



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาความทนทานและสมบัติการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม  
จากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน  
DEVELOPING DURABILITY AND PROPERTIES OF BREAST CANCER  
TRAINING MODEL MADE FROM NR FOAM WITH SILICONE SKIN

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

12880462

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **149110**  
วันเดือนปี..... 4 6.6. 2561

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ      การพัฒนาความทนทานและสมบัติการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจาก  
โพลียเอทิลีนทูลูเลน  
แหล่งเงิน          งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์  
ประจำปีงบประมาณ 2560    จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 150,000 บาท  
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี    ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2559 ถึงวันที่ 30 กันยายน 2560  
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ   นายอิทธิพล แจ่มชัด    ภาควิชาเคมี    คณะวิทยาศาสตร์

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันโรคมะเร็งเต้านมเป็นหนึ่งในโรคอันตรายที่สุดที่ทำให้สุขภาพสตรีเสียชีวิต หากตรวจพบ  
มะเร็งเต้านมตั้งแต่ระยะเริ่มแรก จะช่วยให้มีโอกาสในการรักษาให้หายขาดได้มากขึ้น แบบจำลองฝีก  
ตรวจมะเร็งเต้านมจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ และบุคคล  
ทั่วไปงานวิจัยเป็นการพัฒนาแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนทูลูเลน  
โดยการพัฒนาความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคนให้ทนทานต่อการฉีกขาดมากยิ่งขึ้นโดยการปรับสูตร  
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  
จากโพลียเอทิลีนทูลูเลนที่เสริมแรงด้วยผ้า พบว่าจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามขนาดคัพ แต่  
ยังคงมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมทดแทนที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด การเพิ่ม  
น้ำหนักเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทูลูเลนสามารถเพิ่มน้ำหนักโดยการใส่สารตัวเติม ไทเทเนียมไดออกไซด์  
กับ แคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วนที่ 20/60 โดยน้ำหนัก จากประเมินความพึงพอใจพบว่า  
บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปมีความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมในระดับ  
พอใจมากถึงมากที่สุดเป็นส่วนใหญ่ ทั้งรูปลักษณ์ภายนอก เนื้อสัมผัส-ความนิ่ม และการใช้งาน  
แบบจำลอง สามารถแยกความแตกต่างของก้อนของแข็งในแบบจำลองได้ สำหรับการสำรวจความ  
พึงพอใจต่อเต้านมทดแทน ผู้ป่วยพึงพอใจเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนมากกว่าแบบไม่เคลือบ  
เนื่องจากมีความสวยงามและน้ำหนักที่เสมือนจริง สรุปได้ว่าทั้งแบบจำลองและเต้านมทดแทน  
แสดงผลงานวิจัยที่น่าสนใจและมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

**คำสำคัญ :** เต้านมทดแทน แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านม โพลียเอทิลีนทูลูเลน ยางซิลิโคน

**Research Title:** Developing Durability and Properties of Breast Cancer Training Model made from NR Foam with Silicone Skin

**Researcher:** Mr. Ittipol Jangchud

**Faculty:** Science **Department:** Chemistry

### 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

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ในการทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ นพ.ยอดยิ่ง วาสุทธิย์ และบุคลากรทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโรคมะเร็งเต้านม และให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน

ขอขอบพระคุณ ชฎาพร เกิดทอง, ดวงกมล ภูทอง และ ปานเลขา ชลสวัสดิ์ นักศึกษาภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ร่วมวิจัยและพัฒนาโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ คุณเมตตา สุขเจริญ เจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย ที่คอยช่วยแก้ปัญหาพร้อมทั้งให้คำแนะนำในการศึกษาเรื่องโพลิเมอร์ธรรมชาติ

ขอขอบคุณ คุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ ผู้ช่วยวิจัย เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในทุกด้านอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย

รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  | หน้า     |
|--|----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                                   | ก        |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                | ข        |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                   | ค        |
| สารบัญ.....  | ง        |
| สารบัญตาราง.....                                       | ช        |
| สารบัญรูป.....   | ฉ        |
| <b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>                               | <b>1</b> |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                | 1        |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....                       | 5        |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....                             | 5        |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                     | 6        |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>      | <b>7</b> |
| 2.1 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม.....                      | 7        |
| 2.1.1 ชนิดก้อนเนื้อในเต้านม.....                       | 7        |
| 2.1.2 สาเหตุ ลักษณะและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม.....   | 8        |
| 2.2 โรคมะเร็งเต้านมและอาการของมะเร็งเต้านม.....        | 9        |
| 2.2.1 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม.....        | 10       |
| 2.2.2 การแพร่กระจายของมะเร็งเต้านมไปต่อมน้ำเหลือง..... | 14       |
| 2.2.3 การตรวจคัดกรองเต้านม.....                        | 14       |
| 2.2.4 การตรวจเต้านมด้วยตัวเอง.....                     | 15       |
| 2.2.5 รูปแบบการคลำเต้านม.....                          | 16       |
| 2.3 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม.....                   | 17       |
| 2.3.1 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์..... | 17       |
| 2.3.2 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ.....   | 18       |
| 2.4 ยางธรรมชาติ.....                                   | 19       |
| 2.5 น้ำยางธรรมชาติ.....                                | 21       |
| 2.5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ.....               | 21       |
| 2.5.2 อนุภาคของน้ำยางธรรมชาติ.....                     | 21       |
| 2.6 โฟมยางธรรมชาติ.....                                | 22       |
| 2.6.1 กระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ.....                 | 22       |
| 2.7 สมบัติของโฟมยางธรรมชาติ.....                       | 23       |
| 2.7.1 การขยายตัวและความหนาแน่น.....                    | 23       |
| 2.7.2 การยุบตัวจากแรงกด.....                           | 23       |
| 2.7.3 ความแข็ง.....                                    | 24       |
| 2.7.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด.....           | 24       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| 2.7.5 ความล้า.....   | 24   |
| 2.8 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโพลียเอทิลีน.....                           | 25   |
| 2.8.1 สารเชื่อมโยงกำมะถัน.....   | 25   |
| 2.8.2 สารตัวเร่ง.....  | 26   |
| 2.8.2.1 ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate).....                      | 26   |
| 2.8.2.2 ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole).....               | 26   |
| 2.8.2.3 DPG (Diphenyl guanidine).....                                  | 27   |
| 2.8.3 สารตัวกระตุ้น.....   | 27   |
| 2.8.4 สารป้องกันออกซิเดชัน.....  | 27   |
| 2.8.5 โพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate, KO).....                      | 28   |
| 2.8.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF).....         | 28   |
| 2.8.7 สารตัวเติม.....  | 28   |
| 2.8.7.1 แคลเซียมคาร์บอเนต.....   | 28   |
| 2.8.7.2 ไททาเนียมไดออกไซด์.....  | 28   |
| 2.8.7.3 ซิลิกา.....  | 29   |
| 2.9 ยางซิลิโคน.....  | 29   |
| 2.10 น้ำมันซิลิโคน.....  | 31   |
| 2.11 สารเปอร์ออกไซด์.....  | 32   |
| 2.11.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....                              | 32   |
| 2.11.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....                               | 33   |
| 2.11.3 ครีชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....                           | 34   |
| 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงกับสมบัติเชิงกลของยาง..... | 34   |
| 2.13 ผ้า.....  | 36   |
| 2.13.1 ผ้าทอ.....  | 36   |
| 2.13.2 ผ้าถัก.....   | 37   |
| 2.13.3 ผ้าไม่ถักไม่ทอ.....   | 37   |
| 2.13.4 ผ้าอื่นๆ.....   | 37   |
| 2.14 เส้นใยและการแบ่งประเภทของเส้นใย.....                              | 37   |
| 2.14.1 โครงสร้างของเส้นใย.....   | 38   |
| 2.14.2 สมบัติของเส้นใย.....  | 38   |
| 2.14.2.1 ความยาวของเส้นใย.....   | 39   |
| 2.14.2.2 ความละเอียดของเส้นใย.....                                     | 39   |
| 2.14.2.3 รูปทรงตามภาคตัดขวางของเส้นใย.....                             | 40   |
| 2.14.2.4 ความหยิกงอบนเส้นใย.....                                       | 40   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า      |
|---|-----------|
| 2.14.2.5 ความแข็งแรงของเส้นใย.....  | 41        |
| 2.14.2.6 ความหนาแน่น.....   | 41        |
| 2.14.2.7 สภาพยืดหยุ่น การคืนตัวจากแรงยืด และการยืดตัว.....  | 42        |
| 2.14.3 เส้นใยฝ้ายเซลลูโลสธรรมชาติ.....  | 42        |
| 2.14.4 เส้นใยสังเคราะห์.....  | 45        |
| 2.14.4.1 ไนลอน.....   | 46        |
| 2.14.4.2 พอลิเอสเตอร์.....  | 48        |
| 2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 50        |
| <b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>   | <b>53</b> |
| 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย.....  | 53        |
| 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....   | 57        |
| 3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....  | 57        |
| 3.3.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน.....  | 59        |
| 3.3.1.1 ศึกษาปริมาณของน้ำมันซิลิโคนที่มีความเหมาะสม<br>สำหรับการขึ้นรูปผิวเคลือบซิลิโคนในปริมาณต่างๆ..... | 59        |
| 3.3.1.2 ศึกษาชนิดของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรง<br>ให้กับผิวเคลือบซิลิโคน.....                             | 60        |
| 3.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโฝมายางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....                                    | 62        |
| 3.3.2.1 การขึ้นรูปโฝมายางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....   | 62        |
| 3.3.2.2 การขึ้นรูปโฝมายางธรรมชาติชั้นในของเต้านมทดแทน.....  | 63        |
| 3.3.2.3 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ปั่นโฝมายางธรรมชาติ.....  | 64        |
| 3.3.2.4 การศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....  | 65        |
| 3.3.2.5 การศึกษาการขึ้นรูปเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน.....   | 67        |
| 3.3.3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลอง<br>ฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....                                | 67        |
| การศึกษาหน้าหน้าที่เหมาะสมของเต้านมทดแทน 3.3.4  |           |
| จากโฝมายางธรรมชาติ.....   | 67        |
| 3.3.4.1 เต้านมทดแทนจากโฝมายางธรรมชาติ<br>ที่เคลือบผิวยางซิลิโคน.....                                      | 68        |
| 3.3.4.2 เต้านมทดแทนจากโฝมายางธรรมชาติ<br>ที่ไม่เคลือบผิวยางซิลิโคน.....                                   | 68        |
| 3.3.5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทน.....  | 68        |
| 3.4 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน.....   | 68        |
| 3.4.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....  | 68        |
| 3.4.2 ส่วนที่เป็นชิ้นใน.....  | 70        |

สารบัญ (ต่อ)

|   | หน้า       |
|---|------------|
| <b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>   | <b>72</b>  |
| 4.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน.....  | 72         |
| 4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน.....   | 72         |
| 4.1.2 การศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของผิวซิลิโคนเคลือบผ้า<br>เพื่อเสริมแรงเคลือบผ้าเพื่อเสริมแรง..... | 75         |
| 4.1.3 การศึกษาการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์.....  | 79         |
| 4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลีเมอร์ยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....                           | 79         |
| 4.2.1 ศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นอิมัลชันไฟเออร์.....                                    | 79         |
| ทดสอบความพึงพอใจต่อแบบจำลอง 4.3 ผักตรวจมะเร็งเต้านม<br>จากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน..... | 83         |
| 4.3.1 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลอง<br>ผักตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....             | 83         |
| 4.3.2 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลอง<br>ผักตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....                    | 87         |
| 4.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติ.....                             | 90         |
| 4.4.1 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติที่เคลือบผิวซิลิโคน.....                                    | 91         |
| 4.4.2 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน.....                                 | 92         |
| 4.5 ทดสอบความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทนโดยผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา.....                           | 96         |
| 4.5.1 ทดสอบความพึงพอใจก่อนการใช้งานเต้านมทดแทน<br>จากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติ.....                      | 96         |
| 4.5.2 ทดสอบความพึงพอใจหลังการใช้งานเต้านมทดแทน<br>จากโพลีเมอร์ยางธรรมชาติ.....                      | 104        |
| 4.6 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์.....                                       | 111        |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>   | <b>114</b> |
| 5.1 สรุปผลงานวิจัย.....   | 114        |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 115        |
| <b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย.....</b>   | <b>116</b> |
| เอกสารอ้างอิง.....  | 118        |
| ภาคผนวก.....  | 123        |
| ภาคผนวก ก.....  | 124        |
| ภาคผนวก ข.....  | 133        |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 136        |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 ตัวอย่างแบบจำลองเต้านมเทียมสำหรับฝึกตรวจมะเร็งเร็งที่นำเข้าจากต่างประเทศ.....  | 3    |
| 2.1 ยางซิลิโคนชนิดต่าง ๆ.....  | 31   |
| 2.2 การแบ่งชนิดของเส้นใย.....  | 38   |
| 2.3 ขนาดความละเอียดของเส้นใยธรรมชาติ.....  | 39   |
| 2.4 สูตรทางเคมีอย่างง่ายของหน่วยซ้ำในเส้นใยชนิดต่าง ๆ.....   | 45   |
| 3.1 สมบัติบางประการของยางซิลิโคน.....  | 54   |
| 3.2 สมบัติทางกายภาพของผ้าขาวบาง.....   | 55   |
| 3.3 สมบัติทางกายภาพของผ้าดิบ.....  | 55   |
| 3.4 สมบัติทางกายภาพของผ้าไนลอน.....  | 56   |
| 3.5 ความแข็งแรงของผ้าต่อแรงดึง.....  | 56   |
| 3.6 ปริมาณยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคน.....   | 59   |
| 3.7 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ.....   | 62   |
| 3.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารตัวเติม.....   | 68   |
| 4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน.....                              | 80   |
| 4.2 น้ำหนักของเต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน.....   | 92   |
| 4.3 น้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนที่มีการเพิ่มน้ำหนักโดยใช้สารตัวเติม $TiO_2/CaCO_3$ ในอัตราส่วนต่าง ๆ.....    | 95   |
| 4.4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน 1 ชิ้น ณ เดือน เมษายน 2560.....            | 111  |
| 4.5 ตัวอย่างราคาต้นทุนวัตถุดิบของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ 1 ชิ้น (คัพ A).....  | 112  |
| 4.6 การประเมินราคาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติและเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติเทียบกับราคาเชิงพาณิชย์.....        | 113  |
| ข.1 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง.....   | 133  |
| ข.2 ปริมาณน้ำหนักเปียกของน้ำยางและสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปเต้านมทดแทนสูตรการใช้สารตัวเติม $TiO_2/CaCO_3$ อัตราส่วนที่ต่างกัน..... | 135  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 1.1 ผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ วันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2560.....                                 | 2    |
| 1.2 อัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี เมื่อตรวจพบก้อนมะเร็ง.....  | 2    |
| 1.3 แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ และเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ.....  | 4    |
| 1.4 ผิวยางซิลิโคนที่เกิดการฉีกขาดจากการใช้งานจริงของแบบจำลอง ฝีกตรวจมะเร็งเต้านมปีการศึกษา 2558.....                                | 5    |
| 1.5 ภาพการประเมินความพึงพอใจเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ 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).....  | 10   |
| 2.4 มะเร็งระยะที่ 2.....  | 11   |
| 2.5 มะเร็งระยะที่ 3A.....   | 11   |
| 2.6 มะเร็งระยะที่ 3B.....   | 12   |
| 2.7 มะเร็งระยะที่ 3C.....   | 12   |
| 2.8 มะเร็งระยะที่ 4.....  | 13   |
| 2.9 ลักษณะรูปทรงของก้อนมะเร็งเต้านมจากเครื่องแมมโมแกรม.....   | 13   |
| 2.10 ลักษณะของต่อมน้ำเหลือง.....  | 14   |
| 2.11 การตรวจเต้านมด้วยทำนียบล้อยแขนสองข้างอยู่ข้างลำตัว.....  | 15   |
| 2.12 การตรวจเต้านมด้วยทำนียบนัยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ.....   | 15   |
| 2.13 การตรวจเต้านมด้วยทำนียบตรงเท้าสะเอวแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า.....  | 16   |
| 2.14 การคลำตรวจเต้านมด้วยทำนียบนัยกแขนข้างเดียวที่จะตรวจชั้นเหนือศีรษะ.....   | 16   |
| 2.15 การคลำตรวจเต้านมด้วยทำนียบ.....  | 16   |
| 2.16 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบก้นหอย.....  | 17   |
| 2.17 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย.....   | 17   |
| 2.18 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง.....   | 17   |
| 2.19 ตัวอย่างแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ (a) ผลิตจากซิลิโคน และ (b) ผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC).....              | 18   |
| 2.20 แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ.....  | 18   |
| 2.21 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....  | 20   |
| 2.22 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ.....   | 22   |
| 2.23 ลักษณะผิวโคมยางธรรมชาติที่เรียบและลักษณะเนื้อเยื่อเป็นรูพรุน.....  | 22   |
| 2.24 สูตรโครงสร้างของ ZDEC.....   | 26   |
| 2.25 สูตรโครงสร้างของ ZMBT.....   | 26   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 2.26 สูตรโครงสร้างของ DPG.....  | 27   |
| 2.27 สูตรโครงสร้างของโพแทสเซียมโพลิเอต.....   | 28   |
| 2.28 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน.....  | 30   |
| 2.29 สูตรโครงสร้างของน้ำมันซิลิโคน.....   | 32   |
| 2.30 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....  | 33   |
| 2.31 สูตรโครงสร้างของ (a) Dialkyl peroxide และ (b) Peroxyketals.....  | 33   |
| 2.32 สูตรโครงสร้างของ Benzoyl peroxide.....   | 34   |
| 2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงของยาว<br>กับสมบัติเชิงกลบางประการของยาง.....   | 35   |
| 2.34 ผ้าทอที่ประกอบด้วยด้ายและเส้นใย.....   | 36   |
| 2.35 รูปแบบโครงสร้างของผ้าทอ (a) โครงสร้างผ้าทอลายขัด<br>และ (b) โครงสร้างผ้าทอลายสอง.....  | 36   |
| 2.36 รูปแบบโครงสร้างของผ้าถัก (a) โครงสร้างผ้าถักด้ายพุ่ง<br>และ (b) โครงสร้างผ้าถักด้ายยืน.....  | 37   |
| 2.37 รูปทรงตามขวางและสภาพผิวของเส้นใยต่าง ๆ.....  | 40   |
| 2.38 ตัวอย่างของกราฟระหว่างการดึงกับการยืด.....   | 41   |
| 2.39 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....  | 42   |
| 2.40 ภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย.....   | 43   |
| 2.41 ภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย.....  | 44   |
| 2.42 การสังเคราะห์ไนลอน 6,6.....  | 47   |
| 2.43 การสังเคราะห์ไนลอน 6.....  | 47   |
| 2.44 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้กรดเทเรพทาสิกกับเอทิลีนไกลคอลในการผลิต PET.....  | 49   |
| 3.1 ชนิดของผ้าที่ใช้เพิ่มความแข็งแรงชั้นผิวเคลือบซิลิโคน (a) ผ้าขาวบาง<br>(b) ผ้าดิบ และ(c) ผ้าไนลอน.....   | 56   |
| 3.2 แผนผังการดำเนินงาน.....   | 58   |
| 3.3 การเตรียมยางซิลิโคน (a) เทยางซิลิโคนที่ทำการผสมสูตรเรียบร้อยแล้ว<br>ลงบนแม่พิมพ์อะลูมิเนียม และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป.....   | 59   |
| 3.4 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบซิลิโคนเพื่อหาปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม.....  | 60   |
| 3.5 การเตรียมยางซิลิโคนแบบใส่ผ้า (a) การวางผ้าลงบนสารผสมระหว่างยางซิลิโคน<br>น้ำมันซิลิโคนและสารเชื่อมโยง และ (b) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป.....                                   | 61   |
| 3.6 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบซิลิโคนที่มีการเสริม<br>ความแข็งแรงด้วยผ้าแต่ละชนิด.....  | 61   |
| 3.7 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน<br>(a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง, (b) เทโพลียเอทิลีนพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ<br>และ (c) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป..... | 63   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 3.8 แผนผังการเตรียมโม่ยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง.....   | 64   |
| 3.9 (a) กราฟระยะเวลาที่โม่ยางธรรมชาติมีน้ำหนักคงที่<br>และ (b) ลักษณะชิ้นงานโม่ยางธรรมชาติที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์..... | 64   |
| 3.10 การเตรียมโม่ยางธรรมชาติที่ระดับความเร็วที่ต่างกันเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ.....   | 65   |
| 3.11 การจัดเรียงชิ้นงานขณะทดสอบการแพร่ออกของน้ำมันซีลีโคน.....  | 66   |
| 3.12 ชิ้นงานทดสอบถูกกดทับด้วยชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด.....  | 66   |
| 3.13 การขึ้นรูปแผ่นมทดแทนแบบเคลือบผิวซีลีโคน.....   | 67   |
| 3.14 การจัดเรียงชิ้นงานขณะทดสอบการแพร่ออกของน้ำมันซีลีโคน.....  | 69   |
| 3.15 ชิ้นงานทดสอบถูกกดทับด้วยชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด.....  | 70   |
| 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของซีลีโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....   | 73   |
| 4.2 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของซีลีโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....  | 73   |
| 4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซีลีโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....   | 74   |
| 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของซีลีโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....  | 74   |
| 4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซีลีโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....   | 75   |
| 4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งของซีลีโคนและซีลีโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ<br>เทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....                    | 76   |
| 4.7 กราฟแสดงค่ามอดูลัสของซีลีโคนและซีลีโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ<br>เทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....                     | 76   |
| 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซีลีโคนและซีลีโคนเสริมแรง<br>ด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....             | 77   |
| 4.9 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของซีลีโคนและซีลีโคนเสริมแรง<br>ด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....       | 78   |
| 4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซีลีโคน<br>และซีลีโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซีลีโคน.....         | 78   |
| 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซอร์.....  | 79   |
| 4.12 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโม่ยางธรรมชาติเทียบกับ<br>ความเร็วในการปั่นกวน.....   | 81   |
| 4.13 กราฟแสดงค่าความแข็งของโม่ยางธรรมชาติเทียบกับ<br>ความเร็วในการปั่นกวน.....  | 81   |
| 4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโม่ยางธรรมชาติเทียบกับ<br>ความเร็วในการปั่นกวน.....                   | 82   |
| 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโม่ยางธรรมชาติเทียบกับ<br>ความเร็วในการปั่นกวน.....                                   | 82   |
| 4.16 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซีลีโคน<br>ที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....                                 | 83   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.17 กราฟจำแนกบุคลากรทางการแพทย์ที่ประเมินความพึงพอใจต่อ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม.....                                    | 84   |
| 4.18 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจ<br>มะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....              | 84   |
| 4.19 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก<br>โดยบุคลากรทางการแพทย์.....                                      | 85   |
| 4.20 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....       | 85   |
| 4.21 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม<br>ของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์..... | 86   |
| 4.22 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของแบบจำลอง<br>ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....                    | 86   |
| 4.23 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง<br>ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์.....                 | 87   |
| 4.24 กราฟจำนวนบุคคลทั่วไปที่ทำการประเมินความพึงพอใจต่อ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม.....                                      | 87   |
| 4.25 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....                     | 88   |
| 4.26 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....               | 88   |
| 4.27 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของ<br>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....              | 89   |
| 4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม<br>ของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....        | 89   |
| 4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจ<br>มะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....                              | 90   |
| 4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง<br>ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป.....                        | 90   |
| 4.31 ตัวอย่างเต้านมทดแทน ขนาดคัพ A B C และ D.....   | 91   |
| 4.32 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมที่ได้จากการทดลองและน้ำหนักมาตรฐาน<br>ของเต้านมเทียบกับขนาดคัพ.....                                | 91   |
| 4.33 กราฟแสดงน้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ SiO <sub>2</sub> .....  | 92   |
| 4.34 กราฟแสดงน้ำหนักของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณ CaCO <sub>3</sub> .....   | 93   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.35 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆเทียบกับปริมาณ<br>TiO <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....                                     | 93   |
| 4.36 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆเทียบกับปริมาณ<br>TiO <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....                              | 94   |
| 4.37 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชนิดต่างๆในแต่ละขนาดคัพ<br>เทียบกับปริมาณระหว่าง TiO <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน..... | 95   |
| 4.38 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆเทียบกับ TiO <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub><br>ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน.....                                       | 96   |
| 4.39 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....   | 96   |
| 4.40 กราฟจำแนกผู้ป่วยที่ทำการประเมินเต้านมทดแทน.....   | 97   |
| 4.41 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทน<br>แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 97   |
| 4.42 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านม<br>ทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 98   |
| 4.43 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทน<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....   | 98   |
| 4.44 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านม<br>ทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....   | 99   |
| 4.45 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม<br>ทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....   | 99   |
| 4.46 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม<br>ของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....                                       | 100  |
| 4.47 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม<br>ทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 100  |
| 4.48 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม<br>ของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 101  |
| 4.49 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของเต้านมทดแทน<br>แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 101  |
| 4.50 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทน<br>แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....   | 102  |
| 4.51 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานเต้านมทดแทน<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 102  |
| 4.52 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทน<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....  | 103  |
| 4.53 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักเต้านมทดแทน.....  | 103  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

| ภาพที่  | หน้า |
|---|------|
| 4.54 กราฟจำแนกผู้ป่วยที่ทำการประเมินด้านมทดแทนหลังใช้งาน.....   | 104  |
| 4.55 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบ<br>ไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                                  | 104  |
| 4.56 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทน<br>แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                            | 105  |
| 4.57 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบ<br>เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                                     | 105  |
| 4.58 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทน<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                               | 106  |
| 4.59 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านมทดแทน<br>แบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                           | 106  |
| 4.60 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม<br>ทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                     | 107  |
| 4.61 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านมทดแทน<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                              | 107  |
| 4.62 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านม<br>ทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                           | 108  |
| 4.63 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบ<br>ผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....  | 108  |
| 4.64 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบไม่<br>เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....                                     | 109  |
| 4.65 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิว<br>ซิลิโคนโดยผู้ป่วย.....   | 109  |
| 4.66 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบเคลือบ<br>ผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน.....  | 110  |
| 4.67 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักเต้านมทดแทนหลังการใช้งาน.....  | 110  |
| 6.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย ได้แก่ แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน<br>เคลือบผิวซิลิโคนแบบแขวนคอและแบบตั้งโต๊ะ และเต้านมเทียม (เต้านมทดแทน)..... | 116  |
| 6.2 การนำเสนอผลงานวิจัยในงานวันวิทยาศาสตร์ ระหว่างวันที่ 28-29 สิงหาคม พ.ศ. 2560<br>ณ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ....  | 117  |
| ก.1 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม<br>จากโพลียเอทิลีน.....  | 125  |
| ก.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน.....  | 129  |
| ก.3 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม<br>ของบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป.....  | 131  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ก.4 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทนชนิดเคลือบผิวและไม่เคลือบผิว  
ของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา..... 132
- ข.1 การเตรียมก่อนมะเร็ง (1) ใช้วาสลินทาแม่พิมพ์ก่อนมะเร็ง (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์  
และ (3) แบบจำลองก่อนมะเร็ง.....133
- ข.2 การเตรียมซีสต์และก้อนเนื้อ (1) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุงมือยาง  
(2) ลัดถุงมือด้วยหนังยาง และ (3) แบบจำลองซีสต์และก้อนเนื้อ..... 134
- ข.3 การเตรียมเม็ดต่อมน้ำเหลือง (1) ประคบแม่พิมพ์และใช้ยางรัดแม่พิมพ์  
ต่อมน้ำเหลืองหลังจากที่ทำการทาวาสลินที่แม่พิมพ์แล้ว (2) เทยางซิลิโคน  
เข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองต่อมน้ำเหลือง..... 134



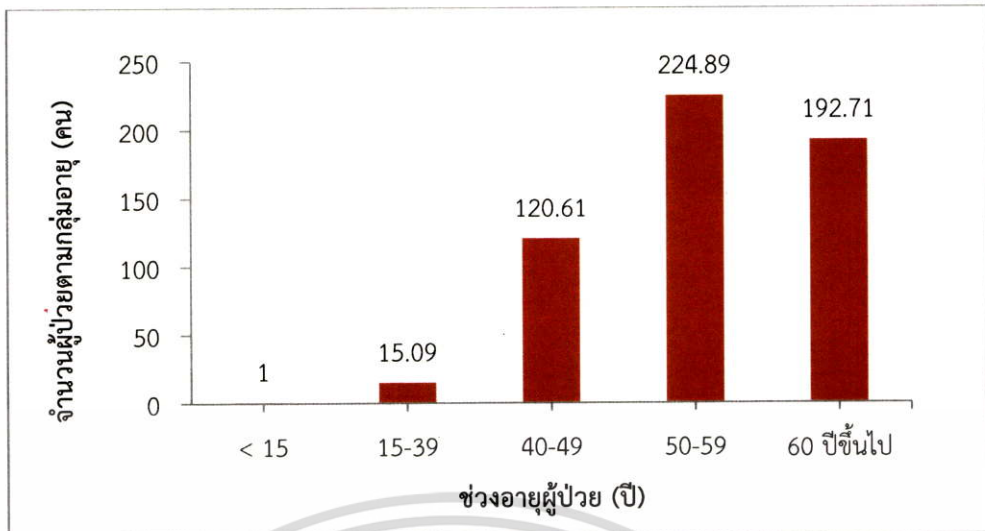
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

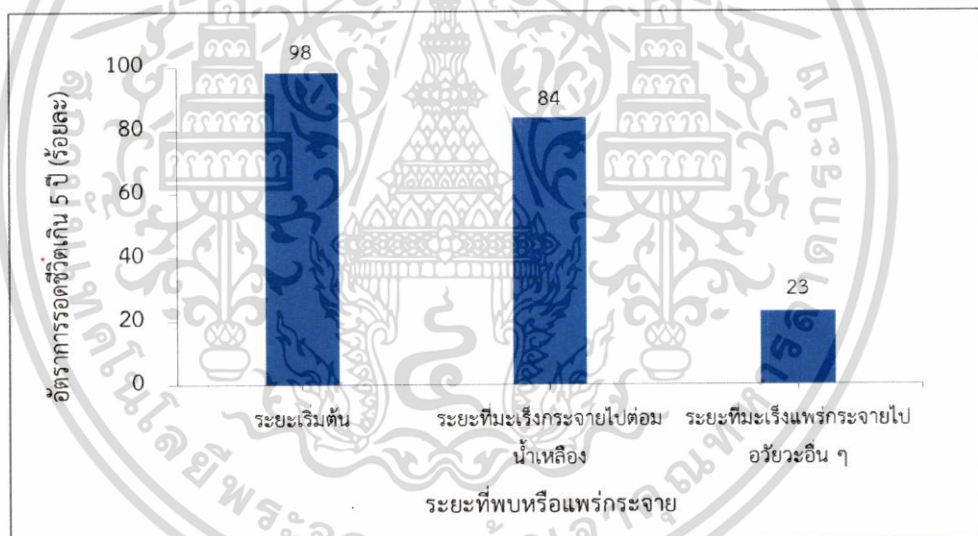
### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรคมะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบได้บ่อยและพบมากที่สุดในผู้หญิง เกิดจากเนื้อเยื่อของเต้านมมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์มะเร็งที่อาจเกิดกับท่อน้ำนมหรือเกิดกับต่อมน้ำนม จากสถิติของสถาบันมะเร็งแห่งชาติพบว่าผู้หญิงเป็นโรคมะเร็งเต้านมร้อยละ 37 ของโรคมะเร็งทั้งหมด และยังมีอัตราการเสียชีวิตเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด [1] มะเร็งเต้านมกำลังเป็นปัญหาสาธารณสุขที่สำคัญโรคหนึ่งของประเทศไทย เมื่อมีอายุมากขึ้นความเสี่ยงยิ่งเพิ่มขึ้น จากผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ เดือนกุมภาพันธ์ 2560 พบว่ามีจำนวนผู้ป่วยจะเป็นโรคมะเร็งมากสุดในช่วงอายุ 50-59 ปี [2] แสดงดังภาพที่ 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] แสดงดังภาพที่ 1.2 หากปล่อยทิ้งไว้ไม่ทำการรักษาโรคมะเร็งเต้านมจะไม่สามารถหายไปเอง แต่จะทำให้มีอาการรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ และแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่น ๆ นำไปสู่การเสียชีวิต ซึ่งการตรวจเต้านมอยู่เป็นประจำจะสามารถทำให้ตรวจพบความผิดปกติได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้น การตรวจสามารถทำได้โดยใช้แบบแมมโมแกรม (Mammogram) การตรวจโดยแพทย์หรือพยาบาล และการตรวจด้วยตนเอง เมื่อพบความผิดปกติจะทำให้มาพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยและทำการรักษาได้ทัน ซึ่งผู้ป่วยมะเร็งเต้านมส่วนใหญ่มาพบแพทย์ด้วยเรื่องก้อนที่เต้านมถึง 80-90% ของผู้ป่วยที่ตรวจพบเอง [4] สำหรับการรักษาโรคมะเร็งเต้านมมีหลายวิธี ขึ้นกับราย ละเอียดของโรคในผู้ป่วยแต่ละรายและความต้องการของผู้ป่วยเอง เช่น การผ่าตัดเต้านมออกทั้งหมด (Modified radical mastectomy : MRM) การผ่าตัดเต้านมออกบางส่วน (Partial mastectomy) ร่วมกับการฉายแสง (Breast conservation therapy : BCT) หรือการให้เคมีบำบัด (Chemotherapy) [5]



ภาพที่ 1.1 ผลสำรวจจำนวนหญิงไทยที่ป่วยเป็นมะเร็งเต้านมต่อประชากร 100,000 คน ณ เดือน กุมภาพันธ์ 2560

ที่มา : [Hdcservice.moph.go.th, 2560]



ภาพที่ 1.2 อัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี เมื่อตรวจพบก้อนมะเร็ง





ที่มา : [Siamhealth, 2560]

การฝึกตรวจเต้านมด้วยตนเองนอกจากจะเพิ่มโอกาสในการตรวจพบก้อนมะเร็งและเพิ่มโอกาสในการรักษาให้หายขาดได้มากขึ้นแล้ว ยังเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สะดวกและปลอดภัยสำหรับผู้ตรวจ อย่างไรก็ตาม การตรวจเต้านมด้วยตนเองจะเกิดประโยชน์ต่อเมื่อผู้ตรวจทราบวิธีการตรวจที่ถูกต้องจากการสาธิตหรือการฝึกปฏิบัติ ในปัจจุบันจึงได้มีการวิจัยและพัฒนาออกแบบแบบจำลองเต้านมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับเต้านมจริงขึ้นมา โดยมีทั้งแบบที่ฝังก้อนมะเร็งจำลองไว้ภายในหรือที่ไม่มีการฝังก้อนมะเร็งจำลอง เพื่อนำมาใช้สำหรับการฝึกตรวจมะเร็งเต้านมด้วยตนเอง หรือใช้เป็นสื่อการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอนการตรวจหาก้อนมะเร็งในเต้านม 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 เป็นผลมาจากผลผลิตยางพาราของไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากการที่ประเทศไทยมีการขยายพื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้น 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] จากปัญหาราคายางตกต่ำดังกล่าวทำให้มีส่งเสริมการแปรรูปผลผลิตจากยางพารามากขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพารา ในปี 2557 ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ทำงานวิจัยโครงการพิเศษร่วมกับโรงพยาบาลรามาริบัติ เรื่อง “การศึกษาแบบจำลองยางฟีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทรีน” [12] และมีการพัฒนาต่อเนื่องมาในปี 2558 โดยมีการทำเป็นแบบจำลองโพลียเอทรีนจากน้ำยางธรรมชาติที่มีการฝังก้อนซิลิโคนที่มีลักษณะเหมือนก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์ และก้อนมะเร็งไว้ในตำแหน่งที่สามารถตรวจพบในเต้านมได้ ในขั้นตอนสุดท้ายมีการเคลือบผิวโพลียเอทรีนด้วยความสวยงามและมีความคล้ายคลึงเต้านมจริงอีกด้วย [13] ดังภาพที่ 1.3 โดยแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำมาใช้เพื่อฝึกตรวจเต้านมได้ด้วยตนเอง รวมถึงบุคลากรทางการแพทย์หรือสาธารณสุขสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นสื่อการสอนและเผยแพร่วิธีการตรวจหามะเร็งเต้านมได้ เพื่อเป็นการคัดกรองโรคในเบื้องต้น

โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อเนื่องมาจากโครงการพิเศษปี 2558 ดังกล่าวข้างต้น เรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองยางฟีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทรีนเคลือบผิวซิลิโคน” เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบปัญหาเรื่องผิวยางซิลิโคนสำหรับเคลือบโพลียเอทรีน ซึ่งพื้นผิวชั้นนอกของแบบจำลองไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการฉีกขาดเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยเฉพาะกรณีผู้ใช้ไม่ใช้แบบจำลองอย่างระมัดระวัง ดังภาพที่ 1.4 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคนให้มีความทนต่อการฉีกขาดมากขึ้น โดยเน้นพัฒนาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของผิวเคลือบซิลิโคน ได้แก่ ปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ และน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมแรงให้กับผิวซิลิโคน และทำการขึ้นรูปแบบจำลองยางฟีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทรีนให้มีความทนต่อการใช้งานมากขึ้น นอกจากนี้ยังทำการ “เพิ่มต่อมน้ำเหลืองจำลอง” บริเวณรักแร้ซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถตรวจพบในแบบจำลองให้มีความหลากหลายของก้อนเนื้อแต่ละชนิดเพื่อความเสมือนจริงในระยะของโรคมากยิ่งขึ้น และกลุ่มวิจัยนี้ได้ทำการนำโพลียเอทรีนมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนที่มีทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคนและไม่เคลือบผิวซิลิโคนสำหรับผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา เพื่อเพิ่มความมั่นใจให้กับผู้ป่วยมากยิ่งขึ้น จากการนำเต้านมทดแทนไปสำรวจความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมพบว่า ผู้ป่วยมีความต้องการเต้านมทดแทนทั้งสองแบบ และมีข้อเสนอแนะว่า เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักมากเกินไป และเต้านมทดแทนที่ไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเบาเกินไป ดังภาพที่ 1.5 จึงได้ทำการพัฒนาน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทรีน โดยทำการศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทรีน เพื่อให้ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมหลังการรักษา



ภาพที่ 1.3 แบบจำลองยางฟีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทรีนและเต้านมทดแทนจากโพลียเอทรีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.4 ผิวยางซิลิโคนที่เกิดการฉีกขาดจากการใช้งานจริงของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมปีการศึกษา 2558



ภาพที่ 1.5 ภาพการประเมินความพึงพอใจเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติจากกลุ่มผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมในการทดลองเบื้องต้นเพื่อกำหนดโจทย์วิจัย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) พัฒนาสมบัติการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน โดยการพัฒนาความแข็งแรงของผิวซิลิโคนให้ทนต่อแรงฉีกขาดมากยิ่งขึ้น และพัฒนาความแข็งแรงของโคมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับการนำมาทำแบบจำลอง

2) พัฒนาเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติให้มีน้ำหนักที่ความเหมาะสม ตามความต้องการของผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของผิวซิลิโคนของแบบจำลองโดยการเพิ่มชั้นผ้าได้แก่ ผ้าขาวบาง ผ้ามืด และผ้าไนลอน

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

4) ศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคนโดยใช้แบบจำลองใหม่ที่มีการเพิ่มต่อมน้ำเหลืองจำลอง

5) ศึกษาปริมาณของสารตัวเติม เช่น ซิลิกา แคลเซียมคาร์บอเนตและไทเทเนียมไดออกไซด์ เพื่อเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม

6) ศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนแบบเคลือบผิวซิลิโคน โดยการลดปริมาณชั้นผิวเคลือบและเสริมความแข็งแรงผิวซิลิโคนด้วยผ้า

7) เก็บข้อมูลแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคนและเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีน

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ผิวซิลิโคนที่มีความแข็งแรงและมีความคงทนในการใช้งานจริง
- 2) สามารถผลิตแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคนตามความต้องการของผู้ใช้งานจริง และมีความเป็นไปได้ในการผลิตจำหน่ายเชิงพาณิชย์
- 3) ได้เต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนที่มีน้ำหนักที่เหมาะสม ตรงตามความต้องการของผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านม

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

#### 2.1 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม [15]

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

##### 2.1.1 ชนิดก้อนเนื้อในเต้านม

1. ไฟโบรซิสติก (Fibrocystic changes, FCC) ซึ่งพบได้ประมาณ 40% ของก้อนเนื้อในเต้านมทั้งหมด
2. ไฟโบรอะดีโนมา (Fibroadenoma) พบได้ประมาณ 7-10%
3. ก้อนเนื้ออื่น ๆ ที่ไม่ใช่มะเร็งพบรวมกันได้ประมาณ 13-20% ที่พบได้บ่อยในกลุ่มนี้คือ ถุงน้ำ ก้อนไขมัน (Lipoma) เนื้องอกชนิด Phyllodes เนื้องอกชนิดที่เซลล์มีการเจริญเกินปกติ (Hyperplasia) เนื้องอกในต่อมน้ำนมและเนื้องอกชนิด Adenosis
4. เนื้องอกมะเร็งหรือโรคมะเร็งเต้านม พบได้ประมาณ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.2 สาเหตุ ลักษณะและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม

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

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

3. เซลล์ไขมันในเต้านมถูกทำลาย (Fat necrosis) พบได้ภายหลังจากเต้านมถูกกระแทกจากการผ่าตัดเต้านมหรือการฉายรังสีรักษาบริเวณเต้านม เมื่อสังเกตจะพบว่าผิวหนังด้านบนซ้ำเลือดซ้ำ-หนองเป็นผลจากเซลล์ไขมันในเต้านมตาย เกิดเป็นพังผืดและ/หรือเป็นถุงน้ำชนิดภายในเป็นน้ำมัน จึงเกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น มีลักษณะค่อนข้างกลมไม่แข็ง เคลื่อนที่ได้บ้างเล็กน้อย อาจเจ็บหรือไม่เจ็บ อาการนี้อาจหายไปได้เองหรือทำการผ่าตัดเอาออก และจะไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม

4. ถุงน้ำ/ซิสต์ เป็นชนิดที่ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด เชื่อว่าสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิง เพราะเกิดร่วมกับก้อนเนื้อไฟโบรซิสติก พบในวัยเจริญพันธุ์และถุงน้ำจะยุบหายไปภายหลังวัยหมดประจำเดือน ก้อนเนื้อนี้มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือรูปไข่อาจเจ็บหรือไม่ก็ได้ เคลื่อนที่ได้ แข็งคล้ายกับลูกโป่งที่ใส่น้ำมีได้ทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่หลายเซนติเมตร โดยทั่วไปถุงน้ำไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง ยกเว้นส่วนน้อยมากที่เซลล์ผนังถุงน้ำเกิดการเจริญเปลี่ยนแปลง

5. เนื้องอกชนิด Phyllodes ซึ่งพบได้น้อยมาก แต่พบได้ในทุกช่วงอายุและพบได้บ่อยกว่าในช่วงอายุ 30-40 ปี ทั้งนี้สาเหตุที่เกิดขึ้นยังไม่ทราบ อาการและลักษณะก้อนเนื้อนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับก้อนเนื้อไฟโบรติโนมา เนื้องอก Phyllodes จะกลายเป็นมะเร็งได้น้อยประมาณ 5% ของเนื้องอกชนิดนี้ แต่โรคนี้อาจย้อนกลับเป็นซ้ำได้สูงภายหลังการผ่าตัด

6. ก้อนเนื้อไขมัน เป็นก้อนเนื้อที่ยังไม่ทราบสาเหตุที่แน่ชัด แต่เชื่อว่าอาจเกิดจากความผิดปกติทางพันธุกรรม บางชนิดเป็นก้อนเนื้อที่มีลักษณะขอบเขตชัดเจนค่อนข้างกลมและนิ่ม มักไม่เจ็บ (แต่อาจเจ็บได้) เคลื่อนที่ได้ขนาดไม่เปลี่ยนแปลงตามรอบประจำเดือน ไม่กลายเป็นมะเร็งเต้านม แต่มีโอกาสกลายเป็นโรคมะเร็งของเซลล์ไขมันได้ โอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก

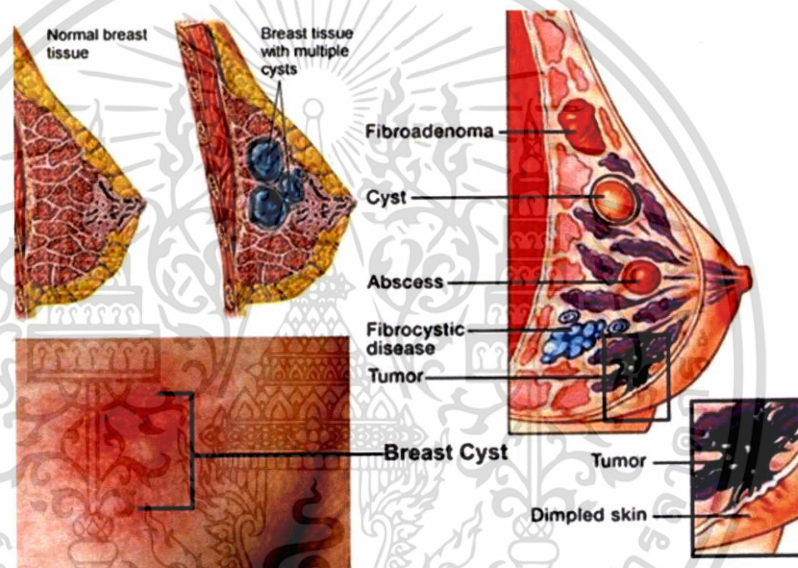
7. เนื้องอกในท่อน้ำนม (Intraductal papilloma) คือเนื้องอกที่เกิดในท่อน้ำนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียวหรืออาจพบได้ทั้งสองข้าง โดยทั่วไปมักตรวจพบก้อนเนื้อไม่ได้ แต่ถ้าก้อนเนื้อโตขึ้นอาจตรวจพบก้อนเนื้อโตอยู่ใต้หัวนมและผู้ป่วยอาจมีน้ำนม น้ำเหลืองหรือน้ำเลือดออกจากหัวนม เนื้องอกชนิดนี้มีโอกาสน้อยมากที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็ง

8. ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของท่อน้ำนม (Duct ectasia) เกิดจากท่อน้ำนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังหนากว่าปกติจึงทำให้สามารถตรวจพบได้ มีลักษณะเป็นก้อนเนื้อไม่แข็งมากอยู่ใต้หัวนม

ห้วนมอาจบวมได้ และอาจมีน้ำสีออกเขียวหรือดำคล้ำออกจากห้วนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม

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

10. ก้อนเนื้อชนิดมีเซลล์เจริญเกินปกติ ก้อนเนื้อชนิดต่าง ๆ ทุกชนิด อาจมีเซลล์เจริญเกินปกติได้ ซึ่งแพทย์ทราบได้จากการตัดชิ้นเนื้อหรือผ่าตัดก้อนเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา ถ้าเกิดมีเซลล์เจริญเกินปกติเกิดขึ้นอาจเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นโรคมะเร็งเต้านม



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของก้อนเนื้อ (Tumor) ก้อนซิสต์ (Cyst) และก้อนมะเร็ง (Cancer) ในเต้านม  
ที่มา : นิตยสารสุขภาพ วัฒนชัย, 2560

## 2.2 โรคมะเร็งเต้านมและอาการของมะเร็งเต้านม [16]

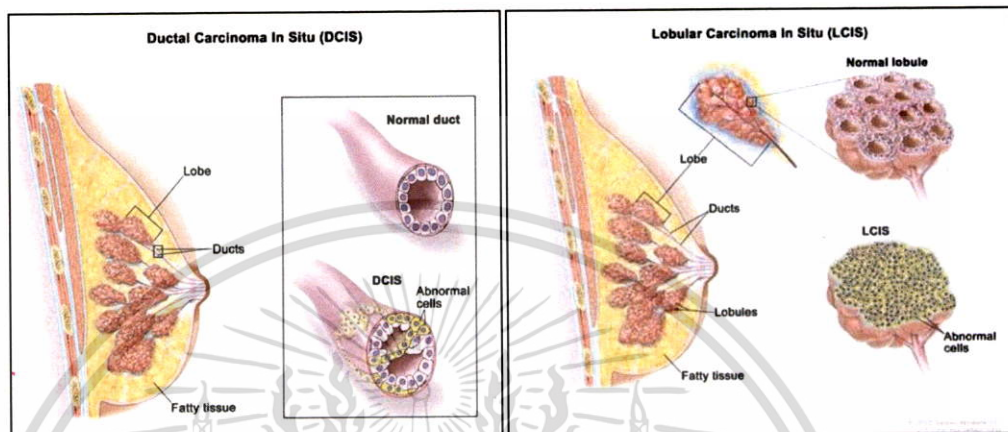
โรคมะเร็งเต้านมเกิดจากเนื้อเยื่อของเต้านมมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเป็นเซลล์มะเร็งในระยะแรกมักมีอาการไม่ชัดเจน ต่อมาผู้ป่วยจะตรวจพบก้อนในเต้านมมักเกิดขึ้นเพียงข้างเดียว (โอกาสที่เกิดทั้งสองข้างมีเพียง 5%) ก้อนที่เป็นมะเร็งเต้านมจะมีลักษณะแข็งและขรุขระ แต่อาจเป็นก้อนเรียบได้ ผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งเต้านมส่วนใหญ่จะไม่มีอาการเจ็บหรือปวด แต่จะมีเพียง 10% ของผู้ป่วยเท่านั้นที่มีอาการปวดเต้านม ส่วนอาการอื่น ๆ ที่อาจพบได้แก่ ห้วนมบวม (จากเดิมที่ปกติ) เต้านมใหญ่ขึ้นหรือรูปร่างของเต้านมผิดปกติไปจากเดิม ผิวหนังที่เต้านมบวมลงไปคล้ายลึกลง มีผื่นแดง ร้อนและขรุขระคล้ายผิวส้ม อาจมีแผลที่ห้วนมและรอบห้วนมหรือมีน้ำเหลือง น้ำเลือดไหลออกจากห้วนม บางรายอาจ ตรวจพบก้อนบริเวณรักแร้ และน่าน ๆ ครั้งอาจพบมะเร็งเต้านมที่มีอาการบวมแดงคล้ายการอักเสบที่เต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.1 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม

โรคมะเร็งเต้านมทั้งในผู้หญิงและผู้ชายแบ่งออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

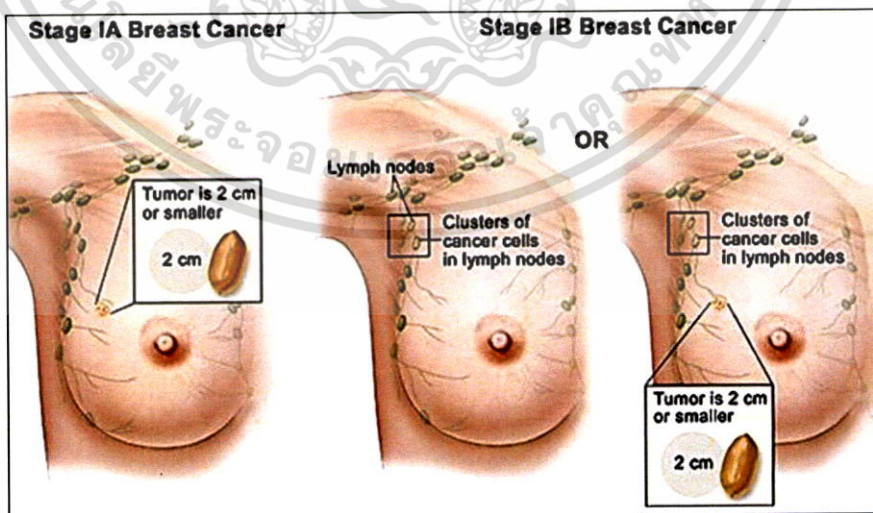
**ระยะที่ 0** คือระยะที่ก้อนมะเร็งยังมีขนาดเล็กและเซลล์มะเร็งยังอยู่เฉพาะในชั้นผิวของเนื้อเยื่อเต้านม ระยะนี้หากรักษาทันทีจะมียุทธการรอดชีวิตเกิน 5 ปี สูงถึง 95-100% (ระยะนี้ยังไม่จัดว่าเป็นโรคมะเร็งอย่างแท้จริง เพราะโรคยังไม่มีการรุกรานใด ๆ)



ภาพที่ 2.2 มะเร็งระยะที่ 0

ที่มา : [Medthai, 2559]

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

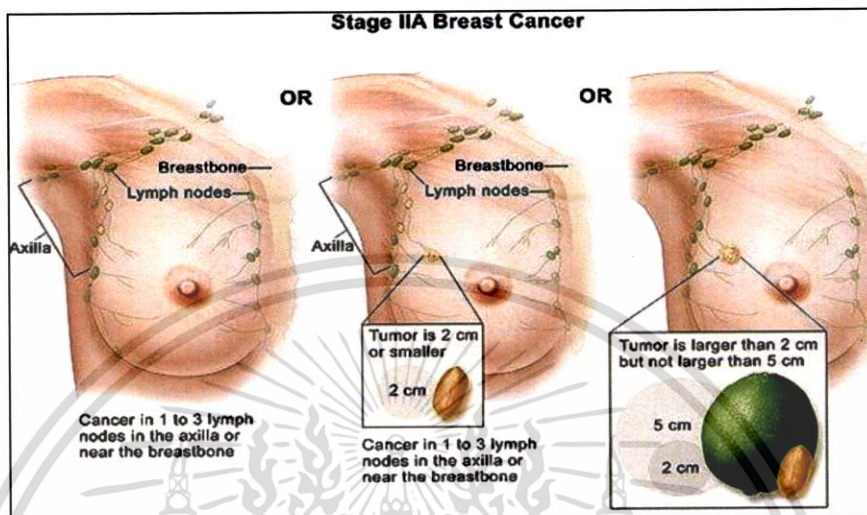


ภาพที่ 2.3 มะเร็งระยะที่ 1 (ระยะที่ 1A-ระยะที่ 2B)

ที่มา : [Medthai, 2559]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

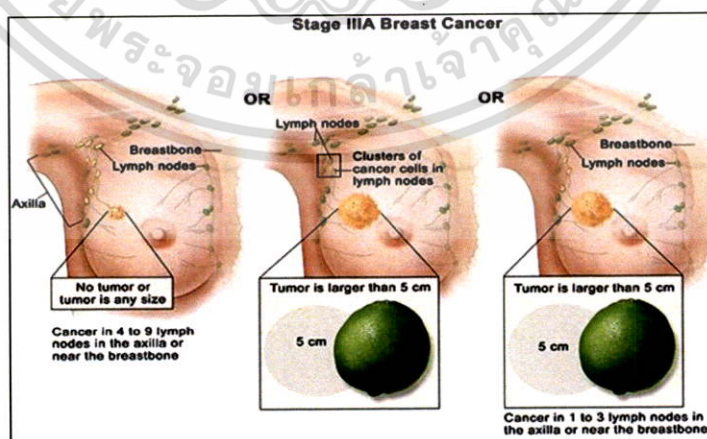


ภาพที่ 2.4 มะเร็งระยะที่ 2

ที่มา : [Medthai, 2559]

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

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

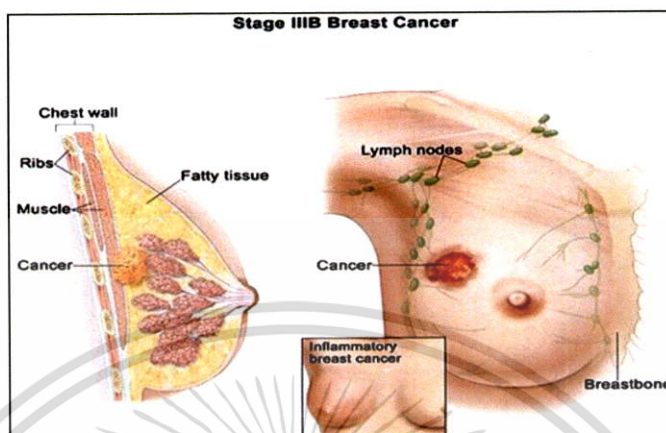


ภาพที่ 2.5 มะเร็งระยะที่ 3A

ที่มา : [Medthai, 2559]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

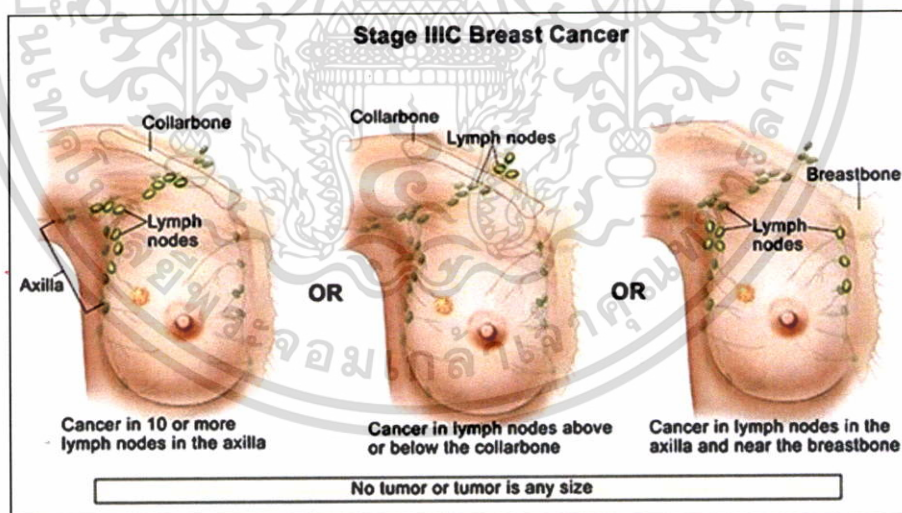
- ระยะเวลาที่ 3B (Stage IIIB) คือระยะที่พบก้อนมะเร็งในเต้านมที่มีขนาดใด ๆ และเกิดการลุกลามไปยังผนังหน้าอกและ/หรือผิวหนังของเต้านมจนก่อให้เกิดอาการบวม และอาจลุกลามไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้หรือต่อมน้ำเหลืองใกล้กับกระดูกหน้าอกถึง 9 ต่อม



ภาพที่ 2.6 มะเร็งระยะที่ 3B

ที่มา : [Medthai, 2559]

- ระยะเวลาที่ 3C (Stage IIIC) คือระยะที่ยังไม่พบก้อนมะเร็งที่เต้านมหรือพบก้อนมะเร็งที่เต้านมขนาดใดก็ตาม มะเร็งเกิดการลุกลามเข้าไปต่อมน้ำเหลืองที่รักแร้มากกว่า 10 ต่อม หรือลุกลามไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่ไหปลาร้าและต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้กับกระดูกหน้าอก

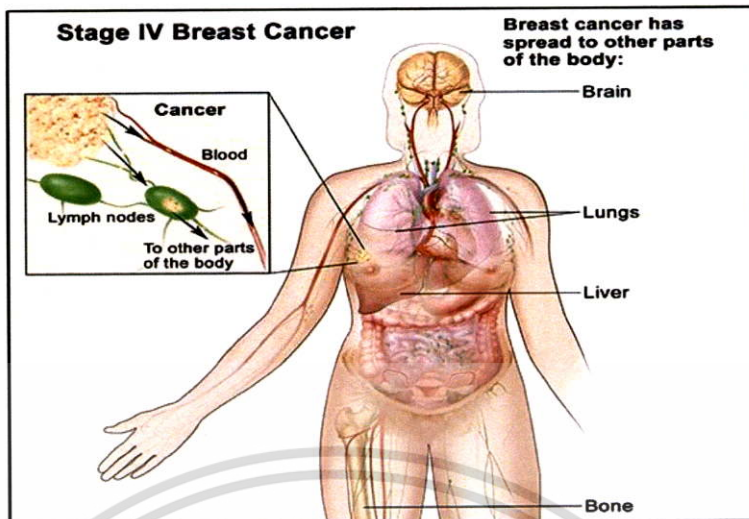


ภาพที่ 2.7 มะเร็งระยะที่ 3C

ที่มา : [Medthai, 2559]

ระยะที่ 4 คือระยะที่มะเร็งได้แพร่กระจายเข้าสู่กระแสเลือดและอวัยวะอื่น ๆ ที่พบได้บ่อยคือปอด สมอง ตับ กระดูกและไขกระดูก ซึ่งระยะนี้มักไม่หายขาด โดยทั่วไปผู้ป่วยจะมีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1-3 ปี ขึ้นอยู่กับอวัยวะที่มีโรคแพร่กระจายมีอัตราการรอดชีวิตเกิน 5 ปี ประมาณ 0-20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 มะเร็งระยะที่ 4  
ที่มา : [Medthai, 2559]

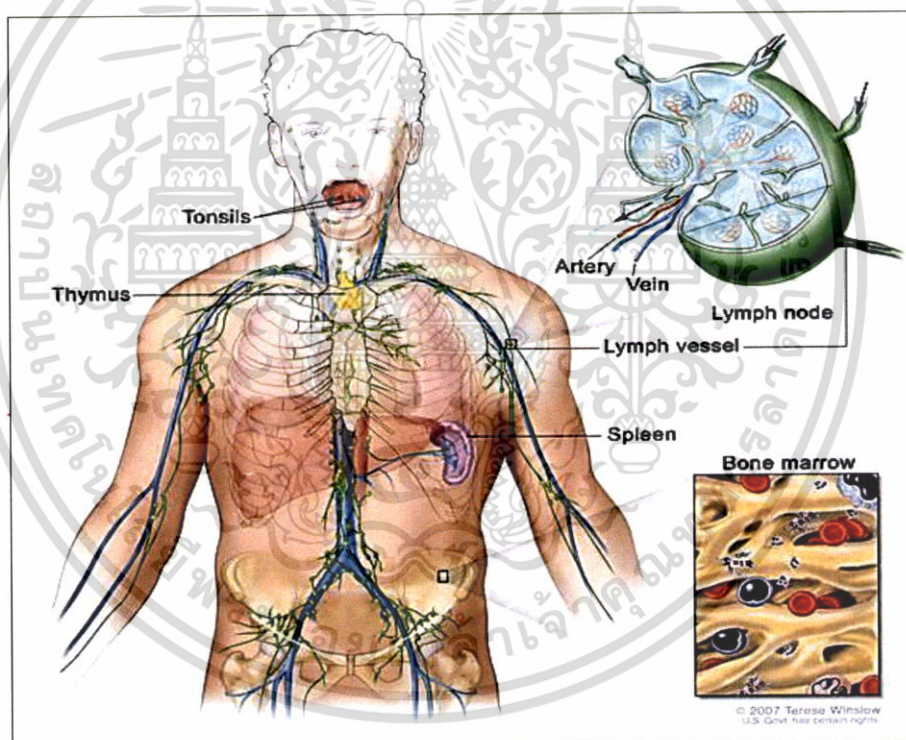


ภาพที่ 2.9 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็งในเต้านมจากเครื่องแมมโมแกรม  
ที่มา : [Thaibreastcancer, 2560]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การแพร่กระจายของมะเร็งเต้านมไปต่อมน้ำเหลือง [18]

ภายในเต้านมนอกจากจะมีเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ แล้ว ยังมีหลอดเลือดและน้ำเหลืองซึ่งจะไปรวมกันยังต่อมน้ำเหลืองที่บริเวณรักแร้ด้วย เมื่อก่อนมะเร็งในเต้านมโตขึ้นและเริ่มลุกลามแพร่กระจายจะเริ่มเข้าสู่ระยะที่สาม มะเร็งจะแพร่กระจายไปตามกระแสเลือดหรือทางเดินน้ำเหลืองเพื่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยอวัยวะส่วนใหญ่ที่มีการแพร่ไปคือ กระดูก ตับ ปอด สมอง ลูกตา และผิวหนังบริเวณหน้าอก และยังทำให้เซลล์มะเร็งแนบติดกับผนังของหลอดเลือดหรือท่อน้ำเหลืองที่เป็นทางแพร่ อีกด้วย เมื่อมะเร็งแพร่ไปต่อมน้ำเหลืองแล้วมักไม่มีการเจ็บร่วมด้วยและเป็นนานกว่า 2-3 สัปดาห์ ขนาดก้อนจะเริ่มใหญ่ขึ้น และไม่ตอบสนองต่อยาปฏิชีวนะทำให้การรักษาเป็นไปได้ยาก การตรวจหาต่อมน้ำเหลืองจะพบได้ยากกว่าซีสตีไดฟ์วินัย เนื่องจากอยู่ลึกในส่วนของชั้นไขมันใต้ผิวหนัง แต่หากตรวจพบก่อนที่ไม่ค่อยชัดเจนบริเวณรักแร้และมีอาการเจ็บบริเวณก้นร่วมด้วยส่วนใหญ่มักเป็นเพียงต่อมน้ำเหลืองอักเสบ สำหรับการตรวจดูการบวมของต่อมน้ำเหลืองคือวางนิ้วลงบนรักแร้และไต่ลงมาประมาณ 2-3 นิ้ว ตรงจุดนี้จะมีต่อมน้ำเหลืองยาวลงไปจนถึงช่วงล่างของรักแร้ใกล้กับผนังทรวงอก โดยต่อมน้ำเหลืองที่บวมมักมีขนาดประมาณเม็ดถั่วลันเตาหรือถั่วรูปไต



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของต่อมน้ำเหลือง

ที่มา : [Cancerfightclub, 2560]

## 2.2.3 การตรวจคัดกรองมะเร็งเต้านม [19]

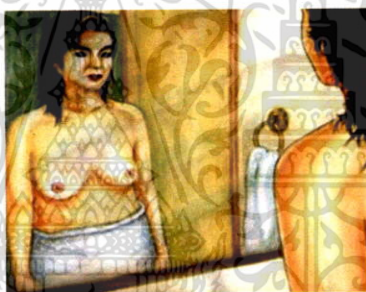
การคัดกรองหรือการค้นหามะเร็งในระยะเริ่มแรกหมายถึง การตรวจหามะเร็งโดยที่ไม่มีอาการของมะเร็ง ถ้ามะเร็งเต้านมมีอาการเกิดขึ้นจะมีการแพร่กระจายแล้ว จึงทำให้การค้นพบมะเร็งเต้านมก่อนที่จะเกิดอาการจึงมีความสำคัญที่จะทำให้มีผลการรักษาที่ดี ดังนั้นการป้องกันที่ดีที่สุดคือการค้นพบให้เร็วที่สุดเพื่อเพิ่มโอกาสในการรักษาให้หายขาด โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ 3 อย่างคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารทสวงนโรสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ทำให้โอกาสในการรักษาให้หายขาดเพิ่มขึ้น แต่มีข้อเสียคือ การตรวจแบบแมมโมแกรมจะทำให้เกิดความไม่สะดวกแก่ผู้ป่วย และเป็น การตรวจด้วยรังสี X-ray ซึ่งในการตรวจแต่ละครั้งปริมาณรังสีที่ได้รับไม่มาก แต่หากต้องการตรวจให้ภาพชัดเจนจะต้องได้รับรังสีมากขึ้น และในกรณีที่ตรวจตั้งแต่อายุน้อยอาจจะทำให้ได้รับรังสีสะสม หรือการตรวจแบบแมมโมแกรมอาจให้ผลผิดไปทำให้ต้องตรวจซ้ำ

#### 2.2.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง [20]

1. ยืนหน้ากระจกเปลือยแขนสองข้างอยู่ข้างลำตัวตามสบาย ดังภาพที่ 2.11 ตรวจดูรูปร่างและขนาดของเต้านมเปรียบเทียบกับกันทั้ง 2 ข้างตรวจดูผิวหนังว่ามีลักษณะผิดปกติใดหรือไม่ ดูหัวนมว่ามีหัวนมบวมหรือมีการดิ่งรั้งหรือไม่



ภาพที่ 2.11 การตรวจเต้านมด้วยทำยืนเปลือยแขนสองข้างอยู่ข้างลำตัว  
ที่มา : [Med.mahidol.ac.th, 2560]

2. เปลี่ยนอิริยาบถโดยยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ ดูในกระจกอีกครั้ง ดังภาพที่ 2.12 จากนั้นเท้าสเอวยืนตรงแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า สังเกตเต้านมทั้ง 2 ข้างในกระจก ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.12 การตรวจเต้านมด้วยทำยืนยกแขนทั้ง 2 ข้างเหนือศีรษะ  
ที่มา : [Med.mahidol.ac.th, 2560]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

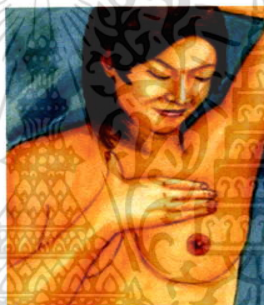


ภาพที่ 2.13 การตรวจเต้านมด้วยท่ายืนตรงเท้าสะเอวแล้วลองก้มตัวไปข้างหน้า

ที่มา : [Med.mahidol.ac.th, 2560]

4. เริ่มคลำเต้านมโดยยกแขนข้างเดียวกับเต้านมข้างที่จะตรวจขึ้นเหนือศีรษะ สามารถตรวจในท่ายืน ดังภาพที่ 2.14 ท่านอน ดังภาพที่ 2.15 สำหรับท่านอนอาจต้องตะแคงตัวตามความเหมาะสม เพื่อให้ตรวจเต้านมได้ง่ายขึ้นบางท่านอาจชอบตรวจขณะอาบน้ำอุ่น

5. ใช้นิ้วชี้ นิ้วกลางและนิ้วนางคลำ โดยใช้แรงกดที่เหมาะสมไม่เบาเกินไปจนไม่สามารถตรวจพบความผิดปกติและไม่ออกแรงมากเกินไปจนรู้สึกเจ็บเต้านม คลำทั่วเต้านมไปจนถึงบริเวณรักแร้



ภาพที่ 2.14 การคลำตรวจเต้านมด้วยท่ายืนยกแขนข้างเดียวที่จะตรวจขึ้นเหนือศีรษะ

ที่มา : [Med.mahidol.ac.th, 2560]



ภาพที่ 2.15 การคลำตรวจเต้านมด้วยท่านอน

ที่มา : [Med.mahidol.ac.th, 2560]

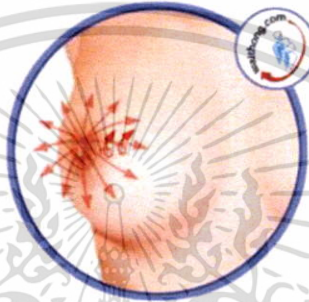
### 2.2.5 รูปแบบการคลำเต้านม [21]

1. คลำแบบก้นหอย เริ่มต้นจากการคลำเป็นวงกลมกว้าง ๆ ด้านนอกขอบเต้านมก่อน แล้ววนให้วงกลมนี้แคบเข้าโดยใช้นิ้วมือของท่านทั้งคลำและกดลงที่เต้านมเป็นวงกลมเล็ก ๆ ในขณะที่คลำตาม วงรอบใหญ่จนกระทั่งถึงหัวนม



ภาพที่ 2.16 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบก้นหอย  
ที่มา : [Waithong.com, 2560]

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



ภาพที่ 2.17 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบดาวกระจาย [21]  
ที่มา : [Waithong.com, 2560]

3. คลำแบบขึ้นและลง คลำเต้านมขึ้นและลงตามยอดคลื่น และใช้นิ้วมือคลำเป็นวงกลมไปพร้อม ๆ กันด้วย



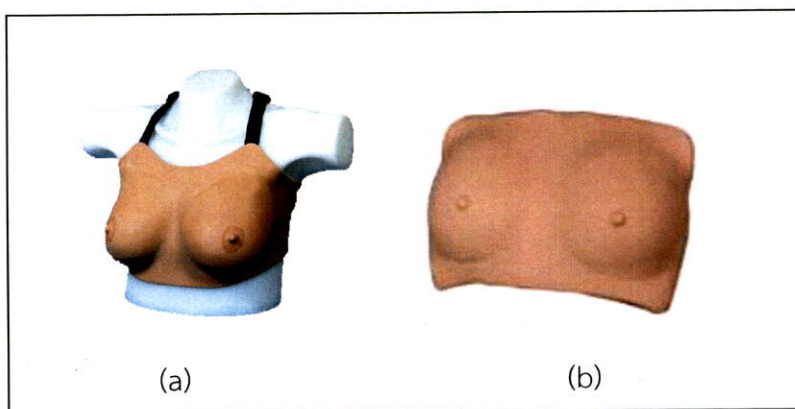
ภาพที่ 2.18 การคลำเต้านมด้วยตนเองแบบขึ้นและลง [21]  
ที่มา : [Waithong.com, 2560]

### 2.3 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

#### 2.3.1 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ [22]

จากการศึกษาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ พบว่ามีการผลิตในหลายประเทศ เช่น ประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น เพื่อใช้ในด้านการศึกษา การเรียนการสอน การผลิตโดยทั่วไปจะทำจากพีวีซี ซิลิโคน หรือซิลิโคนผสมกับอะครีโลไนไตรล์-บิวทาไดอีน-สไตรีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene: ABS) ซึ่งการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมในประเทศไทยนิยมสั่งซื้อจากต่างประเทศทำให้มีค่าใช้จ่ายราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากยางสังเคราะห์ (a) ผลิตจากซิลิโคน และ (b) ผลิตจากพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC)

ที่มา : [3bscientific, 2017]

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



ภาพที่ 2.20 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนยางธรรมชาติ

ที่มา : [Thaiday, 2556]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ

- ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำยางธรรมชาติในสถานะที่น้ำยางธรรมชาติมีราคาตกต่ำ
- ราคาไม่แพง

ข้อเสียของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากยางธรรมชาติ

- รูปลักษณะภายนอกไม่มีความเสมือนจริง
- มีการคงรูปต่ำ

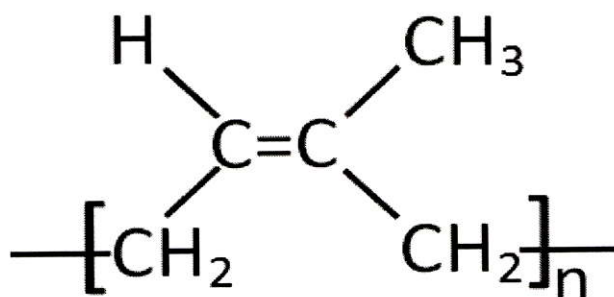
## 2.4 ยางธรรมชาติ [26]

ยางธรรมชาติได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ที่มีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ 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 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสีเจือปนสูงและมีสีเข้มอาจใช้ยางแผ่นหรือขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยาก ต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพให้มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ราคายางแท่งสูงกว่ายางแผ่นรมควัน

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ Cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี Isoprene ( $C_5H_8$ )<sub>n</sub> โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 15,000-20,000 และเนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสถานะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำ หรือเมื่อถูกยืดตัวจึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิต่ำขึ้นยางจะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) ทำให้งางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง (Tensile resistance) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และมีความทนทานต่อการขัดสี (Abrasion resistance) สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ลักษณะเด่นอีกอย่างของยางธรรมชาติคือ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างรวดเร็ว และมีสมบัติดีเยี่ยมด้านการเหนียวติด (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพไม่เสถียร ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิกล่าวคือ เมื่อร้อนยางจะอ่อนแ่ยมและเหนียวเหนอะหนะ 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 ถังมียาง ถังยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

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

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะการแกะชิ้นงานในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

แม้ยางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ แต่ยางธรรมชาติมีข้อเสียคือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก จึงทำให้ยางธรรมชาติไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด เช่น กลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีชีวิต น้ำมัน และสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่าง ๆ ดังกล่าวได้

## 2.5 น้ำยางธรรมชาติ [26]

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

### 2.5.1 สมบัติทั่วไปของน้ำยางธรรมชาติ [27]

ลักษณะน้ำยางเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนมมีสภาพเป็นคอลลอยด์ (Colloid)

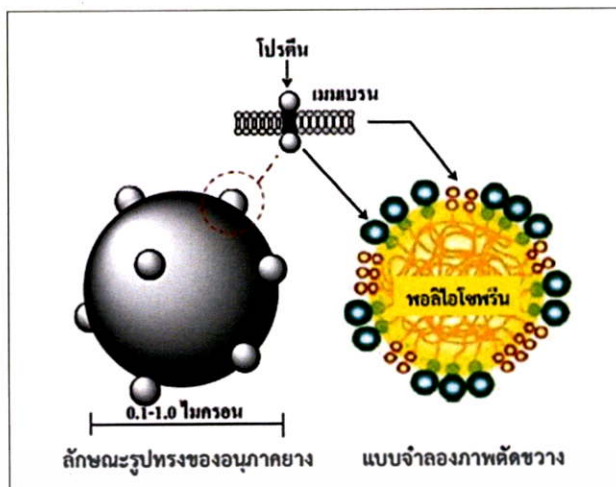
- ความหนาแน่น 0.975-0.980 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- ค่า pH ประมาณ 6.5-7.0
- ความหนืดประมาณ 12-15 Centipoises

### 2.5.2 อนุภาคของน้ำยางธรรมชาติ

ต้นยางอ่อน (อายุ 1-3 ปี) มีขนาดอนุภาคของน้ำยางธรรมชาติขนาดเล็ก รูปร่างค่อนข้างกลม ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของยางพันธุ์ RRIM 600 (1-7 ปี) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคโดยเฉลี่ย จะค่อย 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) ซึ่งส่วนประกอบของ น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์และมีปริมาณของเนื้องางแห้งอยู่ระหว่าง 25 ถึง 45%

เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง (20,000 รอบต่อนาที) แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังนี้

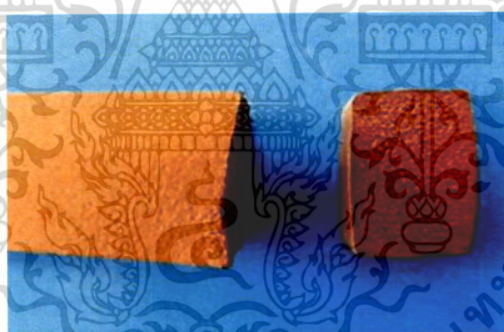
- 1) ส่วนของเนื้องางแห้ง
- 2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey wysssling)
- 3) เซรัม (Serum)
- 4) ตะกอนสีเหลืองหรือขาวของสารพวกลูทอยด์ (Lutoids)



ภาพที่ 2.22 โครงสร้างของอนุภาคยางในน้ำยางธรรมชาติ  
ที่มา : อติศัย รุ่งวิชานวิวัฒน์, 2560

## 2.6 โฟมยางธรรมชาติ [28]

โฟมยางธรรมชาติ (Natural rubber foam) คืออย่างที่มีเนื้อเยื่อเป็นรูพรุนและมีความยืดหยุ่นสูง มีความเป็นรูพรุนเกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมโยงจากการทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อเยื่อ มีแบบเป็นเซลล์เปิด (Open cell) และเซลล์ปิด (Closed cell) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความนุ่มและมีความยืดหยุ่นสูง



ภาพที่ 2.23 ลักษณะผิวโฟมยางธรรมชาติที่เรียบและลักษณะเนื้อเยื่อเป็นรูพรุน  
ที่มา : [Kb.psu.ac.th, 2560]

### 2.6.1 กระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ

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

#### กระบวนการต้นลอป [29]

เทคโนโลยีการผลิตแบบต้นลอป (Dunlop) เป็นกระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติโดยอาศัยหลักการตีน้ำยางให้เกิดฟองอากาศ จากเริ่มแรกทำการปั่นไล่แอมโมเนียให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นเติมสารเคมีต่าง ๆ ได้แก่ อิมัลซิไฟเออร์ สารเชื่อมโยง สารตัวเร่ง สารตัวกระตุ้น และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ ซึ่งสารเหล่านี้อาจเติมให้อยู่ในรูปดีสเพิซชัน (Dispersion) สารละลาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Solution) หรืออิมัลชัน (Emulsion) สารเคมีต่าง ๆ อาจแบ่งลำดับการใส่เป็นสองช่วงคือ ผสมส่วนหนึ่งในช่วงแรกแล้วทิ้งน้ำยางไว้ระยะหนึ่งจึงทำการใส่ส่วนที่เหลือในช่วงสองหลังจากปั่นน้ำยางเป็นฟองแล้ว ขณะปั่นฟองเกือบสมบูรณ์จะใส่ซิงค์ออกไซด์ และสุดท้ายใส่สารทำให้เกิดเจลหลักที่ทำให้เกิดเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) ในการทำให้ฟองเซตตัว จากนั้นทำการเทโม่ยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ที่ต้องการและปล่อยให้โม่ยางจับตัวที่อุณหภูมิห้อง เพื่อให้โม่ยางเกิดการคงรูป หลังจากนั้นจึงดึงโม่ยางออกจากแม่พิมพ์ ล้าง บิดให้หมาด และนำไปอบเพื่อให้ยางเกิดการเชื่อมโยงและทำให้แห้ง ซึ่งมีข้อดีดังนี้

- สามารถควบคุมความนิ่ม-แข็งของโม่ยางได้ด้วยการควบคุมระดับการตีฟอง ถ้าตีฟองให้ฟูเป็นเวลานานจะได้โม่ยางที่นิ่ม ความหนาแน่นต่ำ หากตีฟองเป็นเวลาสั้น ๆ จะได้โม่ยางที่แข็งมีความหนาแน่นสูง
- รอบของการผลิตผลิตภัณฑ์สั้นกว่า จึงผลิตได้เร็วกว่าแบบทาลาเลย์ (Talalay)

## 2.7 สมบัติของโม่ยางธรรมชาติ

### 2.7.1 การขยายตัวและความหนาแน่น [30]

การขยายตัวหรือฟองตัว (Expansion) ของโม่ยางธรรมชาติ เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุ นิยามที่เหมาะสมคือ ปริมาตรของอากาศในโม่ยางธรรมชาติ ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่น สมบัตินี้มีความสำคัญต่อผู้ผลิตในแง่ของต้นทุนวัตถุดิบและสำคัญต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โม่ยางธรรมชาติในด้านการรับน้ำหนัก นอกจากนี้เรื่องสูตรน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งชี้ความหนาแน่นของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid phase) แล้วจะหาความหนาแน่นของโม่ยางธรรมชาติได้จากระดับการขยายตัวระหว่างการปั่นน้ำยางให้เป็นฟองและการหดตัวของโม่ยางธรรมชาติภาย หลังการขึ้นรูปในแม่พิมพ์สามารถหาความหนาแน่นของโม่ยางธรรมชาติโดยการชั่งน้ำหนัก และวัดส่วนของโม่ยางธรรมชาติที่มีขนาดเรขาคณิตปกติ ถ้าชิ้นงานมีขนาดไม่ปกติจะใช้วิธีการชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ โดยที่ก่อนชั่งในน้ำจะต้องนำชิ้นทดสอบไปเคลือบด้วยแว็กซ์ (Wax) ที่เหมาะสม เช่น พาราฟิน โดยการจุ่มชิ้นทดสอบลงในแว็กซ์ที่หลอมเหลว เพื่อป้องกันโม่ยางธรรมชาติดูดซึมน้ำเข้าข้างในเมื่อโม่ยางธรรมชาติจุ่มและแช่อยู่ในน้ำ ชั่งน้ำหนักของแว็กซ์ทั้งก่อนและหลังเคลือบชิ้นทดสอบ ต้องการรู้ความหนาแน่นของแว็กซ์ ควรควบคุมอุณหภูมิของน้ำและอากาศภายในห้องชั่งด้วย และคำนวณหาความหนาแน่นของโม่ยางธรรมชาติ

### 2.7.2 การยุบตัวจากแรงกด

การวัดสมบัติการยุบตัวจากแรงกด (Compression set) ของโม่ยางธรรมชาติตามมาตรฐาน ASTM D395 และ ISO 815 เป็นการหาสถานการณ์คงรูปของโม่ยางธรรมชาติอาจหาเป็นการสูญเสียความหนาแน่นของชิ้นงาน (เป็นร้อยละ) ภายหลังจากการกดชิ้นงานลง 50% ของความหนาแน่นเดิม 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C และตั้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ชิ้นทดสอบคืนตัวที่อุณหภูมิห้อง ค่าความหนาแน่นที่สูญเสียไปคำนวณเป็นร้อยละของความหนาแน่นเดิม โดยทั่วไปยอมรับที่ค่าต่ำกว่า 10% หรือหาในลักษณะของการเสียรูปภายหลังการออกแรงกดแล้วปล่อยแรงกดออก หากค่าเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของความหนาแน่นเริ่มแรกของชิ้นทดสอบ หรือหาเป็นสัดส่วนหรือการหาร้อยละของแรงกดสูงสุด

### 2.7.3 ความแข็ง

ค่าความแข็ง (Hardness) ของโพลีเอทิลีนตามมาตรฐาน ASTM D314, D531 และ D1415 คือค่าแรงที่หัวกด (Indentor) 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  $K$  ขึ้นอยู่กับความลึกที่ขึ้นทดสอบถูกกด ขนาดของหัวกด และระดับของหัวกด (Degree of indentation) ซึ่งค่าคงที่  $K$  คือ มอดูลัสของพอลิเมอร์วิภาคต่อเนื่อง (Continuous polymer phase) นอกจากนี้ความแข็งของโพลีเอทิลีนยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นโพรงหรือแกน (Core) ของโพลีเอทิลีน ระยะและการเรียงตัวของแกน

### 2.7.4 ความต้านแรงดึงและความยาวที่จุดขาด

ความต้านแรงดึงของโพลีเอทิลีนตามมาตรฐาน ASTM D412 ขึ้นอยู่กับระดับการขยายตัวของฟองและคุณภาพของวิภาคที่เป็นของแข็ง ส่วนความยาวที่จุดขาดไม่ขึ้นอยู่กับการขยายตัวของฟอง โดยหลักการแล้วความยาวที่จุดขาดบ่งบอกถึงคุณภาพส่วนที่เป็นของแข็งของวัสดุ นอกจากนี้ คุณภาพนี้ยังลดลงเพราะสารบางตัวที่เติมขณะเตรียมคอมพาวด์ เช่น สารตัวเติม การหาค่าความยาวที่จุดขาดเพียงอย่างเดียวสามารถทำได้โดยการเตรียมตัวอย่างเป็นริ้วรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าทำเครื่องหมาย 2 ตำแหน่งห่างกัน เช่น 2.54 เซนติเมตร จากนั้นใช้ตัวยึดจับตัวอย่างเพื่อดึงขึ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน วัดความยาวที่ขึ้นงานทดสอบถูกดึงให้ยืดออกก่อนขาด คำนวณ หาค่าความยาวที่จุดขาดเป็นร้อยละของความยาวเริ่มแรกที่ได้ทำเครื่องหมายไว้ ถ้าต้องการหาทั้งค่าความต้านแรงดึงกับค่าความยาวที่จุดขาด ต้องเตรียมขึ้นทดสอบเป็นรูปดัมเบล จากตัวอย่างโพลีเอทิลีน และกำหนดความหนาของขึ้นทดสอบ (เช่น 6 มิลลิเมตร) ทำเครื่องหมาย 2 เส้นขนานกันตรงตำแหน่งแคบของขึ้นทดสอบรูปดัมเบล แล้วให้ตัวยึดขึ้นงานของเครื่องดึงยางจับขึ้นทดสอบดึงขึ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วที่กำหนดจนขึ้นทดสอบขาดออกจากกัน คำนวณหาความยาวที่จุดขาด และหาความต้านแรงดึงเป็นสัดส่วนของแรงที่ดึงขึ้นทดสอบจนขาดต่อพื้นที่หน้าตัดของตำแหน่งแคบของขึ้นทดสอบรูปดัมเบล

### 2.7.5 ความล้า

ความล้า (Fatigue) มีการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 132 แบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) การล้าแบบคงที่ (Static fatigue) คือการสูญเสียความแข็งและความหนาของโพลีเอทิลีนเมื่อถูกแรงคงที่ (Static load) เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ใช้น้ำหนักกดโดยระดับของน้ำหนักที่ใช้ขึ้นอยู่กับความหนาเริ่มต้นของตัวอย่างโพลีเอทิลีน

2) การล้าแบบพลวัต (Dynamic fatigue) มีการทดสอบหลายวิธีของการหักงอ (Flexing) และวิธีการให้แรงกดซ้ำ ๆ จนขึ้นงานเสียหาย (Pounding) โดยการทดสอบนี้เป็นการทำให้โพลีเอทิลีนถูกกด (Compression) และคืนตัว (Recovery) ตามจำนวนรอบที่กำหนด การกระทำดังกล่าวจะสามารถประเมินความต้านทานต่อการล้าของตัวอย่างได้ โดยการตรวจสอบการแตกของโครงสร้างเซลล์ของโพลีเอทิลีนหรือทดสอบความเปลี่ยนแปลงของสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่ทดสอบ ในกลุ่มสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงจะสามารถใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาแนวโน้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างจะทนต่อ Dynamic fatigue ได้คือความหนา และการทดสอบ Compression or Indentation ในส่วนของการทำให้ขึ้นทดสอบถูกกดและคืนตัวตามจำนวนรอบ (Cycle) ที่กำหนดมี 2 วิธี วิธีหนึ่งคือให้ขึ้นทดสอบถูกกระทำให้เสียรูปร่างอย่างเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น  $2.5 \times 10^5$  Cycles to a fixed indentation อีกวิธีหนึ่งให้ขึ้นทดสอบถูกกระทำโดยน้ำหนักเต็มที่ตามจำนวนรอบที่กำหนด เช่น  $8 \times 10^4$  Cycles with maximum load of 750 N

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

## 2.8 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโฟมยางธรรมชาติ

สารเคมีที่เติมลงไปในยาง เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติตามต้องการ และสารเคมีที่ใช้ควรเตรียมให้อยู่ในสถานะสารละลาย ดิสเพิซชัน หรืออิมัลชัน

### 2.8.1 สารเชื่อมโยงกำมะถัน [31]

สารที่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติ โดยกำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมมากที่สุดประมาณ 90%

กำมะถัน (Sulfur) เป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ ที่โมเลกุลของยางมีโครงสร้างเป็นโมเลกุลแบบไม่อิ่มตัว (Unsaturation) โดยทั่วไปการเติมกำมะถันลงในน้ำยางใช้ประมาณ 1-2 phr กำมะถันที่ใช้ต้องมีคุณภาพดี และเตรียมเป็นดิสเพิซชัน พันธะเคมีเชื่อมโยงโมเลกุลยาง (Chemical bond for crosslink) ที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาการเชื่อมโยงยางเป็นแบบกำมะถันเชื่อมโยงที่มีรูปแบบพันธะเชื่อมโยง 3 ชนิดคือ พันธะเชื่อมโยงกำมะถันอะตอมเดี่ยวหรือ โมโนซัลไฟดิก (Monosulfidic linkage) พันธะเชื่อมโยงกำมะถันสองอะตอมหรือไดซัลไฟดิก (Disulfidic linkage) และพันธะเชื่อมโยงกำมะถันหลายอะตอมหรือพอลิซัลไฟดิก (Polysulfidic linkage) เป็นการเรียกตามจำนวนอะตอมของกำมะถันในแต่ละพันธะเชื่อมโยง สมบัติเชิงกลและสมบัติการเสื่อมสภาพของยางที่เชื่อมโยง และขึ้นอยู่กับสัดส่วนแต่ละชนิดของพันธะเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ ดังกล่าว ซึ่งถ้าเป็นรูปแบบการฟอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลไฟดิกจะทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี เช่น สมบัติความทนทานต่อแรงดึง สมบัติความต้านทานต่อการล้า เป็นต้น แต่สมบัติการรีเวอร์ชัน (Reversion) ไม่ดี ซึ่งรูปแบบการฟอร์มพันธะเชื่อมโยงแบบโมโนซัลไฟดิกมีสมบัติเชิงกลด้อยกว่า แต่มีสมบัติการรีเวอร์ชันดีกว่า เช่น มีความเสถียรต่อความร้อนและสมบัติการยุบตัวจากแรงกดอัดดี ปัจจัยที่มีผลต่อการลักษณะการเกิดพันธะเชื่อมโยงคือสัดส่วนของกำมะถันกับสารตัวเร่ง อย่างไรก็ตาม การให้ความร้อนหลังจากการเชื่อมโยงแล้ว (Post cure) มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเชื่อมโยงแบบอื่นเกิดขึ้น เช่น รูปแบบพันธะเชื่อมโยงแบบพอลิซัลไฟดิกที่มักเกิดกับการเชื่อมโยงยางที่อุณหภูมิต่ำ

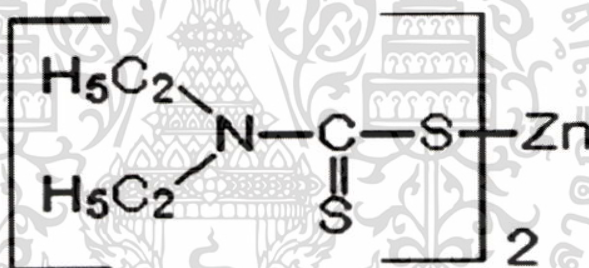
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8.2 สารตัวเร่ง [32]

โดยปกติการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวจะเกิดการเชื่อมโยงข้ามมาก แม้จะใช้อนุมูลในการเชื่อมโยงสูง การใช้สารตัวเร่ง (Accelerator) จะช่วยลดเวลาลดอนุมูลในการเชื่อมโยง นิยมใช้สารประเภทที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา เพราะอนุมูลเกิดการเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างต่ำ สารตัวเร่งที่นิยมใช้ในเทคโนโลยีนี้มากที่สุดเป็นพวกเกลือของไดโทโอคาร์บาเมตคือ ซิงค์ไดเอทิลไดโทโอคาร์บาเมต (Zinc-diethyldithiocarbamate, ZDEC) เป็นเกลือประเภทไอออนบวก (Cations) ที่สามารถแบ่งเป็น 2 ประเภทคือ เกลือของโลหะ (Metal ions) และเกลือของแอมโมเนียม (Substituted ammonium ions) โดยทั่วไปจะใช้ร่วมกับสารเร่งกลุ่มไทอาโซล (Thiazoles) หรือซัลฟิनाไมค์ (Thiuram sulphides) เพื่อช่วยปรับสถานะและอัตราเร็วของการเชื่อมโยงอย่างให้เหมาะสม

### 2.8.2.1 ZDEC (Zinc-diethyldithiocarbamate)

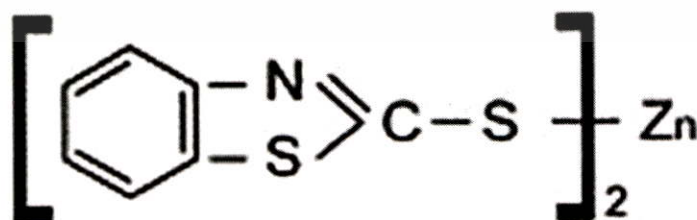
ZDEC เป็นสารเร่งชนิดไดโทโอคาร์บาเมต สารเคมีกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อนหรือน้ำ เป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้นสามารถคงรูปได้ดี และเชื่อมโยงที่อุณหภูมิต่ำที่ 115-125°C ในระยะเวลาสั้น โดยทั่วไปสารเร่งปฏิกิริยาจะทำให้ยางทนต่อการเสื่อมสภาพลดลงเมื่อได้รับการเชื่อมโยงนานเกินไป และถ้าใช้อนุมูลสูงกว่านี้อาจเกิดการรีเวอร์ชันขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควรใช้อนุมูลการเชื่อมโยงสูงเกิน 125°C การใส่ลงไปในการผสมลงไปพร้อม ๆ กับกำมะถันได้



ภาพที่ 2.24 สูตรโครงสร้างของ ZDEC

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

ZMBT เป็นสารตัวเร่งในกลุ่มไทอาโซลที่มีอัตราเร็วในการเชื่อมโยงปานกลาง (Semi-ultra accelerator) สารเคมีในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบของการเชื่อมโยง

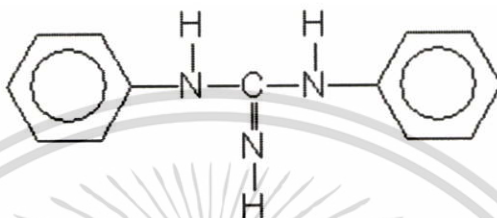


ภาพที่ 2.25 สูตรโครงสร้างของ ZMBT [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.2.3 DPG (Diphenyl guanidine) [32]

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



ภาพที่ 2.26 สูตรโครงสร้างของ DPG [32]

### 2.8.3 สารตัวกระตุ้น [34]

สารตัวกระตุ้น (Activator) ทำหน้าที่ช่วยเสริมให้สารตัวเร่งทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับระบบกำมะถันนิยมใช้สารอนินทรีย์ที่สำคัญคือ ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) สารกระตุ้น สารอินทรีย์ที่นิยมคือ กรดสเตียริก (Stearic acid) นิยมใช้ ZnO ในอัตราส่วน 3-5 phr ร่วมกับกรด สเตียริกในปริมาณ 1-2 phr ซึ่งทำให้ยางมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น ถ้าหากบางครั้งไม่มีสารกระตุ้นจะไม่มีเกิดการเชื่อมโยงเกิดขึ้น และบางครั้งอาจใช้สารประกอบซิงค์ชนิดอื่น เช่น ซิงค์สเตียเรต และซิงค์คาร์บอเนตทำให้น้ำยางหนืดแต่น้อยกว่า จึงจำเป็นต้องใช้สารกระตุ้นเพื่อให้ยางมีการเชื่อมโยงได้อย่างสมบูรณ์

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

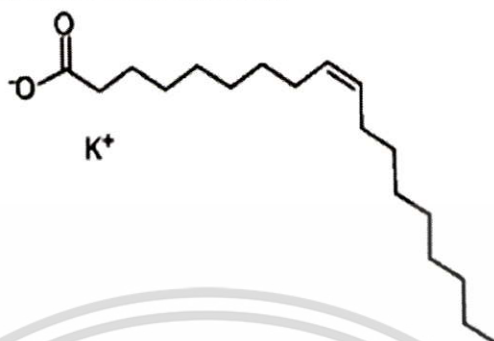
### 2.8.4 สารป้องกันออกซิเดชัน [32]

สำหรับการออกสูตรยางจำเป็นต้องเติมสารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants) เพื่อป้องกันหรือลดอัตราเร็วในการเสื่อมสภาพจากการที่ออกซิเจนเข้าไปปฏิกิริยากับยาง ประสิทธิภาพในการป้องกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสารที่ใช้ ซึ่งไม่มีสารใดมีประสิทธิภาพสูงสุดในการป้องกันการเสื่อมสภาพ แต่สำหรับอุตสาหกรรมเกี่ยวกับน้ำยางอาจไม่จำเป็นต้องใช้สารป้องกันการออกซิเดชันในสูตรการผสม เนื่องจากสารที่อยู่ในสภาพน้ำยางมีความทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี อีกทั้งไม่ต้องผ่านกระบวนการบดยางให้หนึ่ม (Mastication) เหมือนยางแห้งที่จะทำให้เกิดแรงกลดัดสายโซ่และที่อุณหภูมิสูงขึ้นทำให้โมเลกุลยางเกิดการเสื่อมสภาพจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตาม การผสมสารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันลงในน้ำยางจะให้ผลดีในแง่คุณภาพผลผลิตสูง ซึ่งนิยมเติมลงในน้ำยางในช่วงประมาณ 0.5-2 phr สารป้องกันการออกซิเดชันที่นิยมใช้ คือ วิงสเตย์แอล (Wingstay L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.8.5 โปแทสเซียมโอเลอเตด (Potassium oleate, KO) [35]

โปแทสเซียมโอเลอเตด เป็นสารที่ใสในน้ำยางธรรมชาติ เพื่อทำให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการปั่นฟอง ช่วยให้น้ำยางมีความคงตัวต่อเครื่องกลตีขึ้นซึ่งถ้าใสในปริมาณที่มากขึ้น จะทำให้เกิดฟองมากมีผลทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความหนาแน่นต่ำลง



ภาพที่ 2.27 สูตรโครงสร้างของโปแทสเซียมโอเลอเตด [35]

### 2.8.6 โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (Sodium silicofluoride, SSF) [32]

โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ เป็นสารที่ทำให้เกิดเจลจัดเป็นสารพวกอนินทรีย์ที่เติมลงไปให้น้ำยางเพื่อให้เกิดเจลมีลักษณะกึ่งของแข็งหรือของเหลว

### 2.8.7 สารตัวเติม

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

#### 2.8.7.1 แคลเซียมคาร์บอเนต [36]

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| - สูตรโมเลกุล    | $\text{CaCO}_3$       |
| - มวลโมเลกุล     | 100.09 g/mol          |
| - ความถ่วงจำเพาะ | 2.72                  |
| - ความหนาแน่น    | $2.71 \text{ g/cm}^3$ |

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

#### 2.8.7.2 ไททาเนียมไดออกไซด์ [37]

|                  |                       |
|------------------|-----------------------|
| - สูตรโมเลกุล    | $\text{TiO}_2$        |
| - มวลโมเลกุล     | 79.86 g/mol           |
| - ความถ่วงจำเพาะ | 4.23                  |
| - ความหนาแน่น    | $4.23 \text{ g/cm}^3$ |

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

### 2.8.7.3 ซิลิกา [38-39]

ซิลิกา (Silica) มีสูตรโครงสร้างเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) มีสมบัติทั่วไปดังนี้

|                  |                      |
|------------------|----------------------|
| - สูตรโมเลกุล    | $\text{SiO}_2$       |
| - มวลโมเลกุล     | 60.1 g/mol           |
| - ความถ่วงจำเพาะ | 2.2                  |
| - ความหนาแน่น    | $2.2 \text{ g/cm}^3$ |

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 โดยทั่วไปบนพื้นผิวของซิลิกาจะประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลที่ทำให้พื้นผิวซิลิกามีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเคมี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นหมู่ไฮดรอกซิลสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในยางคอมพาวด์ได้ เช่น สารควบแน่น 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)

## 2.9 ยางซิลิโคน [40-41]

ยางซิลิโคน (Silicone rubber) ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเลียนแบบยางธรรมชาติ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นคล้ายกาวลาเท็กซ์ มีความนิ่มและความแข็งของเนื้อยางมีความหลากหลาย และมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นพอลิซิลอกเซน (Polysiloxane) ดังภาพที่ 2.28 โดยแกนโซ่หลักไม่ได้ประกอบด้วยซิลิกอนเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สลับไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเข้าข่ายไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

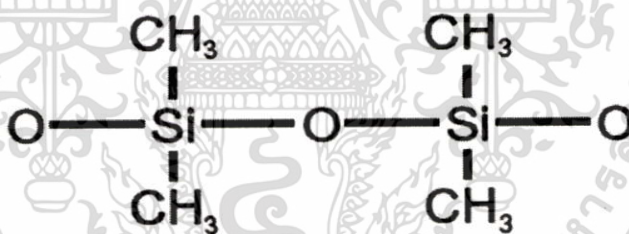
ไปด้วยไฮโดรคาร์บอนเหมือนอย่างชนิดอื่น ๆ แต่จะประกอบไปด้วยอะตอมของซิลิกอน (Si) และออกซิเจน (O) โดยพันธะของ Si-O (พลังงานพันธะสูงประมาณ 88-117 kcal/mole) มีความแข็งแรงกว่าพันธะของ C-C (พลังงานพันธะประมาณ 83-85 kcal/mole) อย่างซิลิโคนมีสมบัติ ดังนี้

- 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) ตัวทำละลายแอลกอฮอล์ เป็นต้น

- ทนการติดไฟได้ดี มีความเป็นฉนวน
- สมบัติการยุบตัวจากแรงกดต่ำ
- ทนทานต่อแบคทีเรียและเชื้อรา
- ผิวลื่น

สำหรับยางซิลิโคนนั้นมีหลายเกรด แสดงดังตารางที่ 2.1 ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของเหลวหนืด สูง และค่าความหนืดขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย โดยจำเป็นต้องทำให้คงรูปโดยกระบวนการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) การนำไปใช้งานของซิลิโคน เช่น ฉนวนกันความร้อน อุตสาหกรรมรถยนต์ หรืออวัยวะเทียมทางการแพทย์ เป็นต้น



ภาพที่ 2.28 สูตรโครงสร้างของยางซิลิโคน

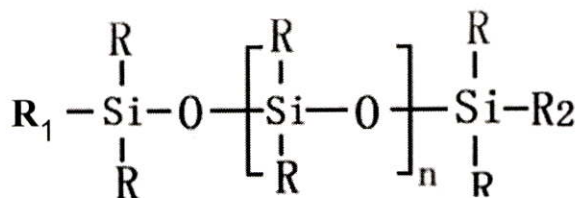
ตารางที่ 2.1 ยางซิลิโคนชนิดต่าง ๆ [41]

| เกรด | หมู่แทนที่ (R)   | โครงสร้าง  | การใช้งาน   |
|------|--|--|---|
| MQ   | หมู่เมทิล (CH <sub>3</sub> ) เท่านั้น  | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$  | เกรดที่มีการใช้งานมากที่สุด                               |
| VMQ  | หมู่ไวนิล (CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> ) และหมู่เมทิล (CH <sub>3</sub> )                  | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \text{---} \left[ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_m$   | ใช้งานทั่วไปมีค่าการยวบตัวถาวรหลังกดดี                    |
| FMQ  | หมู่ฟลูออรีน (F) และหมู่เมทิล (CH <sub>3</sub> )   | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \text{---} \left[ \begin{array}{c} \text{CH=CH}_2 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_m$  | ทนต่อน้ำมันและสารเคมีได้ดี                                |
| PMQ  | หมู่ฟีนิล (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> ) และหมู่เมทิล (CH <sub>3</sub> )                     | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \left[ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_m \left[ \begin{array}{c} \text{CH=CH}_2 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_o$ | ใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ทนต่อความร้อนและรังสี          |
| FVMQ | หมู่ฟลูออรีน (F) หมู่ไวนิล (CH <sub>2</sub> =CH <sub>2</sub> ) และหมู่เมทิล (CH <sub>3</sub> ) | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n \left[ \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right]_m \left[ \begin{array}{c} \text{CH=CH}_2 \\   \\ \text{---Si---O---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_o$ | ทนต่อน้ำมันและสารเคมีได้ดีและใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิกว้าง |

### 2.10 น้ำมันซิลิโคน [42]

น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) ใช้เป็นสารประกอบยางซิลิโคน โดยโครงสร้างมีหน่วยซ้ำเป็นไซลอกเซน (Siloxane) ลักษณะเป็นของเหลวใสเหมือนน้ำ ไม่มีกลิ่น ทนต่อการติดไฟ ทนอุณหภูมิตั้งแต่  $-60^{\circ}\text{C}$  ถึง  $250^{\circ}\text{C}$  แรงตึงผิวต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปน้อยกว่า  $209 \text{ J/cm}^2$  เมื่อเทียบกับน้ำและสารลดแรงตึงผิว น้ำมันซิลิโคนทั่วไปมีเสถียรภาพทางความร้อนสูง โดยค่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงขณะทำงานที่อุณหภูมิสูงมากหรือต่ำมาก ๆ ได้ อีกทั้งช่วยลดความหนืด (Viscosity) และความแข็งกตของยางซิลิโคนทำให้ง่ายต่อการใช้งาน แต่จะเป็นการลดสมบัติเชิงกลของยาง ประโยชน์ของน้ำมันซิลิโคนใช้เป็นสารหล่อลื่น (Lubricants) สารขัดผิว เคลือบเงา สารหล่อลื่นกันกระแทก สารป้องกันโฟม (Antifoam) สารขัดเบาไหลอมแม่พิมพ์ ปัจจุบันน้ำมันซิลิโคนมีหลากหลาย ชนิดที่มีประสิทธิภาพที่ดีคือ "Polydimethylsiloxane"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.29 สูตรโครงสร้างของน้ำมันซิลิโคน

ที่มา : [Chemicalbook, 2017]

## 2.11 สารเปอร์ออกไซด์ [26, 43]

สารเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ใช้เพื่อการเชื่อมโยงยางได้ทั้งชนิดที่มีความอิมตัว เช่น ยางซิลิโคน และชนิดที่ไม่อิมตัวหรือชนิดที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันที่ไวต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้กับยางควรเป็นสารที่มีความเสถียรเก็บรักษาไว้นาน มีความว่องไวพอสมควรในการทำปฏิกิริยากับยางที่อุณหภูมิการเชื่อมโยงและปลอดภัยในการใช้งาน ได้แก่ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide, DCP) เบนซิลเปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) เป็นต้น

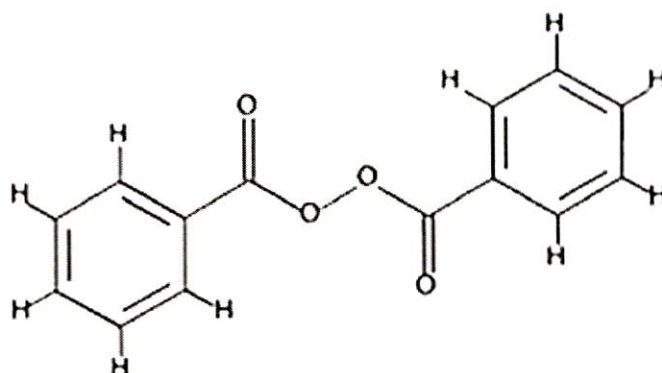
### 2.11.1 ระบบเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization) มีข้อได้เปรียบกว่าการใช้กำมะถัน โดยสามารถใช้กับยางทั้งที่มีโมเลกุลอิมตัวและมีโมเลกุลไม่อิมตัว ยางที่เชื่อมโยงแล้วจะได้เปรียบด้านการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดต่ำและสมบัติการหักงอที่อุณหภูมิต่ำกว่า อีกทั้งยังที่ได้จากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์จะมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพ อันเนื่องมาจากความร้อนสูงดีกว่ายางที่เชื่อมโยงด้วยกำมะถัน 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 ดังภาพที่ 2.30

นอกจากนี้หากโมเลกุลยางมีพันธะคู่เป็นองค์ประกอบ อนุมูลอิสระแอลคอกซีบางส่วนอาจจะเข้าไปทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะคู่เกิดเป็นอนุมูลอิสระชนิดอื่นได้ เช่น ไฮโดรเจนที่ตำแหน่งอัลลิลิก (Allylic hydrogen) เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางที่อิมตัว การรวมกัน ของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน





ภาพที่ 2.32 สูตรโครงสร้างของ Benzoyl peroxide [46]

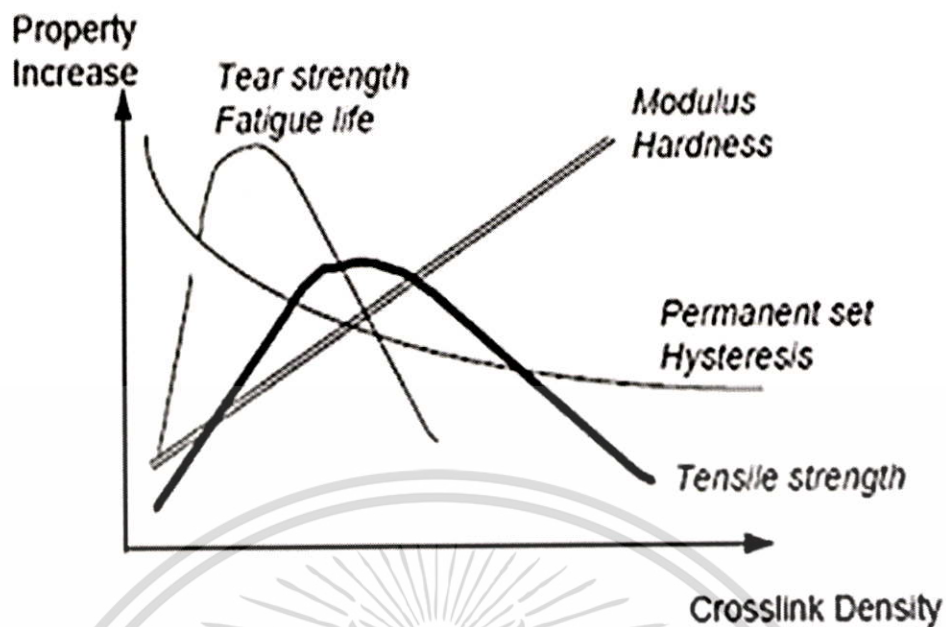
ที่มา : จารุวรรณ อัมพฤกษ์, 2555

### 2.11.3 ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ [26]

ครึ่งชีวิตของสารประกอบเปอร์ออกไซด์ (Half-life of peroxide) คือ เวลาที่ใช้ในการสลายตัวของสารประกอบเปอร์ออกไซด์หายไปครึ่งหนึ่ง ดังนั้นครึ่งชีวิตจึงสามารถใช้เป็นตัวบอกรหรือใช้เปรียบเทียบเสถียรภาพและความเร็วในการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระของเปอร์ออกไซด์ 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 การใช้ประโยชน์จากยางต้องมีปริมาณการเชื่อมโยง ที่เพียงพอและเหมาะสมเพื่อให้ยางแข็งแรงเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ปริมาณการเชื่อมโยงสามารถ ระบุได้โดยใช้ “องศาการเชื่อมโยง (Degree of vulcanization)” หรือความหนาแน่นเชื่อมโยง (Cross-link density) ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนพันธะเชื่อมโยงในหน่วยปริมาตรของยาง โดยเฉพาะสมบัติเชิงกลจะสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นเชื่อมโยง (Crosslink density,  $\rho_c$ )



ภาพที่ 2.33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นเชื่อมโยงของยางกับสมบัติเชิงกลบางประการ ของยาง

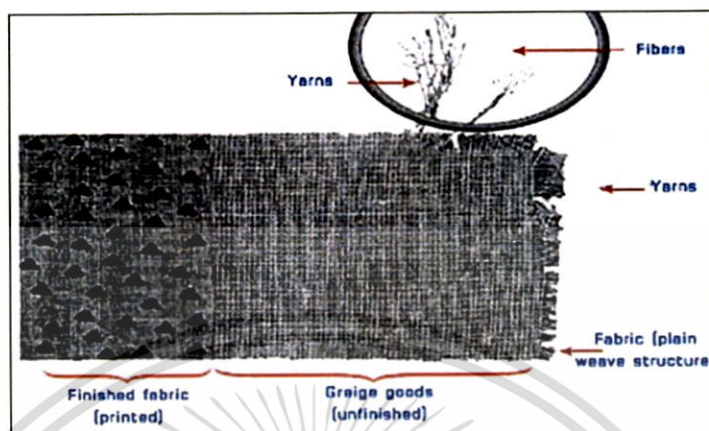
ที่มา : [Rubber compounding basics, 2013]

จากกราฟสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. สมบัติความแข็งของยาง เช่น โมดูลัส และความแข็ง เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อความหนาแน่นเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนพันธะเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น น้ำหนักโมเลกุลระหว่างจุดเชื่อมโยง (Molecular weight between crosslinks,  $M_c$ ) น้อยลง ทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้ยากขึ้นและยางมีความแข็งขึ้น ต้องใช้แรงมากเพื่อให้ยางเปลี่ยนรูปร่าง
2. สมบัติเชิงกลที่ทดสอบแล้วเกิดการแตกหักของยาง เช่น ความแข็งแรงดึง ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) อายุของความล้า (Fatigue life) และยังมีร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) โดยทั้งหมดจะเกิดจุดสูงสุดที่มีความหนาแน่นเชื่อมโยงหนึ่งที่เท่านั้นที่จุดสูงสุดเรียกว่า “จุดเกิดเจล” (Gel point) โครงสร้างโมเลกุลยางเกิดการเชื่อมโยงกลายเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติสมบูรณ์ ยางกลายเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมเซต (Thermosets) ไม่สามารถนำมาขึ้นรูปใหม่ได้อีกแล้ว หลังจุดสูงสุดที่ความหนาแน่นเชื่อมโยงสูงสายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวย่างจำกัดเนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหที่แน่นทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ เป็นผลทำให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำลง ทำใหยางเปราะและแตกหักได้ง่าย
3. สมบัติอื่น ๆ เช่น ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) หรือการสูญเสียพลังงานเมื่อได้รับแรงและการเปลี่ยนขนาดถาวร จะมีค่าลดลงเมื่อความหนาแน่นเชื่อมโยงมากขึ้น เนื่องจากการเกิดโครงสร้างร่างแห ของยางทำให้เกิดการเสีรูปเนื่องจากแรงอัดได้ยากขึ้น

## 2.13 ผ้า [45]

ผ้า (Fabric) คือวัสดุที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนสามารถผลิตจากสารละลาย เส้นใย เส้นด้าย หรือวัสดุพื้นฐานเหล่านี้รวมกันเมื่อแบ่งแยกตามลักษณะการผลิตสามารถแบ่งประเภทของผ้าได้ดังนี้

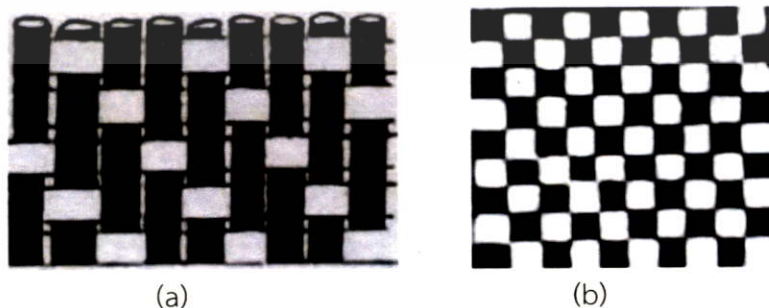


ภาพที่ 2.34 ผ้าทอที่ประกอบด้วยด้ายและเส้นใย

ที่มา : จารุวรรณ อัมพฤกษ์, 2555

### 2.13.1 ผ้าทอ [45]

ผ้าทอ (Woven Fabrics) เกิดจากเส้นด้าย 2 ชุดหรือมากกว่ามาสอดขัดสานซึ่งกันและกันเป็นมุมฉาก 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) ผ้าทอลายแจ็คการ์ด (Jacquard) ผ้าทอลายดับเบิลโคลท (Double cloth) ผ้าทอขน (Pile) และผ้าทอลายเลโน (Leno)



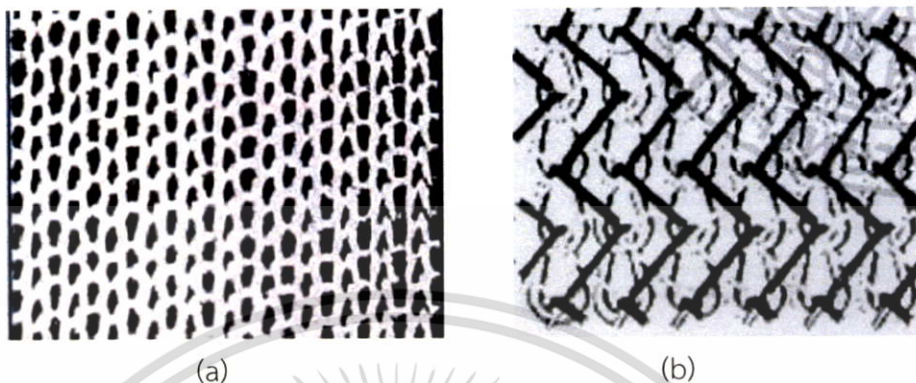
ภาพที่ 2.35 รูปแบบโครงสร้างผ้าทอ (a) โครงสร้างผ้าทอลายขัด และ (b) โครงสร้างผ้าทอลายสอง

ที่มา : ศรีญา สงเคราะห์, 2554

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.13.2 ผ้าถัก [46]

ผ้าถัก (Knitted fabrics) เป็นผ้าที่เกิดจากการใช้เข็ม (Needles) ถักเพื่อให้เกิดเป็นห่วงของด้ายที่มีการสอดขัดกัน



ภาพที่ 2.36 รูปแบบโครงสร้างผ้าถัก (a) โครงสร้างผ้าถักด้ายพุ่ง และ (b) โครงสร้างผ้าถักด้ายยืน  
ที่มา : ศรีัญญา สงเคราะห์, 2554

### 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 วัสดุที่มีมิติตามความยาวมากกว่ามิติตาม ภาคตัดขวางไม่น้อยกว่า 100 เท่า เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอถือได้ว่าเป็นวัตถุดิบขั้นพื้นฐานที่สุดของการผลิตผ้าผืน ซึ่งมีผลต่อสมบัติการใช้งานโดยตรง เนื่องจากมีเพียงการใช้เส้นใยธรรมชาติเท่านั้นจนกระทั่งภายหลังศตวรรษที่ยี่สิบเมื่อมนุษย์ค้นพบการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

## 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) |
|                         | ไวเนียน (Vinyon)           | โนโวลอยด์ (Novoloid)     |                    |

### 2.14.1 โครงสร้างของเส้นใย [48]

โครงสร้างของเส้นใย (Fiber structure) นับจากส่วนที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าคือ โครงสร้างภายนอก เช่น ความยาวของเส้นใย ความหยาบ ความละเอียด ลักษณะของผิวเส้นใย ส่วนโครงสร้างทางกายภาพอาจเห็นได้โดยกล้องจุลทรรศน์เช่น เส้นใยฝ้ายที่เจริญมาจากเส้นใยเมล็ด ลักษณะเซลล์เดี่ยว เส้นใยขนสัตว์ที่เกิดจากโครงสร้างหลายเซลล์แผ่ยาวตามกัน และเส้นใยลินินที่เกิดจากจำนวนเซลล์ยาวประกอบกันเป็นเส้นใยสังเคราะห์จากโมเลกุลที่เป็นสายโซ่ยาวต่อเนื่อง

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

### 2.14.2 สมบัติของเส้นใย [49]

สมบัติของเส้นใย (Fiber properties) จะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอ โดยทั่วไป สมบัติของเส้นใยจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้คือ โครงสร้างภายนอกของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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                                    |

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

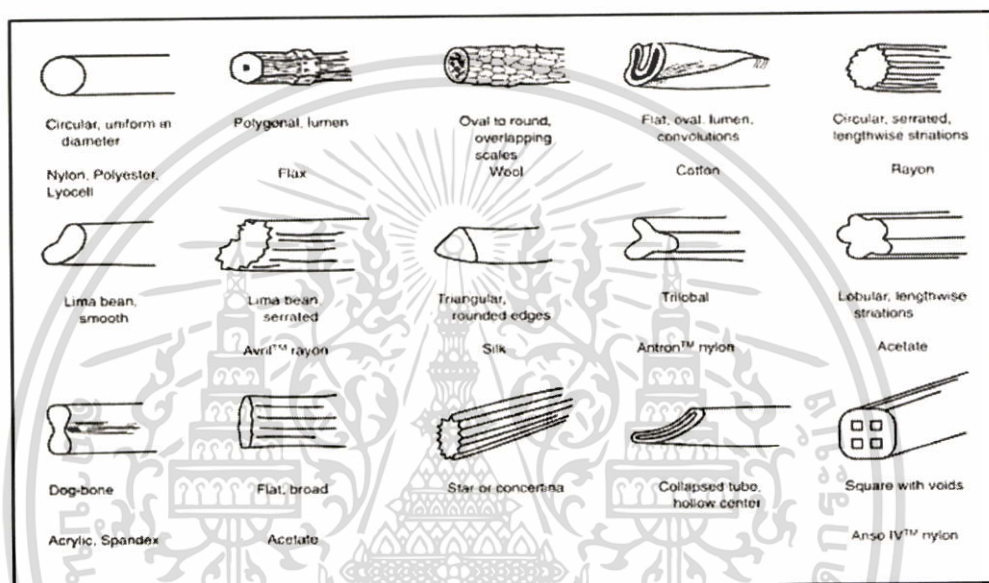
Denier คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 9,000 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Tex คือ หน่วยที่ใช้วัดความละเอียดของเส้นใยจากน้ำหนักที่เป็นกรัมในความยาว 1,000 เมตร

### 2.14.2.3 รูปทรงตามภาคตัดขวางของเส้นใย

รูปร่างที่แตกต่างกันมีความสำคัญต่อความมัน ความฟู ความละเอียดอ่อน ผิวสัมผัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมาอยู่ในสภาพของผืนผ้า ตัวอย่างลักษณะรูปทรงของเส้นใยชนิดต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 2.37 มีทั้งทรงกลม ทรงกระดุกสุนัข ทรงสามเหลี่ยมมุมมน ทรงเม็ดถั่ว ซึ่งรูปร่างเหล่านี้หากเป็นเส้นใยธรรมชาติจะถูกกำหนดไปตามสภาพการเจริญเติบโต น้ำ อาหารที่ได้รับ แต่สำหรับเส้นใยสังเคราะห์รูปทรงสามารถกำหนดและควบคุมค่อนข้างสม่ำเสมอในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 2.37 รูปทรงตามขวางและสภาพผิวของเส้นใยต่าง ๆ  
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค), 2004

นอกจากรูปทรงตามภาคตัดขวางแล้ว สภาพของผิวเส้นใยยังเป็นลักษณะจำเพาะอีกปัจจัยหนึ่งที่ควบคู่กันไป ดังภาพที่ 2.37 เส้นใยบางชนิดมีผิวเรียบเป็นเส้นเป็นลายหรือแม้กระทั่งเป็นเกล็ดทั้งหมดนี้ส่งผลโดยตรงกับความงาม ความมัน และการสัมผัส

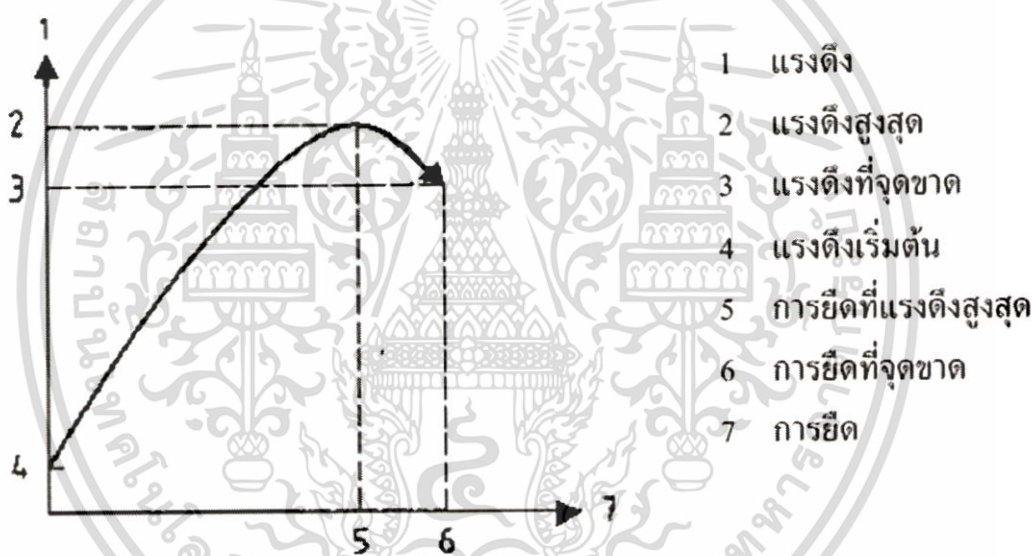
### 2.14.2.4 ความหยิกงอบนเส้นใย

ความหยิกงอบนเส้นใย (Fiber crimp) จะพบได้บนเส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งอาจเกิดจากการจัดเรียงตัวของสายโซ่โพลิเมอร์ที่มีลักษณะหยิบไปตามโครงสร้างของโมเลกุล หรืออาจเกิดจากการกระทำดัดแปลงรูปร่างของเส้นใยในกระบวนการผลิต ลักษณะการหยิกอาจเป็นคลื่น เป็นเกลียว เป็นการดัดงอ เป็นต้น ช่วยให้เส้นใยมีการเกาะกันเหนียวแน่นเมื่อปั่นเป็นเส้นด้าย ช่วยให้มีความสามารถในการคืนตัวสูง เบาล ทนต่อการขูดขีดและเพิ่มความสามารถการดูดซึมน้ำ แต่ขณะเดียวกันจะทำให้ความมันลดลง

### 2.14.2.5 ความแข็งแรงของเส้นใย

เส้นใย (Fiber strength) ที่สามารถนำมาใช้งานได้ต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย และทอเป็นผืนผ้าโดยไม่ขาดจากกัน ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละชนิดจะมีค่าแตกต่างกันหรือแม้จะภายในเส้นใยเดียวกันก็ตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเส้นใยธรรมชาติ

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



ภาพที่ 2.38 ตัวอย่างของกราฟระหว่างแรงดึงกับการยืด  
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2552

### 2.14.2.6 ความหนาแน่น

ความหนาแน่น (Density) คือ มวลต่อหน่วยปริมาตรของวัสดุ มักใช้หน่วยของกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ ) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต ( $\text{lb/cu.ft.}$ ) เส้นใยสิ่งทอทุกชนิดจะมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ยกเว้นเส้นใยสังเคราะห์ในกลุ่มของโอเลฟินส์ เช่น พอลิโพรพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีน (PE) ที่ลอยบนน้ำได้ เส้นใยแก้วมีความหนาแน่นสูง ในขณะที่เส้นใยพอลิเอสเตอร์และไนลอนมีความหนาแน่นต่ำ เป็นสมบัติที่มีความสำคัญต่อผ้าผืน เช่น เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำจะมีความสามารถในการคืนกลับตัวดี ทั้งนี้ด้วยเหตุผลว่าภายใต้น้ำหนักของเส้นใยคงที่เส้นใยที่มีความหนาแน่นต่ำมีปริมาณมากกว่าเส้นใยที่มีความหนาแน่นสูง นอกจากนั้นแล้วสมบัติข้อนี้ยังมีผลโดยตรงต่อน้ำหนักของผ้าด้วย ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความอบอุ่นด้วยน้ำหนักที่เบา ตัวอย่างที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นได้ชัดเจนถึงสมบัติที่ดีในข้อนี้คือ เส้นใยอะคริลิกที่มีสมบัติต่าง ๆ คล้ายขนสัตว์อย่างมากแต่มิ  
น้ำหนักเบากว่า

#### 2.14.2.7 สภาพยืดหยุ่น การคืนตัวจากแรงยืด และการยืดตัว

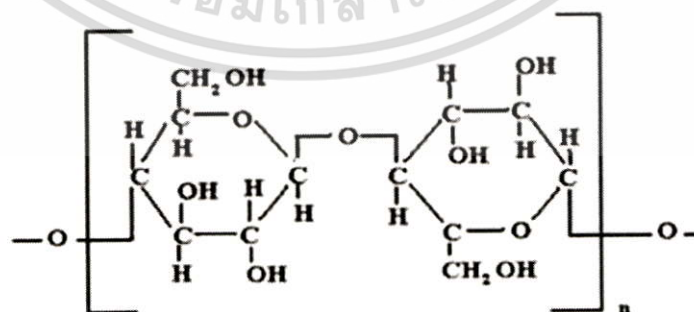
สภาพยืดหยุ่นเป็นสมบัติของเส้นใยที่สามารถยืดออกและคืนกลับสู่ขนาดเดิมภายหลัง  
จากที่ได้รับแรงยืดดึง เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสมบัตินี้แตกต่างกันออกไปอย่างมาก ตัวอย่างเช่น เส้นใย  
สแปนเดกซ์ มีสภาพยืดหยุ่นและการคืนตัวจากแรงยืดสูง เช่นเดียวกับกับขนสัตว์และไหม ในขณะที่  
ลินินและปอมีสภาพยืดหยุ่นต่ำ ค่าการคืนตัวจากแรงยืดวัดได้จากอัตราส่วนของความยาวของเส้นใยที่  
เปลี่ยนแปลงเทียบกับความยาวเดิมก่อนถูกยืดออก 2%

การยืดตัวเป็นระยะของการยืดออกในทิศทางที่ได้รับแรงดึง ระยะที่ยืดออกอาจวัด ณ  
แรงกระทำใดที่ต้องการหรือวัด ณ จุดขาด นิยมเขียนในรูปของเปอร์เซ็นต์ที่ยืดออกเมื่อเทียบกับความ  
ยาวเดิมของเส้นใย เส้นด้าย หรือผ้าผืน

มอดุลัสของการยืด (Elastic modulus) เป็นการวัดความต้านทานต่อแรงดึง โดยวัดแรง  
ดึงที่ทำให้เส้นเชือกยืดออกเป็นระยะ 1% สามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนของความเค้นต่อ  
ความเครียด หรือค่าความชันของกราฟความเค้น-ความเครียดในระยะดังกล่าว ค่ามอดุลัสสูงแสดงถึง  
การใช้แรงดึงสูงเพื่อทำให้เส้นใยยืดออก เส้นใยแก้วมีค่ามอดุลัสสูงมากในขณะที่สแปนเดกซ์มีค่า  
มอดุลัสต่ำ ความหมายอย่างเป็นรูปธรรมนั้น ค่ามอดุลัสสูงบ่งบอกถึงความแข็งแรงกระด้าง และถ้าค่า  
มอดุลัสต่ำบ่งบอกถึงความอ่อนนุ่มของเส้นใย

#### 2.14.3 เส้นใยเซลลูโลสธรรมชาติ [48]

เส้นใยธรรมชาติ (Natural cellulose fibers) จากพืชทุกชนิดจัดเป็นเส้นใยประเภท  
เซลลูโลส องค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลักคือ คาร์บอน 44.4% ไฮโดรเจน 6.2% และ  
ออกซิเจน 49.4% มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานซึ่งเรียกว่า Anhydro-d-glucose  
( $C_6H_{10}O_5$ ) ต่อกันเป็นโมเลกุลยาว ดังภาพที่ 2.39 แต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล  
ทั้งหมด 3 หมู่ (เป็น Primary group 1 หมู่ และ Secondary group 2 หมู่) เหมือนกับเป็นโครงสร้าง  
น้ำตาลทั่วไป แต่เนื่องจากโมเลกุลต่อกันยาวเป็นสายโซ่ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำเหมือนกับที่เกิดกับ  
น้ำตาล โครงสร้างทางเคมีนี้มีบทบาทอย่างยิ่งต่อการกำหนดสมบัติของเส้นใย กล่าวคือหมู่ไฮดรอกซิล  
(-OH) จะเป็นตัวดึงดูดน้ำทำให้มีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้ดี



ภาพที่ 2.39 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

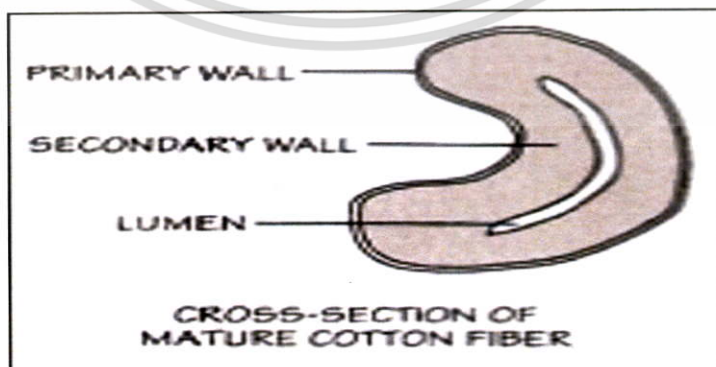
ฝ้าย[48, 52]มีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุด ในการใช้งานอาจใช้เป็นฝ้าย 100% หรือ อาจเป็นฝ้ายผสมกับเส้นใยอื่น ๆ ได้แทบทุกชนิด เส้นใยที่นำไปปั่นเป็นเส้นด้ายต้องมีความยาวเหมาะสมคือ ไม่สั้นจนเกินไป โดยเฉพาะบริเวณที่ติดปลายเมล็ดที่ค่อนข้างสั้นมากเรียกว่า Cotton linter นำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ประเภทเซลลูโลส เช่น เรยอน

#### กระบวนการผลิต

การปลูกฝ้ายสามารถทำได้ในพื้นที่ที่มีอากาศอุ่นติดต่อกันเป็นเวลานานเพียงพอ มีความชื้นและแสงแดด มีลักษณะดินที่เหมาะสม เมื่อดันฝ้ายเจริญเติบโตเต็มที่ถึงความสูงประมาณ 3-6 ฟุต (1-2 เมตร) หลังจากที่ยอดงอกบานและร่วงไปจะเริ่มมีฝ้ายเจริญเติบโต ภายในฝ้ายมีเมล็ดฝ้ายอยู่ โดยเส้นใยเจริญขึ้นจากเมล็ดในแต่ละเมล็ดให้เส้นใยได้มากกว่า 20,000 เส้น

#### โครงสร้างทางกายภาพ

หากมองรายละเอียดขององค์ประกอบทางเคมี ฝ้ายจัดเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่ง มีอัตราส่วนความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณ 2 ต่อ 1 ทำให้ความสามารถในการยึดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง โดยทางกายภาพฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีลักษณะภายนอกหยาบ เป็นหลอดแบนข้วนกันเป็นเกลียว และจากกล้องจุลทรรศน์ภาพภาคตัดขวางมีลักษณะคล้ายเม็ดถั่ว ช่องกลางกลวงเป็นช่องส่งน้ำ (Lumen) ดังภาพที่ 2.40 ภาพภาคตัดขวางของฝ้ายระยะแรกมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U) ผนังเซลล์บางเมื่ออ่อน เมื่อเส้นใยาวมากขึ้นผนังเริ่มหนา มีลักษณะเป็นรูปถั่วมากขึ้น รุกกลางที่เป็นท่อส่งน้ำจะหดเล็กลง ผิวนอกดูคล้ายมีฟิล์มมันเคลือบอยู่ผนังชั้นแรก (Primary wall) เป็นผนังชั้นที่เกิดขึ้นก่อนเป็นชั้นบาง ขณะที่ท่อส่งน้ำตรงกลางใหญ่คล้ายท่อ เมื่อเจริญเติบโตมากขึ้นผนังชั้นแรกจะมีความหนาเพิ่มขึ้น ขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลางการเจริญเติบโตเป็นชั้น ๆ คล้ายวงปีในลำต้น ทำให้ท่อส่งน้ำส่วนกลางถูกเบียดเล็กลงแต่ละชั้นของผนังที่ขยายเข้าไปมีความหนาแตกต่างกันไปขึ้นกับสภาพอากาศ อาหารและน้ำ เปลือกที่หนาเพิ่มขึ้นนี้รวมเรียกกันเป็นผนังชั้นที่สอง (Secondary wall) แต่ละชั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดเกิดจากการต่อกันยาวของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจัดเรียงต่อกัน และลักษณะของการจัดเรียงตัวกันเองที่ทำให้ในบางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทางกัน ดังภาพที่ 2.41 ทำให้เกิดเกลียวฝ้ายขึ้นตามความยาวของเส้นใย เกลียวฝ้ายหรือการบิดตัวคล้ายริบบิ้นเป็นลักษณะที่แสดงถึงการเจริญเติบโตตามธรรมชาติของฝ้ายอย่างเต็มที่



ภาพที่ 2.40 ภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย

ที่มา : อุซารัตน์ รัตนคำนวน, 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.41 ภาพตามความยาวของเส้นใยฝ้าย [53]  
ที่มา : อูซาร์ตัน รัตนคำวน, 2547

#### สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดขั้วกันเป็นเกลียว พื้นที่หน้าตัดเป็นเม็ดถั่วตรงกลางเป็นรู เกิดจากทอส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใย ผิวเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย: เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง 3-63 มิลลิเมตร โดยทั่วไปฝ้ายยาวมีความแข็งแรงดีกว่าฝ้ายสั้น

สี: ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพอเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความแข็งแรง: เส้นใยฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง แรงดึง ณ จุดขาดมีค่าประมาณ 3.0-5.0 gpd

การยืดตัว: เกลียวฝ้ายทำให้มีการยืดตัวที่ดี สามารถยืดตัวได้ประมาณ 3-7%

การคืนตัวจากแรงอัด: ฝ้ายมีการคืนตัวภายหลังที่ถูกกดทับได้ดี ทำให้ฝ้ายยังง่าย

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



ตารางที่ 2.4 สูตรทางเคมีอย่างง่ายของหน่วยซ้ำในเส้นใยชนิดต่างๆ (ต่อ)

| ชนิดของเส้นใย                | สูตรทางเคมีของหน่วยซ้ำขั้นพื้นฐาน   |
|------------------------------|---|
| Polyacrylonitrile            | $\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}\equiv\text{N} \end{array} \right]_n$ |
| Polyolefin                   |   |
| Polyethylene                 | $\left[ \text{CH}_2-\text{CH}_2 \right]_n$  |
| Polypropylene                | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$   |
| Other addition-polymer fiber |   |
| Poly(vinyl chloride)         | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{Cl} \end{array} \right]_n$   |
| Poly(vinyl alcohol)          | $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{OH} \end{array} \right]_n$   |

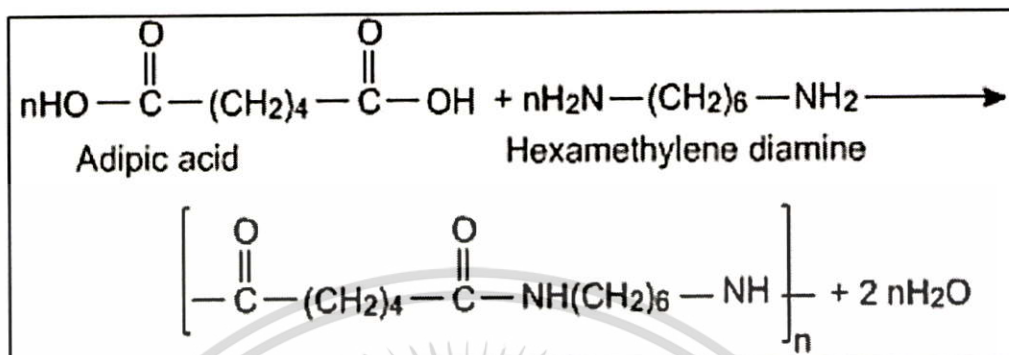
#### 2.14.4.1 ไนลอน [54-55]

ไนลอนเป็นเส้นใยสังเคราะห์ชนิดแรกคิดค้นโดย ดร. วอลล์เชส แครโรเธอร์ (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

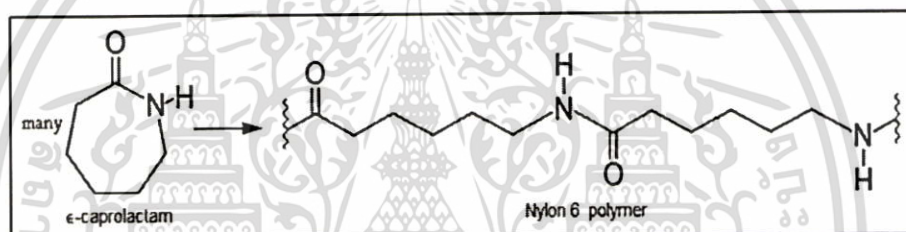
##### กระบวนการผลิต

เส้นใยสังเคราะห์ที่เนื้อเส้นใยเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวของพอลิเอไมด์สังเคราะห์ ซึ่งมีปริมาณของแชนเอไมด์ (-CONH-) ถูกแทนที่โดยตรงด้วยวงแหวนอะโรมาติกน้อยกว่า 85% ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณทั้งหมด ไนลอนเป็นพอลิเมอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มพอลิเอไมด์ ทำให้สามารถผลิตไนลอนได้จากสารตั้งต้นหลายชนิด แต่สารที่นิยมใช้ทำปฏิกิริยาสังเคราะห์ไนลอน 6 คือ พอลิคาร์โพรแลคแตม (Poly caprolactam) ส่วนการสังเคราะห์ไนลอน 6,6 นิยมใช้เฮกซะเมทิลีนไดเอมีน (Hexamethylene diamide) กับกรดอะดิปิก (Adipic acid)



ภาพที่ 2.42 การสังเคราะห์ไนลอน 6,6 [53]



ภาพที่ 2.43 การสังเคราะห์ไนลอน 6 [53]

#### ความแตกต่างระหว่างไนลอน 6 และไนลอน 6,6

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

#### สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: เส้นใยไนลอนโดยทั่วไปพื้นที่ภาคตัดขวางเป็นทรงกลม ผิวเรียบคล้ายแท่งแก้ว มีความยาวต่อเนื่อง มีแบบเส้นใยยาวและเส้นใยสั้นที่มีความยาวและขนาดตามต้องการ

สี: โดยทั่วไปเส้นใยไนลอนจากการผลิตมีสีขาวและความมันค่อนข้างสูง แต่ในกระบวนการผลิตมีการควบคุมระดับความมันได้ตามต้องการ

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

ความถ่วงจำเพาะ: 1.14 ถือได้ว่าค่อนข้างเบา

#### สมบัติทางเคมี

เส้นใยไนลอนทนสารจำพวกต่างมากกว่ากรด กรดแร่ เช่น HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> กรดจะละลายไนลอนได้ แต่ทนต่อสารละลายอินทรีย์ ทนต่อเชื้อราและแมลง

#### การใช้งาน

ไนลอนเป็นวัสดุที่ทางบริษัท ดูปองท์ ผลิตขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนวัสดุธรรมชาติที่มีราคาสูงอย่างขนสัตว์และเส้นใยไหม แต่สินค้าชนิดแรกที่ผลิตจากไนลอนคือ ขนแปรงสีฟัน สินค้าที่สร้างชื่อเสียงให้แก่ไนลอนคือ ถูร่องของสุภาพสตรีที่ใช้เส้นใยไนลอนในการผลิตแทนเส้นใยไหม และด้วยเหตุที่ไนลอนมีทั้งความแข็งแรงและมีสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ดี โพลีเมอร์ชนิดนี้จึงถูกประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ทางการทหารหลายอย่างเช่น ร่มชูชีพ และเชือก เป็นต้น ปัจจุบันไนลอนไม่ได้จำกัดเพียงแค่การเป็นวัสดุในวงการสิ่งทอแต่เพียงอย่างเดียว แต่ได้ขยายขอบเขตการใช้งานเข้าไปในอุตสาหกรรมอื่นด้วย เช่น ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตเฟือง (Gear) ข้อต่อ (Fitting) ล้อ (Wheel) เป็นต้น

#### 2.14.4.2 โพลีเอสเตอร์ [48, 56]

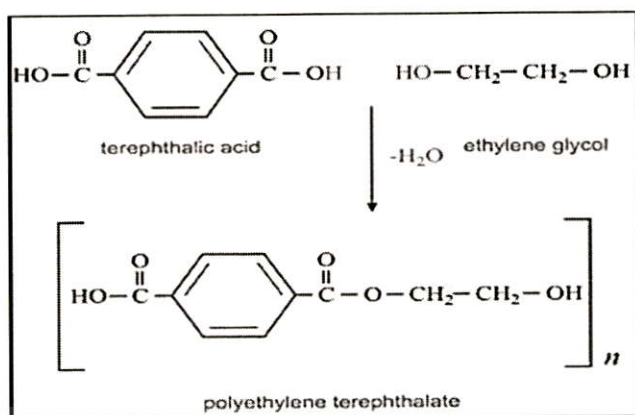
เส้นใยโพลีเอสเตอร์ถูกค้นพบโดย Dr. W.H. Carothers ชาวสหรัฐอเมริกา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930 เป็นผู้ค้นพบเส้นใยไนลอน ต่อมานักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษได้ทำการศึกษาค้นคว้าต่อจนผลิตเส้นใยโพลีเอสเตอร์ชนิดแรกได้ โดยใช้ชื่อว่า Terylene ในปี ค.ศ. 1941 ต่อมาปี ค.ศ. 1946 บริษัทดูปองท์ได้ซื้อลิขสิทธิ์มาผลิตในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยใช้ชื่อว่า Dacron (แดครอน) เส้นใยโพลีเอสเตอร์จึงได้รับความนิยมเป็นอย่างกว้างขวางและรวดเร็วกว่าเส้นใยสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ

#### กระบวนการผลิต

เส้นใยที่ผลิตขึ้นมาเป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์ที่มีสายโซ่โมเลกุลยาว ประกอบด้วยกลุ่ม เอสเตอร์ที่ได้จาก Dihydric alcohol และ Terephthalic acid ที่มีปริมาณอย่างน้อยที่สุดประมาณ 85% โดยน้ำหนัก เส้นใยเส้นโพลีเอสเตอร์สามารถผสมกับเส้นใยอื่น ๆ ได้แทบทุกชนิด โดยไม่ทำให้สมบัติที่ดีเด่นของเส้นใยที่ผสมนั้นเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ด้านการวิจัยและพัฒนาของเส้นใยโพลีเอสเตอร์อย่างต่อเนื่องมาตลอด โดยทั่วไปโพลีเอสเตอร์ที่ผลิตในปัจจุบันมีเพียงสองชนิดหลัก ๆ คือ PET (Polyethylene terephthalate) และ PCDT (Poly 1,4 cyclohexylene-dimethylene terephthalate) ส่วนมากที่ผลิตมักเป็นชนิด PET โดยมีสมบัติคล้ายกันดังนี้

- สมบัติของการคืนตัวที่ดี ทั้งขณะเปียกและแห้ง
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่รักษารูปทรงได้ดี
- ทนทานต่อแสงแดด
- มีความคงทนต่อการขัดถูดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.44 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการใช้กรดเทรพทาลิกกับเอทิลีนไกลคอลในการผลิต PET

#### สมบัติทางกายภาพ

ลักษณะภายนอก: เป็นเส้นใยผิวเรียบขนาดสม่ำเสมอทั้งเส้นใยมีพื้นที่ตัดขวางได้หลายรูปแบบ แต่ส่วนใหญ่ผลิตเป็นแบบวงกลมทำให้เส้นใยมีลักษณะเป็นแท่งยาว

ความแข็งแรง: จัดเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการขูดถูดี เส้นใยยาวทั่วไปมีความทนแรงดึง ณ จุดขาดมีค่าอยู่ในช่วง 4.0-5.0 gpd แต่เส้นใยยาวชนิดความแข็งแรงสูงอยู่ในช่วง 6.3-9.5 gpd ในกรณีของเส้นใยสั้นมีค่าอยู่ในช่วง 2.5-5.5 gpd

การคืนตัวจากแรงอัด: โพลีเอสเตอร์มีการคืนตัวจากการยับย่นดีมาก โดยเฉพาะเมื่อถูกเซตด้วยความร้อนขณะผลิต

การยืดยุ่น: อยู่ในระดับปานกลางจนถึงดี ถ้ามีเปอร์เซ็นต์การยัดตัวสูง 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: โพลีเอสเตอร์ทนต่อด่างอ่อนทั้งอุณหภูมิปกติและสูง เส้นใยทนต่อด่างแก่ได้ปานกลางที่อุณหภูมิห้อง แต่สลายตัวที่อุณหภูมิสูง

แสงแดด: ภายใต้อุณหภูมิปกติโพลีเอสเตอร์ทนทานต่อแสงแดดได้ดี

#### การใช้งาน

ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยโพลีเอสเตอร์ได้รับความนิยมมากที่สุดในกลุ่มเส้นใยสังเคราะห์ สมบัติที่ดีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์คือ ไม่ยับง่าย สวมใส่สบาย ดูแลรักษาง่าย เป็นเส้นใยประเภท Wash and Wear และนิยมนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์มาผสมกับเส้นใยชนิดอื่นเช่น เรยอน ไหม ผ้าย

ลินิน ขนสัตว์ เป็นต้น ซึ่งมักจะใช้ประมาณไม่ต่ำกว่า 60% เช่น พอลิเอสเทอร์ 65% ฝ้าย 35% การผสมกันของเส้นใยทำให้ผ้ามีความสวยงาม ความคงทนและความเหมาะสมต่อการใช้ประโยชน์มากขึ้น

### 2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุภาภรณ์ คลีไบ และคณะ [12] ได้ศึกษาแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน โดยศึกษาปริมาณกำมะถันที่ 1, 2, 3 และ 4 phr ปริมาณสารช่วยให้ฟองจับตัว (SSF) ในปริมาณ 0.5, 1.5, 2.5, 3.5 และ 4.5 phr ที่มีผลต่อระยะเวลาจับตัวเป็นเจลของโพลียเอทิลีน ศึกษาในระดับความเร็วและเวลาในการปั่นโพแทสเซียมโอเลต (KO) มีการเคลือบผิวชั้นนอกของโพลียเอทิลีนด้วยยางซิลิโคน และศึกษาการฝังก้อนมวล (Mass) ได้แก่ เนื้องอก ก้อนซิสต์ และมะเร็ง จากการศึกษาพบว่า ปริมาณกำมะถันที่เพิ่มขึ้น มีผลโดยตรงให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากการกดอัดลดลง เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งพบว่าเวลาในการปั่น KO และระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของโพลียเอทิลีนเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากแรงกดอัดมากขึ้น เนื่องมาจากขนาดฟองมีใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการปั่น KO และระดับความเร็วที่เหมาะสมคือ 3 นาที และระดับ 1 (537 rpm) ตามลำดับ การศึกษาปริมาณ SSF พบว่าปริมาณ SSF มีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโพลียเอทิลีน แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโพลียเอทิลีน และการศึกษาการเคลือบผิวแบบจำลองยางด้วยซิลิโคน พบว่าเกิดปัญหาการยึดติดระหว่างผิวซิลิโคนกับโพลียเอทิลีน

กุลกันยา ทองดี และคณะ [13] ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความหนาแน่น ความแข็งแรง (Shore OO), การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด และศึกษาสัณฐานวิทยาของโพลียเอทิลีนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) โดยการศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ 3, 5, 7, 9 และ 11 นาที ศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ 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 ฝังก้อนของแข็ง 3 แบบ แทนก้อนมะเร็ง ซิสต์ และเนื้องอกที่มีรูปร่างและขนาดแตกต่างกันในตำแหน่งที่สามารถตรวจพบ และทำการขึ้นรูปแบบแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน จากการศึกษาเวลาการปั่น KO พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนความหนาแน่นและความแข็งแรงของโพลียเอทิลีนลดลง รวมถึงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดและเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าลดลง เวลาในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนคือ 9 นาที การศึกษาปริมาณ KO พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ KO ความหนาแน่นมีแนวโน้มคงที่ ความแข็งแรงของโพลียเอทิลีนลดลงเมื่อใช้ปริมาณ KO ในปริมาณที่เหมาะสม และมีค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวและค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเพิ่มขึ้น ปริมาณ KO ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนคือ 15 phr การศึกษาผลของปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารเชื่อมโยงมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรง และมอดูลัส 100% มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมคือ 3 phr เนื่องจากมีความแข็งแรงมากพอในการขึ้นรูปผิวเคลือบยางซิลิโคนและมีความแข็งแรงน้อยที่สุดตรงตามความต้องการ การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคนพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคน ค่าความแข็งแรงและมอดูลัส 100% ค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แข็งแรงถึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่ใช้ในการขึ้นรูปก่อนมะเร็งคือ 20 phr การขึ้นรูปก่อนเนื้องอกใช้น้ำมันซิลิโคน 30 phr และการขึ้นรูปก่อนซีสต์ใช้น้ำมันซิลิโคน 50 phr เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ จึงทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizers) เพื่อเป็นการปรับความแข็งแรงของยางซิลิโคนให้ได้ก่อนมวลตามต้องการ

เบญจมาศ มีชัย [57] ทำโครงการด้านมเทียมด้วยซิลิโคน สำหรับตรวจมะเร็งเต้านมพบปัญหาเรื่องวัตถุดิบที่มีข้อจำกัดเรื่องคุณภาพของซิลิโคนในประเทศที่ไม่เหมาะสมกับการผลิตเต้านมเทียมพบว่าเมื่อขึ้นรูปแล้วไม่อยู่ตัว เมื่อหดตัวทำให้รูปทรงเปลี่ยนไปไม่ได้ขนาดและไม่ได้มาตรฐาน รวมทั้ง 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 กระจกนิรภัยในอุตสาหกรรมรถยนต์ จากการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลหลังจากได้รับแรงดึงของผ้าไนลอน 66 ใน Flexible composites B พบว่ามีค่ามอดูลัสต่ำในช่วงแรก เนื่องจากเป็นช่วงที่รอยหยักของเส้นด้ายยืดออก และหลังจากที่รอยหยักบนเส้นด้ายยืดตรงหมดแล้ว ทำให้ค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้นพบว่า ซิลิโคนไม่ได้มีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลของผ้า และผลการศึกษาพฤติกรรมเชิงกลของผ้าพอลิเอสเตอร์ของ Flexible composites A เมื่อรับแรงดึงพบว่ามีค่ามอดูลัสเพิ่มสูงขึ้นตั้งแต่เริ่มแรก เนื่องจากการเคลือบทั้งสองด้านของตัวผ้าทำให้การยึดติดกันที่ดีของพีวีซีกับผ้าพอลิเอสเตอร์ พีวีซีมีผลต่อพฤติกรรมเชิงกลของผ้า และพบว่าโครงสร้างการสานกันของเส้นด้ายมีผลทำให้โมเดลมีความแข็งแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งพฤติกรรมการยืดขยายของ Flexible composite นี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้ เช่น กระบวนการเคลือบหรือกระบวนการลามิเนต สมบัติของเส้นใย สมบัติของ

พอลิเมอร์เมทริกซ์และปริมาณของพอลิเมอร์เมทริกซ์ เป็นต้น สำหรับการเสริมแรง คอมโพสิตด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งทอจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในผลิตชิ้นงานที่ต้องมีประสิทธิภาพสูง เช่น ถุงลมนิรภัยที่ต้องทนต่อแรงดันลมสูง

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  $1.44 \times 10^6$  กิโลนิวตันต่อตารางเมตร และความทนทานต่อแรงฉีกขาดของวัสดุมีค่าเท่ากับ 5.43 กิโลนิวตันต่อเมตร ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานหุ่นจำลองอยู่ในเกณฑ์ดีมีค่าเฉลี่ย  $4.16 \pm 0.64$

### สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- เมื่อเพิ่มปริมาณกัมมะถัน มีผลโดยตรงทำให้โฟมยางธรรมชาติมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากการกดอัดลดลง
- เมื่อเพิ่มปริมาณ SSF จะมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาการจับตัวเป็นเจลของโฟมยางธรรมชาติ แต่ไม่ส่งผลต่อความหนาแน่นของโฟมยางเมื่อมีค่ามากถึงค่าหนึ่ง
- เมื่อเพิ่มเวลาในการปั่น KO และความเร็วมีผลทำให้ความหนาแน่นและความแข็งแรงของโฟมยางเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การยุบตัวจากแรงกดอัดมากขึ้น
- ยางซิลิโคนสำหรับเคลือบผิวแบบจำลองโฟมยางธรรมชาติพบว่าการปัญหาการยึดติด และเกิดการขาดง่าย
- เมื่อเพิ่มปริมาณเปอร์ออกไซด์ มีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงและมอดุลัส 100% มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดขาด และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด มีค่าลดลง
- เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนค่าความแข็งแรงและมอดุลัส 100% ค่าความแข็งแรงดึง ค่าร้อยละการดึงยืด ณ จุดคราก และค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาดมีค่าลดลง
- การเสริมแรงคอมโพสิตยึดหยุ่นด้วยสิ่งทอ สามารถนำไปผลิตชิ้นงานที่ต้องรับแรงได้ การยืดขยายของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับ กระบวนการเคลือบหรือกระบวนการลามิเนต สมบัติของเส้นใยและสมบัติของพอลิเมอร์เมทริกซ์ รวมถึงปริมาณของพอลิเมอร์เมทริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากงานวิจัยการพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน [13] ซึ่งงานที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหาย (ฉีกขาด) เมื่อนำไปใช้งาน งานวิจัยนี้จึงทำการพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของฝักซิลิโคนสำหรับใช้เคลือบโพลีเอทิลีนของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม รวมถึงทำการพัฒนาความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนชั้นในของแบบจำลองให้เหมาะสำหรับการนำมาทำแบบจำลอง และเนื่องจากปัจจัยความต้องการของผู้ป่วยที่โดนตัดเต้านมหลังการรักษาที่ต้องการเต้านมเทียม (เต้านมทดแทน) จึงมีการนำโพลีเอทิลีนมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนโดยปรับปรุงน้ำหนักให้เหมาะสม ดังนั้นการทดลองนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม ชั้นผิวนอกทำจากยางซิลิโคนและชั้นในทำจากโพลีเอทิลีน

ตอนที่ 1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลีเอทิลีนชั้นในของแบบจำลอง

ตอนที่ 3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน

ส่วนที่ 2 เต้านมทดแทน

ตอนที่ 4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีน

ตอนที่ 5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีน

#### 3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) น้ำยางชั้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูง จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 2) โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ (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
- 6) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide; ZnO) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 7) DPG (Diphenyl guanidine) 33% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ
- 8) วิงสเตย์แอล (Wingstay<sup>®</sup> L) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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) CaCO<sub>3</sub> (Calcium carbonate) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง การยางแห่งประเทศไทย บางเขน กรุงเทพฯ

15) TiO<sub>2</sub> (Titanium dioxide) 50% dispersion จาก CPS Specialty Co.,Ltd

16) วาสลีน จาก CPS Specialty Co.,Ltd

17) ผ้าขาวบาง จากโรงงานจักรพงษ์การทอ สมบัติบางประกอกของผ้าขาวบาง แสดงดังตารางที่ 3.2

18) ผ้าดิบ จากโรงงานจักรพงษ์การทอ สมบัติบางประกอกของผ้าดิบ แสดงดังตารางที่ 3.3

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

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประกอกของยางซิลิโคน

| 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

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพของผ้าขาวบาง

| การทดสอบ  | ผลที่ได้                                      |                                |          |
|---|---|--------------------------------|----------|
| ประเภทของผ้า  | ผ้าทอ ลายขัด 1/1                              |                                |          |
| ชนิดของเส้นใย   | เส้นใยฝ้าย                                    |                                |          |
| น้ำหนักของผ้า   | 0.0399 กรัมต่อตารางนิ้ว                       |                                |          |
| จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วยความยาว  | เส้นด้ายยืน<br>48 เส้นต่อนิ้ว                 | เส้นด้ายพุ่ง<br>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 ลายขัด 1/1                              |                                |          |
| ชนิดของเส้นใย   | ฝ้ายผสมพอลิเอสเตอร์ (35:65)                   |                                |          |
| น้ำหนักของผ้า   | 0.0844 กรัมต่อตารางนิ้ว                       |                                |          |
| จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วยความยาว  | เส้นด้ายยืน<br>39 เส้นต่อนิ้ว                 | เส้นด้ายพุ่ง<br>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

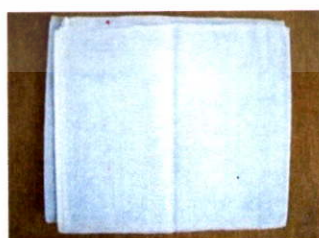
|  |                                  |          |
|--|----------------------------------|----------|
| การทดสอบ   | ผลที่ได้                         |          |
| ประเภทของผ้า   | ผ้าถักนิตด้ายพุ่ง                |          |
| ชนิดของเส้นใย  | ไนลอน                            |          |
| น้ำหนักของผ้า  | 0.0234 กรัมต่อตารางนิ้ว          |          |
| จำนวนเส้นด้ายในผืนผ้าต่อหน่วย<br>ความยาว   | เส้นด้ายพุ่ง<br>110 เส้นต่อนิ้ว  |          |
| ค่าความหนาแน่นเชิงเส้นตรงของ<br>เส้นด้าย หรือเบอร์ของเส้นด้าย<br>ในผืนผ้าทอตามแนวมาตรฐาน | 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<br>(N) | การยืดตัว ณ จุดขาด<br>(%) | แรงดึงขาดสูงสุด<br>(N) | การยืดตัว ณ จุดขาด<br>(%) |
| 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)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) แม่พิมพ์ Fiber glass สำหรับโฟมยางมะเร็งเต้านม 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) เครื่องทดสอบบเนกประสงค์ ยี่ห้อ Lloyd instruments รุ่น LR5K
- 9) ชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set) ชนิด B การใช้ระยะกด

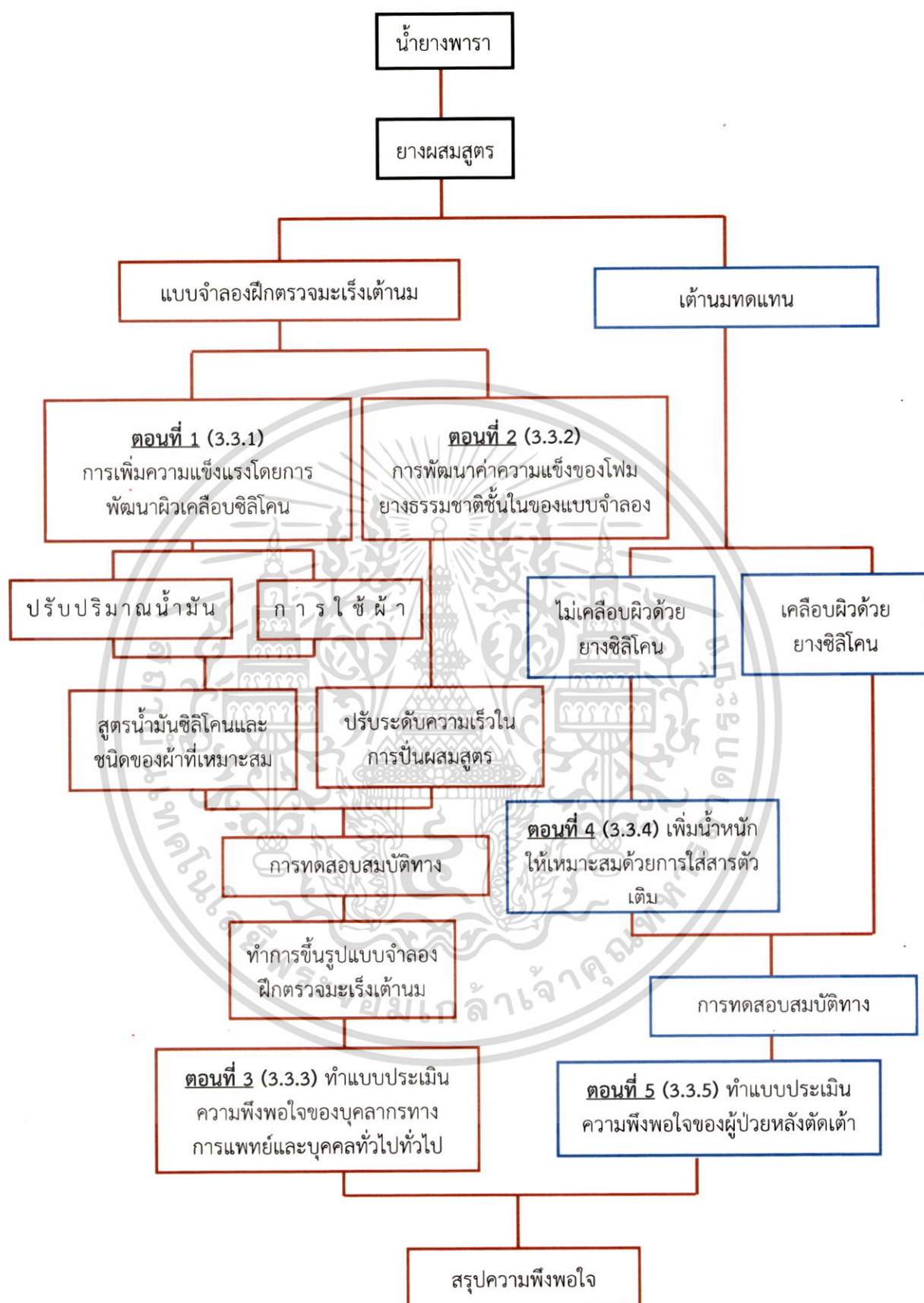
คงที่

10) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ยี่ห้อ Vitiny Digital Portable Microscope รุ่น VT300

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและทดลอง การผลิตผิวเคลือบของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติและการเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 แผนผังการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 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 ดังภาพที่ 3.3(a)
- 3) ปลดยthingให้ยางซิลิโคนเกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (ดังภาพที่ 3.3(b)) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Post cure)
- 5) ทำการทดสอบซ้ำโดยปรับเปลี่ยนน้ำมันซิลิโคนจาก 60 เป็น 75 และ 90 phr

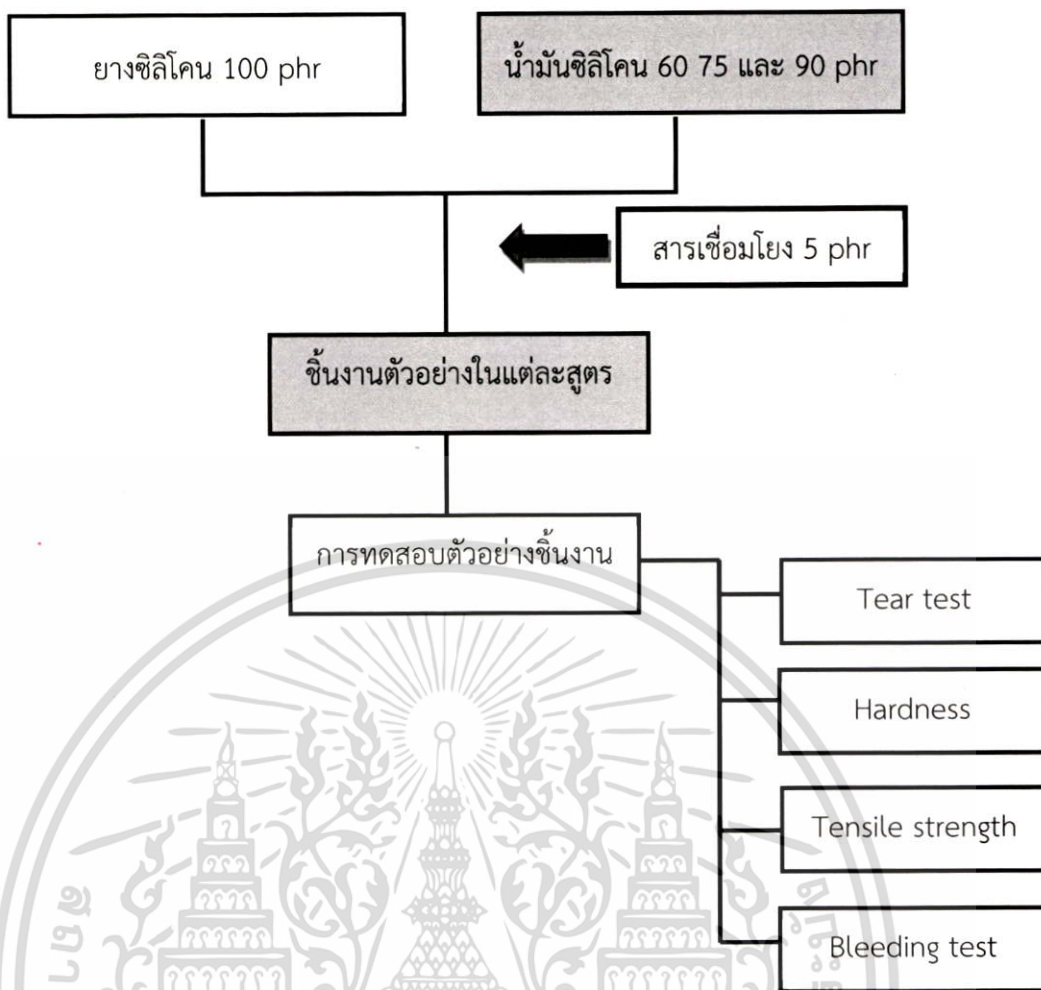


(a)

(b)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.4 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบชิลิโคนเพื่อหาปริมาณน้ำมันชิลิโคนที่เหมาะสม

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

### 3.3.1.2 ศึกษาชนิดของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวเคลือบชิลิโคน

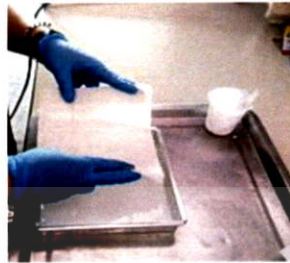
โดยใช้ผ้าชนิด ต่าง ๆ คือ ผ้าขาวบาง ผ้าดิบ และผ้าไนลอน ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดังนี้

1) ชั่งยางชิลิโคน น้ำมันชิลิโคนและสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 3.6  
 2) เทยางชิลิโคนและน้ำมันชิลิโคนในแก้วพลาสติกคนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 1 นาทีและใส่สารเชื่อมโยง แล้วเทลงแม่พิมพ์อะลูมิเนียมที่มีการทาวาสลินไว้ก่อนหน้าเพื่อความสะดวกในการปลดชิ้นงาน

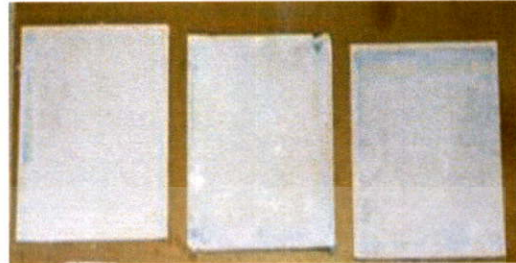
3) นำผ้าดิบ ที่มีขนาด ความกว้าง 170 มิลลิเมตร ความยาว 170 มิลลิเมตร วางลงในแม่พิมพ์และกดผ้าให้จมอยู่ในชั้นของยางชิลิโคนที่เทลงไปก่อนหน้า วางทิ้งให้ยางชิลิโคนเกิดการเชื่อมโยงที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.5(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ (ดังภาพที่ 3.5(b)) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (Post cure)
- 5) ทำการทดลองซ้ำโดยปรับเปลี่ยนชนิดของผ้าจากผ้าดิบเป็นผ้าขาวบางและผ้าไนลอน

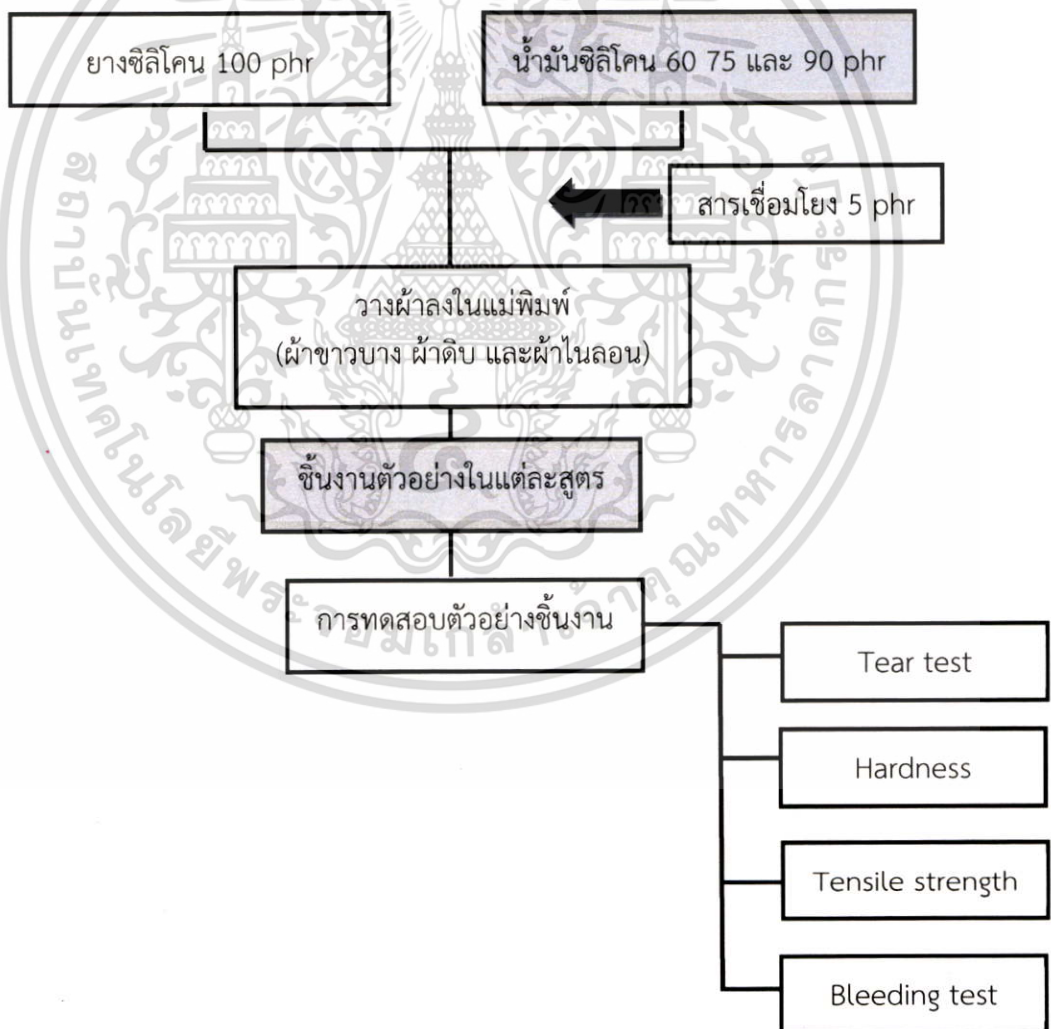


(a)



(b)

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



ภาพที่ 3.6 แผนผังการเตรียมตัวอย่างผิวเคลือบซิลิโคนที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วยผ้าแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการศึกษาสมบัติของผ้าที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวเคลือบซิลิโคน โดยใช้ผ้าทั้ง 3 ชนิด 3.3.1.2 ผ้าไนลอนมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากทำให้ผิวเคลือบของชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นแต่ยังไม่ได้ค่าความแข็งที่ต้องการ ทำให้ต้องมีการปรับสูตรของโพลียเอทเธอร์เรซินเป็นส่วนที่เป็นชั้นในของแบบจำลองฝึกตรวจระเบิด้านมาจากโพลียเอทเธอร์เรซินให้มีความนิ่มมากกว่าเดิม เพื่อเป็นการชดเชยค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมผ้าเข้าไปในผิวเคลือบซิลิโคน

### 3.3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลียเอทเธอร์เรซินในของแบบจำลอง

โดยศึกษาผลของระดับความเร็วในการปั่นขึ้นรูปโพลียเอทเธอร์เรซินเพื่อให้ได้แบบจำลองฝึกตรวจระเบิด้านที่มีค่าความหนาแน่นและความแข็งที่ลดลง

ตารางที่ 3.7 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโพลียเอทเธอร์เรซิน

| น้ำยางและสารเคมี            | น้ำหนักเปียก (กรัม) | น้ำหนักแห้ง (phr) |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|
| 60% น้ำยางชั้น (Latex)      | 167.0               | 100.0             |
| 10% โพลีเอทเธอร์เรซิน       | 15.0                | 1.5               |
| 50% กำมะถัน                 | 2.0                 | 1.0               |
| 50% ZDEC                    | 2.0                 | 1.0               |
| 50% ZMBT                    | 2.0                 | 1.0               |
| 50% Wingstay <sup>®</sup> 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 การขึ้นรูปโพลียเอทเธอร์เรซินในของแบบจำลอง

- 1) ทำการชั่งสารตามสูตรผสม ดังตารางที่ 3.7 ลงในถ้วยพลาสติก
- 2) ทาวาสลีนเพื่อให้ปลดชิ้นงานออกได้ง่ายโดยไม่ทำให้พื้นผิวเสียหาย และเตรียมการฝังของแข็ง (เซลล์มะเร็ง ต่อม น้ำเหลือง เนื้องอก และซีสต์ โดยที่เซลล์มะเร็งและต่อมน้ำเหลืองจะถูกฝังด้านเดียวกัน) โดยมัดก้อนของแข็งกับเส้นด้าย และทำการผูกกับตัวยึดเพื่อให้ก้อนของแข็งลอยอยู่ในเนื้อแม่พิมพ์ 1 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.7(a)
- 3) เทน้ำยางชั้นปริมาณ ดังตารางที่ 3.7 ใส่ภาชนะขนาด 2.5 ลิตร สำหรับปั่นกวนเติมโพลีเอทเธอร์เรซิน ซึ่งเป็นอิมัลชันไฟเออร์เป็นอันดับแรกเพื่อทำการปั่นกวนทำให้เกิดฟองที่เสถียร
- 4) ปรับระดับความเร็วของการปั่นกวนเป็นระดับ 4 ระหว่างการปั่นกวนทำการหมุนภาชนะปั่นกวนอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้ฟองอากาศในปริมาณที่มากและใช้ไม้พายช่วยผสมและกำจัดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่จะสังเกตว่าน้ำยางที่ทำการปั่นกวนมีฟองอากาศที่มีความสม่ำเสมอโดยใช้เวลา 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เติมกำมะถัน ZDEC ZMBT และ Wingstay® L ในภาชนะปั่นกวนและใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้นโดยลดระดับความเร็วเป็นระดับที่ 1 เพื่อให้ฟองอากาศมีความสม่ำเสมอเป็นเวลา 2 นาที

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

7) เทน้ำยางที่มีลักษณะเป็นโฟมลงในแม่พิมพ์ ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบเพื่อความสวยงาม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้เกิดการคงรูป ดังภาพที่ 3.7(b)

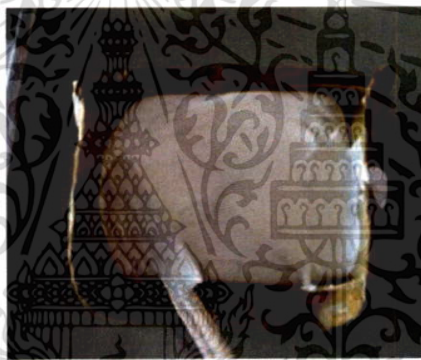
8) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อให้โฟมยางธรรมชาติเกิดการเชื่อมโยงกัน

9) แกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ Fiber glass โดยตัวอย่างชิ้นงานแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ ดังภาพที่ 3.7(c)

10) การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ สามารถทำตามขั้นตอนข้างต้นที่ 1-9 โดยใช้แม่พิมพ์ของแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ



(a)



(b)

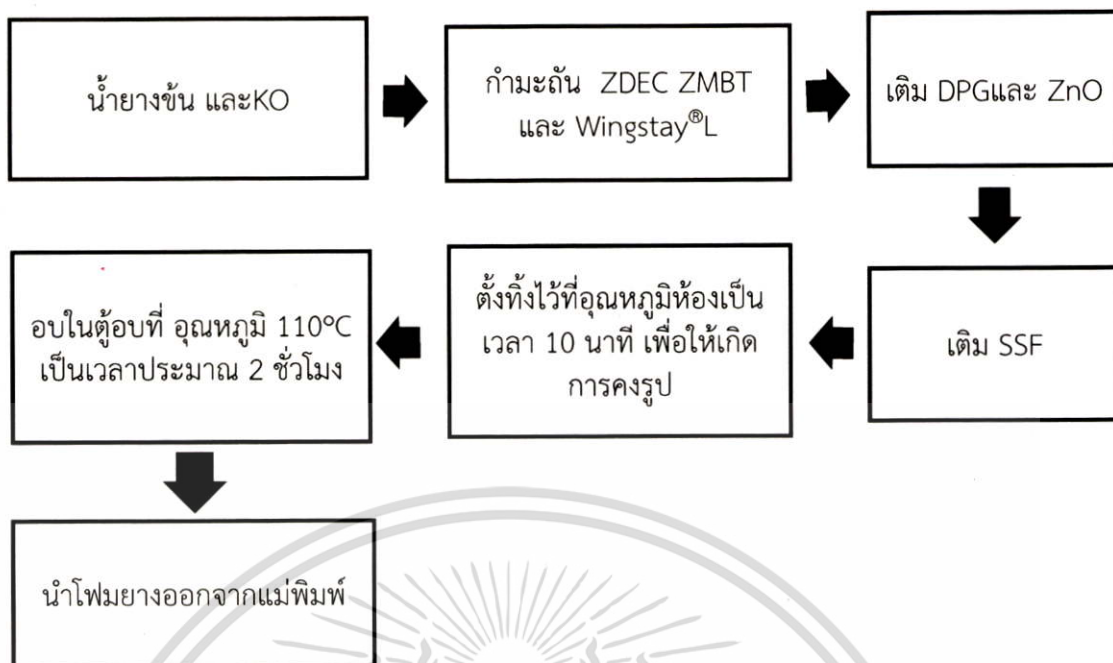


(c)

ภาพที่ 3.7 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ: (a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง, (b) เทโฟมยางธรรมชาติพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ และ (c) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูป

### 3.3.2.2 การขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติขึ้นในของเต้านมทดแทน

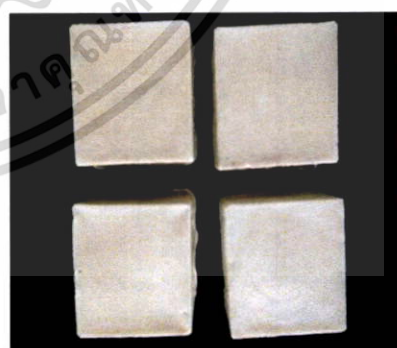
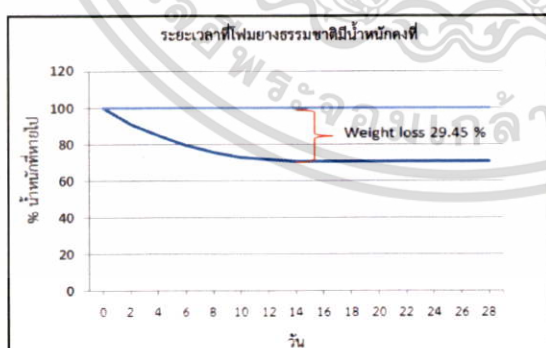
การขึ้นรูปเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ สามารถทำตามการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติขึ้นในของแบบจำลองที่ 3.3.3.1 ยกเว้นการฝังก้อนของแข็งในเต้านม และเปลี่ยนเป็นใช้แม่พิมพ์ของเต้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ



ภาพที่ 3.8 แผนผังการเตรียมโฟมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลองและด้านมทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ

### 3.3.2.3 การศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นโฟมยางธรรมชาติ

ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 แต่เปลี่ยนระดับความเร็วในช่วงแรกที่ปั่นกับอิมัลซิไฟเออร์ เป็นระดับ 1, 2, 3 และ 4 (เทียบเป็นความเร็วรอบในการปั่นแต่ละระดับความเร็วเป็น 429 636 766 และ 840 rpm ตามลำดับ) ขั้นตอนสุดท้ายเทใส่แม่พิมพ์อะลูมิเนียม ขนาด กว้าง 125 มิลลิเมตร ยาว 125 มิลลิเมตร สูง 63 มิลลิเมตร หลังจากวันที่ขึ้นรูปเสร็จให้ทิ้งชิ้นงานเป็นเวลา 2 สัปดาห์ เพื่อให้ให้น้ำระเหยออกและน้ำหนักที่คงที่ ดังภาพที่ 3.9 และนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

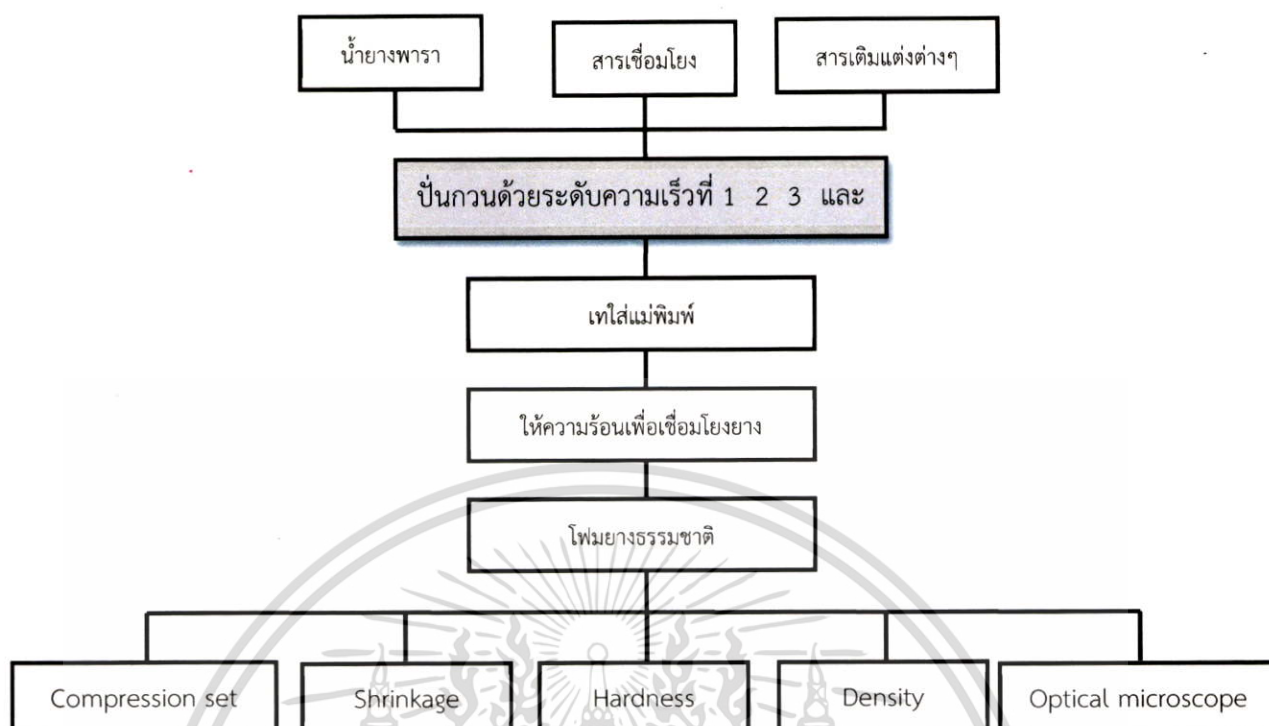


(a)

(b)

ภาพที่ 3.9 (a) ระยะเวลาที่โฟมยางธรรมชาติมีน้ำหนักคงที่ และ (b) ชิ้นงานโฟมยางธรรมชาติที่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

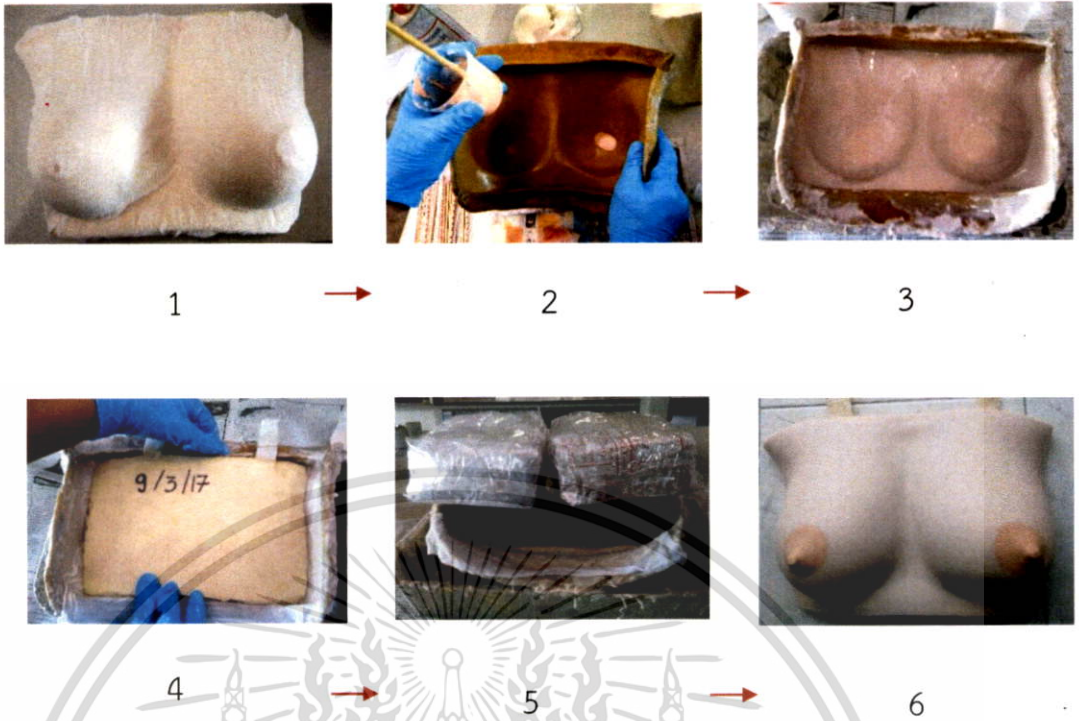


ภาพที่ 3.10 การเตรียมโพลียางธรรมชาติที่ระดับความเร็วที่ต่างกันเพื่อทดสอบสมบัติต่าง ๆ

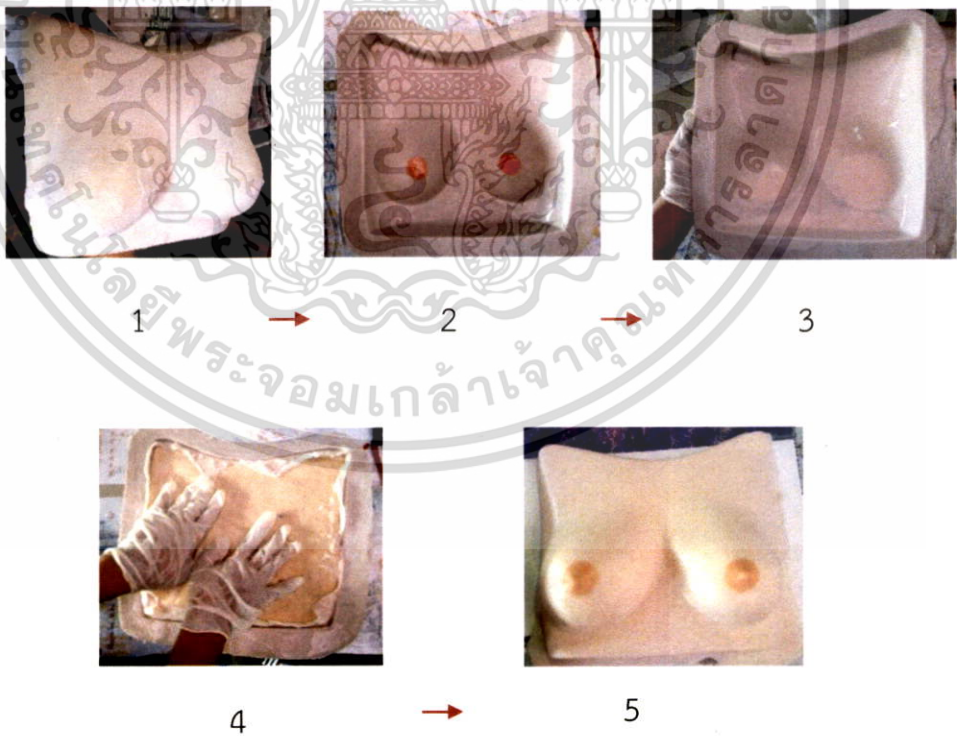
### 3.3.2.4 การศึกษาการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

- 1) นำผ้าในลอนวางลงบนผิวของโพลียางแบบแฉวนค่อหรือแบบตั้งโต๊ะ จากนั้นเททับด้วยยางซิลิโคนให้ทั่วผ้า
- 2) ทำการชั่งยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนตามตารางที่ 3.6 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 60 phr และผสมสีเข้มเพื่อทำเป็นหัวนมแล้วเทยางซิลิโคนที่ผสมลงในแม่พิมพ์
- 3) ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โตนสีอ่อนกว่าบริเวณหัวนมและสารเชื่อมโยงแล้วเทลงบนแม่พิมพ์ จากนั้นกลิ้งยางซิลิโคนให้กระจายทั่วแม่พิมพ์ให้ได้ความหนาตามต้องการ
- 4) นำโพลียางธรรมชาติที่ได้จาก 3.3.2.1 วางลงในแม่พิมพ์ที่มียางซิลิโคน
- 5) นำน้ำหนักรีดทับโพลียางธรรมชาติเพื่อให้แนบติดกับชั้นผิวซิลิโคน
- 6) รอยยางซิลิโคนแข็งตัว แล้วจึงสามารถนำมาแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.11 การขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบแขนคอ

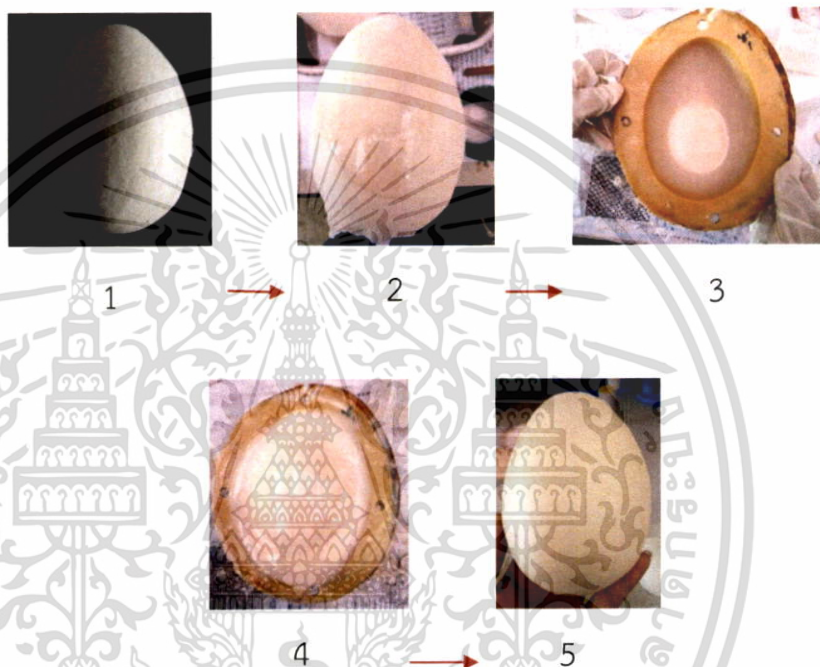


ภาพที่ 3.12 การขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2.5 การศึกษาการขึ้นรูปเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน

- 1) นำผ้าไนลอนวางลงบนผิวของโพนียงและเททับด้วยยางซิลิโคนให้ทั่วผ้า
- 2) ทำการชั่งยางซิลิโคน สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนตาม ตารางที่ 3.6 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 60 phr จากนั้นกลิ้งยางซิลิโคนให้กระจายทั่วแม่พิมพ์ให้ได้ความหนาตามต้องการ
- 3) นำโพนียงธรรมชาติแบบเต้านมทดแทน วางลงในแม่พิมพ์ที่มียางซิลิโคน
- 5) กดโพนียงธรรมชาติเพื่อให้แนบติดกับชั้นผิวซิลิโคน
- 6) รองนยางซิลิโคนแข็งตัว แล้วจึงสามารถนำมาแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้



ภาพที่ 3.13 การขึ้นรูปเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน

### 3.3.3 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เมื่อได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนเพิ่มความแข็งแรงแล้ว จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ โรงพยาบาล รามาธิบดี และบุคคลทั่วไปตามแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน ดังรูปที่ ก.1 ในภาคผนวก ก เต้านมทดแทน

### 3.3.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพนียงธรรมชาติ

จากการนำตัวอย่างเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนไปสอบถามประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วยที่ใช้เต้านมทดแทน ปรากฏว่ามีทั้งผู้ป่วยที่ต้องการเต้านมทดแทนที่เคลือบและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนและมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมว่า

1. เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนมีน้ำหนักที่หนักเกินไป
2. เต้านมทดแทนที่ไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนมีน้ำหนักที่เบาเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.4.1 ด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนที่เคลือบผิวยางซิลิโคน

ด้านมทดแทนที่มีการเคลือบผิวยางซิลิโคนจะมีน้ำหนักที่มากเกินไป เนื่องจากชั้นผิวเคลือบที่หนาเกินไป จึงต้องทำการปรับลดความหนาของชั้นผิว พร้อมทั้งเพิ่มความแข็งแรงของชั้นผิว โดยการเสริมแรงด้วยผ้า

ชั้นรูปโพลียเอทิลีนชั้นในของด้านมทดแทน ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 และทำการเคลือบผิวเหมือนกับการทดลองที่ 3.3.2.3

### 3.3.4.2 ด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนที่ไม่เคลือบผิวยางซิลิโคน

ศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักให้แก่ด้านมทดแทนที่ทำจากโพลียเอทิลีน

ทำการทดลองเหมือน 3.3.2.1 โดยมีสารตัวเติม 3 ชนิด ได้แก่  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  ที่ปริมาณต่างกันเพื่อให้ได้น้ำหนักชิ้นงานที่เหมาะสมตามขนาดด้านมทดแทน โดยสารตัวเติมแต่ละชนิดมีสมบัติทางกายภาพ แสดงดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สมบัติทางกายภาพบางประการของสารตัวเติม [26,37]

| สมบัติ   | $\text{SiO}_2$ |              | $\text{CaCO}_3$ | $\text{TiO}_2$ |
|--|----------------|--------------|-----------------|----------------|
|  | ชนิดไอ         | ชนิดตกตะกอน  |                 |                |
| ลักษณะทางกายภาพ  | ของแข็งสีขาว   | ของแข็งสีขาว | ของแข็งสีขาว    | ของแข็งสีขาว   |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )                     | 0.8            | 8-10         | 3-14            | 0.02           |
| ความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )                        | 2.20           | 2.20         | 2.71            | 4.23           |
| พื้นที่ผิว, BET $\text{N}_2$ ( $\text{m}^2/\text{g}$ ) | 50-400         | 60-300       | 10-30           | 50             |
| ราคา (THB/kg)  | 300            | 28           | 45              | 400            |

### 3.3.5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน

เมื่อได้ด้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนทั้งชนิดที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนที่ซึ่งมีน้ำหนักที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของผู้ป่วยที่ทำการตัดเต้านมหลังการรักษา 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 เตรียมชิ้นงานเป็นรูปดัมเบล ความหนา 2 mm ใช้สภาวะที่ทดสอบ ดังนี้

- ความเร็วในการดึง (Test speed) : 500 mm/min

ระยะของการจับชิ้นงาน (Gauge length) : 25 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 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

3. การทดสอบความแข็ง

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

4. การแพร่ออกของพลาสติกไซเซอ์

การทดสอบการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอ์ ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ISO 177 [65] เตรียมตัวอย่างซิลิโคนที่ใช้ทดสอบตามวิธีการที่ 3.3.1.1 นำชิ้นงานที่ได้มาตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $5 \times 5 \text{ cm}^2$  และหนา 3 cm นำชิ้นงานไปแช่น้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งและนำไปทดสอบโดยใช้สภาวะทดสอบ ดังนี้

- อุณหภูมิ 70°C

- เวลา 24 ชั่วโมง

- น้ำหนักกดทับ 5 kg

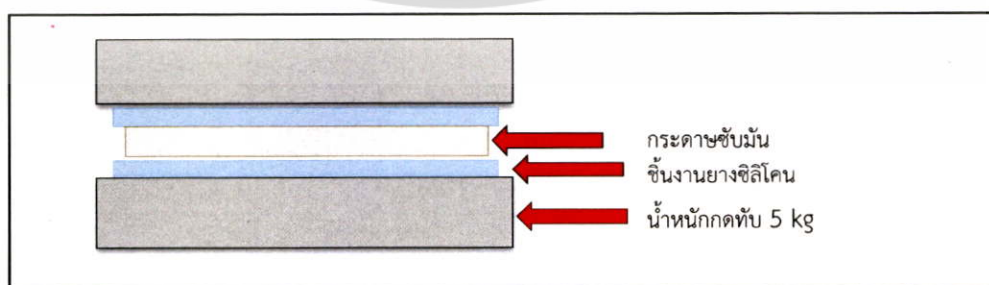
นำชิ้นงานตัวอย่างมาจัดวาง ดังภาพที่ 3.11 เมื่อครบกำหนดเวลา นำชิ้นงานทดสอบมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อดูการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอ์ โดยคำนวณการแพร่ออกของพลาสติกไซเซอ์ จากสูตร

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

โดยที่ % B แทนเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซอ์

$W_0$  แทนน้ำหนักของชิ้นงานเริ่มต้น (mg)

$W$  แทนน้ำหนักของชิ้นงานตอนสุดท้าย (mg)



ภาพที่ 3.14 การจัดเรียงชิ้นงานขณะทดสอบการแพร่ออกของน้ำมันซิลิโคน

ที่มา : ISO 177, 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 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 ( $\text{g/cm}^3$ )

$M$  คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g)

$V$  คือปริมาตรของชิ้นงาน ( $\text{cm}^3$ )

#### 2. การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

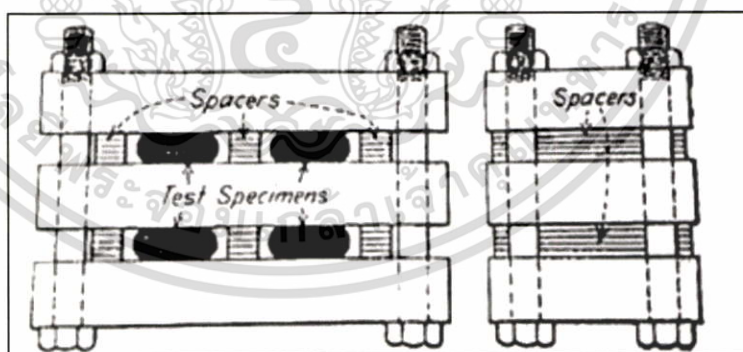
ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1425-2540 [66] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเท็กซ์ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ ( $t_1$ )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



ภาพที่ 3.15 ชิ้นงานทดสอบถูกกดทับด้วยชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด  
ที่มา : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2540

#### 3. การทดสอบความแข็งกด

ทดสอบตามรายละเอียดหัวข้อที่ 3.4.1 ส่วนที่เป็นผิวชั้นนอกของแบบจำลอง ข้อที่ 3.

#### 4. การทดสอบการหดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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)

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



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน เนื่องจากชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเกิดความเสียหาย (ฉีกขาด) เมื่อนำไปใช้งาน โดยทำการพัฒนาและปรับปรุงความแข็งแรงของผิวซิลิโคนสำหรับใช้เคลือบโพลีเอทิลีนของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม โดยการใช้เส้นใยถักทอและการศึกษาสูตรยางที่เหมาะสม รวมถึงทำการพัฒนาความแข็งแรงของโพลีเอทิลีนชั้นในของแบบจำลองให้เหมาะสำหรับการนำมาทำแบบจำลอง นอกจากนี้ยังศึกษาการนำโพลีเอทิลีนมาประยุกต์เป็นเต้านมทดแทนสำหรับผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านม โดยปรับปรุงน้ำหนักของเต้านมให้เหมาะสมตามน้ำหนักมาตรฐานแต่ละขนาดคัพของเต้านม

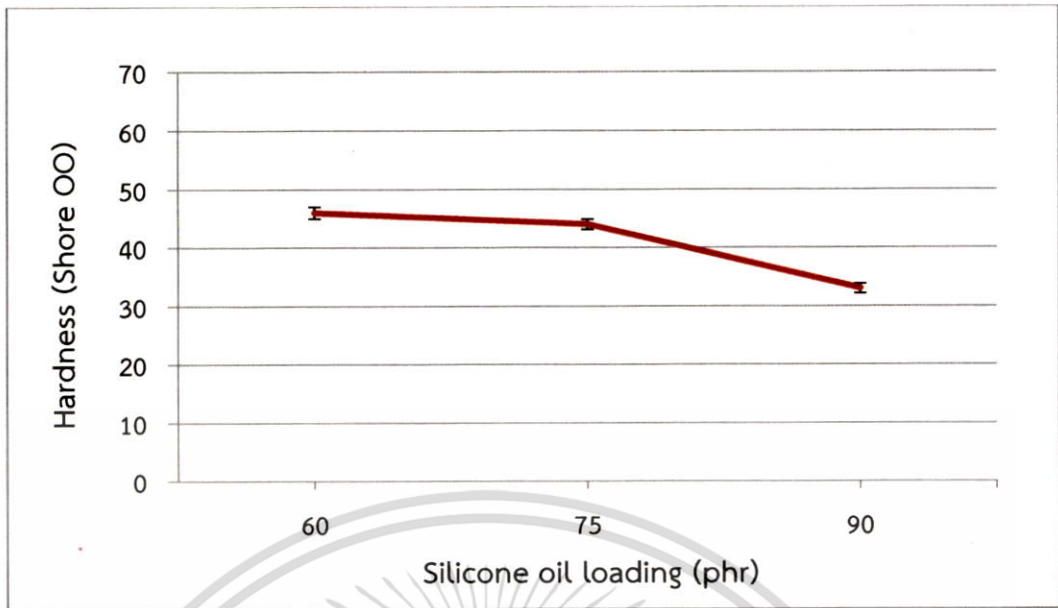
#### แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน

##### 4.1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

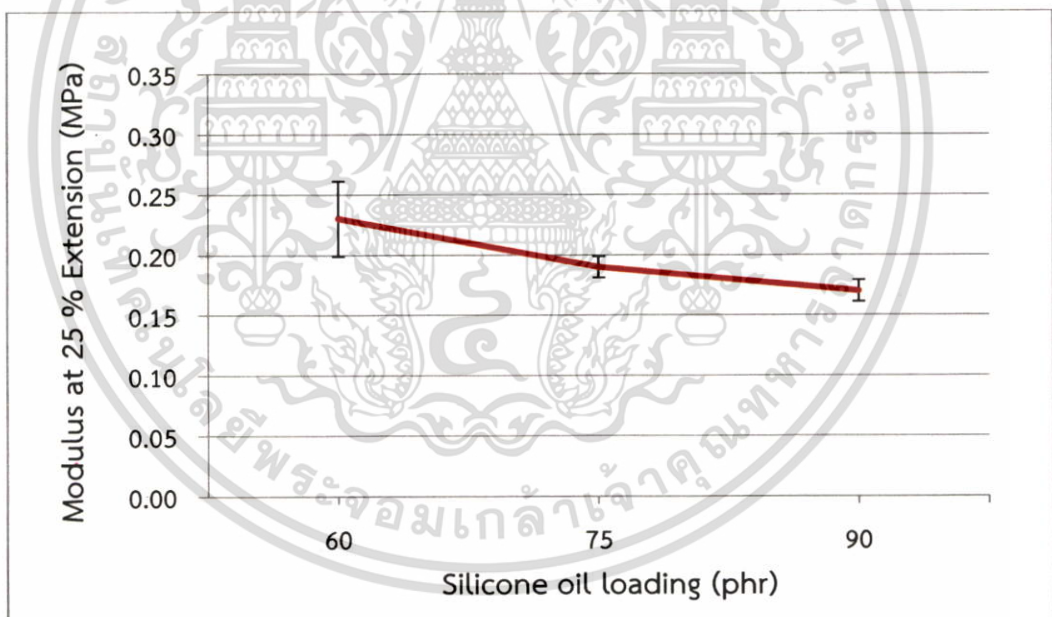
##### 4.1.1 การศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน

จากโครงการพิเศษปี 2558 [13] พบว่าซิลิโคนสำหรับเคลือบโพลีเอทิลีน ซึ่งเป็นชั้นผิวนอกของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมไม่แข็งแรง ทำให้เกิดการฉีกขาดเมื่อใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาความแข็งแรงของซิลิโคน ให้มีความทนทานต่อการฉีกขาดมากขึ้น โดยพัฒนาปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของซิลิโคน ได้แก่ ปริมาณสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ และน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสม จากการทดลองจึงทำการควบคุมปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่ 5 phr และทำการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เพิ่มขึ้นพบว่า มีผลทำให้ซิลิโคนมีค่าความแข็ง และค่ามอดูลัส ลดต่ำลง ดังภาพที่ 4.1 และ 4.2 เนื่องจากน้ำมันซิลิโคนเป็นซิลิโคนที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น น้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำหน้าที่เป็น พลาสติไซเซอร์ เมื่อเข้าไปแทรกในซิลิโคนทำให้มีปริมาตรอิสระเพิ่มมากขึ้น และทำให้สายโซ่โมเลกุลของซิลิโคนยังห่างกัน มีแรงต้านการเคลื่อนที่ลดลง ซึ่งมีผลต่อสมบัติเชิงกลของซิลิโคนคือทำให้ซิลิโคนมีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความทนทานต่อแรงฉีกขาด ลดต่ำลง ดังภาพที่ 4.3-4.5 อีกทั้งยังทำให้ค่าร้อยละการตัวยืด ณ จุดขาด ลดต่ำลง ดังภาพที่ 4.5 เนื่องจากปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เพิ่มมากขึ้น แต่ปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในทุกสูตรของยางซิลิโคนคงที่ ทำให้องศาการเชื่อมโยงของยางลดต่ำลง ซึ่งเป็นผลมาจากน้ำมันซิลิโคนมีโครงสร้างเหมือนซิลิโคน คือเป็น Polysiloxane แต่มีน้ำหนักโมเลกุลที่น้อยกว่ามาก ทำให้มีน้ำมันซิลิโคนบางส่วนที่ไม่ได้ถูกเชื่อมโยงเกิดการสั่นไถลได้ง่าย ทำให้ซิลิโคนมีการยืดตัวลดต่ำลงและขาดง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่น [13]

จากการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสมในการนำมาทำผิวซิลิโคนในงานวิจัยนี้คือ 60 phr เนื่องจากทำให้ซิลิโคนมีสมบัติเชิงกลสูงสุด และเมื่อนำมาทำผิวซิลิโคนสำหรับเคลือบแบบจำลอง ทำให้มีความทนทานต่อการรับแรงจากการกดหาค้อนของแข็งในแบบจำลองได้มากขึ้น

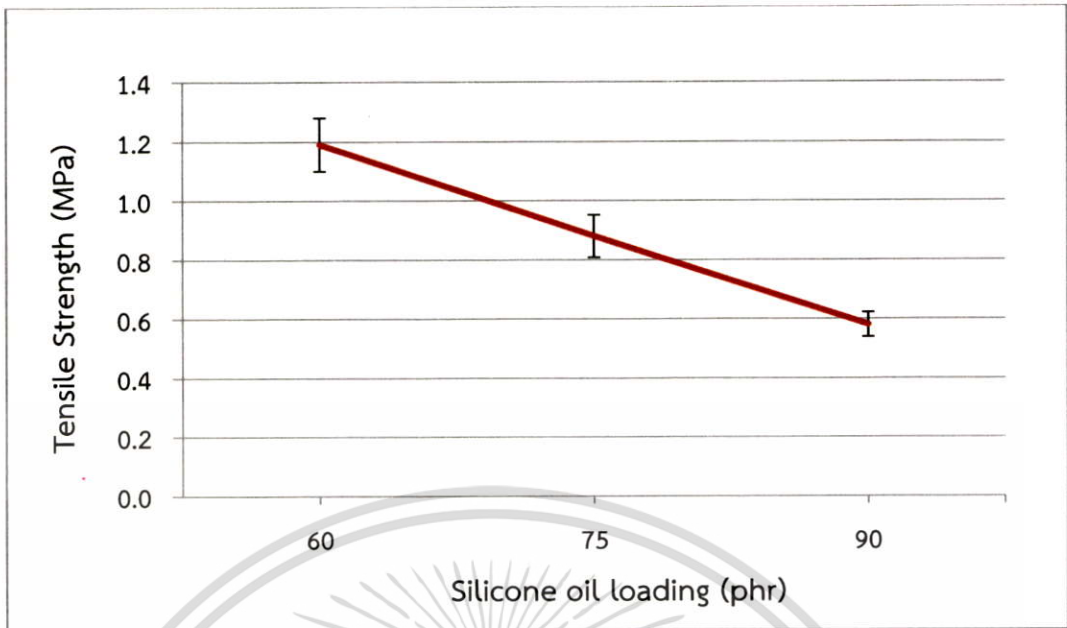


ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

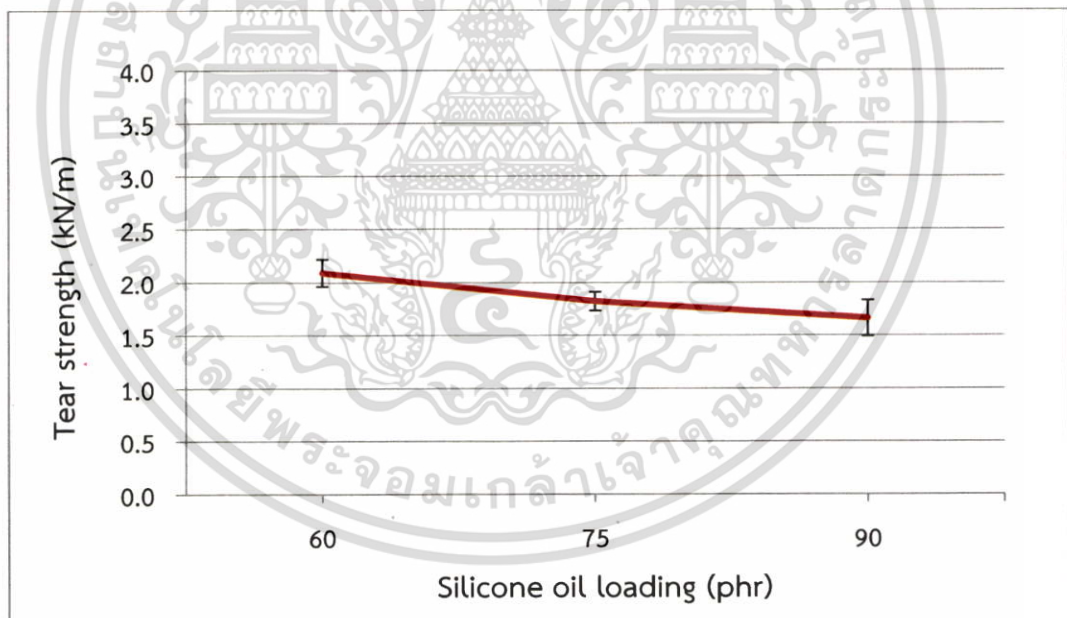


ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

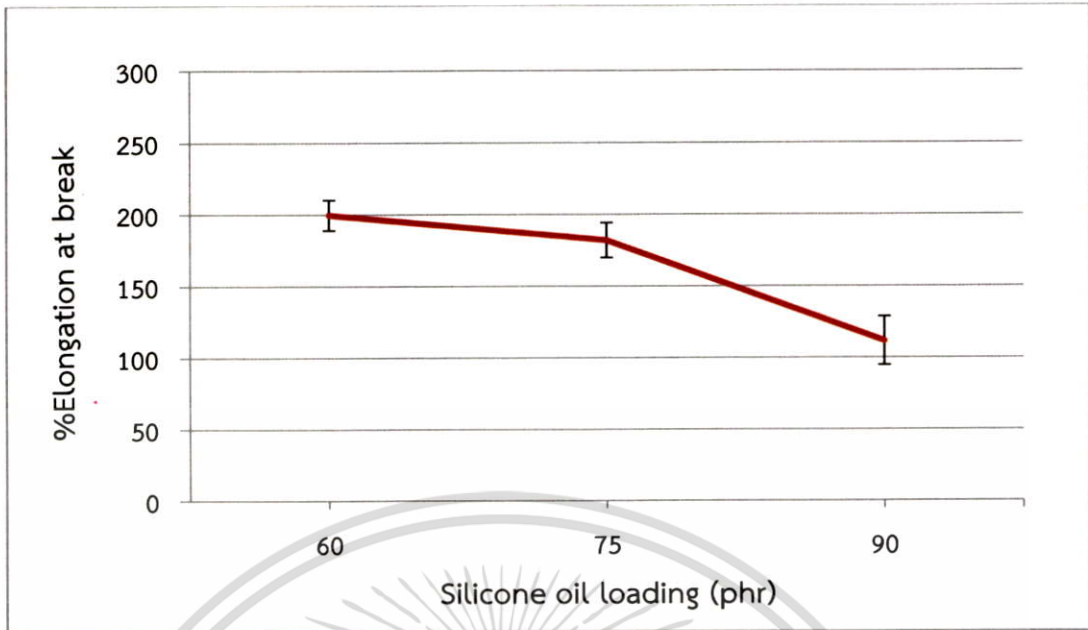


ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงฉีกขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

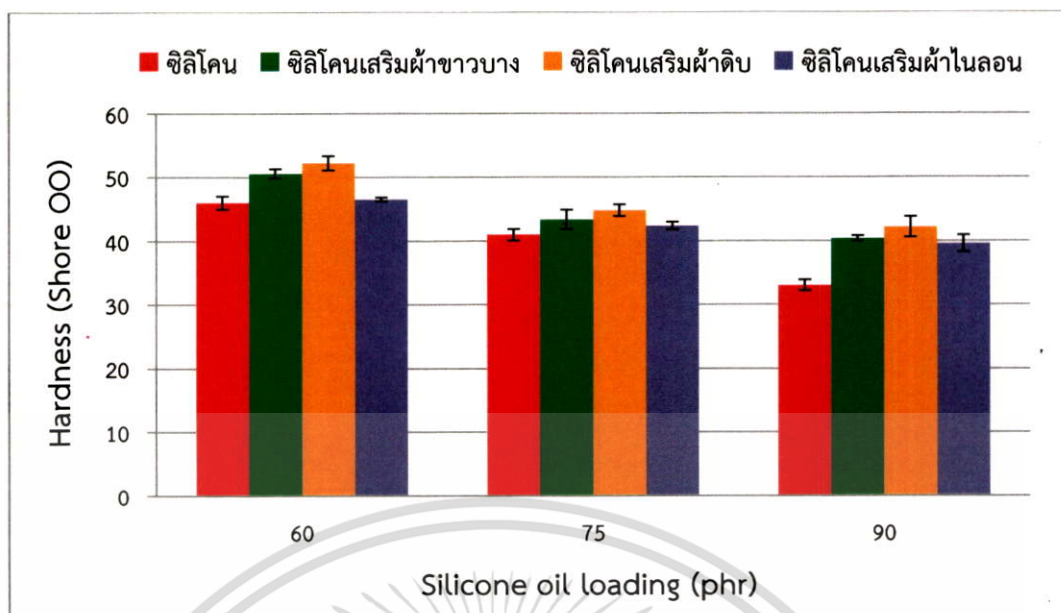
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



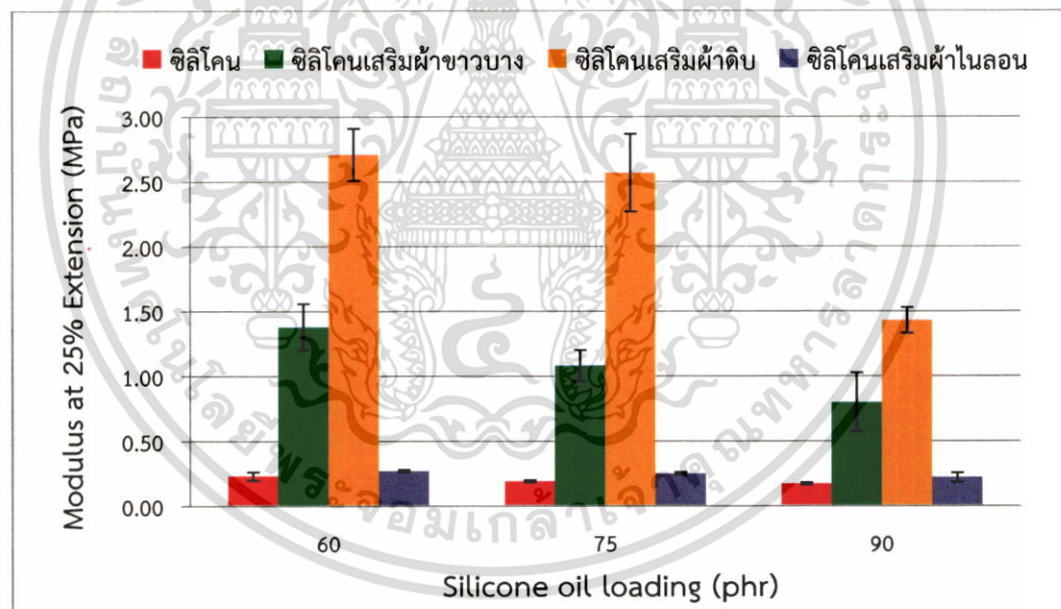
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคนเทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

#### 4.1.2 การศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงของผิวซิลิโคนโดยการเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่างๆ

เป็นที่ทราบกันว่าพอลิเมอร์สามารถเสริมแรงด้วยเส้นใยชนิดต่าง ๆ ได้ โดยเฉพาะเส้นใยยาวและเส้นใยถักทอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เส้นใยถักทอในรูปผ้าชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผ้าดิบ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน เนื่องจากผ้าทั้งสามชนิดที่เลือกมาศึกษานี้ เป็นผ้าที่มีการจำหน่ายเชิงพาณิชย์และสามารถหาได้ง่าย และมีลักษณะการถักทอแบบทแยงหรือมีช่องว่างระหว่างเส้นใยที่จะสามารถทำให้ซิลิโคนเหลวแทรกตัวเข้าไปได้ ไม่ให้เกิดช่องว่างหรือฟองอากาศขึ้น อย่างไรก็ตามการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลอาจไม่สามารถกระทำอย่างถูกต้องเหมาะสม เนื่องจากผ้าแต่ละชนิดมีขนาดเส้นใยไม่เท่ากัน และมีความหนาแน่นของการถักทอ (จำนวนเส้นด้ายต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่) ต่าง กัน แต่เป็นการศึกษาแนวเปรียบเทียบ เพื่อหาวัสดุเสริมแรงที่เหมาะสมสำหรับผิวซิลิโคนที่จะใช้เป็นวัสดุในแบบจำลองฝึกตรวจประเมินเร่งเต้านม จากการศึกษาซิลิโคนที่มีการใช้ผ้าชนิดต่าง ๆ เพื่อเสริมแรง (Reinforcement) พบว่าซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าทั้งสามชนิด มีค่าความแข็งแรง และค่ามอดุลัส เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับซิลิโคนที่ไม่เสริมผ้า แสดงดังภาพที่ 4.6 และ 4.7 ซึ่งซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาคือ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน โดยผ้าดิบและผ้าขาวบางเป็นผ้าที่ได้จากการทอจึงมีความหนาแน่นของการถักทอและความแข็งแรงมากกว่า ต่างกับผ้าไนลอนที่มาจากการถัก ซึ่งมีความหนาแน่นของการถักทอและความแข็งแรงต่ำกว่า



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงค่าความแข็งของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

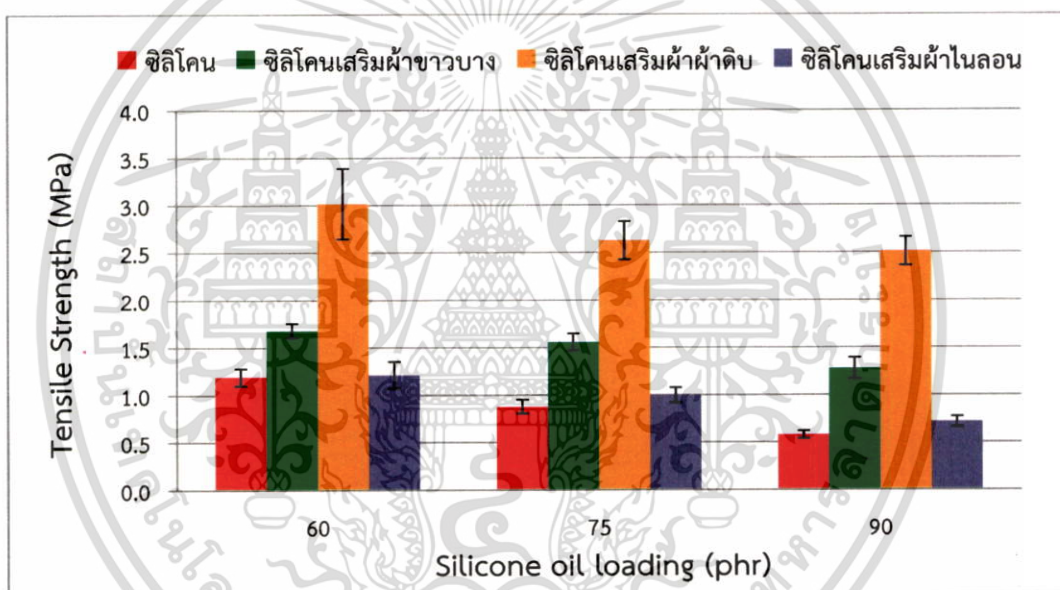


ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงค่ามอดุลัสของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณ น้ำมันซิลิโคน

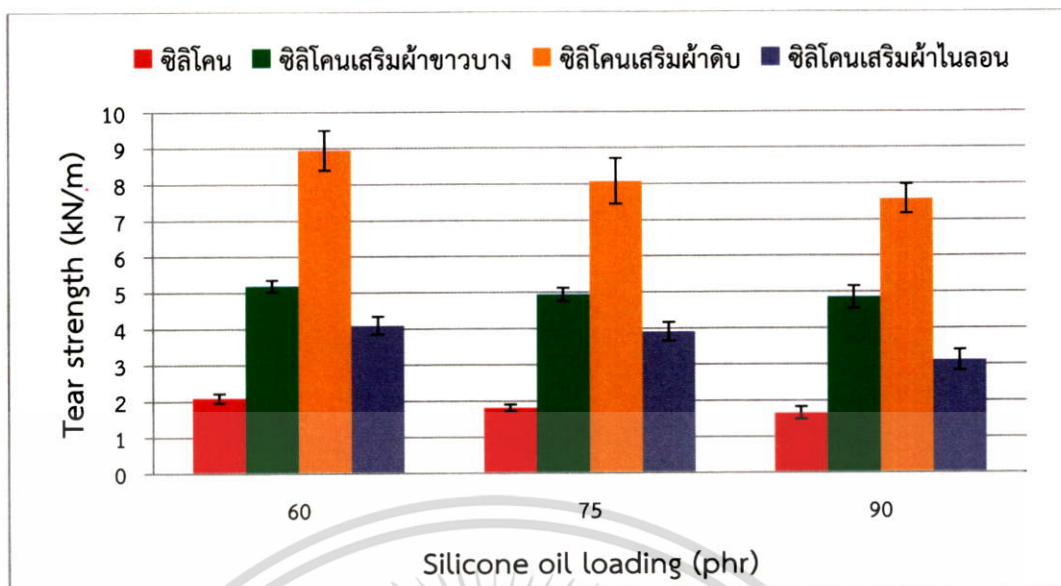
จากการศึกษาความแข็งแรงของซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าพบว่า มีค่าความแข็งแรงดึง และค่าความคงทนต่อการฉีกขาด เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเทียบกับซิลิโคนที่ไม่เสริมผ้า ดังภาพที่ 4.8-4.9 เป็นผลมาจากผ้าที่เป็นส่วนเสริมแรง ทำหน้าที่ในการรับแรงและช่วยในการกระจายแรงให้กับซิลิโคนที่ทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ (Matrix) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ จึงทำให้ชิ้นงานคอมโพสิตทนต่อการรับแรงได้มากขึ้น และเกิดความเสียหายได้ยากขึ้น โดยซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบมีค่าความแข็งแรงดึงและความคงทนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อการฉีกขาดมากที่สุด รองลงมาคือ ผ้าขาวบาง และผ้าไนลอน ตามลำดับ แต่สำหรับค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด ของซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าดิบและผ้าขาวบาง มีค่าลดต่ำลง ส่วนซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอนมีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด เพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.10 เนื่องจากผ้าไนลอนมีสมบัติการยืดตัวที่สูง จึงทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถยืดตัวได้ดีที่สุด และจากการเพิ่มปริมาณน้ำมันซิลิโคนในสูตรยางพบว่า สมบัติเชิงกลของซิลิโคนที่ทำการเสริมแรงด้วยผ้าทั้งสามชนิดมีที่แนวโน้มลดต่ำลงเหมือนกัน

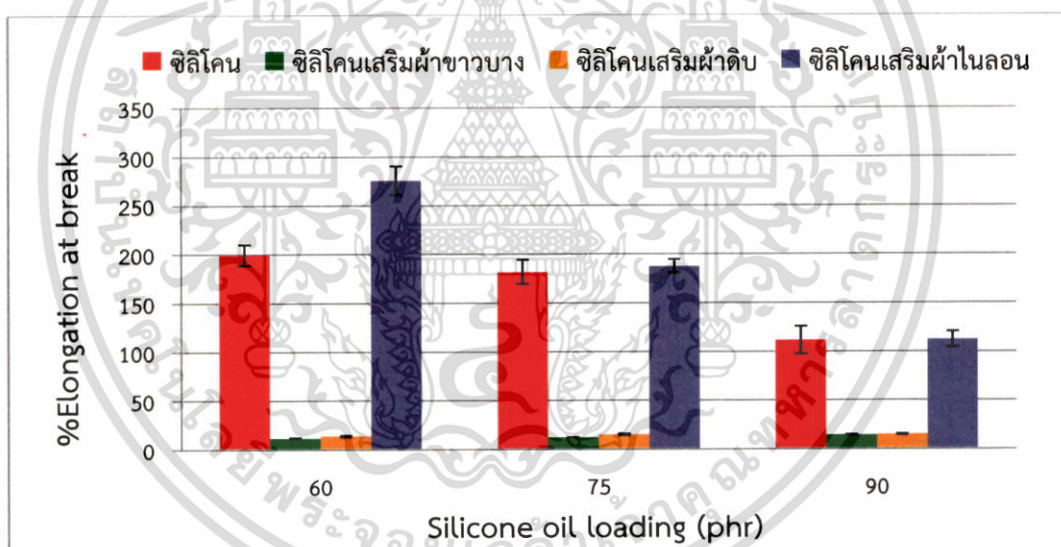
ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอน เนื่องจากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลทำให้ทราบว่า ผ้าไนลอนทำให้ซิลิโคนมีความแข็งแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น มีความคงทนต่อการฉีกขาดสูงขึ้น มีค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดสูงสุด และที่สำคัญคือทำให้ซิลิโคนมีค่าความแข็งต่ำที่สุด จึงเหมาะสำหรับนำมาเคลือบแบบจำลอง เพื่อให้ผิวสัมผัสของผิวเคลือบแบบจำลองมีความนิ่ม สามารถกดค้ำหาก่อนของแข็งในแบบจำลองได้ง่าย และซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้าไนลอนใช้ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่ 60 phr เหมาะสมที่สุดในการนำมาทำแบบจำลอง เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความแข็งแรงดึงของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมแรงด้วยผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงค่าความคงทนต่อการฉีกขาดของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

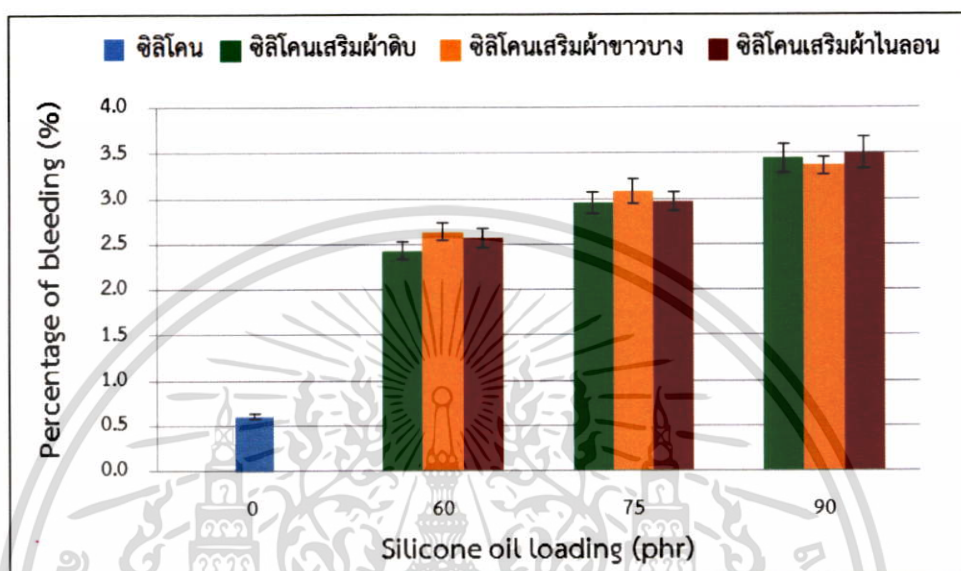


ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของซิลิโคนและซิลิโคนเสริมผ้าชนิดต่าง ๆ เทียบกับปริมาณน้ำมันซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3 การศึกษาการแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์

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



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การแพร่ออกของพลาสติกไซเซออร์

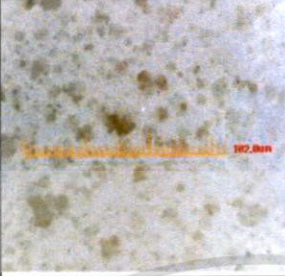
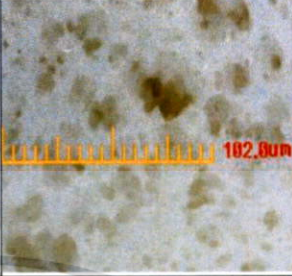

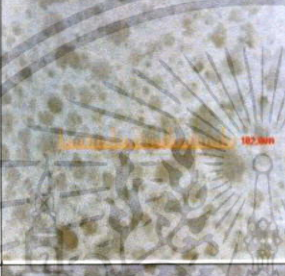
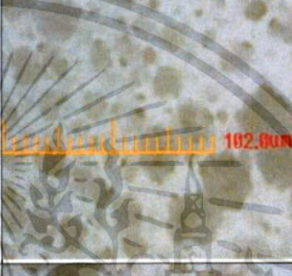
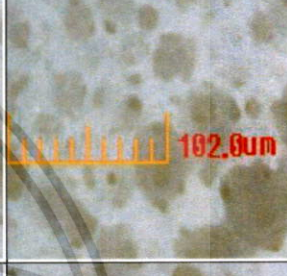






#### 4.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโฟมยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลอง

##### 4.2.1 ศึกษาผลของระดับความเร็วที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

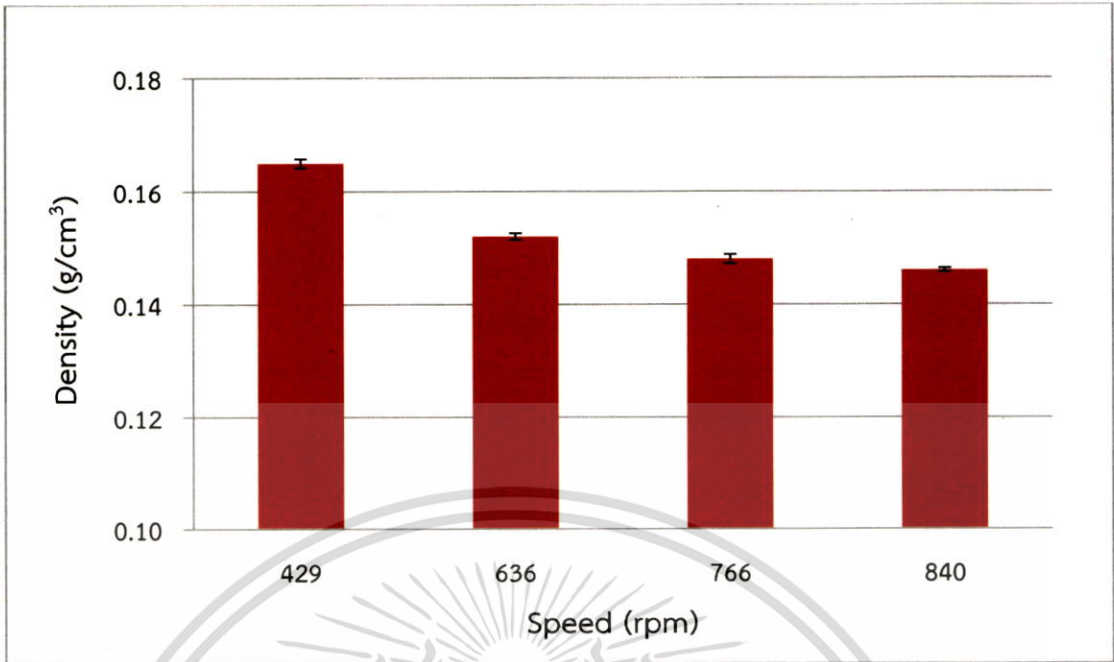
จากการศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์พบว่า เมื่อระดับความเร็วในการปั่นกวนเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่น ค่าความแข็งของโฟมยางมีค่าลดต่ำลง ดังภาพที่ 4.12-4.13 เนื่องจากการปั่นกวนในระดับที่เร็วขึ้น ทำให้อากาศแทรกเข้าไปในน้ำยางและมีฟองอากาศที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังทำให้ฟองมีขนาดใหญ่และผนังของฟองบางลง ลักษณะของฟองแสดงดังตารางที่ 4.1 และส่งผลให้โฟมยางมีความแข็งแรงลดต่ำลง และสมบัติการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.14 อย่างไรก็ตาม เปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางมีแนวโน้มที่คงที่ ดังภาพ 4.15 เนื่องจากระดับความเร็วในการปั่นกวนไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโฟมยางธรรมชาติ เพราะการหดตัวของโฟมยางธรรมชาติเกิดจากการระเหยของน้ำที่อยู่ในโฟมยางธรรมชาติ ซึ่งในการทดลองได้ทำการควบคุมปริมาณน้ำยางและสารเคมีในอัตราส่วนที่เท่ากัน จากการทดลองสรุปว่า ความเร็วของการปั่นกวนที่ระดับ 4 หรือความเร็วรอบ 840 rpm เหมาะที่สุดสำหรับการนำมาปั่นกวนน้ำยางในช่วงแรกที่ทำกรผสมอิมัลซิไฟเออร์ เนื่องจากทำให้มีปริมาณฟองและปริมาตรของโฟมยางเพิ่มสูงขึ้นตามที่ต้องการ อีกทั้งทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และความเร็วที่เหมาะสมหลังจากการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์คือ ระดับ 1 หรือความเร็วรอบ 429 rpm เนื่องจากทำให้ฟองอากาศในโฟมยางมีขนาดเล็กและผนังฟองหนาขึ้น ซึ่งมีผลทำให้โฟมยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า สอดคล้องตามงานวิจัย [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

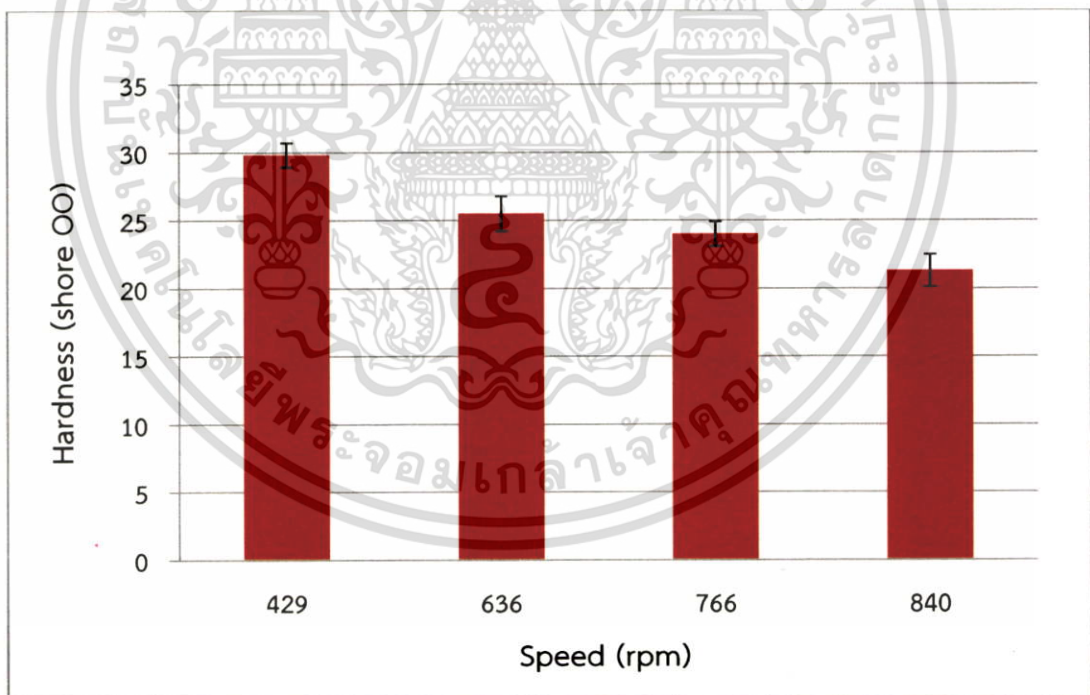
ตารางที่ 4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโพลีเมอร์ชนิดต่างๆเมื่อใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน

| ระดับความเร็วในการปั่น | ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง   |  |   |
|------------------------|---|--|---|
|                        | กำลังขยาย 10 เท่า   | กำลังขยาย 20 เท่า  | กำลังขยาย 30 เท่า   |
| 1<br>(429 rpm)         |    |    |    |
| 2<br>(636 rpm)         |    |    |    |
| 3<br>(766 rpm)         |   |   |   |
| 4<br>(840 rpm)         |  |  |  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

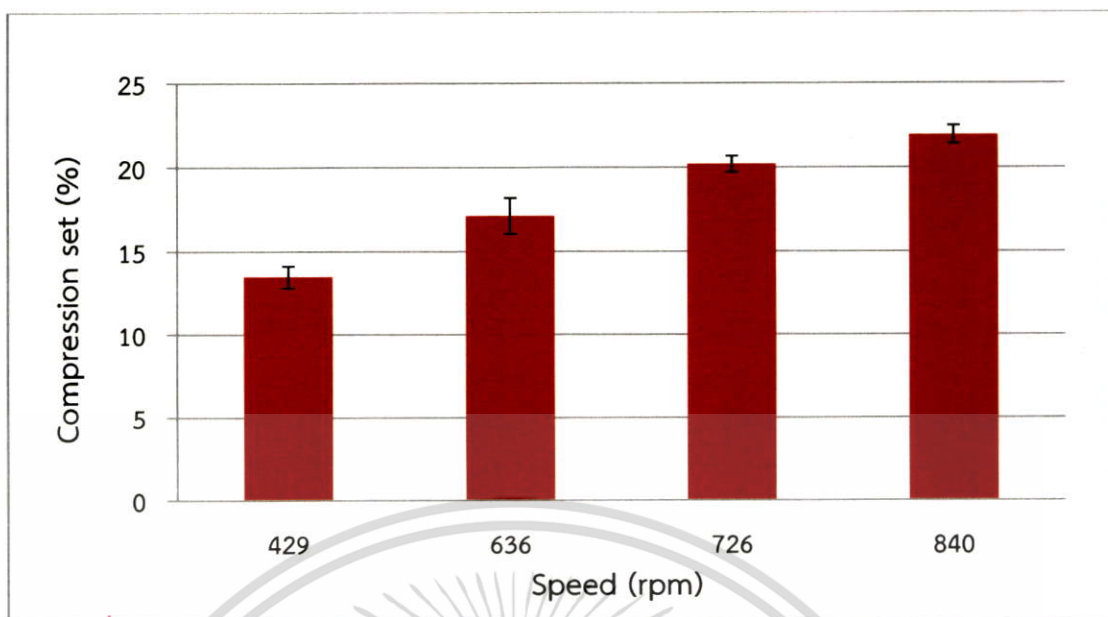


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลิเมอร์ชนิดเดียวกับความเร็วในการปั่นกวน

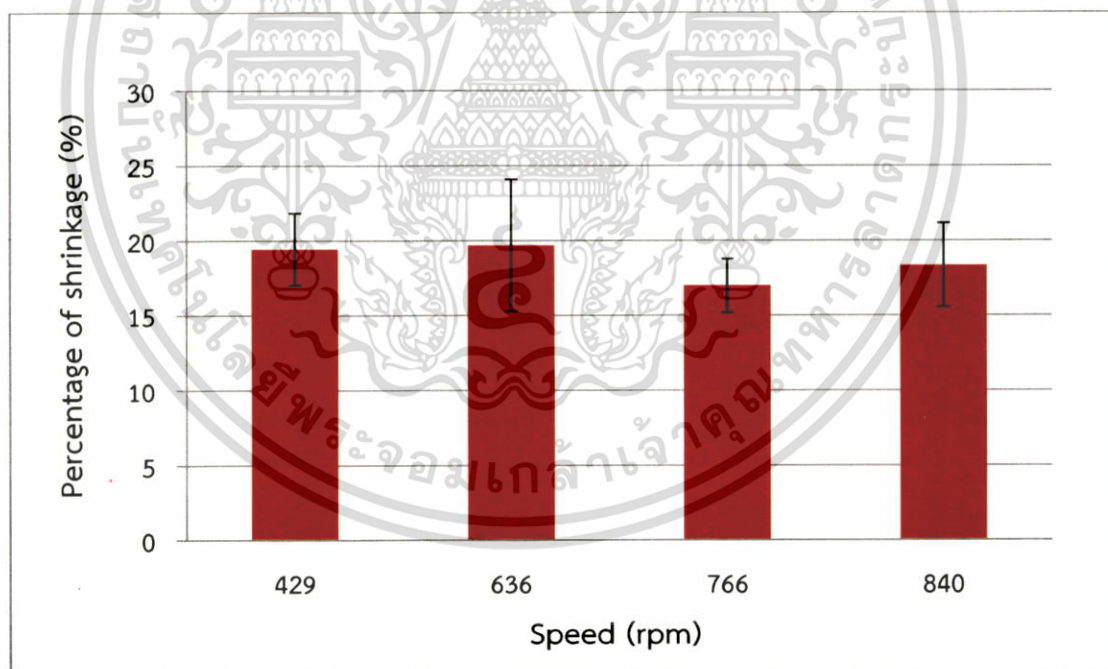


ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพลิเมอร์ชนิดเดียวกับความเร็วในการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.14 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโพลียเอทิลีนเทระฟทาเลตเทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

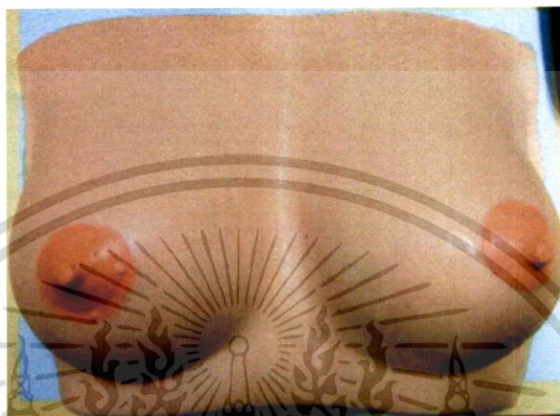


ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลียเอทิลีนเทระฟทาเลตเทียบกับความเร็วในการปั่นกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน

เมื่อได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน ที่มีลักษณะรูปร่าง ดังภาพที่ 4.16 และภายในแบบจำลองมีการฝังก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์ ก้อนมะเร็ง และต่อมน้ำเหลือง จำลองไว้ในตำแหน่งที่ตรงตามความต้องการของแพทย์ผู้ใช้งาน จากนั้นให้บุคลากรทางการแพทย์ที่โรงพยาบาลรามาริบัติและบุคคลทั่วไปทำการประเมินความพึงพอใจ



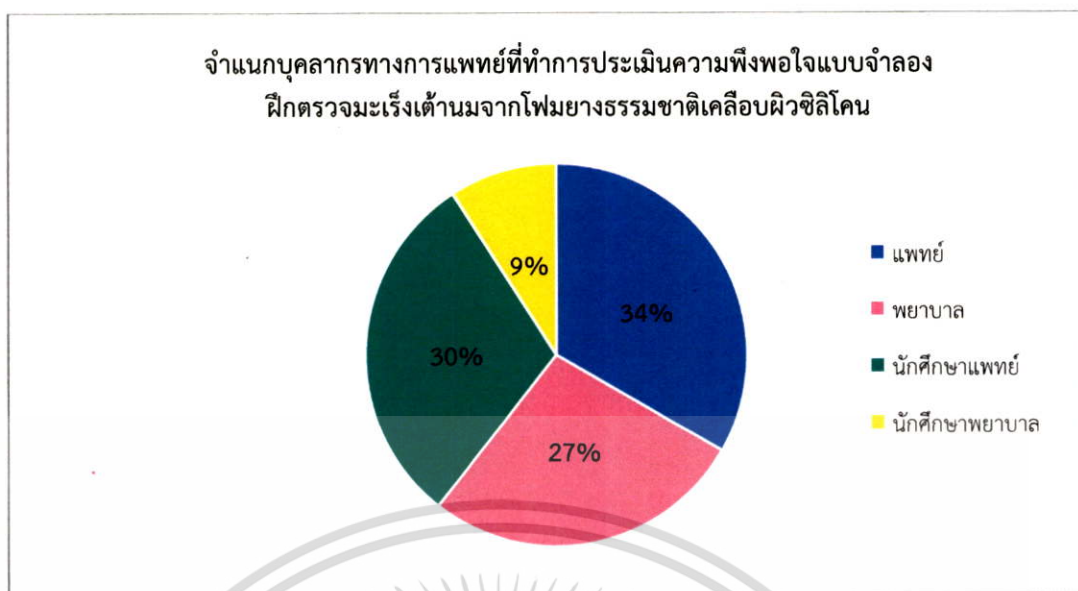
ภาพที่ 4.16 แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ที่มาผลประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนดังนี้

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

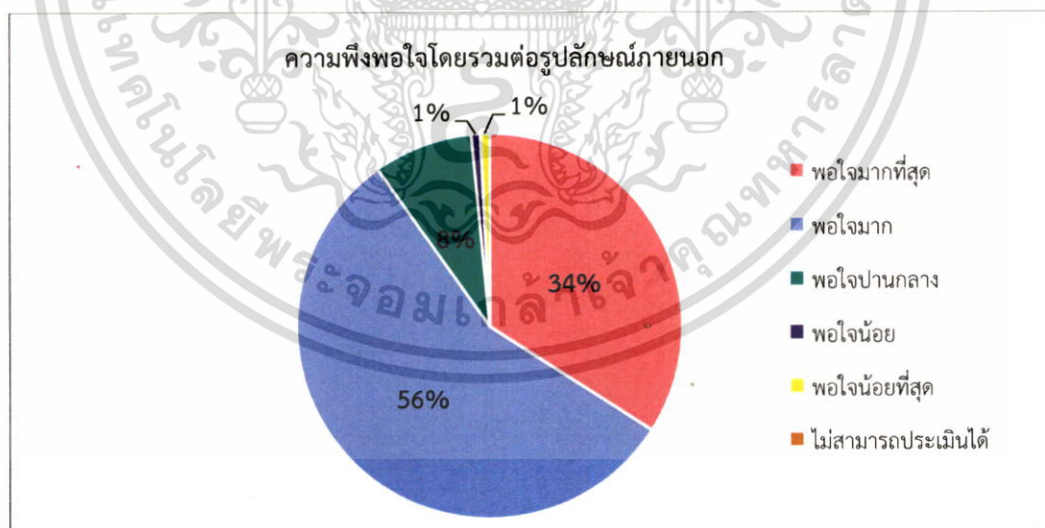
#### 4.3.1 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคน โดยบุคลากรทางการแพทย์

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



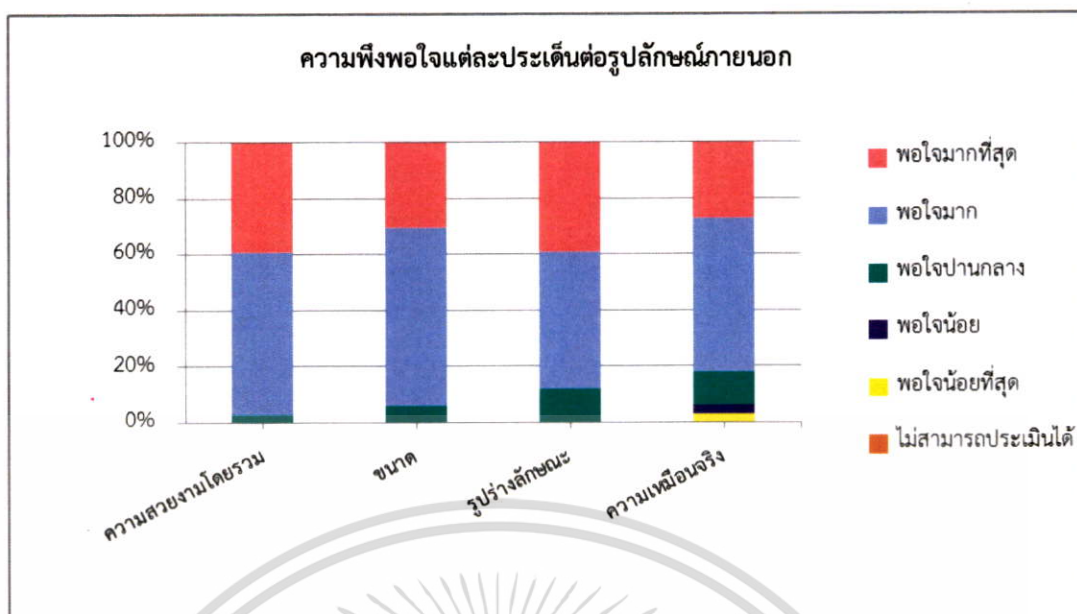
ภาพที่ 4.17 กราฟจำแนกบุคลากรทางการแพทย์ที่ประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกรวมะเร็งเต้านม

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 90% ดังภาพที่ 4.18 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอก ดังภาพที่ 4.19 เนื่องจากแบบจำลอง มีผิวสวยงาม มีขนาดที่เหมาะสม และมีรูปลักษณะภายนอกเหมือนกับเต้านมมนุษย์



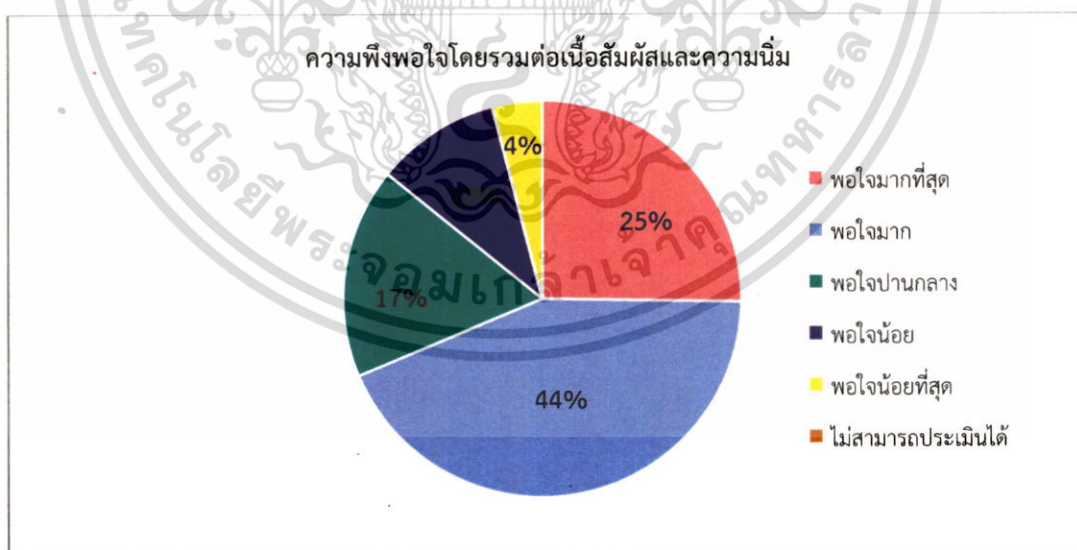
ภาพที่ 4.18 กราฟประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝึกรวมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



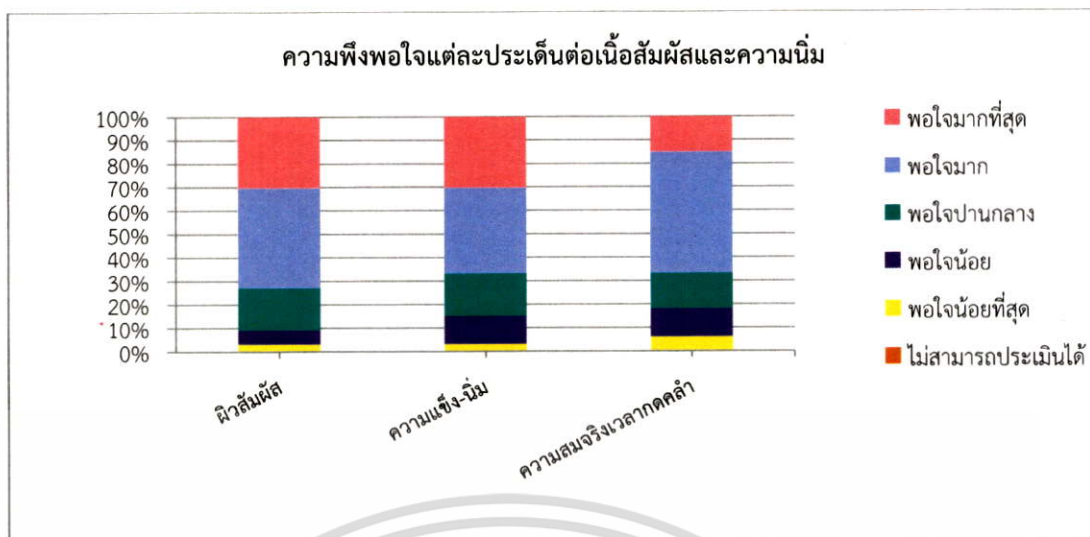
**ภาพที่ 4.19** กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกโดยบุคลากรทางการแพทย์

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลอง พบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 69% ดังภาพที่ 4.20 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ดังภาพที่ 4.21 เนื่องจากแบบจำลองมีผิวสัมผัสเรียบเนียน และมีความนิ่มสมจริง ทำให้ผู้ใช้งานต่อการตรวจคลำหาก่อนของแข็งในแบบจำลอง



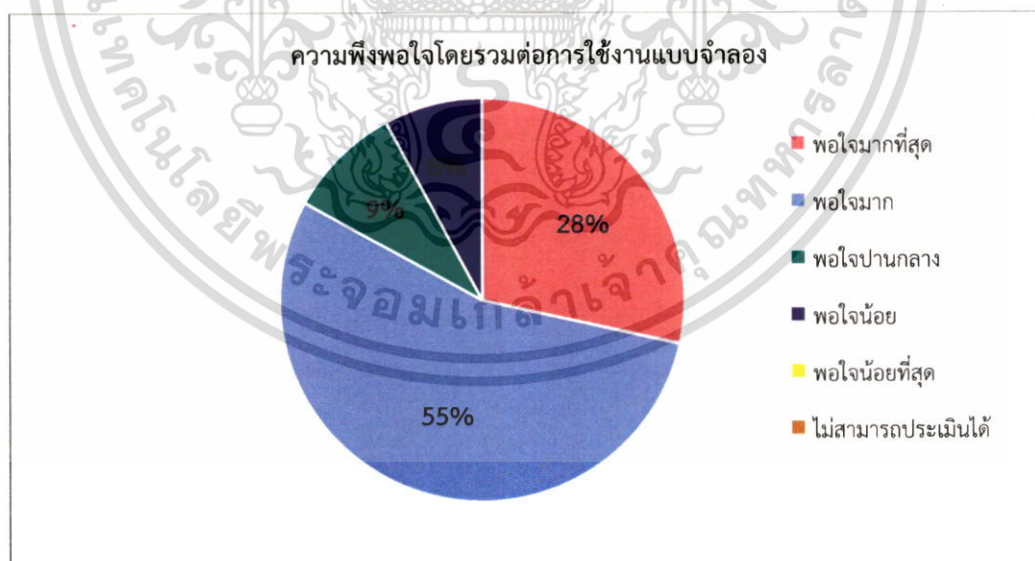
**ภาพที่ 4.20** กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



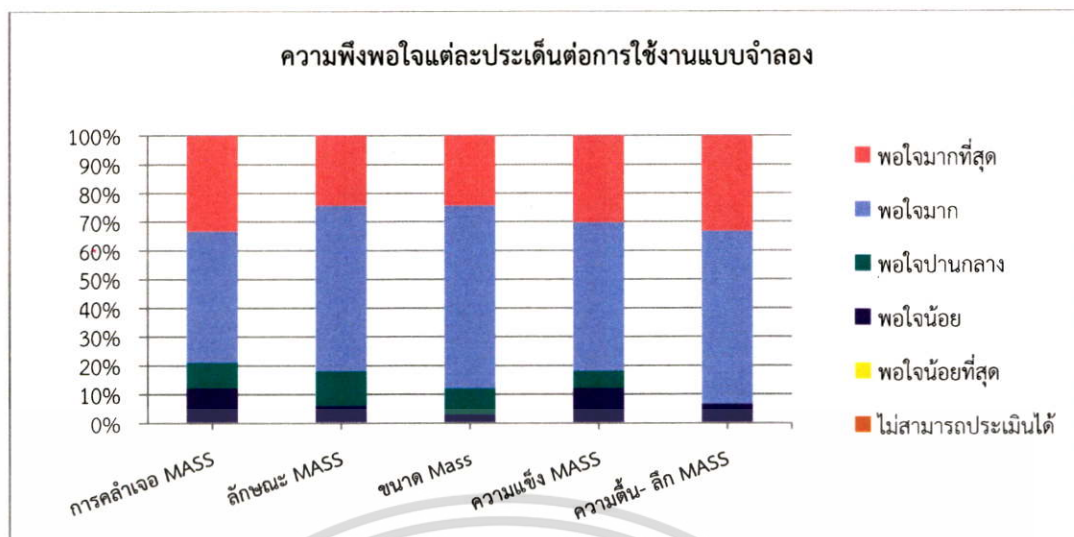
**ภาพที่ 4.21** กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

จากการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์เมื่อใช้งานแบบจำลอง พบว่ามีความพึงพอใจต่อการใช้งานในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังภาพที่ 4.22 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลอง ดังภาพที่ 4.23 เนื่องจากสามารถคล้ายก้อนของ แข็งในแบบจำลองได้ง่าย ผู้ใช้สามารถแยกชนิดของก้อนมะเร็ง ก้อนซิสต์ ก้อนเนื้อ และต่อมน้ำเหลืองได้เนื่องจากมีลักษณะ ขนาด และความแข็งที่สมจริง



**ภาพที่ 4.22** กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

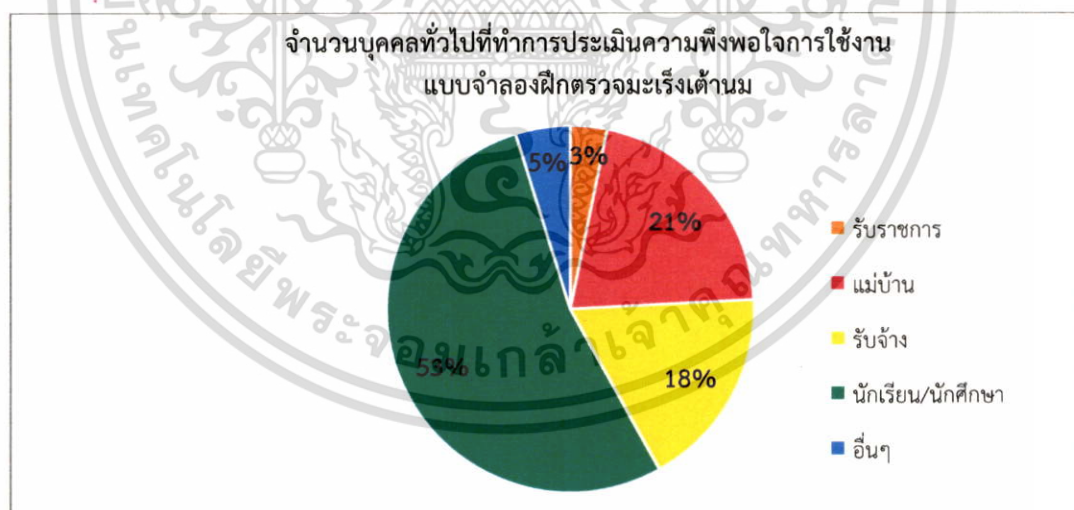
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.23 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคลากรทางการแพทย์

#### 4.3.2 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

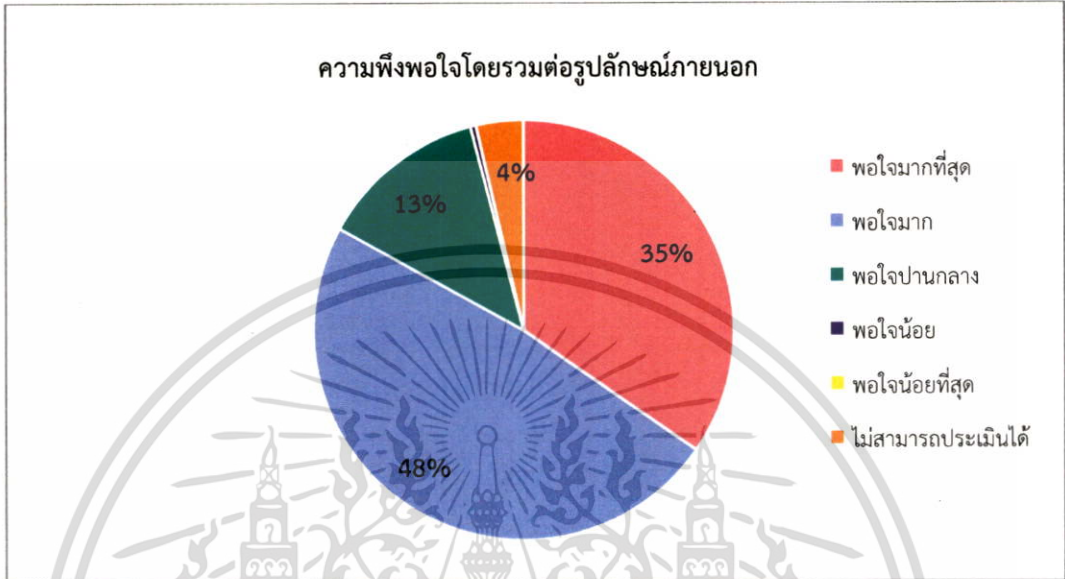
จากการประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคนของบุคคลทั่วไป พบว่ามีอาชีพรับราชการ 3% แม่บ้าน 21% รับจ้าง 18% นักเรียน/นักศึกษา 53% และอื่น ๆ 18% ดังภาพที่ 4.24 รวมทั้งหมด 62 คน ส่วนใหญ่มีอายุอยู่ในช่วง 21-30 ปี



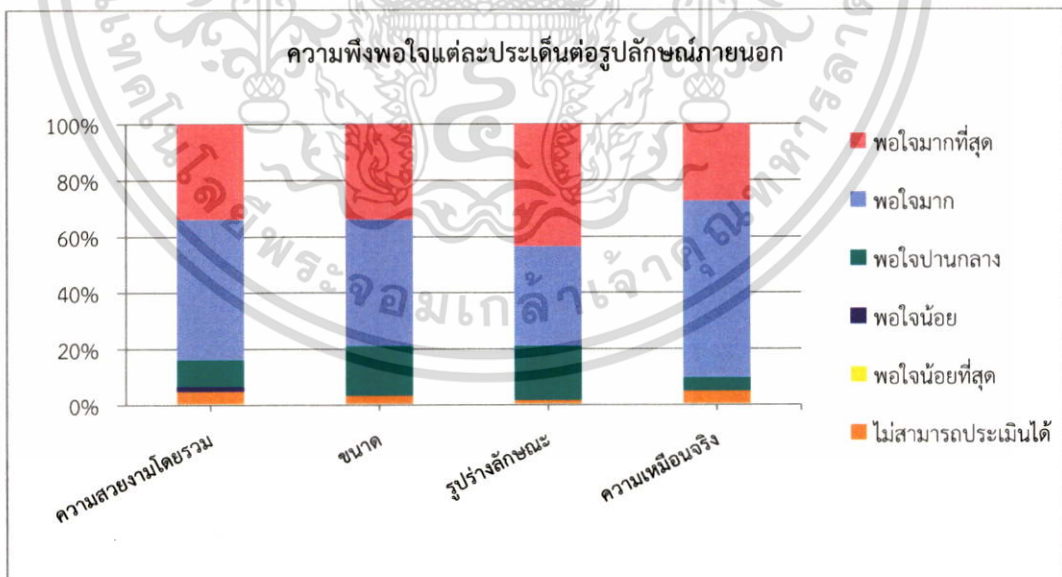
ภาพที่ 4.24 กราฟจำนวนบุคคลทั่วไปที่ประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองของบุคคลทั่วไป พบว่าบุคคลส่วนใหญ่มีความพึงพอใจอยู่ในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังภาพที่ 4.25 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังภาพที่ 4.26 เนื่องจากแบบจำลองมีรูปร่างลักษณะที่สวยงาม และมีความสมจริงเสมือนตัวมนุษย์



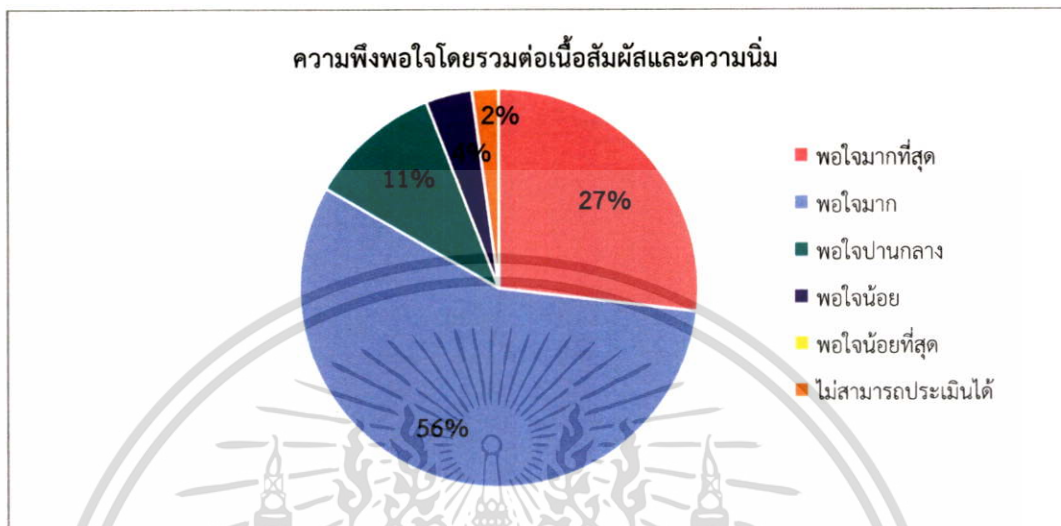
ภาพที่ 4.25 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป



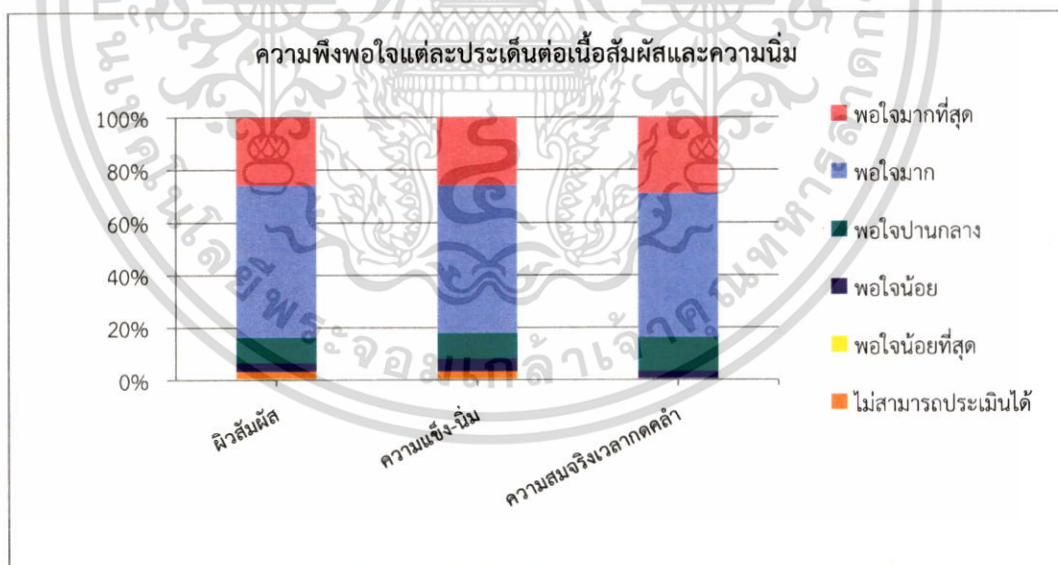
ภาพที่ 4.26 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งโดยบุคคลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการประเมินความพึงพอใจต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของแบบจำลองพบว่า บุคคลทั่วไป มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุดถึง 83% ดังภาพที่ 4.27 และกราฟการประเมิน ความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยม ดังภาพที่ 4.28 เนื่องจากผิวแบบจำลองมีความเรียบเนียนและนิยมสมจริง ทำให้ง่ายต่อการกรวดค้ำหาก้อนของแข็งในแบบจำลอง



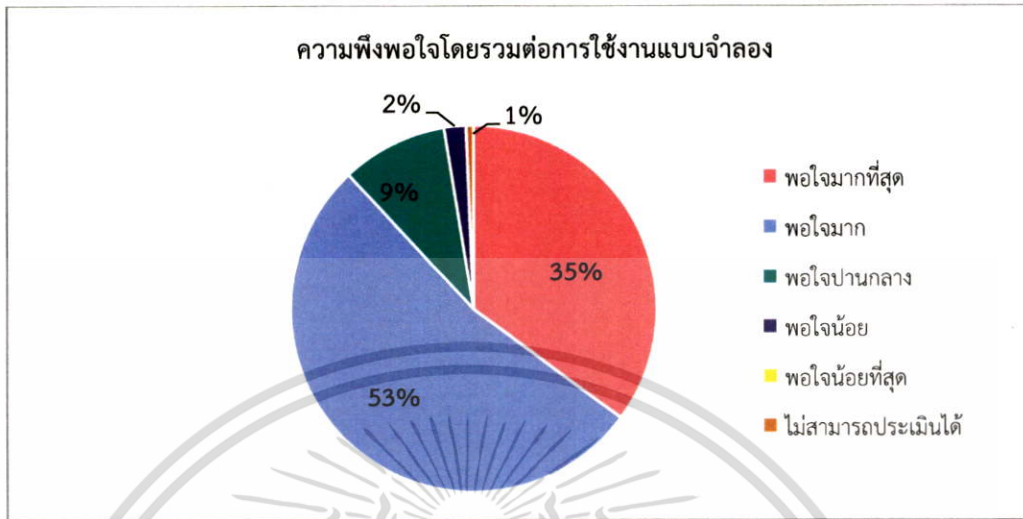
ภาพที่ 4.27 กราฟประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของแบบจำลองฝึกตรวจ มะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป



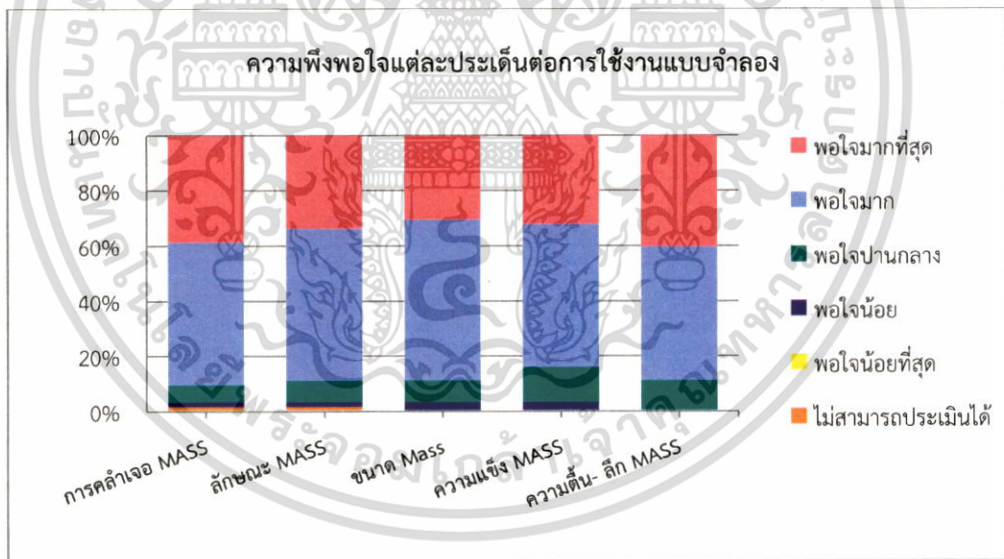
ภาพที่ 4.28 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

จากการประเมินความพึงพอใจบุคคลทั่วไปต่อการใช้งานแบบจำลองพบว่า บุคคลส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 88% ดังภาพที่ 4.29 และมีความพึงพอใจแต่ละ ประเด็นต่อการใช้งาน ดังภาพที่ 4.30 เนื่องจากก้อนมะเร็ง ก้อนเนื้อ ก้อนซิสต์และต่อมน้ำเหลือง ฝั่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้ในระดับที่สามารถคลำเจอได้ง่าย อีกทั้งมีขนาดและความแข็งของก้อนที่สมจริง ทำให้ผู้ใช้สามารถแยกชนิดได้ง่าย



ภาพที่ 4.29 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป



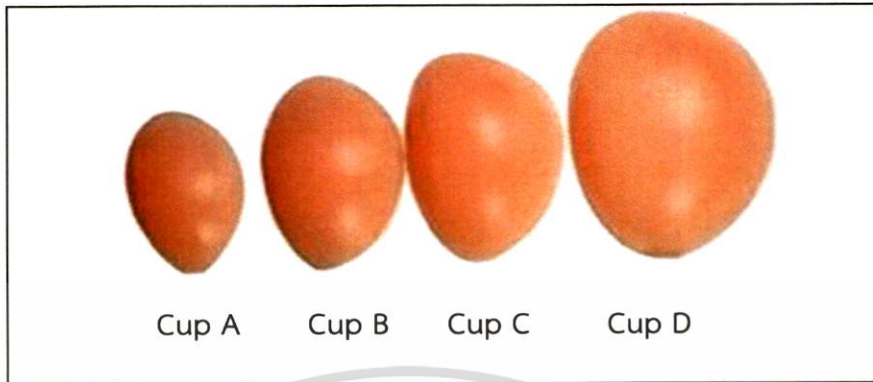
ภาพที่ 4.30 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมโดยบุคคลทั่วไป

#### 4.4 การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ

จากการนำตัวอย่างเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวและไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนไปประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ป่วย พบว่าผู้ป่วยยังมีความต้องการเต้านมทดแทนทั้งสองแบบ แต่น้ำหนักของเต้านมทดแทนยังมีน้ำหนักที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงน้ำหนักของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

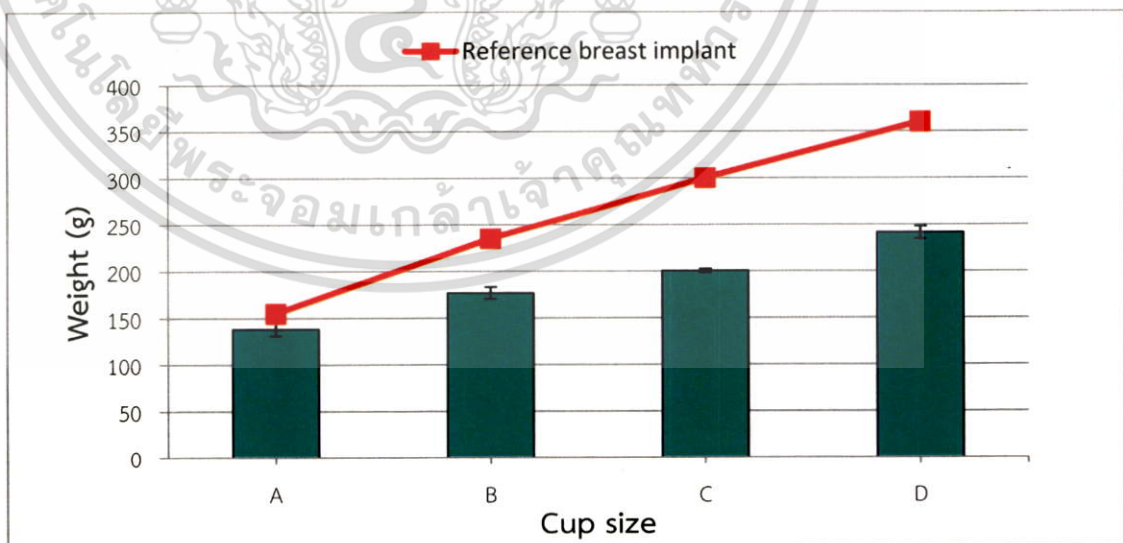
เต้านมทดแทนทั้งสองแบบให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม ตามน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมทดแทนขนาดคัพ A B C และ D ดังภาพที่ 4.31



ภาพที่ 4.31 ตัวอย่างเต้านมทดแทน ขนาดคัพ A B C และ D

#### 4.4.1 เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติที่เคลือบผิวยางซิลิโคน

จากการศึกษาพบว่าเมื่อขนาดคัพของเต้านมใหญ่ขึ้น เต้านมทดแทนที่เคลือบผิวซิลิโคนจะมีน้ำหนักที่มากขึ้นตามขนาดคัพ แต่อย่างไรก็ตามเต้านมทดแทนที่ทำได้ ยังคงมีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักของเต้านมมาตรฐานตามขนาดคัพต่าง ๆ (ของบริษัทไทยวาโก้ จำกัด) ดังภาพที่ 4.32 เนื่องจากการเพิ่มน้ำหนักของเต้านมทดแทนทำได้โดยเพิ่มชั้นผิวเคลือบซึ่งจะส่งผลให้มีน้ำหนักที่มากขึ้นและมีความแข็งแรงสูงขึ้นเช่นกัน และปัญหาทางด้านเทคนิคอีกอย่างคือในขั้นตอนการเคลือบผิวโคมยางธรรมชาติชั้นในของเต้านมทดแทน จำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์เดียวกันกับที่ใช้ชั้นรูปโคมยางชั้นใน จึงทำให้สามารถเคลือบผิวซิลิโคนได้ในปริมาณที่จำกัด และสำหรับเต้านมทดแทนที่มีขนาดคัพที่ใหญ่จะมีเนื้อโคมมาก ทำให้มีน้ำหนักเบาหลังจากที่เคลือบผิวด้วยยาซิลิโคน



ภาพที่ 4.32 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมที่ได้จากการทดลองและน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมเทียบกับขนาดคัพ

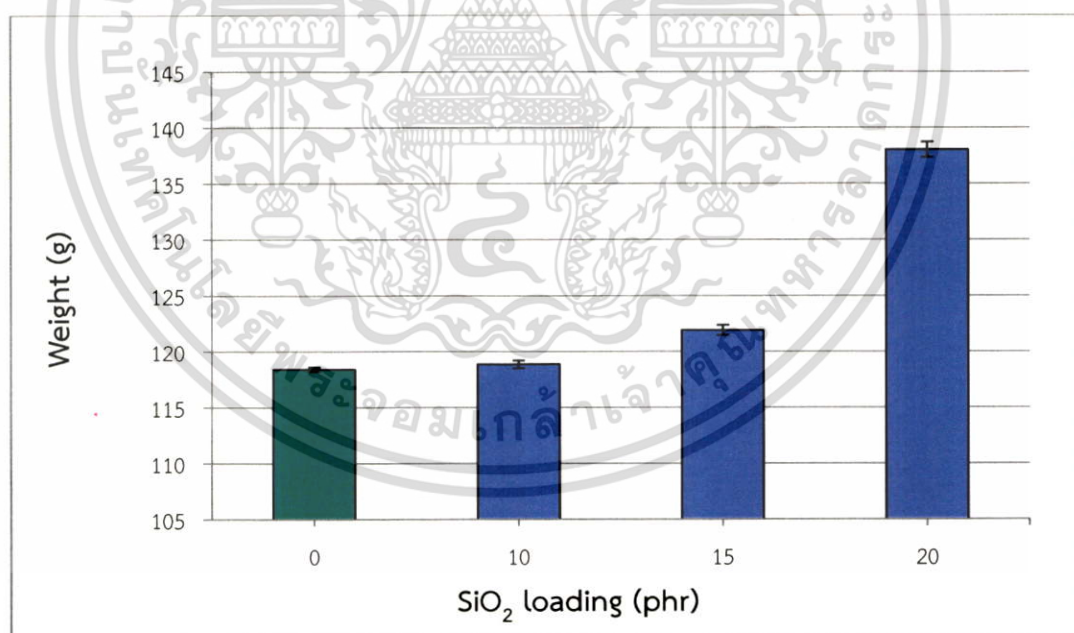
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักของเต้านมทดแทนที่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคน

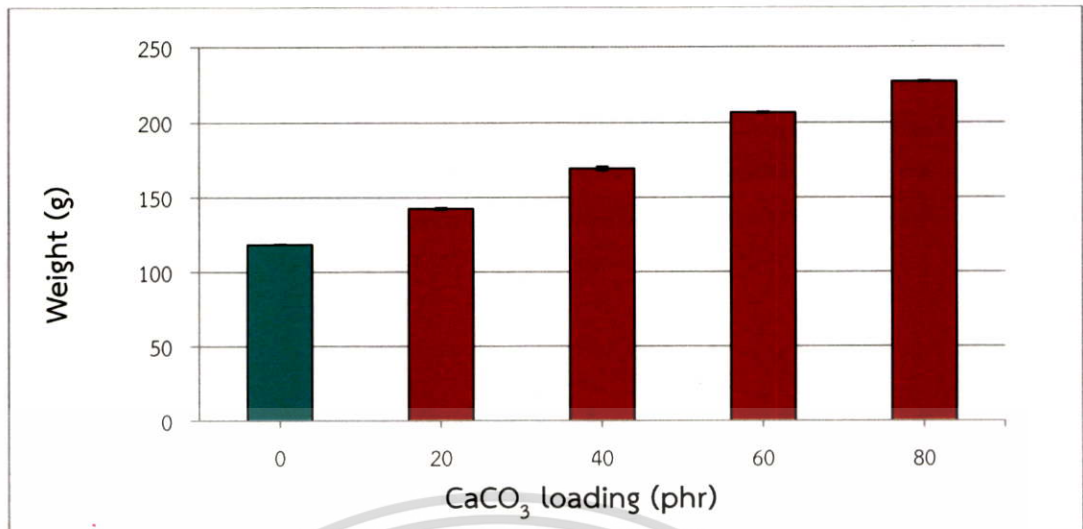
| Cup size | Weight (g) | Reference (g) |
|----------|------------|---------------|
| A        | 138±7      | 155±5         |
| B        | 177±6      | 235±5         |
| C        | 200±2      | 300±5         |
| D        | 241±6      | 360±5         |

#### 4.4.2 เต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน

จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงให้มีน้ำหนักที่เหมาะสม โดยสารตัวเติมที่ใช้คือ  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  พบว่าสารตัวเติม  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{CaCO}_3$  สามารถทำให้น้ำหนักของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มในปริมาณมากขึ้นจะยิ่งทำให้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามปริมาณของ  $\text{SiO}_2$  ที่สามารถใส่ในน้ำยางได้สูงสุดที่ 20 phr ดังภาพที่ 4.33 เนื่องจาก  $\text{SiO}_2$  มีพื้นที่ผิวมาก ทำให้มีการกระจายตัวยาก เมื่อเพิ่มปริมาณ  $\text{SiO}_2$  มากกว่า 20 phr จะทำให้โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเกิดการตกตะกอน แต่สำหรับ  $\text{CaCO}_3$  สามารถเพิ่มน้ำหนักของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงได้มากกว่าการใช้  $\text{SiO}_2$  ซึ่งปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ใช้ได้มากที่สุดคือ 80 phr ดังภาพที่ 4.34



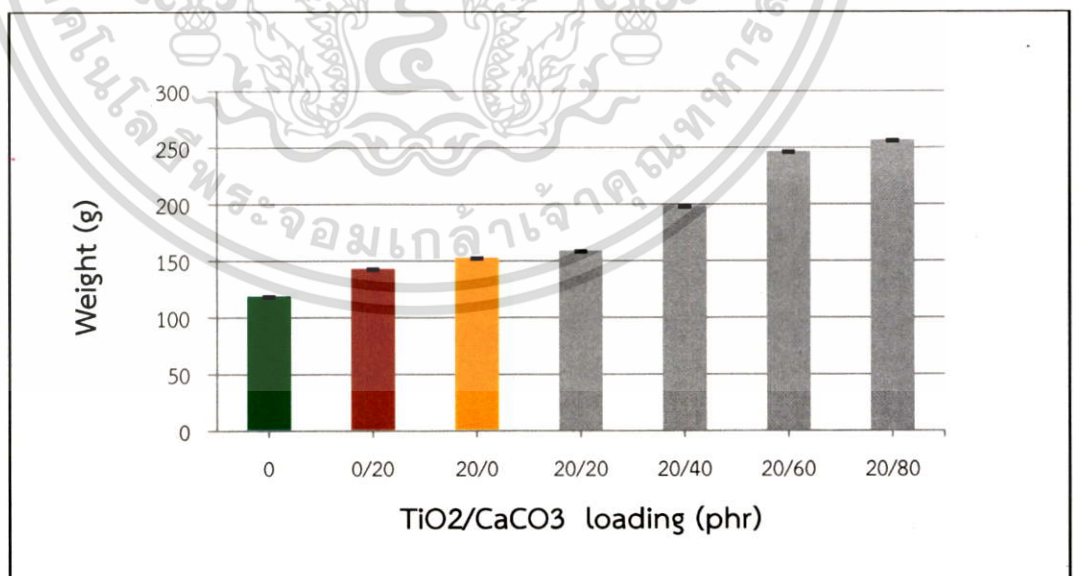
ภาพที่ 4.33 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเทียบกับปริมาณ  $\text{SiO}_2$



ภาพที่ 4.34 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเอทิลีนไกลคอลเทียบกับปริมาณ CaCO<sub>3</sub>

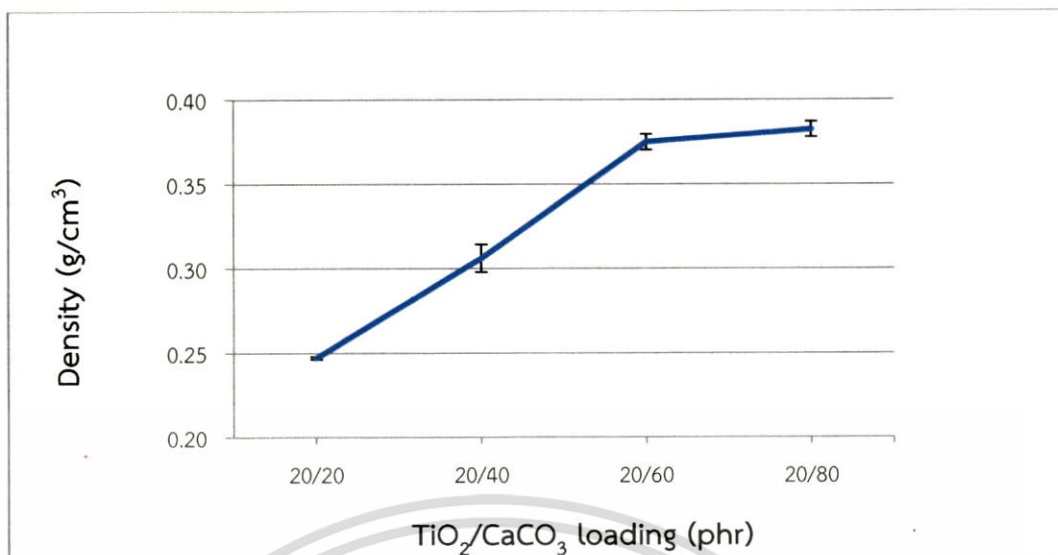
อย่างไรก็ตามการใส่ CaCO<sub>3</sub> ในปริมาณ 80 phr ยังไม่สามารถเพิ่มน้ำหนักของโพลีเอทิลีนไกลคอลให้ได้ตามต้องการ จึงได้มีการนำสารตัวเติม TiO<sub>2</sub> มาผสมกับ CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนต่าง ๆ เนื่องจากทางอุตสาหกรรมน้ำยางธรรมชาติ TiO<sub>2</sub> มีสมบัติเป็นสารช่วยเพิ่มความขาวให้แก่โพลีเอทิลีนไกลคอล อีกทั้งยังมีความหนาแน่นสูง (4.23 g/cm<sup>3</sup>) กลุ่มวิจัยจึงได้มีการนำมาใช้ผสมกับ CaCO<sub>3</sub> เพื่อใช้ในการเพิ่มน้ำหนักให้กับโพลีเอทิลีนไกลคอล

จากการศึกษาพบว่า เมื่อผสม TiO<sub>2</sub> ในปริมาณ 20 phr กับ CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้น้ำหนักของโพลีเอทิลีนไกลคอล และค่าความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนไกลคอลมีค่าที่เพิ่มขึ้นดังภาพที่ 4.35 และภาพที่ 4.36 ตามลำดับ ซึ่งทำให้น้ำหนักมากกว่าโพลีเอทิลีนไกลคอลที่มีการใส่ SiO<sub>2</sub> หรือ CaCO<sub>3</sub> เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง



ภาพที่ 4.35 กราฟแสดงน้ำหนักของโพลีเอทิลีนไกลคอลเทียบกับปริมาณ TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

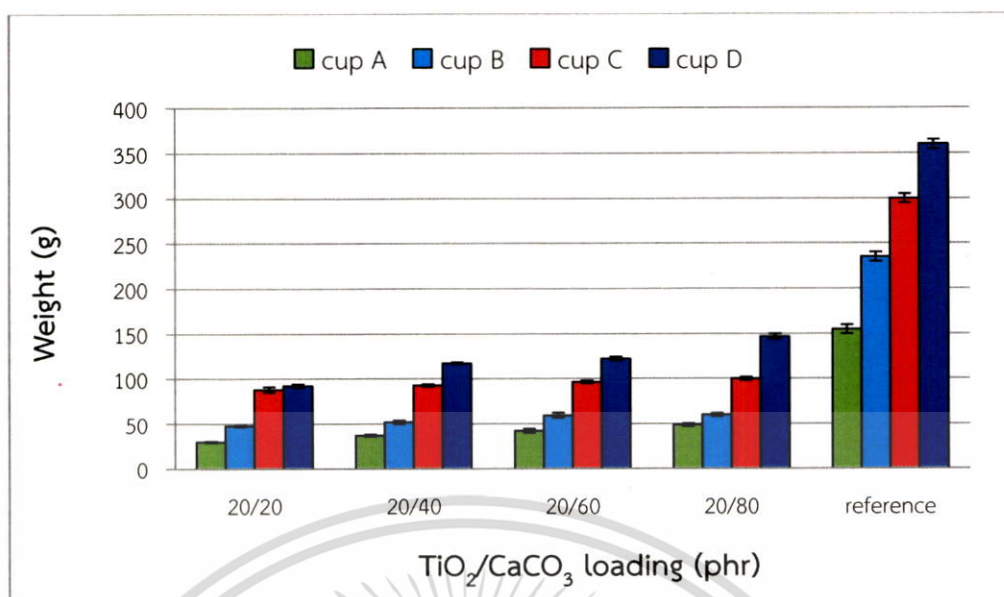
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.36 กราฟแสดงค่าความหนาแน่นของโพลีเมอร์ชนิดเดียวกับปริมาณ TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่ต่างกัน

จากการศึกษาชนิดและปริมาณสารตัวเติมพบว่า สารตัวเติมที่สามารถทำให้เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชนิดแบบไม่เคลือบมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นที่สุด คือ TiO<sub>2</sub> ที่ปริมาณคงที่ 20 phr ผสมกับ CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น โดยทำให้น้ำหนักของเต้านมทดแทนในแต่ละขนาดคัพมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามน้ำหนักของเต้านมทดแทนที่ได้ยังคงต่ำกว่าน้ำหนักมาตรฐานของเต้านมในแต่ละขนาดคัพ ดังภาพที่ 4.37 เนื่องจากไม่สามารถเพิ่มปริมาณสารตัวเติม TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ได้มากกว่าอัตราส่วนที่ 20/80 ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอนของน้ำยาง จากปริมาณของสารตัวเติมที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความตึงผิวของน้ำยางเพิ่มสูงขึ้น และอนุภาคน้ำยางจับตัวกันทำให้ตกตะกอน สอดคล้องตามงานวิจัย [67]

แต่อัตราส่วนที่ 20/80 ของ TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> นี้ ได้ส่งผลให้โพลีเมอร์ชนิดนี้มีค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นด้วย ดังภาพที่ 4.38 จึงทำให้กลุ่มผู้วิจัยได้เลือกใช้สารตัวเติมดังกล่าวในอัตราส่วนที่ 20/60 เนื่องจากทำให้โพลีเมอร์ชนิดนี้มีค่าความแข็งที่ต่ำกว่า แต่ยังคงมีน้ำหนักที่ยังคงสูงอยู่ ดังตารางที่ 4.38

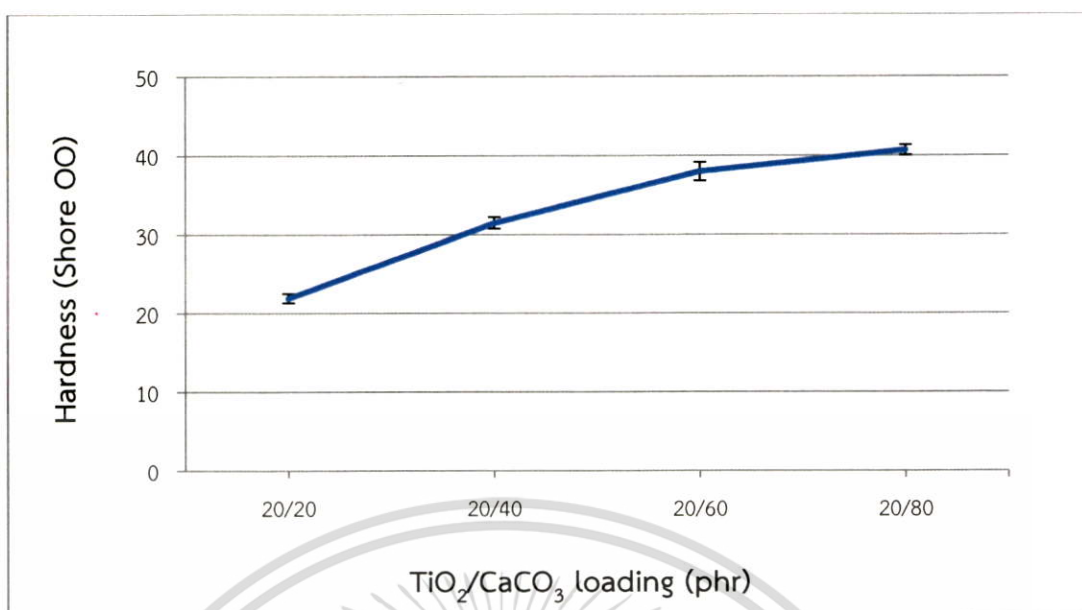


ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงน้ำหนักของเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนในแต่ละขนาดคัพเทียบกับปริมาณระหว่าง TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนที่มีการเพิ่มน้ำหนักโดยใช้สารตัวเติม TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนต่าง ๆ

| TiO <sub>2</sub> /CaCO <sub>3</sub> (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     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.38 กราฟแสดงค่าความแข็งของโพลีเมอร์ชาติเทียบกับ TiO<sub>2</sub>/CaCO<sub>3</sub> ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

4.5 ทดสอบความพึงพอใจด้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชาติก่อนและหลังการใช้งาน การประเมินความพึงพอใจด้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชาติก่อนและหลังการใช้งานทั้งแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนและแบบเคลือบผิวซิลิโคนของผู้ป่วยที่ตัดเต้านมหลังการรักษา

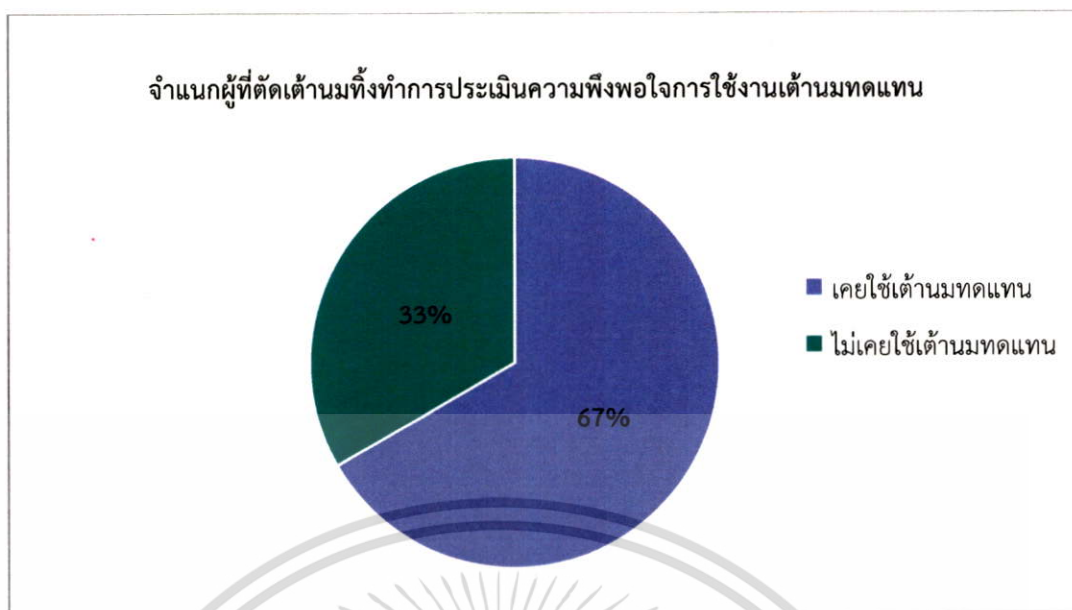


ภาพที่ 4.39 เต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชาติที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

#### 4.5.1 ทดสอบความพึงพอใจก่อนการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ชาติ

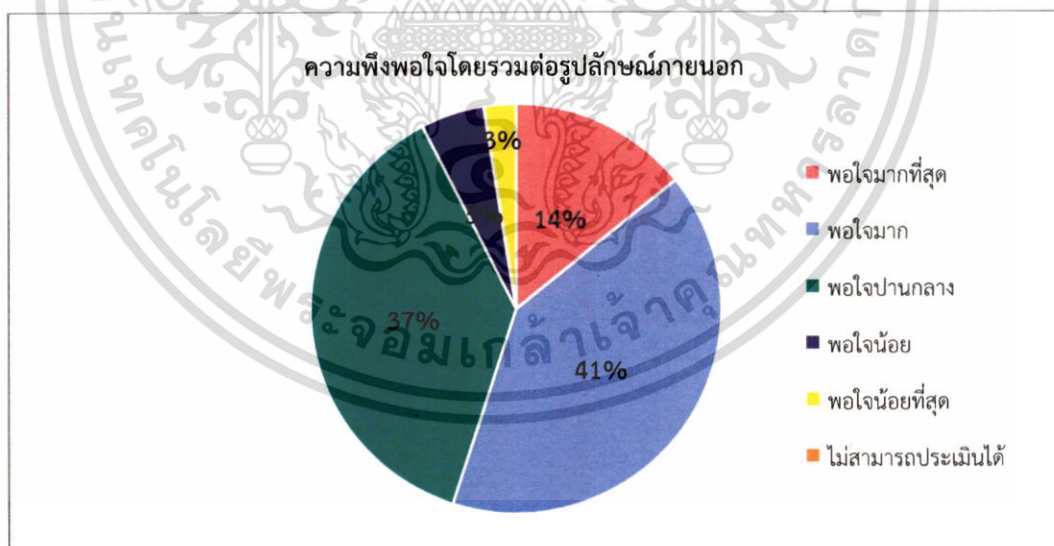
จากการประเมินความพึงพอใจต่อเต้านมทดแทนก่อนการใช้งาน พบว่าผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมเคยใช้เต้านมทดแทนมาก่อน 67% และไม่เคยใช้เต้านมทดแทน 33% ดังภาพที่ 4.40 โดยมีผู้ที่เคยใช้ 10 คน ไม่เคยใช้ 20 คน รวมทั้งหมด 30 คน ทำแบบสำรวจก่อนการใช้งาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



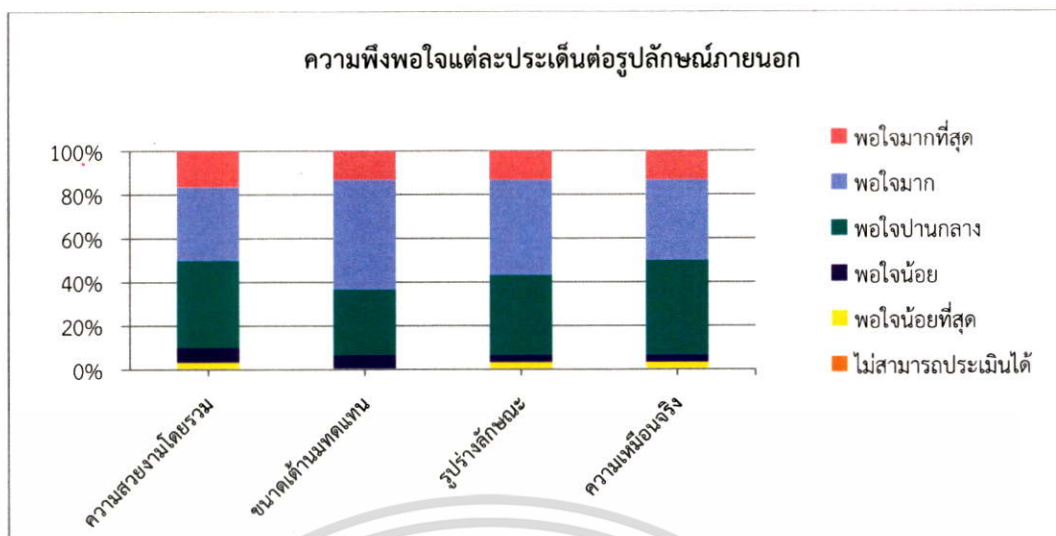
ภาพที่ 4.40 กราฟจำแนกผู้ป่วยที่ทำการประเมินเต้านมทดแทน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 55% ดังภาพที่ 4.41 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณะภายนอก ดังภาพที่ 4.42 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ แต่มีสีสันทึบไม่สวยงาม และลักษณะที่ไม่สมจริง



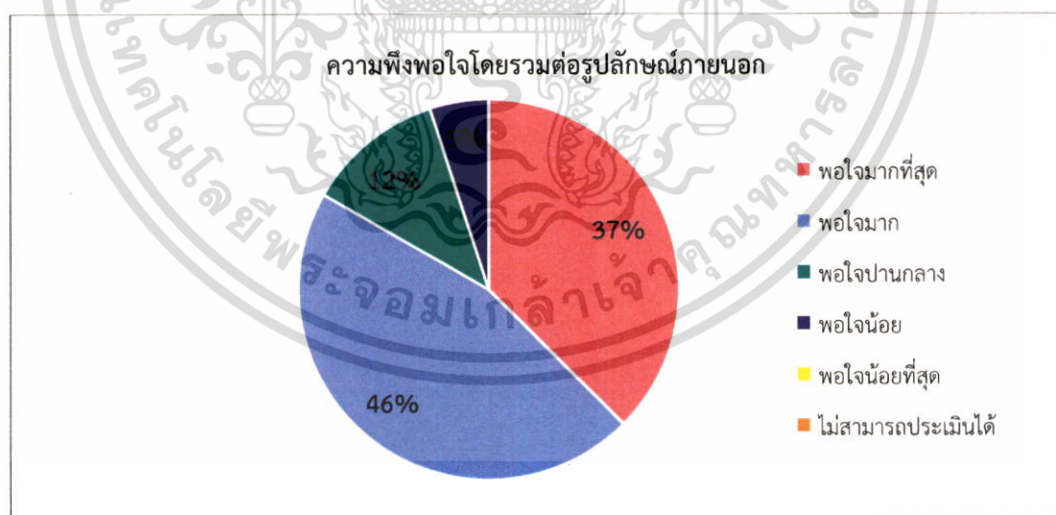
ภาพที่ 4.41 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณะภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



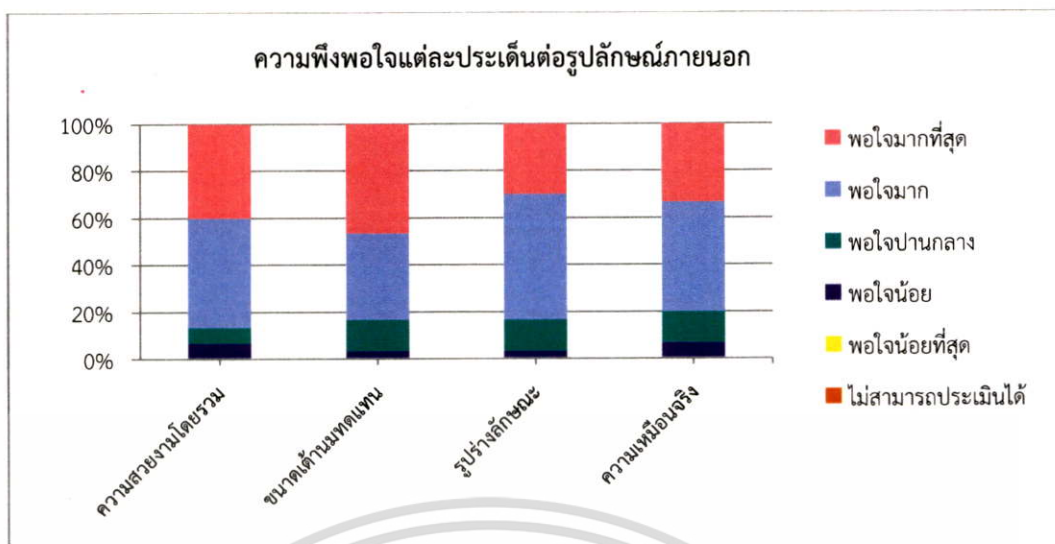
ภาพที่ 4.42 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 83% ดังภาพที่ 4.43 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังภาพที่ 4.44 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีการเคลือบผิวด้วยซิลิโคนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ และการเคลือบผิวซิลิโคนทำให้มีสีที่สวยงาม มีความเสมือนจริงกับเต้านมมนุษย์



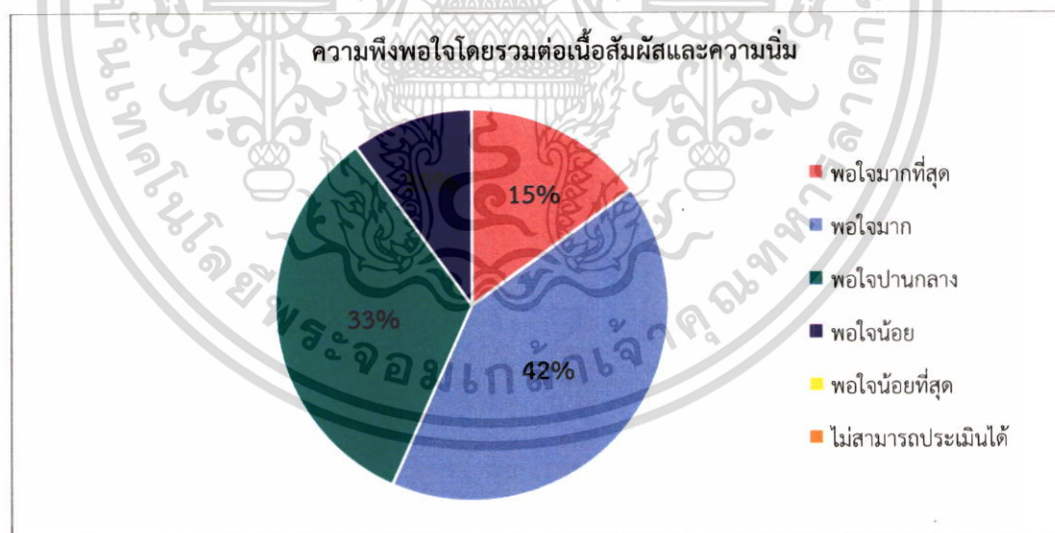
ภาพที่ 4.43 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



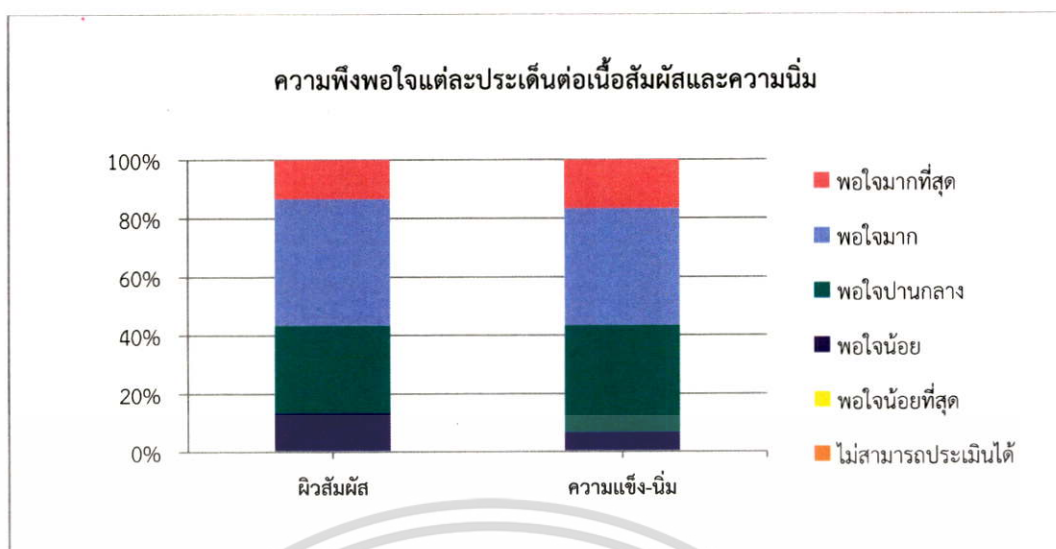
ภาพที่ 4.44 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของด้านมหตแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของด้านมหตแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนพบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 57% ดังภาพที่ 4.45 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม ดังภาพที่ 4.46 เนื่องจากด้านมหตแทนมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง



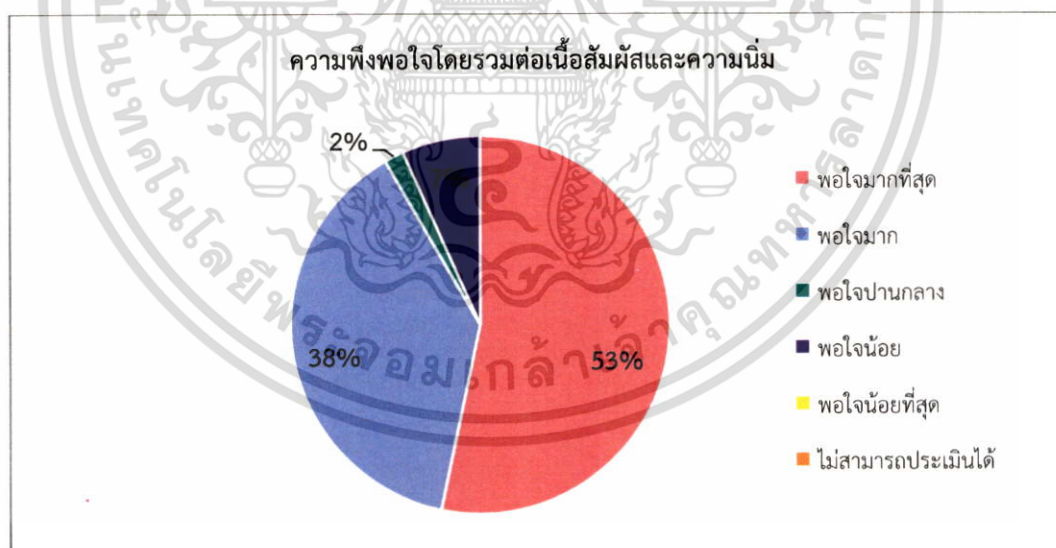
ภาพที่ 4.45 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของด้านมหตแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



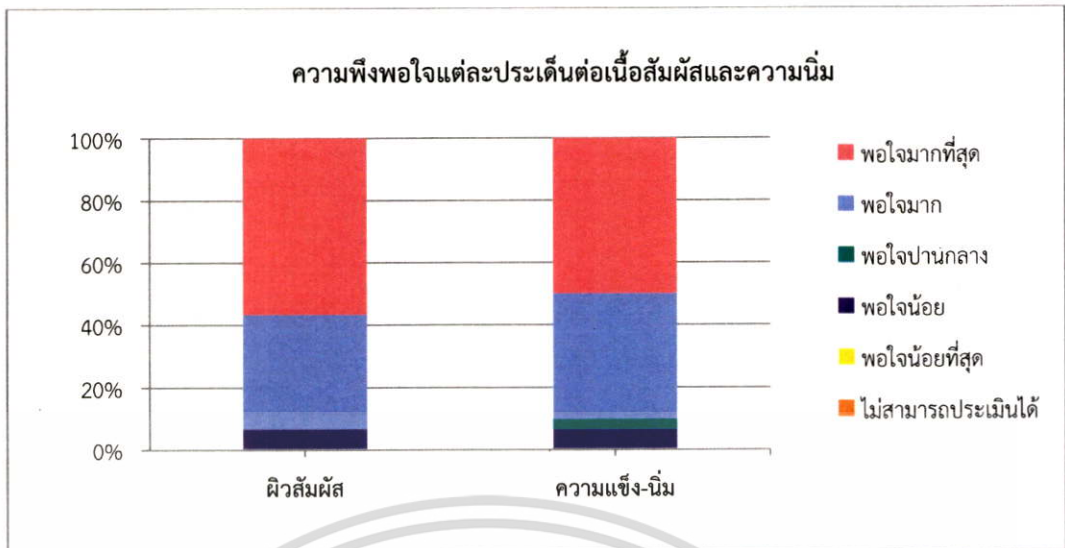
**ภาพที่ 4.46** กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยมีระดับความพึงพอใจมากถึงมากที่สุดถึง 91% ดังภาพที่ 4.47 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่ม ดังภาพที่ 4.48 เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มเหมือนกับผิวของมนุษย์



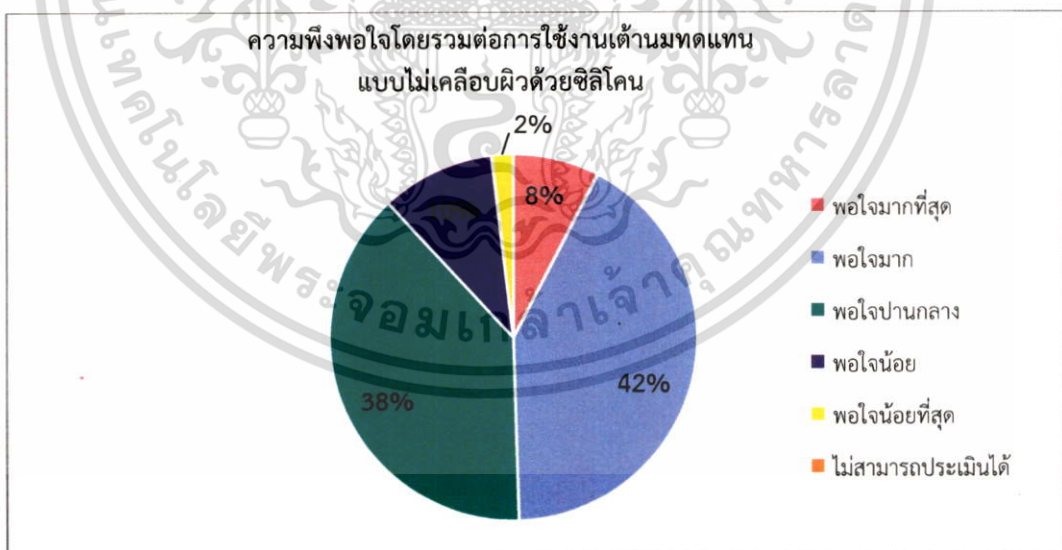
**ภาพที่ 4.47** กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



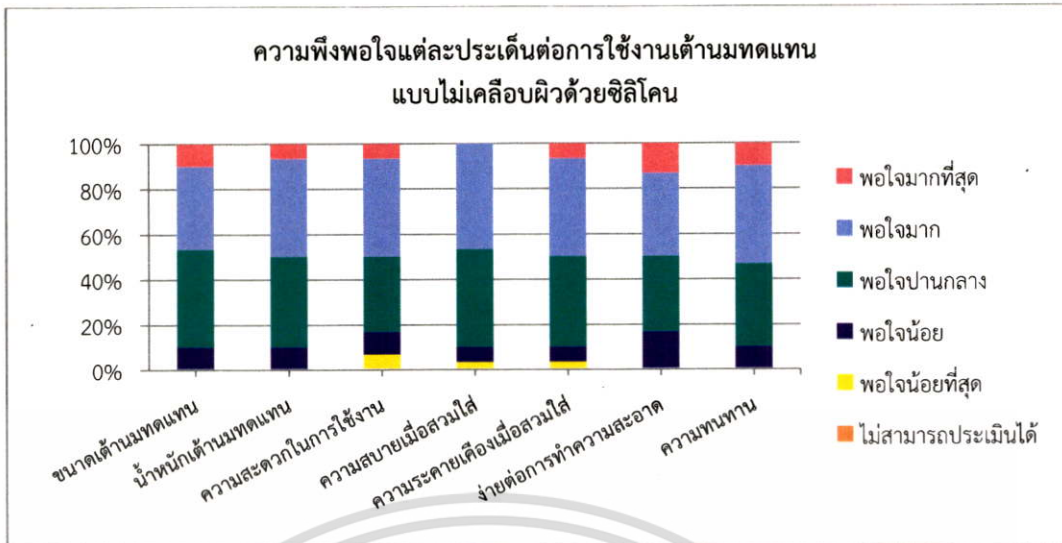
**ภาพที่ 4.48** กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยมีพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 50% ดังภาพที่ 4.49 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังภาพที่ 4.50 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีขนาดที่เหมาะสมตามคัพต่าง ๆ แต่มีน้ำหนักที่เบาทำให้เมื่อนำไปใช้งานจริงให้ความรู้สึกที่ไม่เสมือนกับเต้านมจริง แต่ก็ยังมีผู้ป่วยบางกลุ่ม (สูงวัย) นิยมที่จะเลือกใช้เต้านมทดแทนไม่เคลือบผิวซิลิโคน



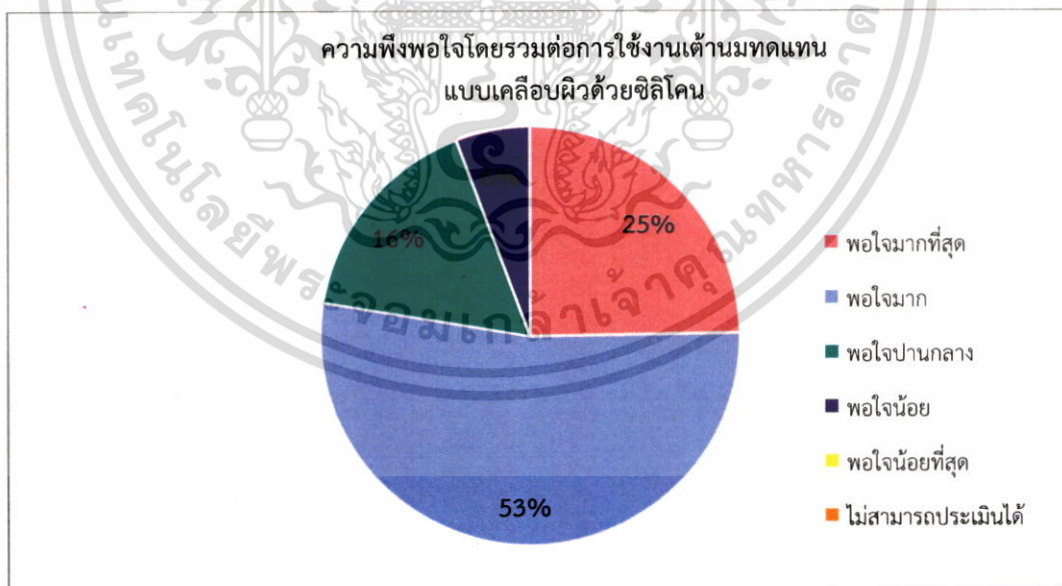
**ภาพที่ 4.49** กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



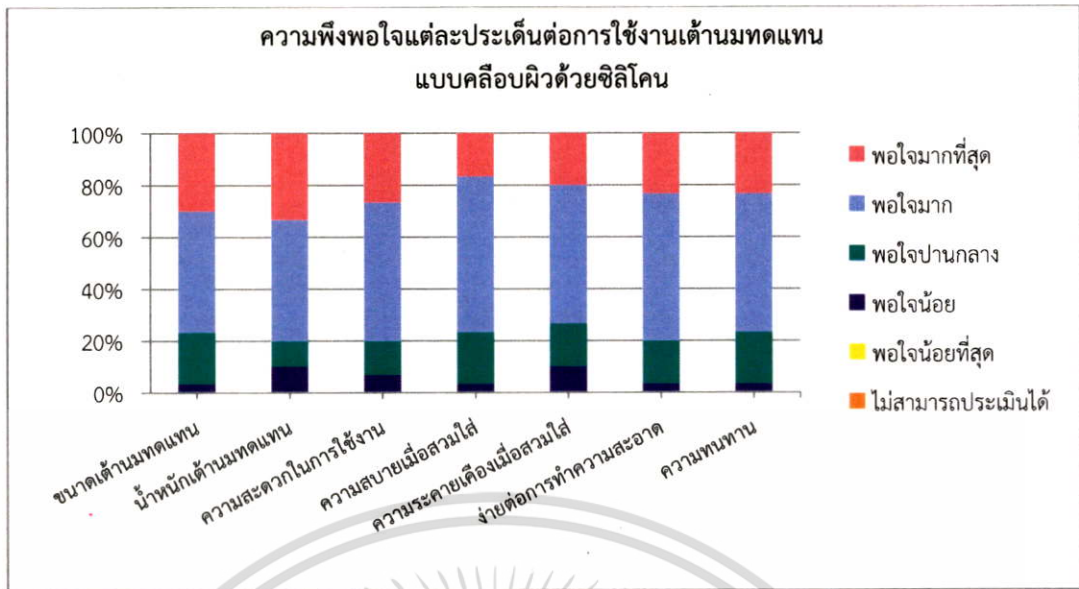
ภาพที่ 4.50 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอดีมากถึงมากที่สุด 78% แสดงดังภาพที่ 4.51 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังภาพที่ 4.52 เนื่องจากขนาดและน้ำหนักของด้านมทดแทนมีความเหมาะสมตามขนาดคัพต่าง ๆ ไม่เกิดความระคายเคืองเมื่อสวมใส่และยังง่ายต่อการทำความสะอาด



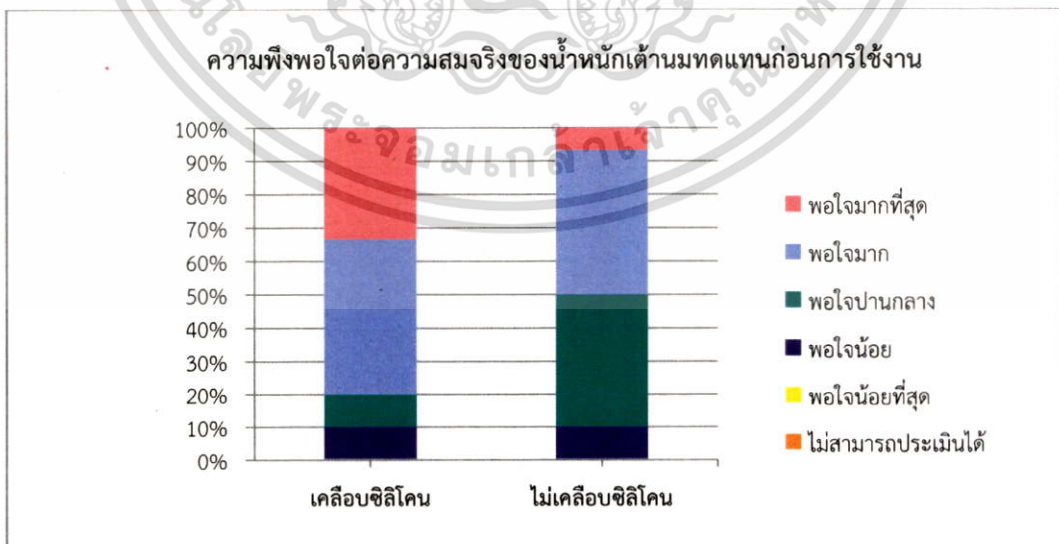
ภาพที่ 4.51 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.52 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยก่อนใช้งาน

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาด้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนให้มือน้ำหนักที่เหมาะสม ผลที่ได้จากการประเมิน ดังภาพที่ 4.53 ทำให้ทราบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักของด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนและแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน ในระดับความพึงพอใจมากถึงมากที่สุด 80% และ 50% ตามลำดับ เนื่องจากด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน มีความสวยงาม รูปร่างที่เสมือนจริง มีความนุ่มเสมือนผิวหนัง และความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด ซึ่งความพึงพอใจของผู้ป่วยต่อน้ำหนักของด้านมทดแทนทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคน และแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากด้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเสมือนจริงมากกว่า

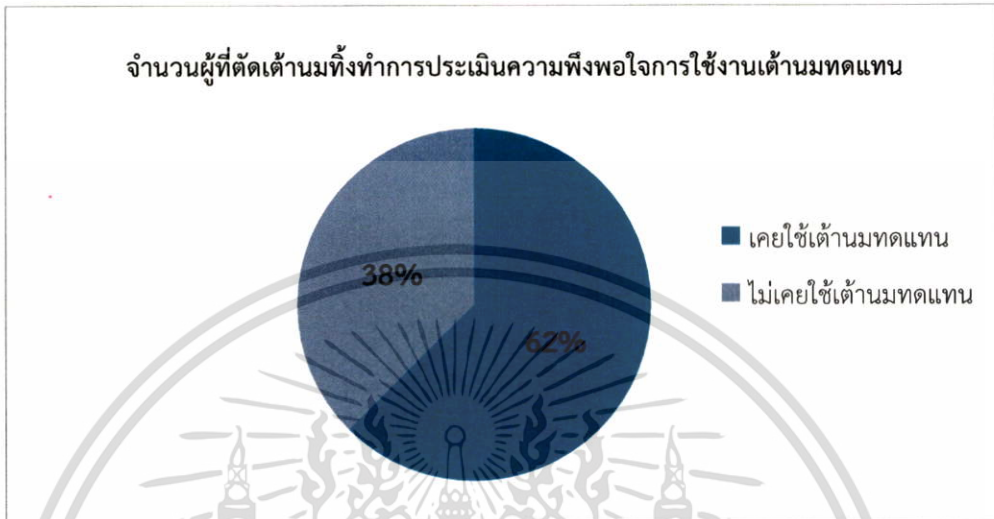


ภาพที่ 4.53 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักด้านมทดแทนก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

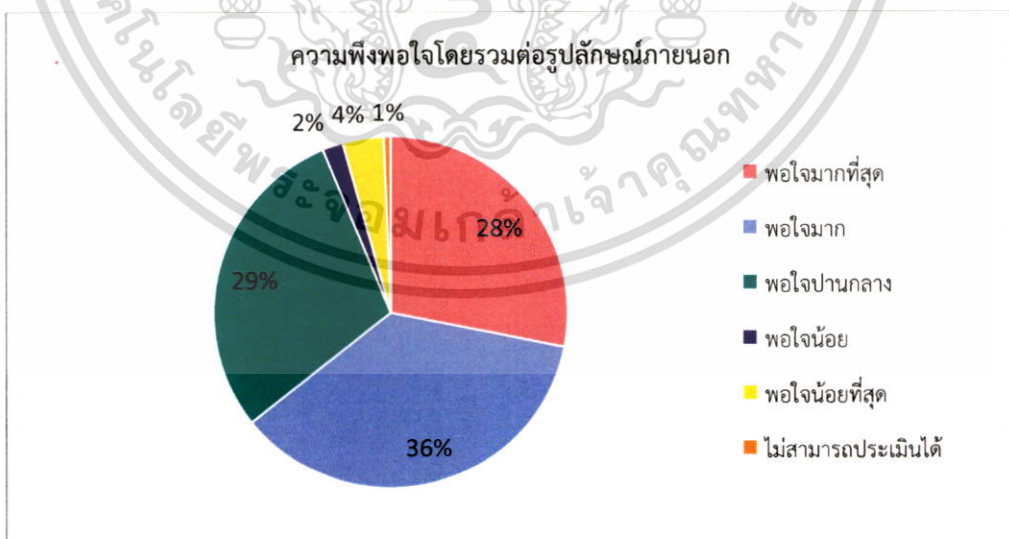
#### 4.5.2 ทดสอบความพึงพอใจหลังการใช้งานด้านมทดแทนจากโคมียงธรรมชาติ

จากการประเมินความพึงพอใจหลังการใช้งานด้านมทดแทนจริง พบว่าผู้ป่วยที่ถูกตัดเต้านมเคยใช้เต้านมทดแทนมาก่อน 62% และไม่เคยใช้เต้านมทดแทน 38% ดังภาพที่ 4.54 โดยมีผู้ที่เคยใช้ 25คน ไม่เคยใช้ 15 คน รวมทั้งหมด 40 คน ทำแบบสำรวจดังนี้



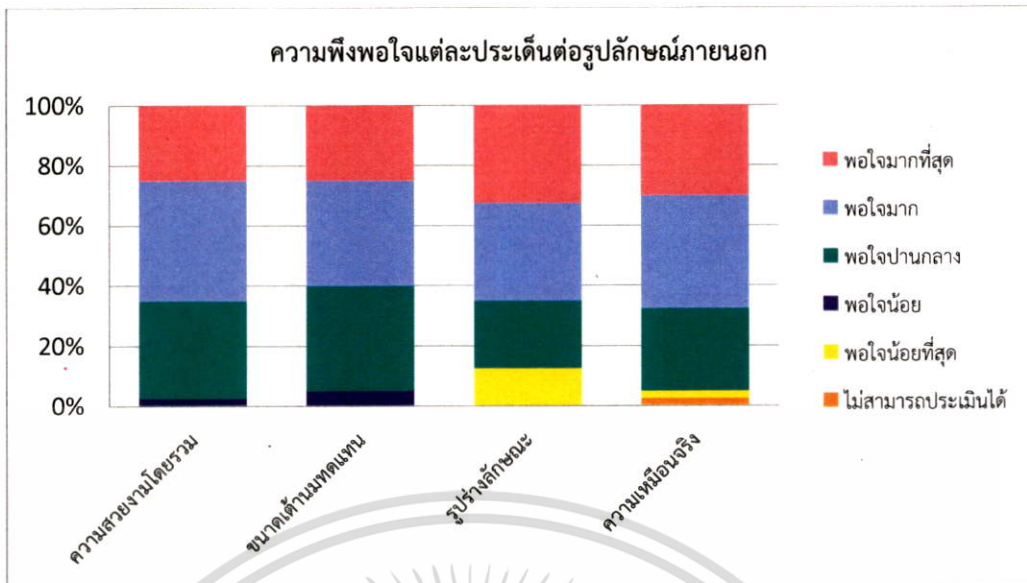
ภาพที่ 4.54 กราฟจำแนกผู้ป่วยที่ทำการประเมินเต้านมทดแทนหลังใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนหลังการใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 64% ดังภาพที่ 4.55 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังภาพที่ 4.56 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ แต่มีสีสันทึบไม่สวยงาม และลักษณะที่ไม่สมจริง



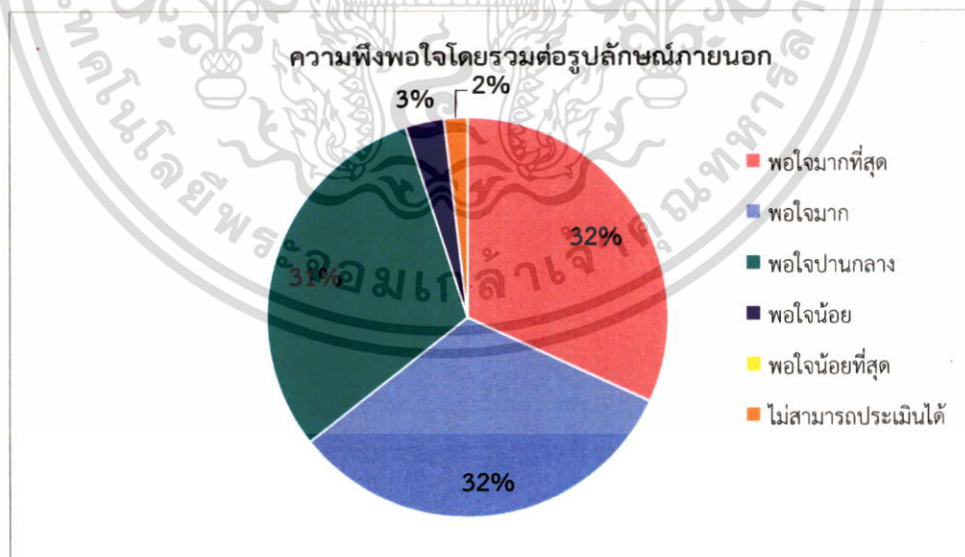
ภาพที่ 4.55 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



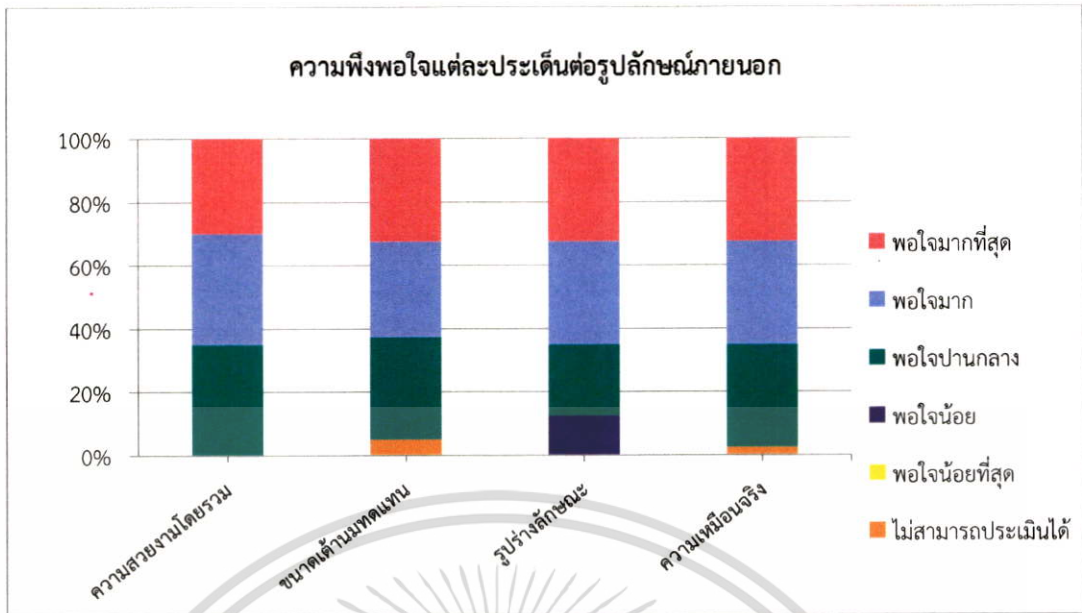
ภาพที่ 4.56 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนหลังการใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 64% ดังภาพที่ 4.57 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอก ดังภาพที่ 4.58 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีการเคลือบผิวด้วยซิลิโคนมีขนาดและรูปร่างตามขนาดคัพต่าง ๆ และการเคลือบผิวซิลิโคนทำให้มีสีที่สวยงาม มีความเหมือนจริงกับเต้านมมนุษย์



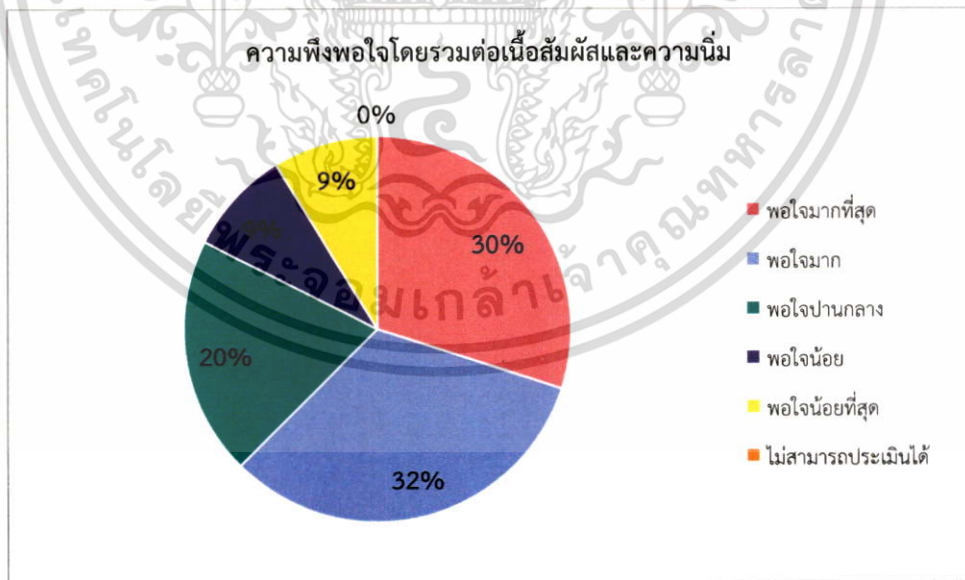
ภาพที่ 4.57 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



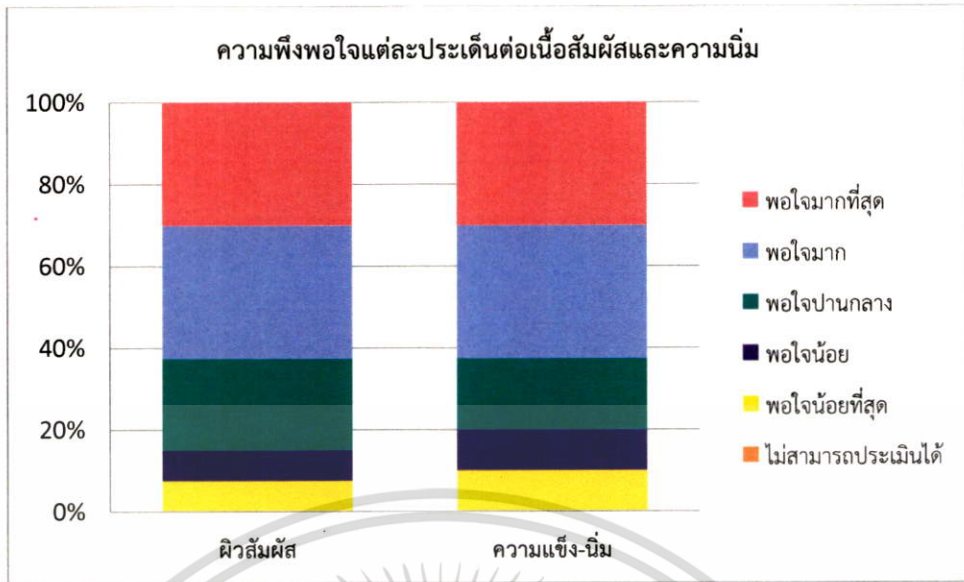
ภาพที่ 4.58 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อรูปลักษณ์ภายนอกของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนหลังใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอดีมากถึงมากที่สุด 62% ดังภาพที่ 4.59 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม ดังภาพที่ 4.60 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีเนื้อสัมผัสที่ค่อนข้างแข็ง



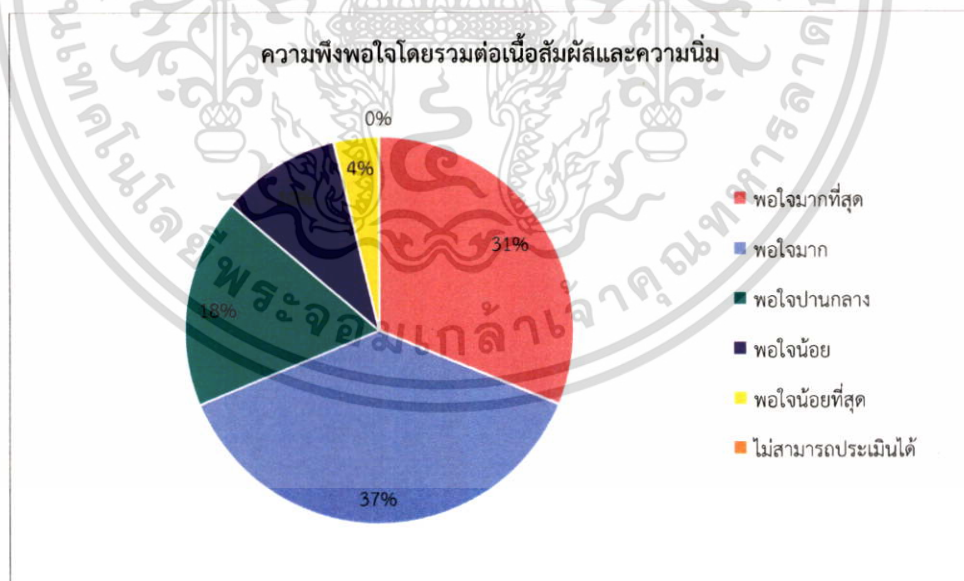
ภาพที่ 4.59 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



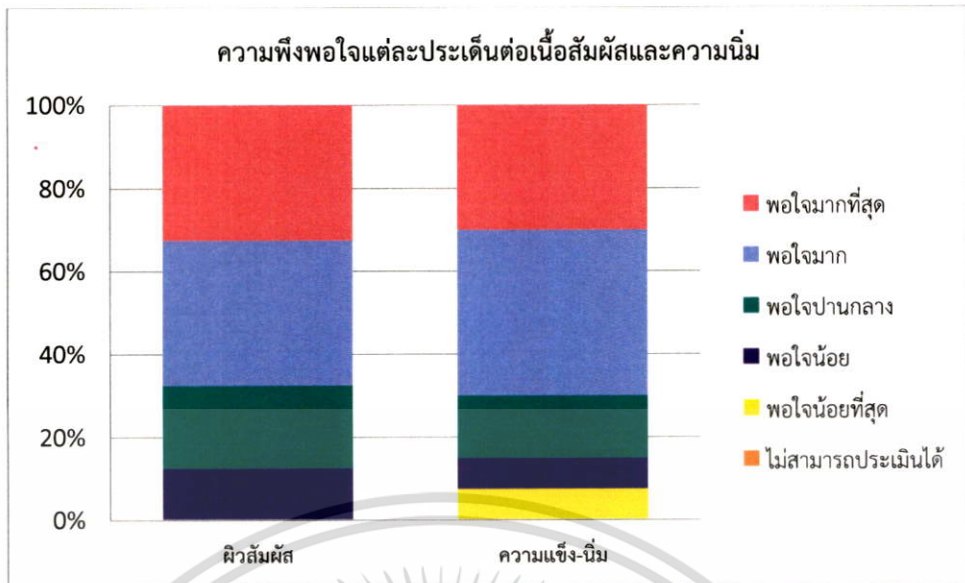
ภาพที่ 4.60 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนหลังการใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยมีระดับความพึงพอใจมากถึงมากที่สุดถึง 68% ดังภาพที่ 4.61 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อนื้อสัมผัสและความนิยม ดังภาพที่ 4.62 เนื่องจากมีเนื้อสัมผัสที่นิ่มเสมือนกับผิวของมนุษย์



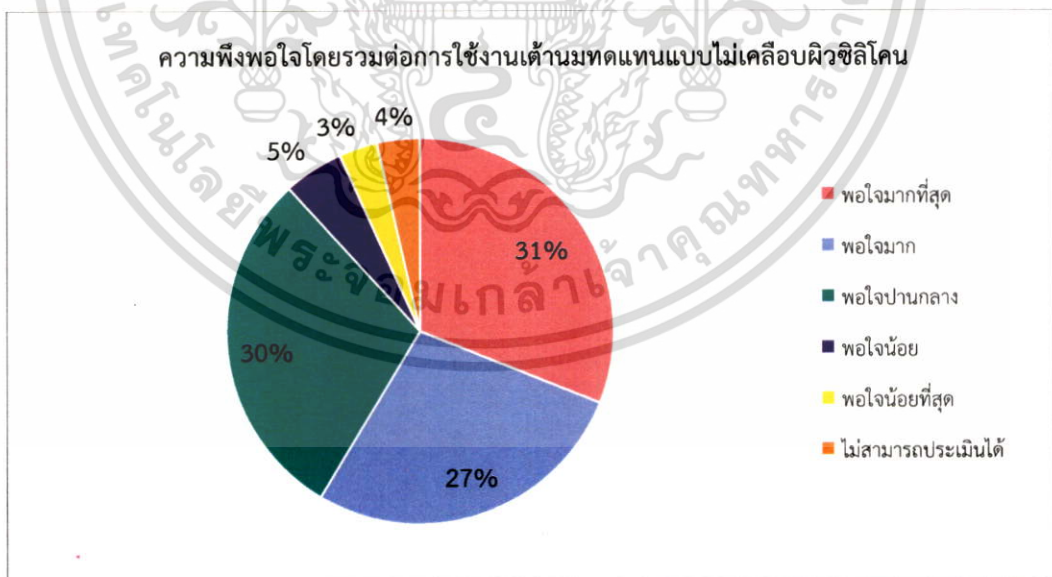
ภาพที่ 4.61 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อนื้อสัมผัสและความนิยมของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



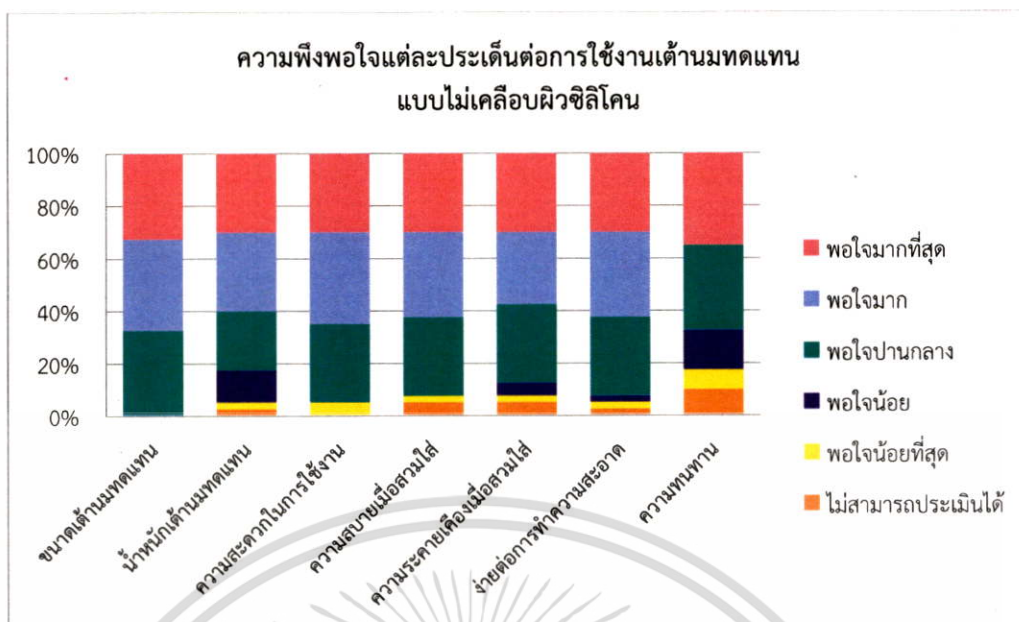
ภาพที่ 4.62 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อเนื้อสัมผัสและความนุ่มของเต้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนหลังการใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยมีพึงพอใจในระดับพอใจมากถึงมากที่สุด 58% ดังภาพที่ 4.63 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังภาพที่ 4.64 เนื่องจากเต้านมทดแทนมีขนาดที่เหมาะสมตามคัพต่าง ๆ แต่มีน้ำหนักที่เบาทำให้เมื่อนำไปใช้งานจึงให้ความรู้สึกที่ไม่เหมือนกับเต้านมจริง แต่ก็ยังมีผู้ป่วยบางกลุ่ม (สูงวัย) นิยมที่จะเลือกใช้เต้านมทดแทนไม่เคลือบผิวซิลิโคน



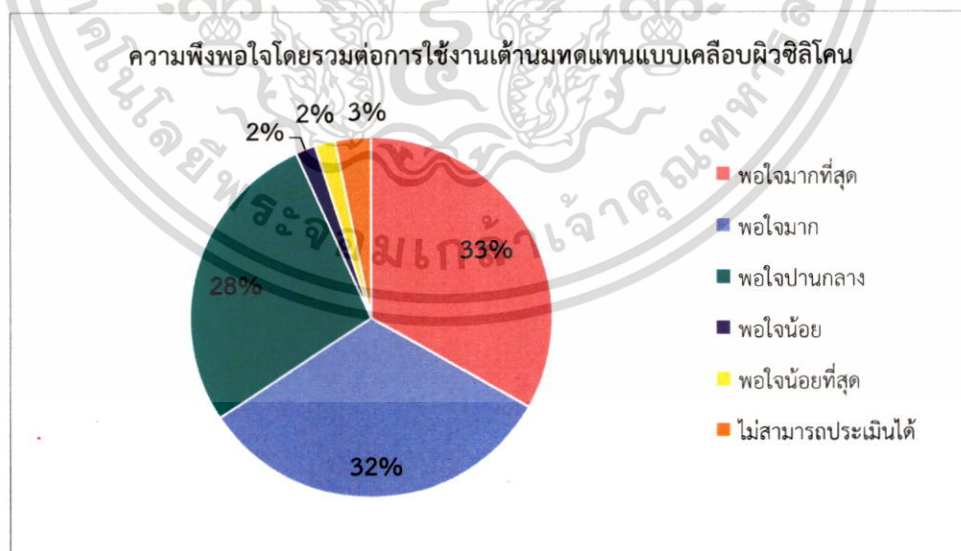
ภาพที่ 4.63 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานของเต้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



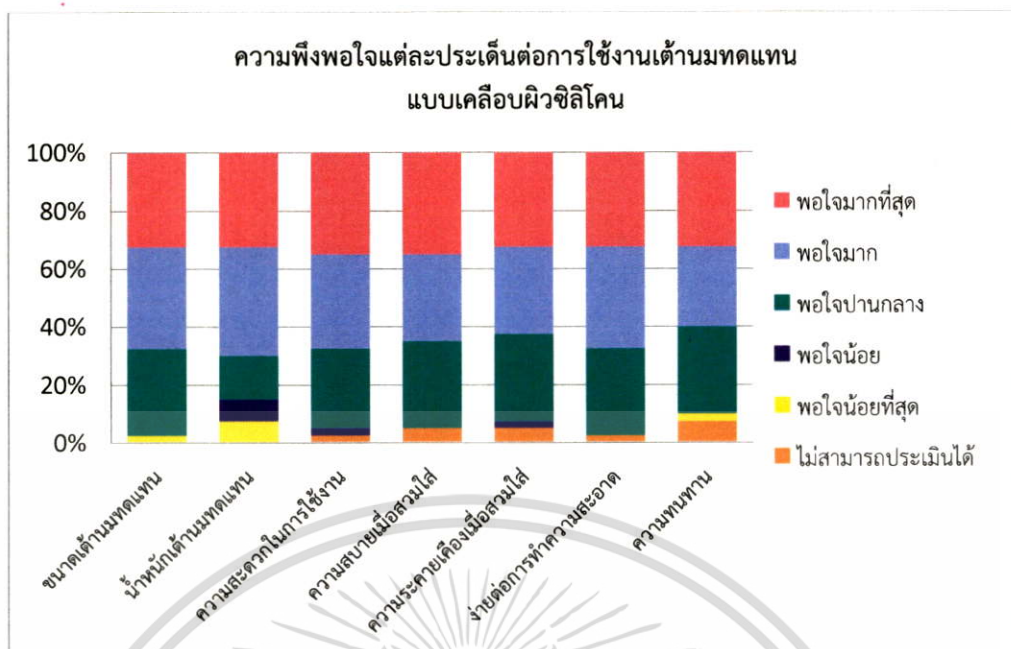
ภาพที่ 4.64 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนหลังการใช้งานจริง พบว่าผู้ป่วยส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอดีใจมากถึงมากที่สุด 65% แสดงดังภาพที่ 4.65 และมีความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งาน ดังภาพที่ 4.66 เนื่องจากขนาดและน้ำหนักของด้านมทดแทนมีความเหมาะสมตามขนาดคัพต่าง ๆ ไม่เกิดความระคายเคืองเมื่อสวมใส่และยังง่ายต่อการทำความสะอาด



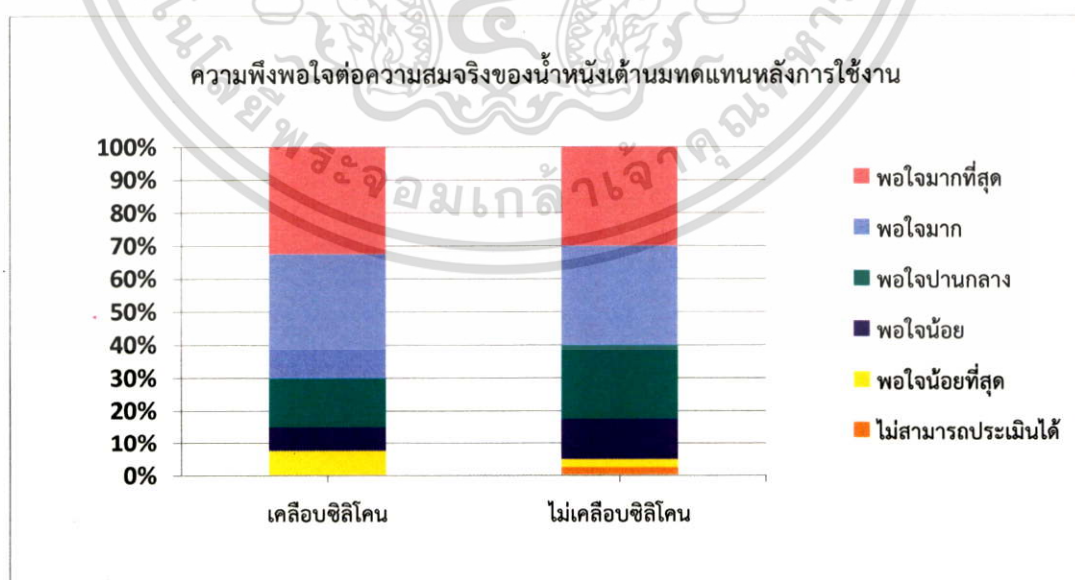
ภาพที่ 4.65 กราฟการประเมินความพึงพอใจโดยรวมต่อการใช้งานด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.66 กราฟการประเมินความพึงพอใจแต่ละประเด็นต่อการใช้งานเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนโดยผู้ป่วยหลังการใช้งาน

จากงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาเต้านมทดแทนจากโพลีเอทิลีนให้มือน้ำหนักที่เหมาะสมหลังการใช้งานจริงผลที่ได้จากการประเมิน ดังภาพที่ 4.67 ทำให้ทราบว่าผู้ป่วยมีความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักของเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคนและแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคน ในระดับความพึงพอใจมากถึงมากที่สุด 70% และ 60% ตามลำดับ เนื่องจากเต้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน มีความสวยงาม รูปร่างที่เสมือนจริง มีความนุ่มเสมือนผิวหนังมนุษย์ ความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด และน้ำหนักเสมือนจริงมากกว่า



ภาพที่ 4.67 กราฟแสดงความพึงพอใจต่อความสมจริงของน้ำหนักเต้านมทดแทนหลังการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6 การวิเคราะห์ราคาต้นทุนและการประเมินราคาในเชิงพาณิชย์

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

ตารางที่ 4.4 ราคาต้นทุนวัตถุดิบต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน 1 ชิ้น ณ เดือน เมษายน 2560

| น้ำยางและสารเคมี  | ราคา(บาท/ชิ้น) |
|---|----------------|
| 60% น้ำยางชั้น (Latex)  | 52.60          |
| 10% โฟแทสเซียมโอเลอเตด  | 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            |
| น้ำมันซิลิโคน   | 135            |
| สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์  | 22.5           |
| ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ  | บาท/ชิ้น       |
| ค่าไฟใช้ในการปั่นโพลี และอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง<br>(อัตราค่าใช้ต่อบ 100 บาท/ชั่วโมง) | 200            |
| สายรัดสำหรับคล้องคอ   | 85             |
| ผ้าไนลอน เพิ่มความแข็งแรง   | 30             |
| หนังเทียมตกแต่งด้านหลังชิ้นงาน  | 50             |
| กาวซิลิโคนใส  | 85             |
| กล่องใส่แบบจำลอง  | 320            |
| <b>แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเคลือบผิวซิลิโคน</b>                                | <b>1,219</b>   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างราคาต้นทุนวัตถุดิบของเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ 1 ชั้น (คัพ A)

| น้ำยางและสารเคมี                               | ราคา(บาท/ชิ้น)  |
|--|-----------------|
| 60% น้ำยางชั้น (Latex)                         | 5.26            |
| 10% โพลีเอทิลีน                                | 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 <sub>3</sub>                          | 16.20           |
| 50% TiO <sub>2</sub>                           | 8.00            |
| <b>ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ</b>                        | <b>บาท/ชิ้น</b> |
| ผ้าไนลอน เพิ่มความแข็งแรง                      | 6.00            |
| ค่าไฟใช้ในการปั่นโคมและอบชิ้นงาน 2 ชั่วโมง     | 20.00           |
| <b>เต้านมทดแทนจากโคมยางไม่เคลือบผิวซิลิโคน</b> | <b>51.00</b>    |
| <b>เต้านมทดแทนจากโคมยางเคลือบผิวซิลิโคน</b>    | <b>125.00</b>   |

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การประเมินราคาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ และเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติเทียบกับราคาเชิงพาณิชย์

| แบบจำลองและเต้านมทดแทน<br>และแบบที่หน่วยเชิงพาณิชย์          | ราคา                   |      |
|--|------------------------|------|
| แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน | 1,219 บาท              |      |
| แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์                       | ประมาณ 30,000 บาท      |      |
| เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ<br>แบบไม่เคลือบซิลิโคน          | ขนาดคัพ                | ราคา |
|  | A                      | 51   |
|  | B                      | 62   |
|  | C                      | 77   |
| เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติ<br>แบบเคลือบผิวซิลิโคน          | A                      | 125  |
|  | B                      | 149  |
|  | C                      | 174  |
|  | D                      | 197  |
| เต้านมทดแทนเชิงพาณิชย์                                       | ประมาณ 3,000-6,000 บาท |      |

จากตารางที่ 4.6 ทำให้ทราบว่าแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน มีราคาที่ถูกกว่าแบบจำลองที่จำหน่ายในเชิงพาณิชย์ และเต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติมีราคาที่ต่ำกว่าเต้านมทดแทนทางเชิงพาณิชย์ อย่างไรก็ตามการประเมินราคานี้ เป็นการประเมินเฉพาะราคาต้นทุนวัตถุดิบเท่านั้น

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนโดยมีการปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน เพื่อให้ผิวเคลือบชั้นนอกของแบบจำลองมีความแข็งแรงความคงทนต่อการใช้งาน และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลียเอทิลีนของแบบจำลอง ให้โพลียเอทิลีนมีความเหมาะสมในการนำมาขึ้นรูปแบบจำลอง และทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนโดยบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป ส่วนที่สองเป็นการศึกษาเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีนโดยศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน ทั้งแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนและแบบเคลือบผิวซิลิโคนและทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเต้านมทดแทนจากโพลียเอทิลีน โดยบุคคลที่ตัดเต้านมหลังการรักษา ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

#### แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนเคลือบผิวซิลิโคน

##### ตอนที่ 1 การปรับปรุงสมบัติผิวเคลือบซิลิโคน

- จากการศึกษาผลของปริมาณน้ำมันซิลิโคน พบว่าปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่มากขึ้น ส่งผลให้ซิลิโคนมีค่าความแข็งและค่ามอดูลัส ความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าร้อยละการยืดฉีก จุดขาดลดต่ำลง ปริมาณน้ำมันซิลิโคนที่เหมาะสมในการนำมาทำผิวเคลือบซิลิโคนในงานวิจัยนี้คือ 60 phr

- จากการศึกษาการเพิ่มความแข็งแรงฉีกขาดผิวซิลิโคนของแบบจำลองโดยการเพิ่มชั้นผ้าสามารถทำได้ ซึ่งพบว่าซิลิโคนที่เสริมแรงด้วยผ้ามีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในงานวิจัยนี้ผ้าที่เหมาะสมในการนำมาเสริมแรงผิวเคลือบซิลิโคนคือ ผ้าไนลอน เนื่องจากมีค่าร้อยละการยืดตัว ฉีกขาดที่ต่ำ อีกทั้งยังทำให้มีผิวเคลือบซิลิโคนมีความแข็งแรงกดต่ำ

##### ตอนที่ 2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติโพลียเอทิลีนของแบบจำลอง

- จากการศึกษาระดับความเร็วในการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์พบว่า ระดับความเร็วที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้โพลียเอทิลีนมีความหนาแน่น ค่าความแข็งแรงลดต่ำลง และทำให้การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

- ระดับความเร็วที่เหมาะสมในการนำมาทำโพลียเอทิลีนของแบบจำลองคือ ระดับ 4 (840 rpm) ใช้ในการปั่นช่วงแรกของการผสมอิมัลซิไฟเออร์ และใช้ระดับ 1 (429 rpm) หลังจากรับปั่นอิมัลซิไฟเออร์

##### ตอนที่ 3 ทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

- บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปส่วนใหญ่มีความพึงพอใจในระดับพอใจมาก ต่อรูปลักษณ์ภายนอก เนื้อสัมผัสและความนิ่ม และการใช้งาน เนื่องจากแบบจำลองมีผิวสวยงาม มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นุ่มสัมผัส และสามารถลำเลียงของแข็งอีกทั้งยังสามารถแยกชนิดของก้อนของแข็งภายในแบบจำลองได้

### ด้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ธรรมชาติ

#### **ตอนที่ 4** การศึกษาน้ำหนักที่เหมาะสมของด้านมทดแทนจากโพลีเมอร์ธรรมชาติ

- จากการศึกษาน้ำหนักของด้านมทดแทนเคลือบผิวยางซิลิโคนพบว่า เมื่อขึ้นรูปผิวโดยใช้แม่พิมพ์เดียวกันกับแม่พิมพ์โพลีเมอร์ ทำให้สามารถใส่ซิลิโคนได้ในปริมาณที่จำกัด น้ำหนักด้านมที่ขึ้นรูปได้จึงมีน้ำหนักต่ำกว่าน้ำหนักด้านมขนาดคัพมาตรฐาน

- จากการศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมที่ใช้เพิ่มน้ำหนักด้านมทดแทนไม่เคลือบผิวยางซิลิโคนโดยใช้สารตัวเติม  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารตัวเติม ส่งผลให้โพลีเมอร์ธรรมชาติมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น

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

#### **ตอนที่ 5** ทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจต่อด้านมทดแทน

- บุคคลที่ตัดด้านมหลังการรักษามีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก เนื้อผิวสัมผัส และการใช้งานของด้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมากกว่าด้านมทดแทนไม่เคลือบผิวซิลิโคน เนื่องจากด้านมทดแทนแบบเคลือบผิวซิลิโคน มีความสวยงาม รูปร่างที่เสมือนจริง มีความนิ่มเสมือนผิวมนุษย์ และความสะดวกในการใช้งาน ง่ายต่อการทำความสะอาด

- ความพึงพอใจต่อน้ำหนักของด้านมทดแทนทั้งแบบเคลือบผิวซิลิโคนและแบบไม่เคลือบผิวซิลิโคนมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เนื่องจากด้านมทดแทนเคลือบผิวซิลิโคนมีน้ำหนักเสมือนจริงมากกว่า

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารตัวเติมเพิ่มน้ำหนักชนิดอื่น เพื่อให้มีน้ำหนักของด้านมทดแทนที่เหมาะสม เช่น ดินขาว (Clay)
2. เพิ่มความหลากหลายของลักษณะผิวเคลือบแบบจำลองบางบริเวณ เช่น รอบปุ่ม รอยซ้ และผิวเปลือกส้ม เพื่อความสมจริงของโรคกระเร็งเต้านม
3. ทำการผลิตจริงและจำหน่ายจริง เพื่อทดสอบตลาด (Market test) และเพิ่มจำนวนแบบสอบถามเก็บข้อมูลความพึงพอใจเพื่อใช้ในการปรับปรุงแบบจำลองและด้านมทดแทน

## บทที่ 6

### สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

จากงานวิจัยได้แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน โดยมี การพัฒนาความแข็งแรงของผิวซิลิโคนให้ทนต่อแรงฉีกขาดมากยิ่งขึ้น และพัฒนาความแข็งแรงของโคม ยางธรรมชาติชั้นในของแบบจำลองให้มีความเหมาะสมกับการนำมาทำแบบจำลอง โดยแบบจำลองที่ได้มี 2 แบบ คือ

1. แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบแขวนคอ
2. แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ

และได้เต้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติที่มีน้ำหนักเหมาะสม ตามความต้องการของผู้ป่วยที่ตัด เต้านมหลังการรักษา แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย ได้แก่ แบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ เคลือบผิวซิลิโคนแบบแขวนคอและแบบตั้งโต๊ะ และเต้านมเทียม (เต้านมทดแทน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้จัดการนำเสนอผลงานวิจัย ในรูปแบบโปสเตอร์ ในงานวันวิทยาศาสตร์ ระหว่างวันที่ 28-29 สิงหาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)



นิทรรศการวันวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2560

วันที่ 28-29 สิงหาคม 2560

ณ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

รูปที่ 6.2 การนำเสนอผลงานวิจัยในงานวันวิทยาศาสตร์ ระหว่างวันที่ 28-29 สิงหาคม พ.ศ. 2560 ณ คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Chularat. 2560. โรคมะเร็งเต้านม. [Online]. Available : [http://chularat.com/knowledge\\_detail.php?lang=th&id=339&gid=13](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#](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](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](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](http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_showpic.php?NewsID=529&tyep_ID)
- [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>.
- [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 ชีพพลายโลกสิ้นราคายังอยู่ช่วงขาลง. [Online]. Available : [http://m.prachachat.net/news\\_detail.php?newsid=1453091492](http://m.prachachat.net/news_detail.php?newsid=1453091492).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] สุภาภรณ์ คลีไพบ และสุภัทษา นาคฤทธิ. 2557. **โครงการพิเศษการศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติ**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [13] กุลกันยา ทองดี, ปวีวี พินิจกุล และสิริภัทร สิริพันธ์กุล. 2558. **โครงการพิเศษการพัฒนาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [14] ไทยรัฐออนไลน์. 2560. **เครื่องฝึกตรวจมะเร็งเต้านม สจล.อภปรขยายพาราไทย**. [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](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](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](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](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. **กลุ่มสตรีบ้านหนองเป็ดทำเต้านมเลียนแบบตุ๊กตายางพาราคุณภาพเยี่ยม ใช้เรียนรู้เรื่องมะเร็ง**. [Online]. Available : <http://www.thaiday.com/South/ViewNews.aspx?NewsID=956000010173>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [26] อธิพิล แจ้งชัด. 2557. “เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง.” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [27] อติศัย รุ่งวิชานวัฒน์. 2560. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับน้ำยางและองค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยาง. [Online]. Available : <http://km.rubber.co.th>.
- [28] Rubber parts PTI. 2560. ลักษณะยางฟองน้ำ. [Online]. Available : <http://rubber spongeprofiles.blogspot.com>.
- [29] Rubber.oie.go.th. 2560. เทคโนโลยีการผลิตและการทดสอบโฟมยางจากน้ำยางธรรมชาติ. [Online]. Available : [http://rubber.oie.go.th/rrd/file/latex\\_foam.pdf](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. การโพลีคลอไรด์ของฟองยางธรรมชาติ. [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](http://petrochemtrade.com/xhr/doclink/ty/pdf/id/16_3dbc369f85/pid/3987922).
- [34] วราภรณ์ ขจรไชยกูล. 2552. ผลิตภัณฑ์ยาง : กระบวนการผลิตและเทคโนโลยี. กรุงเทพฯ : สำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สวก.).
- [35] ญัฐพงศ์ นิธิอุทัย และศุภเชษ ผลทอง. 2560. Potassium oleate. [Online]. Available : [http://www.chemicalbook.com/chemicalproductproperty\\_en\\_cb1466311.htm](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%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/SiO<sub>2</sub>) 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 แซ่ฮ้อย. 2560. การใช้ซิลิกาเป็นสารตัวเติมในยาง. [Online]. Available : <http://เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้>



- 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.ttexpert.com/textbook.htm](http://www.ttexpert.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. **ผลิตเด้าวมเทียมเพิ่มมูลค่าทางสังคม**. [Online]. Available : <http://e-journal.dip.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=VtTgNaFuBsQ%3D&tabid=100>.
- [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] ธีรรัตน์ ชูศิลป์ และคณะ. 2560. **การพัฒนาหุ่นจำลองเด้าวมสำหรับฝึกปฏิบัติทางคลินิกในการตรวจเอกซเรย์เด้าวม**. [Online]. Available : [http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show\\_preview=T&art\\_id=2025](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 ก่ออุฏฉกรรจ์สี, 2548. **ผลความหนืดของน้ำยางต่อการทำยางพองน้ำ**. เอกสารประกอบการนำเสนอบทความวิชาการการประชุม สวทช.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน



**แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมฉายรังสี**

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย  ใน  หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมทดแทนจากโคมฉายรังสีเคลื่อนที่ด้วยเทคโนโลยี” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเต้านมทดแทนจากยารังสีที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และ ไม่มีการแสดงที่มาของข้อมูล และ ผลการประเมินของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

**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. ทอล์กโชว์  4. หนังสือพิมพ์  5. อินเทอร์เน็ต  
 6. แผ่นพับ/ใบปลิว/โปสเตอร์  7. เพื่อน/ญาติ/คนใกล้ชิด  8. อสม.  9. แพทย์/พยาบาล/จนท.สาธารณสุข  
 10. ไม่เคยได้รับข้อมูล  11. อื่นๆ (โปรดระบุ).....

**ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลกรอกแบบสอบถาม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อแบบจำลองฯฝักตรวจมะเร็งเต้านม

| ประเด็น ความพึงพอใจ                                   | ระดับความพึงพอใจ       |              |                          |                   |                             |                         |
|---|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
|   | 4<br>พอใจมาก<br>ที่สุด | 3<br>พอใจมาก | 2<br>พอใจ<br>ปาน<br>กลาง | 1<br>พอใจ<br>น้อย | 0<br>พอใจ<br>น้อย<br>ที่สุด | ไม่สามารถ<br>ประเมินได้ |
| <b>1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)</b> |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสวยงามโดยรวม                                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ขนาด (ใหญ่ เล็ก)                                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - รูปร่างลักษณะ (เช่น ความกว้าง ความสูง ความหนา ฯลฯ)  |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความเหมือนจริง                                      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>2. ความพึงพอใจต่อคุณสมบัติความนิ่ม</b>             |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในความแข็งนิ่ม (Hardness)                |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงเวลากดคลำ                                 |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง</b>             |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงในการคลำเจอก้อนที่ฝังในแบบจำลอง           |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง          |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง               |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง        |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของความถี่-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง     |                        |              |                          |                   |                             |                         |

4. ถ้ามีแบบจำลองฯฝักตรวจมะเร็งเต้านมชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?  ใช่  ไม่ใช่ เพราะเหตุใด  
(โปรดระบุ)

.....  
.....  
.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี)

.....  
.....  
.....

2/2

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลประกอบการสอบถาม

รูปที่ ก.1 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อแบบจำลองตรวจมะเร็งเต้านมจากโฝมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อเด้านมทดแทนที่ผลิตจากโคมยางธรรมชาติ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน  หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเด้านมทดแทนจากโคมยางธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมและเด้านมทดแทนจากยางธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีมีการแสดงที่มาของข้อมูล และผลการประเมินของข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

### ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

- ปัจจุบันท่านอายุ  15-20 ปี  21-30 ปี  31-40 ปี  41-50 ปี  51-60 ปี  61 ปีขึ้นไป
- เพศ  1.หญิง  2.ชาย
- สถานภาพสมรส  1.โสด  2.สมรส  3.หม้าย/หย่า/แยก
- อาชีพ  1.แพทย์  2.พยาบาล  3. นักศึกษาแพทย์  4. นักศึกษาพยาบาล  5. รับราชการ  
 6.แม่บ้าน  7.รับจ้าง  8. อื่นๆ (โปรดระบุ).....
- การศึกษา  1.มัธยมศึกษา  2.อนุปริญญา/ปวส.  3.ปริญญาตรี  4.ปริญญาโท  5.ปริญญาเอก  
 6. อื่นๆ (โปรดระบุ).....
- ท่านเคยใช้เด้านมทดแทนหรือไม่  เคยใช้  ไม่เคยใช้
- ระยะเวลาในการใช้เด้านมทดแทน  0-6 เดือน  6 เดือน - 1 ปี  1-3 ปี  มากกว่า 3 ปี
- หลังจากการรักษามะเร็งเต้านม โดยการคัดเต้านม ท่านเคยใช้เด้านมทดแทนรูปแบบใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)  
 1.เด้านมทดแทนที่ผลิตจากซิลิโคน  
ปัญหาที่พบ.....  
 2.เด้านมทดแทนที่เย็บจากผ้า  
ปัญหาที่พบ.....  
 3.เด้านมทดแทนที่ผลิตจากวัสดุอื่นๆ (โปรดระบุ)  
ปัญหาที่พบ.....



## แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อเด้านมทดแทนที่ผลิตจากโฝมายธรรมชาติ

ถ้าชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน  หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเดิมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมและเด้านมทดแทนจากโฝมายธรรมชาติเคลือบผิวซิลิโคน” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTL) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมและเด้านมทดแทนจากโฝมายธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีการแสดงที่มาของข้อมูล 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/ปวส.  3.ปริญญาตรี  4.ปริญญาโท  5.ปริญญาเอก  
 6. อื่นๆ (โปรดระบุ).....
6. ท่านเคยใช้เด้านมทดแทนหรือไม่  เคยใช้  ไม่เคยใช้
7. ระยะเวลาในการใช้เด้านมทดแทน  0-6 เดือน  6 เดือน - 1 ปี  1-3 ปี  มากกว่า 3 ปี
8. หลังจากการรักษามะเร็งเต้านม โดยการตัดเต้านม ท่านเคยใช้เด้านมทดแทนรูปแบบใดบ้าง (ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ)  
 1.เด้านมทดแทนที่ผลิตจากซิลิโคน  
ปัญหาที่พบ.....  
 2.เด้านมทดแทนที่เย็บจากผ้า  
ปัญหาที่พบ.....  
 3.เด้านมทดแทนที่ผลิตจากวัสดุอื่นๆ (โปรดระบุ)  
ปัญหาที่พบ.....

ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นเพื่อประเมินความพึงพอใจที่มีต่อตัวแทนที่ผลิตจากโคมยางธรรมชาติ

ตัวอย่างตัวแทนแบบไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

| ประเด็นความพึงพอใจ                                    | ระดับความพึงพอใจ       |              |                          |                   |                             |                         |
|---|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
|   | 4<br>พอใจมาก<br>ที่สุด | 3<br>พอใจมาก | 2<br>พอใจ<br>ปาน<br>กลาง | 1<br>พอใจ<br>น้อย | 0<br>พอใจ<br>น้อย<br>ที่สุด | ไม่สามารถ<br>ประเมินได้ |
| <b>1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)</b> |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสวยงามโดยรวม                                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ขนาดต้นขนาดแทน                                      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - รูปร่างลักษณะ (เช่น ความกว้าง ความสูง ฯลฯ)          |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความเหมือนจริง                                      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>2. ความพึงพอใจต่อคุณสมบัติและความนิ่ม</b>          |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)               |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>3. ความพึงพอใจต่อการใช้งาน</b>                     |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของขนาดต้นขนาดแทนที่ได้รับ                |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของน้ำหนักต้นขนาดแทนที่ได้รับ             |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสะดวกในการใช้งาน                                |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสบายเมื่อสวมใส่ (การระบายอากาศ ไม่อับชื้น)      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความระคายเคืองเมื่อสวมใส่                           |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ง่ายต่อการทำความสะอาด                               |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความทนทานต่อการใช้งาน                               |                        |              |                          |                   |                             |                         |

4. ถ้ามีตัวแทนที่ผลิตจากโคมยางธรรมชาติชนิดที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?  
ใช่ / ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....  
.....  
.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงตัวแทนที่ผลิตจากโคมยางธรรมชาติชนิดที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน (ถ้ามี)

.....  
.....  
.....

2/3

ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลกรอกแบบสอบถาม

V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างคำถามทดแทนแบบทดสอบผิวด้วยซิลิโคน

| ประเด็นความพึงพอใจ                                    | ระดับความพึงพอใจ       |              |                          |                   |                             |                         |
|---|------------------------|--------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
|   | 4<br>พอใจมาก<br>ที่สุด | 3<br>พอใจมาก | 2<br>พอใจ<br>ปาน<br>กลาง | 1<br>พอใจ<br>น้อย | 0<br>พอใจ<br>น้อย<br>ที่สุด | ไม่สามารถ<br>ประเมินได้ |
| <b>1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearances)</b> |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสวยงามโดยรวม                                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ขนาดสัดส่วนทรวดทรง                                  |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - รูปร่างลักษณะ (เช่นความกว้าง ความสูง ฯลฯ)           |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความเหมือนจริง                                      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม</b>        |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)                    |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)               |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| <b>3. ความพึงพอใจต่อการใช้งาน</b>                     |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของขนาดสัดส่วนทรวดทรงที่ได้รับ            |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสมจริงของน้ำหนักสัดส่วนทรวดทรงที่ได้รับ         |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสะดวกในการใช้งาน                                |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความสบายเมื่อสวมใส่ (การระบายอากาศ ไม่อับชื้น)      |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความระคายเคืองเมื่อสวมใส่                           |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ง่ายต่อการทำความสะอาด                               |                        |              |                          |                   |                             |                         |
| - ความทนทานต่อการใช้งาน                               |                        |              |                          |                   |                             |                         |

4. ถ้ามีคำถามทดแทนที่ผลิตจาก โฟมยางธรรมชาติชนิดที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคนให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?

ใช่  ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

.....

.....

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงคำถามทดแทนที่ผลิตจาก โฟมยางธรรมชาติชนิดที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน (ถ้ามี)

.....

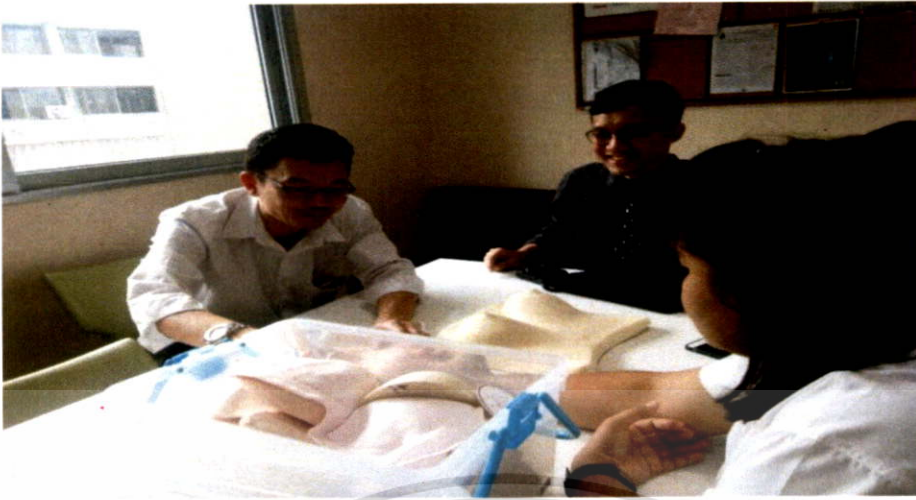
.....

3/3

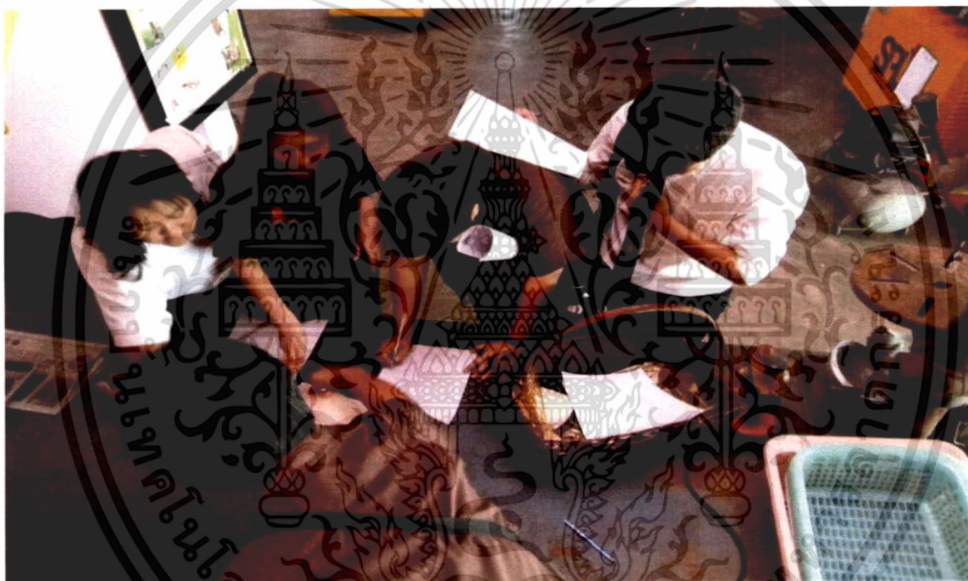
ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ข้อมูลกรอกแบบสอบถาม

รูปที่ ก.2 แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจที่มีต่อคำถามทดแทนจากโฟมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

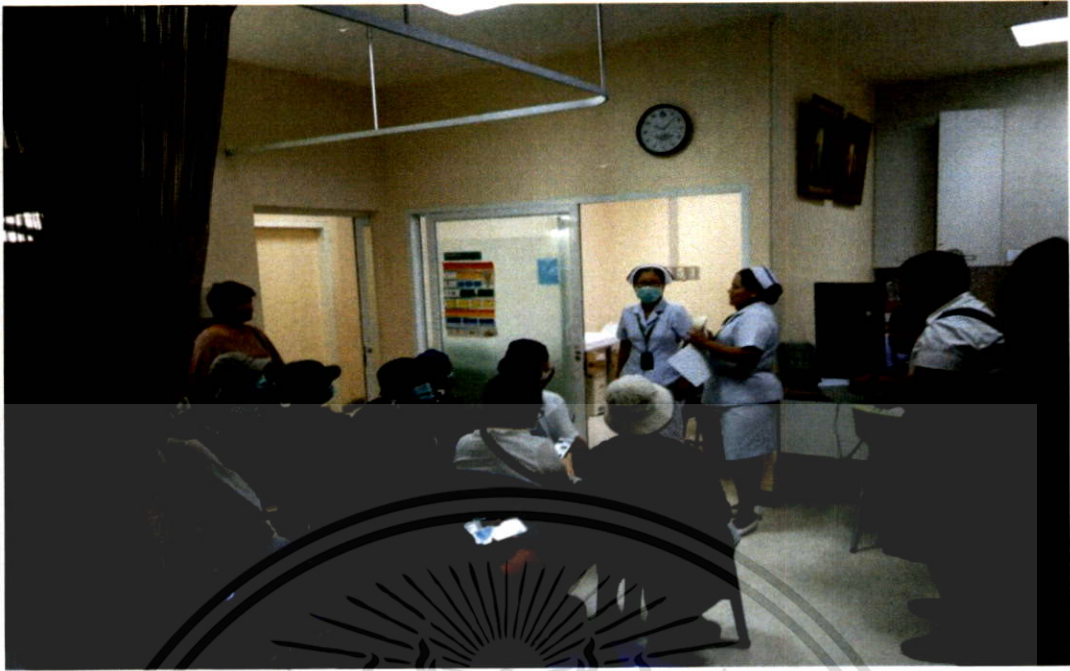


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 การทำแบบประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา 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) ใช้วาสลิน ทาแม่พิมพ์ด้านที่ต้องการเทยางซิลิโคน ดังรูปที่ ข.1(1)
- 3) ประกอบแม่พิมพ์ยางซิลิโคนแล้วผสมยางซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงเป็นเวลา 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)

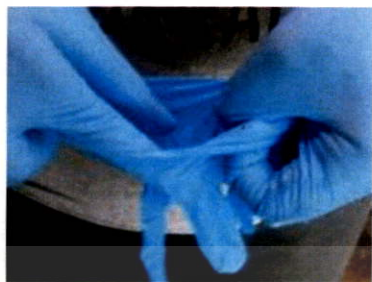
รูปที่ ข.1 การเตรียมก้อนมะเร็ง (1) ใช้วาสลินทาแม่พิมพ์ก่อนมะเร็ง (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองก้อนมะเร็ง

### การเตรียมซีสต์ และเนื้องอก

- 1) ชั่งยางซิลิโคน สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 20 phr (เนื้องอก), 50 phr (ซีสต์) ตามตารางที่ ข.1
- 2) ทำการผสมยางซิลิโคนและน้ำมันซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงแล้วเทเข้าถุงมือยาง ดังรูปที่ ข.2(1)
- 3) ใช้ยางวงรัดยางซิลิโคนที่เทลงไปให้เป็นรูปทรงกลมที่บริเวณนิ้วของถุงมือยาง (แสดงดังรูปที่ ข.2(2)) อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที พร้อมปลดชิ้นงานออกจากถุงมือ ดังรูปที่ ข.2(3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยงดังตารางที่ ข.1 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr ทารอบยางซิลิโคนก่อนกลม (เฉพาะซีสต์)



(1)



(2)



(3)

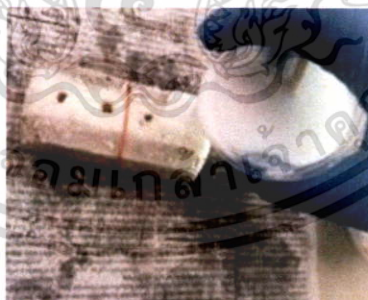
รูปที่ ข.2 การเตรียมซีสต์ และเนื้องอก (1) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุงมือยาง (2) ลัดถุงมือด้วยหนังกาย และ (3) แบบจำลองซีสต์และเนื้องอก

#### การเตรียมเม็دت่อม้ำเหลือง

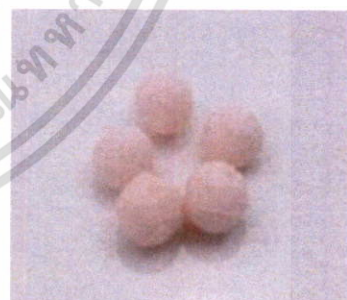
- 1) ชั่งยางซิลิโคน สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 40 phr ตามตารางที่ ข.1
- 2) ใช้วาสลีนทาแม่พิมพ์เพื่อความสะดวกในการปลดชิ้นงาน
- 3) ประกอบแม่พิมพ์ต่อม้ำเหลืองพร้อมทั้งใช้ยางรัดแม่พิมพ์เพื่อป้องกันการแยกออกจากกันของแม่พิมพ์ขณะที่ทำการเทยางซิลิโคน (แสดงดังรูปที่ ข.3(1)) แล้วผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนเป็นเวลา 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 การเตรียมเม็دت่อม้ำเหลือง (1) ประกอบแม่พิมพ์และใช้ยางรัดแม่พิมพ์ต่อม้ำเหลืองหลังจากที่ทำการทาวาสลีนที่แม่พิมพ์แล้ว (2) เทยางซิลิโคนเข้าแม่พิมพ์ และ (3) แบบจำลองต่อม้ำเหลือง

#### สูตรของน้ำยางและสารเคมี

สูตรน้ำยางและสารเคมีที่ใช้ในการทำเต้านมทดแทนชนิดไม่เคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนแต่ใช้สารตัวเติมในการเพิ่มน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 แสดงปริมาณน้ำหนักเปียกของน้ำยางและสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปแผ่นมทดแทนสูตรการใช้สารตัวเติม  $\text{TiO}_2/\text{CaCO}_3$  อัตราส่วนที่ต่างกัน ดังนี้

| น้ำยางและสารเคมี            | 20/20 | 20/40 | 20/60 | 20/80 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 60% น้ำยางชั้น              | 167.0 | 167.0 | 167.0 | 167.0 |
| 10% โพลเทสเชียมโอลิเอต      | 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 <sup>®</sup> 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% $\text{CaCO}_3$         | 40.0  | 65.0  | 83.0  | 96.0  |
| 50% $\text{TiO}_2$          | 40.0  | 33.0  | 28.0  | 24.0  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

### หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ - นามสกุล นายอิทธิพล แจ่มชัด  
ชื่อ - นามสกุล Mr. Ittipol Jangchud
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3 2201 00554 87 6  
ที่อยู่ 186/307 หมู่ 10 ซอยรามคำแหง 190/1 (หมู่บ้านพาร์คเวย์ชาเลย์)  
ถนนรามคำแหง เขตมีนบุรี กรุงเทพฯ 10510
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์  
อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(สจล.) กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์ 0-2329-8000 ต่อ 6230 โทรสาร 0-2329-8428  
Email address: kjittipo@kmitl.ac.th, ittipol@live.com
- ประวัติการศึกษา

| ปีการศึกษา | วุฒิ                   | สาขาวิชา        | สถาบัน   | ประเทศ       |
|------------|------------------------|-----------------|--|--------------|
| 2528-2531  | วท.บ.<br>(เกียรตินิยม) | เคมีอุตสาหกรรม  | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง | ไทย          |
| 2534-2535  | M.S.                   | Polymer Science | The University of Akron                        | สหรัฐอเมริกา |
| 2536-2539  | Ph.D.                  | Polymer Science | The University of Akron                        | สหรัฐอเมริกา |

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ

ในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

#### 5.1 หัวหน้าโครงการวิจัย

5.1.1 ชื่อโครงการวิจัย : การศึกษาไม้เทียมจากเส้นใยมะพร้าวและพลาสติก

สนับสนุนทุนวิจัยโดย : โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (iTap)  
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

5.1.2 ชื่อโครงการวิจัย : การศึกษาการด้านการติดไฟของไม้พลาสติก WPC โดยใช้สาร  
หนไฟIntumescent flame retardants(IFRs)

สนับสนุนทุนวิจัยโดย : โครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (iTap)  
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

#### 5.2 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

- Santi Tungprapa, **Ittipol Jangchud**, Paradorn Ngamdee, Metha Rutnakornpituk and Pitt Supaphol, "Ultrafine electrospun poly(ethylene glycol)-polydimethylsiloxane-poly(ethylene glycol) triblock copolymer/poly(ethylene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- oxide) blend fibers “, *Materials Letters*, Volume 60, Issue 24, October 2006, Pages 2920-2924 (JIF = 1.299)
2. Santi Tungprapa, **Ittipol Jangchud**, and Pitt Supaphol, “Release Characteristics of Four Model Drugs from Drug-Loaded Electrospun Cellulose Acetate Fibers”, *The Sixth Asian BioCeramics Symposium 2006 Proceedings*, November 7-10, 2006, Bangkok, Thailand (JIF = 1.299)
  3. **Ittipol Jangchud**, Kavin Suvunnakul, and Nuchanat Na-Ranong, “Rail Pads From Chloroprene Rubber (CR) and Natural Rubber (NR) Blends”, *Proceedings of International Conference in Rubber Engineering*, January 22-24, 2007, Chiangmai, Thailand
  4. Santi Tungprapa, **Ittipol Jangchud**, and Pitt Supaphol, “Release Characteristics of Four Model Drugs from Drug-Loaded Electrospun Cellulose Acetate Fiber Mats” *Polymer*, **48** (2007) 5030-5041 (JIF = 2.773)
  5. **Ittipol Jangchud**, Wonravee Loaha-o-domchok and Krisri Duangpatra, “Modification of Anionic Asphalt Emulsion by NR/SBR Latex”, *Proceedings of The 1st Thailand-Japan Rubber Symposium*, August 20-24, 2007, Chonburi, Thailand
  6. Santi Tungprapa, Tanarithorn Puangparn, Monchawan Weerasombut, **Ittipol Jangchud**, Porntiva Fakum, Somsak Semongkhoh, Chidchanok Meechaisue, and Pitt Supaphol, “Electrospun Cellulose Acetate Fibers: Effect of Solvent System on Morphology and Fiber Diameters,” *Cellulose*, **14** (2007) 563-575 (JIF = 1.539)
  7. Watadta Ritcharoen, Yaowaporn Thaiying, Yupa Saejeng, **Ittipol Jangchud**, Ratthapol Rangkupan, Chidchanok Meechaisue, Pitt Supaphol, “Electrospun dextran fibrous membranes”, *Cellulose* **15** (2008) 435-444
  8. Atcharaporn Rattanamane, **Ittipol Jangchud**, and Pichai Chuakewong, “Biodegradable Plastic Film from Blends of Ecoflex<sup>®</sup> and Modified Starch for Agricultural Applications”, “, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Thailand Materials and Technology Conference (MSAT-5)*, September 16-19, 2008, Bangkok, Thailand
  9. **Ittipol Jangchud** and Doungporn Clayetch, “Biodegradable Plastic Films made from Blends of Polybutylene Succinate (PBS) and Modified Tapioca Starches”, *Proceeding of 7th International Symposium on Advanced Materials in Asia-Pacific and JAIST International Symposium on Nano Technology 2010*, Ishikawa, Japan, September 30- October 1, 2010
  10. **อิทธิพล แจ่มชัด**, สุภิญญา โคตรมา, นุชนาฏ ณ ระนอง “การประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติที่คงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมยาง”, ยางพารา พศ. 2553
  11. **กนกอร แสงสุวรรณ**, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, อิทธิพล แจ่มชัด “การปรับปรุงสมบัติไม้พลาสติกคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนผสมเส้นใยมะพร้าว” การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พศ.2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12. ขวัญใจ พูลสวัสดิ์, อธิพิพล แจ่มชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์, ปราณีย์ ภิญโญชีพ, “อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ” การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36 (วทท 36) ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 ตุลาคม พศ. 2553
13. กมลวรรณ ยงค์มัลย์วงศ์ และอธิพิพล แจ่มชัด, “การปรับปรุงสมบัติการต้านการกัดถูของยางธรรมชาติด้วยการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น: ผลของสารช่วยผสม”, การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 6-7 ธันวาคม พศ. 2555
14. อุไร จันทรหนองสรวง และอธิพิพล แจ่มชัด “การศึกษาฟิล์มพลาสติกชีวภาพพีบีเอสผสมแป้งดัดแปรที่เตรียมจากเทคนิคอัดรีดด้วยสลิทตาย”, การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 6-7 ธันวาคม พศ.2555
15. เตชาธร ฉันทรักษ์ และ อธิพิพล แจ่มชัด, “การศึกษาเก้าแกลบดำ เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางโนไตรล์”, การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, วันที่ 20-21 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, หน้า 55-62
16. นิติวุฒิ บุญหนุน, วรธรรม อุ๋นจิตติชัย และ อธิพิพล แจ่มชัด, “การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จากพอลิบิวทิลีนซกซินเนตผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล่า” การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, วันที่ 20-21 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, หน้า 63-69
17. Watthana Klairutsamee, Pimsiraya Vichaidit, Sunisa Mongconkaew, Apinya Tientumachart, Pitt Supaphol and Ittipol Jangchud, "Preparation of Multilayers Poly (Lactic Acid) and Poly (Butylene Succinate) as Non-Woven Mat by Electrospinning Technique", IUPAC World Polymer Congress (MACRO 2014) Proceeding., July 6–11, 2014, Chiang Mai, Thailand, pp.101-103
18. Watthana Klairutsamee, Pitt Supaphol, Ittipol Jangchud, "Improved Morphology of Ultrafine Electrospun Poly (Butylene Succinate) Fibers by Using Alkyl Ammonium Ethyl Sulfate", IUPAC World Polymer Congress (MACRO 2014) Proceeding., July 6–11, 2014, Chiang Mai, Thailand, pp.107-109
19. Sudaporn Saksasitorn and Ittipol Jangchud. “Study of Vegetable Tanned Leather Flour as Bio-fillers for NR : Effects of Wax Treatment” PACCON 2015 Proceedings. Amari Watergate Hotel Bangkok, Thailand, January 21 – 23, 2015, pp.420-423
20. Pattareeya Uasawangporn and Ittipol Jangchud. "Study of Vegetable Oils as Bioadditives for Natural Rubber". PETROMAT and PPC SYM 2015 proceedings. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, April 21, 2015, pp.531-537
21. Watthana Klairutsamee, Pitt Supaphol, Ittipol Jangchud, “Electrospinnability of poly(butylene succinate): Effects of solvents and organic salt on the fiber size and morphology”, Journal of Applied Polymer Science, Vol 132, Issue 43, pp.12628-12639.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ผู้ช่วยวิจัย (1)

- ชื่อ – นามสกุล นางสาวณัฐชัญญา ดำรงวงศ์สว่าง  
ชื่อ – นามสกุล Miss. Nattchunya Damrongwongsawang
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1 100 600788 19 0  
ที่อยู่ 207 ตากสิน 18 ถนน ตากสิน แขวง บุคโคล เขต ธนบุรี กทม. 10600
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ  
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(สจล.) กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์มือถือ 088-0098909  
E-mail address: Nuttida\_nut\_nut@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา

| ปีการศึกษา | วุฒิ  | สาขาวิชา       | สถาบัน  | ประเทศ |
|------------|-------|----------------|---|--------|
| 2553-2556  | วท.บ. | เคมีอุตสาหกรรม | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | ไทย    |

5. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย ในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

#### 5.1 ผู้ร่วมวิจัยในงานวิจัยที่สำเร็จแล้ว

- ณัฐชัญญา ดำรงวงศ์สว่าง, จริญญา มะหมุด และจักรกริช มิตรอุดม. 2556 “การศึกษาสารกระจายตัวในมาสเตอร์ แบตซ์สารเชื่อมโยง” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

### ผู้ช่วยวิจัย (2)

- ชื่อ – นามสกุล นายปัฐวี พินิจกุล  
ชื่อ – นามสกุล Mr. Pattawee pinidkul
- เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 1 7699 00338 22 9  
47 หมู่ 6 ต.ท่าตะคร้อ อ.หนองหญ้าปล้อง จ. เพชรบุรี 76160
- หน่วยงานและสถานที่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ  
ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
(สจล.) กรุงเทพฯ 10520 โทรศัพท์มือถือ 088-0098909  
E-mail address : now5514@hotmail.com
- ประวัติการศึกษา

| ปีการศึกษา | วุฒิ  | สาขาวิชา       | สถาบัน  | ประเทศ |
|------------|-------|----------------|---|--------|
| 2557-2559  | วท.บ. | เคมีอุตสาหกรรม | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า<br>เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) | ไทย    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ประสพการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัย ในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

5.1 ผู้ร่วมวิจัยในงานวิจัยที่ทำสำเร็จแล้ว

1. ปัฐวี พินิจกุล, นางสาวกุลกัญญา ทองดี และ นางสาวสิรภัทร สิรินิพัทธ์กุล. 2559 “การพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียามิธรรมาชาติ” โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้