำลอง.....	67
3.9 (a) กราฟระยะเวลาที่โฟมยางธรรมชาติมีน้ำหนักคงที่ และ (b) ลักษณะชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์.....	68
3.10 การเตรียมโฟมยางธรรมชาติที่ระดับความเร็วที่ต่างกันเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....	68
3.11 การจัดเรียงชิ้นงานขณะทดสอบการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคน.....	71
3.12 ชิ้นงานทดสอบถูกกดทับด้วยชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด.....	72
4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	75
4.2 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	75
4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	76
4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	76
4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	77
4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	78
4.7 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	78
4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรง ด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	79
4.9 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรง ด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....	80

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการยึดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคน และซิลิโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน	80
4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์	81
4.12 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนเทียบกับ ความเร็วในการปั่นกวน.....	83
4.13 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพลีเอทิลีนเทียบกับ ความเร็วในการปั่นกวน.....	83
4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโพลีเอทิลีนเทียบกับ ความเร็วในการปั่นกวน.....	84
4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลีเอทิลีนเทียบกับ ความเร็วในการปั่นกวน.....	84
4.16 แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคน ที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ	85
4.17 กราฟจำแนกบุคลากรทางการแพทย์ที่ประเมินความพึงพอใจต่อ แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม.....	86
4.18 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝีกตรวจ มะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	86
4.19 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอก โดยบุคลากรทางการแพทย์.....	87
4.20 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของ แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	87
4.21 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	88
4.22 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของแบบจำลอง ฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	88
4.23 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง ฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....	89
4.24 กราฟจำนวนบุคคลทั่วไปที่ทำการประเมินความพึงพอใจต่อ แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม.....	89

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.25 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของ แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	90
4.26 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอกของ แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	90
4.27 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของ แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	91
4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม ของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	91
4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจ มะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	92
4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....	92
4.31 ตัวอย่างเต้านมทดแทน ขนาดคัพ A B C และ D.....	93
4.32 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมที่ได้จากการทดลองและน้ำหนักมาตรฐาน ของเต้านมเทียบกับขนาดคัพ.....	94
4.33 กราฟแสดงน้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ SiO_2	95
4.34 กราฟแสดงน้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ CaCO_3	95
4.35 กราฟแสดงน้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....	96
4.36 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....	96
4.37 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติในแต่ละขนาดคัพ เทียบกับปริมาณระหว่าง $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....	97
4.38 กราฟแสดงค่าความแข็งของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....	98
4.39 เต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....	99
4.40 กราฟจำแนกผู้ป่วยที่ทำการประเมินเต้านมทดแทน.....	99
4.41 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทน แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านม ทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	100
4.43 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทน แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	101
4.44 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านม ทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	101
4.45 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม ทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	102
4.46 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	102
4.47 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม ทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	103
4.48 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	103
4.49 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของเต้านมทดแทน แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	104
4.50 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทน แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	104
4.51 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานเต้านมทดแทน แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	105
4.52 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทน แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....	105
4.53 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักเต้านมทดแทน.....	106
ก.1 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม จากโคมยางธรรมชาติ.....	120
ก.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ.....	123
ก.3 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม ของบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป.....	125
ก.4 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทนชนิดเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว ของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา.....	126

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 การเตรียมก้อนมะเร็ง (1) ใช้วาสลินทาแม่พิมพ์ก้อนมะเร็ง (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองก้อนมะเร็ง..... 127

ข.2 การเตรียมซีสต์และก้อนเนื้อ (1) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุ้งมือยาง (2) ลัดถุ้งมือด้วยหนังยาง และ (3) แบบจำลองซีสต์และก้อนเนื้อ..... 128

ข.3 การเตรียมเม็دت่อมน์น้ำเหลือง (1) ประกบแม่พิมพ์และใช้ยางรัดแม่พิมพ์ ต่อมน้ำเหลืองหลังจากที่ทำการทาวาสลินที่แม่พิมพ์แล้ว (2) เทยางซิลิโคน เข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองต่อมน้ำเหลือง..... 129

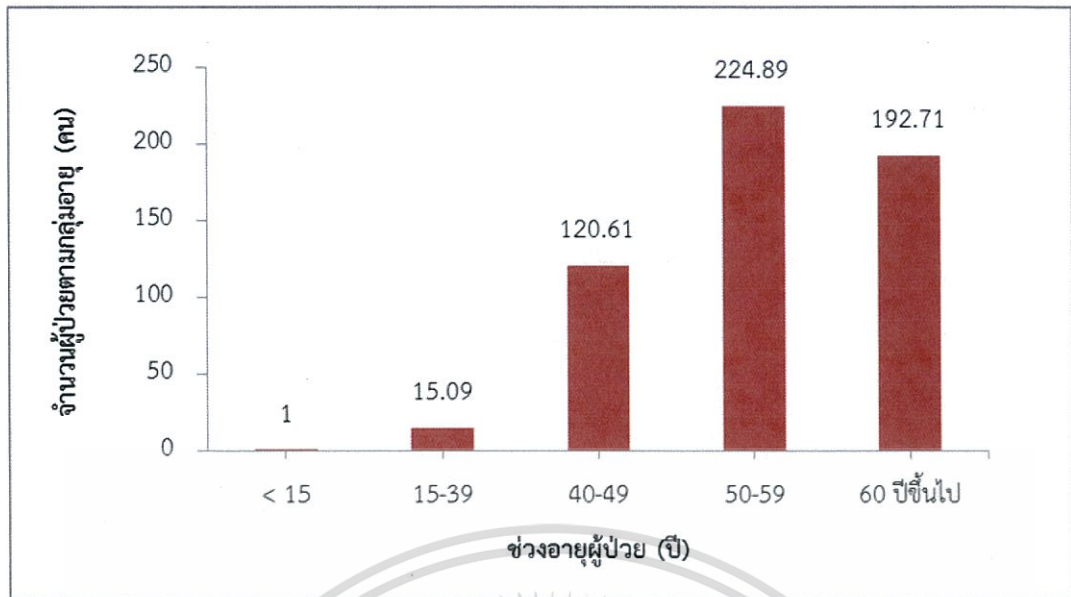


บทที่ 1

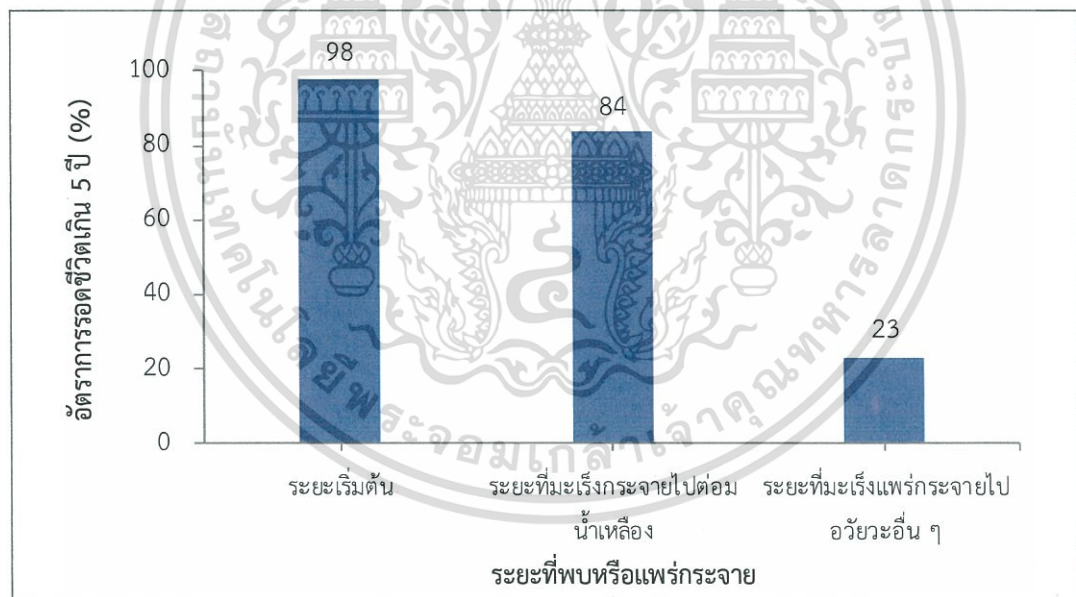
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคมะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบได้บ่อยและพบมากที่สุดของผู้หญิง เกิดจากเนื้อเยื่อของเต้านมมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์มะเร็งที่อาจเกิดกับท่อน้ำนมหรือเกิดกับต่อมน้ำนม จากสถิติของสถาบันมะเร็งแห่งชาติพบว่าผู้หญิงเป็นโรคมะเร็งเต้านมร้อยละ 37 ของโรคมะเร็งทั้งหมด และยังมีอัตราการเสียชีวิตเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด [1] มะเร็งเต้านมกำลังเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญโรคหนึ่งของประเทศไทย เมื่อมีอายุมากขึ้นความเสี่ยงยิ่งเพิ่มขึ้น จากผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2560 พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยจะเป็นโรคมะเร็งมากสุดในช่วงอายุ 50-59 ปี [2] แสดงดังรูปที่ 1.1 อย่างไรก็ตาม หากค้นพบก้อนมะเร็งในเต้านมตั้งแต่ระยะเริ่มแรกในขณะที่มีขนาดเล็ก ซึ่งยังไม่เกิดการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองนั้นเป็นเรื่องสำคัญยิ่ง เพราะจะช่วยเพิ่มโอกาสในการรักษาให้หายขาดมากขึ้น เมื่อเทียบกับการตรวจพบก้อนมะเร็งในระยะเริ่มแรกที่ก้อนมะเร็งยังอยู่เฉพาะที่ จะทำให้โอกาสในการรอดชีวิตเกิน 5 ปี มีถึงร้อยละ 98 ถ้าตรวจพบก้อนมะเร็งในระยะที่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้แล้วโอกาสในการรอดชีวิตเกิน 5 ปี มีร้อยละ 84 และถ้าหากตรวจพบในระยะที่มะเร็งแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น ๆ แล้ว โอกาสในการรอดชีวิตเกิน 5 ปี มีเพียงร้อยละ 23 เท่านั้น [3] แสดงดังรูปที่ 1.2 หากปล่อยทิ้งไว้ไม่ทำการรักษาโรคมะเร็งเต้านมจะไม่สามารถหายไปเอง แต่จะทำให้อาการรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ และแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น ๆ นำไปสู่การเสียชีวิต ซึ่งการตรวจเต้านมอยู่เป็นประจำจะสามารถทำให้ตรวจพบความผิดปกติได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น การตรวจสามารถทำได้โดยใช้แบบแมมโมแกรม (Mammogram) การตรวจโดยแพทย์หรือพยาบาล และการตรวจด้วยตนเอง เมื่อพบความผิดปกติจะทำให้มาพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยและทำการรักษาได้ทัน ซึ่งผู้ป่วยมะเร็งเต้านมส่วนใหญ่มาพบแพทย์ด้วยเรื่องก้อนที่เต้านมถึง 80-90% ของผู้ป่วยที่ตรวจพบเอง [4] สำหรับการรักษาโรคมะเร็งเต้านมมีหลายวิธี ขึ้นกับรายละเอียดของโรคในผู้ป่วยแต่ละรายและความต้องการของผู้ป่วยเอง เช่น การผ่าตัดเต้านมออกทั้งหมด (Modified radical mastectomy : MRM) การผ่าตัดเต้านมออกบางส่วน (Partial mastectomy) ร่วมกับการฉายแสง (Breast conservation therapy : BCT) หรือการให้เคมีบำบัด (Chemotherapy) [5]



รูปที่ 1.1 ผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ เดือน กุมภาพันธ์ 2560 [2]







รูปที่ 1.2 อัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี เมื่อตรวจพบก้อนมะเร็ง [3]

การฝึกตรวจเต้านมด้วยตนเองนอกจากจะเพิ่มโอกาสในการตรวจพบก้อนมะเร็งและเพิ่มโอกาสในการรักษาให้หายขาดได้มากขึ้นแล้ว ยังเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สะดวกและปลอดภัยสำหรับผู้ตรวจ อย่างไรก็ตาม การตรวจเต้านมด้วยตนเองจะเกิดประโยชน์ต่อเมื่อผู้ตรวจทราบวิธีการตรวจที่ถูกต้องจากการสาธิตหรือการฝึกปฏิบัติ ในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาออกแบบแบบจำลองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้านมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเต้านมจริงขึ้นมา โดยมีทั้งแบบที่ฝังก้อนมะเร็งจำลองไว้ภายในหรือที่ไม่มีการฝังก้อนมะเร็งจำลอง เพื่อนำมาใช้ในการฝึกตรวจมะเร็งเต้านมด้วยตนเอง หรือใช้เป็นสื่อการสอนการตรวจหาก้อนมะเร็งในเต้านม ซึ่งแบบจำลองเต้านมเทียมมีทั้งผลิตในประเทศไทย [6] และผลิตในต่างประเทศ แต่ส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ [7-10] และวัสดุที่ใช้ในการผลิตส่วนใหญ่เป็นวัสดุสังเคราะห์ เช่น ซิลิโคน (Silicone) ทำให้ผลิตภัณฑ์มีราคาสูง ตัวอย่างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่นำเข้าจากต่างประเทศ แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างแบบจำลองเต้านมเทียมสำหรับฝึกตรวจมะเร็งที่นำเข้าจากต่างประเทศ

แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม	ราคา (บาท) /ชิ้น
	ประมาณ 5,418 [7]
	ประมาณ 6,977 [8]
	ประมาณ 9,097 [9]
	ประมาณ 30,000 [10]

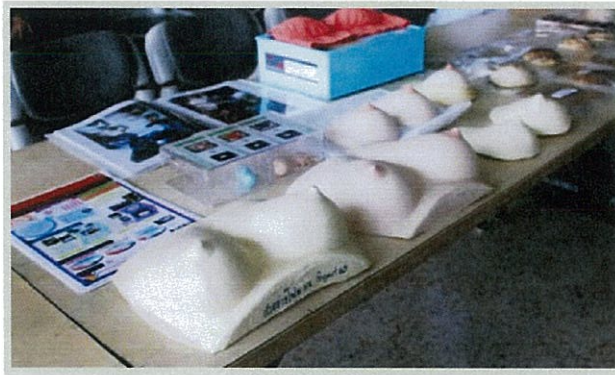
หมายเหตุ ราคาขายปลีกออนไลน์ทางอินเทอร์เน็ต ณ เดือนพฤษภาคม 2560

เนื่องจากวัตถุดิบในการผลิตมีราคาสูงทำให้แบบจำลองเต้านมมีราคาสูงขึ้นไปด้วย จึงนำมาสู่การคิดค้นวัตถุดิบที่มาจากยางพาราขึ้นมา ซึ่งเป็นการนำวัตถุดิบในประเทศมาใช้ประโยชน์ อีกทั้งยางพารายังเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยที่มีการส่งออกเป็นอันดับหนึ่งของโลกอีกด้วย และในช่วงตั้งแต่ปี 2555 เศรษฐกิจยางพารามีระดับราคาลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องจนมาถึงปัจจุบันได้ส่งผลกระทบต่อชาวเกษตรกรผู้ปลูกยางพาราเป็นอย่างมาก เป็นผลมาจากผลผลิตยางพาราของไทยที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการที่ประเทศไทยมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.79 ต่อปี จากพื้นที่ 12.77 ล้านไร่ในปี 2554 เป็น 18.85 ล้านไร่ในปี 2558 และผลผลิตที่เพิ่มขึ้นจาก 3.31 ล้านตันในปี 2554 เป็น 4.24 ล้านตันในปี 2558 ที่เพิ่มขึ้นมากถึงร้อยละ 6.23 ต่อปี อีกทั้งยังเป็นผลมาจากความต้องการยางพาราของตลาดโลกที่ลดลงจากภาวะเศรษฐกิจโลกฟื้นตัวช้า และเศรษฐกิจบางประเทศที่ยังคงชะลอตัว รวมถึงการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศคู่แข่งเพิ่มขึ้น [11] จากปัญหาราคายางตกต่ำดังกล่าวทำให้มีส่งเสริมการแปรรูปผลผลิตจากยางพารามากขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพารา ในปี 2557 ภาควิทยาการยางพารา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำงานวิจัยโครงการงานพิเศษร่วมกับโรงพยาบาลรามาริบัติเรื่อง “การศึกษาแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ” [12] และมีการพัฒนาต่อเนื่องมาในปี 2558 โดยมีการทำเป็นแบบจำลองโคมยางจากน้ำยางธรรมชาติที่มีการฝังก้อนซิลิโคนที่มีลักษณะเสมือนก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์ และก้อนมะเร็งไว้ในตำแหน่งที่สามารถตรวจพบในเต้านมได้ ในขั้นตอนสุดท้ายมีการเคลือบผิวโคมยางด้วยซิลิโคนเพื่อความสวยงามและมีความคล้ายคลึงเต้านมจริงอีกด้วย [13] ดังรูปที่ 1.3 โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อฝักตรวจเต้านมได้ด้วยตนเอง รวมถึงบุคลากรทางการแพทย์หรือสาธารณสุขสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นสื่อการสอนและเผยแพร่วิธีการตรวจหามะเร็งเต้านมได้ เพื่อเป็นการคัดกรองโรคในเบื้องต้น

โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อเนื่องมาจากโครงการงานพิเศษปี 2558 ดังกล่าวข้างต้น เรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน” เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบปัญหาเรื่องผิวยางซิลิโคนสำหรับเคลือบโคมยางธรรมชาติ ซึ่งเป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลองไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการฉีกขาดเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยเฉพาะกรณีผู้ใช้แบบจำลองอย่างระมัดระวัง ดังรูปที่ 1.4 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคนให้มีความทนต่อการฉีกขาดมากขึ้น โดยเน้นพัฒนาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคน ได้แก่ ปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ และน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมแรงให้กับผิวซิลิโคน และทำการขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติให้มีความคงทนต่อการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำการ “เพิ่มต่อมน้ำเหลืองจำลอง” บริเวณรักแร้ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถตรวจพบในแบบจำลอง ให้มีความหลากหลายของก้อนเนื้อแต่ละชนิดเพื่อความเสมือนจริงในระยะของโรคมากยิ่งขึ้น และกลุ่มวิจัยนี้ได้ทำการนำโคมยางธรรมชาติมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนที่มีทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคนและไม่เคลือบผิวซิลิโคนสำหรับผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น จากการนำเต้านมทดแทนไปสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมพบว่า ผู้ป่วยมีความต้องการเต้านมทดแทนทั้งสองแบบ และมีข้อเสนอแนะว่า เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักมากเกินไป และเต้านมทดแทนที่ไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเบาเกินไป ดังรูปที่ 1.5 จึงได้ทำการพัฒนาน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ เพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมียงธรรมชาติและเต้านมทดแทนจากโคมียงธรรมชาติ [14]



รูปที่ 1.4 ฝิวางซิลิโคนที่เกิดการฉีกขาดจากการใช้งานจริงของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมปีการศึกษา 2558



รูปที่ 1.5 ภาพการประเมินความพึงพอใจเต้านมทดแทนจากโคมียงธรรมชาติจากกลุ่มผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมในการทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดโจทย์วิจัย
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) พัฒนาสมบัติการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์เคลือบผิวซิลิโคน โดยการพัฒนาความแข็งแรงของผิวซิลิโคนให้ทนต่อแรงฉีกขาดมากยิ่งขึ้น และพัฒนาความแข็งแรงของโพลียเอทิลีนทรีออยด์ชั้นในของแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับการนำมาทำแบบจำลอง

2) พัฒนาเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์ให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม ตามความต้องการของผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาสมบัติเชิงกลของผิวซิลิโคนของแบบจำลอง โดยปรับปริมาณของน้ำมันซิลิโคนในอัตราส่วน 45, 60, 75 และ 90 และปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ 5 phr

2) ศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงฉีกขาดของผิวซิลิโคนของแบบจำลองโดยการเพิ่มชั้นผ้า ได้แก่ ผ้าขาวบาง ผ้าดิบ และผ้าไนลอน

3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของโพลียเอทิลีนทรีออยด์ของแบบจำลองโดยเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์เป็นระดับ 1, 2, 3 และ 4 (429, 636, 766 และ 840 rpm ตามลำดับ)

4) ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์เคลือบผิวซิลิโคน โดยใช้แบบจำลองใหม่ที่มีการเพิ่มต่อมน้ำเหลืองจำลอง

5) ศึกษาปริมาณของสารตัวเติม เช่น ซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตและไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม

6) ศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์แบบเคลือบผิวซิลิโคน โดยการลดปริมาณชั้นผิวเคลือบและเสริมความแข็งแรงผิวซิลิโคนด้วยผ้า

7) เก็บข้อมูลแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์เคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ผิวซิลิโคนที่มีความแข็งแรงและมีความคงทนในการใช้งานจริง

2) สามารถผลิตแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์เคลือบผิวซิลิโคนตามความต้องการของผู้ใช้งานจริง และมีความเป็นไปได้ในการผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์

3) ได้เต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทรีออยด์ที่มีน้ำหนักที่เหมาะสม ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เต้านม (Breasts) ตั้งอยู่บนซี่โครงและกล้ามเนื้อหน้าอก ภายในประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชนิด คือ ต่อมไขมัน ท่อน้ำนม เนื้อเยื่อพังผืด และไขมัน และภายในเต้านมยังมีหลอดเลือด (Blood vessel) และต่อมน้ำเหลือง (Lymph) ที่จะไปรวมกันยังต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ (Axillary lymph node) โดยปกติเต้านมของมนุษย์มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงอายุหรือการมีรอบประจำเดือน สำหรับก้อนที่เกิดในเต้านม (Breast mass หรือ Breast lump) มีหลากหลายชนิด และการตรวจพบก้อนในเต้านมอาจจะไม่ใช่ก้อนเนื้อร้ายเหมือนกับมะเร็งเสมอไป หรืออาจไม่สามารถกลายเป็นมะเร็งแต่อาจมีสาเหตุมาจากโรคต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการหมั่นตรวจเต้านมตนเองอยู่เสมอจะสามารถทำให้รู้เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตั้งแต่แรกกับเต้านมได้เพื่อไปพบแพทย์ทำการวินิจฉัยโรคได้ทัน ดังนั้นเรื่องเกี่ยวกับเต้านมจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม [15]

2.1 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม [15]

ก้อนในเต้านม คือก้อนเนื้อผิดปกติที่เกิดขึ้นในเต้านม อาจเกิดเพียงข้างเดียว (พบได้บ่อยกว่า) หรือเกิดทั้งสองข้างของเต้านม โดยก้อนเนื้อในเต้านมสามารถพบได้ในทุกช่วงอายุตั้งแต่เด็กจนถึงผู้สูงอายุ สำหรับเด็กมักพบในช่วงวัยรุ่นที่ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศต่าง ๆ เต้านมจึงมีการขยายใหญ่ขึ้นและเริ่มมีการสร้างต่อมต่าง ๆ สำหรับการสร้างน้ำนม จึงอาจส่งผลให้การตรวจพบลักษณะคล้ายก้อนเนื้ออาจพบได้ทั้งในผู้หญิงและผู้ชาย สำหรับเด็กชายมักตรวจพบก้อนในเต้านมได้ โดยเฉพาะได้ห้วงนมในช่วงวัยรุ่น ซึ่งพบได้เป็นปกติมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศแต่ก้อนจะค่อย ๆ ยุบหายไปเอง ได้มีการศึกษาพบว่าประมาณ 16% ของผู้หญิงในช่วงวัย 40-69 ปี มาพบแพทย์ด้วยเรื่องปัญหาเกี่ยวกับเต้านมและประมาณ 40% ในกลุ่มนี้มาด้วยเรื่องก้อนเนื้อในเต้านม สำหรับก้อนเนื้อในเต้านมมีอยู่ด้วยกัน 3 กลุ่ม คือ ซีสต์เต้านม (Breast cyst) เนื้องอกเต้านม (Breast tumors) และมะเร็งเต้านม (Breast cancer) โดยผู้ที่เป็นซีสต์เต้านมจะมีอาการเจ็บที่ก้อน ซึ่งผิดกับกลุ่มเนื้องอกหรือมะเร็งที่อาจจะไม่มีอาการเจ็บหรือปวดในระยะเริ่มแรก ทำให้ผู้ป่วยส่วนใหญ่อาจเข้าใจผิดได้ว่าก้อนที่ไม่เจ็บอาจไม่เป็นอะไร และปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งก้อนมะเร็งโตขึ้นแล้วจึงมารู้สึกเจ็บภายหลัง

2.1.1 ชนิดก้อนเนื้อในเต้านม

1. ไฟโบรซิสติก (Fibrocystic changes, FCC) ซึ่งพบได้ประมาณ 40% ของก้อนเนื้อในเต้านมทั้งหมด

2. ไฟโบรอะดีโนมา (Fibroadenoma) พบได้ประมาณ 7-10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ก้อนเนื้ออื่น ๆ ที่ไม่ใช่มะเร็งพบรวมกันได้ประมาณ 13-20% ที่พบได้บ่อยในกลุ่มนี้คือ ถุงน้ำก้อนไขมัน (Lipoma) เนื้องอกชนิด Phyllodes เนื้องอกชนิดที่เซลล์มีการเจริญเกินปกติ (Hyperplasia) เนื้องอกในท่อน้ำนมและเนื้องอกชนิด Adenosis

4. เนื้องอกมะเร็งหรือโรคมะเร็งเต้านม พบได้ประมาณ 10%

2.1.2 สาเหตุ ลักษณะและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม

1. ไฟโบรซิสติก สาเหตุของก้อนเนื้อชนิดนี้เกิดจากการเปลี่ยนแปลง ของฮอร์โมนเพศตามรอบประจำเดือนสามารถตรวจพบก้อนเนื้อได้ทั้งสองข้างของเต้านม โดยก้อนเนื้อ มีขอบเขตไม่ชัดเจน มีผิวขรุขระ ลักษณะหย่น ๆ ไม่แข็งเคลื่อนที่ได้ มักร่วมกับอาการเจ็บเต้านม และ/หรือเจ็บก้อนเนื้อเจ็บในบริเวณรักแร้รู้สึกตึงแน่นหรือเต้านมบวมใหญ่ โดยอาการต่าง ๆ จะเป็นมากเมื่อใกล้วันประจำเดือนมา แต่จะดีขึ้นเมื่อประจำเดือนมาแล้วและก้อนเนื้อชนิดนี้มักไม่กลายเป็นโรคมะเร็งเต้านม

2. ไฟโปรติโนมา เป็นเนื้องอกที่ไม่ใช่มะเร็งมักพบในช่วงวัยเจริญพันธุ์ (วัยยังมีประจำเดือน) ทั้งนี้สาเหตุที่แท้จริงยังไม่ทราบ แต่เชื่อว่ามีความสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิงเพราะพบโรคได้สูงขึ้นในผู้หญิงที่กินยาคุมกำเนิดก่อนอายุ 20 ปี เป็นเนื้องอกที่ไม่ร้ายแรง เป็นก้อนแข็งขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร ประกอบด้วยพังผืดและเนื้อเยื่อจากต่อมน้ำนม มักไม่มีอาการเจ็บ แต่อาจรู้สึกคัดเต้านมก่อนมีรอบเดือนเมื่อตรวจดูจะพบก้อนเนื้อที่มีลักษณะค่อนข้างกลม ผิวเรียบ เคลื่อนที่ได้ไม่เจ็บ มีได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เกิดได้ทั้งก้อนเดียวหรือหลายก้อนในเต้านมข้างเดียวหรือทั้งสองข้าง อาการนี้อาจหายไปได้เองหรือทำการผ่าตัดเอาออก

3. เซลล์ไขมันในเต้านมถูกทำลาย (Fat necrosis) พบได้ภายหลังจากเต้านมถูกกระแทกจากการผ่าตัดเต้านมหรือการฉายรังสีรักษาบริเวณเต้านม เมื่อสังเกตจะพบว่าผิวหนังด้านบนซ้ำเลือดซ้ำหนองเป็นผลจากเซลล์ไขมันในเต้านมตาย เกิดเป็นพังผืดและ/หรือเป็นถุงน้ำชนิดภายในเป็นน้ำมันจึงเกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น มีลักษณะค่อนข้างกลมไม่แข็ง เคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย อาจเจ็บหรือไม่เจ็บอาการนี้อาจหายไปได้เองหรือทำการผ่าตัดเอาออก และจะไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม

4. ถุงน้ำ/ซิสต์ เป็นชนิดที่ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด เชื่อว่าสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิง เพราะเกิดร่วมกับก้อนเนื้อไฟโบรซิสติก พบในวัยเจริญพันธุ์และถุงน้ำจะยุบหายไปเองได้ภายหลังวัยหมดประจำเดือน ก้อนเนื้อนี้มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือรูปไข่อาจเจ็บหรือไม่ก็ได้ เคลื่อนที่ได้ แข็งคล้ายกับลูกโป่งที่ใส่น้ำมีได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่หลายเซนติเมตร โดยทั่วไปถุงน้ำไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง ยกเว้นส่วนน้อยมากที่เซลล์ผนังถุงน้ำเกิดการเจริญเปลี่ยนรูปแบบ

5. เนื้องอกชนิด Phyllodes ซึ่งพบได้น้อยมาก แต่พบได้ในทุกช่วงอายุและพบได้บ่อยกว่าในช่วงอายุ 30-40 ปี ทั้งนี้สาเหตุที่เกิดยังไม่ทราบ อาการและลักษณะก้อนเนื้อที่มีลักษณะเช่นเดียวกับก้อนเนื้อไฟโบรติโนมา เนื้องอก Phyllodes จะกลายเป็นมะเร็งได้น้อยประมาณ 5% ของเนื้องอกชนิดนี้ แต่โรคนี้อาจย้อนกลับเป็นซ้ำได้สูงภายหลังการผ่าตัด

6. ก้อนเนื้อไขมัน เป็นก้อนเนื้อที่ยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่เชื่อว่าอาจเกิดจากความ

ผิดปกติทางพันธุกรรม บางชนิดเป็นก้อนเนื้อที่มีลักษณะขอบเขตชัดเจนค่อนข้างกลมและนิ่ม มักไม่เจ็บ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายบริการลูกค้าของเอกสารฉบับนี้ได้ที่เบอร์ 1676-1677 หรือ 1676-1678 ในวันและเวลาราชการ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

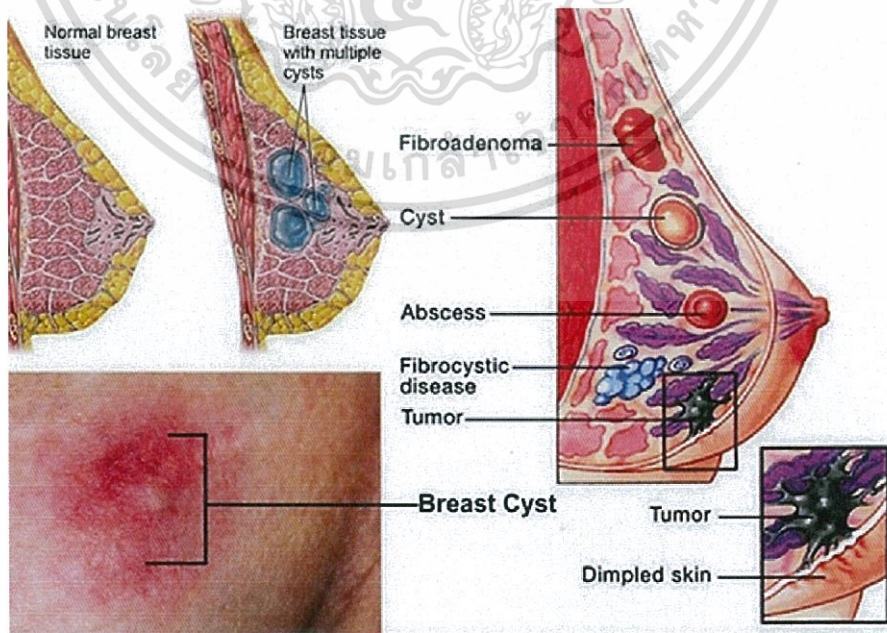
(แต่อาจเจ็บได้) เคลื่อนที่ได้ขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบประจำเดือน ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม แต่มีโอกาสกลายเป็นโรคมะเร็งของเซลล์ไขมันได้ โอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก

7. เนื้องอกในท่อน้ำนม (Intraductal papilloma) คือเนื้องอกที่เกิดในท่อน้ำนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียวหรืออาจพบได้ทั้งสองข้าง โดยทั่วไปมักตรวจพบก้อนเนื้อไม่ได้ แต่ถ้าก้อนเนื้อโตขึ้นอาจตรวจพบก้อนเนื้อโตอยู่ใต้หัวนมและผู้ป่วยอาจมีน้ำนม น้ำเหลืองหรือน้ำเลือดออกจากหัวนม เนื้องอกชนิดนี้มีโอกาสน้อยมากที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็ง

8. ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของท่อน้ำนม (Duct ectasia) เกิดจากท่อน้ำนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังหนากว่าปกติจึงทำให้สามารถตรวจพบได้ มีลักษณะเป็นก้อนเนื้อไม่แข็งมากอยู่ใต้หัวนม หัวนมอาจบวมได้ และอาจมีน้ำสีออกเขียวหรือดำคล้ำออกจากหัวนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม

9. ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของต่อมน้ำนม ได้แก่ ก้อนเนื้อที่เกิดจากต่อมน้ำนมขยายใหญ่ขึ้น และมีจำนวนต่อมเพิ่มกว่าปกติจนทำให้เกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว (แต่อาจพบได้ทั้งสองข้าง) อาจตรวจพบได้ทั้งเป็นก้อนที่ไม่แข็งและก้อนแข็ง เนื่องจากมีพังผืด ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสาเหตุให้เต้านมผิดรูปร่าง (Sclerosing adenosis) ก้อนเนื้อชนิดไม่แข็งมักไม่เปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งเต้านม แต่ชนิดที่แข็งมีพังผืดมากเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นมะเร็งเต้านมได้ประมาณ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

10. ก้อนเนื้อชนิดมีเซลล์เจริญเกินปกติ ก้อนเนื้อชนิดต่าง ๆ ทุกชนิด อาจมีเซลล์เจริญเกินปกติได้ ซึ่งแพทย์ทราบได้จากการตัดชิ้นเนื้อหรือผ่าตัดก้อนเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา ถ้าเกิดมีเซลล์เจริญเกินปกติเกิดขึ้นอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นโรคมะเร็งเต้านม



รูปที่ 2.1 ลักษณะของก้อนเนื้อ (Tumor) ก้อนซิสต์ (Cyst) และก้อนมะเร็ง (Cancer) ในเต้านม [15]
 เอ็กส... เป็นเนื้อเยื่อที่สังเคราะห์หรือปรับรูปร่างขึ้นเพื่อทำหน้าที่เฉพาะ เช่น... เมื่ออยู่ในที่เดิมเป็นประจำจะยึดเหนี่ยวกันแน่น
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

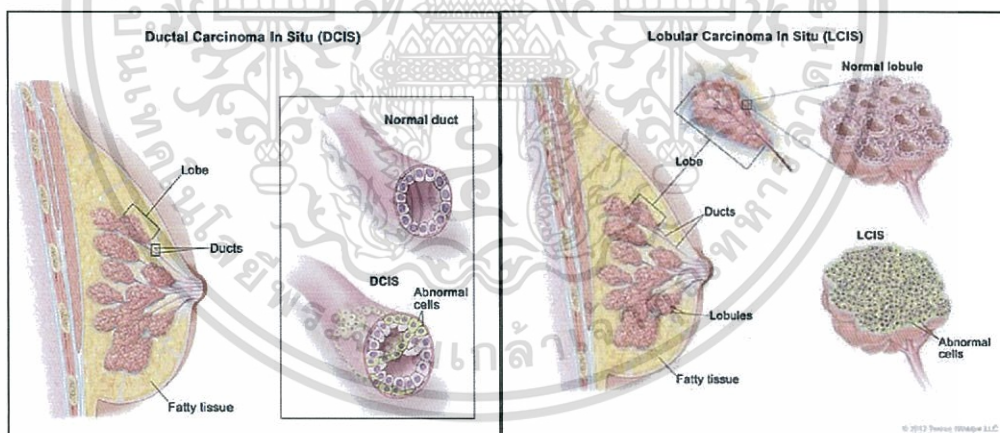
2.2 โรคมะเร็งเต้านมและอาการของมะเร็งเต้านม [16]

โรคมะเร็งเต้านมเกิดจากเนื้อเยื่อของเต้านมมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นเซลล์มะเร็งในระยะแรกมักมีอาการไม่ชัดเจน ต่อมาผู้ป่วยจะตรวจพบก้อนในเต้านมมักเกิดขึ้นเพียงข้างเดียว (โอกาสที่เกิดทั้งสองข้างมีเพียง 5%) ก้อนที่เป็นมะเร็งเต้านมจะมีลักษณะแข็งและขรุขระ แต่อาจเป็นก้อนเรียบได้ ผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งเต้านมส่วนใหญ่จะไม่มีอาการเจ็บหรือปวด แต่จะมีเพียง 10% ของผู้ป่วยเท่านั้นที่มีอาการปวดเต้านม ส่วนอาการอื่น ๆ ที่อาจพบได้แก่ หัวนมบวม (จากเดิมที่ปกติ) เต้านมใหญ่ขึ้นหรือรูปทรงของเต้านมผิดปกติไปจากเดิม ผิวหนังที่เต้านมบวมลงไปคล้ายลักยิ้ม มีผื่นแดงร้อนและขรุขระ คล้ายผิวส้ม อาจมีแผลที่หัวนมและรอบหัวนมหรือมีน้ำเหลือง น้ำเลือดไหลออกจากหัวนม บางรายอาจตรวจพบก้อนบริเวณรักแร้ และนาน ๆ ครั้งอาจพบมะเร็งเต้านมที่มีอาการบวมแดง คล้ายการอักเสบที่เต้านม

2.2.1 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม

โรคมะเร็งเต้านมทั้งในผู้หญิงและผู้ชายแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

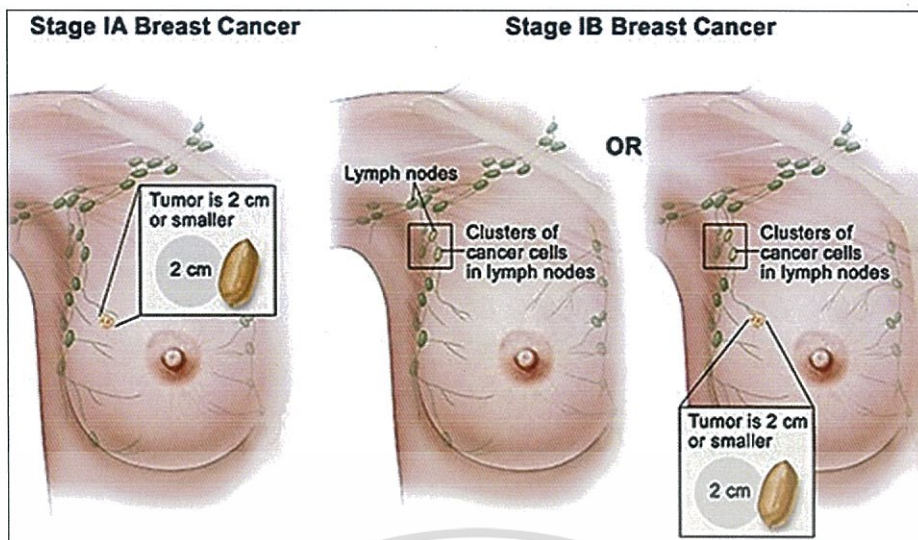
ระยะที่ 0 คือระยะที่ก้อนมะเร็งยังมีขนาดเล็กและเซลล์มะเร็งยังอยู่เฉพาะในชั้นผิวของเนื้อเยื่อเต้านม ระยะนี้หากรักษาอย่างถูกต้องจะมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี สูงถึง 95-100% (ระยะนี้ยังไม่จัดว่าเป็นโรคมะเร็งอย่างแท้จริง เพราะโรคมะเร็งยังไม่มีการรุกรานใด ๆ)



รูปที่ 2.2 มะเร็งระยะที่ 0 [16]

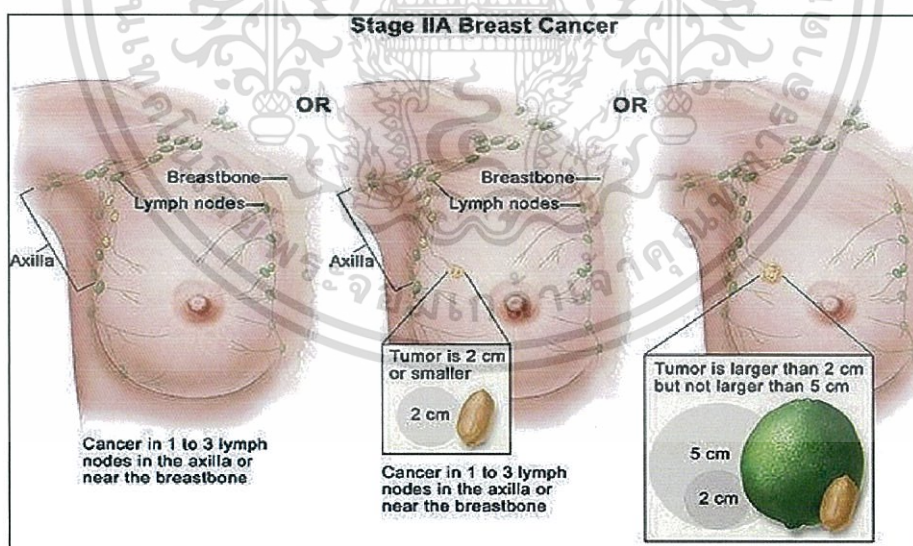
ระยะที่ 1 คือระยะที่ก้อนมะเร็งในเต้านมมีขนาดเล็กไม่เกิน 2 เซนติเมตร ยังไม่เกิดการลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ (ระยะที่ 1A–Stage IA) หรือเกิดการลุกลามเข้าไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ได้ แต่เป็นเซลล์มะเร็งกลุ่มเล็ก ๆ การตรวจอาจพบก้อนหรือไม่พบก้อนมะเร็งที่เต้านม (ระยะที่ 1B–Stage IB) ระยะนี้หากทำการรักษาอย่างถูกต้องจะมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี สูงถึง 90-100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 มะเร็งระยะที่ 1 (ระยะที่ 1A-ระยะที่ 2B) [16]

ระยะที่ 2 คือระยะที่มะเร็งลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ 1-3 ต่อมน แต่ยังไม่พบก้อนมะเร็งที่เต้านมหรือเป็นก้อนมะเร็งที่ยังมีขนาดเล็กไม่เกิน 2 เซนติเมตร หากก้อนมะเร็งมีขนาดใหญ่มากกว่า 2 เซนติเมตร แต่ไม่เกิน 5 เซนติเมตร และยังไม่ลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ใน ระยะนี้ หากทำการรักษาอย่างถูกต้องจะมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี ประมาณ 85-90%

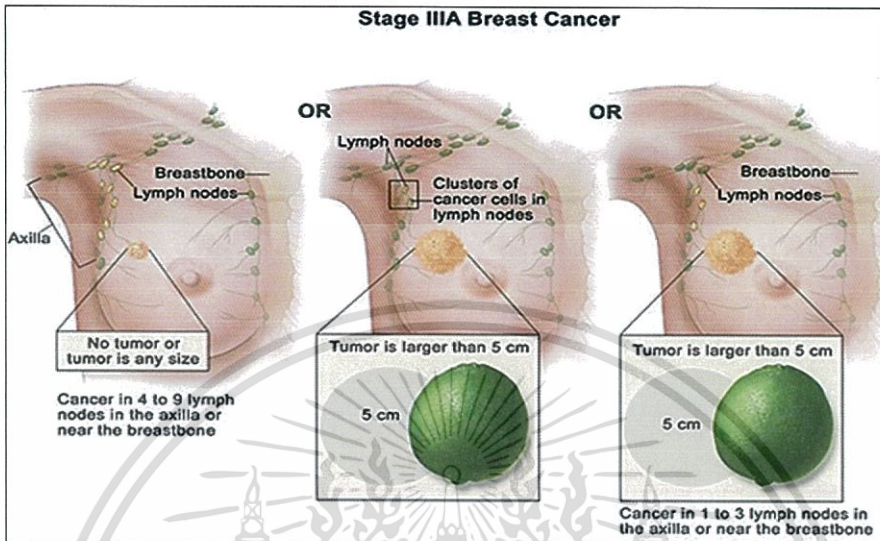


รูปที่ 2.4 มะเร็งระยะที่ 2 [16]

ระยะที่ 3 ระยะนี้หากทำการรักษาอย่างถูกต้องจะมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี มีประมาณ 65-70% โดยแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

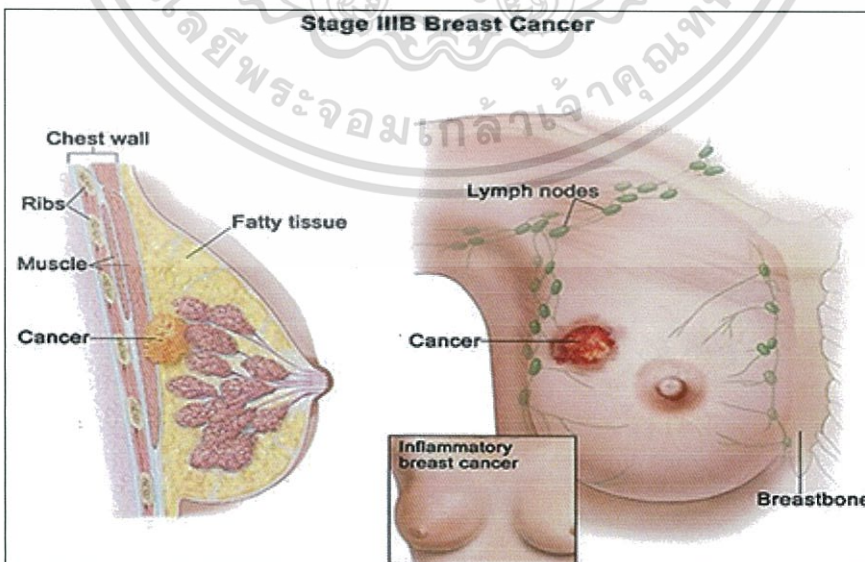
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะที่ 3A (Stage IIIA) คือระยะที่ยังไม่พบก้อนมะเร็งที่เต้านมหรืออาจพบขนาดโต เมื่อมะเร็งได้ลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ 4-9 ต่อม หรือพบก้อนมะเร็งที่เต้านมขนาดใหญ่กว่า 5 เซนติเมตร และเกิดการลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้ (เป็นเซลล์ มะเร็งกลุ่มเล็ก ๆ) 1-3 ต่อม



รูปที่ 2.5 มะเร็งระยะที่ 3A [16]

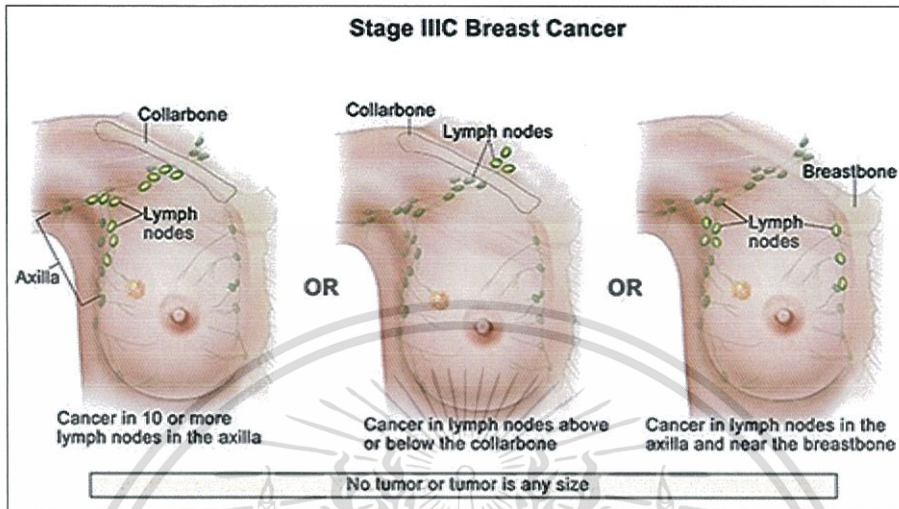
- ระยะที่ 3B (Stage IIIB) คือระยะที่พบก้อนมะเร็งในเต้านมที่มีขนาดใด ๆ และเกิดการลุกลามไปยังผนังหน้าอกและ/หรือผิวหนังของเต้านมจนก่อให้เกิดอาการบวม และอาจลุกลามไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้หรือต่อมน้ำเหลืองใกล้กับกระดูกหน้าอกถึง 9 ต่อม



รูปที่ 2.6 มะเร็งระยะที่ 3B [16]

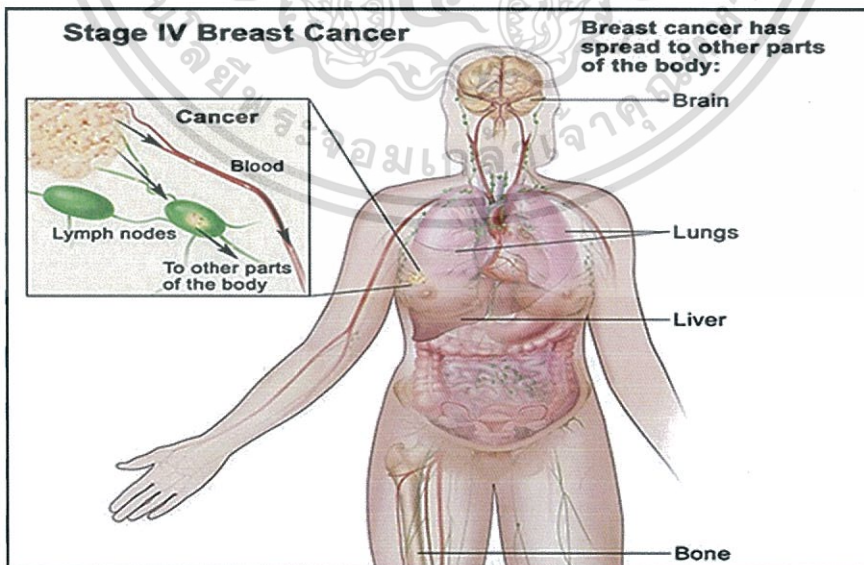
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาที่ 3C (Stage III C) คือระยะที่ยังไม่พบก้อนมะเร็งที่เต้านมหรือพบก้อนมะเร็งที่เต้านมขนาดใดก็ตาม มะเร็งเกิดการลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้มากกว่า 10 ต่อมน้ำ หรือลุกลามไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่ไหปลาร้าและต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้กับกระดูกหน้าอก



รูปที่ 2.7 มะเร็งระยะที่ 3C [16]

ระยะที่ 4 คือระยะที่มะเร็งได้แพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือดและอวัยวะอื่นๆ ที่พบได้บ่อยคือ ปอด สมอง ตับ กระดูกและไขกระดูก ซึ่งระยะนี้มักไม่หายขาด โดยทั่วไปผู้ป่วยจะมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1-3 ปี ขึ้นอยู่กับอวัยวะที่มีโรคแพร่กระจายมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี ประมาณ 0-20%



รูปที่ 2.8 มะเร็งระยะที่ 4 [16]

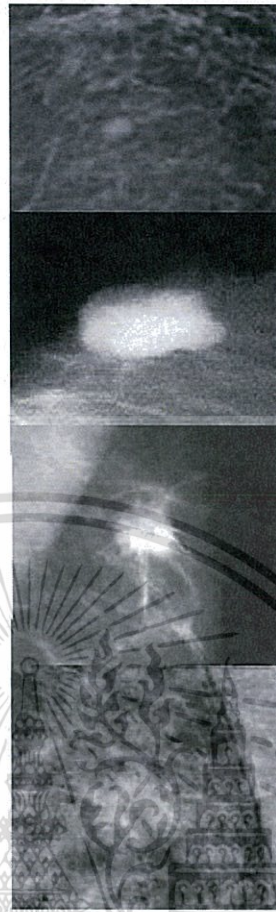
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลม (round)

วงรี (oval)

กลีบคล้ายดอกไม้
(macrolobulated)

รูปร่างไม่แน่นอน



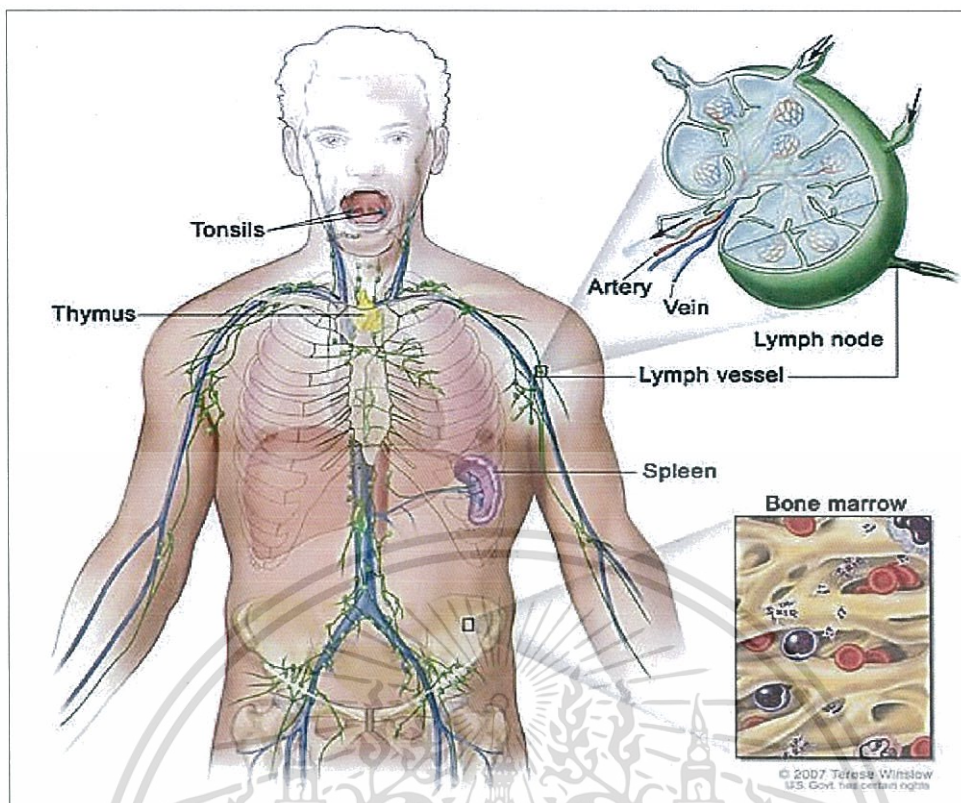
รูปที่ 2.9 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็งในไตด้านมจากเครื่องแมมโมแกรม [17]

2.2.2 การแพร่กระจายของมะเร็งไตด้านมไปต่อมน้ำเหลือง [18]

ภายในไตด้านมนอกจากจะมีเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังมีหลอดเลือดและน้ำเหลืองซึ่งจะไปรวมกันยังต่อมน้ำเหลืองที่บริเวณรักแร้ด้วย เมื่อก้อนมะเร็งในไตด้านมโตขึ้นและเริ่มลุกลามแพร่กระจายจะเริ่มเข้าสู่ระยะที่สาม มะเร็งจะแพร่กระจายไปตามกระแสเลือดหรือทางเดินน้ำเหลืองเพื่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยอวัยวะส่วนใหญ่ที่มีการแพร่ไปคือ กระดูก ตับ ปอด สมอ ลูกตา และผิวหนัง บริเวณหน้าอก และยังทำให้เซลล์มะเร็งแนบติดกับผนังของหลอดเลือดหรือท่อน้ำเหลืองที่เป็นทางแพร่อีกด้วย เมื่อมะเร็งแพร่ไปต่อมน้ำเหลืองแล้วมักไม่มีการเจ็บร่วมด้วยและเป็นนานกว่า 2-3 สัปดาห์ ขนาดก้อนจะเริ่มใหญ่ขึ้น และไม่ตอบสนองต่อยาปฏิชีวนะทำให้การรักษาเป็นไปได้ยาก การตรวจหาต่อมน้ำเหลืองจะพบได้ยากกว่าซีสตีโต้ผิวหนัง เนื่องจากอยู่ลึกในส่วนของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง แต่หากตรวจพบก้อนที่ไม่ค่อยชัดเจนบริเวณรักแร้และมีอาการเจ็บบริเวณก้อนร่วมด้วยส่วนใหญ่มักเป็นเพียงต่อมน้ำเหลืองอักเสบ สำหรับการตรวจดูการบวมของต่อมน้ำเหลืองคือ วางนิ้วลงบนรักแร้และไต่ลงมาประมาณ 2-3 นิ้ว ตรงจุดนี้จะมีต่อมน้ำเหลืองยาวลงไปจนถึงช่วงล่างของรักแร้ใกล้กับผนังทรวงอก

โดยต่อมน้ำเหลืองที่บวมมักมีขนาดประมาณเม็ดถั่วลันเตาหรือถั่วรูปไต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 ลักษณะของต่อมน้ำเหลือง [18]

2.2.3 การตรวจคัดกรองมะเร็งเต้านม [19]

การคัดกรองหรือการค้นหามะเร็งในระยะเริ่มแรกหมายถึง การตรวจหามะเร็งโดยที่ไม่มีอาการของมะเร็ง ถ้ามะเร็งเต้านมมีอาการเกิดขึ้นจะมีการแพร่กระจายแล้ว จึงทำให้การค้นพบมะเร็งเต้านมก่อนที่จะเกิดอาการจึงมีความสำคัญที่จะทำให้มีผลการรักษาที่ดี ดังนั้นการป้องกันที่ดีที่สุดคือการค้นพบให้เร็วที่สุดเพื่อเพิ่มโอกาสในการรักษาให้หายขาด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ

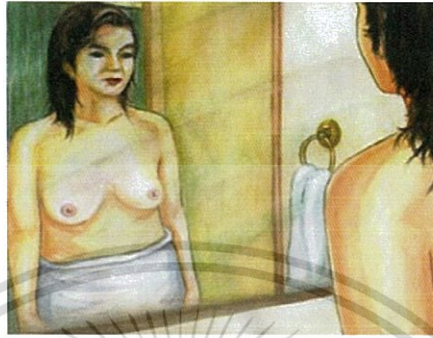
1. การตรวจเต้านมด้วยตนเอง แนะนำให้เริ่มตรวจเมื่ออายุ 20 ปีขึ้นไป โดยตรวจเป็นประจำทุกเดือน
2. การตรวจเต้านมโดยแพทย์ แนะนำในอายุ 20-40 ปี ควรตรวจทุก 3 ปี อายุมากกว่า 40 ปี ควรตรวจทุกปี
3. การตรวจด้วยเครื่องแมมโมแกรม ควรเริ่มทำเมื่ออายุ 35 ปี และเมื่ออายุ 40 ปีขึ้นไป ควรตรวจทุก 1-2 ปี

การค้นพบมะเร็งในระยะเริ่มแรกมีข้อดีคือ ทำให้ออกสาในการรักษาให้หายขาดเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือ การตรวจแบบแมมโมแกรมจะทำให้เกิดความไม่สะดวกแก่ผู้ป่วย และเป็น การตรวจด้วยรังสี X-ray ซึ่งในการตรวจแต่ละครั้งปริมาณรังสีที่ได้รับไม่มาก แต่หากต้องการตรวจให้ภาพชัดอาจจะต้องได้รับรังสีมากขึ้น และในกรณีที่ตรวจตั้งแต่อายุน้อยอาจจะทำให้ได้รับรังสีสะสม หรือการตรวจแบบแมมโมแกรมอาจให้ผลผิดไปทำให้ต้องตรวจซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง [20]

1. ยืนหน้ากระจกปล่อยแขนสองข้างอยู่ข้างลำตัวตามสบาย ดังรูปที่ 2.11 ตรวจสอบรูปร่างและขนาดของเต้านมเปรียบเทียบกันทั้ง 2 ข้าง ตรวจสอบดูผิวหนังว่ามีลักษณะผิดปกติใดหรือไม่ ดูหัวนมว่ามีหัวนมบวมหรือมีการดิ่งรั้งหรือไม่

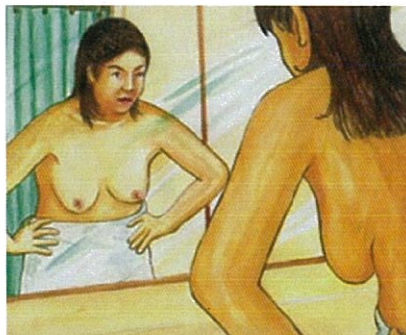


รูปที่ 2.11 การตรวจเต้านมด้วยท่ายืนปล่อยแขนสองข้างอยู่ข้างลำตัว [20]

2. เปลี่ยนอิริยาบถโดยยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ ดูในกระจกอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.12 จากนั้นเท้าสะเอวยืนตรงแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า สังเกตเต้านมทั้ง 2 ข้างในกระจก ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 การตรวจเต้านมด้วยท่ายืนยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ [20]



รูปที่ 2.13 การตรวจเต้านมด้วยท่ายืนตรงเท้าสะเอวแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า [20]

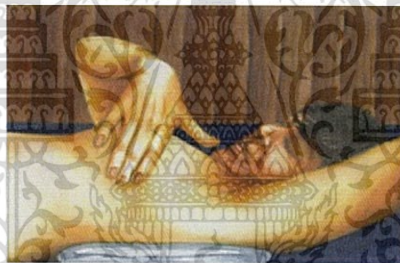
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เริ่มคลำเต้านมโดยยกแขนข้างเดียวกับเต้านมข้างที่จะตรวจขึ้นเหนือศีรษะ สามารถตรวจในท่ายืน ดังรูปที่ 2.14 ท่านอน ดังรูปที่ 2.15 สำหรับท่านอนอาจต้องตะแคงตัวตามความเหมาะสม เพื่อให้ตรวจเต้านมได้ง่ายขึ้นบางท่านอาจชอบตรวจขณะอาบน้ำอุ่น

5. ใช้นิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วนางคลำ โดยใช้แรงกดที่เหมาะสมไม่เบาเกินไปจนไม่สามารถตรวจพบความผิดปกติและไม่ออกแรงมากเกินไปจนรู้สึกเจ็บเต้านม คลำทั่วเต้านมไปจนถึงบริเวณรักแร้



รูปที่ 2.14 การคลำตรวจเต้านมด้วยท่ายืนยกแขนข้างเดียวที่จะตรวจขึ้นเหนือศีรษะ [20]



รูปที่ 2.15 การคลำตรวจเต้านมด้วยท่านอน [20]

2.2.5 รูปแบบการคลำเต้านม [21]

1. คลำแบบกันหอย เริ่มต้นจากการคลำเป็นวงกลมกว้าง ๆ ด้านนอกขอบเต้านมก่อน แล้ววนให้วงกลมนี้แคบเข้าโดยใช้นิ้วมือของท่านทั้งคลำและกดลงที่เต้านมเป็นวงกลมเล็ก ๆ ในขณะที่คลำตามวงรอบใหญ่จนกระทั่งถึงหัวนม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามการเผยแพร่เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการ โทร. 02-254-4000 หรือไปที่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คลำแบบดาวกระจาย เริ่มต้นคลำจาก 12 นาฬิกาไปที่ 1, 2 และ 3 นาฬิกา เรื่อย ๆ จนครบพื้นที่เต้านม



รูปที่ 2.17 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย [21]

3. คลำแบบขึ้นและลง คลำเต้านมขึ้นและลงตามยอดคลีน และใช้นิ้วมือคลำเป็นวงกลมไปพร้อม ๆ กันด้วย



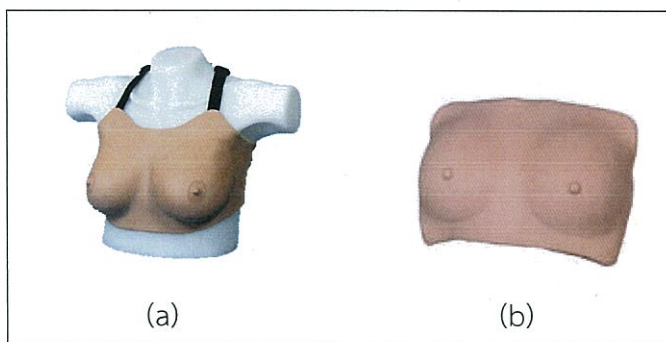
รูปที่ 2.18 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง [21]

2.3 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

2.3.1 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ [22]

จากการศึกษาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ พบว่ามีการผลิตในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น เพื่อใช้ในด้านการศึกษา การเรียนการสอนการผลิตโดยทั่วไปจะทำจากพีวีซี ซิลิโคน หรือซิลิโคนผสมกับอะคริโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene: ABS) ซึ่งการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมในประเทศไทยนิยมสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีค่าใช้จ่ายราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ (a) ผลิตจากซิลิโคน [23] และ (b) ผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) [24]

ข้อดีของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์

- รูปลักษณ์ภายนอกมีความเสมือนจริง
- มีอายุการใช้งานนาน

ข้อเสียของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์

- ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ
- มีราคาแพง

2.3.2 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ [25]

จากการศึกษาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ พบว่ามีการผลิตขึ้นในประเทศไทย โดยโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบลบ้านต้นปรัง ตำบลนาชุมเห็ด อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง ร่วมมือกับกลุ่มสตรีตุ๊กตายางพารา หมู่ที่ 6 บ้านหนองเป็ด ตำบลนาชุมเห็ด อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง โดยทำการประดิษฐ์คิดค้นเต้านมจากยางธรรมชาติขึ้นมา เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาเรียนรู้เรื่องของมะเร็งเต้านมที่เป็นโรคร้ายคร่าชีวิตผู้หญิงในแต่ละปีจำนวนมาก



รูปที่ 2.20 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ

- ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำยางธรรมชาติในสถานะที่น้ำยางธรรมชาติมีราคาตกต่ำ
- ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ

- รูปลักษณ์ภายนอกไม่มีความเหมือนจริง
- มีการคงรูปต่ำ

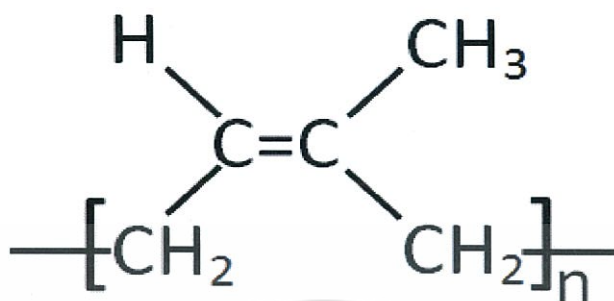
2.4 ยางธรรมชาติ [26]

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่ค้าเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อยางแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณของเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศและส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีตได้มาเติมกรดจะทำให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวออกจากน้ำ จากนั้นทำการรีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (Two roll mill) และนำไปผึ่งแดดเพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70°C เป็นเวลา 4-7 วัน จากนั้นจะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควันที่ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ โดยวัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือยางแผ่น ขึ้นกับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบหรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเงิบบนสูงและมีสีเข้มอาจใช้ยางแผ่นหรือซียางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยาก ต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพให้มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ราคายางแท่งสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene (C_5H_8)_n โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000-20,000 และเนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสถานะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำ หรือเมื่อถูกยืดตัวจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปยางจะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึก

เนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile resistance) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และมีความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง



รูปที่ 2.21 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [26]

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว และมีสมบัติติดเยื่อมด้านการเหนียวติด (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียร ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิกล่าวคือ เมื่อร้อนยางจะอ่อนเยื่อมและเหนียวเหนอะหนะ แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่าง ๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสมยางหรือยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า “วัลคาไนเซชัน” (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปนี้จะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางได้หลากหลายเนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึงแม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรง และมีความยืดหยุ่นสูงมาก จึงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่นสูงในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดที่ดีจึงเหมาะสำหรับการผลิตยางล้อรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเปาะน้ำร้อน เพราะการแกะชิ้นงานในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ร้อน ง่ายที่ใช้จึงต้องมีความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ยางธรรมชาติจะมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แต่ยางธรรมชาติมีข้อเสียคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก จึงทำให้ยางธรรมชาติไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น กลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่าง ๆ ดังกล่าวได้

2.5 น้ำยางธรรมชาติ [26]

น้ำยางธรรมชาติเป็นส่วนหนึ่งของไซโตพลาซึม (Cytoplasm) ในท่อน้ำยางของต้นยาง น้ำยางจะไหลออกมาจากท่อน้ำยางโดยวิธีการกรีดหรือการเจาะท่อน้ำยาง ท่อน้ำยางส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณเปลือกชั้นในของลำต้นอยู่บริเวณใกล้เนื้อเยื่อเจริญ และจะค่อย ๆ ลดน้อยลงในบริเวณเปลือกชั้นนอก ต้นยางที่เปลือกหนาจะมีจำนวนท่อน้ำยางมากกว่าต้นยางที่เปลือกบาง โดยโคนต้นยางที่เปลือกหนาจะมีปริมาณท่อน้ำยางมาก และจะมีเยื่อเจริญระหว่างเปลือกกับเนื้อไม้ ซึ่งเป็นส่วนที่สร้างความเจริญเติบโตให้แก่ต้นยางสร้างเปลือกงอกใหม่ทดแทนเปลือกที่ถูกกรีดไป ขณะกรีดต้นยางต้องระวังไม่ให้เกิดบาดหรือทำลายเนื้อเยื่อเจริญ การกรีดยางแต่ละครั้งต้องให้ห่างจากเนื้อเยื่อเจริญประมาณ 1 มิลลิเมตร

2.5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ [27]

ลักษณะน้ำยางเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนมมีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid)

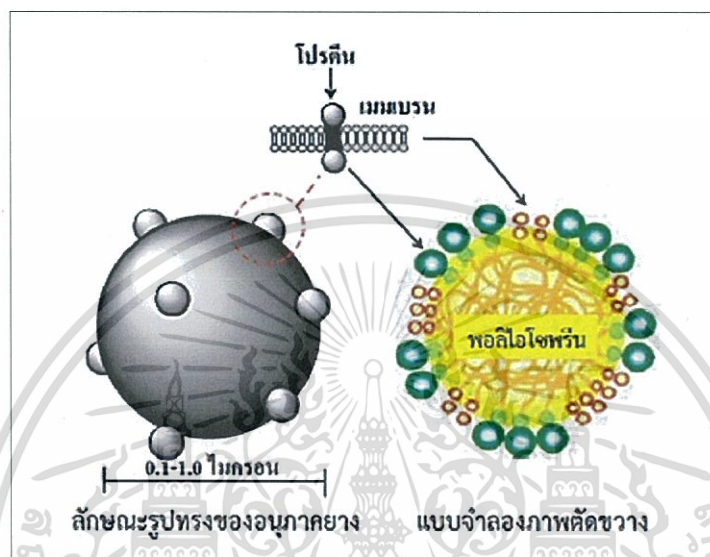
- ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ค่า pH ประมาณ 6.5-7.0
- ความหนืดประมาณ 12-15 Centipoises

2.5.2 อนุภาคของน้ำยางธรรมชาติ

ต้นยางอ่อน (อายุ 1-3 ปี) มีขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติขนาดเล็ก รูปร่างค่อนข้างกลม ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของยางพันธุ์ RRIM 600 (1-7 ปี) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโดยเฉลี่ยจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 0.28 ไปเป็น 0.68 ไมครอน ต้นยางที่โตเต็มที่ (Mature tree-age) จะมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 0.04-4.00 ไมครอน มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน น้ำหนักโมเลกุลของยางธรรมชาติ RRIM 600 อายุต่าง ๆ กัน (1-7 ปี) ซึ่งส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์และมีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ระหว่าง 25 ถึง 45%

เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง (20,000 รอบต่อนาที) แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

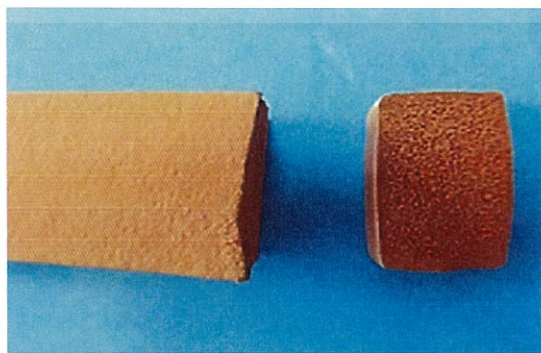
- 1) ส่วนของเนื้อยางแห้ง
- 2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey wysling)
- 3) เซรัม (Serum)
- 4) ตะกอนสีเหลืองหรือขาวของสารพวกลูทอยด์ (Lutoids)



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ [27]

2.6 โฟมยางธรรมชาติ [28]

โฟมยางธรรมชาติ (Natural rubber foam) คือยางที่มีเนื้อยางเป็นรูพรุนและมีความยืดหยุ่นสูง มีความเป็นรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมโยงจากการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อยาง มีแบบเป็นเซลล์เปิด (Open cell) และเซลล์ปิด (Closed cell) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความนิ่มและมีความยืดหยุ่นสูง



รูปที่ 2.23 ลักษณะผิวโฟมยางธรรมชาติที่เรียบและลักษณะเนื้อยางเป็นรูพรุน [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการขงเนื่อการกักขังเท่านั้น เมื่ออยู่ใตห้เห็นไปเผยแพร่เชิงน้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 กระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ

โฟมยางธรรมชาติสามารถผลิตด้วยกระบวนการอัดรีด (Extrusion process) และขึ้นรูปขึ้นงานด้วยแม่พิมพ์ (Rubber molding process) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะขึ้นงานที่ต้องการรวมถึงต้นทุนการผลิต ผิวน้ำของโฟมยางธรรมชาติที่ได้มีความเรียบแต่ลักษณะเนื้อเยื่อเป็นรูพรุน

กระบวนการดันลอป [29]

เทคโนโลยีการผลิตแบบดันลอป (Dunlop) เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติโดยอาศัยหลักการตีน้ำยางให้เกิดฟองอากาศ จากเริ่มแรกทำการปั่นไล่แอมโมเนียให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นเติมสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ อิมัลซิไฟเออร์ สารเชื่อมโยง สารตัวเร่ง สารตัวกระตุ้น และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ซึ่งสารเหล่านี้อาจเติมให้อยู่ในรูปดิสเพชัน (Dispersion) สารละลาย (Solution) หรืออิมัลชัน (Emulsion) สารเคมีต่าง ๆ อาจแบ่งลำดับการใส่เป็นสองช่วงคือ ผสมส่วนหนึ่งในช่วงแรกแล้วตีน้ำยางไว้ระยะหนึ่งจึงทำการใส่ส่วนที่เหลือในช่วงสองหลังจากปั่นน้ำยางเป็นฟองแล้ว ขณะปั่นฟองเกือบสมบูรณ์จะใส่ซิงค์ออกไซด์ และสุดท้ายใส่สารทำให้เกิดเจลหลักที่ทำให้เกิดเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) ในการทำให้ฟองเซตตัว จากนั้นทำการเทโฟมยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ที่ต้องการและปล่อยให้โฟมยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้โฟมยางเกิดการคงรูป หลังจากนั้นจึงดึงโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ ล้าง บิดให้หมาด และนำไปอบเพื่อให้ยางเกิดการเชื่อมโยงและทำให้แห้ง ซึ่งมีข้อดีดังนี้

- สามารถควบคุมความนิ่ม-แข็งของโฟมยางได้ด้วยการควบคุมระดับการตีฟอง ถ้าตีฟองให้ฟูเป็นเวลานานจะได้โฟมยางที่นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ หากตีฟองเป็นเวลาสั้น ๆ จะได้โฟมยางที่แข็งมีความหนาแน่นสูง
- รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์สั้นกว่า จึงผลิตได้เร็วกว่าแบบทาลาเลย์ (Talalay)

2.7 สมบัติของโฟมยางธรรมชาติ [30]

2.7.1 การขยายตัวและความหนาแน่น

การขยายตัวหรือฟองตัว (Expansion) ของโฟมยางธรรมชาติ เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุ นิยามที่เหมาะสมคือ ปริมาตรของอากาศในโฟมยางธรรมชาติ ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่น สมบัตินี้มีความสำคัญต่อผู้ผลิตในแง่ของต้นทุนวัตถุดิบและสำคัญต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โฟมยางธรรมชาติในด้านของการรับน้ำหนัก นอกจากนี้เรื่องสูตรน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งชี้ความหนาแน่นของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid phase) แล้วจะหาความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติได้จากระดับการขยายตัวระหว่างการปั่นน้ำยางให้เป็นฟองและการหดตัวของโฟมยางธรรมชาติภายหลังการขึ้นรูปในแม่พิมพ์สามารถหาความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติโดยการชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนของโฟมยางธรรมชาติที่มีขนาดเรขาคณิตปกติ ถ้าขึ้นงานมีขนาดไม่ปกติจะใช้วิธีการชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ โดยที่ก่อนชั่งในน้ำจะต้องนำขึ้นทดสอบไปเคลือบด้วยแว็กซ์ (Wax) ที่เหมาะสม เช่น พาราฟิน โดยการจุ่มขึ้นทดสอบลงในเอกซาร์นี่เป็นเอกซาร์นี่ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แวกซ์ที่หลอมเหลว เพื่อป้องกันโพลีเอทิลีนจากอุณหภูมิสูงที่ดูดซับน้ำเข้าข้างในเมื่อโพลีเอทิลีนจากอุณหภูมิสูงและแช่อยู่ในน้ำ ซึ่งน้ำหนักของแวกซ์ทั้งก่อนและหลังเคลือบขึ้นทดสอบ ต้องการรู้ความหนาแน่นของแวกซ์ ควรควบคุมอุณหภูมิของน้ำและอากาศภายในห้องชั่งด้วย และคำนวณหาความหนาแน่นของโพลีเอทิลีน

2.7.2 การยุบตัวจากแรงกด

การวัดสมบัติการยุบตัวจากแรงกด (Compression set) ของโพลีเอทิลีนตามมาตรฐาน ASTM D395 และ ISO 815 เป็นการหาสถานการณ์คงรูปของโพลีเอทิลีนจากการสูญเสียความหนาของชิ้นงาน (เป็นร้อยละ) ภายหลังจากกดชิ้นงานลง 50% ของความหนาเดิมนาน 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C และตั้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ชิ้นทดสอบคืนตัวที่อุณหภูมิห้อง ค่าความหนาที่สูญเสียไปคำนวณเป็นร้อยละของความหนาเดิม โดยทั่วไปยอมรับที่ค่าต่ำกว่า 10% หรือหาในลักษณะของการเสีรูปภายหลังการออกแรงกดแล้วปล่อยแรงกดออก หาค่าเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของความหนาเริ่มแรกของชิ้นทดสอบ หรือหาเป็นสัดส่วนหรือการหาร้อยละของแรงกดสูงสุด

2.7.3 ความแข็ง

ค่าความแข็ง (Hardness) ของโพลีเอทิลีนตามมาตรฐาน ASTM D314, D531 และ D1415 คือค่าแรงที่หัวกด (Indenter) ซึ่งมีรูปร่างเฉพาะกดลงที่ผลิตภัณฑ์โพลีเอทิลีน ขนาดของหัวกดควรใหญ่พอที่จะทำหน้าที่กดพื้นที่ผลิตภัณฑ์ได้ คล้ายคลึงกับการรับแรงขณะใช้งาน ตัวอย่างเช่น มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร การลดลงของความหนาของผลิตภัณฑ์ประมาณ 60% ของความหนาเดิม ความแข็งของโพลีเอทิลีนขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของโพลีเอทิลีน โดยมีความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองคือ ความแข็ง = K (ความหนาแน่น)ⁿ เมื่อ n เป็นค่าคงที่ ซึ่งปกติอยู่ระหว่าง 2.0-3.0 ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโพลีเอทิลีน ส่วนค่าคงที่ K ขึ้นอยู่กับความลึกที่ชิ้นทดสอบถูกกด ขนาดของหัวกด และระดับของหัวกด (Degree of indentation) ซึ่งค่าคงที่ K คือ โมดูลัสของพอลิเมอร์วิภาคต่อเนื่อง (Continuous polymer phase) นอกจากนี้ความแข็งของโพลีเอทิลีนยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นโพรงหรือแกน (Core) ของโพลีเอทิลีน ระยะและการเรียงตัวของแกน

2.7.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด

ความต้านแรงดึงของโพลีเอทิลีนตามมาตรฐาน ASTM D412 ขึ้นอยู่กับระดับการขยายตัวของฟองและคุณภาพของวิภาคที่เป็นของแข็ง ส่วนความยาวที่จุดขาดไม่ขึ้นอยู่กับ การขยายตัวของฟอง โดยหลักการแล้วความยาวที่จุดขาดบ่งบอกถึงคุณภาพส่วนที่เป็นของแข็งของวัสดุ นอกจากนี้ คุณภาพนี้ยังลดลงเพราะสารบางตัวที่เติมขณะเตรียมคอมพาวด์ เช่น สารตัวเติม การหาค่าความยาวที่จุดขาดเพียงอย่างเดียวสามารถทำได้โดยการเตรียมตัวอย่างเป็นริ้วรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำเครื่องหมาย 2 ตำแหน่งห่างกัน เช่น 2.54 เซนติเมตร จากนั้นใช้ตัวยึดจับตัวอย่างเพื่อดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน วัดความยาวที่ชิ้นงานทดสอบถูกดึงให้ยืดออก

ก่อนขาด คำนวณ หาค่าความยาวที่จุดขาดเป็นร้อยละของความยาวเริ่มแรกที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการหาทั้งค่าความต้านแรงดึงยางกับค่าความยาวที่จุดขาด ต้องเตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล จากตัวอย่างโพลียเอทิลีน และกำหนดความหนาของชิ้นทดสอบ (เช่น 6 มิลลิเมตร) ทำเครื่องหมาย 2 เส้นขนานกันตรงตำแหน่งแควของชิ้นทดสอบรูปดัมเบล แล้วให้ตัวยึดชิ้นงานของเครื่องดึงยางจับชิ้นทดสอบดึงชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน คำนวณหาความยาวที่จุดขาด และหาความต้านแรงดึงยางเป็นสัดส่วนของแรงที่ดึงชิ้นทดสอบจนขาด ต่อพื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งแควของชิ้นทดสอบรูปดัมเบล

2.7.5 ความล้า

ความล้า (Fatigue) มีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 132 แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) การล้าแบบคงที่ (Static fatigue) คือการสูญเสียความแข็งแรงและความหนาของโพลียเอทิลีนเมื่อถูกแรงคงที่ (Static load) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ใช้น้ำหนักกดโดยระดับของน้ำหนักที่ใช้ขึ้นอยู่กับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่างโพลียเอทิลีน

2) การล้าแบบพลวัต (Dynamic fatigue) มีการทดสอบหลายวิธีของการหักงอ (Flexing) และวิธีการให้แรงกดซ้ำ ๆ จนชิ้นงานเสียหาย (Pounding) โดยการทดสอบนี้เป็นการทำให้โพลียเอทิลีนถูกกด (Compression) และคืนตัว (Recovery) ตามจำนวนรอบที่กำหนด การกระทำดังกล่าวจะสามารถประเมินความต้านทานต่อการล้าของตัวอย่างได้ โดยการตรวจสอบการแตกของโครงสร้างเซลล์ของโพลียเอทิลีนหรือทดสอบความเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่ทดสอบ ในกลุ่มสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาแนวโน้มตัวอย่างจะทนต่อ Dynamic fatigue ได้คือความหนา และการทดสอบ Compression or Indentation ในส่วนของการทำให้ชิ้นทดสอบถูกกดและคืนตัวตามจำนวนรอบ (Cycle) ที่กำหนดมี 2 วิธี วิธีหนึ่งคือให้ชิ้นทดสอบถูกกระทำให้เสียรูปอย่างเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น 2.5×10^5 Cycles to a fixed indentation อีกวิธีหนึ่งให้ชิ้นทดสอบถูกกระทำโดยน้ำหนักเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น 8×10^4 Cycles with maximum load of 750 N

การสูญเสียความแข็งแรงระหว่างถูก Constant load pounding ของคอมพาวด์ ๆ หนึ่งจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ถ้าความหนาแน่นสูงจะมีการสูญเสียความแข็งแรงน้อย อย่างไรก็ตามคุณภาพของวัสดุของพอลิเมอร์มีส่วนสำคัญด้วยเช่นกัน และถ้าใช้สารตัวเติมมากเกินไปสามารถให้ผลด้านลบ กรณีของโพลียเอทิลีนที่ขึ้นรูปโดยแม่พิมพ์ การออกแบบแม่พิมพ์ การกำหนดตำแหน่งและขนาดของแกนมีผลต่อสมบัติความล้า ขนาดแกนใหญ่เกินไป หรือผนังเซลล์มีความหนาไม่เพียงพอจนทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปเกินไปมาก (Excessive strains) ขณะการล้าแบบพลวัตจะมีผลทำลายโครงสร้างของโพลียเอทิลีน

2.8 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโพลียเอทิลีน

สารเคมีที่เติมลงไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ และสารเคมีที่ใช้ควร

เตรียมให้อยู่ในสถานะสารละลาย ดิสเพิซชัน หรืออิมัลชัน เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 สารเชื่อมโยงกำมะถัน [31]

สารที่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ โดยกำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมมากที่สุดประมาณ 90%

กำมะถัน (Sulfur) เป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ที่โมเลกุลของยางมีโครงสร้างเป็นโมเลกุลแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturation) โดยทั่วไปการเติมกำมะถันลงในน้ำยางใช้ประมาณ 1-2 phr กำมะถันที่ใช้ต้องมีคุณภาพดี และเตรียมเป็นดิสเพิซชัน พันธะเคมีเชื่อมโยงโมเลกุลยาง (Chemical bond for crosslink) ที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาการเชื่อมโยง ยางเป็นแบบกำมะถันเชื่อมโยงที่มีรูปแบบพันธะเชื่อมโยง 3 ชนิดคือ พันธะเชื่อมโยงกำมะถันอะตอมเดี่ยวหรือโมโนซัลฟิดิก (Monosulfidic linkage) พันธะเชื่อมโยงกำมะถันสองอะตอมหรือไดซัลฟิดิก (Disulfidic linkage) และพันธะเชื่อมโยงกำมะถันหลายอะตอมหรือพอลิซัลฟิดิก (Polysulfidic linkage) เป็นการเรียกตามจำนวนอะตอมของกำมะถันในแต่ละพันธะเชื่อมโยง สมบัติเชิงกลและสมบัติ การเสื่อมสภาพของยางที่เชื่อมโยง และขึ้นอยู่กับสัดส่วนแต่ละชนิดของพันธะเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งถ้าเป็นรูปแบบการพอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลฟิดิกจะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี เช่น สมบัติความทนทานต่อแรงดึง สมบัติความต้านทานต่อการล้า เป็นต้น แต่สมบัติการรีเวอร์ชัน (Reversion) ไม่ดี ซึ่งรูปแบบการพอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบโมโนซัลฟิดิกมีสมบัติเชิงกลดีกว่า แต่มีสมบัติการรีเวอร์ชันดีกว่า เช่น มีความเสถียรต่อความร้อนและสมบัติการยุบตัวจากแรงกดอัดดี ปัจจัยที่มีผลต่อการลักษณะการเกิดพันธะเชื่อมโยงคือสัดส่วนของกำมะถันกับสารตัวเร่ง อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนหลังจากการเชื่อมโยงแล้ว (Post cure) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเชื่อมโยงแบบอื่นเกิดขึ้น เช่น รูปแบบพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลฟิดิกที่มักเกิดกับการเชื่อมโยงยางที่อุณหภูมิต่ำ

2.8.2 สารตัวเร่ง [32]

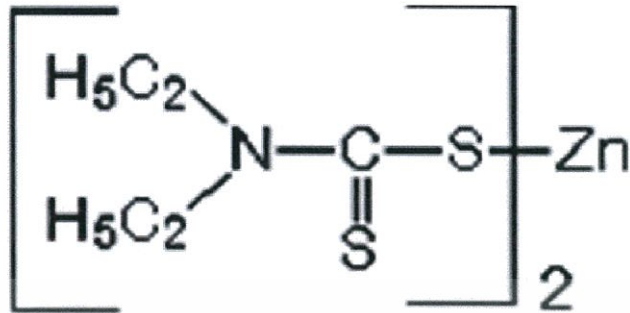
โดยปกติการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวจะเกิดการเชื่อมโยงช้ามาก แม้จะใช้อุณหภูมิในการเชื่อมโยงสูง การใช้สารตัวเร่ง (Accelerator) จะช่วยลดเวลาลดอุณหภูมิในการเชื่อมโยง นิยมใช้สารประเภทที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอุณหภูมิการเกิดปฏิกิริยาต่ออันข้างต่ำ สารตัวเร่งที่นิยมใช้ในเทคโนโลยีน้ำยางมากที่สุดเป็นพวกเกลือของไดไทโอคาร์บาเมตคือ ซิงค์ไดเอทิลไดไทโอคาร์บาเมต (Zinc-diethyldithiocarbamate, ZDEC) เป็นเกลือประเภทไอออนบวก (Cations) ที่สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ เกลือของโลหะ (Metal ions) และเกลือของแอมโมเนียม (Substituted ammonium ions) โดยทั่วไปจะใช้ร่วมกับสารเร่งกลุ่มไทอาโซล (Thiazoles) หรือซัลฟิनाไมค์ (Thiuram sulphides) เพื่อช่วยปรับสถานะและอัตราเร็วของการเชื่อมโยงยางให้เหมาะสม

2.8.2.1 ZDEC (Zinc-diethyldithiocarbamate)

ZDEC เป็นสารเร่งชนิดไดไทโอคาร์บาเมต สารเคมีกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยงยางโดยใช้ความร้อนหรือน้ำ เป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้นสามารถรูปได้ดี และเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่ำที่ 115-125°C ในระยะเวลาสั้น โดยทั่วไปสารเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ยาง

ทนต่อการเสื่อมสภาพลดลงเมื่อได้รับการเชื่อมโยงนานเกินไป และถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูัดเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

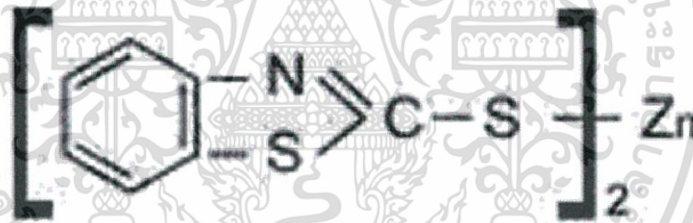
รีเวอร์ชันขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควรใช้อุณหภูมิการเชื่อมโยงสูงเกิน 125°C การใส่ลงไปได้อย่างสามารถผสมลงไปพร้อม ๆ กับกำมะถันได้



รูปที่ 2.24 สูตรโครงสร้างของ ZDEC [32]

2.8.2.2 ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole) [33]

ZMBT เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มไทอาโซลที่มีอัตราเร็วในการเชื่อมโยงปานกลาง (Semi-ultra accelerator) สารเคมีในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบของการเชื่อมโยงยาง

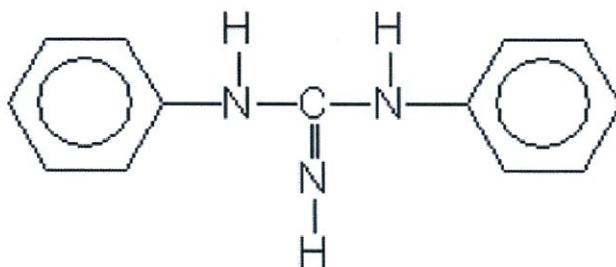


รูปที่ 2.25 สูตรโครงสร้างของ ZMBT [33]

2.8.2.3 DPG (Diphenyl guanidine) [32]

DPG เป็นสารตัวเร่งกลุ่มกัวนิดีนที่เชื่อมโยงยางได้ช้า (Slow accelerator) และค่อนข้างจะทำให้ยางเปลี่ยนสี เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิที่นิยมนำไปใช้ร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาปฐมภูมิในกลุ่มอื่น ๆ เมื่อใช้เป็นตัวเร่งเสริมจะทำให้มีการกระตุ้นสูงมาก โดยเฉพาะการกระตุ้นพวกไทอาโซล ทำให้ยางที่มีสมบัติเชิงกลดีและมีอายุการใช้งานนาน (Ageing) ขึ้น ถ้าใช้สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งหลักจะไม่สามารถทำให้เกิดการเชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อนได้เพราะจะจับตัวเข้าเกินไป การทำงานของกัวนิดีนต้องใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นตัวกระตุ้น แต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรดไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 สูตรโครงสร้างของ DPG [32]

2.8.3 สารตัวกระตุ้น [34]

สารตัวกระตุ้น (Activator) ทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับระบบกำมะถันนิยมใช้สารอินทรีย์ที่สำคัญคือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) สารกระตุ้นสารอินทรีย์ที่นิยมคือ กรดสเตียริก (Stearic acid) นิยมใช้ ZnO ในอัตราส่วน 3-5 phr ร่วมกับกรดสเตียริกในปริมาณ 1-2 phr ซึ่งทำให้ยางมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น ถ้าหากบางครั้งไม่มีสารกระตุ้นจะไม่มีการเชื่อมโยงเกิดขึ้น และบางครั้งอาจใช้สารประกอบซิงค์ชนิดอื่น เช่น ซิงค์สเตียเรตและซิงค์คาร์บอเนต ทำให้น้ำยางหนืดแต่น้อยกว่า จึงจำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นเพื่อให้ยางมีการเชื่อมโยงได้อย่างสมบูรณ์

ZnO ที่มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถลดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ แต่ถ้าใช้มากกว่า 5 phr ขึ้นไป อาจเป็นจุดประสงค์อื่นมากกว่าจะใช้เป็นสารกระตุ้น เช่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนา ๆ โดยเฉพาะการเชื่อมโยงยางโดยใช้อากาศร้อน ข้อควรระวังของสารกลุ่มนี้คือ มีผลข้างเคียงทำให้น้ำยางมีความหนืด จึงควรเติมในขั้นตอนท้าย ๆ ของการผสมสาร

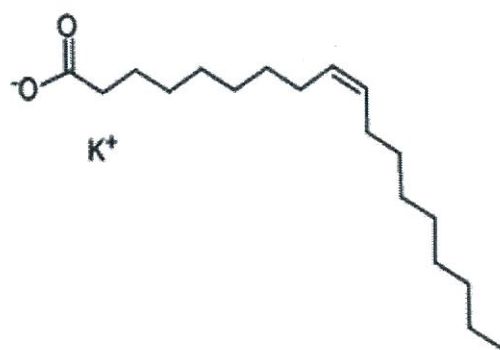
2.8.4 สารป้องกันออกซิเดชัน [32]

สำหรับการออกสูตรยางจำเป็นต้องเติมสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants) เพื่อป้องกันหรือลดอัตราเร็วในการเสื่อมสภาพจากการที่ออกซิเจนเข้าไปปฏิกิริยากับยาง ประสิทธิภาพในการป้องกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสารที่ใช้ ซึ่งไม่มีสารใดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันการเสื่อมสภาพ แต่สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำยางอาจไม่จำเป็นต้องใช้สารป้องกันการออกซิเดชันในสูตรการผสม เนื่องจากสารที่อยู่ในสภาพน้ำยางมีความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี อีกทั้งไม่ต้องผ่านกระบวนการบดยางให้นิ่ม (Mastication) เหมือนยางแห้งที่จะทำให้เกิดแรงกลตัดสายโซ่และที่อุณหภูมิสูงขึ้นไปโมเลกุลยางจะเกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตาม การผสมสารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันลงในน้ำยางจะให้ผลดีในแง่คุณภาพผลผลิตสูง ซึ่งนิยมเติมลงในน้ำยางในช่วงประมาณ 0.5–2 phr สารป้องกันการออกซิเดชันที่นิยมใช้ คือ วิงสเตย์แอล (Wingstay L)

2.8.5 โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium oleate, KO) [35]

โพแทสเซียมโอเลเอต เป็นสารที่ใสในน้ำยางธรรมชาติ เพื่อทำให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการปั่นฟอง ช่วยให้น้ำยางมีความคงตัวต่อเครื่องกลตีขึ้น ซึ่งถ้าใสในปริมาณที่มากขึ้นจะทำให้เกิดฟองมาก มีผลทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 สูตรโครงสร้างของโพแทสเซียมโอเลอเตต [35]

2.8.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF) [32]

โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลจัดเป็นสารพวกอนินทรีย์ที่เติมลงไปในน้ำยา เพื่อให้เกิดเจลมีลักษณะกึ่งของแข็งหรือของเหลว

2.8.7 สารตัวเติม

สารตัวเติม (Fillers) เป็นองค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้นหรือเพื่อลดต้นทุน สารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมที่นิยม ได้แก่ เหมาดำ ซิลิกา ดินขาว แคลเซียมคาร์บอเนต แบเรียมซัลเฟต เป็นต้น

2.8.7.1 แคลเซียมคาร์บอเนต [36]

- สูตรโมเลกุล	CaCO_3
- มวลโมเลกุล	100.09 g/mol
- ความถ่วงจำเพาะ	2.72
- ความหนาแน่น	2.71 g/cm ³

แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) เป็นวัสดุระดับชั้นกลางที่ผลิตจากหินปูนมีลักษณะเป็นผลึกหรือผง ไม่มีกลิ่น มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เนื่องจากมีสมบัติที่บดให้ละเอียดได้ง่าย โดยผงละเอียดของแคลเซียมคาร์บอเนตมีความเสถียรทางเคมีและไม่เป็นพิษ นอกจากนี้ ยังเป็นตัวเพิ่มปริมาณ (Extender) ในอุตสาหกรรมกระดาษ สีพลาสติก พีวีซี และยาง เช่น ยางในและยางนอกรถยนต์ รองเท้า สายพานลำเลียงขนถ่ายสินค้า เป็นต้น

2.8.7.2 ไททานเนียมไดออกไซด์ [37]

- สูตรโมเลกุล	TiO_2
- มวลโมเลกุล	79.86 g/mol
- ความถ่วงจำเพาะ	4.23
- ความหนาแน่น	4.23 g/cm ³

ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide) เป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะไททาเนียมที่ถูกนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ เนื่องจากมีความเสถียรสูง ไม่เป็นพิษ มีชื่อทางการค้าคือ ไททาเนียมได-ออกไซด์ ไททานิกแอนไฮไดรด์ (Titanic anhydride) และไททาเนีย (Titania) ประโยชน์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมสีที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมของสี ลักษณะเฉพาะ ของไททาเนียมไดออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหสูง ทำให้มีความสว่างและดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ดี ทำให้สีคงทนในการใช้งานหรืออุตสาหกรรมยางนำมาใช้ในการดูดซับแสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้อย่างคงทนในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

2.8.7.3 ซิลิกา [38-39]

ซิลิกา (Silica) มีสูตรโครงสร้างเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) มีสมบัติทั่วไปดังนี้

- สูตรโมเลกุล	SiO_2
- มวลโมเลกุล	60.1 g/mol
- ความถ่วงจำเพาะ	2.2
- ความหนาแน่น	2.2 g/cm ³

ซิลิกามีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น สามารถแบ่งออกได้เป็นหลายเกรด แต่ละเกรดจะแตกต่างกันตามขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particle size) หรือพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific surface area) ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่สามารถเสริมแรงได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับสารตัวเติมสีไม่ดำชนิดอื่น ๆ โดยเฉพาะซิลิกาที่มีขนาดอนุภาคเล็ก โครงสร้างซิลิกาที่นิยมมากใช้ในอุตสาหกรรมยางมีขนาดของอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 10-40 นาโนเมตร ซิลิกาจะไม่อยู่อย่างเดี่ยว ๆ ในรูปของอนุภาคปฐมภูมิแต่จะจับกลุ่มรวมกันเป็นก้อนที่เรียกว่า แอ็กกรีเกต (Aggregates) เกิดเป็นโครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure) ซึ่งโครงสร้างนี้ไม่สามารถถูกทำลายได้ในระหว่างกระบวนการผสม นอกจากนี้แอ็กกรีเกตของซิลิกายังชอบจับกลุ่มกันเป็นก้อนขนาดใหญ่มากขึ้น เรียกว่า แอ็กโกลเมอเรต (Agglomerates) เกิดเป็นโครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure) ลักษณะทางเคมีของพื้นผิวเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมระดับการเสริมแรงของซิลิกา เพราะจะเป็นตัวบ่งชี้ระดับของอันตรกิริยาระหว่างยางกับซิลิกา โดยทั่วไปบนพื้นผิวของซิลิกาจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่ช่วยให้พื้นผิวซิลิกามีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหมู่ไฮดรอกซิลสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในยางคอมพาวด์ได้ เช่น สารคู่ควบไซเลน น้ำ หรือไกลคอล เป็นต้น ปัจจุบันซิลิกาชนิดที่นิยมนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมยางคือ ซิลิกาชนิดตกตะกอน (Precipitated silica) หรือในรูปคอลลอยด์

ชนิดของซิลิกา

- 1.ซิลิกาจากธรรมชาติหรือซิลิกาชนิดบด (Ground silica) คือ ซิลิกาผลึก (Crystalline silica) ซิลิกาผลึกเล็ก (Microcrystalline silica) ซิลิกาไดอะตอมเมเนียส (Diatomaceous silica)
- 2.ซิลิกาชนิดสังเคราะห์ (Synthetic silica) คือ ซิลิกาชนิดไอ (Fumed silica) ซิลิกาชนิดตกตะกอน และซิลิกาชนิดเจล (Gel silica)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ยางซิลิโคน [40-41]

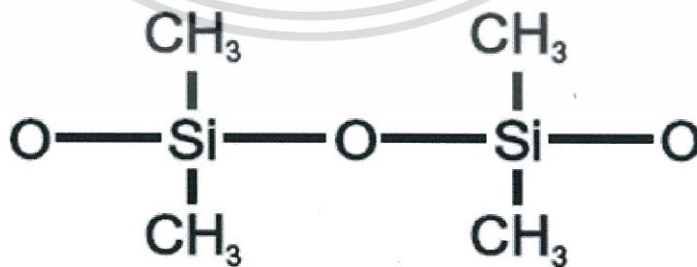
ยางซิลิโคน (Silicone rubber) ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเลียนแบบยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายกาวลาเท็กซ์ มีความนิ่มและความแข็งของเนื้อยางมีความหลากหลาย และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นพอลิซิลอกเซน (Polysiloxane) ดังรูปที่ 2.28 โดยแกนโซ่หลักไม่ได้ประกอบไปด้วยไฮโดรคาร์บอนเหมือนยางชนิดอื่น ๆ แต่จะประกอบไปด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) โดยพันธะของ Si-O (พลังงานพันธะสูงประมาณ 88-117 kcal/mole) มีความแข็งแรงกว่าพันธะของ C-C (พลังงานพันธะประมาณ 83-85 kcal/mole) ยางซิลิโคนมีสมบัติ ดังนี้

- อุณหภูมิการใช้งานคือ -60 ถึง 250°C
- ทนต่อสภาพอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดด ความร้อน รังสีได้ดี และไอน้ำปานกลาง
- สมบัติเชิงกลไม่ดี เช่น การทนต่อแรงดึง การขีดถูหรือความต้านทานต่อแรงกระแทกต่ำ
- อัตราการซึมผ่านของแก๊สสูง
- ไม่ทนสารเคมี เช่น กรด ต่าง น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทเอสเทอร์ (Esters) คีโตน (Ketone)

ตัวทำละลายที่มีสารฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Halogenated solvents) ตัวทำละลายแลกเกอร์ เป็นต้น

- ทนการติดไฟได้ดี มีความเป็นฉนวน
- สมบัติการยุบตัวจากแรงกดต่ำ
- ทนทานต่อแบคทีเรียและเชื้อรา
- ผิวลื่น

สำหรับยางซิลิโคนนั้นมีหลายเกรด แสดงดังตารางที่ 2.1 ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลวหนืดสูง และค่าความหนืดขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย โดยจำเป็นต้องทำให้คงรูปโดยกระบวนการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) การนำไปใช้งานของซิลิโคน เช่น ฉนวนกันความร้อน วัสดุทางการแพทย์ หรือวัสดุทันตกรรม เป็นต้น



รูปที่ 2.28 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน [41]

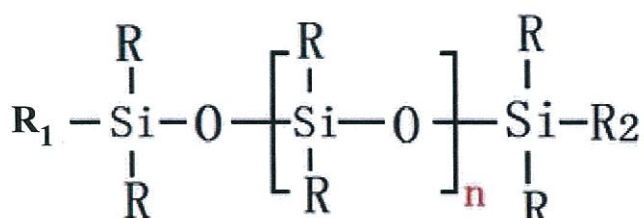
ตารางที่ 2.1 ยางซิลิโคนชนิดต่าง ๆ [41]

เกรด	หมู่แทนที่ (R)	โครงสร้าง	การใช้งาน
MQ	หมู่เมทิล (CH ₃) เท่านั้น		เกรดที่มีการใช้งานมากที่สุด
VMQ	หมู่ไวนิล (CH ₂ =CH ₂) และหมู่เมทิล (CH ₃)		ใช้งานทั่วไปมีค่าการยวบตัวถาวรหลังกดดี
FMQ	หมู่ฟลูออรีน (F) และหมู่เมทิล (CH ₃)		ทนต่อน้ำมันและสารเคมีได้ดี
PMQ	หมู่ฟีนิล (C ₆ H ₅) และหมู่เมทิล (CH ₃)		ใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ทนต่อความร้อนและรังสี
FVMQ	หมู่ฟลูออรีน (F) หมู่ไวนิล (CH ₂ =CH ₂) และหมู่เมทิล (CH ₃)		ทนต่อน้ำมันและสารเคมีได้ดีและใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง

2.10 น้ำมันซิลิโคน [42]

น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ใช้เป็นสารประกอบยางซิลิโคน โดยโครงสร้างมีหน่วยซ้ำเป็นซิลอกเซน (Siloxane) ลักษณะเป็นของเหลวใสเหมือนน้ำ ไม่มีกลิ่น ทนต่อการติดไฟ ทนอุณหภูมิตั้งแต่ -60°C ถึง 250°C แรงตึงผิวต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปน้อยกว่า 209 J/cm^2 เมื่อเทียบกับน้ำและสารลดแรงตึงผิว น้ำมันซิลิโคนทั่วไปมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง โดยค่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงขณะทำงานที่อุณหภูมิสูงมากหรือต่ำมาก ๆ ได้ อีกทั้งช่วยลดความหนืด (Viscosity) และความแข็งกตของยางซิลิโคนทำให้ง่ายต่อการใช้งาน แต่จะเป็นการลดสมบัติเชิงกลของยาง ประโยชน์ของน้ำมันซิลิโคนใช้เป็นสารหล่อลื่น (Lubricants) สารขัดผิว เคลือบเงา สารหล่อลื่นกันกระแทก สารป้องกันโฟม (Antifoam) สารขัดเบ้าหลอมแม่พิมพ์ ปัจจุบันน้ำมันซิลิโคนมีหลากหลาย ชนิดที่มีประสิทธิภาพที่ดีคือ “Polydimethylsiloxane”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 สูตรโครงสร้างของน้ำมันซิลิโคน [42]

2.11 สารเปอร์ออกไซด์ [26, 43]

สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ใช้เพื่อการเชื่อมโยงยางได้ทั้งชนิดที่มีความอึดตัว เช่น ยางซิลิโคน และชนิดที่ไม่อึดตัวหรือชนิดที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้กับยางควรเป็นสารที่มีความเสถียรเก็บรักษาไว้ได้นาน มีความว่องไวพอสมควรในการทำปฏิกิริยากับยางที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงและปลอดภัยในการทำงาน ได้แก่ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เบนซิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) เป็นต้น

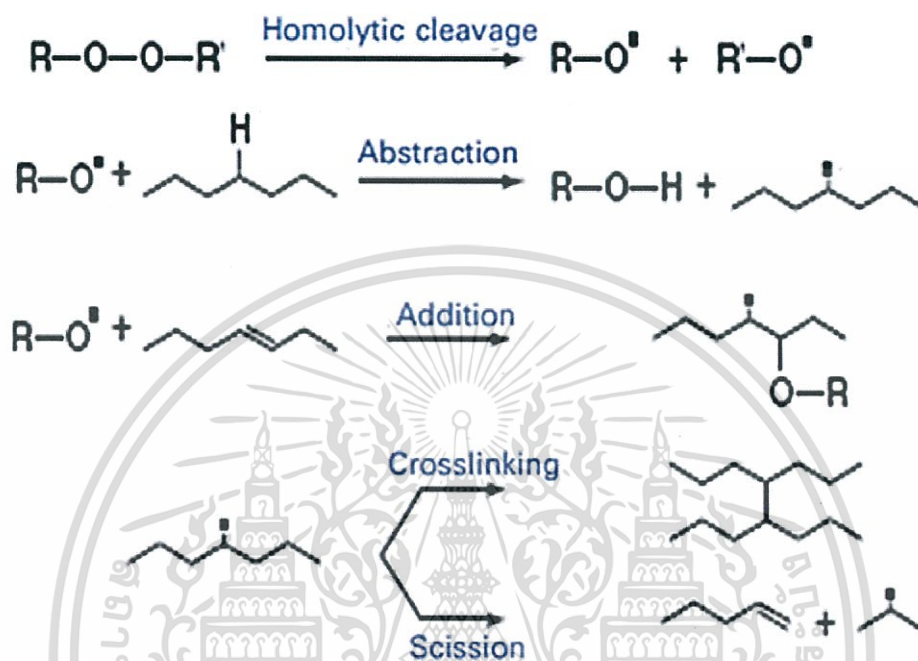
2.11.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization) มีข้อได้เปรียบกว่าการใช้กำมะถัน โดยสามารถใช้กับยางทั้งที่มีโมเลกุลอึดตัวและมีโมเลกุลไม่อึดตัว ยางที่เชื่อมโยงแล้วจะได้เปรียบด้านการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดตัวและสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำกว่า อีกทั้งยางที่ได้จากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์จะมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ อันเนื่องมาจากความร้อนสูงกว่ายางที่เชื่อมโยงด้วยกำมะถัน เนื่องจากพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C bonds) ที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีความแข็งแรงกว่าพันธะแบบโมโนซัลฟิดิกและพอลิซัลฟิดิก (C-S bonds และ S-S bonds) ที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน (มีพลังงานพันธะของ C-C, C-S และ S-S มีค่า ประมาณ 344, 279 และ 206 kJ/mol ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามการใช้เปอร์ออกไซด์ในเชื่อมโยงมีข้อเสียบางประการคือ ยางที่ได้จากการใช้เปอร์ออกไซด์บางชนิดโดยเฉพาะไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) และบิวทิลคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (BCUP) อาจมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ของอะเซโทฟีโนน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาการเชื่อมโยงยาง สำหรับยางที่สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ดี (เช่น ยางซิลิโคน) จึงต้องมีการกำจัดสารที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยการนำยางที่เชื่อมโยงแล้วไปผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง (Post curing) ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นเพราะสารเคมีเหล่านี้อาจเข้าไปมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพของยาง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการใช้งานลดลง

กลไกเชื่อมโยงยางด้วยเปอร์ออกไซด์เกิดเมื่อยางได้รับความร้อน เปอร์ออกไซด์จะแตกตัวตรงพันธะระหว่างออกซิเจน-ออกซิเจน (O-O bond) เกิดเป็นอนุมูลอิสระแอลคอกซี (R-O* และ R'-O*) จากนั้นอนุมูลอิสระแอลคอกซีจะเข้าไปดึงอะตอมของไฮโดรเจนจากโมเลกุลยาง ทำให้โมเลกุลยางกลายเป็นอนุมูลอิสระ และเมื่ออนุมูลอิสระของโมเลกุลยาง 2 โมเลกุลเข้ามาทำปฏิกิริยากันจะก่อให้เกิดพันธะเชื่อมโยงโมเลกุลยางมีกลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ ดังรูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดย บริษัท อีโคโนมิคส์ จำกัด ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

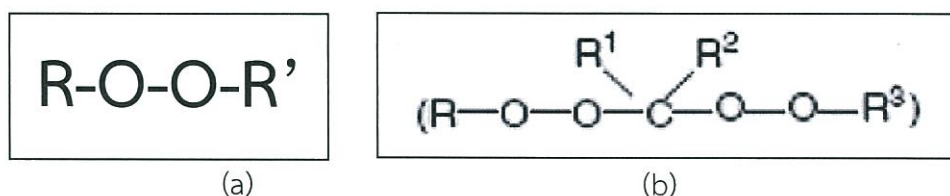
นอกจากนี้หากโมเลกุลยางมีพันธะคู่เป็นองค์ประกอบ อนุมูลอิสระแอลคอกซีบางส่วนอาจจะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดอื่นได้ เช่น ไฮโดรเจนที่ตำแหน่งอัลลิลิก (Allylic hydrogen) เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางที่อิมัตว์ การรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.30 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ [43]

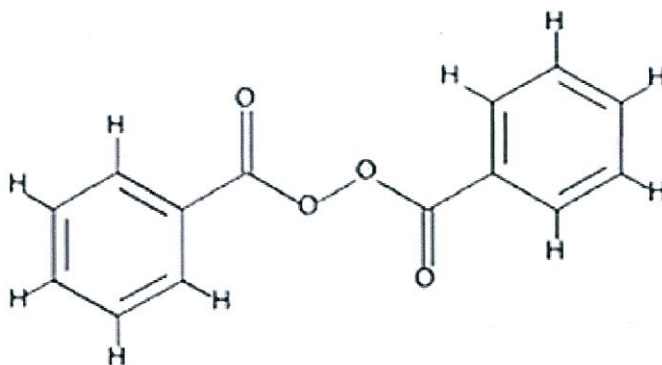
2.11.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ [43]

เปอร์ออกไซด์สามารถแบ่งออกได้หลายกลุ่มตามลักษณะโครงสร้างทางเคมี เปอร์ออกไซด์ที่นิยมนำมาใช้ในเชื่อมโยงยางมากที่สุด 2 กลุ่มแรกคือ ไดแอลคิลเปอร์ออกไซด์ (Dialkyl peroxide) และเปอร์ออกซีคีทัล (Peroxyketals) มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.31 เปอร์ออกไซด์อีกกลุ่มหนึ่งที่นิยมใช้ในการเชื่อมโยงยางซิลิโคนคือ ไดเอซิลเปอร์ออกไซด์ (Diacyl peroxide) ตัวอย่างสำคัญของเปอร์ออกไซด์ในกลุ่มนี้คือ เบนโซอิลเปอร์ออกไซด์ มีสูตรโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.31 สูตรโครงสร้างของ (a) Dialkyl peroxide และ (b) Peroxyketals [43]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 สูตรโครงสร้างของ Benzoyl peroxide [46]

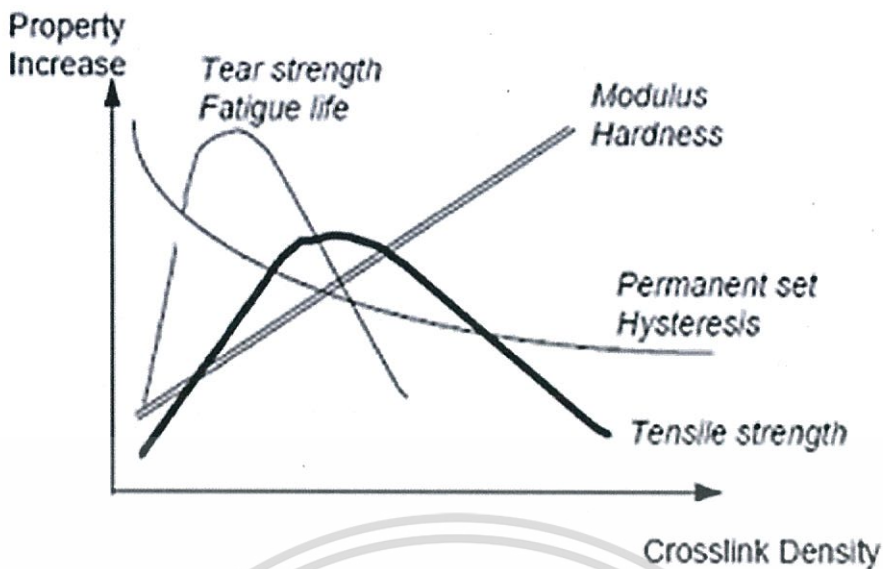
2.11.3 ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ [26]

ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Half-life of peroxide) คือ เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของสารประกอบเปอร์ออกไซด์หายไปครึ่งหนึ่ง ดังนั้นครึ่งชีวิตจึงสามารถใช้เป็นตัวบอกหรือใช้เปรียบเทียบเสถียรภาพและความเร็วในการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ กล่าวคือ ถ้าเปอร์ออกไซด์มีครึ่งชีวิตสั้น แสดงว่าเปอร์ออกไซด์ชนิดนั้นแตกตัวเร็วว่องไวสูงหรือมีเสถียรภาพต่ำ ทำให้มีอัตราการเชื่อมโยงสูง แต่จะเริ่มต้นเชื่อมโยงเร็ว (Scorch time สั้น) วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบเสถียรภาพของเปอร์ออกไซด์คือ “อุณหภูมิครึ่งชีวิต 10 ชั่วโมง” (10 Hours half-life temperature, 10 hr HL) นิยามเท่ากับอุณหภูมิที่ต้องใช้ในการสลายครึ่งหนึ่งของเปอร์ออกไซด์ในเวลา 10 ชั่วโมง อีกค่าที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ “อุณหภูมิครึ่งชีวิต 1 ชั่วโมง” (1 Hour half-life temperature, 1 hr HL) ซึ่งมีนิยามเหมือนกันต่างที่เวลา 1 ชั่วโมง

2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับสมบัติเชิงกลของยาง [44]

เมื่อยางเกิดการเชื่อมโยงด้วยสารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการเชื่อมโยงจากกำมะถัน เปอร์ออกไซด์หรือสารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด จะทำให้โครงสร้างโมเลกุลของยางเปลี่ยนจากโครงสร้างเส้นตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ การใช้ประโยชน์จากยางต้องมีปริมาณการเชื่อมโยงที่เพียงพอและเหมาะสมเพื่อให้ยางแข็งแรงเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ปริมาณการเชื่อมโยงสามารถระบุได้โดยใช้ “องศาการเชื่อมโยง (Degree of vulcanization)” หรือความหนาแน่นเชื่อมโยง (Cross-link density) ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนพันธะเชื่อมโยงในหน่วยปริมาตรของยาง โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลจะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density, ρ_c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



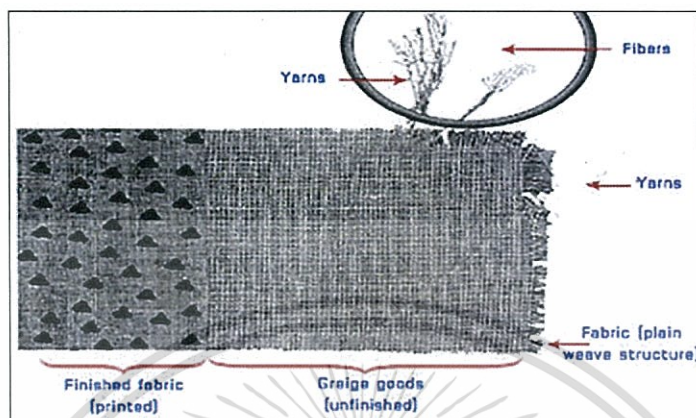
รูปที่ 2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางกับสมบัติเชิงกลบางประการของยาง [44]

จากกราฟสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สมบัติความแข็งของยาง เช่น โมดูลัส และความแข็ง เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อความหนาแน่นเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลระหว่างจุดเชื่อมโยง (Molecular weight between crosslinks, M_c) น้อยลง ทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นและยางมีความแข็งขึ้น ต้องใช้แรงมากเพื่อทำให้ยางเปลี่ยนรูปร่าง
2. สมบัติเชิงกลที่ทดสอบแล้วเกิดการแตกหักของยาง เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) อายุของควมล้า (Fatigue life) และยังมีร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) โดยทั้งหมดจะเกิดจุดสูงสุดที่มีความหนาแน่นเชื่อมโยงหนึ่งที่เท่านั้นที่จุดสูงสุดเรียกว่า “จุดเกิดเจล” (Gel point) โครงสร้างโมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกลายเป็นโครง สร้างร่างแหสามมิติสมบูรณ์ ยางกลายเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมเซต (Thermosets) ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้อีกแล้ว หลังจุดสูงสุดที่ความหนาแน่นเชื่อมโยงสูงสายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวย่างจำกัด เนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหที่แน่นทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ เป็นผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำลง ทำให้ยางเปราะและแตกหักได้ง่าย
3. สมบัติอื่น ๆ เช่น ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) หรือการสูญเสียพลังงานเมื่อได้รับแรงและการเปลี่ยนขนาดถาวร จะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น เนื่องจากการเกิดโครงสร้างร่างแหของยางทำให้เกิดการเสีรูปเนื่องจากแรงอัดได้ยากขึ้น

2.13 ผ้า [45]

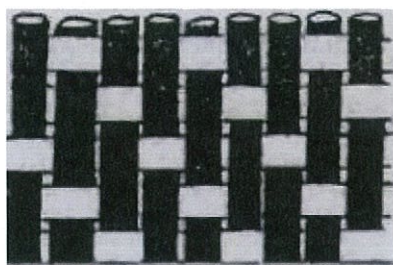
ผ้า (Fabric) คือวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนสามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านี้รวมกันเมื่อแบ่งแยกตามลักษณะการผลิตสามารถแบ่งประเภทของผ้าได้ดังนี้



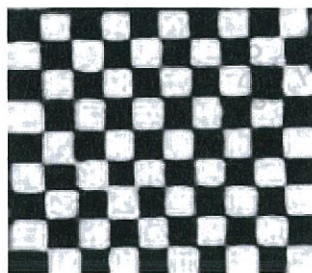
รูปที่ 2.34 ผ้าทอที่ประกอบด้วยด้ายและเส้นใย [46]

2.13.1 ผ้าทอ [45]

ผ้าทอ (Woven Fabrics) เกิดจากเส้นด้าย 2 ชุดหรือมากกว่ามาสอดขัดสานซึ่งกันและกัน เป็นมุมฉาก เส้นด้ายชุดหนึ่งซึ่งไปตามแนวยาวของผ้าเรียกว่า ด้ายยืน (Warp) แต่ละเส้นเรียกว่า เส้นยืน (Ends) ส่วนด้ายอีกชุดหนึ่งสอดขัดกับด้ายยืนตามแนวขวางเรียกว่า ด้ายพุ่ง (Weft or Filling) แต่ละเส้นเรียกว่า เส้นพุ่ง (Pick) เมื่อเส้นยืนและเส้นพุ่งขัดสานกันเรียกว่า โครงสร้างผ้า (Fabric construction) ซึ่งส่งผลต่อความคงทน (Durable) ความสวยงามและผิวสัมผัสของผ้า (Texture) ในปัจจุบันมีการพัฒนาจากการทอด้วยมือ (Hand looms) เป็นการใช้อุปกรณ์ในการทอโดยใช้เทคนิคหลายรูปแบบแตกต่างกัน ประเภทของผ้าทอแบ่งเป็นหลายชนิดขึ้นกับลักษณะการทอ เช่น ผ้าทอลายขัด (Plain) ผ้าทอลายสาน (Basket) ผ้าทอลายสอง (Twill) ผ้าทอลายซาติน (Satin) ผ้าทอลายเครป (Crepe) ผ้าทอลายด็อบบี้ (Dobby) ผ้าทอลายแจ็ควาร์ด (Jacquard) ผ้าทอลายดับเบิลโคลท (Double cloth) ผ้าทอขน (Pile) และผ้าทอลายเลโน (Leno)



(a)



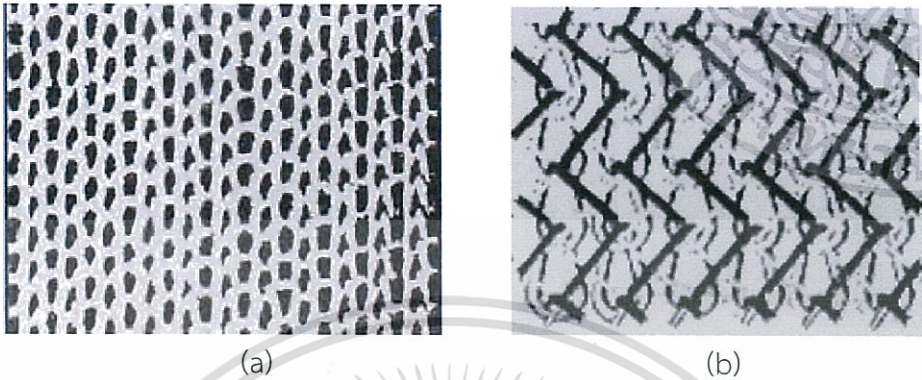
(b)

รูปที่ 2.35 รูปแบบโครงสร้างผ้าทอ (a) โครงสร้างผ้าทอลายขัด และ (b) โครงสร้างผ้าทอลายสอง [47]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.2 ผ้าถัก [46]

ผ้าถัก (Knitted fabrics) เป็นผ้าที่เกิดจากการใช้เข็ม (Needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดซัดกัน



รูปที่ 2.36 รูปแบบโครงสร้างผ้าถัก (a) โครงสร้างผ้าถักด้ายพุ่ง และ (b) โครงสร้างผ้าถักด้ายยืน [47]

2.13.3 ผ้าไม่ถักทอ [46]

ผ้าไม่ถักไม่ทอ (Nonwovens) มีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นผ้าที่เกิดจากการสานกันไปมาของเส้นใย (Fibrous web) มีการยึดกันด้วยการใช้เส้นใยพันกันไปมา (Mechanical entanglement) การใช้ความร้อนของ เรซินหรือ สารเคมีทำให้เกิดการยึดกันระหว่างเส้นใย ผ้าไม่ถักทอสามารถผลิตได้หลายกระบวนการผลิต

2.13.4 ผ้าอื่น ๆ

ผ้าที่เกิดจากกระบวนการผลิตอื่นที่นอกเหนือไปจากการถักและทอ เช่น การขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มทั้งจากสารละลาย จากการฉีดพลาสติกหลอม และการขึ้นรูปจากเส้นใยโดยตรง

2.14 เส้นใยและการแบ่งประเภทของเส้นใย [48]

คำว่า “เส้นใย” มีการกำหนดคำนิยามไว้ว่าเส้นใยคือ วัสดุที่มีมิติตามความยาวมากกว่ามิติตามภาคตัดขวางไม่น้อยกว่า 100 เท่า เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบขั้นพื้นฐานที่สุดของการผลิตผ้าฝ้าย ซึ่งมีผลต่อสมบัติการใช้งานโดยตรง เนื่องจากมีเพียงการใช้เส้นใยธรรมชาติเท่านั้น จนกระทั่งภายหลังศตวรรษที่ยี่สิบเมื่อมนุษย์ค้นพบการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใย [48]

เส้นใยธรรมชาติ			
เซลลูโลส (เส้นใยพืช)	โปรตีน(เส้นใยสัตว์)	แร่	ยาง
ฝ้าย (Cotton)	ขนสัตว์ (Wool)	แร่ใยหิน (Asbestos)	ยาง
ลินิน (Linen)	ไหม (Silk)		
ปอ (Jute)	ผม (Hair)		
นุ่น (Kapok)			
ป่าน (Hemp)			
เส้นใยสังเคราะห์			
เซลลูโลส	พอลิเมอร์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส		แร่และเหล็ก
เรยอน (Rayon)	โอลิฟิน (Olefins)	อะคริลิก (Acrylic)	โลหะ (Metallic)
ไลโอเซลล์ (Lyocell)	โพลีเอสเตอร์ (Polyester)	มอดอะคริลิก (Modacrylic)	แก้ว (Glass)
อะซิเตต (Acetate)	ซาราน (Saran)	อะรามิด (Aramid)	เซรามิก (Ceramic)
ไตรอะซิเตต (Triacetate)	สแปนเดกซ์ (Spandex)	ไนลอน (Nylon)	กราไฟต์ (Graphite)
	ไวนีลีน (Vinyon)	โนโวลอยด์ (Novoloid)	

2.14.1 โครงสร้างของเส้นใย [48]

โครงสร้างของเส้นใย (Fiber structure) นับจากส่วนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าคือ โครงสร้างภายนอก เช่น ความยาวของเส้นใย ความหนา ความละเอียด ลักษณะของผิวเส้นใย ส่วน โครงสร้างทางกายภาพอาจเห็นได้โดยกล้องจุลทรรศน์เช่น เส้นใยฝ้ายที่เจริญมาจากเส้นใยเมล็ด ลักษณะเซลล์เดี่ยว เส้นใยขนสัตว์ที่เกิดจากโครงสร้างหลายเซลล์แผ่ยาวตามกัน และเส้นใยลินินที่เกิดจากจำนวนเซลล์ยาวประกอบกันเป็นเส้นใยสังเคราะห์จากโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ยาวต่อเนื่อง

โครงสร้างทางกายภาพนี้จะส่งผลต่อความสามารถในการปั่นเป็นด้าย ความมัน การหดตัว สมบัติทางความร้อน ความฟู ตลอดจนความสวยงาม เมื่อผลิตเป็นผ้าผืนการจัดเรียงตัวของโครงสร้าง และการประกอบกันทางเคมีก่อให้เกิดโครงสร้างโมเลกุลที่ยาวต่อเนื่องเป็นสายโซ่ ปริมาณการต่อกันของมอนอเมอร์อาจเป็นพัน ๆ ทำให้กลายเป็นโมเลกุลยาวน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่ง ซึ่งบ่งบอกได้จากค่าที่ “ระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์” (Degree of polymerization) ความยาวของสายโซ่โมเลกุลหรือน้ำหนักโมเลกุลนั้นนอกจากจะมีความสำคัญความแข็งแรงของเส้นใยโดยตรงแล้ว ยังมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ หลายประการ

2.14.2 สมบัติของเส้นใย [49]

สมบัติของเส้นใย (Fiber properties) จะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยทั่วไป สมบัติของเส้นใยจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้คือ โครงสร้างภายนอกของเส้นใย องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างภายในของเส้นใย สมบัติต่อไปนี้จะมุ่งเน้นสมบัติที่มีประโยชน์กับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติที่มีผลต่อการนำเส้นใยมาปั่นเป็นเส้นด้าย

2.14.2.1 ความยาวของเส้นใย

เส้นใยธรรมชาติ (Fiber length) โดยทั่วไปมีความยาวค่อนข้างแตกต่างกันมาก ด้วยเหตุผลจากอิทธิพลของธรรมชาติ เช่น สภาพดินฟ้า อากาศ น้ำ หรืออาหารในดิน ดังนั้นแม้ว่าจะเป็นเส้นใยฝ้ายที่ปลูกพร้อม ๆ กัน การกระจายความยาวของเส้นใยยังอยู่ในระดับค่อนข้างสูง กล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (Coefficient of Variation, C.V.) ของเส้นใยเหล่านี้อาจสูงถึง 40% ในเส้นใยฝ้าย และถึง 50-60% ในเส้นใยขนสัตว์ เป็นต้น เส้นใยสิ่งทอจะแบ่งการเรียงเส้นใยสั้นและเส้นใยยาวด้วยการอิงเส้นใยธรรมชาติเป็นหลักคือ

เส้นใยสั้น (Staple fiber) หมายถึง เส้นใยที่มีขนาดความยาวสั้น ๆ วัดด้วยหน่วยที่เป็นนิ้วหรือสัดส่วนของนิ้วไปจนถึงฟุต เส้นใยธรรมชาติทุกชนิดยกเว้นเส้นใยไหมล้วนเป็นเส้นใยสั้น ในขณะที่เส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิดจากกระบวนการผลิตจะเริ่มจากเส้นใยยาวก่อนเสมอ จากนั้นจึงนำไปตัดเป็นเส้นใยสั้นในโรงงาน

เส้นใยยาว (Filament) หมายถึง เส้นใยที่มีความยาวมาก ๆ ในเส้นใยธรรมชาติมีเพียงเส้นใยไหมเท่านั้นที่จัดเป็นเส้นใยยาว เนื่องจากความยาวของเส้นใยไหมเมื่อสาวจากรังไหมจะมีความยาววัดได้เป็นกิโลเมตร

2.14.2.2 ความละเอียดของเส้นใย

ขนาดของเส้นใย (Fiber fineness) มีบทบาทสำคัญต่อการกำหนดการใช้งานและผิวสัมผัสเป็นอย่างยิ่งโดยเส้นใยหยาบมีลักษณะกระด้าง ขณะที่เส้นใยละเอียดมีความอ่อนนุ่ม ผิวสัมผัสดี ทั้งตัวดี หน่วยที่ใช้วัดอาจใช้ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นใยเป็นตัวบ่งชี้ โดยใช้หน่วยของไมครอน (Micron) ซึ่งความยาว 1 ไมครอนคือ 1/1,000 มิลลิเมตร ตัวอย่างขนาดความละเอียดของเส้นใยธรรมชาติ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ขนาดความละเอียดของเส้นใยธรรมชาติ [48]

ชนิดของเส้นใย	ช่วงความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน)
ฝ้าย	16-20
ลินิน	12-16
ขนสัตว์	10-50
ไหม	11-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

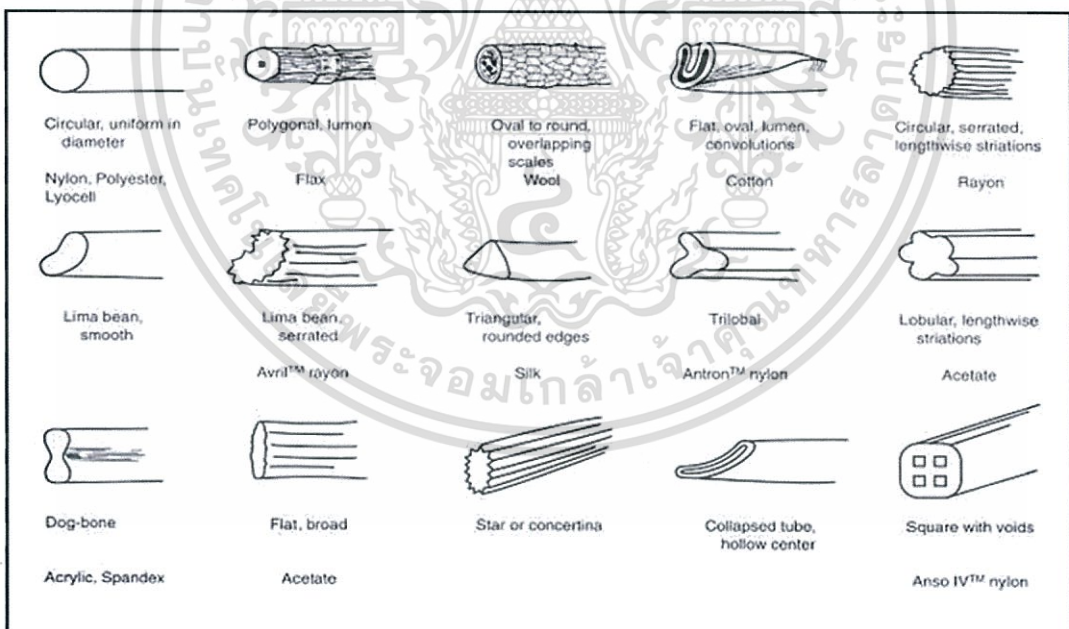
เส้นใยสังเคราะห์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่สามารถควบคุมได้ค่อนข้างแน่นอนในกระบวนการผลิตเส้นใย การวัดความละเอียดนอกจากวัดจากความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางแล้ว ยังอาจใช้หน่วยที่ใช้การวัดความหนาแน่นเชิงเส้น (Linear density) ซึ่งเป็นการวัดน้ำหนักของเส้นใยต่อความยาวที่กำหนดโดยหน่วยที่ใช้ในสิ่งทอมี 2 หน่วย คือแดนเนียร์ (Denier) และเทกซ์ (Tex) กำหนดนิยามดังนี้

Denier คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 9,000 เมตร

Tex คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 1,000 เมตร

2.14.2.3 รูปทรงตามภาคตัดขวางของเส้นใย

รูปร่างที่ต่างกันมีความสำคัญต่อความมัน ความฟู ความละเอียดอ่อน ผิวสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมาอยู่ในสภาพของผืนผ้า ตัวอย่างลักษณะรูปทรงของเส้นใยชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.37 มีทั้งทรงกลม ทรงกระดุกสุนัข ทรงสามเหลี่ยมมุมมน ทรงเม็ดถั่ว ซึ่งรูปร่างเหล่านี้หากเป็นเส้นใยธรรมชาติจะถูกกำหนดไปตามสภาพการเจริญเติบโต น้ำ อาหารที่ได้รับ แต่สำหรับเส้นใยสังเคราะห์รูปทรงสามารถกำหนดและควบคุมค่อนข้างสม่ำเสมอในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.37 รูปทรงตามขวางและสภาพผิวของเส้นใยต่าง ๆ [50]

นอกจากรูปทรงตามภาคตัดขวางแล้ว สภาพของผิวเส้นใยยังเป็นลักษณะจำเพาะอีกปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมกันไป ดังรูปที่ 2.37 เส้นใยบางชนิดมีผิวเรียบเป็นเส้นเป็นลายหรือแม้กระทั่งเป็นเกล็ด

ทั้งหมดนี้มีผลโดยตรงกับความงาม ความมัน และการสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

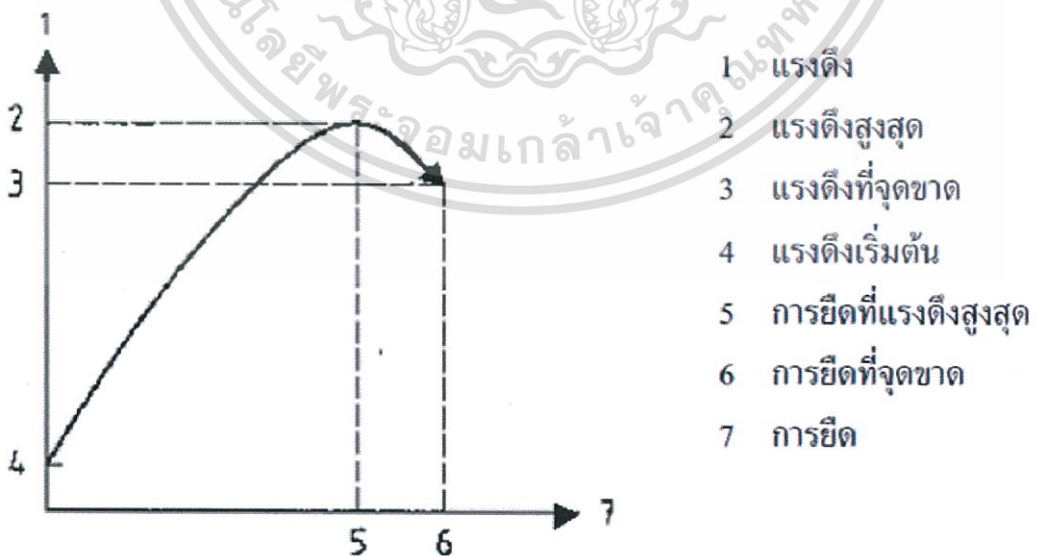
2.14.2.4 ความหยิกงอบนเส้นใย

ความหยิกงอบนเส้นใย (Fiber crimp) จะพบได้บนเส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โม่เลกุลมีลักษณะหยิบไปตามโครงสร้างของโม่เลกุล หรืออาจเกิดจากการกระทำดัดแปลงรูปร่างของเส้นใยในกระบวนการผลิต ลักษณะการหยิกอาจเป็นคลื่น เป็นเกลียว เป็นการดัดงอ เป็นต้น ช่วยให้เส้นใยมีการเกาะกันเหนียวแน่นเมื่อปั่นเป็นเส้นด้าย ช่วยให้มีความสามารถในการคืนตัวสูง เบา ทนต่อการขูดขีดและเพิ่มความสามารถการดูดซึมน้ำ แต่ขณะเดียวกันจะทำให้ความมันลดลง

2.14.2.5 ความแข็งแรงของเส้นใย

เส้นใย (Fiber strength) ที่สามารถนำมาใช้งานได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย และทอเป็นผืนผ้าโดยไม่ขาดจากกัน ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันหรือแม้จะภายในเส้นใยเดียวกันก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยธรรมชาติ

ความแข็งแรงของเส้นใยหาได้จากการวัดปริมาณแรงดึงที่ทำให้เส้นใยขาดจากกัน ในทางปฏิบัติสามารถวัดจากแรงดึงสูงสุดที่ใช้ในการทดสอบการวัดความทนแรงดึง สำหรับความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นหน่วยที่ใช้คือ ปริมาณแรงดึงให้ขาดมีหน่วยเป็นกรัม แต่ถ้าหากต้องการเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยต่อเส้นใยหน่วยที่ใช้วัดต้องเป็นหน่วยสัมพัทธ์ คิดเป็นปริมาณแรงดึงให้ขาดต่อความละเอียดของเส้นใยคือ กรัมต่อแดนเนียร์ (Gram per denier, gpd) ซึ่งอาจเรียกกันว่า Tenacity หรือความทนแรงดึง ณ จุดขาด การทดสอบเพื่อวัดความแข็งแรงของเส้นใยสามารถนำเสนอผลในรูปแบบของกราฟได้หลายรูปแบบ ลักษณะทั่วไปที่พบจะเป็นไปตามรูปที่ 2.38 เป็นลักษณะของกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress-strain curve)



รูปที่ 2.38 ตัวอย่างของกราฟระหว่างการดึงกับการยืด [51]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.2.6 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ มักใช้หน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ($\text{lb}/\text{cu. ft.}$) เส้นใยสิ่งทอทุกชนิดจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ยกเว้นเส้นใยสังเคราะห์ในกลุ่มของโอเลฟินส์ เช่น พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีน (PE) ที่ลอยบนน้ำได้ เส้นใยแก้วมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่เส้นใยพอลิเอสเตอร์และไนลอนมีความหนาแน่นต่ำ เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อผ้าฝืน เช่น เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความสามารถในการคืนกลับตัวดี ทั้งนี้ด้วยเหตุผลว่าภายใต้น้ำหนักของเส้นใยคงที่เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำมีปริมาณมากกว่าเส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง นอกจากนี้แล้วสมบัติข้อนี้ยังมีผลโดยตรงต่อน้ำหนักของผ้าด้วย ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความอบอุ่นด้วยน้ำหนักที่เบา ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนถึงสมบัติที่ดีในข้อนี้คือ เส้นใยอะคริลิกที่มีสมบัติต่าง ๆ คล้ายขนสัตว์อย่างมากแต่น้ำหนักเบากว่า

2.14.2.7 สภาพยืดหยุ่น การคืนตัวจากแรงยืด และการยืดตัว

สภาพยืดหยุ่นเป็นสมบัติของเส้นใยที่สามารถยืดออกและคืนกลับสู่ขนาดเดิมภายหลังจากที่ได้รับแรงยืดดึง เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสมบัตินี้แตกต่างกันออกไปอย่างมาก ตัวอย่างเช่น เส้นใยสแปนเดกซ์ มีสภาพยืดหยุ่นและการคืนตัวจากแรงยืดสูง เช่นเดียวกับกับขนสัตว์และไหม ในขณะที่ลินินและปอมีสภาพยืดหยุ่นต่ำ ค่าการคืนตัวจากแรงยืดวัดได้จากอัตราส่วนของความยาวของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับความยาวเดิมก่อนถูกยืดออก 2%

การยืดตัวเป็นระยะของการยืดออกในทิศทางที่ได้รับแรงดึง ระยะที่ยืดออกอาจวัด ณ แรงกระทำใดที่ต้องการหรือวัด ณ จุดขาด นิยมเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่ยืดออกเมื่อเทียบกับความยาวเดิมของเส้นใย เส้นด้าย หรือผ้าฝืน

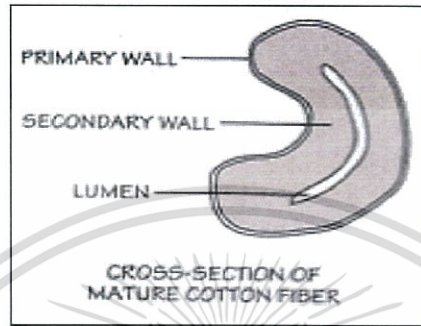
มอดูลัสของการยืด (Elastic modulus) เป็นการวัดความต้านทานต่อแรงดึง โดยวัดแรงดึงที่ทำให้เส้นเชือกยืดออกเป็นระยะ 1% สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียด หรือค่าความชันของกราฟความเค้น-ความเครียดในระยะดังกล่าว ค่ามอดูลัสสูงแสดงถึงการใช้แรงดึงสูงเพื่อทำให้เส้นใยยืดออก เส้นใยแก้วมีค่ามอดูลัสสูงมากในขณะที่สแปนเดกซ์มีค่ามอดูลัสต่ำ ความหมายอย่างเป็นรูปธรรมนั้น ค่ามอดูลัสสูงบ่งบอกถึงความแข็งกระด้าง และถ้าค่ามอดูลัสต่ำบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่มของเส้นใย

2.14.3 เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ [48]

เส้นใยธรรมชาติ (Natural cellulose fibers) จากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-d-glucose ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$) ต่อกันเป็นโมเลกุลยาว ดังรูปที่ 2.39 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่ (เป็น Primary group 1 หมู่ และ Secondary group 2 หมู่) เหมือนกับเป็นโครงสร้างน้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นสายโซ่ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศ อาหารและน้ำ เปลือกที่หนาเพิ่มขึ้นนี้รวมเรียกกันเป็นผนังชั้นที่สอง (Secondary wall) แต่ละชั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดเกิดจากการต่อกันยาวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงต่อกัน และลักษณะของการจัดเรียงตัวกันเองที่ทำให้ในบางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทางกัน ดังรูปที่ 2.41 ทำให้เกิดเกลียวฝ้ายขึ้นตามความยาวของเส้นใย เกลียวฝ้ายหรือการบิดตัวคล้ายริบบิ้นเป็นลักษณะที่แสดงถึงการเจริญเติบโตตามธรรมชาติของฝ้ายอย่างเต็มที่



รูปที่ 2.40 ภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย [53]



รูปที่ 2.41 ภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย [53]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดขี้ก้นเป็นเกลียวพื้นที่หน้าตัดเป็นเม็ดถั่วตรงกลางเป็นรู เกิดจากท่อส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใย ผิวเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย: เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง 3-63 มิลลิเมตร โดยทั่วไปฝ้ายยาวมีความแข็งแรงดีกว่าฝ้ายสั้น

สี: ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพอเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความแข็งแรง: เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง แรงดึง ณ จุดขาดมีค่าประมาณ

3.0-5.0 gpd

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยืดตัว: เกลียวฝ้ายทำให้มีการยืดตัวที่ดี สามารถยืดตัวได้ประมาณ 3-7%
 การคืนตัวจากแรงอัด: ฝ้ายมีการคืนตัวภายหลังที่ถูกกดทับได้ต่ำ ทำให้ฝ้ายง่าย
 การดูดความชื้น: ฝ้ายมีความสามารถในการดูดความชื้นได้ถึง 7-10%
 การทนต่อความร้อน: ฝ้ายทนต่อความร้อนได้ดี 204-218°C
 ความถ่วงจำเพาะ: 1.5

สมบัติทางเคมี

สารเคมี: ทนสารฟอกขาว ทนต่อด่างและสารละลายอินทรีย์ ไม่ทนกรด
 แสงแดด: ทนแดดได้ดี แต่เกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) เสื่อมสภาพเมื่อทิ้งไว้นาน

การใช้งานของฝ้าย

ด้วยสมบัติของฝ้ายที่แข็งแรง ทนทาน ความสามารถในการดูดความชื้น สามารถปั่นเป็นด้ายได้แทบทุกระดับของความละเอียด ทอเป็นผ้าได้ทุกโครงสร้างทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฝ้ายเป็นที่นิยม นอกจากนั้นฝ้ายยังสามารถใช้ผสมร่วมกับเส้นใยชนิดอื่นทั้งใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ มีการใช้งานร่วมกับเส้นใยพอลิเอสเตอร์ เช่น ผ้า T/C คือ การผสมแบบมาตรฐานระหว่างพอลิเอสเตอร์กับฝ้ายในส่วนผสม 65 ต่อ 35 เป็นต้น

2.14.4 เส้นใยสังเคราะห์ [48, 54]

พัฒนาการของเส้นใยสังเคราะห์ (Man-made fibers) ก่อกำเนิดขึ้นมาเป็นเวลานานนับตั้งแต่ศตวรรษที่ 17 นักวิทยาศาสตร์ชื่อ ฮุก (Hook) กล่าวว่าถ้าสามารถอัดรีดของเหลวในสภาวะที่เหมาะสมผ่านรูเล็ก ๆ และต่อเนื่องเป็นเส้นยาว เมื่อเย็นและแข็งตัวลงจะได้วัสดุที่มีลักษณะเส้นใยคล้ายเส้นใยใหม่ตามธรรมชาติ

การผลิตเส้นใยสังเคราะห์ทุกชนิดต้องประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบหรือสารละลายตั้งต้น หรือเรียกว่า การเตรียมสารละลายสำหรับปั่นด้าย (Spinning solution)
2. การทำให้สารละลายตั้งต้น อัดผ่านหัวรีดออกมาในรูปของเส้นใยยาวต่อเนื่อง
3. การทำให้เส้นใยยาวต่อเนื่องเกิดการอยู่ตัวเป็นเส้นใยที่ใช้งานได้ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการแข็งตัว การระเหยหรือการเย็นตัวของเส้นใย

วัตถุดิบที่เป็นสารตั้งต้นนั้นเริ่มจากลักษณะที่เป็นของแข็ง และเมื่อต้องการอัดรีดผ่านรูเล็ก ๆ ในหัวรีดต้องทำให้อยู่ในรูปของของเหลวก่อน สามารถทำได้หลายวิธี เช่น ใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม การใช้ความร้อน หรือการหาสารเคมีมาทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีเกิดการละลายได้ เป็นต้น ดังนั้นวัตถุดิบตั้งต้นอาจเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ เช่น เซลลูโลส หรือโปรตีน หรืออาจเป็นสารเคมีที่สังเคราะห์อยู่ในรูปของเรซิน และหลังจากสารตั้งต้นถูกเปลี่ยนสภาพให้เป็นของเหลวหรือโद्यที่มีความหนืดค่อนข้างสูงคล้ายน้ำเชื่อม จะพร้อมนำไปขึ้นรูปให้เป็นเส้นใย ในกรณีของเส้นใยสังเคราะห์วัตถุดิบที่เป็นเรซินเกิดจากพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีสารทางเคมีของหน่วยซ้ำขั้นพื้นฐานแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สูตรทางเคมีอย่างง่ายของหน่วยซ้ำในเส้นใยชนิดต่าง ๆ [48]

ชนิดของเส้นใย	สูตรทางเคมีของหน่วยซ้ำขั้นพื้นฐาน
Polyester	
Poly(ethylene terephthalate)	
Polyamide	
Nylon 6,6	$[\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}]_n$
Nylon 6	$[\text{NH}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}]_n$
Acrylic	
Polyacrylonitrile	
Polyolefin	
Polyethylene	$[\text{CH}_2-\text{CH}_2]_n$
Polypropylene	$[\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}]_n$
Other addition-polymer fiber	
Poly(vinyl chloride)	$-\text{[CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}]_n-$
Poly(vinyl alcohol)	$-\text{[CH}_2-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}]_n-$

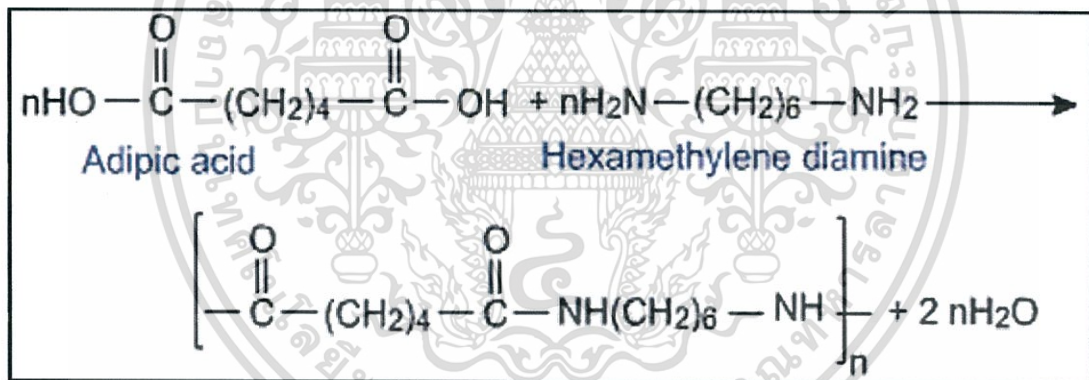
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.4.1 ไนลอน [54-55]

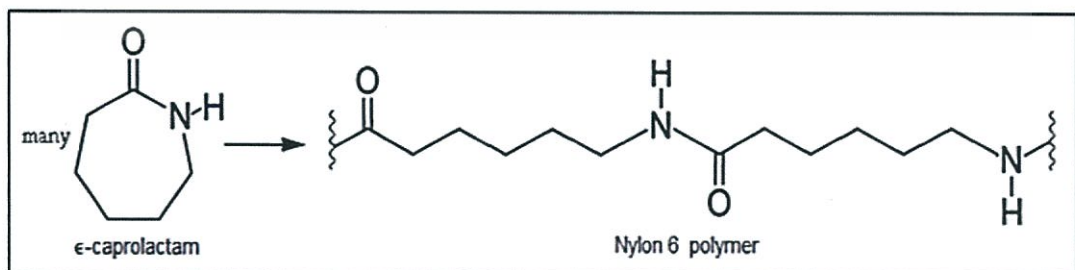
ไนลอนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกคิดค้นโดย ดร. วัลเลซ แคโรเธอร์ (Wallace Carothers) และทีมวิจัยของบริษัท ดูปองท์ ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยถูกผลิตออกมาจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1939 เส้นใยไนลอนมีหลายชนิด เช่น ไนลอน 6 ไนลอน 6,6 ไนลอน 11 ไนลอน 12 ไนลอน 6,10 และอื่น ๆ แต่ที่นิยมผลิตมากที่สุดมี 2 ชนิดคือ ไนลอน 6,6 และไนลอน 6 โดยไนลอน 6,6 เป็นพอลิเมอร์ที่นิยมผลิตและใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกามากที่สุด แต่ประเทศต่าง ๆ ในแถบยุโรปและแถบอื่นนิยมผลิตและใช้ไนลอน 6 มากกว่า

กระบวนการผลิต

เส้นใยสังเคราะห์ที่เนื้อเส้นใยเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวของพอลิเอไมด์สังเคราะห์ ซึ่งมีปริมาณของแชนเอไมด์ (-CONH-) ถูกแทนที่โดยตรงด้วยวงแหวนอะโรมาติกน้อยกว่า 85% ของปริมาณทั้งหมด ไนลอนเป็นพอลิเมอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอไมด์ ทำให้สามารถผลิตไนลอนได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด แต่สารที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ไนลอน 6 คือ พอลิคาร์โพรแลคแตม (Polycaprolactam) ส่วนการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 นิยมใช้เฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (Hexamethylene diamide) กับกรดอะดิปิก (Adipic acid)



รูปที่ 2.42 การสังเคราะห์ไนลอน 6,6 [53]



รูปที่ 2.43 การสังเคราะห์ไนลอน 6 [53]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างไนลอน 6 และไนลอน 6,6

ไนลอนทั้งสองชนิดต่างมีสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน แต่ไนลอน 6,6 มีสมบัติเหนือกว่าไนลอน 6 เล็กน้อย สิ่งที่ควรพิจารณาคือ จุดหลอมเหลวของพอลิเมอร์กับการใช้งาน เนื่องจากไนลอน 6 มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าไนลอน 6,6

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: เส้นใยไนลอนโดยทั่วไปพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นทรงกลม ผิวเรียบ คล้ายแท่งแก้ว มีความยาวต่อเนื่อง มีแบบเส้นใยยาวและเส้นใยสั้นที่มีความยาวและขนาดตามต้องการ สี: โดยทั่วไปเส้นใยไนลอนจากการผลิตมีสีขาวและความมันค่อนข้างสูง แต่ในกระบวนการผลิตมีการควบคุมระดับความมันได้ตามต้องการ

ความคงทน: ไนลอนมีความคงทนสูง ความทนแรงดึง ณ จุดขาดของเส้นใยมีค่า 3.0-6.0 gpd ถึง 6.0-9.5 gpd สำหรับสิ่งทอชนิดความแข็งแรงสูง นอกจากนั้นยังสามารถทนต่อการขัดถูได้ดี และสภาพยืดหยุ่นดีมาก การคืนตัวจากแรงอัดดีมาก

ความสามารถในการดูดความชื้น: ไนลอนดูดความชื้นได้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติ แต่ในกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ด้วยกันเส้นใยไนลอนเป็นเส้นใยที่ดูดความชื้นได้ดีที่สุดที่สภาวะมาตรฐานคือ ไนลอน 6,6 ดูดความชื้นได้ 4.2-4.5% และไนลอน 6 ดูดความชื้นได้ 3.5-5.0%

การทนต่อความร้อน: เส้นใยไนลอนจัดเป็นเส้นใยในกลุ่ม Thermoplastic fiber (หลอมละลายก่อนการลวกไหม้) ไนลอน 6,6 จะหลอมละลายที่อุณหภูมิ 250°C ไนลอน 6 จะหลอมละลายที่อุณหภูมิประมาณ 210°C

ความถ่วงจำเพาะ: 1.14 ถ้อยได้ว่าค่อนข้างเบา

สมบัติทางเคมี

เส้นใยไนลอนทนสารจำพวกต่างมากกว่ากรด กรดแร่ เช่น HCl, HNO₃, H₂SO₄ กรดจะละลายไนลอนได้ แต่ทนต่อสารละลายอินทรีย์ ทนต่อเชื้อราและแมลง

การใช้งาน

ไนลอนเป็นวัสดุที่ทางบริษัท ดูปองท์ ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติที่มีราคาสูงอย่างขนสัตว์และเส้นใยไหม แต่สินค้าชนิดแรกที่ผลิตจากไนลอนคือ ขนแปรงสีฟัน สินค้าที่สร้างชื่อเสียงให้แก่ไนลอนคือ ถุงน่องของสุภาพสตรีที่ใช้เส้นใยไนลอนในการผลิตแทนเส้นใยไหม และด้วยเหตุที่ไนลอนมีทั้งความแข็งแรงและมีสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดี พอลิเมอร์ชนิดนี้จึงถูกประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการทหารหลายอย่างเช่น รมชูชีพ และเชือก เป็นต้น ปัจจุบันไนลอนไม่ได้จำกัดเพียงแค่การเป็นวัสดุในวงการสิ่งทอแต่เพียงอย่างเดียว แต่ได้ขยายขอบเขตการใช้งานเข้าไปในอุตสาหกรรมอื่นด้วย เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเฟือง (Gear) ข้อต่อ (Fitting) ล้อ (Wheel) เป็นต้น

2.14.4.2 พอลิเอสเทอร์ [48, 56]

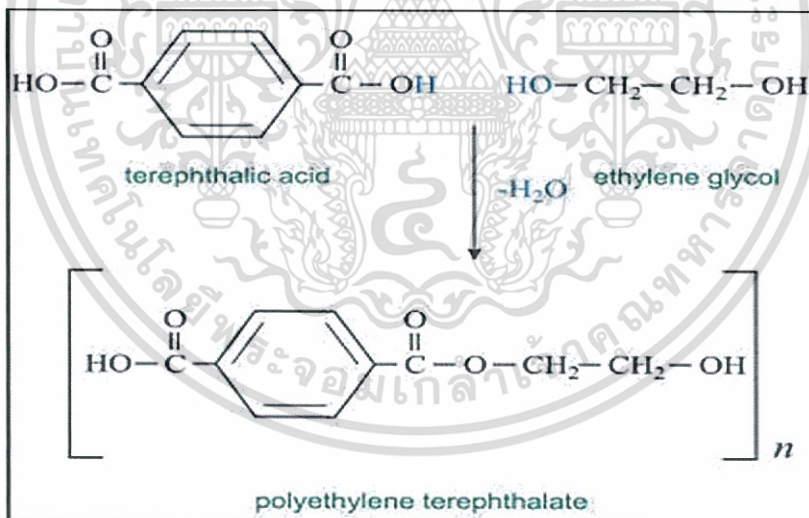
เส้นใยพอลิเอสเทอร์ถูกค้นพบโดย Dr. W.H. Carothers ชาวสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 เป็นผู้ค้นพบเส้นใยไนลอน ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ทำการศึกษาค้นคว้าต่อจนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ หมายความว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตเส้นใยพอลิเอสเทอร์ชนิดแรกได้ โดยใช้ชื่อว่า Terylene ในปี ค.ศ. 1941 ต่อมาปี ค.ศ. 1946 บริษัทดูปองได้ซื้อลิขสิทธิ์มาผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้ชื่อว่า Dacron (แดครอน) เส้นใยพอลิเอสเทอร์จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างกว้างขวางและรวดเร็วกว่าเส้นใยสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ

กระบวนการผลิต

เส้นใยที่ผลิตขึ้นมาเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว ประกอบด้วยกลุ่มเอสเทอร์ที่ได้จาก Dihydric alcohol และ Terephthalic acid ที่มีปริมาณอย่างน้อยที่สุดประมาณ 85% โดยน้ำหนัก เส้นใยสังเคราะห์สามารถผสมกับเส้นใยอื่น ๆ ได้แทบทุกชนิด โดยไม่ทำให้สมบัติที่ดีเด่นของเส้นใยที่ผสมนั้นเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ด้านการวิจัยและพัฒนาของเส้นใยพอลิเอสเทอร์อย่างต่อเนื่องมาตลอด โดยทั่วไปพอลิเอสเทอร์ที่ผลิตในปัจจุบันมีเพียงสองชนิดหลัก ๆ คือ PET (Polyethylene terephthalate) และ PCDT (Poly 1,4 cyclohexylene-dimethylene terephthalate) ส่วนมากที่ผลิตมักเป็นชนิด PET โดยมีสมบัติคล้ายกันดังนี้

- สมบัติของการคืนตัวที่ดี ทั้งขณะเปียกและแห้ง
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่รักษารูปร่างได้ดี
- ทนทานต่อแสงแดด
- มีความคงทนต่อการขัดถูดี



รูปที่ 2.44 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้กรดเทเรพทาลิกกับเอทิลีนไกลคอลในการผลิต PET [53]

สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: เป็นเส้นใยผิวเรียบขนาดสม่ำเสมอทั้งเส้นใยมีพื้นที่ตัดขวางได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่ผลิตเป็นแบบวงกลมทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็นแท่งยาว

ความแข็งแรง: จัดเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการขัดถูดี เส้นใยยาว

ทั่วไปมีความทนแรงดึง ณ จุดขาดมีค่าอยู่ในช่วง 4.0-5.0 gpd แต่เส้นใยยาวชนิดความแข็งแรงสูง

เอกลีสารเป็นเอกลีสารที่ส่งมอบผลลัพธ์การใช้น้ำเพื่อการเกษตรให้มีอยู่ให้เห็นไปเรื่อยๆ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในช่วง 6.3-9.5 gpd ในกรณีของเส้นใยสั้นมีค่าอยู่ในช่วง 2.5-5.5 gpd

การคืนตัวจากแรงอัด: โพลีเอสเตอร์มีการคืนตัวจากการยับย่นดีมาก โดยเฉพาะเมื่อถูกเซตด้วยความร้อนขณะผลิต

การยืดหยุ่น: อยู่ในระดับปานกลางจนถึงดี ถ้ามีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวสูง ๆ จะคืนกลับสภาพเดิมได้ไม่ดี

ความสามารถในการดูดซึม: ดูดซึมความชื้นค่อนข้างต่ำมาก สามารถดูดซึมความชื้นอยู่ระหว่าง 0.4-0.8%

ผลจากความร้อน: เส้นใยทนต่อความร้อนได้ไม่สูงมาก เริ่มอ่อนตัวที่อุณหภูมิ 230°C

ความถ่วงจำเพาะ: มีค่าอยู่ในช่วง 1.22-1.38 และขึ้นอยู่กับชนิดของโพลีเอสเตอร์ สมบัติทางเคมี

ความคงทนต่อกรด: โพลีเอสเตอร์ทนต่อกรดอ่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและสูง หากต้มในกรดเกลือเป็นเวลานานเส้นใยถูกทำลายได้ เส้นใยสลายตัวในกรดกำมะถัน 96%

ความคงทนต่อด่าง: โพลีเอสเตอร์ทนต่อด่างอ่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและสูง เส้นใยทนต่อด่างแก่ได้ปานกลางที่อุณหภูมิห้อง แต่สลายตัวที่อุณหภูมิสูง

แสงแดด: ภายใต้อุณหภูมิปกติโพลีเอสเตอร์ทนทานต่อแสงแดดได้ดี

การใช้งาน

ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้รับความนิยมมากที่สุดในกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ สมบัติที่ดีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์คือ ไม่ยับง่าย สวมใส่สบาย ดูแลรักษาง่าย เป็นเส้นใยประเภท Wash and Wear และนิยมนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์มาผสมกับเส้นใยชนิดอื่นเช่น เรยอน ไหม ฝ้าย ลินิน ขนสัตว์ เป็นต้น ซึ่งมักจะใช้ประมาณไม่ต่ำกว่า 60% เช่น โพลีเอสเตอร์ 65% ฝ้าย 35% การผสมกันของเส้นใยทำให้ผ้ามีความสวยงาม ความคงทนและความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์มากขึ้น

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาภรณ์ คลีใบ และคณะ [12] ได้ศึกษาแบบจำลองอย่างฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนธรรมชาติ โดยศึกษาปริมาณกำมะถันที่ 1, 2, 3 และ 4 phr ปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว (SSF) ในปริมาณ 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 และ 4.5 phr ที่มีผลต่อระยะเวลาจับตัวเป็นเจลของโพลีเอทิลีน ศึกษาในระดับความเร็วและเวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอเลต (KO) มีการเคลือบผิวชั้นนอกของโพลีเอทิลีนด้วยยางซิลิโคน และศึกษาการฝังก้อนมวล (Mass) ได้แก่ เนื้ออก ก้อนซิสต์ และมะเร็ง จากการศึกษาพบว่า ปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้น มีผลโดยตรงให้ความแข็งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากการกดอัดลดลง เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งพบว่าเวลาในการปั่น KO และระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นและความแข็งของโพลีเอทิลีนเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากแรงกดอัดมากขึ้น เนื่องมาจากขนาดฟองมีใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการปั่น KO และระดับความเร็วที่เหมาะสมคือ 3 นาที และระดับ 1 (537 rpm) ตามลำดับ การศึกษาปริมาณ SSF พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อ

ระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโพลียูรีเทน แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโพลียูรีเทน และการศึกษาการเคลื่อนที่แบบจำลองยางด้วยซิลิโคน พบว่าเกิดปัญหาการยึดติดระหว่างผิวซิลิโคนกับโพลียูรีเทน

กุลกันยา ทองดี และคณะ [13] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียูรีเทนธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ความแข็ง (Shore OO), การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด และศึกษาสัญญาณวิทยาของโพลียูรีเทนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) โดยการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั้นอิมัลชันไฟเออร์ 3, 5, 7, 9 และ 11 นาที ศึกษาผลของปริมาณอิมัลชันไฟเออร์ 10, 15 และ 20 phr ที่มีอิทธิพลต่อเวลาแข็งตัว (Cure time) และสมบัติเชิงกล (Tensile strength, %Elongation at break, Rubber modulus (M100), Hardness (Shore OO), Tear strength) ของยางซิลิโคน โดยการศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ 3, 4 และ 5 phr ศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน 20, 30, 40 และ 50 phr ผังก้อนของแข็ง 3 แบบ แทนก้อนมะเร็ง ซีสต์ และเนื้องอกที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันในตำแหน่งที่สามารถตรวจพบ และทำการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียูรีเทนธรรมชาติ จากการศึกษาเวลาการปั้น KO พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั้นกวนความหนาแน่นและความแข็งของโพลียูรีเทนธรรมชาติลดลง รวมถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดและเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าลดลง เวลาในการปั้นอิมัลชันไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียูรีเทนธรรมชาติคือ 9 นาที การศึกษาปริมาณ KO พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ KO ความหนาแน่นมีแนวโน้มคงที่ ความแข็งของโพลียูรีเทนธรรมชาติลดลงเมื่อใช้ปริมาณ KO ในปริมาณที่เหมาะสม และมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวและค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น ปริมาณ KO ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียูรีเทนธรรมชาติคือ 15 phr การศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงมีผลโดยตรงต่อความแข็ง และมอดุลัส 100% มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ 3 phr เนื่องจากมีความแข็งแรงมากพอในการขึ้นรูปผิวเคลือบยางซิลิโคนและมีความแข็งน้อยที่สุดตรงตามความต้องการ การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคน ค่าความแข็งและมอดุลัส 100% ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่ใช้ในการขึ้นรูปก้อนมะเร็งคือ 20 phr การขึ้นรูปก้อนเนื้องอกใช้น้ำมันซิลิโคน 30 phr และการขึ้นรูปก้อนซีสต์ใช้น้ำมันซิลิโคน 50 phr เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เพื่อเป็นการปรับความแข็งของยางซิลิโคนให้ได้ก่อนมวลตามต้องการ

เบญจมาศ มีชัย [57] ทำโครงการเต้านมเทียมด้วยซิลิโคน สำหรับตรวจมะเร็งเต้านมพบปัญหาเรื่องวัสดุดิบที่มีข้อจำกัดเรื่องคุณภาพของซิลิโคนในประเทศที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตเต้านมเทียม พบว่าเมื่อขึ้นรูปแล้วไม่อยู่ตัว เมื่อหดตัวทำให้รูปทรงเปลี่ยนไปไม่ได้ขนาดและไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้งเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นิยมนำไปใช้เชิงพาณิชย์ได้อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบปัญหาการแห้งเร็วแห้งช้าไม่เท่ากันจึงกำหนดสูตรที่ตายตัวไม่ได้ งานที่ผลิตมีความเสียหายมาก ทำให้ต้องหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ต้องใช้เกรดที่ใช้กับร่างกายภายนอก ที่เหมาะสมกับการสัมผัสกับผิวหนังเท่านั้น ไม่ใช่เกรดอาหาร (Food grade) หรือเกรดทางการแพทย์ (Medical grade) เกรดที่มีราคาแพงเกินไป และไม่ใช้เม็ดพลาสติก เนื่องจากจะมีน้ำหนักเบาเกินไปใช้ไปนาน ๆ จะยุบตัวทำให้ปวดหลังและเสียบุคลิกภาพ อย่างไรก็ตามมีการนำเต้านมเทียมจากซิลิโคนใส่ถุงผ้า และใส่ในเสื้อชั้นในอีกชั้นเพื่อใช้ซับเหงื่อ ซึ่งทางโรงพยาบาลศิริราชจำหน่ายอยู่ชั้นละประมาณ 1,500 บาท

H Arshad และคณะ [58] ศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของโครงสร้างผ้าทอที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์ที่มีความยืดหยุ่น (Flexible composites) โดยศึกษาพฤติกรรมของเส้นด้ายเมื่อได้รับแรงดึง และศึกษาอิทธิพลของพอลิเมอร์เมทริกซ์ที่มีผลต่อพฤติกรรมของเส้นด้าย โดยสร้างโมเดลเพื่อศึกษาสมบัติความแข็งแรงดึงของคอมโพสิตที่มีความยืดหยุ่น (Flexible composites) 2 ประเภทที่มีสมบัติการใช้งานแตกต่างกันคือ พีวีซี และซิลิโคน โดยใช้วัสดุเสริมแรงเป็นผ้าทอ 2 ชนิดคือผ้าพอลิเอสเตอร์ชนิดทนต่อแรงดึงสูง กับผ้าไนลอน 6,6 และผ้าทั้งสองชนิดนี้มีโครงสร้างการทอแบบลายขัดธรรมดา (Plain weave fabric) เหมือนกัน โมเดลประเภทแรก (Flexible composites A) ใช้พีวีซีเคลือบบนผ้าพอลิเอสเตอร์ชนิดทนต่อแรงดึงสูง โดยผ้าพอลิเอสเตอร์มีจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาว (ด้ายยืน/ด้ายพุ่ง) คือ 5.8/6.3 มีเปอร์เซ็นต์รอยหยักบนเส้นด้าย (Crimp%) ของด้ายยืนต่อด้ายพุ่งคือ 1.46/4.13 ใช้พีวีซีที่มีน้ำหนักความหนา 723.11 gsm ทำการเคลือบทั้งสองด้านของตัวผ้า การนำไปใช้งานของโมเดลชนิดนี้คือ งานโครงสร้างทางสถาปัตยกรรมและสร้างโมเดลประเภทที่สอง (Flexible composites B) ที่มีน้ำหนักความหนาของซิลิโคน 73 gsm เคลือบผ้าไนลอน 6,6 ที่มีจำนวนเส้นด้ายต่อหน่วยความยาวของด้ายยืนต่อด้ายพุ่งคือ 22/19 มีเปอร์เซ็นต์รอยหยักบนเส้นด้ายของด้ายยืนต่อด้ายพุ่งคือ 10.9/4.3 ทำการเคลือบซิลิโคนบนตัวผ้าเพียงด้านเดียวเท่านั้น การนำไปใช้งานของคอมโพสิตประเภทนี้คือ ฤกษ์นิรภัยในอุตสาหกรรมรถยนต์ จากการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลหลังจากได้รับแรงดึงของผ้าไนลอน 66 ใน Flexible composites B พบว่ามีค่ามอดุลัสต่ำในช่วงแรกเนื่องจากเป็นช่วงที่รอยหยักของเส้นด้ายยืดออก และหลังจากที่รอยหยักบนเส้นด้ายยืดตรงหมดแล้วทำให้ค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้นพบว่า ซิลิโคนไม่ได้มีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลของผ้า และผลการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของผ้าพอลิเอสเตอร์ของ Flexible composites A เมื่อรับแรงดึงพบว่ามีค่ามอดุลัสเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เริ่มแรก เนื่องจากการเคลือบทั้งสองด้านของตัวผ้าทำให้การยึดติดกันที่ดีของพีวีซีกับผ้าพอลิเอสเตอร์ พีวีซีมีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลของผ้า และพบว่าโครงสร้างการสานกันของเส้นด้ายมีผลทำให้โมเดลมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมการยืดขยายของ Flexible composite นี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ เช่น กระบวนการเคลือบหรือกระบวนการลามิเนต สมบัติของเส้นใย สมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์และปริมาณของพอลิเมอร์เมทริกซ์ เป็นต้น สำหรับการเสริมแรง คอมโพสิตด้วยสิ่งทอจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในผลิตชิ้นงานที่ต้องมีประสิทธิภาพสูง เช่น ฤกษ์นิรภัยที่ต้องทนต่อแรงดันลมสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธัญรัตน์ ชูศิลป์ และคณะ [59] ได้ทำการพัฒนาหุ่นจำลองเต้านมสำหรับฝึกปฏิบัติทางคลินิก ในการตรวจเอกซเรย์เต้านม โดยทำการสร้างเนื้อเต้านมจากพอลิเมอร์เจลคุณภาพสูง ที่มีส่วนประกอบของสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol) ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 5 กรัม แป้งมันสำปะหลังปริมาณ 40 กรัม และสารละลายบอแรกซ์ที่มีความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปริมาณ 30 กรัม สำหรับลำตัวหุ่นจำลองพัฒนาโดยใช้น้ำยางธรรมชาติทำให้เป็นโฟมยางด้วยกระบวนการดันลอป ผิวหุ่นจำลองเคลือบด้วยสูตรยางพาราสำหรับผลิตถุงมือยาง ชิ้นงานตัวอย่างจากสูตรยางสำหรับพัฒนาตัวและผิวหุ่นจำลองนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล เช่น ความแข็งแรงดึง และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดของวัสดุ และประเมินทัศนคติต่อหุ่นจำลองเต้านมโดยผู้ใช้งานจริงจำนวน 30 ราย จากการทดลองพบว่า หุ่นจำลองเต้านมมีขนาดรอบอก รอบเอว และรอบสะโพก 38 32 และ 38 นิ้ว ตามลำดับ เต้านมของหุ่นจำลองมีพยาธิสภาพจำลองจำนวน 3 ก้อนฝังอยู่ทางด้านขวา โดยการทดสอบสมบัติเชิงกลพบว่า ความแข็งแรงดึงของสูตรยางพาราที่เลือกใช้มีค่าเท่ากับ 1.44×10^6 กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และความทนทานต่อแรงฉีกขาดของวัสดุมีค่าเท่ากับ 5.43 กิโลนิวตันต่อเมตร ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานหุ่นจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าเฉลี่ย 4.16 ± 0.64

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- เมื่อเพิ่มปริมาณกัมมะถัน มีผลโดยตรงทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากการกดอัดลดลง
- เมื่อเพิ่มปริมาณ SSF จะมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยางธรรมชาติ แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโฟมยางเมื่อมีค่ามากถึงค่าหนึ่ง
- เมื่อเพิ่มเวลาในการปั่น KO และความเร็วมีผลทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของโฟมยางเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากแรงกดอัดมากขึ้น
- ยางซิลิโคนสำหรับเคลือบผิวแบบจำลองโฟมยางธรรมชาติพบว่าการปัญหาการยึดติด และเกิดการขาดง่าย
- เมื่อเพิ่มปริมาณเปอร์ออกไซด์ มีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงและมอดูลัส 100% มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด มีค่าลดลง
- เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนค่าความแข็งแรงและมอดูลัส 100% ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง
- การเสริมแรงคอมโพสิตยึดหุ่นด้วยสิ่งทอ สามารถนำไปผลิตชิ้นงานที่ต้องรับแรงได้ การยืดขยายของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับ กระบวนการเคลือบหรือกระบวนการลามิเนต สมบัติของเส้นใยและสมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์ รวมถึงปริมาณของพอลิเมอร์เมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากงานวิจัยการพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน [13] ชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหาย (ฉีกขาด) เมื่อนำไปใช้งาน งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของฝักซิลิโคนสำหรับใช้เคลือบโพลีเอทิลีนของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม รวมถึงทำการพัฒนาความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนชิ้นในของแบบจำลองให้เหมาะสำหรับการนำมาทำแบบจำลอง และเนื่องจากปัจจัยความต้องการของผู้ป่วยที่โดนตัดเต้านมหลังการรักษาที่ต้องการเต้านมทดแทน จึงมีการนำโพลีเอทิลีนมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนโดยปรับปรุงน้ำหนักให้เหมาะสม ดังนั้นการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม ชิ้นฝักนอกทำจากซิลิโคนและชิ้นในทำจากโพลีเอทิลีน

ตอนที่ 1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลีเอทิลีนชิ้นในของแบบจำลอง

ตอนที่ 3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน

ส่วนที่ 2 เต้านมทดแทน

ตอนที่ 4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีน

ตอนที่ 5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีน

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) น้ำยางชั้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูง จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 2) โพลีเอทิลีนโอลิเอต (Potassium oleate) 10% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 3) กำมะถัน (Sulfur) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 4) ZDEC (Zinc diethyl dithiocarbamate) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 5) ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

7) DPG (Diphenyl guanidine) 33% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

8) วิงสเตย์แอล (Wingstay[®]L) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

9) SSF (Sodium silicofluoride) 12.5% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

10) ยางซิลิโคน (Silicone RTV#222) จาก CPS Specialty Co.,Ltd

11) สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ (Curing agent T15#) จาก CPS Specialty Co.,Ltd

12) น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) จาก CPS Specialty Co.,Ltd

13) ซิลิกาชนิดไอ (Silica Fume) 10% dispersion จาก CPS Specialty Co.,Ltd

14) CaCO₃ (Calcium carbonate) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

15) TiO₂ (Titanium dioxide) 50% dispersion จาก CPS Specialty Co.,Ltd

16) วาสลีน จาก CPS Specialty Co.,Ltd

17) ผ้าขาวบาง จากโรงงานจักรพงษ์การทอ สมบัติบางประการของผ้าขาวบาง แสดงดังตารางที่ 3.2

18) ผ้าดิบ จากโรงงานจักรพงษ์การทอ สมบัติบางประการของผ้าดิบ แสดงดังตารางที่ 3.3

19) ผ้าไนลอน จากบริษัท อินโดรามา เวนเจอร์ส จำกัด (มหาชน) สมบัติบางประการของผ้าไนลอน แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของยางซิลิโคน

สมบัติ	Silicone RTV # 222	หน่วย
ความหนืดของยางซิลิโคน (Base viscosity)	30,000	MPa.s
ความหนืดของตัวเชื่อมโยง (Mix viscosity)	26,000	MPa.s
ความแข็งกด (Shore A)	19	
ความต้านแรงดึง	3.1	MPa
การยืด ณ จุดขาด	675	%
ความทนทานต่อการฉีกขาด	20	kN/mm

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้จำหน่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของผ้าขาวบาง

การทดสอบ	ผลที่ได้		
ประเภทของผ้า	ผ้าทอ ลายขีด 1/1		
ชนิดของเส้นใย	เส้นใยฝ้าย		
น้ำหนักของผ้า	0.0399 กรัมต่อตารางนิ้ว		
จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วยความยาว	เส้นด้ายยืน 48 เส้นต่อนิ้ว	เส้นด้ายพุ่ง 60 เส้นต่อนิ้ว	
ค่าความหนาแน่นเชิงเส้นตรงของเส้นด้าย หรือเบอร์ของเส้นด้าย ในผืนผ้าทอตามแนวมาตรฐาน	แนวเส้นด้าย	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
	ความยาวเฉลี่ยของเส้นด้าย (เมตร)	0.2	0.2
	น้ำหนักของเส้นด้าย 1 เส้น (กรัม/20 เซนติเมตร)	0.0031	0.0025
	เบอร์เส้นด้ายระบบเท็กซ์	15.5	12.5
	เบอร์เส้นด้ายระบบดีเนียร์	139.5	112.5

หมายเหตุ การทดสอบน้ำหนักของผ้า มาตรฐาน มอก. 1248 เล่ม 1-2552 [60] และการทดสอบขนาดเส้นด้าย มาตรฐาน มอก.121 เล่ม 6-2552 [61]

ตารางที่ 3.3 สมบัติทางกายภาพของผ้าดิบ

การทดสอบ	ผลที่ได้		
ประเภทของผ้า	ผ้าทอ ลายขีด 1/1		
ชนิดของเส้นใย	ฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ (35:65)		
น้ำหนักของผ้า	0.0844 กรัมต่อตารางนิ้ว		
จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วยความยาว	เส้นด้ายยืน 39 เส้นต่อนิ้ว	เส้นด้ายพุ่ง 56 เส้นต่อนิ้ว	
ค่าความหนาแน่นเชิงเส้นตรงของเส้นด้าย หรือเบอร์ของเส้นด้าย ในผืนผ้าทอตามแนวมาตรฐาน	แนวเส้นด้าย	ด้ายยืน	ด้ายพุ่ง
	ความยาวเฉลี่ยของเส้นด้าย (เมตร)	0.2	0.2
	น้ำหนักของเส้นด้าย 1 เส้น (กรัม/20 เซนติเมตร)	0.0058	0.0067
	เบอร์เส้นด้ายระบบเท็กซ์	29	33.5
	เบอร์เส้นด้ายระบบดีเนียร์	261	301.5

หมายเหตุ การทดสอบน้ำหนักของผ้า มาตรฐาน มอก. 1248 เล่ม 1-2552 [60] และการทดสอบขนาดเส้นด้าย มาตรฐาน มอก.121 เล่ม 6-2552 [61]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 สมบัติทางกายภาพของผ้าไนลอน

การทดสอบ	ผลที่ได้	
ประเภทของผ้า	ผ้าถักนิตด้ายพุ่ง	
ชนิดของเส้นใย	ไนลอน	
น้ำหนักของผ้า	0.0234 กรัมต่อตารางนิ้ว	
จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วย ความยาว	เส้นด้ายพุ่ง 110 เส้นต่อนิ้ว	
ค่าความหนาแน่นเชิงเส้นตรงของ เส้นด้าย หรือเบอร์ของเส้นด้าย ใน ผืนผ้าทอตามแนวมาตรฐาน	แนวเส้นด้าย	ด้ายพุ่ง
	ความยาวเฉลี่ยของเส้นด้าย (เมตร)	0.2
	น้ำหนักของเส้นด้าย 1 เส้น (กรัม)	0.0027
	เบอร์เส้นด้ายระบบเท็กซ์	13.5
	เบอร์เส้นด้ายระบบดีเนียร์	121.5

หมายเหตุ การทดสอบน้ำหนักของผ้า มาตรฐาน มอก. 1248 เล่ม 1-2552 [60] และการทดสอบ
ขนาดเส้นด้าย มาตรฐาน มอก.121 เล่ม 6-2552 [61]

ตารางที่ 3.5 ความแข็งแรงของผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้ต่อแรงดึง

ชนิดของผ้า	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	แรงดึงขาดสูงสุด (N)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	แรงดึงขาดสูงสุด (N)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
ผ้าขาวบาง	8.4±0.5	119±5	10.0±3.0	56±9
ผ้าดิบ	13.2±0.2	163±3	18.6±2.0	140±14
ผ้าไนลอน	-	-	1.4±0.6	628±128

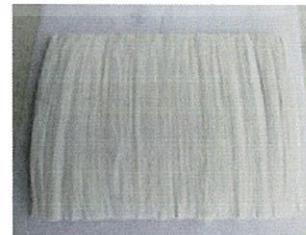
หมายเหตุ การทดสอบแรงดึงของผ้า มาตรฐาน มอก.121 เล่ม 9-2552 [51]



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.1 ชนิดของผ้าที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงชั้นผิวเคลือบซิลิโคน: (a) ผ้าขาวบาง, (b) ผ้าดิบ และ (c) ผ้าไนลอน

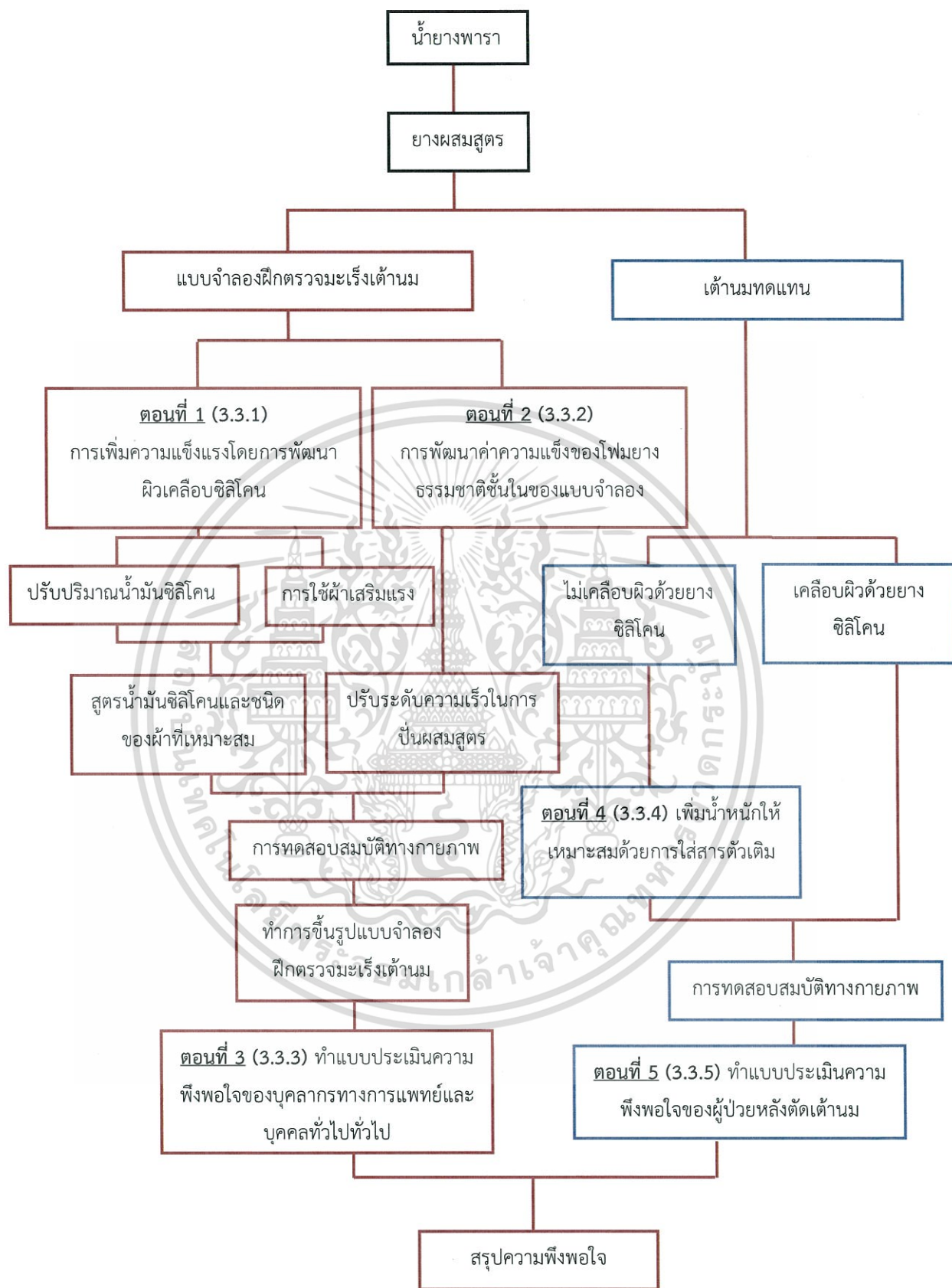
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) แม่พิมพ์ Fiber glass สำหรับโฟมยางมะรึงเต้านม และเต้านมทดแทน
- 2) แม่พิมพ์อะลูมิเนียม ขนาด กว้าง 175 มิลลิเมตร ยาว 175 มิลลิเมตร สูง 34 มิลลิเมตร
- 3) แม่พิมพ์อะลูมิเนียม ขนาด กว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร สูง 63 มิลลิเมตร
- 4) เครื่องผสมแบบปั่นหมุนมอเตอร์พร้อมใบพัด ยี่ห้อ Cuizimate รุ่น RBSMIXERNEW
- 5) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Meler Toledo รุ่น ML204
- 6) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert Germany รุ่น UF260
- 7) เครื่องทดสอบความแข็งกด ยี่ห้อ Teclock Durometer Shore OO รุ่น GS-754G: Peak pointer type
- 8) เครื่องทดสอบบอเนกประสงค์ ยี่ห้อ Lloyd instruments รุ่น LR5K
- 9) ชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set) ชนิด B การใช้ระยะกดคงที่
- 10) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ยี่ห้อ Vitiny Digital Portable Microscope รุ่น VT300

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและทดลอง การผลิตผิวเคลือบของแบบจำลองฝักตรวจมะรึงเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติและการเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

3.3.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

3.3.1.1 ศึกษาปริมาณของน้ำมันซิลิโคนที่มีความเหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผิวซิลิโคน ในปริมาณต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.6 และมีขั้นตอนการเตรียมยางซิลิโคน ดังนี้

ตารางที่ 3.6 ปริมาณยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคน

สารเคมี	ปริมาตรสารเคมี (phr)
ยางซิลิโคน	100
สารเชื่อมโยง	5
น้ำมันซิลิโคน	60, 75, 90

- 1) ชั่งยางซิลิโคน น้ำมันซิลิโคน และสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 3.6
- 2) เทยางซิลิโคน และน้ำมันซิลิโคนในแก้วพลาสติกคนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 1 นาที ใส่สารเชื่อมโยง แล้วเทลงแม่พิมพ์อะลูมิเนียมที่ทาวาสลินไว้ก่อนหน้าเพื่อความสะดวกในการปลดชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.3(a)
- 3) ปลดอั่งทิ้งให้ยางซิลิโคนเกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (ดังรูปที่ 3.3(b)) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Post cure)
- 5) ทำการทดสอบซ้ำโดยปรับเปลี่ยนน้ำมันซิลิโคนจาก 60 เป็น 75 และ 90 phr



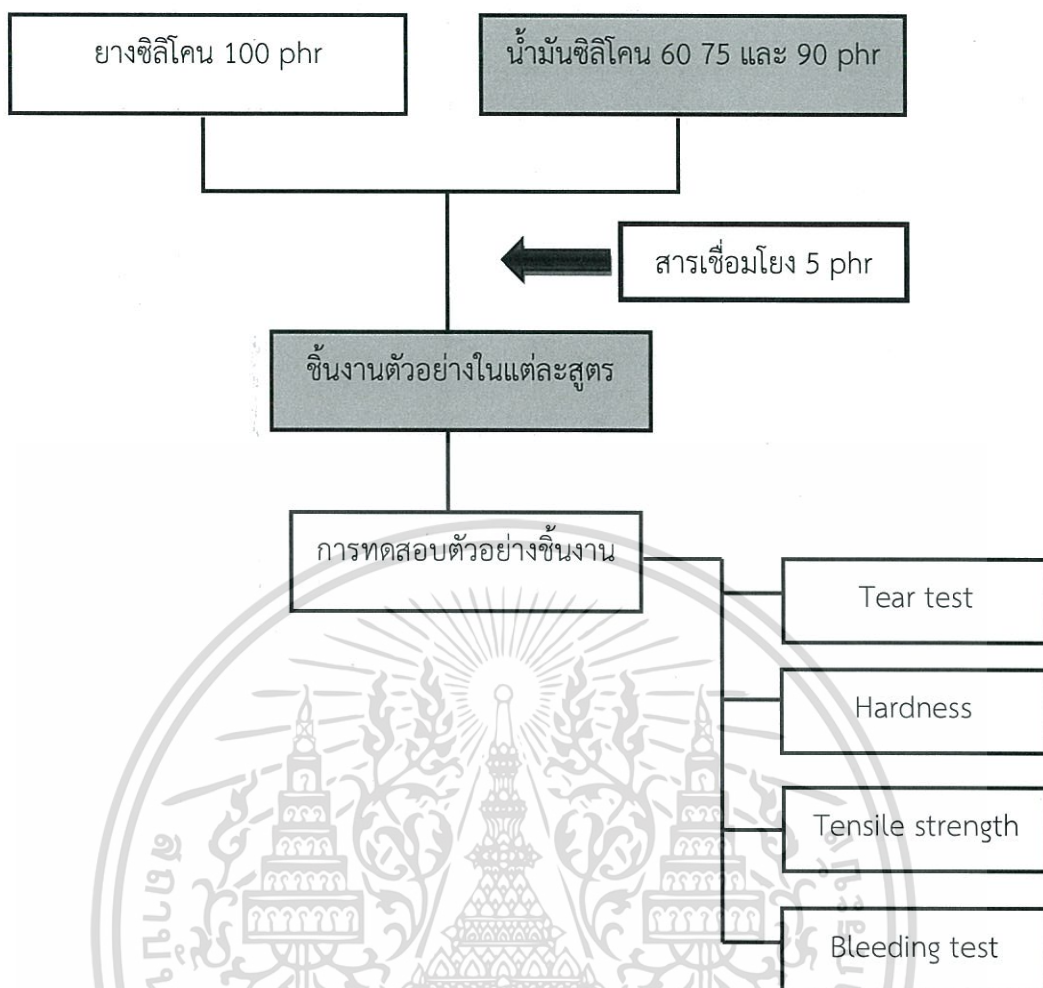
(a)



(b)

รูปที่ 3.3 การเตรียมยางซิลิโคน (a) เทยางซิลิโคนที่ทำการผสมสูตรเรียบร้อยแล้วลงบนแม่พิมพ์อะลูมิเนียม และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบชิลิโคนเพื่อหาปริมาณน้ำมันชิลิโคนที่เหมาะสม

ผลจากการศึกษาปริมาณของน้ำมันชิลิโคนที่เหมาะสมกับการทำผิวเคลือบชิลิโคน 3.3.1.1 ทำให้ทราบว่าในอัตราส่วน ยางชิลิโคน 100 phr สารเชื่อมโยง 5 phr และน้ำมันชิลิโคน 60 phr ค่าความแข็งแรงฉีกขาด เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด สูงที่สุด แต่เนื่องจากสูตรนี้ยังไม่ได้ค่าความแข็งแรงที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องใช้น้ำมันชิลิโคน 75 และ 90 phr กับผ้าทั้งสามชนิดด้วย เพื่อดูค่าความแข็งแรงฉีกขาด เปอร์เซ็นต์การยึดตัว ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรง ที่เหมาะสม

3.3.1.2 ศึกษาชนิดของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวเคลือบซิลิโคน

โดยใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ คือ ผ้าขาวบาง ผ้าดิบ และผ้าไนลอน ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1) ซังยางซิลิโคน น้ำมันซิลิโคนและสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 3.6

2) เทยางซิลิโคนและน้ำมันซิลิโคนในแก้วพลาสติกคนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 1 นาทีและใส่สารเชื่อมโยง แล้วเทลงแม่พิมพ์อะลูมิเนียมที่มีการทาวาสลินไว้ก่อนหน้าเพื่อความสะดวกในการปลดชิ้นงาน

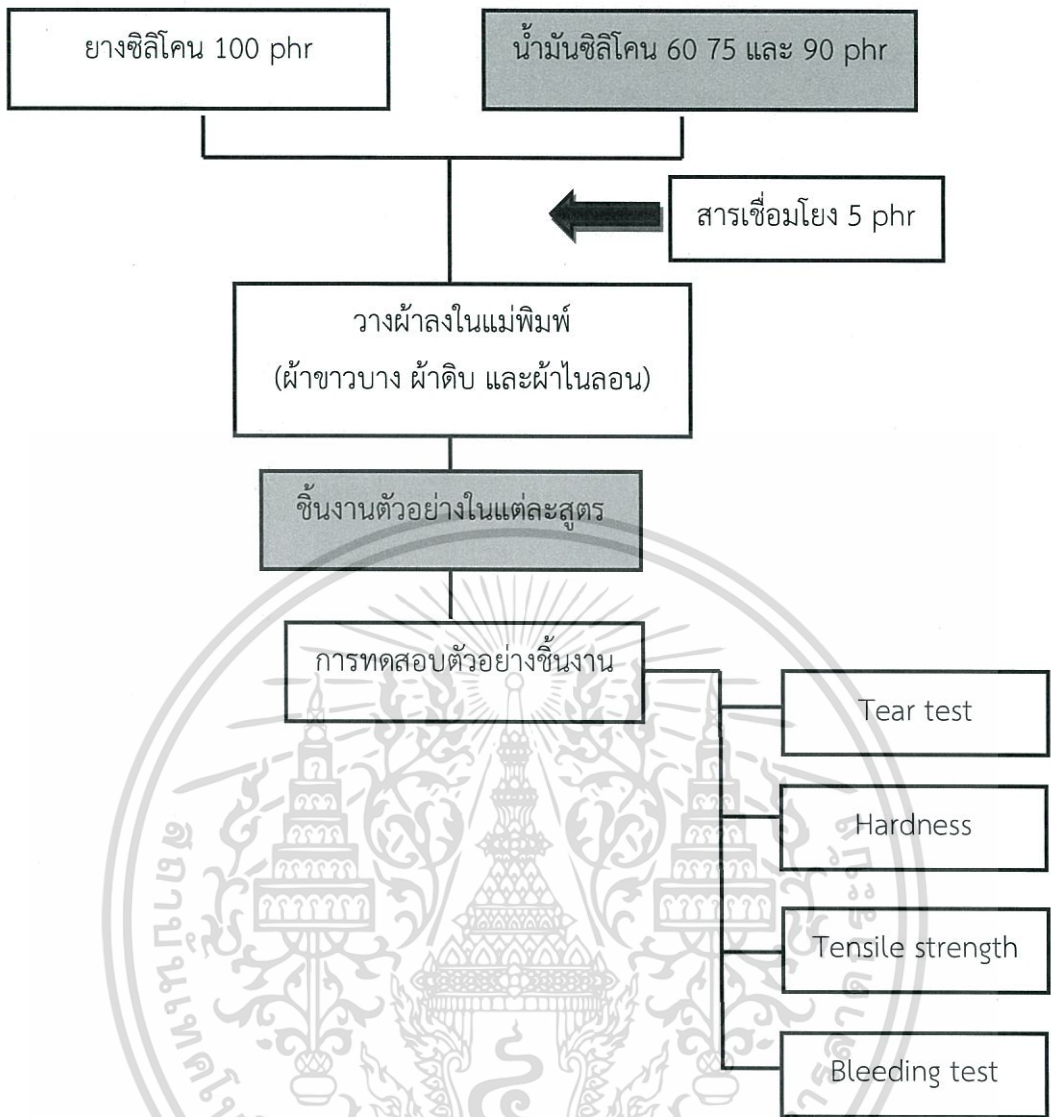
3) นำผ้าดิบ ที่มีขนาด ความกว้าง 170 มิลลิเมตร ความยาว 170 มิลลิเมตร วางลงในแม่พิมพ์และกดผ้าให้จมอยู่ในชั้นของยางซิลิโคนที่เทลงไปก่อนหน้า วางทิ้งให้ยางซิลิโคนเกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.5(a)

4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (ดังรูปที่ 3.5(b)) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Post cure)

5) ทำการทดลองซ้ำโดยปรับเปลี่ยนชนิดของผ้าจากผ้าดิบเป็นผ้าขาวบางและผ้าไนลอน



รูปที่ 3.5 การเตรียมยางซิลิโคนแบบใส่ผ้า (a) การวางผ้าลงบนสารผสมระหว่างยางซิลิโคน น้ำมันซิลิโคนและสารเชื่อมโยง และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป



รูปที่ 3.6 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบชิลิโคนที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าแต่ละชนิด

ผลจากการศึกษาสมบัติของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวเคลือบชิลิโคน โดยใช้ผ้าทั้ง 3 ชนิด 3.3.1.2 ผ้าไนลอนมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากทำให้ผิวเคลือบของชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่ได้ค่าความแข็งที่ต้องการ ทำให้ต้องมีการปรับสูตรของโพลีเอทิลีนส่วนที่เป็นชั้นในของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนให้มีความนิ่มมากกว่าเดิมเพื่อเป็นการชดเชยค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมผ้าเข้าไปในผิวเคลือบชิลิโคน

3.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโฟมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง

โดยศึกษาผลของระดับความเร็วในการปั่นขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติเพื่อให้ได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่มีค่าความหนาแน่นและความแข็งที่ลดลง

ตารางที่ 3.7 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ

น้ำยางและสารเคมี	น้ำหนักเปียก (กรัม)	น้ำหนักแห้ง (phr)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	167.0	100.0
10% โพลเทสเชียมโอลิเอต	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	1.3
12.5% SSF	11.0	1.4

3.3.2.1 การขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง

- 1) ทำการชั่งสารตามสูตรผสม ดังตารางที่ 3.7 ลงในถ้วยพลาสติก
- 2) ทาวาสลีนเพื่อให้ปลดชิ้นงานออกได้ง่ายโดยไม่ทำให้พื้นผิวเสียหาย และเตรียมการฝั่งของแข็ง (เซลล์มะเร็ง ต่อม น้ำเหลือง เนื้องอก และซิสต์ โดยที่เซลล์มะเร็งและต่อมน้ำเหลืองจะถูกฝั่งด้านเดียวกัน) โดยมีดก้อนของแข็งกับเส้นด้าย และทำการผูกกับตัวยึดเพื่อให้ก้อนของแข็งลอยอยู่ในเนื้อแม่พิมพ์ 1 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.7(a)
- 3) เติมน้ำยางชั้นปริมาณ ดังตารางที่ 3.7 ใส่ภาชนะขนาด 2.5 ลิตร สำหรับปั่นกวน เติมโพลเทสเชียมโอลิเอต ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์เป็นอันดับแรกเพื่อทำการปั่นกวนทำให้เกิดฟองที่เสถียร
- 4) ปรับระดับความเร็วของการปั่นกวนเป็นระดับ 4 ระหว่างการปั่นกวนทำการหมุนภาชนะปั่นกวนอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้ฟองอากาศในปริมาณที่มากและใช้ไม้พายช่วยผสมและกำจัดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่จะสังเกตว่าน้ำยางที่ทำการปั่นกวนมีฟองอากาศที่มีความสม่ำเสมอโดยใช้เวลา 3 นาที
- 5) เติมหำมะถัน ZDEC ZMBT และ Wingstay[®]L ในภาชนะปั่นกวนและใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้นโดยลดระดับความเร็วเป็นระดับที่ 1 เพื่อให้ฟองอากาศมีความสม่ำเสมอเป็นเวลา 2 นาที

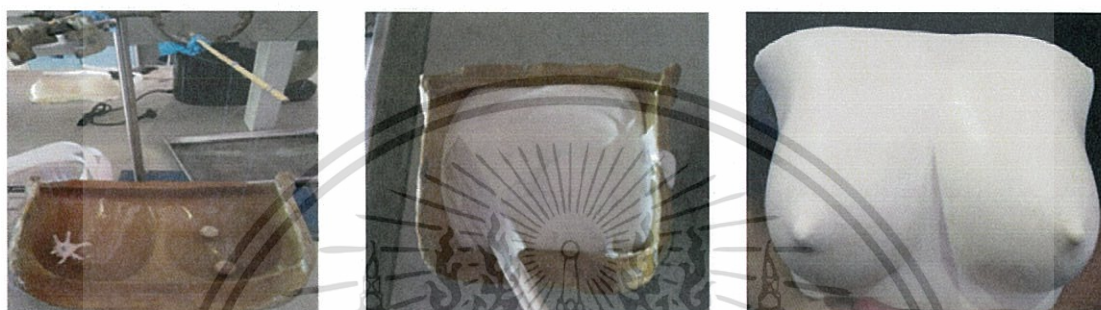
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เติม DPG และ ZnO ลงในภาชนะปั่นกวน และใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีเป็นเวลา 2 นาที เติม SSF ปั่นกวน 30 วินาที

7) เทน้ำยางที่มีลักษณะเป็นโพลลงในแม่พิมพ์ ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบเพื่อความสวยงาม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาทีเพื่อให้เกิดการคงรูป ดังรูปที่ 3.7(b)

8) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้โพลยางธรรมชาติเกิดการเชื่อมโยงกัน

9) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ Fiber glass ดังรูปที่ 3.7(c)

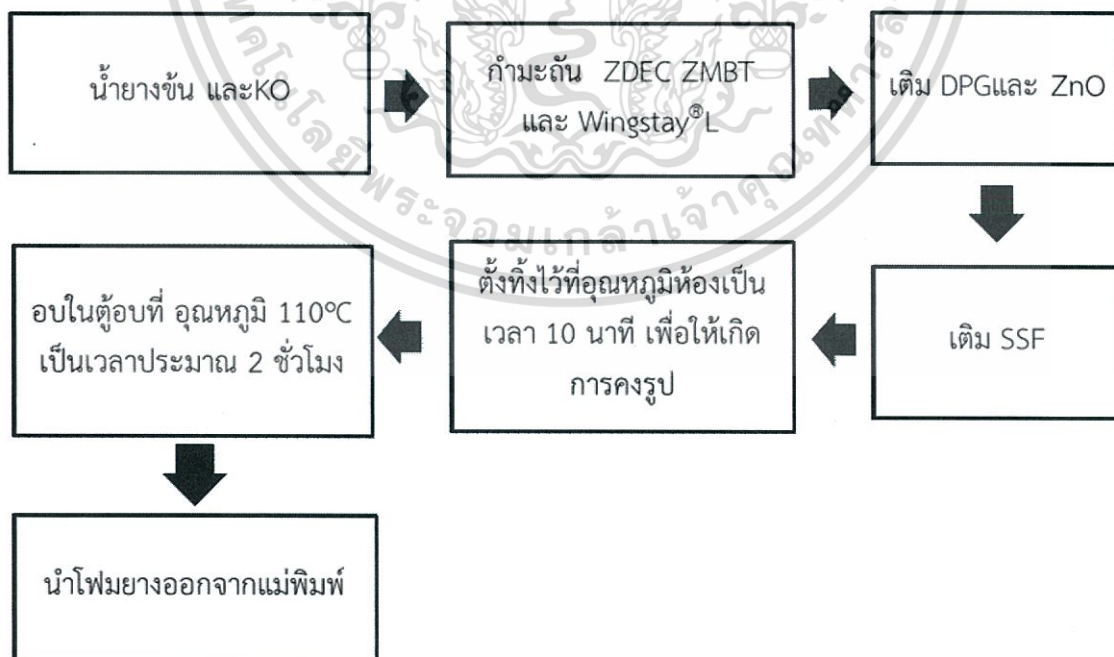


(a)

(b)

(c)

รูปที่ 3.7 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจจระเรียงเต้านมจากโพลยางธรรมชาติ: (a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง, (b) เทโพลยางธรรมชาติพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ และ (c) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป



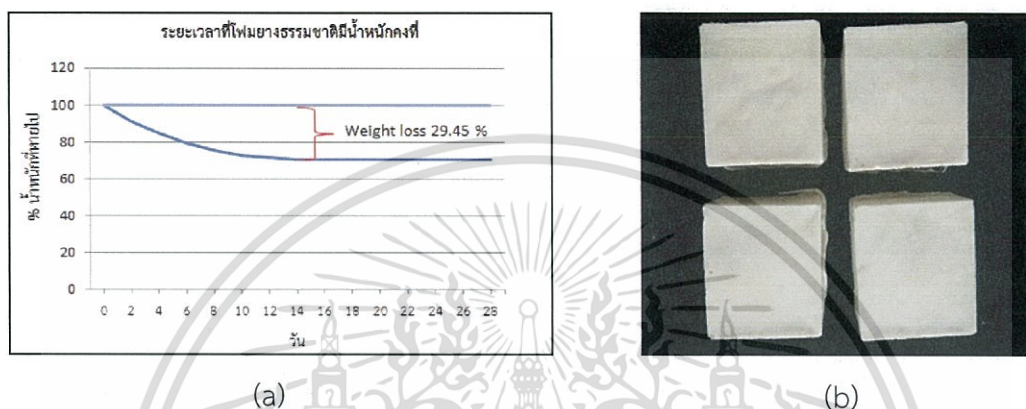
รูปที่ 3.8 แผนผังการเตรียมโพลยางธรรมชาติขึ้นในของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

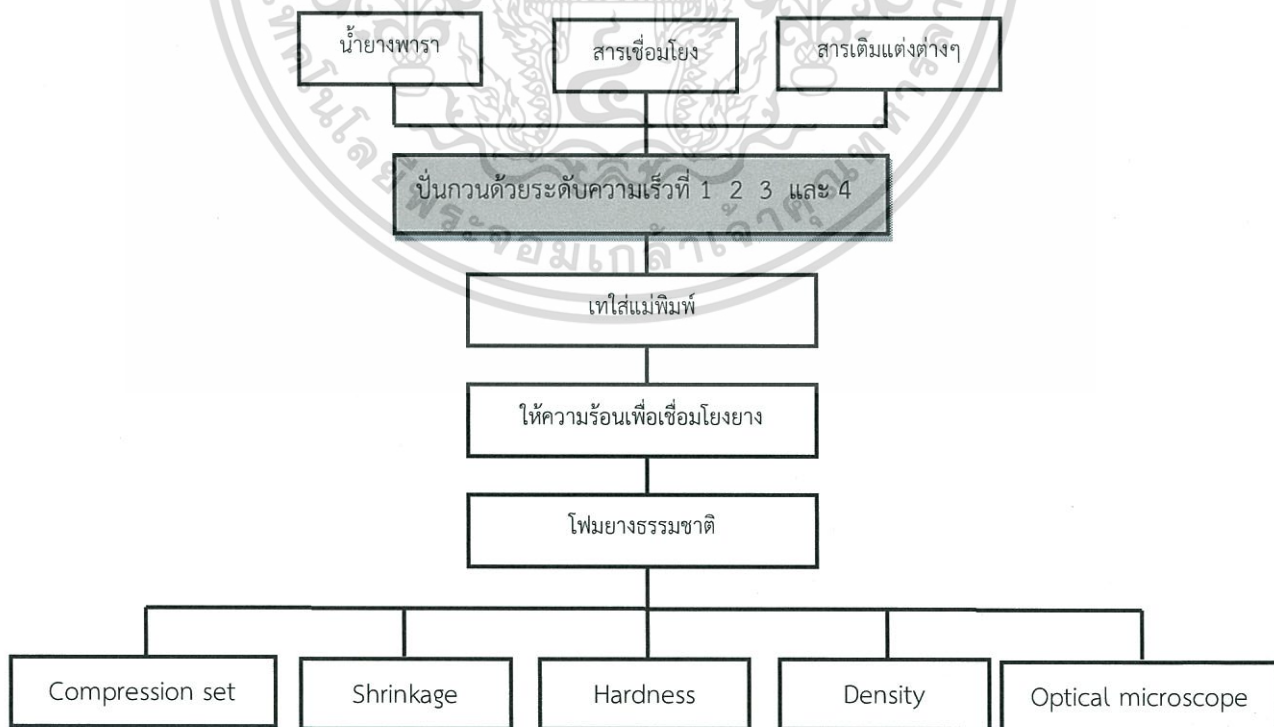
3.3.2.2 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการบั่นโพลียเอทิลีน

ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 แต่เปลี่ยนระดับความเร็วในช่วงแรกที่บั่นกับ

อิมัลซิไฟเออร์ เป็นระดับ 1, 2, 3 และ 4 (เทียบเป็นความเร็วรอบในการบั่นแต่ละระดับความเร็วเป็น 429 636 766 และ 840 rpm ตามลำดับ) ขั้นตอนสุดท้ายเทใส่แม่พิมพ์อะลูมิเนียม ขนาด กว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร สูง 63 มิลลิเมตร หลังจากวันที่ขึ้นรูปเสร็จให้ทิ้งชิ้นงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ น้ำระเหยออกและน้ำหนักที่คงที่ ดังรูปที่ 3.9 และนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 3.9 (a) ระยะเวลาที่โพลียเอทิลีนมีน้ำหนักคงที่ และ (b) ชิ้นงานโพลียเอทิลีนที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์



รูปที่ 3.10 การเตรียมโพลียเอทิลีนที่ระดับความเร็วที่ต่างกันเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรืออาจมีเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม กรุณาแจ้งผู้ดูแลระบบของเว็บไซต์หากพบเนื้อหาที่ไม่เหมาะสม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 การศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม

- 1) ทำการชั่งยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนตาม ตารางที่ 3.6 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 60 phr และผสมสีเข้มเพื่อทำเป็นหัวนมแล้วเทยางซิลิโคนที่ผสมลงในแม่พิมพ์
- 2) ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โตนอ่อนกว่าบริเวณหัวนมและสารเชื่อมโยงแล้วเทลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นกลิ้งยางซิลิโคนให้กระจายทั่วแม่พิมพ์ให้ได้ความหนาตามต้องการ
- 3) นำผ้าไนลอนวางลงบนผิวของยางซิลิโคนและเททับด้วยยางซิลิโคนอีกครั้ง
- 4) นำโฟมยางธรรมชาติที่ได้จาก 3.3.2.1 วางลงในแม่พิมพ์ที่มียางซิลิโคน
- 5) นำน้ำหนักกดทับโฟมยางธรรมชาติเพื่อให้แนบติดกับชั้นผิวซิลิโคน
- 6) รอนยางซิลิโคนแข็งตัว แล้วจึงสามารถนำมาแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้

3.3.3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม

เมื่อได้แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนเพิ่มความแข็งแรงแล้ว จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ โรงพยาบาลรามาริบัติ และบุคคลทั่วไปตามแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน ดังรูปที่ ก.1 ในภาคผนวก ก

เต้านมทดแทน

3.3.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ

จากการนำตัวอย่างเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนไปสอบถามประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วยที่ใช้เต้านมทดแทน ปรากฏว่ามีทั้งผู้ป่วยที่ต้องการเต้านมทดแทนที่เคลือบและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนและมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่า

1. เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนมีน้ำหนักที่หนักเกินไป
2. เต้านมทดแทนที่ไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนมีน้ำหนักที่เบาเกินไป

3.3.4.1 เต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติที่เคลือบผิวยางซิลิโคน

เต้านมทดแทนที่มีการเคลือบผิวยางซิลิโคนจะมีน้ำหนักที่หนักเกินไป เนื่องจากชั้นผิวเคลือบที่หนาเกินไป จึงต้องทำการปรับลดความหนาของชั้นผิว พร้อมด้วยเพิ่มความแข็งแรงของชั้นผิวโดยการเสริมแรงด้วยผ้า

ขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติขึ้นในของเต้านมทดแทน ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 และทำการเคลือบผิวเหมือนกับการทดลองที่ 3.3.2.3

3.3.4.2 เต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติที่ไม่เคลือบผิวยางซิลิโคน

ศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักให้แก่เต้านมทดแทนที่ทำจากโฟมยางธรรมชาติ

ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 โดยมีการใส่สารตัวเติม 3 ชนิด ได้แก่ SiO_2 , CaCO_3 และ TiO_2 ที่ปริมาณต่างกันเพื่อให้ได้น้ำหนักชิ้นงานที่เหมาะสมตามขนาดเต้านมทดแทน โดยสารตัวเติมแต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพ แสดงดังตารางที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารตัวเติม [26,37]

สมบัติ	SiO ₂		CaCO ₃	TiO ₂
	ชนิดไอ	ชนิดตกตะกอน		
ลักษณะทางกายภาพ	ของแข็งสีขาว	ของแข็งสีขาว	ของแข็งสีขาว	ของแข็งสีขาว
ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (µm)	0.8	8-10	3-14	0.02
ความหนาแน่น (g/cm ³)	2.20	2.20	2.71	4.23
พื้นที่ผิว, BET N ₂ (m ² /g)	50-400	60-300	10-30	50
ราคา (THB/kg)	300	28	45	400

3.3.5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน

เมื่อได้ด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทั้งชนิดที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนที่ซึ่งมีน้ำหนักที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ป่วยที่ทำการตัดด้านมหลังการรักษา ตามแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินดังรูปที่ ก.2 ในภาคผนวก ก

3.4 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

3.4.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม (ยางซิลิโคน และยางซิลิโคนที่มีผ้า)

1. การทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงดึง

หาค่าความแข็งแรงดึง และค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด ตามมาตรฐาน ASTM D412 [62] โดยใช้เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ เตรียมชิ้นงานเป็นรูปดิมเบล ความหนา 2 mm ใช้สภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- ความเร็วในการดึง (Test speed) : 500 mm/min
- ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) : 25 mm
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ (Load cell) : 10 kN

2. การทดสอบสมบัติความทนทานต่อแรงฉีกขาด

ทำได้โดยการวัดแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาดออกจากกัน ซึ่งลักษณะของการทดสอบคล้ายกับการทดสอบสมบัติแรงดึง โดยจะดึงชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ ตามมาตรฐาน ASTM D624 [63] เตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นรูป Angle type C ความหนา 2 mm ใช้สภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- ความเร็วในการดึง (Test speed) : 500 mm/min
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ (Load cell) : 10 kN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 2240 [64] โดยเตรียมชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $12 \times 12 \text{ cm}^2$ และทดสอบชิ้นงานที่มีความหนา 6 cm โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกด Shore OO ใช้น้ำหนักกด 464.5 g กดเป็นเวลา 5 วินาที ก่อนอ่านค่าทั้งหมด 10 จุด โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดห่างกันอย่างน้อย 0.6 mm

4. การแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์

การทดสอบการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์ ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ISO 177 [65] เตรียมตัวอย่างซิลิโคนที่ใช้ทดสอบตามวิธีการที่ 3.3.1.1 นำชิ้นงานที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $5 \times 5 \text{ cm}^2$ และหนา 3 cm นำชิ้นงานไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งและนำไปทดสอบโดยการใส่สภาวะทดสอบ ดังนี้

- อุณหภูมิ 70°C
- เวลา 24 ชั่วโมง
- น้ำหนักกดทับ 5 kg

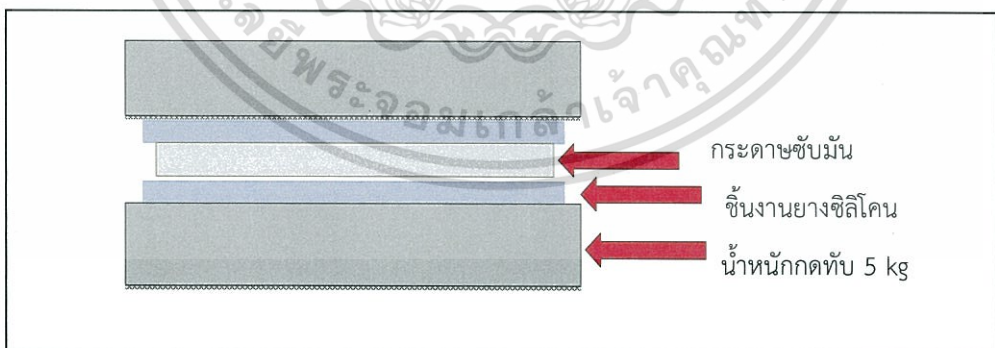
นำชิ้นงานตัวอย่างมาจัดวาง ดังรูปที่ 3.11 เมื่อครบกำหนดเวลา นำชิ้นงานทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อดูการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์ โดยคำนวณการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์จากสูตร

$$\% B = [(W_0 - W) / W_0] \times 100 \quad (3.1)$$

โดยที่ % B แทนเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์

W_0 แทนน้ำหนักของชิ้นงานเริ่มต้น (mg)

W แทนน้ำหนักของชิ้นงานตอนสุดท้าย (mg)



รูปที่ 3.11 การจัดเรียงชิ้นงานขณะทดสอบการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคน [68]

3.4.2 ส่วนที่เป็นชั้นใน (ยางธรรมชาติ)

1. การทดสอบความหนาแน่น

ทดสอบความหนาแน่น โดยการเตรียมชิ้นงานเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด $6 \times 6 \times 4 \text{ cm}^3$ แล้วนำชิ้นงานที่เตรียมได้ไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง และคำนวณความหนาแน่นของยางพองน้ำ จากสูตร

$$D = M / V \quad (3.2)$$

โดยที่ D คือความหนาแน่น (g/cm^3)

M คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g)

V คือปริมาตรของชิ้นงาน (cm^3)

2. การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

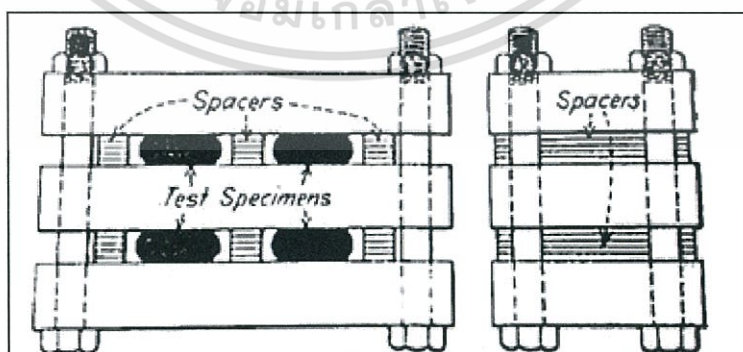
ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1425-2540 [66] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเท็กซ์ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ (t_1) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปวางในชุดทดสอบ แล้วเลื่อนแผ่นชุดทดสอบทั้งสองเข้าหากัน จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกกดจนมีความหนาลดลง 50% ของความหนาเดิม ปล่อยทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.12 นำชิ้นทดสอบออกจากชุดทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ (t_2) นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาการจัดตัวจากแรงอัด จากสูตร

$$\text{การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (\%)} = [(t_1 - t_2) / (t_1 - t_n)] \times 100 \quad (3.3)$$

โดยที่ t_1 คือความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (mm)

t_2 คือความหนาของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (mm)

t_n คือความหนาของแท่งเหล็กกัน (mm)



รูปที่ 3.12 ชิ้นงานทดสอบถูกกดทับด้วยชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด [66]

3. การทดสอบความแข็งแรง

ทดสอบตามรายละเอียดหัวข้อที่ 3.4.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลอง ข้อที่ 3.

4. การทดสอบการหดตัว

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์การหดตัว} = [(A-B)/A] \times 100 \quad (3.4)$$

โดย A แทนเส้นผ่านศูนย์กลางของแม่พิมพ์ (mm)

B แทนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นพองน้ำ (mm)

5. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope, OM)

ศึกษาขนาดและความสม่ำเสมอของฟองของโพนยางธรรมชาติ โดยเตรียมชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยมขนาด $6 \times 4 \text{ cm}^2$ หนา 2.5 cm โดยใช้กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ 10 20 และ 30 เท่า



ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน เนื่องจากชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหาย (ฉีกขาด) เมื่อนำไปใช้งาน โดยทำการพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของผิวซิลิโคนสำหรับใช้เคลือบโพลีเอทิลีนของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม โดยการใช้เส้นใยถักทอและการศึกษาสูตรยางที่เหมาะสม รวมถึงทำการพัฒนาความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนชั้นในของแบบจำลองให้เหมาะสำหรับการนำมาทำแบบจำลอง นอกจากนี้ยังศึกษาการนำโพลีเอทิลีนมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนสำหรับผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านม โดยปรับปรุงน้ำหนักของเต้านมให้เหมาะสมตามน้ำหนักมาตรฐานแต่ละขนาดคัพของเต้านม

แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน

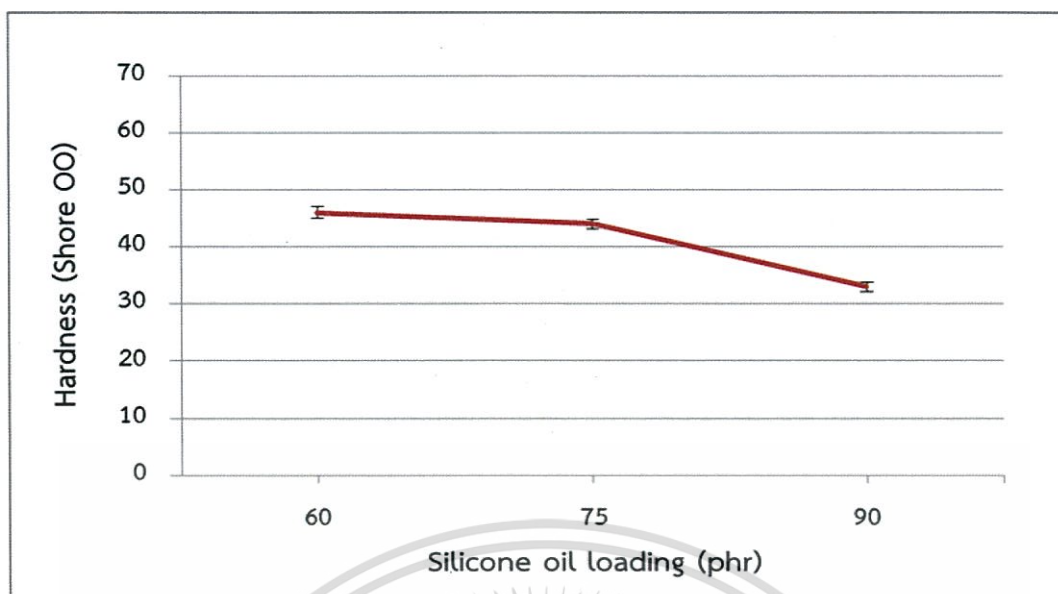
4.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน

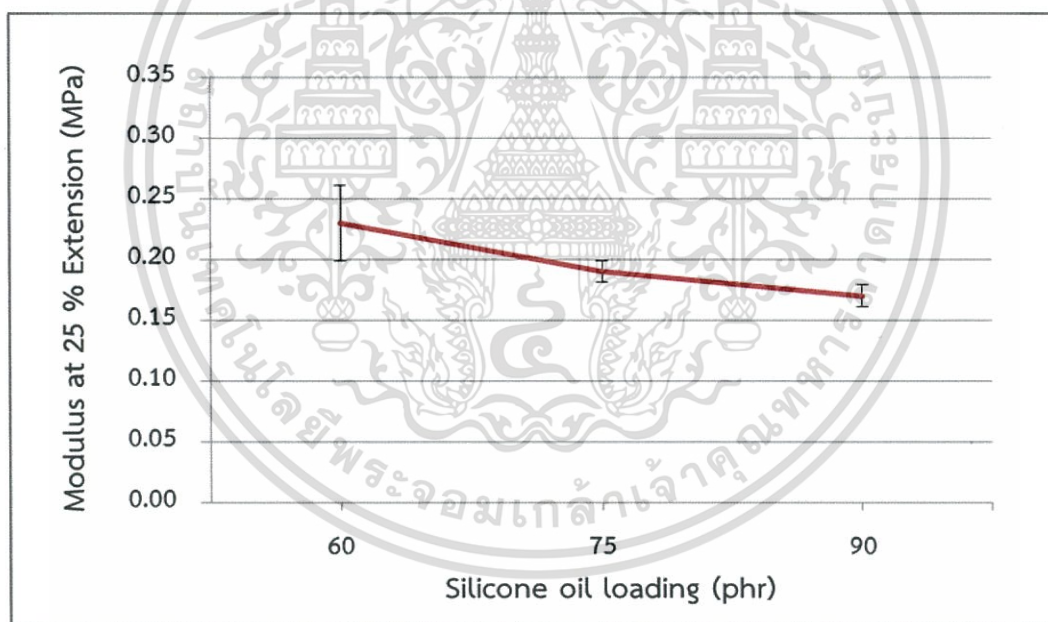
จากโครงการพิเศษปี 2558 [13] พบว่าซิลิโคนสำหรับเคลือบโพลีเอทิลีน ซึ่งเป็นชั้นผิวนอกของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการฉีกขาดเมื่อใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาความแข็งแรงของซิลิโคน ให้มีความทนทานต่อการฉีกขาดมากขึ้น โดยพัฒนาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของซิลิโคน ได้แก่ ปริมาณสารเชื่อมโพลีเอทิลีน และน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม จากการทดลองจึงทำการควบคุมปริมาณโพลีเอทิลีนที่ 5 phr และทำการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เพิ่มขึ้นพบว่า มีผลทำให้ซิลิโคนมีความแข็งแรง และค่ามอดูลัส ลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ เมื่อเข้าไปแทรกในซิลิโคนทำให้มีปริมาตรอิสระเพิ่มมากขึ้น และทำให้สายโซ่โมเลกุลของซิลิโคนยิ่งห่างกัน มีแรงต้านการเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของซิลิโคนคือ ทำให้ซิลิโคนมีความแข็งแรงถึง ค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด ลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.3-4.5 อีกทั้งยังทำให้ค่าร้อยละการตัวยืด ณ จุดขาด ลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.5 เนื่องจากปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณโพลีเอทิลีนที่ใช้ในทุกสูตรของยางซิลิโคนคงที่ ทำให้องศาการเชื่อมโยงของยางลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันซิลิโคนมีโครงสร้างเหมือนซิลิโคน คือเป็น Polysiloxane แต่มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่ามาก ทำให้มีน้ำมันซิลิโคนบางส่วนที่ไม่ได้ถูกเชื่อมโยงเกิดการเลื่อนไถลได้ง่าย ทำให้ซิลิโคนมีการยืดตัวลดต่ำลงและขาดง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [13]

จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสมในการนำมาทำผิวซิลิโคนในงานวิจัยนี้คือ 60 phr เนื่องจากทำให้ซิลิโคนมีสมบัติเชิงกลสูงสุด และเมื่อนำมาทำผิวซิลิโคนสำหรับเคลือบแบบจำลอง ทำให้มีความทนทานต่อการรับแรงจากการกดหาค้อนของแข็งในแบบจำลองได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

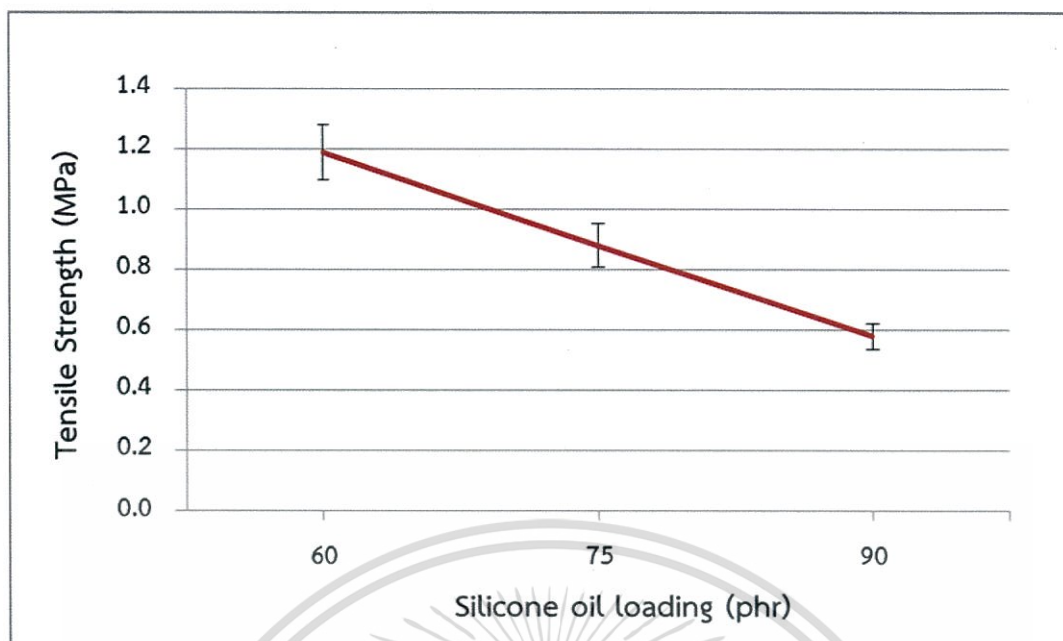


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

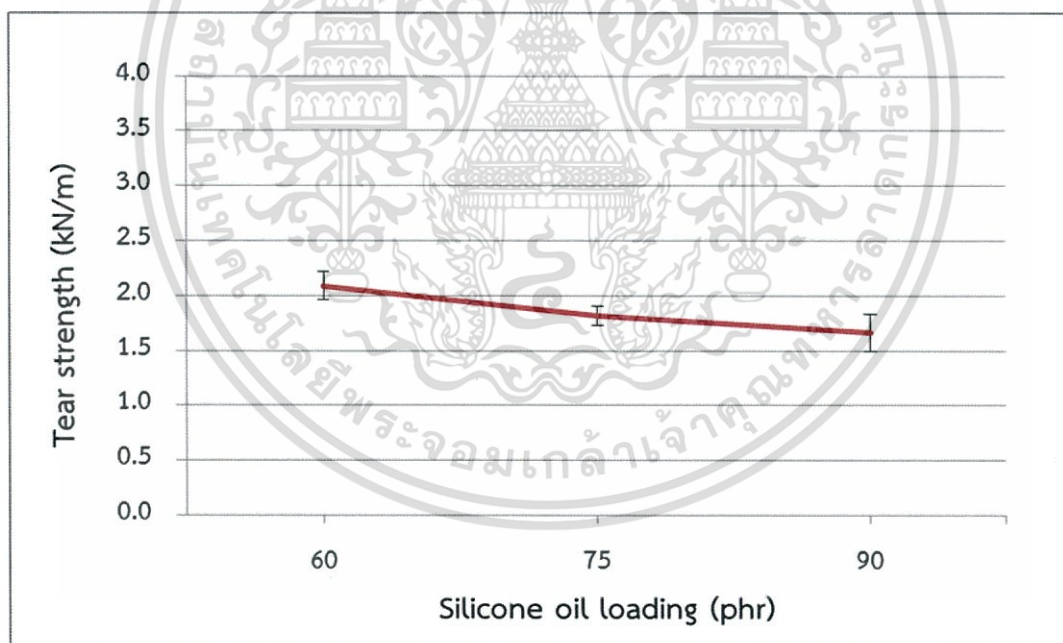


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

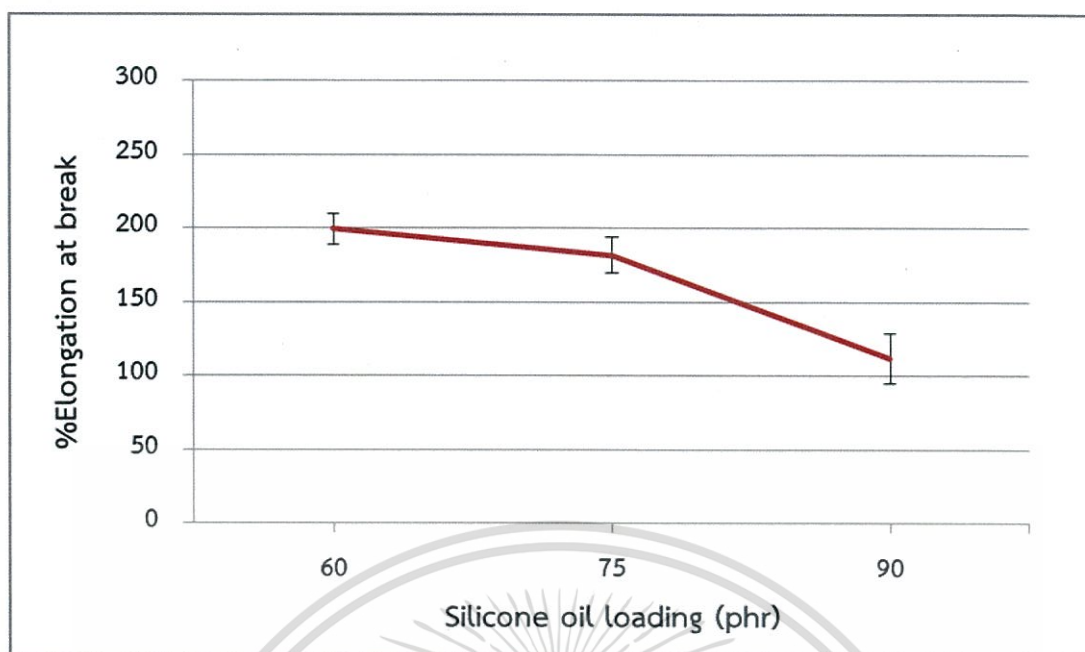


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

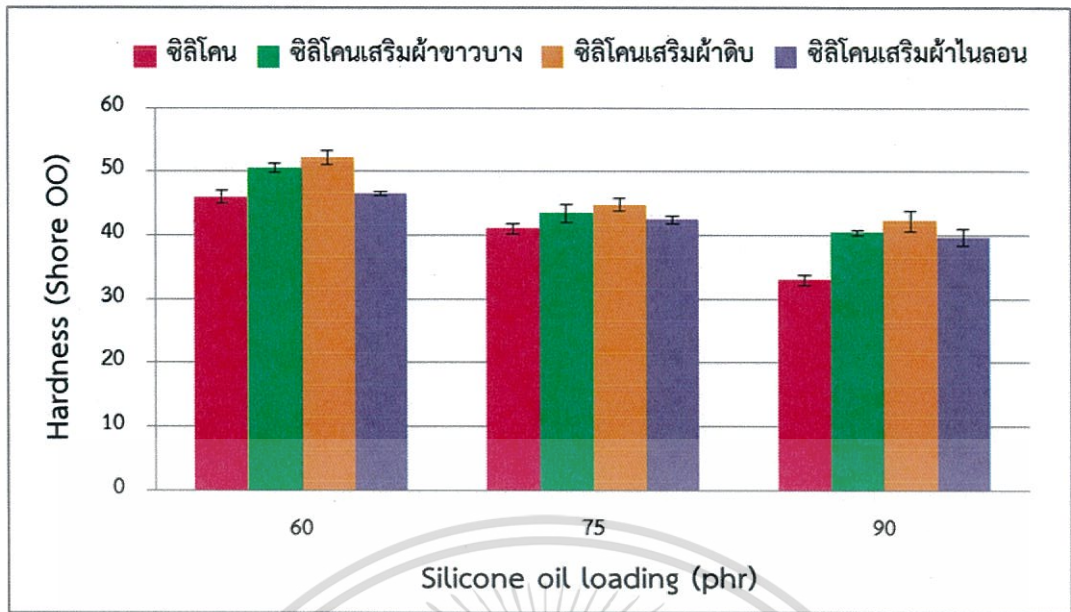
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



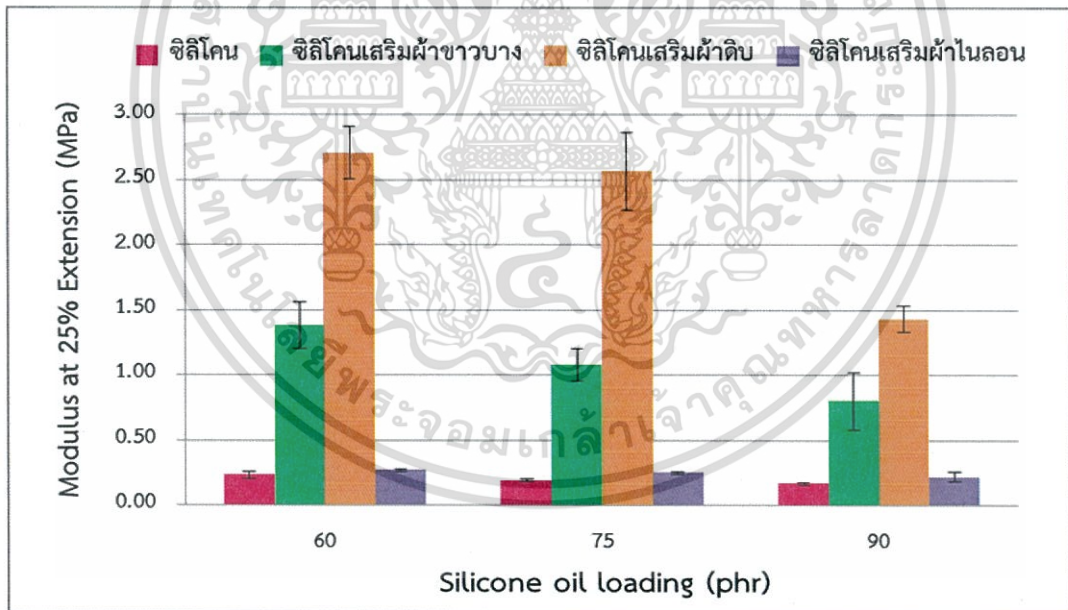
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

4.1.2 การศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของผิวซิลิโคนโดยการเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ

เป็นที่ทราบกันดีว่าพอลิเมอร์สามารถเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่าง ๆ ได้ โดยเฉพาะเส้นใยาว และเส้นใยถักทอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยถักทอในรูปผ้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผ้าดิบ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน เนื่องจากผ้าทั้งสามชนิดที่เลือกมาศึกษานี้ เป็นผ้าที่มีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์และสามารถหาได้ง่าย และมีลักษณะการถักทอแบบท่างหรือมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่จะสามารถทำให้ซิลิโคนเหลวแทรกตัวเข้าไปได้ ไม่ให้เกิดช่องว่างหรือฟองอากาศขึ้น อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลอาจไม่สามารถกระทำอย่างถูกต้องเหมาะสม เนื่องจากผ้าแต่ละชนิดมีขนาดเส้นใยไม่เท่ากัน และมีความหนาแน่นของการถักทอ (จำนวนเส้นด้ายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) ต่างกัน แต่เป็นการศึกษาแนวเปรียบเทียบ เพื่อหาวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมสำหรับผิวซิลิโคนที่จะใช้เป็นวัสดุในแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม จากการศึกษาซิลิโคนที่มีการใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมแรง (Reinforcement) พบว่าซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าทั้งสามชนิด มีค่าความแข็ง และค่ามอดุลัส เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับซิลิโคนที่ไม่เสริมผ้า แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบมีค่าความแข็งมากที่สุด รองลงมาคือ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน โดยผ้าดิบและผ้าขาวบางเป็นผ้าที่ได้จากการทอจึงมีความหนาแน่นของการถักทอและความแข็งแรงมากกว่า ต่างกับผ้าไนลอนที่มาจาก การถัก ซึ่งมีความหนาแน่นของการถักทอและความแข็งแรงต่ำกว่า



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

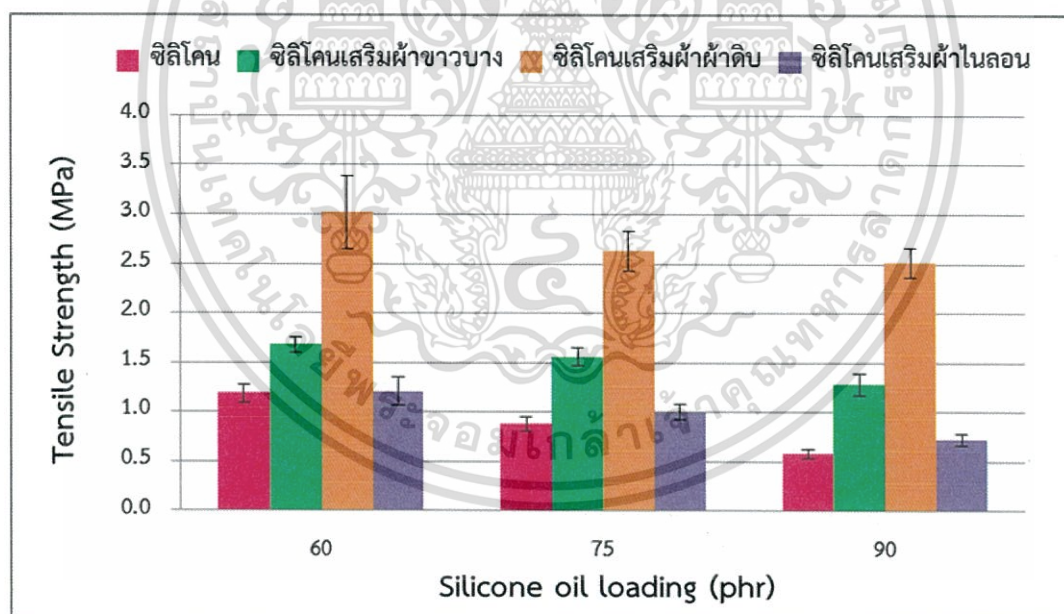


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

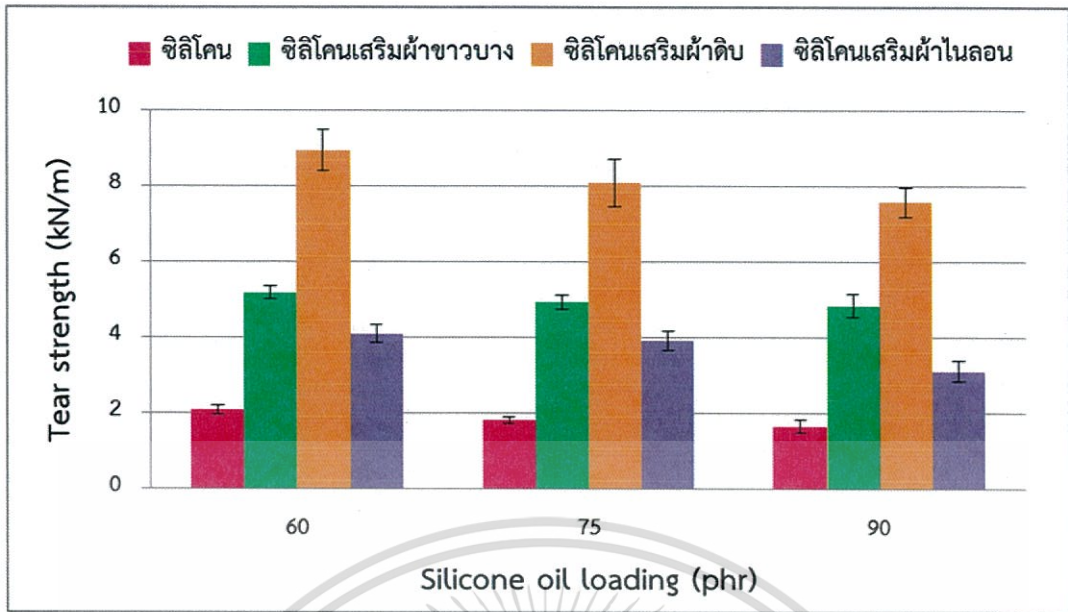
จากการศึกษาความแข็งแรงของซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าพบว่า มีค่าความแข็งแรงดึง และค่าความคงทนต่อการฉีกขาด เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับซิลิโคนที่ไม่เสริมผ้า ดังรูปที่ 4.8-4.9 เป็นผลมาจากผ้าที่เป็นส่วนเสริมแรง ทำหน้าที่ในการรับแรงและช่วยในการกระจายแรงให้กับซิลิโคนที่ทำหน้าที่เป็นเอกสารถึงเป็นเอกสารถึงส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทริกซ์ (Matrix) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ จึงทำให้ชิ้นงานคอมโพสิตทนต่อการรับแรงได้มากขึ้น และเกิดความเสียหายได้ยากขึ้น โดยซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบมีค่าความแข็งแรงดึงและความคงทนต่อการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน ตามลำดับ แต่สำหรับค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบและผ้าขาวบาง มีค่าลดต่ำลง ส่วนซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอนมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากผ้าไนลอนมีสมบัติการยืดตัวที่สูง จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถยืดตัวได้ดีที่สุด และจากการเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนในสูตรยางพบว่า สมบัติเชิงกลของซิลิโคนที่ทำการเสริมแรงด้วยผ้าทั้งสามชนิดมีที่แนวโน้มลดต่ำลงเหมือนกัน

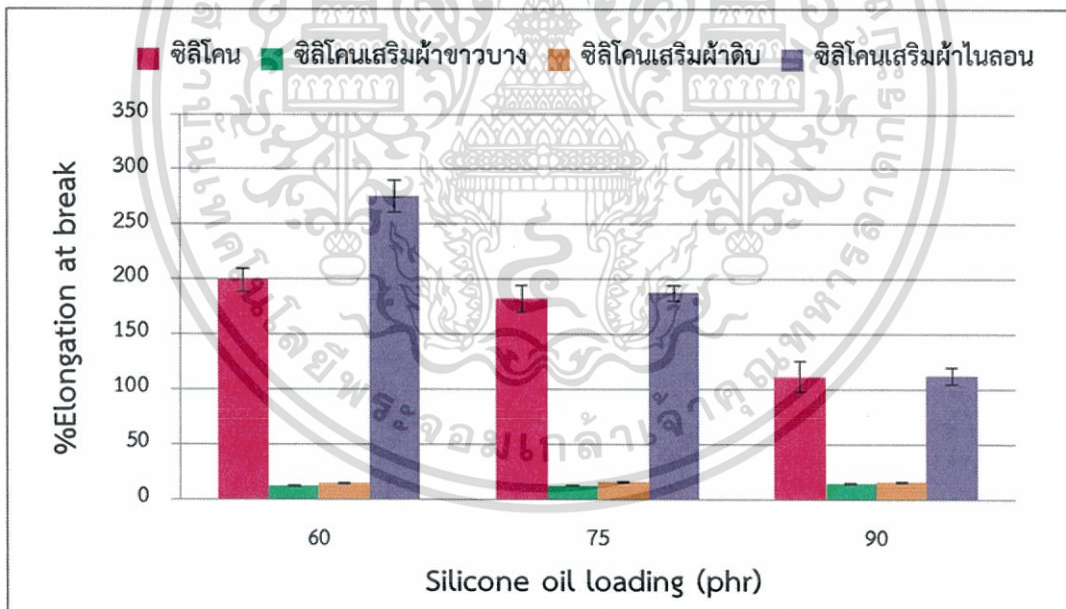
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอน เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลทำให้ทราบว่า ผ้าไนลอนทำให้ซิลิโคนมีความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น มีความคงทนต่อการฉีกขาดสูงขึ้น มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุด และที่สำคัญคือทำให้ซิลิโคนมีค่าความแข็งแรงต่ำที่สุด จึงเหมาะสำหรับนำมาเคลือบแบบจุ่มเพื่อผิวสัมผัสของผิวเคลือบแบบจุ่มมีความนิ่ม สามารถกดคลำหาก่อนของแข็งในแบบจุ่มได้ง่าย และซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอนใช้ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่ 60 phr เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำแบบจุ่ม เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับ ปริมาณน้ำมันซิลิโคน



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

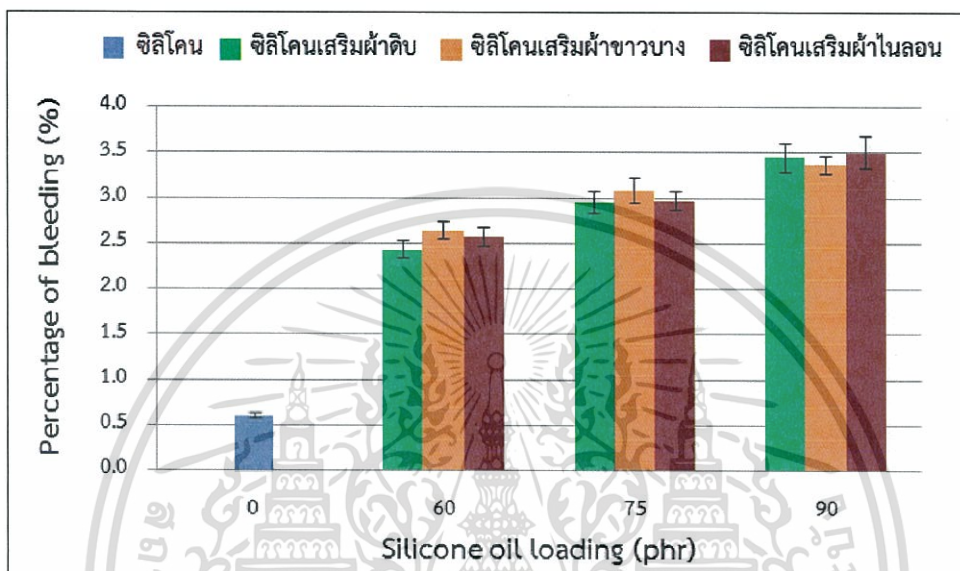


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การศึกษาการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์

จากการศึกษาการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคน (Bleeding tests) พบว่าปริมาณของน้ำมันซิลิโคนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้อัตราการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคนมากยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.11 เนื่องจากความสามารถในการละลายของน้ำมันซิลิโคนในยางซิลิโคนลดน้อยลง และพบว่าผ้าทั้งสามชนิดที่ใช้เสริมแรงยางซิลิโคนไม่ดูดซับน้ำมันไว้ จึงไม่มีผลต่อการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคน



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์

4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโฟมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง

4.2.1 ศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

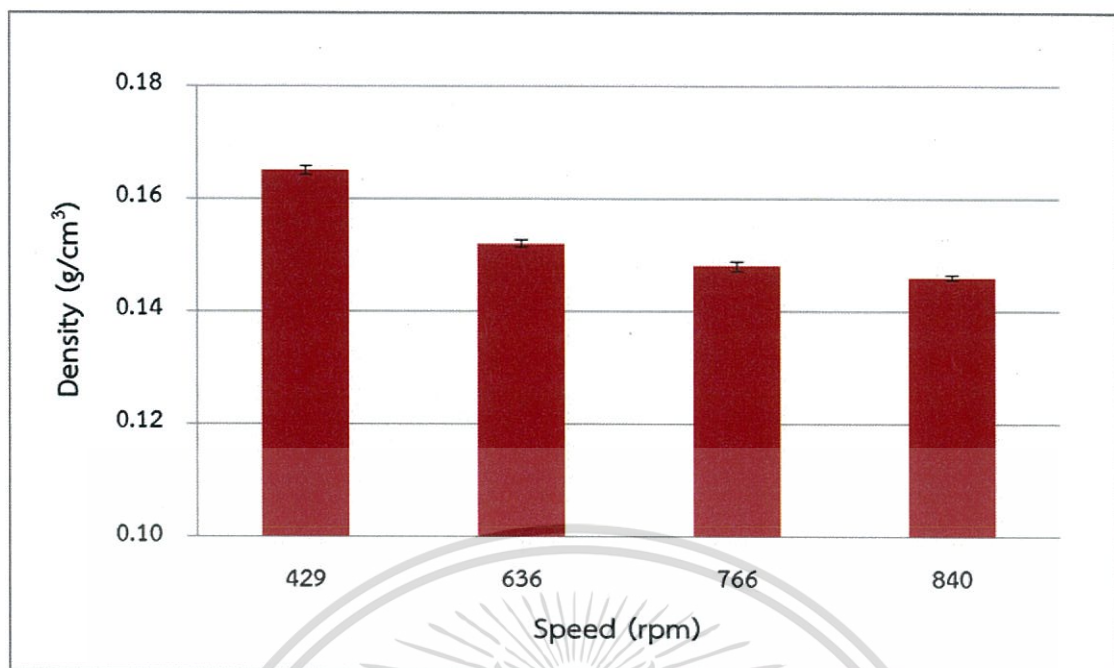
จากการศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์พบว่า เมื่อระดับความเร็วในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งของโฟมยางมีค่าลดต่ำลง ดังรูปที่ 4.12-4.13 เนื่องจากการปั่นกวนในระดับที่เร็วขึ้น ทำให้อากาศแทรกเข้าไปในน้ำยางและมีฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้ฟองมีขนาดใหญ่และผนังของฟองบางลง ลักษณะของฟองแสดงดังตารางที่ 4.1 และยังส่งผลให้โฟมยางมีความแข็งแรงลดต่ำลง และสมบัติการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางมีแนวโน้มที่คงที่ ดังรูป 4.15 เนื่องจากระดับความเร็วในการปั่นกวนไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางธรรมชาติ เพราะการหดตัวของโฟมยางธรรมชาติเกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในโฟมยางธรรมชาติ ซึ่งในการทดลองได้ทำการควบคุมปริมาณน้ำยางและสารเคมีในอัตราส่วนที่เท่ากัน จากการทดลองสรุปว่า ความเร็วของการปั่นกวนที่ระดับ 4 หรือความเร็วรอบ 840 rpm เหมาะที่สุดสำหรับการนำมาปั่นกวนน้ำยางในช่วงแรกที่ทำการศึกษาอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากทำให้มีปริมาณฟองและปริมาตรของโฟมยางเพิ่มสูงขึ้นตามที่ต้องการ อีกทั้งทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความเร็วที่เหมาะสมหลังจากการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์แล้วไม่ควรมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซีไฟเออร์คือ ระดับ 1 หรือความเร็วรอบ 429 rpm เนื่องจากทำให้ฟองอากาศในโพลียามีขนาดเล็กลงและมีผนังฟองหนาขึ้น ซึ่งมีผลทำให้โพลียามีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า สอดคล้องตามงานวิจัย [12]

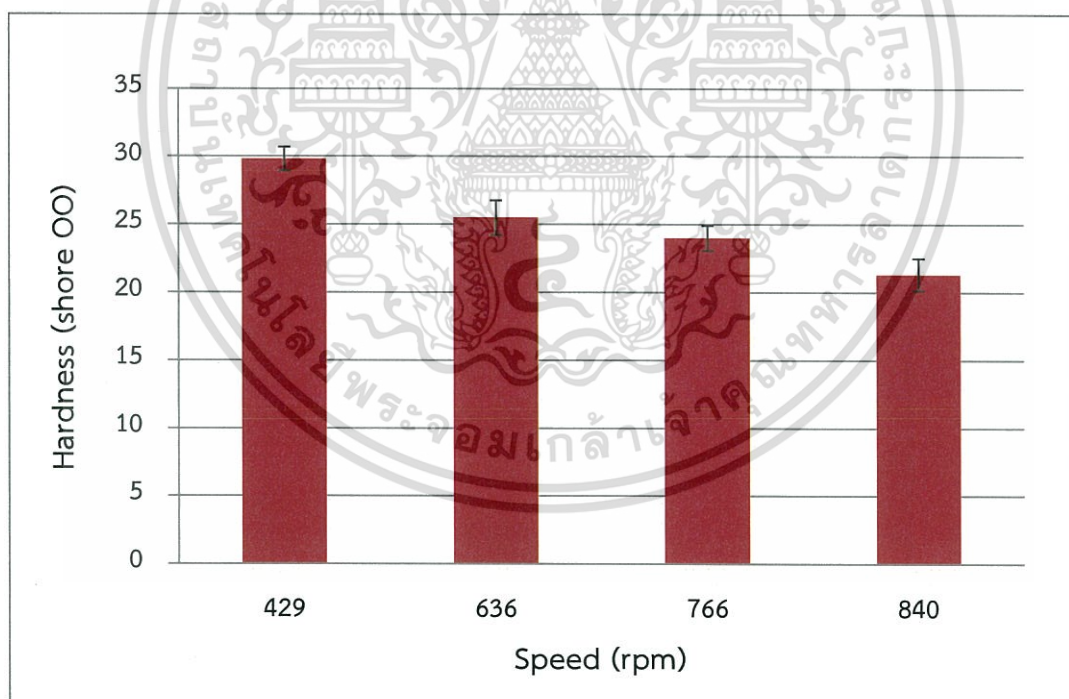
ตารางที่ 4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโพลียาธรรมชาติเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซีไฟเออร์ที่แตกต่างกัน

ระดับความเร็วในการปั่น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง		
	กำลังขยาย 10 เท่า	กำลังขยาย 20 เท่า	กำลังขยาย 30 เท่า
1 (429 rpm)			
2 (636 rpm)			
3 (766 rpm)			
4 (840 rpm)			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

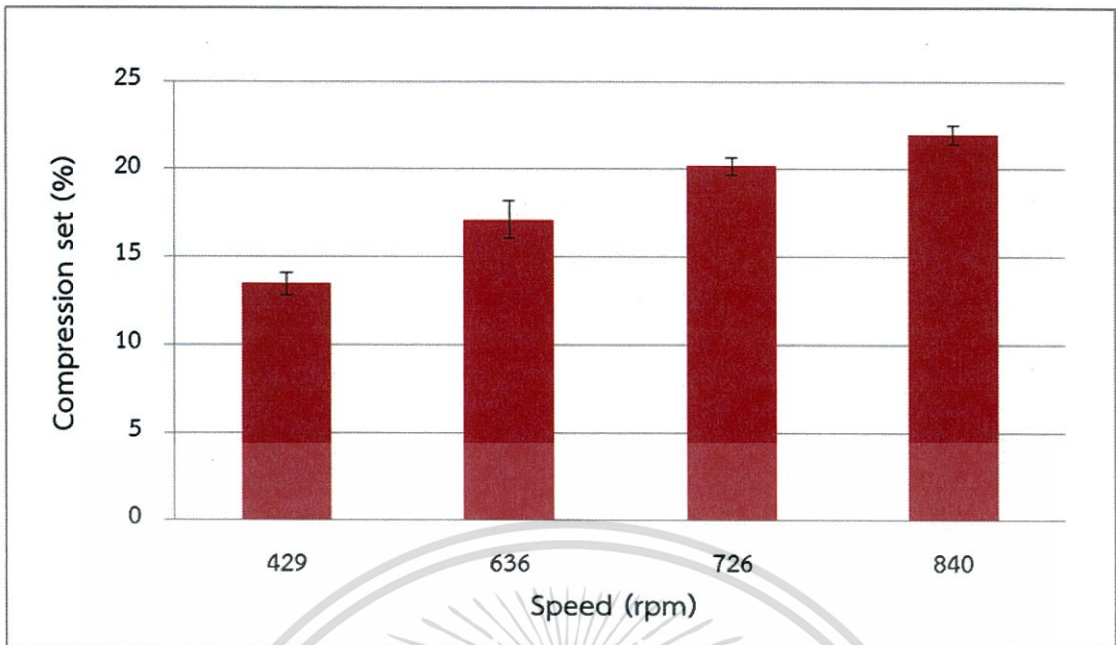


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ที่เทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

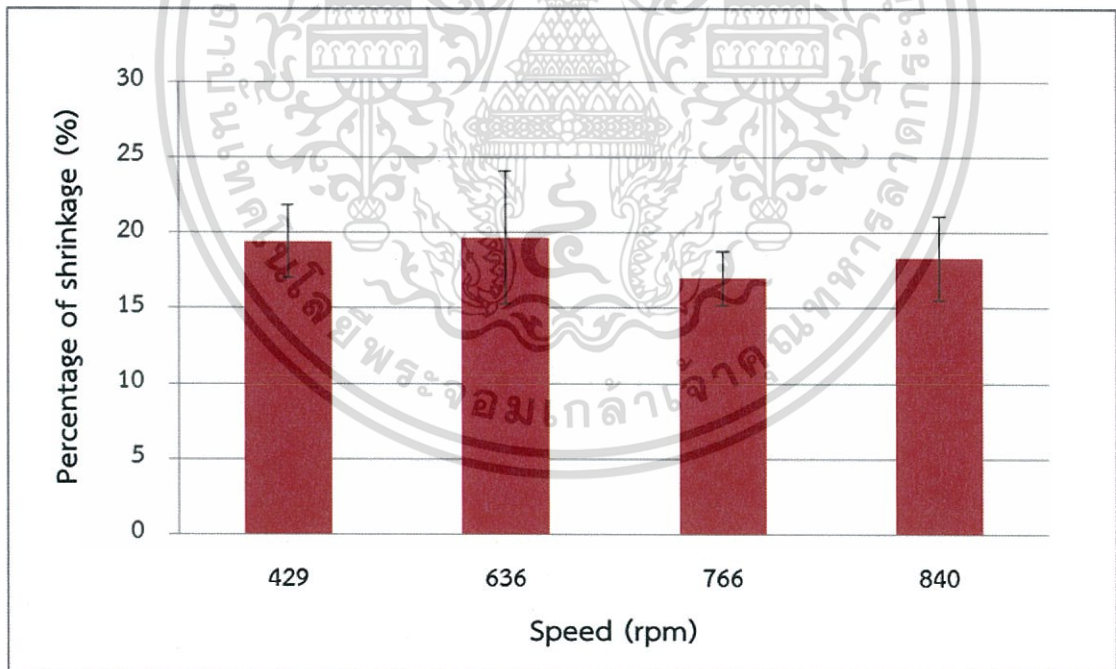


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพลีเมอร์ที่เทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

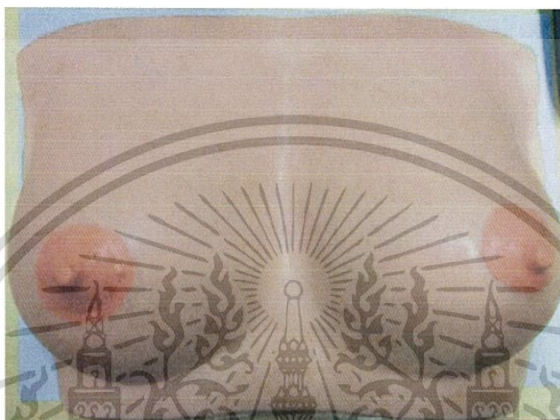


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน

เมื่อได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน ที่มีลักษณะรูปร่าง ดังรูปที่ 4.16 และภายในแบบจำลองมีการฝังก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์ ก้อนมะเร็ง และต่อมน้ำเหลืองจำลองไว้ในตำแหน่งที่ตรงตามความต้องการของแพทย์ผู้ใช้งาน จากนั้นให้บุคลากรทางการแพทย์ที่โรงพยาบาลรามาริบัติและบุคคลทั่วไปทำการประเมินความพึงพอใจ



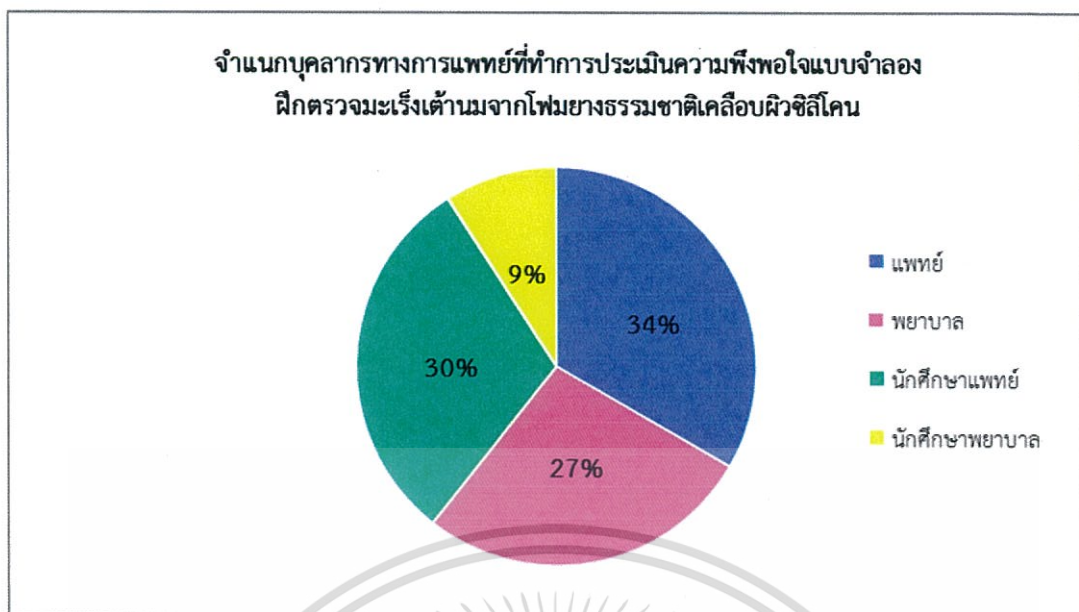
รูปที่ 4.16 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ที่มาผลประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนดังนี้

- หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิกศัลยกรรมเต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาริบัติ
- หอผู้ป่วยไอ.ซี.ยู. (ICU) หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข
- คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

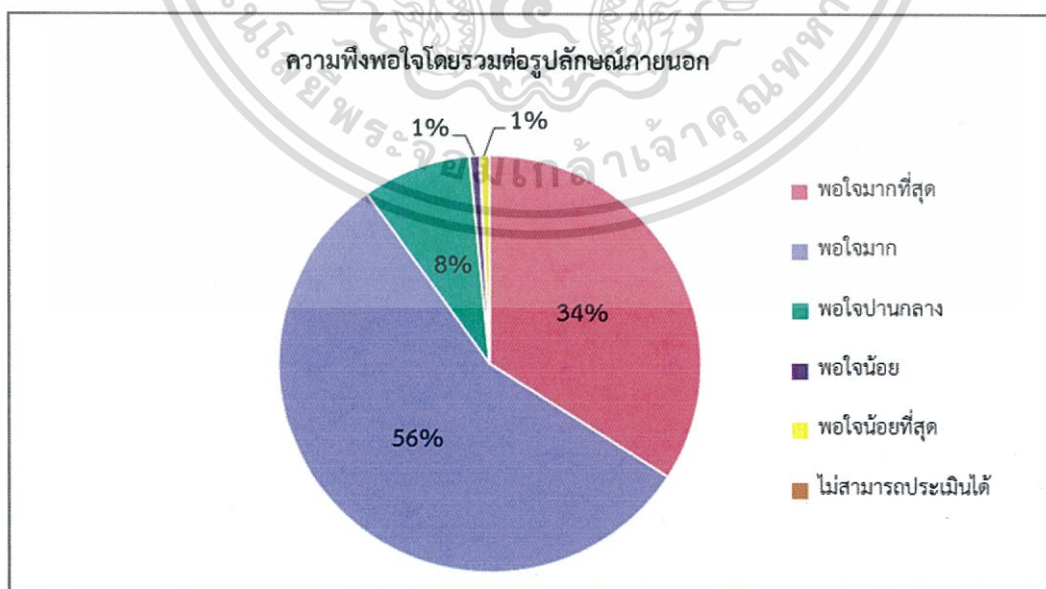
4.3.1 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคน โดยบุคลากรทางการแพทย์

จากการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนของบุคลากรทางการแพทย์ พบว่าเป็นแพทย์ 34% พยาบาล 27% นักศึกษาแพทย์ 30% นักศึกษาพยาบาล 9% ดังรูปที่ 4.17 รวมทั้งหมด 33 คน โดยส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21-30 ปี



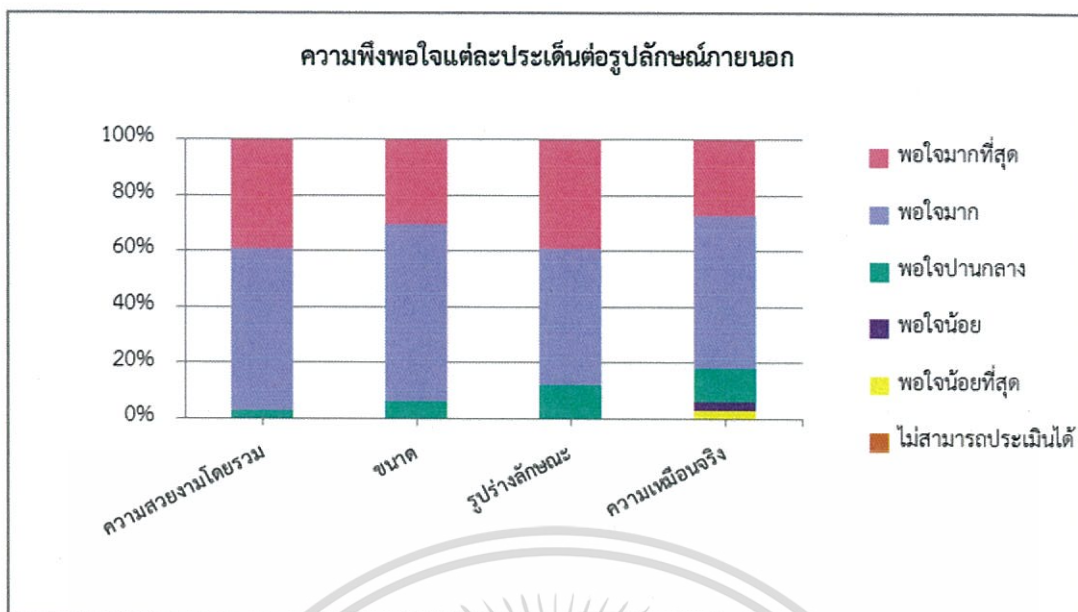
รูปที่ 4.17 กราฟจำแนกบุคลากรทางการแพทย์ที่ประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 90% ดังรูปที่ 4.18 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอก ดังรูปที่ 4.19 เนื่องจากแบบจำลอง มีผิวสวยงาม มีขนาดที่เหมาะสม และมีรูปลักษณะภายนอกเสมือนกับเต้านมมนุษย์



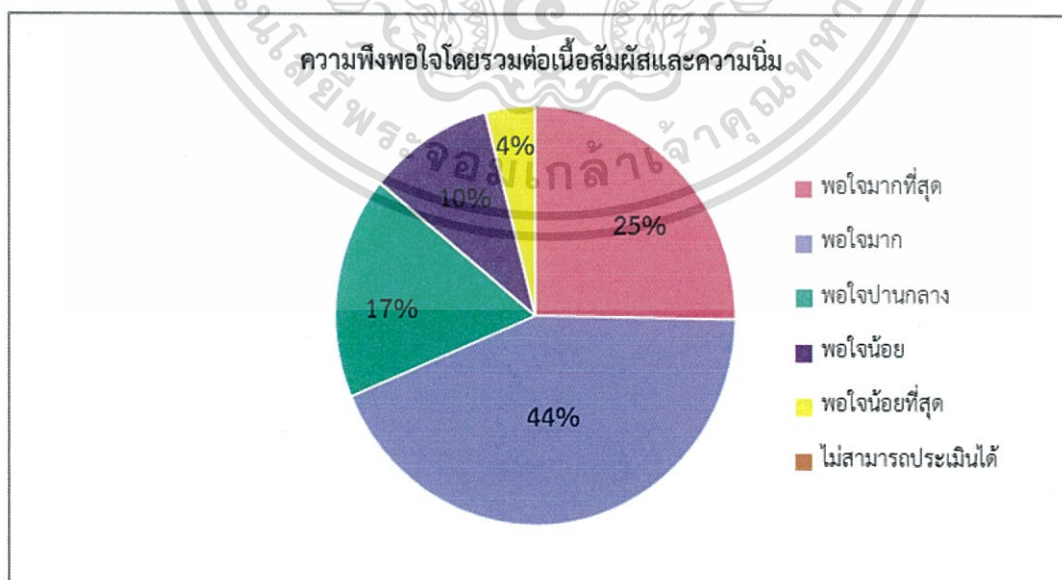
รูปที่ 4.18 กราฟประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร มะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



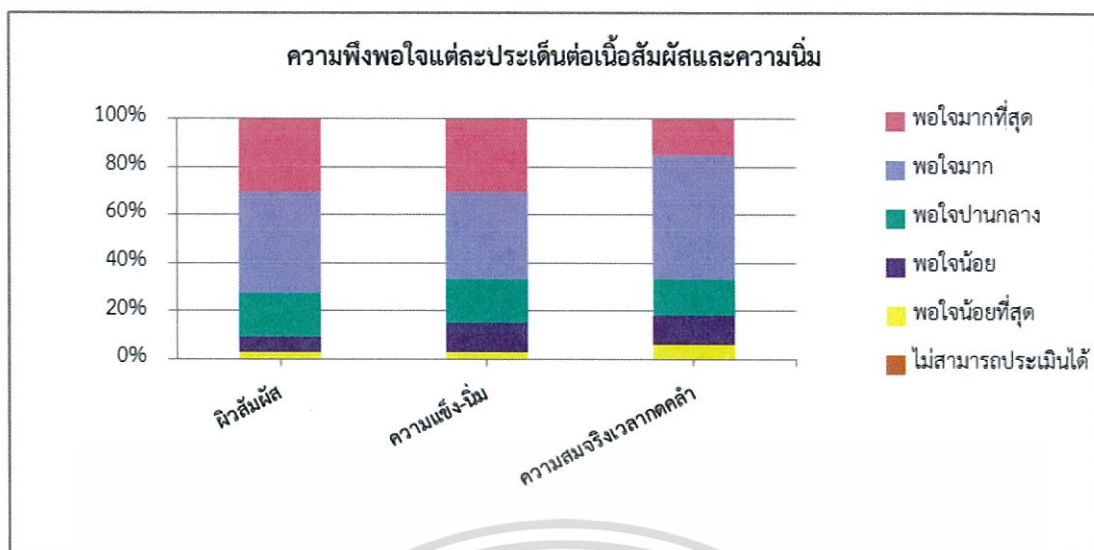
รูปที่ 4.19 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกโดยบุคลากรทางการแพทย์

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลอง พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 69% ดังรูปที่ 4.20 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ดังรูปที่ 4.21 เนื่องจากแบบจำลองมีผิวสัมผัสเรียบเนียน และมีความนิ่มสมจริง ทำให้ผู้ใช้งานต่อการตรวจคลำหาก้อนของแข็งในแบบจำลอง



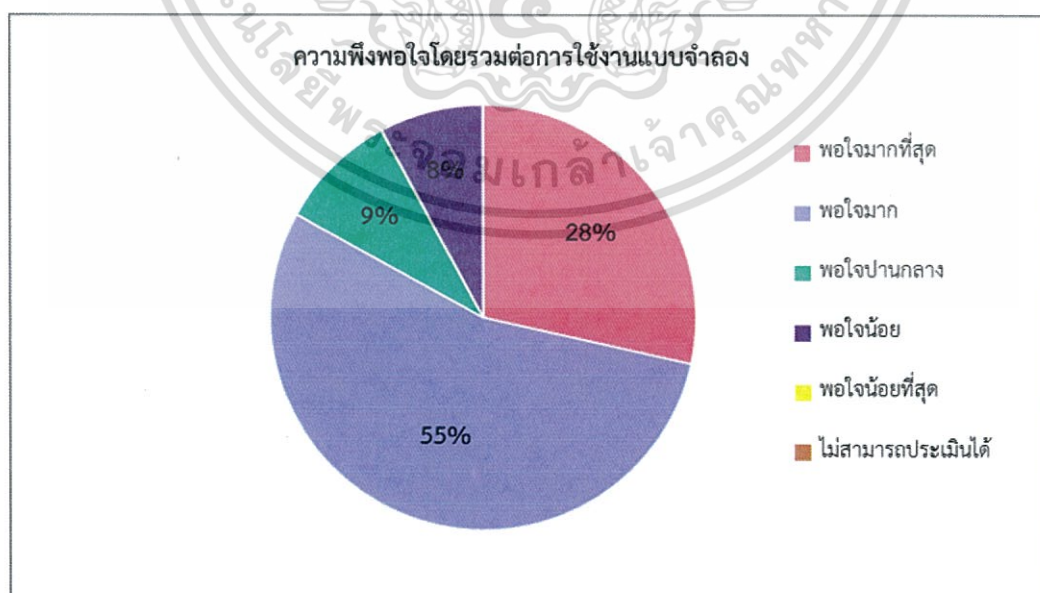
รูปที่ 4.20 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

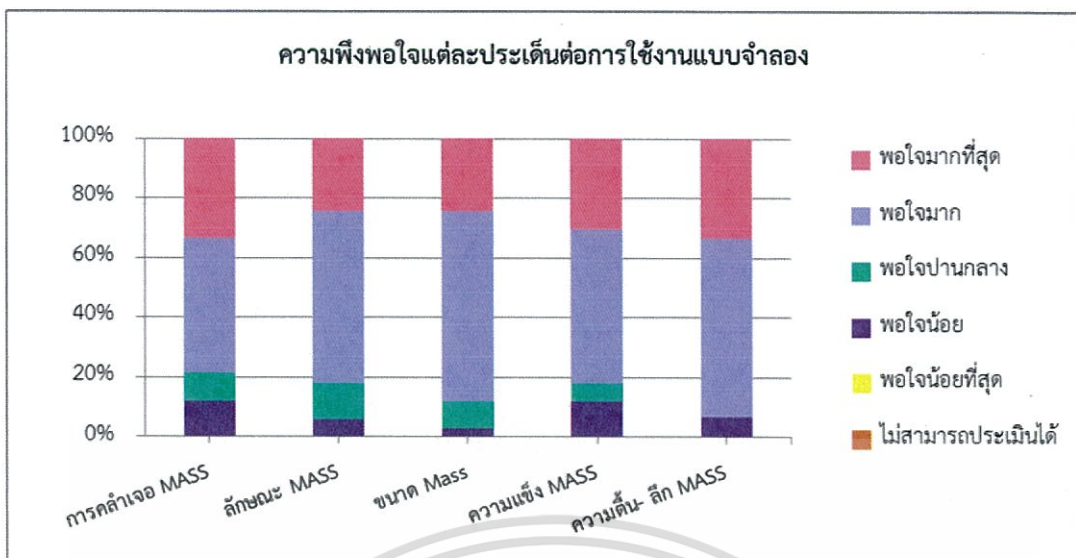


รูปที่ 4.21 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

จากการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์เมื่อใช้งานแบบจำลอง พบว่ามีความพึงพอใจต่อการใช้งานในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังรูปที่ 4.22 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง ดังรูปที่ 4.23 เนื่องจากสามารถคลำเจอก้อนของ แข็งในแบบจำลองได้ง่าย ผู้ใช้สามารถแยกชนิดของก้อนมะเร็ง ก้อนซิสต์ ก้อนเนื้อ และต่อมน้ำเหลืองได้เนื่องจากมีลักษณะ ขนาด และความแข็งที่สมจริง



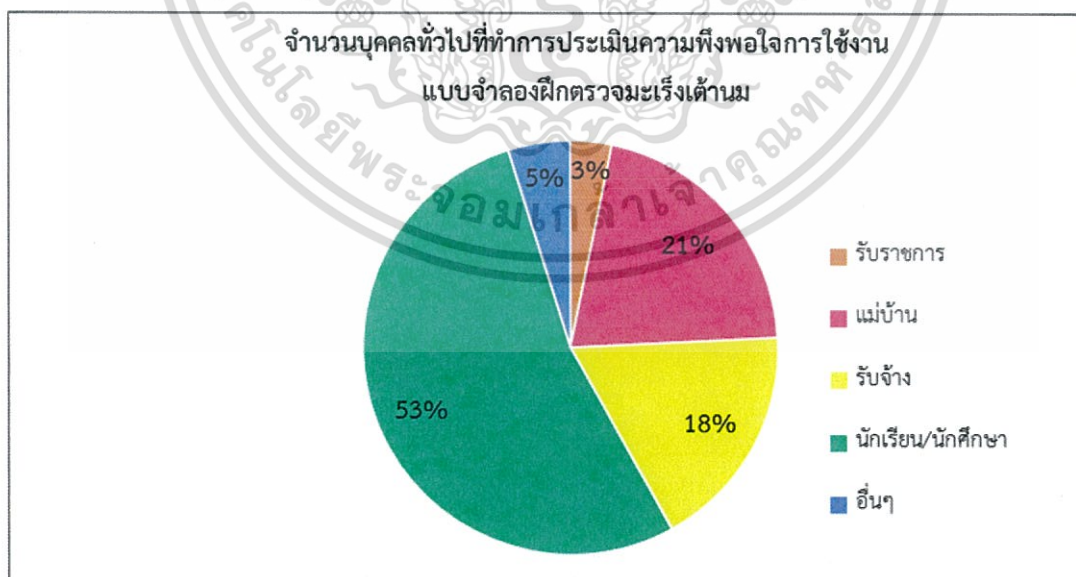
รูปที่ 4.22 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม เอกสารนี้เป็นเอกสารโดยบุคลากรทางการแพทย์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

4.3.2 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

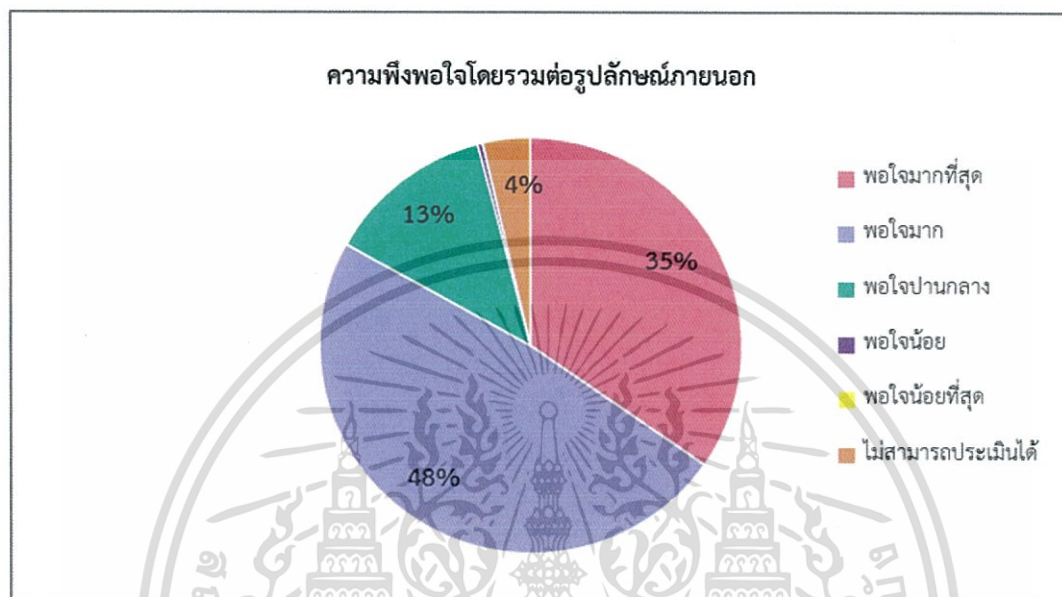
จากการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนของบุคคลทั่วไป พบว่ามีอาชีพรับราชการ 3% แม่บ้าน 21% รับจ้าง 18% นักเรียน/นักศึกษา 53% และอื่น ๆ 18% ดังรูปที่ 4.24 รวมทั้งหมด 62 คน ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21-30 ปี



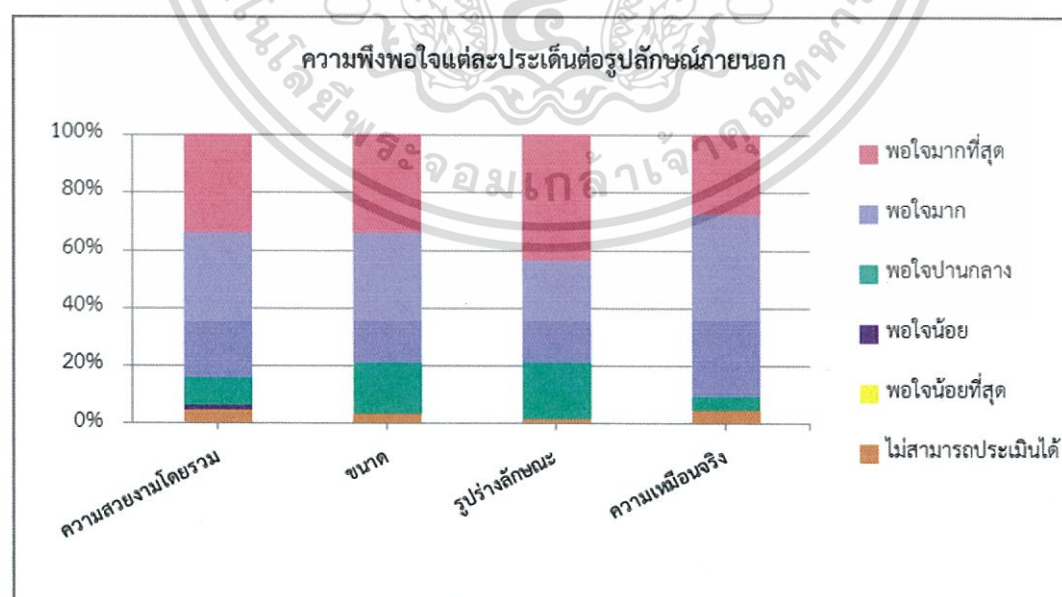
รูปที่ 4.24 กราฟจำนวนบุคคลทั่วไปที่ประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองของบุคคลทั่วไป พบว่าบุคคลส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังรูปที่ 4.25 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังรูปที่ 4.26 เนื่องจากแบบจำลองมีรูปร่างลักษณะที่สวยงาม และมีความสมจริงเสมือนตัวนมนุษย์



รูปที่ 4.25 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

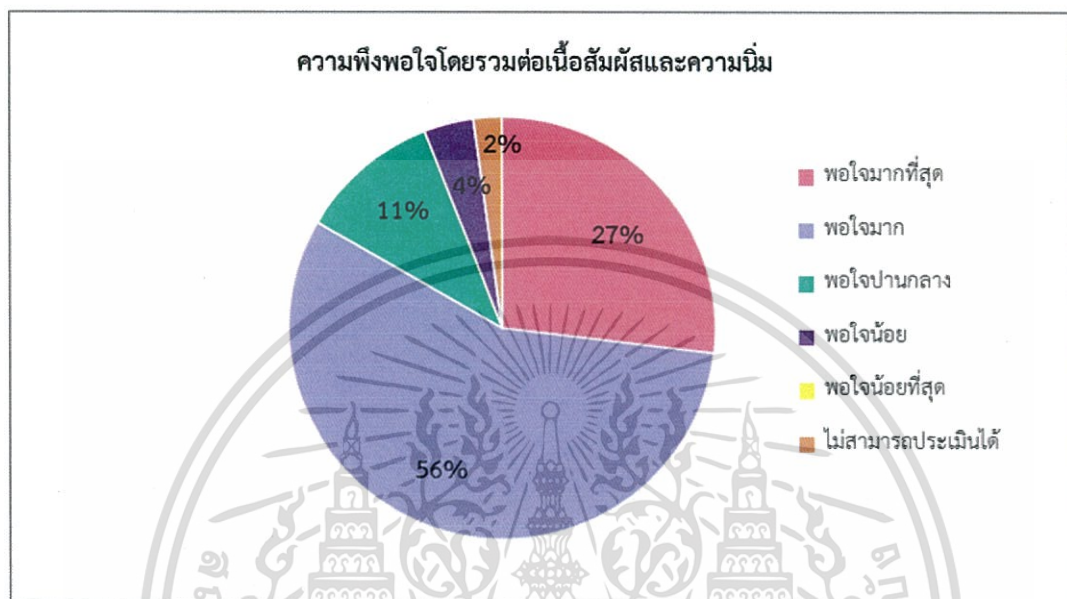


รูปที่ 4.26 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึก

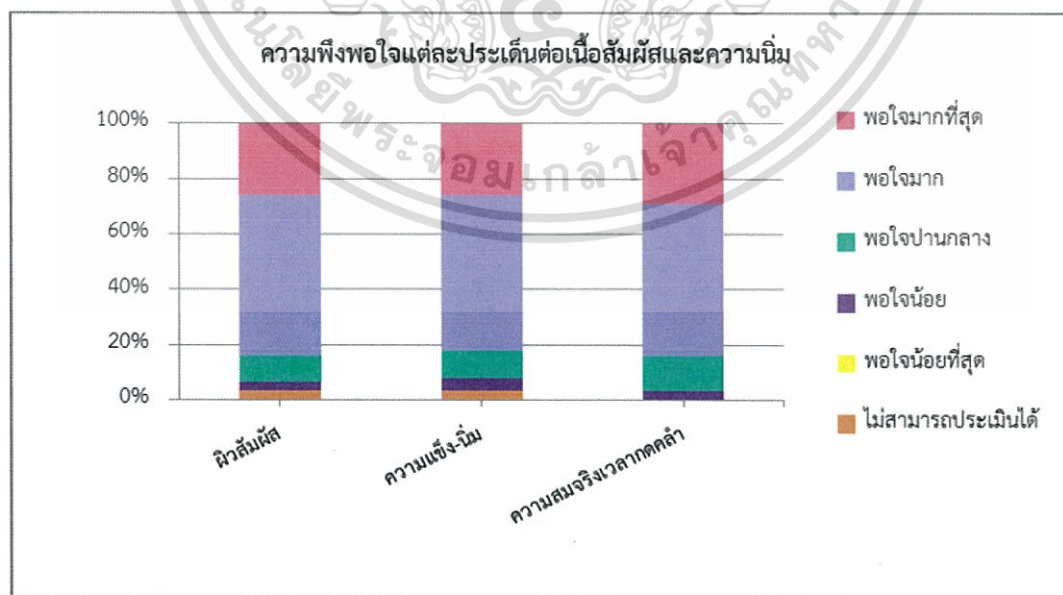
ตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยบุคคลทั่วไป เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของแบบจำลองพบว่า บุคคลทั่วไปมีความพึงพอใจในระดับพอใจมากที่สุดถึงมากที่สุดถึง 83% ดังรูปที่ 4.27 และกราฟการประเมิน ความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม ดังรูปที่ 4.28 เนื่องจากผิวแบบจำลองมีความเรียบเนียนและนุ่มสมจริง ทำให้ง่ายต่อการกดคลำหาก่อนของแข็งในแบบจำลอง

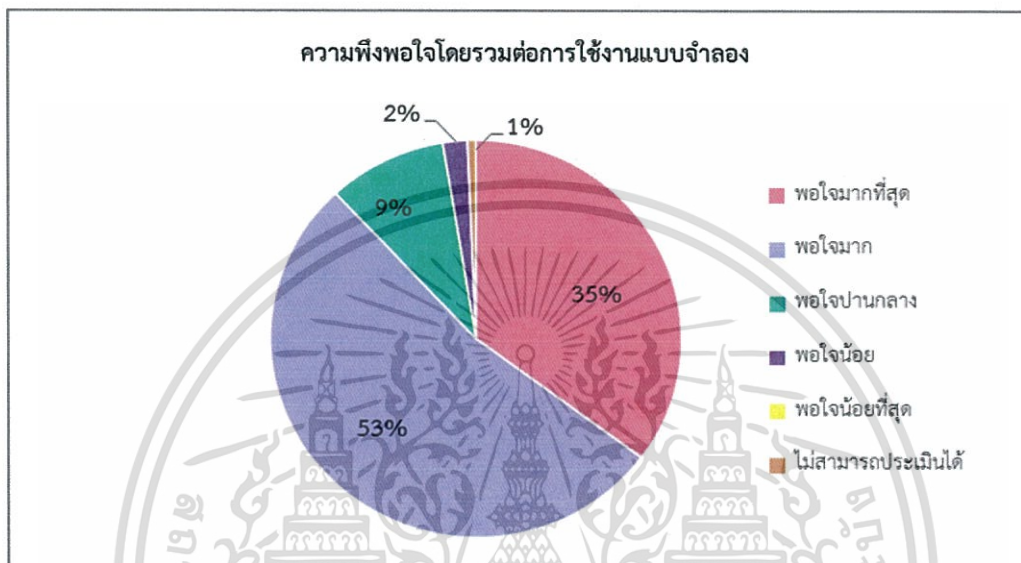


รูปที่ 4.27 กราฟประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของแบบจำลองฝึกรวบรวมเรื่องเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

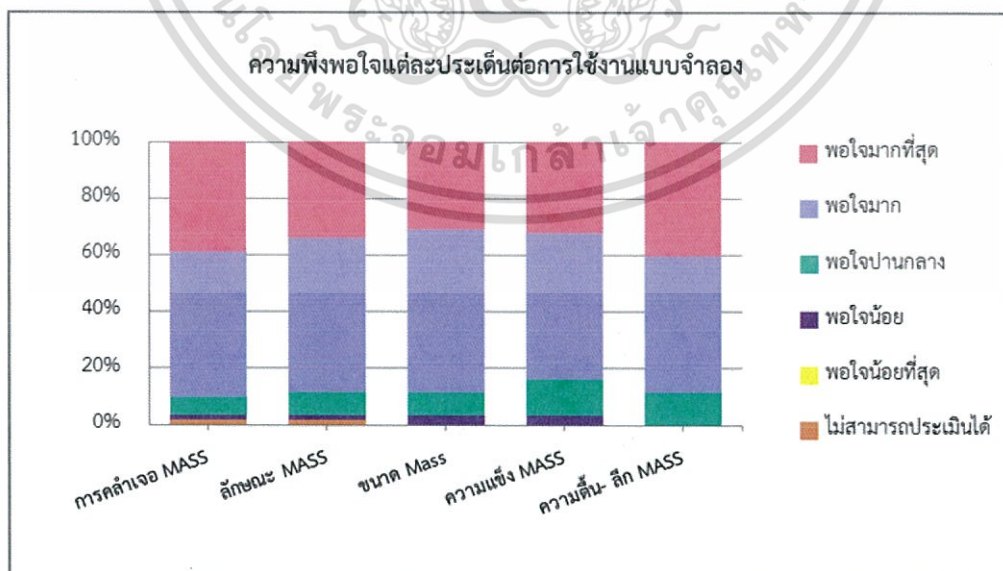


รูปที่ 4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของแบบจำลอง
เอกสารนี้เป็นเอกสารฝึกรวบรวมเรื่องเต้านมโดยบุคคลทั่วไป การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจบุคคลทั่วไปต่อการใช้งานแบบจำลองพบว่า บุคคลส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 88% ดังรูปที่ 4.29 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 4.30 เนื่องจากก้อนมะเร็ง ก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์และต่อมน้ำเหลือง ผังไว้ในระดับที่สามารถคลำเจอได้ง่าย อีกทั้งมีขนาดและความแข็งของก้อนที่สมจริง ทำให้ผู้ใช้สามารถแยกชนิดได้ง่าย



รูปที่ 4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป



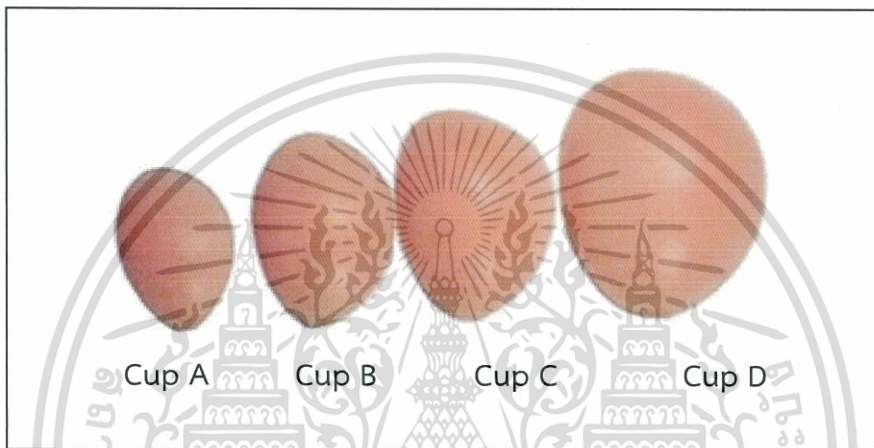
รูปที่ 4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็ง

เต้านมโดยบุคคลทั่วไป ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เต้านมทดแทน

4.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ

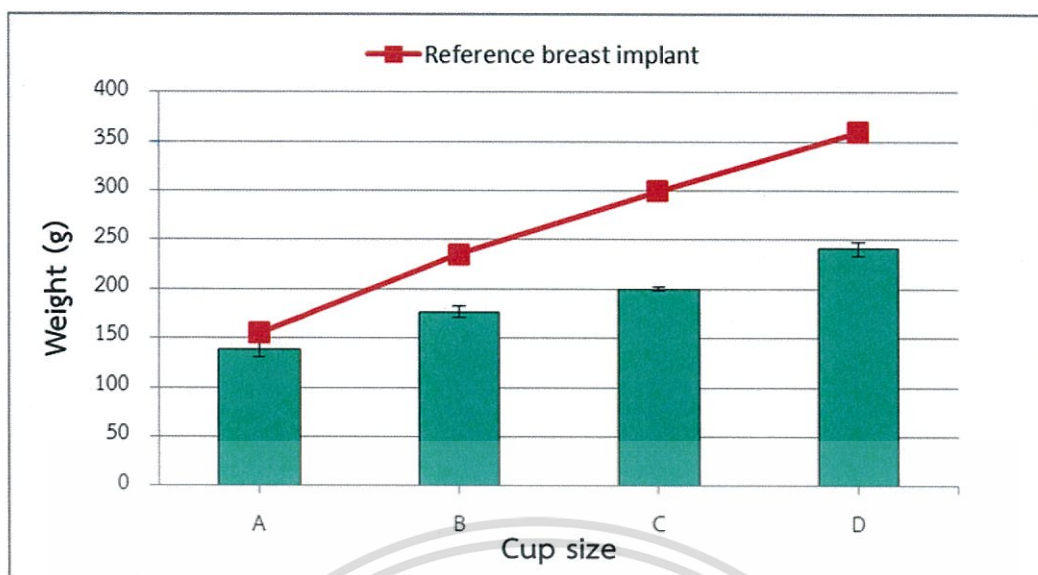
จากการนำตัวอย่างเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนไปประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วย พบว่าผู้ป่วยยังมีความต้องการเต้านมทดแทนทั้งสองแบบ แต่น้ำหนักของเต้านมทดแทนยังมีน้ำหนักที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงน้ำหนักของเต้านมทดแทนทั้งสองแบบให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม ตามน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมทดแทนขนาดคัพ A B C และ D ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ตัวอย่างเต้านมทดแทน ขนาดคัพ A B C และ D

4.4.1 เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

จากการศึกษาพบว่าเมื่อขนาดคัพของเต้านมใหญ่ขึ้น เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวซิลิโคนจะมีน้ำหนักที่มากขึ้นตามขนาดคัพ แต่อย่างไรก็ตามเต้านมทดแทนที่ทำได้ ยังคงมีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักของเต้านมมาตรฐานตามขนาดคัพต่าง ๆ (ของบริษัทยูวาโก้ จำกัด) ดังรูปที่ 4.32 เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนทำได้โดยเพิ่มชั้นผิวเคลือบซึ่งจะส่งผลให้มีน้ำหนักที่มากขึ้นและมีความแข็งสูงขึ้นเช่นกัน และปัญหาทางด้านเทคนิคอีกอย่างคือในขั้นตอนการเคลือบผิวโคมยางธรรมชาติชั้นในของเต้านมทดแทน จำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์เดียวกันกับที่ใช้ขึ้นรูปโคมยางชั้นใน จึงทำให้สามารถเคลือบผิวซิลิโคนได้ในปริมาณที่จำกัด และสำหรับเต้านมทดแทนที่มีขนาดคัพที่ใหญ่จะมีเนื้อโคมมากทำให้น้ำหนักเบาหลังจากที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมที่ได้จากการทดลองและน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมเทียบกับขนาดคัพ

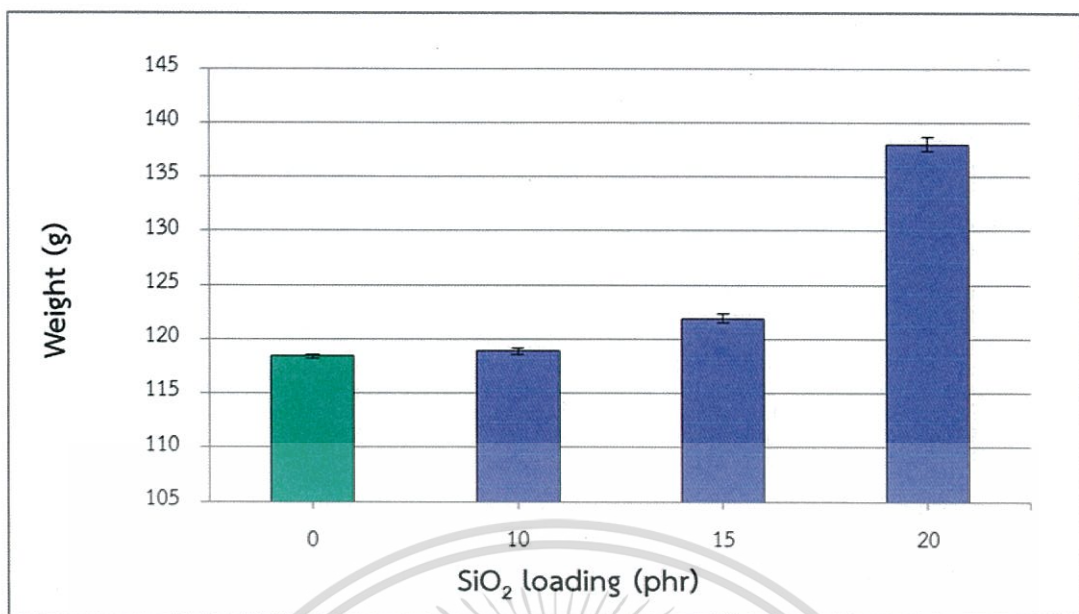
ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของเต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน

Cup size	Weight (g)	Reference (g)
A	138±7	155±5
B	177±6	235±5
C	200±2	300±5
D	241±6	360±5

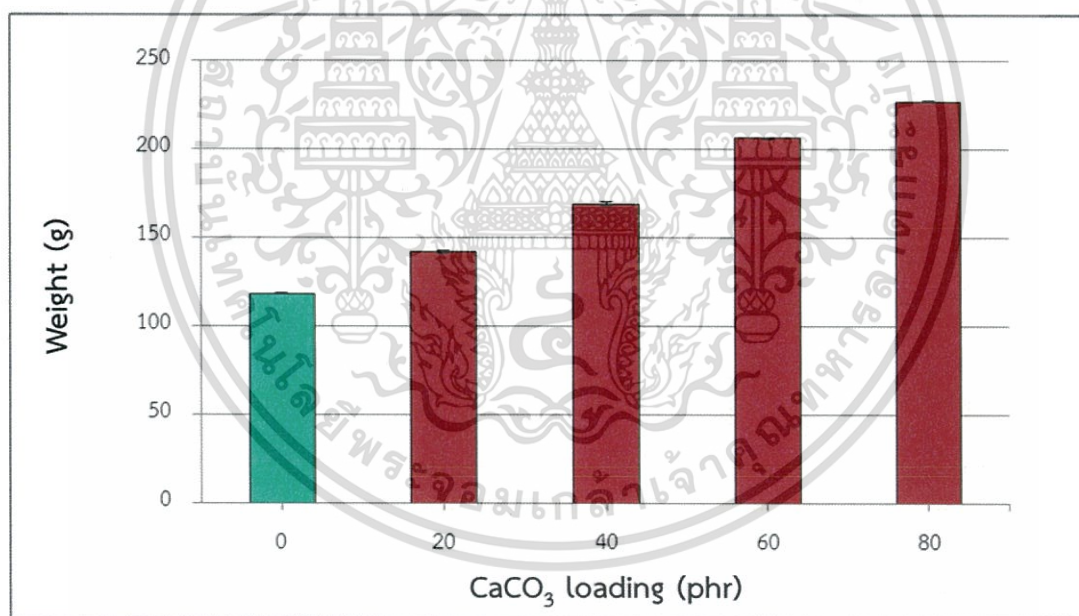
4.4.2 เต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนที่เหมาะสม โดยสารตัวเติมที่ใช้คือ SiO_2 , CaCO_3 และ TiO_2 พบว่าสารตัวเติม SiO_2 และ CaCO_3 สามารถทำให้น้ำหนักของโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อเพิ่มในปริมาณมากขึ้นจะยิ่งทำให้โพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ SiO_2 ที่สามารถใส่ในน้ำยางได้สูงสุดที่ 20 phr ดังรูปที่ 4.33 เนื่องจาก SiO_2 มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีการกระจายตัวยาก เมื่อเพิ่มปริมาณ SiO_2 มากกว่า 20 phr จะทำให้โพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนเกิดการตกตะกอน แต่สำหรับ CaCO_3 สามารถเพิ่มน้ำหนักของโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนได้มากกว่าการใช้ SiO_2 ซึ่งปริมาณ CaCO_3 ใช้ได้มากที่สุดคือ 80 phr ดังรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณ SiO₂

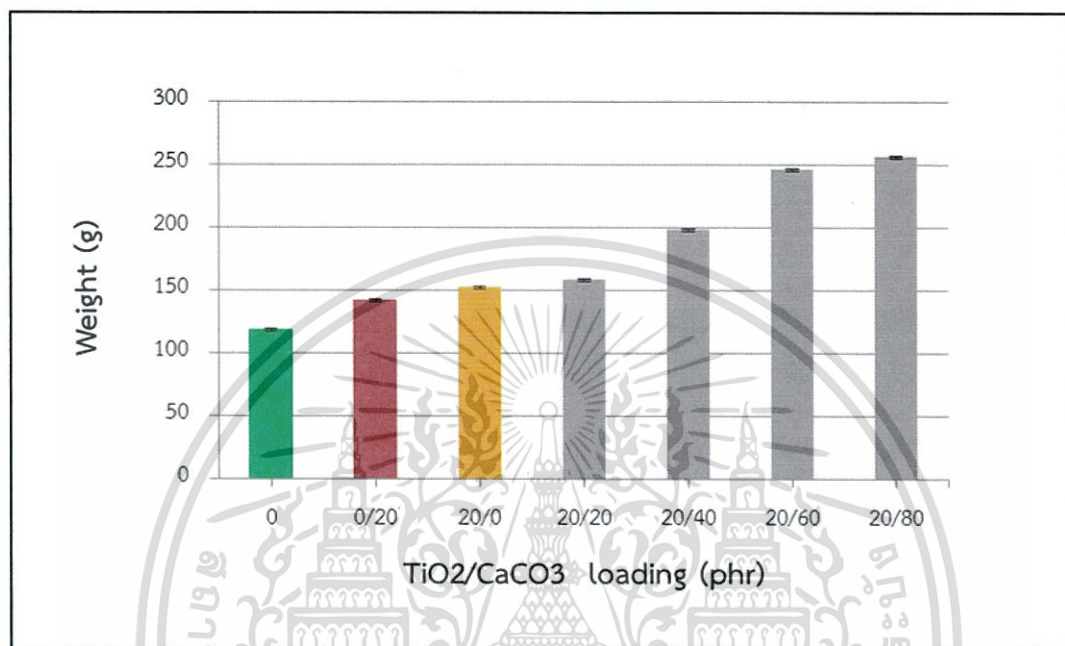


รูปที่ 4.34 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณ CaCO₃

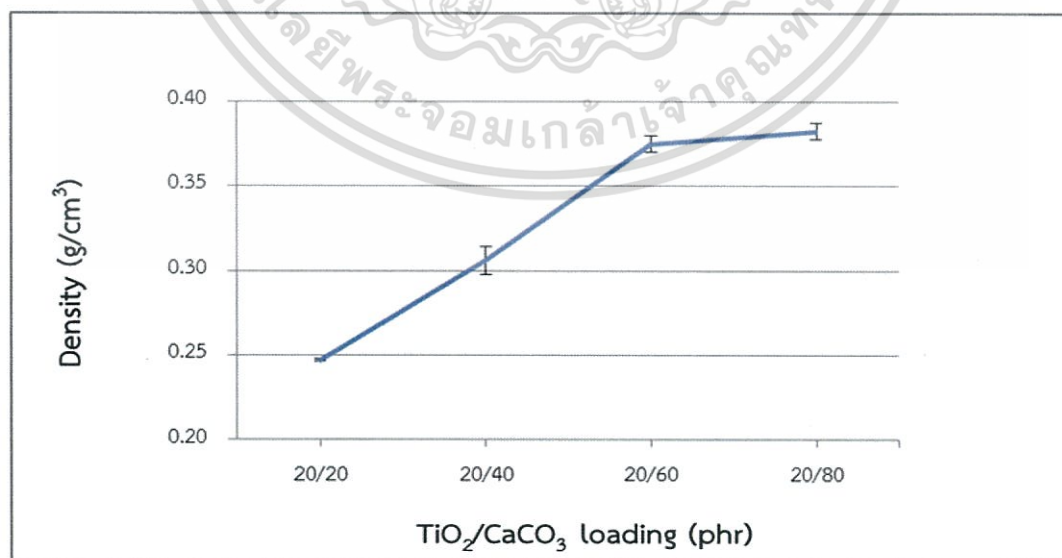
อย่างไรก็ตามการใส่ CaCO₃ ในปริมาณ 80 phr ยังไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักของโพลีเมอร์ตามต้องการ จึงได้มีการนำสารตัวเติม TiO₂ มาผสมกับ CaCO₃ ในอัตราส่วนต่าง ๆ เนื่องจากทางอุตสาหกรรมน้ำยาธรรมชาติ TiO₂ มีสมบัติเป็นสารช่วยเพิ่มความขาวให้แก่โพลีเมอร์ อีกทั้งยังมีความหนาแน่นสูง (4.23 g/cm³) กลุ่มวิจัยจึงได้มีการนำมาใช้ผสมกับ CaCO₃ เพื่อใช้ในการเพิ่มน้ำหนักให้กับโพลีเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสม TiO_2 ในปริมาณ 20 phr กับ CaCO_3 ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักของโพลีเมอร์ และค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์มีค่าที่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.36 ตามลำดับ ซึ่งทำให้น้ำหนักมากกว่าโพลีเมอร์ที่มีการใส่ SiO_2 หรือ CaCO_3 เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง



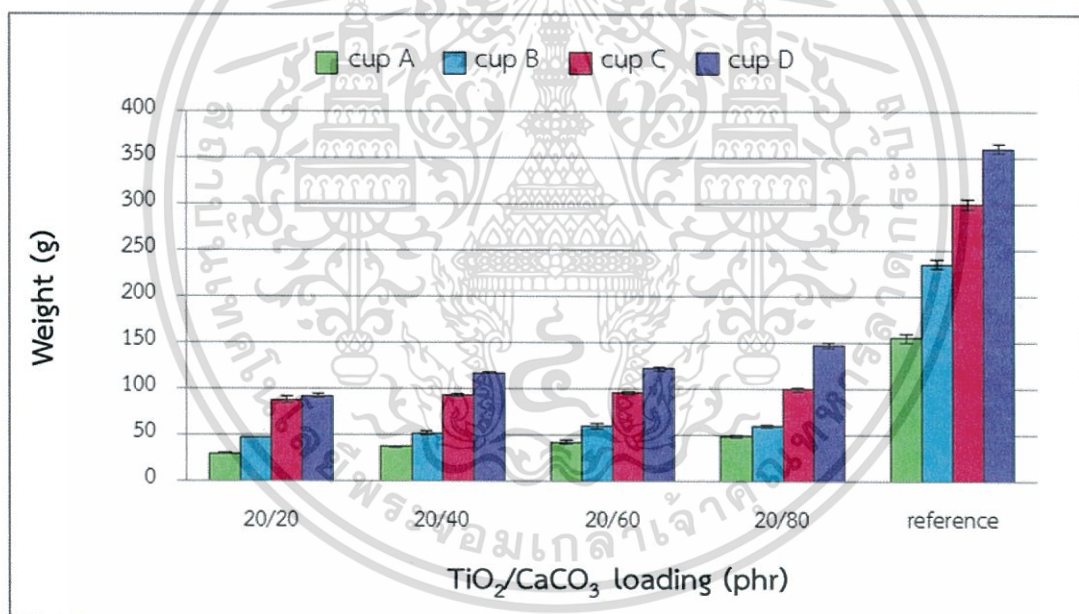
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ เอกสารนี้เป็นเอกสารในอัตราส่วนที่แตกต่างกันงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติมพบว่า สารตัวเติมที่สามารถทำให้เต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นที่สุด คือ TiO_2 ที่ปริมาณคงที่ 20 phr ผสมกับ CaCO_3 ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยทำให้น้ำหนักของเต้านมทดแทนในแต่ละขนาดคัพมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักของเต้านมทดแทนที่ได้ยังคงต่ำกว่าน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมในแต่ละขนาดคัพ ดังรูปที่ 4.37 เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณสารตัวเติม $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ได้มากกว่าอัตราส่วนที่ 20/80 ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำยาง จากปริมาณของสารตัวเติมที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความตึงผิวของน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น และอนุภาคน้ำยางจับตัวกันทำให้ตกตะกอน สอดคล้องตามงานวิจัย [67]

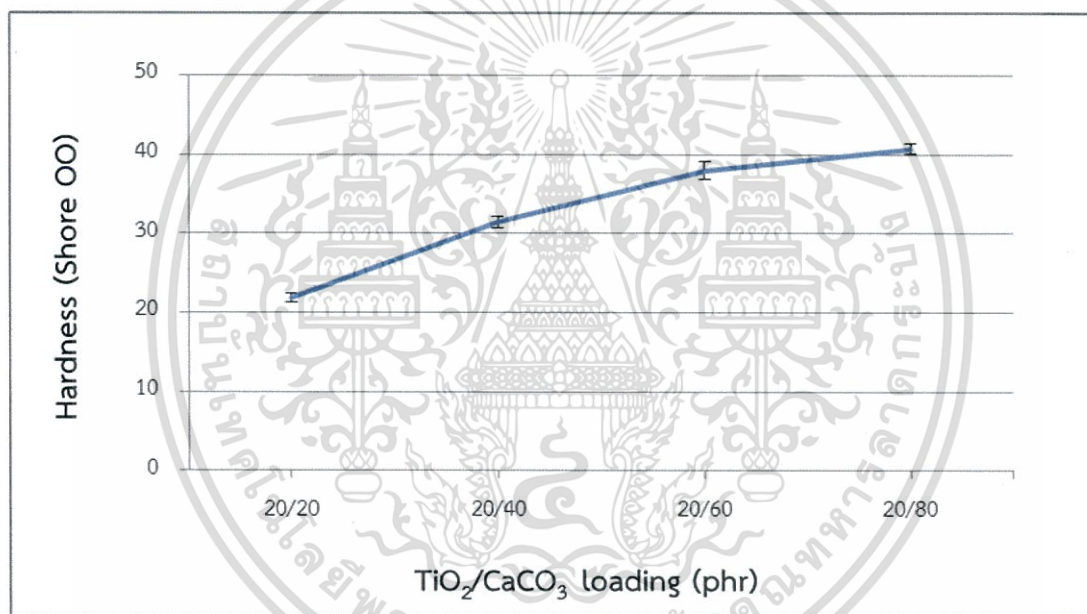
แต่อัตราส่วนที่ 20/80 ของ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ นี้ ได้ส่งผลให้โพลีเอทิลีนมีค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 4.38 จึงทำให้กลุ่มผู้วิจัยได้เลือกใช้สารตัวเติมดังกล่าวในอัตราส่วนที่ 20/60 เนื่องจากทำให้โพลีเอทิลีนมีค่าความแข็งที่ต่ำกว่า แต่ยังคงมีน้ำหนักที่ยังคงสูงอยู่ ดังตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนในแต่ละขนาดคัพเทียบกับปริมาณระหว่าง $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนที่มีการเพิ่มน้ำหนักโดยใช้สารตัวเติม $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนต่าง ๆ

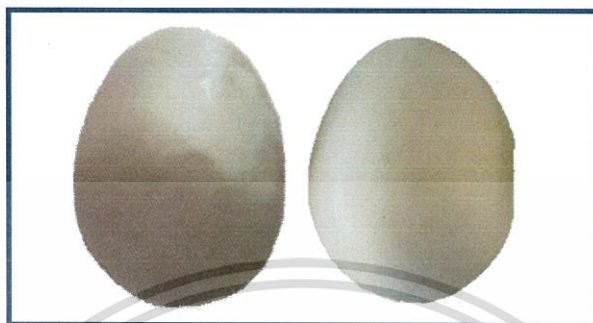
$\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ (phr)	Cup A (g)	Cup B (g)	Cup C (g)	Cup D (g)
20/20	30±1	48±1	88±3	92±2
20/40	37±1	52±2	93±1	117±1
20/60	42±2	60±3	96±1	122±2
20/80	49±2	61±1	100±2	147±3
Reference	155±5	235±5	300±5	360±5



รูปที่ 4.38 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพนยางธรรมชาติเทียบกับ $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

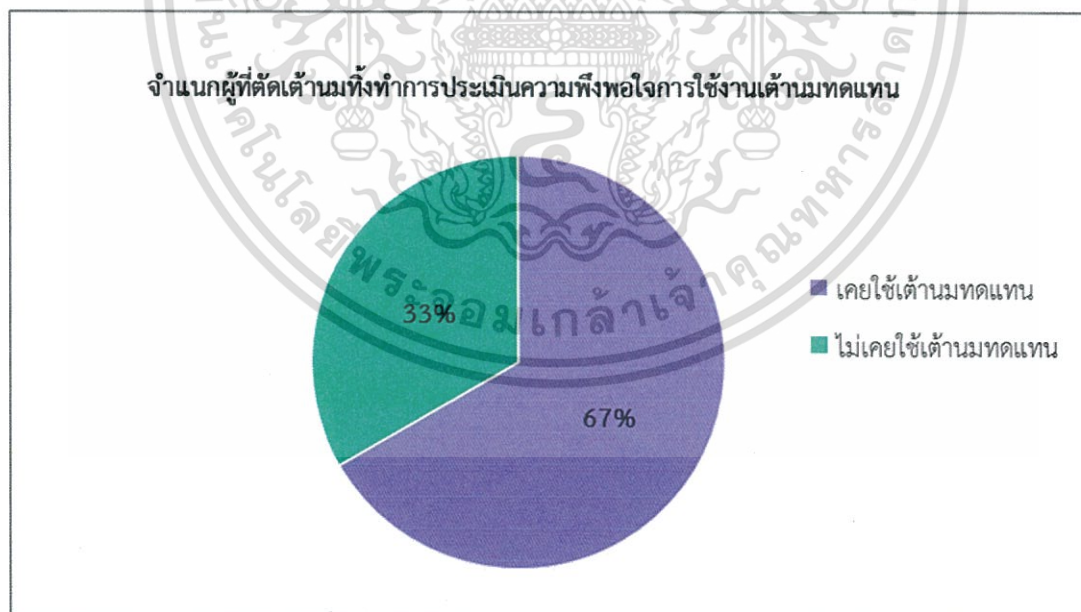
4.5 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน

การประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนและแบบเคลือบผิวซิลิโคนของผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา



รูปที่ 4.39 เต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

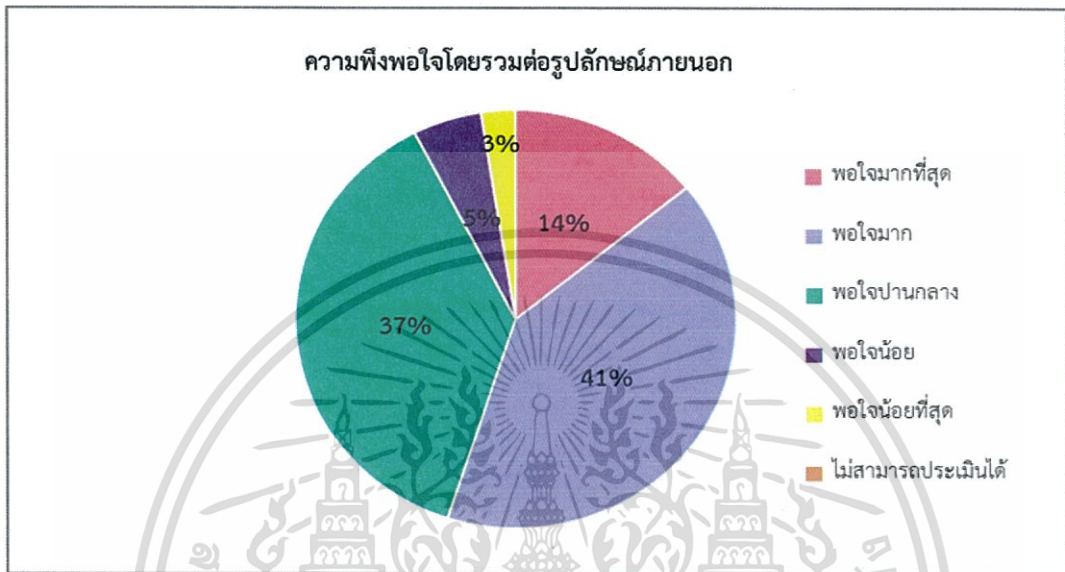
จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเต้านมทดแทน พบว่าผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านม เคยใช้เต้านมทดแทนมาก่อน 67% และไม่เคยใช้เต้านมทดแทน 33% ดังรูปที่ 4.40 โดยมีผู้ที่เคยใช้ 10 คน ไม่เคยใช้ 20 คน รวมทั้งหมด 30 คน



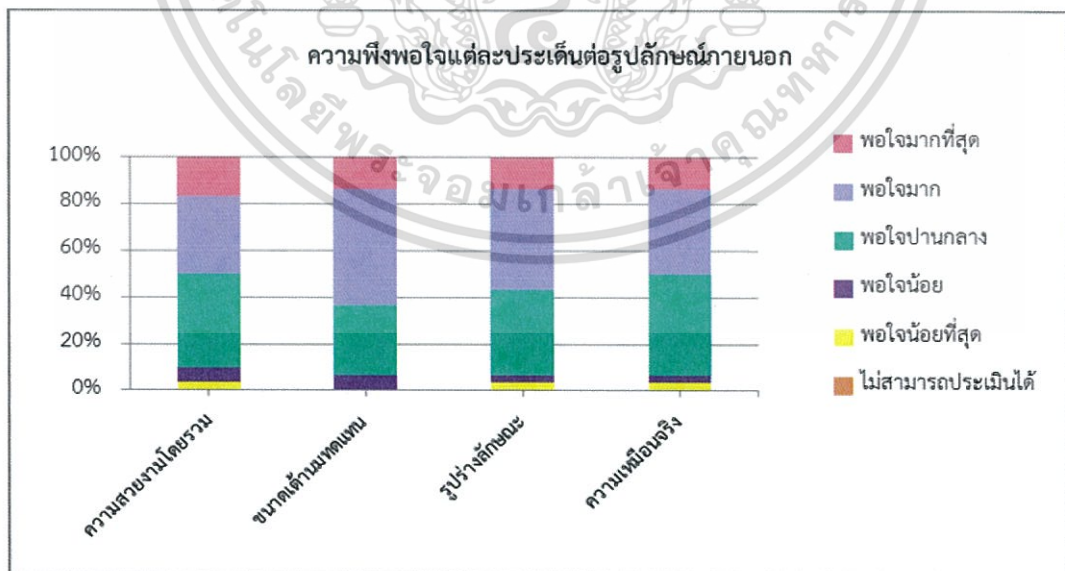
รูปที่ 4.40 กราฟจำนวนผู้ป่วยที่ทำการประเมินเต้านมทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 55% ดังรูปที่ 4.41 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังรูปที่ 4.42 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ แต่มีสีสันทึบไม่สวยงาม และลักษณะที่ไม่สมจริง



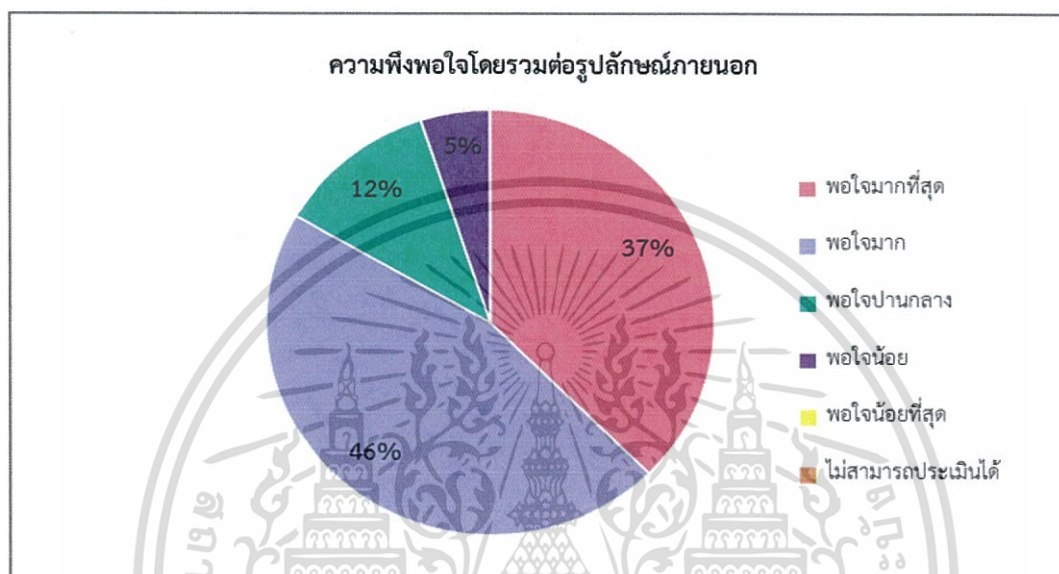
รูปที่ 4.41 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



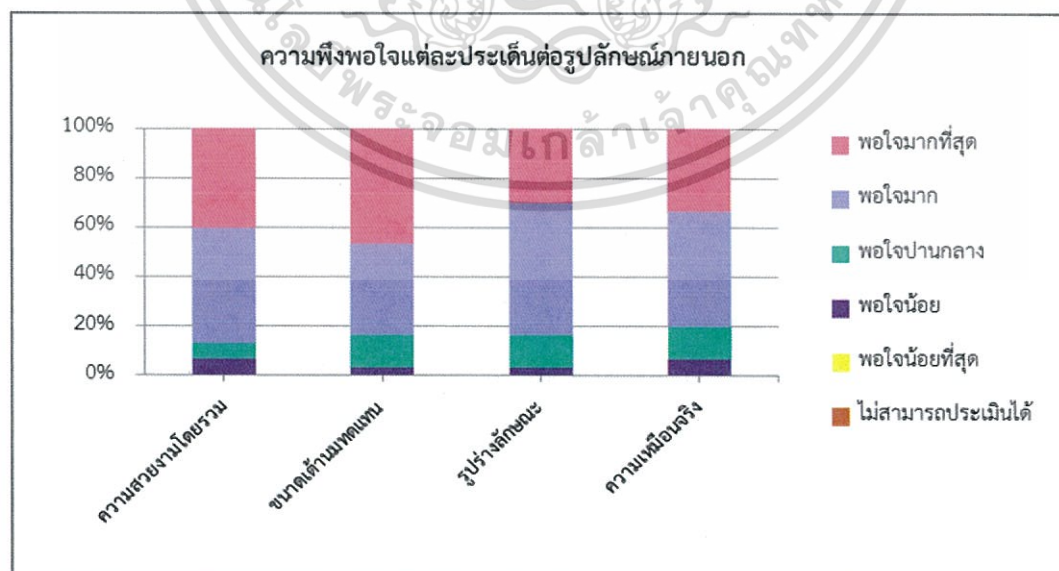
รูปที่ 4.42 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังรูปที่ 4.43 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอก ดังรูปที่ 4.44 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีการเคลือบผิวด้วยซิลิโคนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ และการเคลือบผิวซิลิโคนทำให้มีสีที่สวยงาม มีความเหมือนจริงกับเต้านมมนุษย์



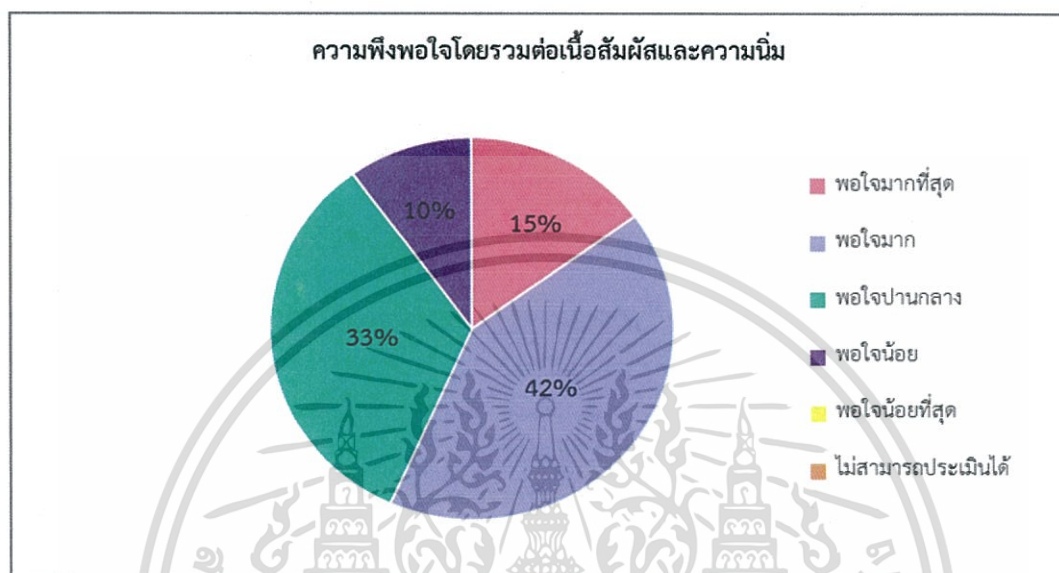
รูปที่ 4.43 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



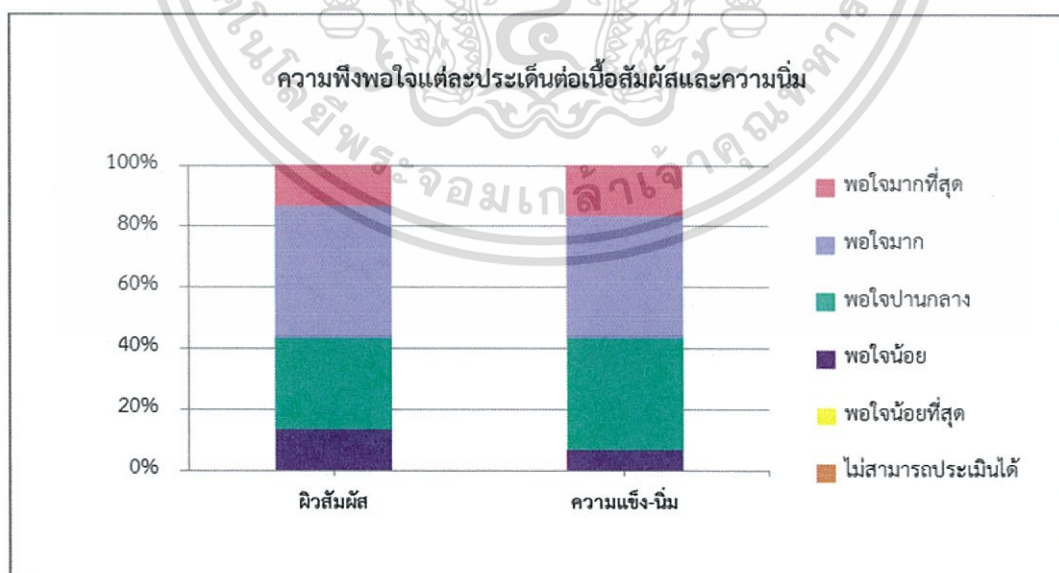
รูปที่ 4.44 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนพบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 57% ดังรูปที่ 4.45 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยม ดังรูปที่ 4.46 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง



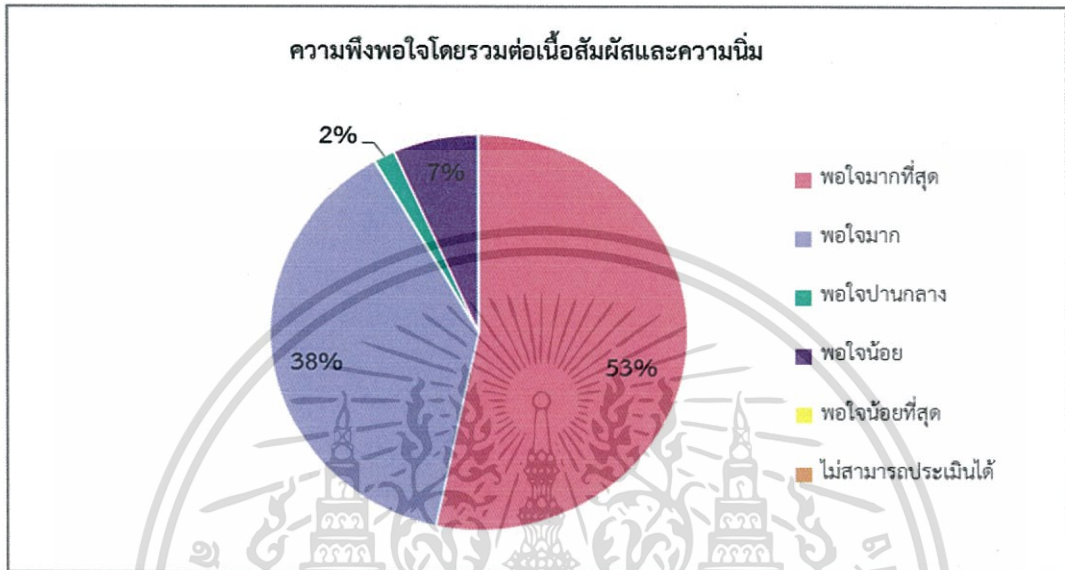
รูปที่ 4.45 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



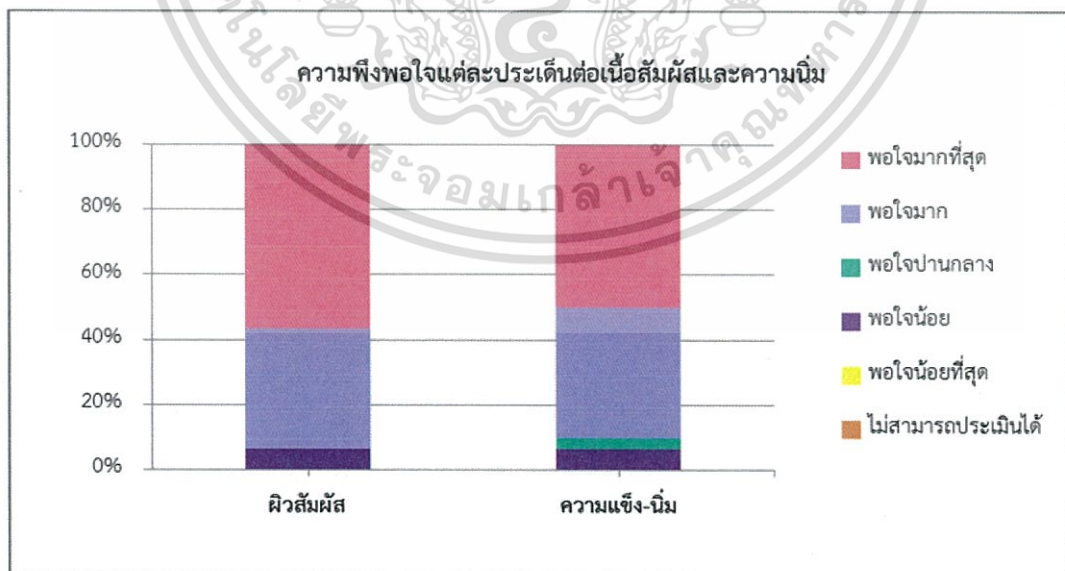
รูปที่ 4.46 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยมีระดับความพึงพอใจมากที่สุดถึง 91% ดังรูปที่ 4.47 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยม ดังรูปที่ 4.48 เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มเสมือนกับผิวของมนุษย์



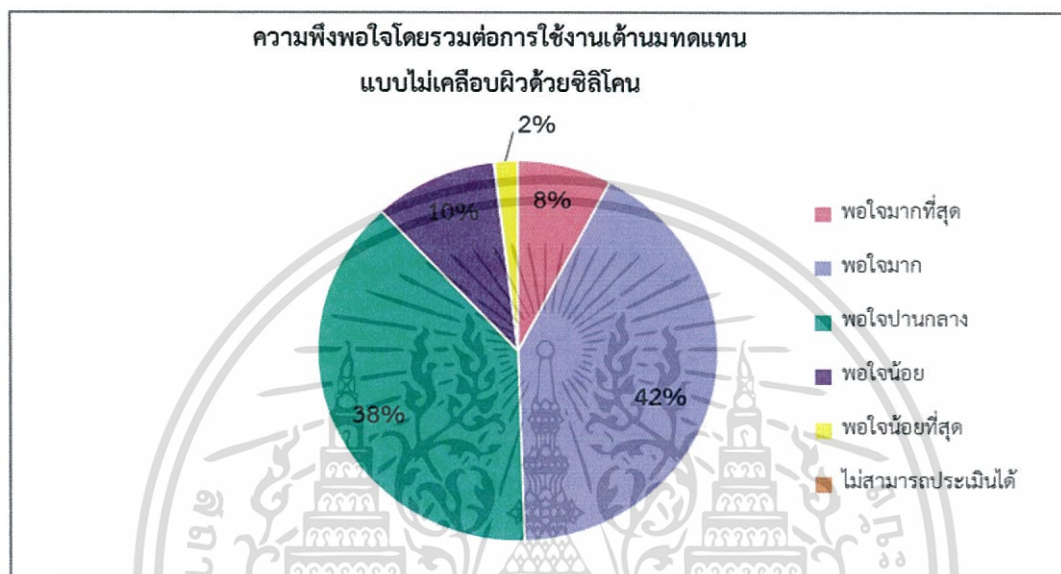
รูปที่ 4.47 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



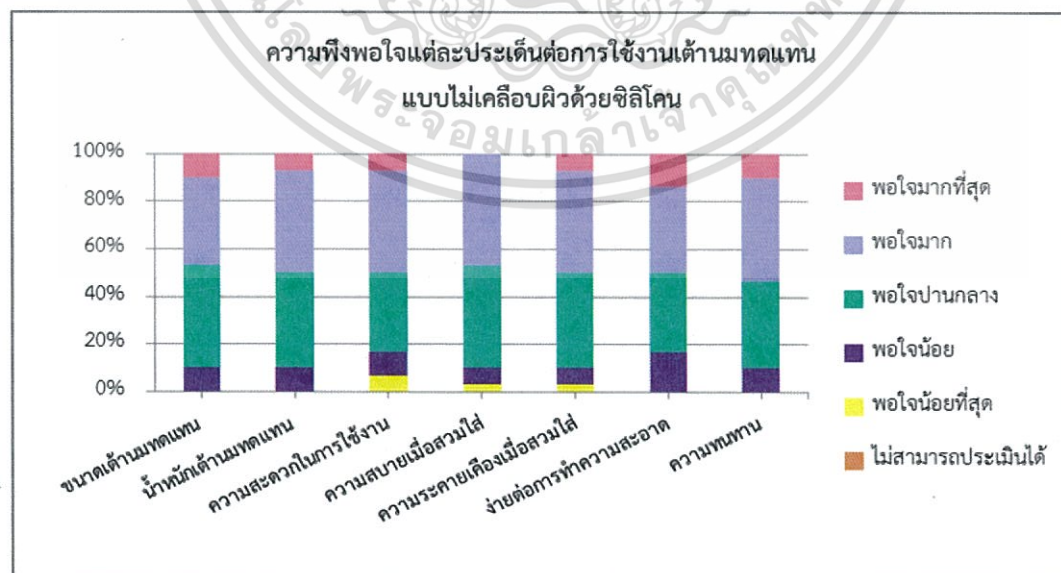
รูปที่ 4.48 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน พบว่า ผู้ป่วยมีพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 50% ดังรูปที่ 4.49 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 4.50 เนื่องจากด้านมทดแทนมีขนาดที่เหมาะสมตามคัพต่าง ๆ แต่มีน้ำหนักที่เบาทำให้เมื่อนำไปใช้งานจึงให้ความรู้สึกที่ไม่เหมือนกับด้านมจริง แต่ก็ยังมีผู้ป่วยบางกลุ่ม (สูงวัย) นิยมที่จะเลือกใช้ด้านมทดแทนไม่เคลือบผิวซิลิโคน



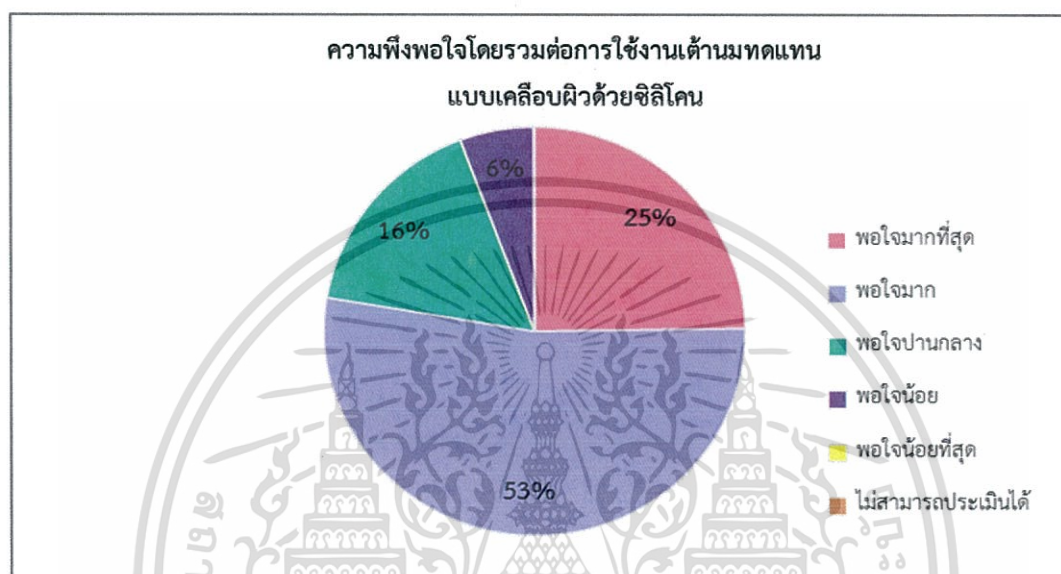
รูปที่ 4.49 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของด้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



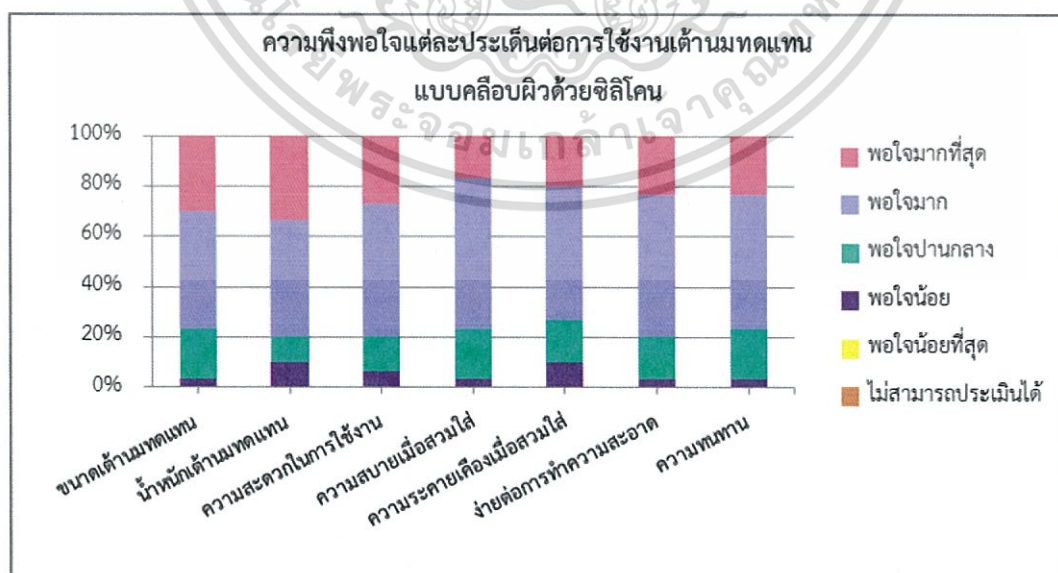
รูปที่ 4.50 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่า ผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 78% แสดงดังรูปที่ 4.51 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังรูปที่ 4.52 เนื่องจากขนาดและน้ำหนักของเต้านมทดแทนมีความเหมาะสมตามขนาดคัพต่าง ๆ ไม่เกิดความระคายเคืองเมื่อสวมใส่และยังง่ายต่อการทำความสะอาด



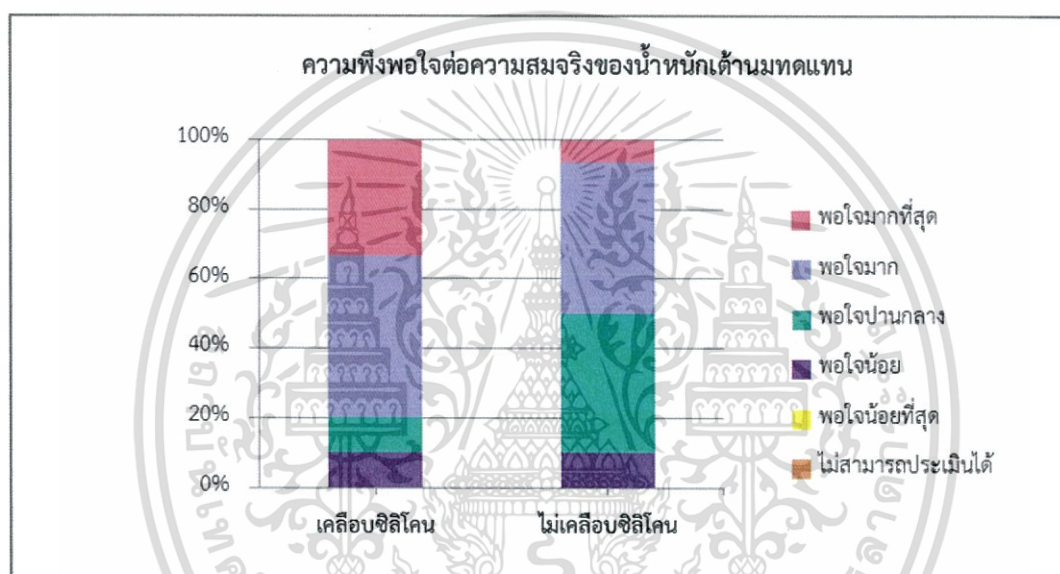
รูปที่ 4.51 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย



รูปที่ 4.52 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาด้านมทดแทนจากโพนยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักที่เหมาะสมผลที่ได้จากการประเมิน ดังรูปที่ 4.53 ทำให้ทราบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนและแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน ในระดับความพึงพอใจมากถึงมากที่สุด 80% และ 50% ตามลำดับ เนื่องจากเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน มีความสวยงามรูปร่างที่เสมือนจริง มีความนิ่มเสมือนผิวหนังมนุษย์ และความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด ซึ่งความพึงพอใจของผู้ป่วยต่อน้ำหนักของเต้านมทดแทนทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคน และแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเสมือนจริงมากกว่า



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักเต้านมทดแทน

4.5 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์

จากการวิเคราะห์ต้นทุนของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติเป็นเพียงการวิเคราะห์ต้นทุนของวัตถุดิบ โดยแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคนมีต้นทุนวัตถุดิบ 1,219 บาท/ชิ้น ดังตารางที่ 4.4 แต่ทั้งนี้การเคลือบแบบจำลองด้วยยางซิลิโคนเป็นการเพิ่มความสวยงามให้กับแบบจำลองเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มมูลค่าของชิ้นงาน และสำหรับราคาเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบและแบบเคลือบในขนาดคัพ A มีต้นทุนวัตถุดิบ 51 บาท/ชิ้น และราคาเต้านมทดแทนแบบเสริมผ้าและเคลือบผิวซิลิโคนมีราคาต้นทุนวัตถุดิบ 125 บาท/ชิ้น ดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน
ผิวซิลิโคน 1 ชั้น ณ เดือน เมษายน 2560

นํ้ายางและสารเคมี	ราคา(บาท/ชิ้น)
60% นํ้ายางชั้น (Latex)	52.60
10% โพลีเอทิลีนโอลิเอต	1.13
50% กำมะถัน	0.68
50% ZDEC	1.01
50% ZMBT	1.46
50% Wingstay L	2.23
50% ZnO	4.05
33% DPG	2.14
12.5% SSF	0.81
ยางซิลิโคน	225
นํ้ามันซิลิโคน	135
สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์	22.5
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	บาท/ชิ้น
ค่าไฟใช้ในการปั่นโม่ และอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง (อัตราค่าใช้ต่อบ 100 บาท/ชั่วโมง)	200
สายรัดสำหรับคล้องคอ	85
ผ้าไนลอน เพิ่มความแข็งแรง	30
หนังเทียมตกแต่งด้านหลังชิ้นงาน	50
กาวซิลิโคนใส	85
กล่องใส่แบบจำลอง	320
แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคน	1,219

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างราคาต้นทุนวัตถุดิบของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ A)

น้ำยางและสารเคมี	ราคา(บาท/ชิ้น)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	5.26
10% โพลีเอทิลีนโอลิเอต	0.11
50% กำมะถัน	0.07
50% ZDEC	0.10
50% ZMBT	0.15
50% Wingstay L	0.22
50% ZnO	0.41
33% DPG	0.21
12.5% SSF	0.08
ยางซิลิโคน	56.25
น้ำมันซิลิโคน	33.75
สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์	2.53
50% CaCO ₃	16.20
50% TiO ₂	8.00
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	บาท/ชิ้น
ผ้าไนลอน เพิ่มความแข็งแรง	6.00
ค่าไฟใช้ในการปั่นโม่และอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง	20.00
เต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนไม่เคลือบผิวซิลิโคน	51.00
เต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน	125.00

หมายเหตุ ค่าไฟใช้ในการปั่นโม่ และอบชิ้นงาน ในการทำ 1 ครั้ง สามารถผลิตเต้านมทดแทน คัพ A ได้ 10 ชิ้น

ตารางที่ 4.6 การประเมินราคาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติ และเต้านมทดแทนจากโพมยางธรรมชาติเทียบกับราคาเชิงพาณิชย์

แบบจำลองและเต้านมทดแทน และแบบที่หน่วยเชิงพาณิชย์	ราคา	
แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน	1,219 บาท	
แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์	ประมาณ 30,000 บาท	
เต้านมทดแทนจากโพมยางธรรมชาติ แบบไม่เคลือบซิลิโคน	ขนาดคัพ	ราคา
	A	51
	B	62
	C	77
เต้านมทดแทนจากโพมยางธรรมชาติ แบบเคลือบผิวซิลิโคน	D	91
	A	125
	B	149
	C	174
เต้านมทดแทนเชิงพาณิชย์	D	197
	ประมาณ 3,000-6,000 บาท	

จากตารางที่ 4.6 ทำให้ทราบว่าแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน มีราคาที่ถูกกว่าแบบจำลองที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ และเต้านมทดแทนจากโพมยางธรรมชาติมีราคาที่ต่ำกว่าเต้านมทดแทนทางเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามการประเมินราคานี้ เป็นการประเมินเฉพาะราคาต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติโดยมีการปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน เพื่อให้ผิวเคลือบชั้นนอกของแบบจำลองมีความแข็งแรงความคงทนต่อการใช้งาน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโคมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง ให้โคมยางมีสมบัติที่ความเหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปแบบจำลอง และทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติโดยบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป ส่วนที่สองเป็นการศึกษาเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติโดยศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ ทั้งแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนและแบบเคลือบผิวซิลิโคนและทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ โดยบุคคลที่ตัดเต้านมหลังการรักษา ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน

ตอนที่ 1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

- จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน พบว่าปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่มากขึ้น ส่งผลให้ซิลิโคนมีค่าความแข็งและค่ามอดูลัส ความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าร้อยละการยืดฉีก จุดขาดลดต่ำลง ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสมในการนำมาทำผิวเคลือบซิลิโคนในงานวิจัยนี้คือ 60 phr

- จากการศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงฉีกขาดผิวซิลิโคนของแบบจำลองโดยการเพิ่มชั้นผ้าสามารถทำได้ ซึ่งพบว่าซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้ามีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมากในงานวิจัยนี้ผ้าที่เหมาะสมในการนำมาเสริมแรงผิวเคลือบซิลิโคนคือ ผ้าไนลอน เนื่องจากมีค่าร้อยละการยืดตัว ฉีกขาดที่ดี อีกทั้งยังทำให้มีผิวเคลือบซิลิโคนมีความแข็งกดต่ำ

ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโคมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง

- จากการศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์พบว่า ระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้โคมยางมีค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งลดต่ำลง และทำให้การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

- ระดับความเร็วที่เหมาะสมในการนำมาทำโคมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลองคือ ระดับ 4 (840 rpm) ใช้ในการปั่นช่วงแรกของการผสมอิมัลซิไฟเออร์ และใช้ระดับ 1 (429 rpm) หลังจากการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

- บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมาก ต่อรูปลักษณ์ภายนอก เนื้อสัมผัสและความนิ่ม และการใช้งาน เนื่องจากแบบจำลองมีผิวสวยงาม มีความนิ่มสัมผัส และสามารถคลำหาก้อนของแข็งอีกทั้งยังสามารถแยกชนิดของก้อนของแข็งภายในแบบจำลองได้

เต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน

ตอนที่ 4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน

- จากการศึกษาน้ำหนักของเต้านมทดแทนเคลือบผิวยางซิลิโคนพบว่า เมื่อขึ้นรูปผิวโดยใช้แม่พิมพ์เดียวกันกับแม่พิมพ์โพลียเอทิลีน ทำให้สามารถใส่ซิลิโคนได้ในปริมาณที่จำกัด น้ำหนักเต้านมที่ขึ้นรูปได้จึงมีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักเต้านมขนาดคัมมาตรฐาน

- จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักเต้านมทดแทนไม่เคลือบผิวยางซิลิโคนโดยใช้สารตัวเติม SiO_2 , CaCO_3 และ TiO_2 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม ส่งผลให้โพลียเอทิลีนมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

- ในงานวิจัยนี้เลือกสารตัวเติม $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ ในอัตราส่วนที่ 20/60 มีความเหมาะสมในการนำมาเพิ่มน้ำหนักเต้านมทดแทน และยังคงมีน้ำหนักที่สูง

ตอนที่ 5 ทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทน

- บุคคลที่ตัดเต้านมหลังการรักษามีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก เนื้อสัมผัส และการใช้งานของเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมากกว่าเต้านมทดแทนไม่เคลือบผิวซิลิโคน เนื่องจากเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน มีความสวยงาม รูปร่างที่เสมือนจริง มีความนิ่มเสมือนผิวมนุษย์ และความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด

- ความพึงพอใจต่อน้ำหนักของเต้านมทดแทนทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคนและแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเสมือนจริงมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มน้ำหนักชนิดอื่น เพื่อให้มีน้ำหนักของเต้านมทดแทนที่เหมาะสม เช่น ดินขาว (Clay)

2. เพิ่มความหลากหลายของลักษณะผิวเคลือบแบบจำลองบางบริเวณ เช่น รอบปุ่ม รอยซ้ และผิวเปลือกส้ม เพื่อความสมจริงของโรคมะเร็งเต้านม

3. ทำการผลิจริงและจำหน่ายจริง เพื่อทดลองตลาด (Market test) และเพิ่มจำนวนแบบสอบถามเก็บข้อมูลความพึงพอใจเพื่อใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองและเต้านมทดแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chularat. 2560. โรคมะเร็งเต้านม. [Online]. Available : http://chularat.com/knowledge_detail.php?lang=th&id=339&gid=13.
- [2] Hdcservice.moph.go.th. 2560. อัตราป่วยโรคมะเร็งเต้านมต่อประชากร. [Online]. Available : http://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/report.php?Source=Formatted/ncd.php&cat_id=6a1fdf282fd28180eed7d1cfe0155e11&id=825c7fbfdbde936cf821a9b16dc4189b#.
- [3] Siamhealth. 2560. มะเร็งเต้านม. [Online]. Available : http://siamhealth.net/public_html/Disease/cancer/breast/breastcancer.htm.
- [4] Elib-online. 2560. มะเร็งเต้านมภัยคุกคามที่สตรีไม่ควรมองข้าม. [Online]. Available : http://www.elib-online.com/doctors3/cancer_breast10.html.
- [5] Thaihealth.or.th. 2560. ดูแล..หลังต้องรักษามะเร็งเต้านม. [Online]. Available : <http://www.thaihealth.or.th/Content/10437-%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A1.html>.
- [6] Medinfo2.psu.ac.th. 2560. เต้าเทียมเหมือนจริงฝึกคลำตรวจหามะเร็ง. [Online]. Available : http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_showpic.php?NewsID=529&tyep_ID=2.
- [7] Turkish.alibaba. 2560. โมเดลตรวจมะเร็งเต้านม. [Online]. Available : <https://turkish.alibaba.com/p-detail/high-quality-breast-examination-model-palpation-of-breast-model-60563480126.html>.
- [8] Th.aliexpress. 2017. Model breast self. [Online]. Available : <https://th.aliexpress.com/item/HOT-Breast-Examination-Model-Breast-Self-examination-Model/32275632911.html?spm=2114.54010308.4.75.uWN2yf>.
- [9] Thai.alibaba. 2017. Model breast self. [Online]. Available : <https://thai.alibaba.com/product-detail/advanced-breast-anatomical-model-for-teaching-60477727557.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Fourdsimulator. 2017. **Breast Massage Model Typell**. [Online]. Available : <http://www.fourd-simulator.com/index.aspx?pid=5c194955-5830-4637-a6fe-19fcbeb2fd26>.
- [11] สวีณา พลพีช. 2560. **จับชีพจร "ยางพารา" ปี 59 ชัฟฟลายโลกล้นราคายังอยู่ช่วงขาลง**. [Online]. Available : http://m.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1453091492.
- [12] สุภาภรณ์ คลีไบ และสุภัทนา นาคฤทธิ. 2557. **โครงการพิเศษการศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] กุลกันยา ทองดี, ปัฐวี พินิจกุล และสิริภัทร สิรินิพัทธ์กุล. 2558. **โครงการพิเศษการพัฒนาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] ไทยรัฐออนไลน์. 2560. **เครื่องฝึกตรวจมะเร็งเต้านม สจล.อัฟเกรดยางพาราไทย**. [Online]. Available : <http://www.thairath.co.th/content/838732>.
- [15] นิตยสุภา วัฒนชัย. 2560. **ก้อนในเต้านม**. [Online]. Available : <http://haamor.com/th/%E0%B8%81%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A1/>.
- [16] Medthai. 2559. **มะเร็งเต้านม อาการ สาเหตุ และการรักษาโรคมะเร็งเต้านม 6 วิธี**. [Online]. Available : <https://medthai.com/%E0%B8%A1%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B9%87%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%A1/>.
- [17] Thaireastcancer. 2560. **แมมโมแกรมปกติ/ผิดปกติ เขาดูกันอย่างไร**. [Online]. Available : <http://www.thaireastcancer.com/ca-119/>.
- [18] Cancerfightclub. 2560. **มารู้จักกับมะเร็งต่อมน้ำเหลือง Lymphoma**. [Online]. Available : <http://cancerfightclub.blogspot.com/2013/04/lymphoma.html>.
- [19] Supamitrhospital. 2560. **มะเร็งเต้านม**. [Online]. Available : <http://www.Supamitrhospital.com/sara/ma.htm>.
- [20] Med.mahidol.ac.th. 2560. **การตรวจเต้านมด้วยตนเอง**. [Online]. Available : http://med.mahidol.ac.th/radiology/th/division/breast_diagnostic_center/breast_self_exam-th.
- [21] Waithong.com. 2560. **วิธีการตรวจเต้านมด้วยตนเอง**. [Online]. Available : http://www.waithong.com/consumer/bse/bse_method.html.

- [22] 3bscientific. 2017. **BREAST MODELS**. [Online]. Available : https://www.3bscientific.co.th/breast-models,pg_1167.html.
- [23] Upright-groups. 2560. **หุ่นฝึกการตรวจเต้านม**. [Online]. Available : http://www.upright-groups.com/product_detail.php?product=551.
- [24] 3bscientific.co.th. 2017. **Wearable Female Doll Breast Examination Medical Training Simulation Manikin** [Online]. Available : <http://www.medicaltrainingsimulators.com/sale-6661943-wearable-female-doll-breast-examination-medical-training-simulation-manikin.html>.
- [25] Thaiday. 2556. **กลุ่มสตรีบ้านหนองเปิดทำเต้านมเลียนแบบตุ๊กตาทายางพาราคุณภาพเยี่ยมใช้เรียนรู้เรื่องมะเร็ง**. [Online]. Available : <http://www.thaiday.com/South/ViewNews.aspx?NewsID=9560000010173>.
- [26] อธิพิศ แจ่มชัด. 2557. “เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง.” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [27] อติศัย รุ่งวิชานิวัดน์. 2560. **ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำยางและองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยาง**. [Online]. Available : <http://km.rubber.co.th>.
- [28] Rubber parts PTI. 2560. **ลักษณะยางฟองน้ำ**. [Online]. Available : <http://rubberspongeprofiles.blogspot.com>.
- [29] Rubber.oie.go.th. 2560. **เทคโนโลยีการผลิตและการทดสอบโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ**. [Online]. Available : http://rubber.oie.go.th/rrd/file/latex_foam.pdf.
- [30] Bmroller. 2560. **คุณสมบัติที่ใช้ทดสอบยาง**. [Online]. Available : <http://www.bmroller.com/%E0%B8%84%E0%B8%B8%E0%B8%93%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%97%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%87.htm>.
- [31] Kb.psu.ac.th. 2560. **การโพลีคลคาไนซ์ของฟองยางธรรมชาติ**. [Online]. Available : <http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2553/5034>.
- [32] พงษ์ธร แซ่ฮ้อย. 2550. **สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**.
- [33] Petrochemtrade. 2017. **Accelerator ZMBT**. [Online]. Available : http://petrochemtrade.com/xhr/doclink/ty/pdf/id/16_3dbc369f85/pid/3987922.
- [34] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2552. **ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ :

เอกสารนี้เป็นเอกสารของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สวก). วิชาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [35] ญัฐพงศ์ นิธิอุทัย และศุภเชษ ผลทอง. 2560. **Potassium oleate**. [Online]. Available : http://www.chemicalbook.com/chemicalproductproperty_en_cb1466311.htm.
- [36] Siamchemi. 2560. **แคลเซียมคาร์บอเนต/หินปูน**. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/%E0%B9%81%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%95/>.
- [37] Organic-wealth. 2559. **ไททาเนียมไดออกไซด์**. [Online]. Available : <http://www.worldchemical.co.th/th/product-detail-169-%E0%B9%84%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B9%80%E0%B8%99%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B9%84%E0%B8%94%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B9%84%E0%B8%8B%E0%B8%94%E0%B9%8C.html>.
- [38] Siamchemi. 2560. **ซิลิกา (silica/SiO₂) และประโยชน์ซิลิกา**. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2/>.
- [39] พงษ์ธร แซ่อู๋. 2560. **การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยาง**. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com/%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%B2/>.
- [40] Siliconedynamics. 2017. **Silicone rubber material**. [Online]. Available : <http://www.siliconedynamics.net/silicone-rubbermaterial/>.
- [41] ชญาภา นิมสุวรรณ. 2551. **ยางซิลิโคน: วัสดุทางเลือกสำหรับงานที่ต้องการความท้าทาย**. [Online]. Available : <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:GIU8us3TgXUJ:www.rubbercenter.org/informationcenter/file/magazine6.pdf+&cd=1&hl=th&ct=clnk&gl=th>.
- [42] Chemicalbook. 2017. **Silicone oil**. [Online]. Available : http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7696471.htm.
- [43] พงษ์ธร แซ่อู๋. 2555. **สารวัลคาไนซ์สำหรับยางชนิดพิเศษ**. [Online]. Available : <http://www.rubbercenter.org/informationcenter/file/magazine-19.pdf>.
- [44] Rubber compounding basics. 2013. **Crosslink density in rubber vulcanizates**. [Online]. Available : <https://rubbertech.wordpress.com/2013/07/20/crosslink-density-in-rubber-vulcanizates/>.
- [45] Thailand Textile Institute. **เทคโนโลยีการผลิตสิ่งทอจากใยพืช**. [Online]. Available :

- [46] จารุวรรณ อัมพฤกษ์. 2555. การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์ในงานทางนิติวิทยาศาสตร์. [Online]. Available : http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Jaruwan_Ampruk/fulltext.pdf.
- [47] ศรีัญญา สงเคราะห์. 2554. “การประมาณขนาดของอาวุธจากรอยแทงบนผ้าชนิดต่าง ๆ” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [48] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [49] อภิชาติ สนธิสมบัติ. 2560. สมบัติของเส้นใยสิ่งทอ. [Online]. Available : www.ttcexpert.com/CV_drapichart.html.
- [50] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). 2004. วิทยาศาสตร์สิ่งทอผ้า (Fabrics). [Online]. Available : <http://www2.mtec.or.th/th/research/textile/fabrics.html>.
- [51] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2552. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแรงดึงสูงสุดโดยวิธีดึงหน้าเต็มหน้ากว้างของชิ้นทดสอบ. เล่ม 9. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [52] Scimath. 2560. พลาสติกและเส้นใย. [Online]. Available : <http://www.scimath.org/socialnetwork/groups/viewbulletin/843-8?groupid=161>.
- [53] อุซารัตน์ รัตนคานวน. 2547. IC 361 วิทยาศาสตร์เส้นใยและผ้า. [Online]. Available : http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/u_ratanakamnuan/IC%20361%20%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%97%E0%B8%A2%E0%B8%B2%E0%B8%A8%E0%B8%B2%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%80%E0%B8%AA%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B9%83%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%9C%E0%B9%89%E0%B8%B21-57.pdf.
- [54] อภิชาติ สนธิสมบัติ. 2560. เส้นใยสังเคราะห์. [Online]. Available : www.ttcexpert.com/textbook.htm.
- [55] Ruedee. 2555. เส้นใยไนลอน (Nylon). [Online]. Available : <https://www.ruedee.com/th/fabric/nylon/>.
- [56] Ruedee. 2555. โพลีเอสเตอร์ (Polyester). [Online]. Available : <https://www.ruedee.com/th/fabric/polyester/>.
- [57] เบญจมาศ มีชัย. 2560. ผลิตเต้านมเทียมเพิ่มมูลค่าทางสังคม. [Online]. Available : <http://e-journal.dip.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=VtTgNaFuBsQ%3D&tabid=100>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58] H Arshad, R Ramgulam and P Potluri. 2017. **Mechanics of Flexible Textile Composites**. [Online]. Available : <http://iccmcentral.org/Proceedings/ICCM17proceedings/Themes /Materials/TEXTILE%20COMPOSITES/INT%20-%20TEXTILE%20COMPOSITES/ID11.5%20Arshad.pdf>.
- [59] ธัญรัตน์ ชูศิลป์ และคณะ. 2560. การพัฒนาหุ่นจำลองเต้านมสำหรับฝึกปฏิบัติทางคลินิกในการตรวจเอกซเรย์เต้านม. [Online]. Available : http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show_preview=T&art_id=2025.
- [60] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2552. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผ้าปูเครื่องเรือน**. เล่ม 1. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [61] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2559. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมวิธีทดสอบสิ่งทอขนาดเส้นด้าย**. เล่ม 6. กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [62] ASTM D412-68 Committee on Standard “Standard Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber.” Philadelphia. American Society for Testing and Material. 1969.
- [63] ASTM D624–00 Committee on Standard “Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers.” Philadelphia. American Society for Testing and Material. 2012.
- [64] ASTM D2240-05 Committee on Standard “Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness.” Philadelphia. American Society for Testing and Material. 2010.
- [65] ISO 177. 2016. **Plastics - Determination of migration of plasticizers**. [Online]. Available : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:70279:en>.
- [66] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2540. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเทกซ์**. มอก. 1425-2540.
- [67] เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2548. **ผลความหนืดของน้ำยางต่อการทำยางพองน้ำ**. เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการการประชุม สวทช.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน



แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมทดแทนจากยางธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการ ใช้ในชีวิตจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีมีการแสดงที่มาของข้อมูล และผลการประเมินของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

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 ความหนา ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นุ่ม (Hardness)						
- ความสมจริงในเวลาคลำ						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง						
- ความสมจริงในการคลำก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของควมแข็ง-นุ่มของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่? ใช่ ไม่ใช่ เพราะเหตุใด
(โปรดระบุ)

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี)

.....

รูปที่ ก.1 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อด้านมทแทนที่ผลิตจากโฟมยางธรรมชาติ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน หน้าข้อความความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมททดแทนจากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTT) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมททดแทนจากยางธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีารแสดงที่มาของข้อมูล และผลการประเมินของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. ปัจจุบันท่านอายุ 15-20 ปี 21-30 ปี 31-40 ปี 41-50 ปี 51-60 ปี 61 ปีขึ้นไป
2. เพศ 1.หญิง 2.ชาย
3. สถานภาพสมรส 1.โสด 2.สมรส 3.หม้าย/หย่า/แยก
4. อาชีพ 1.แพทย์ 2.พยาบาล 3.นักศึกษาแพทย์ 4.นักศึกษาพยาบาล 5.รับราชการ
 6.แม่บ้าน 7.รับจ้าง 8.อื่นๆ (โปรดระบุ).....
5. การศึกษา 1.มัธยมศึกษา 2.อนุปริญญา/ปวศ. 3.ปริญญาตรี 4.ปริญญาโท 5.ปริญญาเอก
 6.อื่นๆ (โปรดระบุ).....
6. ท่านเคยใช้เต้านมททดแทนหรือไม่ เคยใช้ ไม่เคยใช้
7. ระยะเวลาในการใช้เต้านมททดแทน 0-6 เดือน 6 เดือน - 1 ปี 1-3 ปี มากกว่า 3 ปี
8. หลังจากการรักษามะเร็งเต้านมโดยการตัดเต้านม ท่านเคยใช้เต้านมททดแทนรูปแบบใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)
 1.เต้านมททดแทนที่ผลิตจากซิลิโคน
ปัญหาที่พบ.....
 2.เต้านมททดแทนที่เย็บจากผ้า
ปัญหาที่พบ.....
 3.เต้านมททดแทนที่ผลิตจากวัสดุอื่นๆ (โปรดระบุ)
ปัญหาที่พบ.....

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อด้านมทแทนที่ผลิตจากโพนยางธรรมชาติ

ตัวอย่างด้านมทแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					
	4 พอใจมาก ที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจ ปาน กลาง	1 พอใจ น้อย	0 พอใจ น้อย ที่สุด	ไม่สามารถ ประเมินได้
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาดด้านมทแทน						
- รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและกลิ่น						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นุ่ม (Hardness)						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งาน						
- ความสมจริงของขนาดด้านมทแทนที่ได้รับ						
- ความสมจริงของน้ำหนักด้านมทแทนที่ได้รับ						
- ความสะดวกในการใช้งาน						
- ความสบายเมื่อสวมใส่ (การระบายอากาศ ไม่อับชื้น)						
- ความระคายเคืองเมื่อสวมใส่						
- ง่ายต่อการทำความสะอาด						
- ความทนทานต่อการใช้งาน						

4. ถ้ามีด้านมทแทนที่ผลิตจากโพนยางธรรมชาติชนิดที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะ ใช้หรือไม่ ?
ใช่ || ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....

.....

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงด้านมทแทนที่ผลิตจากโพนยางธรรมชาติชนิดที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน (ถ้ามี)

.....

.....

.....

2/3

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลกรอกแบบสอบถาม

ตัวอย่างคำถามทดสอบแบบทดสอบผิวด้วยจิลิโคน

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					ไม่ตามรอ ประเมินได้
	4 พอใจมาก ที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจ ปาน กลาง	1 พอใจ น้อย	0 พอใจ น้อย ที่สุด	
1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาดเค้นมทดแทน						
- รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นุ่ม (Hardness)						
3. ความพึงพอใจต่อการใช้งาน						
- ความสวยงามของขนาดเค้นมทดแทนที่ได้รับ						
- ความสวยงามของน้ำหนักเค้นมทดแทนที่ได้รับ						
- ความสะดวกในการใช้งาน						
- ความสบายเมื่อสวมใส่ (การระบายอากาศ ไม่อับชื้น)						
- ความระคายเคืองเมื่อสวมใส่						
- ง่ายต่อการทำความสะอาด						
- ความทนทานต่อการใช้งาน						

4. ถ้ามีเค้นมทดแทนที่ผลิตจาก โฟมยางธรรมชาติชนิดที่เคลือบผิวด้วยจิลิโคนให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?

ใช่ ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....

.....

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงเค้นมทดแทนที่ผลิตจาก โฟมยางธรรมชาติชนิดที่เคลือบผิวด้วยจิลิโคน (ถ้ามี)

.....

.....

.....

3/3

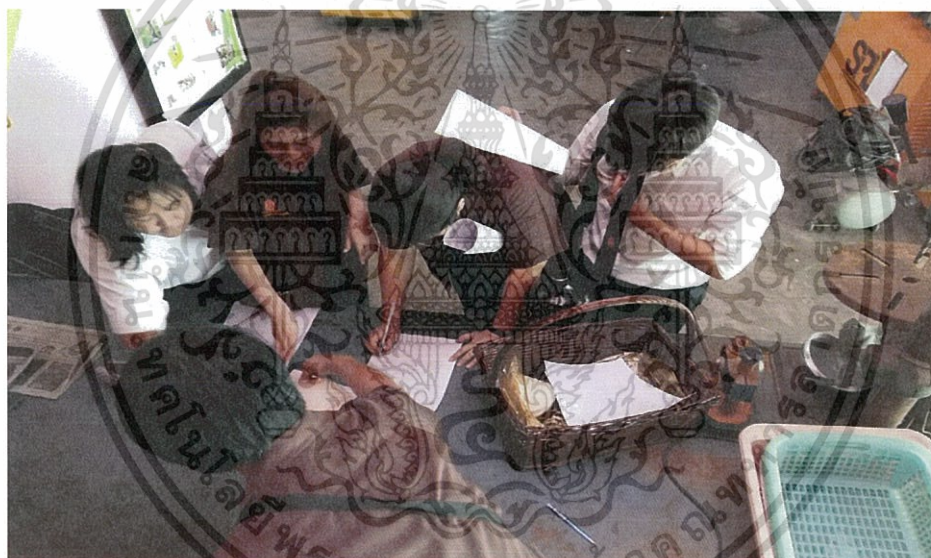
ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลตอบแบบสอบถาม

รูปที่ ก.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเค้นมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.4 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทนชนิดเคลือบและไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมก้อนของแข็งด้วยยางซิลิโคนแทนก้อนมะเร็ง ซีสต์ และเนื้องอก

ตารางที่ ข.1 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง [13]

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

การเตรียมก้อนมะเร็ง

- 1) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยง ตามตารางที่ ข.1 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr
- 2) ใช้วาสลีน ทาแม่พิมพ์ด้านที่ต้องการเทยางซิลิโคน ดังรูปที่ ข.1(1)
- 3) ประกบแม่พิมพ์ยางซิลิโคนแล้วผสมยางซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงเป็นเวลา 1 นาที เทยางซิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วเข้าแม่พิมพ์ ดังรูปที่ ข.1(2)
- 4) ตั้งทิ้งไว้ให้ยางซิลิโคนแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 5) เปิดแม่พิมพ์ออกแกะชิ้นงานด้วยความระมัดระวัง (เนื่องจากชิ้นงานค่อนข้างมีความชื้น) ดังรูปที่ ข.1(3)



(1)



(2)



(3)

รูปที่ ข.1 การเตรียมก้อนมะเร็ง (1) ใช้วาสลีนทาแม่พิมพ์ก้อนมะเร็ง (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองก้อนมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมชีสต์ และเนื้องอก

- 1) ซังยางซิลิโคน สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 20 phr (ก้อนเนื้อ), 50 phr (ชีสต์) ตามตารางที่ ข.1
- 2) ทำการผสมยางซิลิโคนและน้ำมันซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงแล้วเทเข้าถุงมือยาง ดังรูปที่ ข.2(1)
- 3) ใช้ยางวงรัดยางซิลิโคนที่เทลงไปให้เป็นรูปทรงกลมที่บริเวณนิ้วของถุงมือยาง (แสดงดังรูปที่ ข.2(2)) อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 15 นาที พร้อมปลดชิ้นงานออกจากถุงมือ ดังรูปที่ ข.2(3)
- 4) ซังยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยงดังตารางที่ ข.1 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr ทารอบยางซิลิโคนก่อนกลม (เฉพาะชีสต์)



(1)

(2)

(3)

รูปที่ ข.2 การเตรียมชีสต์ และก้อนเนื้อ (1) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุงมือยาง (2) ลัดถุงมือด้วยหนังยาง และ (3) แบบจำลองชีสต์และก้อนเนื้อ

การเตรียมเม็دت่อม้ำเหลือง

- 1) ซังยางซิลิโคน สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 40 phr ตามตารางที่ ข.1
- 2) ใช้วาสลีนทาแม่พิมพ์เพื่อความสะดวกในการปลดชิ้นงาน
- 3) ประคบแม่พิมพ์ต่อม้ำเหลืองพร้อมทั้งใช้ยางวงรัดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันการแยกออกจากกันของแม่พิมพ์ขณะที่ทำการเทยางซิลิโคน (แสดงดังรูปที่ ข.3(1)) แล้วผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนเป็นเวลา 1 นาที ใส่สารเชื่อมโยง เทยางซิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วเข้าแม่พิมพ์ ดังรูปที่ ข.3(2)
- 4) ตั้งทิ้งไว้ให้ยางซิลิโคนแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง 1 ชั่วโมง นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 5) เปิดแม่พิมพ์ออกแกะชิ้นงานด้วยความระมัดระวังจะได้เม็دت่อม้ำเหลือง ดังรูปที่ ข.3(3)



(1)

(2)

(3)

รูปที่ ข.3 การเตรียมเม็ดตอมน้ำเหลือง (1) ประคบแม่พิมพ์และใช้ยางรัดแม่พิมพ์ตอมน้ำเหลือง หลังจากที่ทำกรทาวาสลินที่แม่พิมพ์แล้ว (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองตอมน้ำเหลือง

สูตรของน้ำยางและสารเคมี

สูตรน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทำต้นมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน แต่ใช้สารตัวเติมในการเพิ่มน้ำหนัก

ตารางที่ ข.2 ปริมาณน้ำหนักเปียกของน้ำยางและสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปต้นมทดแทน สูตรการใช้สารตัวเติม $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$ อัตราส่วนที่ต่างกัน

น้ำยางและสารเคมี	20/20	20/40	20/60	20/80
60% น้ำยางชัน	167.0	167.0	167.0	167.0
10% KO	15.0	12.0	10.0	9.0
50% กำมะถัน	2.0	1.6	1.4	1.2
50% ZDEC	2.0	1.6	1.4	1.2
50% ZMBT	2.0	1.6	1.4	1.2
50% Wingstay [®] L	2.0	1.6	1.4	1.2
50% ZnO	10.0	8.0	7.0	6.0
33% DPG	4.0	3.0	2.8	2.4
12.5% SSF	11.0	9.0	7.6	6.6
50% CaCO_3	40.0	65.0	83.0	96.0
50% TiO_2	40.0	33.0	28.0	24.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพนยางธรรมชาติ ณ เดือน เมษายน 2560

ตารางที่ ค.1 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพนยางธรรมชาติ 1 ชั้น (คัพ B)

น้ำยางและสารเคมี	ราคา (บาท/ชิ้น)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	7.51
10% KO	0.16
50% กำมะถัน	0.10
50% ZDEC	0.14
50% ZMBT	0.21
50% Wingstay L	0.32
50% ZnO	0.58
33% DPG	0.31
12.5% SSF	0.12
ยางซิลิโคน	61.88
น้ำมันซิลิโคน	37.13
สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์	6.18
50% CaCO ₃	16.20
50% TiO ₂	8
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	บาท/ชิ้น
ผ้าใยบัว เพิ่มความแข็งแรง	6
ค่าไฟใช้ในการปั่นโพนและอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง (อัตราค่าใช้ต่อบ 100 บาท/ชั่วโมง)	28.57
เต้านมทดแทนจากโพนยางไม่เคลือบผิวซิลิโคน	62
เต้านมทดแทนจากโพนยางเคลือบผิวซิลิโคน	149

หมายเหตุ ค่าไฟใช้ในการปั่นโพนและอบชิ้นงาน ในการทำ 1 ครั้ง สามารถผลิตเต้านมทดแทน คัพ B ได้ 7 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อเต้านมทดแทนจากโพนยางธรรมชาติ 1 ชั้น (คัพ C)

น้ำยางและสารเคมี	ราคา(บาท/ชิ้น)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	10.52
10% KO	0.23
50% กำมะถัน	0.14
50% ZDEC	0.20
50% ZMBT	0.29
50% Wingstay L	0.45
50% ZnO	0.81
33% DPG	0.43
12.5% SSF	0.16
ยางซิลิโคน	67.50
น้ำมันซิลิโคน	40.50
สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์	6.75
50% CaCO ₃	16.20
50% TiO ₂	8
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	บาท/ชิ้น
ผ้าใยบัว เพิ่มความแข็งแรง	6
ค่าไฟใช้ในการปั่นโพน+อบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง (อัตราค่าใช้ตู้อบ 100 บาท/ชั่วโมง)	40
เต้านมทดแทนจากโพนยางไม้เคลือบผิวซิลิโคน	77
เต้านมทดแทนจากโพนยางเคลือบผิวซิลิโคน	174

หมายเหตุ ค่าไฟใช้ในการปั่นโพนและอบชิ้นงาน ในการทำ 1 ครั้ง สามารถทำเต้านมทดแทน คัพ C ได้ 5 ชิ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อตันมทดแทนจากโพลียเอทิลีน 1 ชั้น (คัพ D)

น้ำยางและสารเคมี	ราคา(บาท/ชิ้น)
60% น้ำยางชั้น (Latex)	13.15
10% KO	0.28
50% กำมะถัน	0.17
50% ZDEC	0.25
50% ZMBT	0.37
50% Wingstay L	0.56
50% ZnO	1.01
33% DPG	0.54
12.5% SSF	0.20
ยางซิลิโคน	73.12
น้ำมันซิลิโคน	43.87
สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์	7.31
50% CaCO ₃	16.20
50% TiO ₂	8
ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	บาท/ชิ้น
ผ้าใยบัว เพิ่มความแข็งแรง	6
ค่าไฟใช้ในการปั่นโคมและอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง (อัตราค่าใช้ต่อบ 100 บาท/ชั่วโมง)	50
ตันมทดแทนจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน	91
ตันมทดแทนจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน	197

หมายเหตุ ค่าไฟใช้ในการปั่นโคมและอบชิ้นงาน ในการทำ 1 ครั้ง สามารถทำตันมทดแทน คัพ D ได้ 4 ชิ้น