

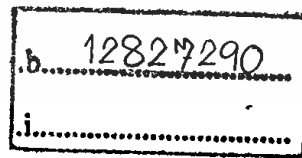


รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การออกแบบและสร้างแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

BREAST CANCER TRAINING MODEL

นายอิทธิพล แจ่มชัด



สงทพ.....  
เลขทะเบียน 145198  
รับเดือนปี 31 ส.ค. 2560

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การออกแบบและสร้างแบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านม

ชื่อโครงการ (ภาษาอังกฤษ) Breast cancer training model

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 250,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2558 ถึง 30 กันยายน 2559

ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ นายอิทธิพล แจ่มชัด ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

## บทคัดย่อ

ปัจจุบันมะเร็งเต้านมเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตเป็นอันดับต้นๆ ของสุภาพสตรี แบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญที่ใช้ในการสอนและฝึกรวมบุคลากรทางการแพทย์และผู้สนใจในการฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโพลียแกรมธรรมชาติ (NR) โดยสร้างแบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านม 2 แบบ คือ แบบเคลื่อนย้ายซิลิโคนและไม่เคลื่อนย้ายซิลิโคน มีปัจจัยที่ศึกษาคือ เวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ และปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ โดยทำการศึกษารวบรวมรูปแบบเคลื่อนย้ายด้วยซิลิโคน ทำการวิเคราะห์ต้นทุน และทำแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานกับบุคลากรทางการแพทย์ จากการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลให้ความหนาแน่นโพลียแกรมมีค่าลดลง รวมทั้งความแข็ง ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวมีค่าคงที่ เมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ส่งผลทำให้ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การหดตัว และเปอร์เซ็นต์การยุบตัวมีแนวโน้มคงที่ จากการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์พบว่าชอบแบบจำลองที่เคลื่อนย้ายซิลิโคนมากกว่า เพราะสามารถคลำพบก้อนมวล (Mass) ในเต้านมได้และมีความสมจริง โดยพบว่ามีความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองที่เคลื่อนย้ายซิลิโคนในระดับที่พอใจสูงสุดถึง 56 เปอร์เซ็นต์ อาจสรุปได้ว่า แบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านมจากโพลียแกรมธรรมชาติเคลื่อนย้ายซิลิโคนที่พัฒนาในงานวิจัยนี้มีความพึงพอใจสูง สามารถใช้งานได้ และมีความเป็นไปได้ในการผลิตเชิงพาณิชย์

ความสำคัญ : ก้อนมวล แบบจำลองฝึกรวบรวมมะเร็งเต้านม โพลียแกรมธรรมชาติ ยางซิลิโคน

**Research Title:** Breast cancer training model

**Researcher:** Mr. Ittipol Jangchud

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

## ABSTRACT

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

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

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ในการทำงานวิจัยนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยยาง กรมวิชาการเกษตร ที่ช่วยแก้ปัญหาและให้คำแนะนำในการศึกษาอย่างใหม่เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ นพ.ยอดยิ่ง วาสุทธิย์ และบุคลากรทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี ที่ให้ความรู้เกี่ยวกับโรคมะเร็งเต้านม และให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านอย่างเต็มที่

ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และคุณสุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่อาคารฝึกงานพอลิเมอร์ที่อำนวยความสะดวกตลอดการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยอำนวยความสะดวกตลอดการทำโครงการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้การช่วยเหลือ และแนะนำการใช้เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์

นายอิทธิพล แจ่มชัด

## สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ยางธรรมชาติ.....	4
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำยางสดและน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย.....	5
2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย.....	6
2.2.1 ผลทางเคมีของการเติมแอมโมเนีย.....	7
2.2.2 การเกิดประจุลบของกรดไขมันระเหยได้.....	8
2.2.3 ผลการเก็บน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่อความเสถียรของคอลลอยด์.....	8
2.3 การเตรียมสารผสมน้ำยาง.....	9
2.4 การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์.....	9
2.5 โฟมยาง.....	9
2.6 สมบัติของโฟมยาง.....	10
2.6.1 การขยายตัวและความหนาแน่น.....	10
2.6.2 การยุบตัวจากแรงกด.....	10
2.6.3 ความแข็ง.....	10
2.7 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโฟมยาง.....	11
2.7.1 กำมะถัน.....	11
2.7.2 สารตัวเร่ง.....	11
2.7.3 สารตัวกระตุ้น.....	13
2.7.4 สารป้องกันออกซิเดชัน.....	13
2.7.5 สารทำให้เกิดฟอง.....	14
2.7.6 สารลดแรงตึงผิว.....	15
2.8 ยางซิลิโคน.....	17
2.9 การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นหากฝ่าฝืน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.9.1 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	19
2.9.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์.....	20
2.9.3 การโพสต์เคียว.....	20
2.9.4 ข้อควรระวังในการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	21
2.10 กระบวนการตันลอป.....	21
2.10.1 หลักการเกิดเจล กลไกการเกิด และสารก่อเจล.....	22
2.10.2 การทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง.....	23
2.10.3 การขึ้นรูปในแม่พิมพ์ การเกิดเจล การคงรูป การล้างและการอบแห้ง.....	23
2.10.4 ลักษณะโฟมยางที่ไม่พึงประสงค์และข้อเสนอแนะการแก้ไข.....	25
2.11 กระบวนการทาลาเลย์.....	26
2.11.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และการทำให้เกิดฟอง.....	26
2.11.2 แม่พิมพ์.....	26
2.12 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม.....	27
2.12.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม.....	27
2.12.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม.....	28
2.12.3 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม.....	31
2.12.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง.....	32
2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	37
3.3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ.....	37
3.3.2 การศึกษาพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	38
3.3.3 การเตรียมยางซิลิโคน.....	38
3.3.4 การเตรียมก้อนของแข็งด้วยยางซิลิโคนแทนก้อนมะเร็ง, ซีสต์และเนื้องอก.....	39
3.3.5 การศึกษาสมบัติของยางซิลิโคน.....	40
3.3.6 การทดลองฝังก้อนของแข็งทำจากยางซิลิโคนแทน ก้อนมะเร็ง ซีสต์และเนื้องอก.....	40
3.3.7 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโฟมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน.....	40
3.4 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน.....	42
3.4.1 การทดสอบความหนาแน่น.....	42
3.4.2 การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด.....	42
3.4.3 การทดสอบความแข็ง.....	43
3.4.4 การทดสอบการหดตัว.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4.5 การทดสอบสัมถฐานวิทยา.....	43
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของโพลีเอทิลีน.....	44
4.1.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลชันไฟเออร์.....	44
4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณอิมัลชันไฟเออร์.....	47
4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน.....	50
4.3 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพลีเอทิลีนด้วยยางซิลิโคน.....	50
4.3.1 การทาสีซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	51
4.3.2 การหล่อแบบสลักซ์.....	51
4.3.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม โพลีเอทิลีนเป็นตัวกด.....	52
4.4 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน.....	52
4.5 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม.....	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	61
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	61
<b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย</b> .....	63
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	65
<b>ภาคผนวก</b> .....	68
ภาคผนวก ก ภาพการถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีนออกจาก แม่พิมพ์.....	69
ภาคผนวก ข ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน.....	70
ภาคผนวก ค สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	74
<b>ประวัตินักวิจัย</b> .....	75

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง.....	6
2.2 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ.....	18
2.3 ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆที่เกิดขึ้นจากการผลิตโฟมยาง.....	25
3.1 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโฟมยางธรรมชาติ.....	37
3.2 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง.....	38
4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้เวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ที่แตกต่างกัน.....	45
4.2 ภาพสัณฐานวิทยาของโฟมยางธรรมชาติเมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลอเตแตกต่างกัน.....	48
4.3 สูตรโฟมยางธรรมชาติที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง.....	50
ก.1 ความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนโฟมยางธรรมชาติ.....	69
ค.1 สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย.....	74



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม.....	1
1.2 แบบจำลองยางฝีกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์.....	2
2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	4
2.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC.....	12
2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT.....	12
2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG.....	13
2.5 รูปโครงสร้างของโพแทสเซียมโอลิเอต.....	14
2.6 โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัวส่วนหาง.....	15
2.7 การจัดเรียงตัวของ Surfactants ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	16
2.8 การจัดเรียงตัวของ Micelles ในแบบต่างๆเมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น.....	16
2.9 สูตรโครงสร้างไดเมทิลไซล๊อกเซน.....	17
2.10 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์.....	20
2.11 ลำดับชั้นการผลิตโฟมยาง.....	22
2.12 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง.....	28
2.13 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง.....	28
2.14 ลักษณะของก้อนเนื้อในเต้านม.....	30
2.15 การตรวจเต้านมโดยสำรวจลักษณะภายนอก.....	32
2.16 การตรวจเต้านมโดยการยืนคลำ.....	33
2.17 การตรวจเต้านมโดยการนอนคลำ.....	33
2.18 การตรวจเต้านมโดยใช้มืออีกข้างในการตรวจหา.....	34
3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองของฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ.....	38
3.2 การเตรียมยางซิลิโคน.....	39
3.3 การเตรียมก้อนมะเร็ง.....	39
3.4 การเตรียมซีสต์และเนื้องอก.....	40
3.5 การทายางซิลิโคนที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	41
3.6 การหล่อแบบสลัซซ์.....	41
3.7 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองมะเร็งเต้านมโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกด.....	42
4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการป้อนกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	44
4.2 กราฟแสดงแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการป้อนกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	46
4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการป้อนกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	46
4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หดตัวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการป้อนกวนอิมัลซิไฟเออร์.....	47
4.5 กราฟแสดงความหนาแน่นของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	47
4.6 การจัดเรียงตัวของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชั้น.....	48
4.7 กราฟแสดงแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	49

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หดตัวของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	49
4.9 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโพลีเมอร์เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์.....	49
4.10 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการทาทายซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม.....	51
4.11 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการหล่อแบบสลัซซ์.....	51
4.12 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมโพลีเมอร์เป็นตัวกด.....	52
4.13 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์.....	52
4.14 แบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ.....	53
4.15 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์.....	54
4.16 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	54
4.17 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	55
4.18 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	57
4.19 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่มของแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	58
4.20 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์ไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	59
4.21 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์เคลือบด้วยยางซิลิโคน.....	60
ก.1 ถอดแบบจำลองฝีกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเมอร์ออกจากแม่พิมพ์.....	69
ข.1 หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 โซน D คลินิกศัลยกรรมศาสตร์ เต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี.....	73
ข.2 หอผู้ป่วย ไอ.ซี.ยู หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข.....	73

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

มะเร็งเต้านมเป็นมะเร็งที่พบบ่อยที่สุดในผู้หญิง เกิดจากความผิดปกติของเซลล์ที่อยู่ภายในท่อน้ำนมหรือต่อมน้ำนม ดังภาพที่ 1.1 จากสถิติของสถาบันมะเร็งแห่งชาติพบว่าผู้หญิงเป็นมะเร็งเต้านมร้อยละ 37 ของมะเร็งทั้งหมด และยังมีอัตราการเสียชีวิตเป็นอันดับสองรองจากมะเร็งปอด [1] ดังนั้นการดูแลตัวเองเพื่อลดความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งและการค้นพบมะเร็งตั้งแต่ระยะเริ่มแรกในขณะที่ก้อนมีขนาดเล็กและก้อนมะเร็งยังอยู่เฉพาะที่เต้านมยังไม่แพร่กระจายไปต่อมน้ำเหลืองจึงเป็นเรื่องสำคัญ เพราะจะมีโอกาสหายขาดมากขึ้น เมื่อเทียบกับการตรวจพบก้อนมะเร็งที่มีขนาดใหญ่หรือกระจายไปที่ต่อมน้ำเหลืองที่รื้อแล้ว หากมีการตรวจพบมะเร็งเต้านมในระยะเริ่มต้นสามารถรักษาให้หายขาดได้และการรักษาอาจทำได้โดยการตัดเฉพาะก้อนมะเร็งออกไม่จำเป็นต้องผ่าตัดทั้งเต้านม ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีการตรวจค้นหามะเร็งเต้านมรอจนกระทั่งมีอาการผิดปกติมะเร็งอาจแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่นๆ อาจทำให้เสียชีวิต

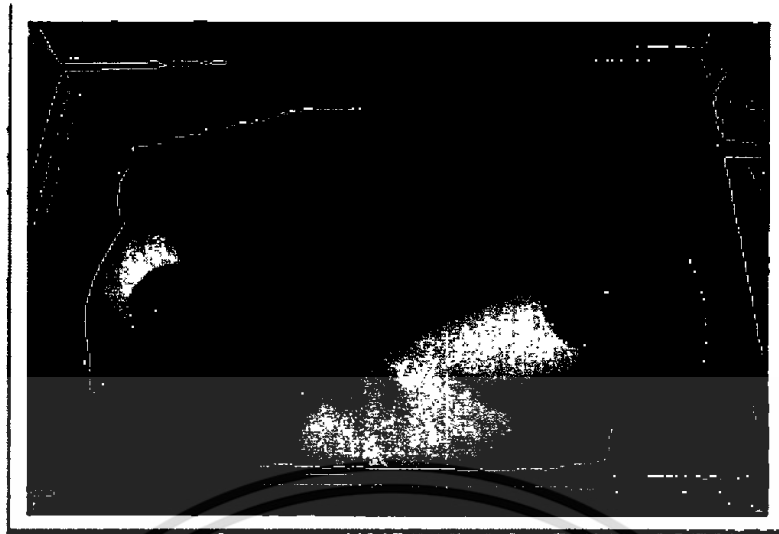


ภาพที่ 1.1 ลักษณะสรีระของมะเร็งเต้านม

ที่มา: Wholly Medical, 2015.

แบบจำลองอย่างฝึกตรวจมะเร็งเต้านม (Breast cancer training model) คือแบบจำลองเลียนแบบเต้านมที่มีการฝังก้อนของแข็ง (Mass) เพื่อเลียนแบบก้อนมะเร็ง เป็นอุปกรณ์ที่บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปสามารถใช้ฝึกการคลำเพื่อฝึกการตรวจพบก้อนมะเร็ง แบบจำลองอย่างฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์สามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 1.2 เป็นแบบจำลองที่ใช้ในการสอนและฝึกอบรมบุคลากรทางการแพทย์ในการตรวจมะเร็งเต้านม อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้มีราคาแพง มีก้อนของแข็งแบบเดียว และนำเข้าจากต่างประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 1.2 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมเชิงพาณิชย์  
ที่มา: Koken.Co.Ltd, 2005.

งานวิจัยนี้เป็นความร่วมมือระหว่างภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) และคณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล โดยเป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากโครงการพิเศษปีการศึกษา 2557 ของภาควิชาเคมี เรื่อง “การศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน” ทำการศึกษาแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณสารเคมี ระดับความเร็วและเวลาที่ใช้ในการปั่นโพลียเอทิลีนที่มีผลต่อสมบัติของยาง มีการฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมวล ได้แก่ ก้อนซิสต์ เนื้องอก และมะเร็ง อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่ผ่านมามีปัญหาเรื่องความแข็งของแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนยังไม่ใกล้เคียงกับความจริง รวมถึงก้อนมวลในเต้านมยังไม่เหมือนจริงทั้งรูปร่างและความแข็งรวมทั้งผิวของโพลียเอทิลีนไม่เหมือนผิวหนังจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นเพื่อการพัฒนาแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน โดยเน้นพัฒนาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้ได้โพลียเอทิลีนที่มีสมบัติตามที่ต้องการ เช่น พัฒนาให้โพลียเอทิลีนมีความนิ่มมากขึ้น พัฒนาให้พองในโพลียเอทิลีนมีความเสถียรและละเอียดมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาทดลองสูตรยางซิลิโคน (Silicone rubber) แล้วทดลองเตรียมแบบจำลองที่มีการเคลือบผิวด้วยยางซิลิโคนให้มีความเรียบสม่ำเสมอสวยงาม คล้ายผิวมนุษย์ มีการพัฒนาการทดลองฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมวลในเต้านมให้มีลักษณะและความแข็งของก้อนมะเร็ง ซิสต์ และเนื้องอก ให้มีรูปร่างเหมือนจริง งานวิจัยนี้ทำการเตรียมแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สามารถใช้งานได้จริงและมีความเป็นไปได้ในการใช้งานเชิงพาณิชย์

### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้าง “แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม” (Breast Cancer Training Model) จากยางธรรมชาติที่ตรงกับความต้องการของแพทย์จริง โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น ปริมาณเอ็กสตรัคชันและสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ เพื่อให้ได้ยางที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ อย่างไรก็ตามกว่ากรรมวิธีทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิมัลซิไฟเออร์ และ เวลาในการปั่นกวน รวมทั้งการทำแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติโดยมีการเคลือบผิวชั้นนอกด้วยยางซิลิโคนและการฝังก้อนของแข็งเลียนแบบก้อนมะเร็งที่สมจริงและใช้งานได้จริง

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. หาข้อมูล ศึกษาแบบจำลองจากต่างประเทศและสอบถามแพทย์ผู้ใช้
2. เตรียมตัวอย่างยาง ความแข็งต่างๆ ทดสอบสมบัติเบื้องต้น
3. ปั่นแบบจำลอง
4. ทดลองขึ้นรูปจริง ทดลองฝังก้อนมะเร็งและทดสอบสมบัติเบื้องต้น
5. ทดสอบการใช้งานความพึงพอใจของผู้ใช้
6. ทำซ้ำ โดยปรับสูตร และ/หรือเปลี่ยนวัสดุ (เช่นยางธรรมชาติ (NR), ยางซิลิโคน, สูตรความแข็ง, ความหนาแน่น ฯลฯ)
7. ทดสอบการใช้งานความพึงพอใจของผู้ใช้ (แบบสอบถามเทียบหลายแบบ)

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเตรียมแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมที่สามารถใช้งานได้จริงราคาไม่แพงและมีความเป็นไปได้ในการใช้งานเชิงพาณิชย์
2. เพิ่มมูลค่าและปริมาณการใช้งานของยางพาราในประเทศ
3. บุคลากรทางการแพทย์และบุคคลทั่วไปสามารถใช้แบบจำลองนี้เพื่อฝักการตรวจความผิดปกติของเต้านม เช่น มะเร็งเต้านม ก้อนเนื้องอก และก้อนซิสต์ เป็นต้น ทำให้สามารถรักษาได้ทันและช่วยลดผู้ป่วยมะเร็งเต้านมได้

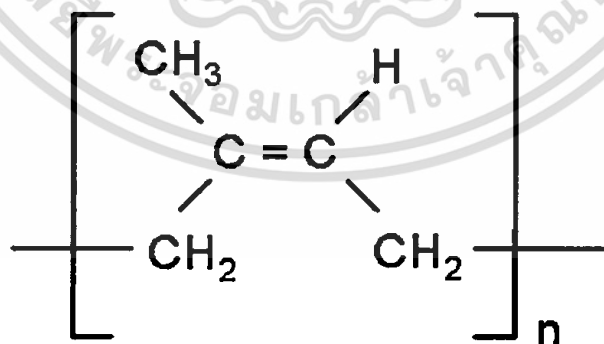
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยางธรรมชาติ [2]

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง *Hevea Brazilliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ น้ำยางสดที่กรีดยได้จากต้นยางมีลักษณะสีขาวขุ่นและมีเนื้อเยื่อแห้ง (Dry rubber) ประมาณ 30% แขนงลอยอยู่ในน้ำ ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60% เรียกว่า น้ำยางข้น (Concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดยได้จากเดิมมาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็ง

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



ภาพที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ

ที่มา: Rubber.sc.maidol, 2016.

ลักษณะเด่นอีกอย่างของธรรมชาติคือ ความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางธรรมชาติมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากกระทำกับมันหมดไป ยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) อย่างเอกสารถึงเป็นเอกสารถึงสวงเวสสำหรับกรใช้งานเพื่กรกรศึกษาเชงนึน เมื่อนุญาดเห็นนึนเปเชงบระเยชนึนดำนกรกรค้ไม่ว่กรณึนใด ๆ หั้งสึน อึกรหั้งห้มมิให้ดัดแปลงเนื่อห้ และดอ้งอ้งอิงถึงเจ้ของเอกรสกรทุกคร้งที่มีกรน้ไปใช้

รวดเร็ว ยางธรรมชาติยังมีสมบัติที่เยี่ยมด้านการเหนียวติดกัน (Tack) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบ (Assemble) ชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางรถยนต์ เป็นต้น

อย่างไรก็ตามยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำและลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือยางจะอ่อนเี่ยมและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อนแต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารเคมีต่างๆ เช่น กำมะถัน ผงเขม่าดำ และสารตัวเร่งต่างๆ เป็นต้น หลังจากการบดผสม ยางคอมพาวด์ (Rubber compound) ที่ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วุลคาไนเซชัน (Vulcanization) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เรียกว่า "ยางสุกหรือยางคงรูป" (Vulcanizate) ซึ่งสมบัติของยางคงรูปที่ได้นี้จะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนักและมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เนื่องจาก

- ยางธรรมชาติมีสมบัติที่เยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถังมือยาง ถังยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

- ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลักคือการเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซนและความร้อน เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพการทนต่อสารละลายไม่มีขี้ น้ำมันและสารเคมีต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับสารต่างๆ ดังกล่าว

#### 2.1.1 องค์ประกอบของน้ำยางสดและน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย [4-7]

องค์ประกอบต่างๆ ในน้ำยางสดแตกต่างจากองค์ประกอบในน้ำยางที่ผ่านการรักษาด้วยแอมโมเนียไม่ว่าจะทำหรือไม่ทำให้ขึ้นก็ตาม น้ำยางสดคือน้ำ (Sap) ที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางพารา จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีทันทีที่ไหลออกจากต้นและทันทีที่มีการเติมแอมโมเนีย ผลด้านเคมีที่สำคัญเมื่อเติมแอมโมเนียลงในน้ำยางคือการเสริมความเป็นด่างให้กับน้ำยาง เมื่อน้ำยางสดถูกผ่านกรรมวิธีทำให้เอกลำเป็นเอกลำที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อน้ำยางสดถูกผ่านกรรมวิธีทำให้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นโดยวิธีใดๆ ก็ตาม ก็จะมีผลต่อการกระจายขนาดของอนุภาคยางและมีผลต่อสัดส่วนระหว่างสารที่ไม่ใช่ยางกับส่วนของเนื้อยาง

น้ำยางสดที่กรีตจากต้นยางพาราเป็นของเหลวมีสีออกขาว ความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980  $\text{mgm}^{-3}$  ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 6.0-7.0 Surface free energy 40-45  $\text{mJm}^{-2}$  ความหนืดแปรปรวน การเจือจางน้ำยางสดด้วยน้ำจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นในช่วงแรกจนถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลง ทั้งนี้เพราะลิวทอยด์ (Lutoids) เกิดการบวมพองแล้วแตกออก เนื่องจากน้ำยางเป็นผลผลิตจากธรรมชาติองค์ประกอบในน้ำยางสดจึงมีความแปรปรวนสูง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างองค์ประกอบของน้ำยาง [2]

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

สารต่างๆ ที่อยู่ในน้ำยางสดกระจายอยู่ในส่วนหรือเฟส (Phase) ต่างๆ 3 ส่วนหลัก คือ

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

สารอื่นๆ นอกจากยางซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนเป็นสารที่ไม่ใช่ยางสารเหล่านี้ส่วนใหญ่ละลายในส่วนที่เป็นน้ำหรือที่เรียกว่า “เซรัม” ของน้ำยางบางส่วนดูดซับอยู่ที่ผิวของอนุภาคยางและบางส่วนแขวนลอยอยู่ในน้ำยางอนึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าน้ำยางชั้นที่รักษาสภาพความเสถียรซึ่งผู้ใช้ในประเทศต่างๆ ได้รับมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างจากน้ำยางสดที่กรีตจากต้นทั้งนี้เพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับน้ำยางในระหว่างการเก็บรวบรวม การรักษาสภาพความเสถียรทำให้น้ำยางเข้มข้นตลอดจนการเก็บรักษาและการเคลื่อนย้ายระหว่างการขนส่งน้ำยาง

## 2.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย [3-5]

โปรตีนและสารเรซินของน้ำยางที่รักษาสภาพไว้ด้วยแอมโมเนียมีแนวโน้มลดลงและเปลี่ยนไปเป็น Polypeptide, Amino acids, Soaps, Glycerol, Organic bases และ Inorganic phosphate ความเข้มข้นของไอออนที่อยู่ในส่วนที่เป็นน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ Carboxylate anions ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไม่ว่องไวทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลสูงและต่ำ Phosphate amino และ Amino acid anions สำหรับ Cations ส่วนใหญ่มาจาก แอมโมเนียที่ใช้รักษาสภาพน้ำยาง ความเข้มข้นของ Ionic magnesium ในส่วนที่เป็นน้ำลดลงมาก ซึ่งมีผลต่อความเสถียรของสถานะคอลลอยด์ของน้ำยาง ยกเว้นกรณีน้ำยางบางพันธุ์ เช่น พันธุ์ Glenshiell การเปลี่ยนแปลงทางเคมีดังกล่าวนี้มีผลทำให้สถานะคอลลอยด์ของน้ำยางไม่เสถียร (Colloidal-unstable preservatives) อนึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเคมีนี้มีนัยสำคัญต่อสถานะคอลลอยด์ของน้ำยางธรรมชาติมีผลต่อกระบวนการผลิต แต่ไม่มีผลต่อสมบัติทางเทคนิคของฟิล์มยางที่ผ่านการทำให้คงรูป มีการศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียและเก็บไว้ระยะหนึ่งพบว่า สมบัติหลักที่เปลี่ยนแปลงคือ ความเสถียรต่อแรงกล ความเข้มข้นของ Volatile fatty acid (VFA) anions และความเข้มข้นของ Cations ซึ่งประเมินโดยค่า KOH number

### 2.2.1 ผลทางเคมีของการเติมแอมโมเนีย [3]

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

การเกิดปฏิกิริยา Hydrolysis ของ Lipid ขึ้นอยู่กับสถานะการเก็บรักษาน้ำยางว่าเป็นสถานะมีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน (Aerobic or Anaerobic) หรือขึ้นอยู่กับปริมาณประจุลบของกรดไขมัน ระบุได้ว่ามีการฟอร์มขึ้นมามากน้อยเพียงใด หรืออีกนัยหนึ่งคือ KOH number กับ VFA number มีความแตกต่างเมื่อเก็บรักษาน้ำยางภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนมากกว่าเมื่อเก็บไว้ในที่ไม่มีออกซิเจน ทั้งนี้ อาจเนื่องจากกรดไขมันที่ระเหยไม่ได้และกรดอื่นๆ ฟอร์มโดยกระบวนการภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน

กล่าวคือน้ำยางที่เติมแอมโมเนียรักษาสภาพประกอบด้วยคอลลอยด์ 2 ส่วน (Two-phase colloid system) คือ อนุภาคยางและส่วนที่เป็นน้ำ อนุภาคยางมีความเสถียรด้วยประจุลบของกรดไขมันที่ดูดซับรอบผิว และด้วยการดูดซับรอบผิวอนุภาคของประจุลบที่มาจากโปรตีนแทนที่จะเป็นโปรตีนตามลำพัง เช่น กรณีของน้ำยางสด ทั้งนี้สังเกตได้จากความแตกต่างของสถานะคอลลอยด์ และลักษณะของกระบวนการผลิตระหว่างการใช้น้ำยางสดกับน้ำยางที่เติมแอมโมเนียรักษาสภาพ นั่นคือ การเติมกรดเจือจางลงในน้ำยางสดจะไม่ทำให้สถานะคอลลอยด์เสียความเสถียรไปในทันที แต่จะค่อยๆ เกิดเป็นเจล (Gelation) อย่างช้าๆ ในทางตรงกันข้ามเมื่อเติมกรดเจือจางลงในน้ำยางที่มีแอมโมเนีย น้ำยางจะฟอร์มยางจับตัว (Coagulum) ทันที

### 2.2.2 การเกิดประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ [4]

กรดไขมันระเหยได้ที่สำคัญในน้ำยางธรรมชาติได้แก่ กรดพอร์มิก อะซิติก และโพรพิโอนิก ประจุลบของกรดเหล่านี้ฟอร์มจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะการทำงานของแบคทีเรียกับคาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่ในส่วนน้ำ (Aqueous phase) ของน้ำยาง ซึ่งปฏิกิริยานี้จะชะลอลงเมื่อเติมแอมโมเนียหรือสารอื่นที่ป้องกันปฏิกิริยาของแบคทีเรีย ด้วยเหตุดังกล่าว ปริมาณของกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียจึงเป็นค่าที่บ่งชี้ระดับการทำงานของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ น้ำยางถูกกรีตออกจากต้นยาง

หลักความจริงเกี่ยวกับการฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้และจุลินทรีย์มีส่วนในการฟอร์ม นั้น เชื่อว่าน้ำยางที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางปราศจากแบคทีเรียและมีปริมาณกรดไขมันระเหยได้เกือบเป็นศูนย์ เมื่อน้ำยางไหลออกจากต้นยางจะมีแบคทีเรียจากหลายแหล่ง (เช่น ที่เปลือกต้นยาง อุปกรณ์ต่างๆ ที่สัมผัสกับน้ำยาง) ลงไปปะปนในน้ำยาง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในส่วนน้ำของน้ำยางเป็นกรดไขมันระเหยได้ชนิดต่างๆ ดังกล่าวแล้ว มีรายงานการศึกษาพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการฟอร์มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนเริ่มต้น และสูงขึ้นเต็มที่ที่อุณหภูมิประมาณ 35°C ถ้าอุณหภูมียิ่งสูงขึ้นอีกอัตราการฟอร์มจะลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นแบบอย่างของปฏิกิริยาที่เร่งการฟอร์มโดยเอนไซม์ (Process catalyzed by enzymes) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้การฟอร์มกรดไขมันระเหยได้ลดลง เพราะความร้อนลดระดับการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์

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

### 2.2.3 ผลการเก็บน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียต่อความเสถียรของคอลลอยด์ [5]

ความเสถียรทางกลและทางเคมีของสถานะคอลลอยด์ของน้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียและเก็บรักษาไว้ระยะเวลาานาน เกี่ยวข้องกับหลายปัจจัยที่นอกเหนือจากความเสถียรเริ่มแรกของน้ำยางเอง ปัจจัยที่สำคัญเชื่อว่าประกอบด้วย

1. การฟอร์มประจุลบของกรดไขมันระเหยได้ มีแนวโน้มลดความเสถียรของคอลลอยด์เพราะมีส่วนของประจุบวกร่วมด้วย
2. ประจุลบที่โซ่ยาวของกรดคาร์บอกซิลิก ซึ่งฟอร์มขึ้นจากการไฮโดรไลซิสไลปิดมีแนวโน้มเพิ่มความเสถียรของคอลลอยด์

ผลสถานะความเสถียรของคอลลอยด์สุดท้าย คือความสมดุลของปัจจัยทั้ง 2 ดังกล่าว นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่าปัจจัยอุณหภูมิมีผลต่อความเสถียรของคอลลอยด์ การเก็บน้ำยางที่ถูกรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียไว้ที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลต่อความเสถียรของคอลลอยด์เพียงเล็กน้อย การเก็บน้ำยางที่ 40°C มีผลให้น้ำยางลดความเสถียรอย่างรวดเร็วภายหลังจากการเพิ่มความเสถียรในช่วงแรก จากผลการศึกษา

ดังกล่าวนี้ จึงได้มีข้อเสนอแนะว่าควรหลีกเลี่ยงการเก็บรักษาและเคลื่อนย้ายน้ำยางที่อุณหภูมิสูงเกิน 30°C หรืออย่างน้อยควรลดสถานะการเก็บน้ำยางให้ต้องสัมผัสอุณหภูมิสูงดังกล่าวให้น้อยที่สุด

### 2.3 การเตรียมสารผสมน้ำยาง [6]

โดยทั่วไปสารต่างๆ ที่จะผสมกับน้ำยางต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารผสมกับน้ำ กล่าวคือถ้าเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ละลายน้ำได้ต้องเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย ถ้าเป็นของแข็งที่ไม่ละลายน้ำต้องเตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพิซชัน (Dispersion) และหากเป็นของเหลวที่ไม่ละลายน้ำให้เตรียมเป็นอิมัลชัน (Emulsion) อย่างไรก็ตามมีกรณียกเว้นสำหรับการผลิตโฟมยาง สามารถเติมสารตัวเติมในรูปยางแห้ง โดยตรงผสมกับน้ำยางบางชนิดได้และเติม Plasticizers ชนิด Ester โดยตรงลงผสมกับน้ำยาง Vinyl acetate ได้

### 2.4 การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ [7-9]

โดยปกติแสดงสูตรสำหรับน้ำยางคอมปาวด์เป็นน้ำหนัก ซึ่งยังคงหมายถึงน้ำหนักของสารต่างๆ ปัญหาของการแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ คือ มีน้ำหนักที่จะต้องพิจารณาอยู่ 2 ส่วน คือมวลของส่วนที่เป็นสารหลักที่เป็น Active ingredient ที่ต้องการและมวลของสารละลายดิสเพิซชันหรืออิมัลชันที่มีสารหลักอยู่ในทางปฏิบัติทั่วไปมักแสดงมวลของทั้งสองส่วน นั่นคือแสดงในสถานะน้ำหนักแห้ง และน้ำหนักเปียกหรือน้ำหนักที่ใช้ อนึ่ง “น้ำหนักที่ใช้” น่าจะเป็นคำที่เหมาะสมกว่า “น้ำหนักเปียก” เพราะคำแรกมีความหมายที่สัมพันธ์กับปริมาณจริงของสารละลายดิสเพิซชันหรืออิมัลชันที่ต้องการเติมลงในน้ำยาง นอกจากนั้นยังเป็นที่ยอมรับกันว่าสารบางชนิดที่เติมผสมลงในน้ำยาง อาจเติมในรูปสารอื่นที่ไม่ใช่สารละลายดิสเพิซชันหรืออิมัลชันโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจเติมในรูปของผงแห้งและเหลว

การแสดงสูตรน้ำยางคอมปาวด์ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาความเหมาะสมและถูกต้องสำหรับประเมินความสามารถของกระบวนการผลิต (Processability) และคุณภาพของผลผลิตหรือสมบัติของผลผลิตนั้นควรแสดงทั้ง 2 ส่วน คือ มวลหรือน้ำหนักแห้ง และมวลหรือน้ำหนักที่ใช้จริง (นิยมใช้ “น้ำหนักเปียก”) และในส่วนของสารต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลายดิสเพิซชันหรืออิมัลชัน ต้องระบุ % ความเข้มข้นให้ชัดเจน ทั้งนี้ผู้ที่เกี่ยวข้องและนักเทคโนโลยีที่สนใจในเรื่องของน้ำยางโดยทั่วไปได้ตระหนักและให้ความสำคัญในเรื่องการแสดงหรือนำเสนอสูตรน้ำยางคอมปาวด์ตามที่กล่าวข้างต้นเป็นอย่างดี

### 2.5 โฟมยาง [10]

คำว่า “โฟมยาง” (Latex foam rubber) หรือที่นิยมเรียกทับศัพท์ว่า “โฟมลาเท็กซ์” หมายถึงผลิตภัณฑ์ยางที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนทำมาจากน้ำยาง ซึ่งรูพรุนเป็นได้ทั้งรูที่ต่อเนื่องหรือต่อเนื่องบ้างและไม่ต่อเนื่องบ้าง และใช้คำว่า Skin หรือ Natural skin สำหรับผิวเรียบของโฟมยางส่วนที่ติดกับผิวของแม่พิมพ์ วิวัฒนาการที่สำคัญของอุตสาหกรรมโฟมยางน่าจะเป็นการพัฒนาการในแบบของกระบวนการดันลอป (Dunlop process) ในช่วงปลายปี ค.ศ. 1920 แม้ว่ารายละเอียดของวิธีการจะแตกต่างจากวิธี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมัยใหม่ แต่แนวความคิดและหลักการที่พัฒนาในช่วงนั้นเป็นพื้นฐานกระบวนการที่มีความสำคัญมาก ในช่วงนั้น ต่อมาในปี ค.ศ. 1936 ได้มีการผลิตโฟมยางโดยวิธีอื่นๆ แต่ไม่มีวิธีใดที่ประสบความสำเร็จจริงๆ ยกเว้นวิธีที่ประดิษฐ์โดย Talalay ซึ่งต่อมาก็ได้กลายเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ใช้ผลิตโฟมยางแบบใช้แม่พิมพ์ (Molded latex foam rubber) อย่างกว้างขวางนอกเหนือจากวิธีหรือกระบวนการดันลอป

## 2.6 สมบัติของโฟมยาง [11-12]

### 2.6.1 การขยายตัวและความหนาแน่น [11]

การขยายตัวหรือพองตัว (Expansion) ของโฟมยาง เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุนิยามที่เหมาะสม คือ ปริมาตรของอากาศในโฟมยาง ซึ่งสัมพันธ์กับความหนาแน่น สมบัตินี้มีความสำคัญต่อผู้ผลิตในแง่ของ ต้นทุนวัตถุดิบและสำคัญต่อผู้ใช้ผลิตภัณฑ์โฟมยาง ในด้านการรับน้ำหนัก นอกจากนี้เรื่องสูตรน้ำยางคอมพาวด์ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งชี้ความหนาแน่นของส่วนที่เป็นของแข็ง (Solid phase) แล้วจะหาความหนาแน่นของโฟมยาง ได้จากระดับการขยายตัวระหว่างการปั่นน้ำยางให้เป็นฟอง และการหดตัวของโฟมยางภายหลังการขึ้นรูปในแม่พิมพ์สามารถหาความหนาแน่นของโฟมยาง โดยหารซึ่งและวัดส่วนของโฟมยางที่มีขนาดเรขาคณิตปกติ ถ้าชิ้นงานมีขนาดไม่ปกติ จะใช้วิธีการชั่งในอากาศและชั่งในน้ำ โดยที่ก่อนชั่งในน้ำจะต้องนำชิ้นทดสอบไปเคลือบด้วยแว็กซ์ที่เหมาะสม เช่น Paraffin โดยการจุ่มชิ้นทดสอบลงในแว็กซ์ที่หลอมเหลว เพื่อป้องกันโฟมยางดูดซึมน้ำเข้าข้างในเมื่อโฟมยางจุ่มและแช่อยู่ในน้ำ ชั่งน้ำหนักของแว็กซ์ทั้งก่อนและหลังเคลือบชิ้นทดสอบต้องการรู้ความหนาแน่นของแว็กซ์ควรควบคุมอุณหภูมิของน้ำและอากาศภายในห้องชั่งด้วยแล้วคำนวณหาความหนาแน่นของโฟมยาง

### 2.6.2 การยุบตัวจากแรงกด [11]

การวัดสมบัติการยุบตัวจากแรงกด (Compression set บางครั้งเรียก Permanent set) ของโฟมยางตามมาตรฐาน ASTM D395 และ ISO 815 เป็นการหาสถานการณ์คงรูปของโฟมยางซึ่งอาจหาออกมาเป็นการสูญเสียความหนาของชิ้นงาน (เป็นร้อยละ) ภายหลังจากกดชิ้นงานลง 50% ของความหนาเดิมนาน 72 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70°C และตั้งไว้ 30 นาที เพื่อให้ชิ้นทดสอบคืนตัว ที่อุณหภูมิห้องค่าความหนาที่สูญเสียไปคำนวณเป็นร้อยละของความหนาเดิม ซึ่งโดยทั่วไปยอมรับที่ค่าต่ำกว่า 10% หรือหาในลักษณะของการเสีรูปภายหลังจากการออกแรงกดแล้วปล่อยแรงกดออก หาเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของความหนาเริ่มแรกของชิ้นทดสอบ หรือหาเป็นสัดส่วนหรือร้อยละของแรงกดสูงสุด

### 2.6.3 ความแข็ง [11]

ค่าความแข็ง (Hardness) ของโฟมยาง ตามมาตรฐาน ASTM D314, D531 และ D1415 คือ ค่าแรงที่อินเดนเตอร์ (Indenter) ซึ่งมีรูปร่างเฉพาะกดลงที่ผลิตภัณฑ์ฟองน้ำขนาดของอินเดนเตอร์ควรใหญ่พอที่จะทำหน้าที่กดพื้นที่ผลิตภัณฑ์ได้คล้ายคลึงกับการรับแรงขณะใช้งานตัวอย่าง เช่น มีลักษณะเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร การกดลงที่ผลิตภัณฑ์ประมาณ 60% ของความหนาเดิม ความแข็งของโฟมยางเมื่ออยู่กับความหนาแน่นของโฟมยางมีความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง คือ ความแข็ง =  $K(\text{ความหนาแน่น})^n$  เมื่อ  $n$  เป็นค่าคงที่ ซึ่งปกติอยู่ระหว่าง 2.0-3.0 ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโฟมยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าคงที่ K จะขึ้นอยู่กับความลึกที่ขึ้นทดสอบถูกกด ขนาดของอินเดนเตอร์ และ Degree of indentation อนึ่งถ้าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้คงที่ K คือ มอดุลัสของ Continuous polymer phase นอกจากนี้ความแข็งของโฟมยาง ยังขึ้นอยู่กับรูปร่างของส่วนที่เป็นโพรงหรือแกน (Core) ของโฟมยาง ระยะ และการเรียงตัวของ Core

## 2.7 สารเคมีที่ใช้สำหรับผลิตโฟมยาง [13-20]

### 2.7.1 กำมะถัน [13]

สารที่ทำให้ยางคงรูปที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในยางที่มีโครงสร้างไม่อิมิตัวในสายโซ่โมเลกุลพอลิเมอร์ โดยทั่วไปการเติมกำมะถันลงในน้ำยาง ใช้ประมาณ 1-2 phr กำมะถันที่ใช้จะต้องมีคุณภาพดี เตรียมเป็นดิสเพิซันที่ละเอียดในน้ำ

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

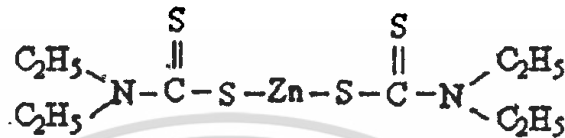
### 2.7.2 สารตัวเร่ง [14]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate)

สารตัวเร่งประเภทซิงค์ไดไธโอคาร์บาเมต มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.2 สารเคมีในกลุ่มนี้เหมาะกับการใช้เป็นตัวเร่งในการเชื่อมโยงยางโดยใช้อากาศร้อนหรือน้ำ เพราะเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น สามารถคงรูปได้ดี และวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำที่ 115-125°C ในระยะเวลาสั้น แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้อาจเกิดการ Reversion ขึ้นได้ ดังนั้นไม่ควร Cure เกิน 125°C [14]

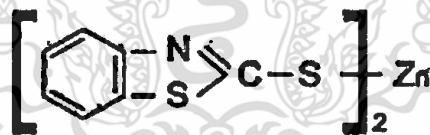


ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZDEC (Zinc-N-diethyldithiocarbamate)

ที่มา: วิริยะ ทองเรือง, 2547.

- ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole)

สารตัวเร่งในกลุ่มโรอาโซล มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.3 สารเคมีในกลุ่มนี้สามารถใช้ได้กับทุกรูปแบบของการวัลคาไนซ์และสามารถกระตุ้นให้เกิดการเชื่อมโยงเร็วขึ้น โดยการใช้ตัวเร่งที่เป็นต่าง เช่น สารพวกไดไธโอคาร์บาเมตและไฮยูแรม แต่การกระตุ้นนี้มีผลให้ Scorch time สั้นลงด้วยและถ้าใช้ร่วมกับ Basic accelerator โดยใช้สัดส่วนจำนวนโมลเท่ากัน จะให้ผลสูงสุดและความเร็วในการเชื่อมโยงเร็วกว่าที่จะใช้เดี่ยวๆ โดย Basic accelerator ที่นิยมใช้จะเป็นพวกกำนิติน เช่น DPG เป็นต้น [15]

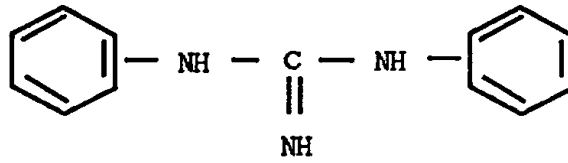


ภาพที่ 2.3 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole)

ที่มา: วิริยะ ทองเรือง, 2547.

- DPG (Diphenyl guanidine)

สารตัวเร่งในกลุ่มกำนิติน มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.4 สารตัวเร่งกลุ่มกำนิตินเป็นสารตัวเร่งที่ทำให้ยางสุก (Cure) ช้า ถ้าใช้เป็นตัวเร่งเสริมจะมีการกระตุ้นสูงมาก โดยเฉพาะการกระตุ้นพวกโรอาโซล ถ้าใช้สารเคมีในกลุ่มนี้เป็นตัวเร่งหลักจะไม่สามารถวัลคาไนซ์โดยใช้อากาศร้อนได้เพราะจับตัวช้าเกินไป การทำงานของกำนิตินต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เป็นตัวกระตุ้น แต่ไม่จำเป็นต้องใช้กรดไขมัน



ภาพที่ 2.4 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของ DPG (Diphenyl guanidine)

ที่มา: วิริยะ ทองเรือง, 2547.

### 2.7.3 สารตัวกระตุ้น (Activators) [16-17]

สารกระตุ้นสามารถทำให้น้ำยางธรรมชาติคงรูปในระบบกำมะถันและมีสารประกอบของซิงค์เป็นสารตัวเร่ง เช่น ซิงค์ไดไทโอคาร์บาเมตตามล่ำฟ้าง อย่างไรก็ตามปกติพบว่าการคงรูปจะดียิ่งขึ้นเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อเป็นสารตัวกระตุ้นอาจมีผลลดความเสถียรของคอลลอยด์ของน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียทำให้เกิดปรากฏการณ์ของน้ำยางหนืดโดยซิงค์ออกไซด์ (Zinc-oxide thickening) และบางครั้งเกิดเป็นเจล สารประกอบซิงค์ออกไซด์ชนิดอื่นได้แก่ ซิงค์สเตียเรตและซิงค์คาร์บอเนตให้ผลน้ำยางหนืดน้อยกว่า อย่างไรก็ตามสารเหล่านี้เตรียมเป็นดิสเพชันยากกว่ากรณีซิงค์ออกไซด์ ซิงค์คาร์บอเนตอนุภาคละเอียดให้ฟิล์มยางที่ใสมากกว่าเมื่อใช้ในปริมาณที่เท่าๆกัน

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นตัวเร่งให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อใส่ในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้มอดุลัสสูงขึ้น ถ้าไม่มีการใส่สารกระตุ้นก็จะไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น โดยทั่วไปนิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกระตุ้นในปริมาณตั้งแต่ 3-5 phr ได้ ถ้ามีขนาดอนุภาคเล็กก็สามารถลดการใช้เหลือเพียง 1 phr ได้ และถ้าใช้มากกว่า 5 phr ขึ้นไป มักมีจุดประสงค์อื่นมากกว่าจะใช้เป็นสารกระตุ้น เช่น ทำให้การถ่ายเทความร้อนในยางเร็วขึ้นเหมาะแก่การทำยางหนาๆ โดยเฉพาะการทำยางสึกโดยใช้อากาศร้อน

### 2.7.4 สารป้องกันออกซิเดชัน (Antioxidants) [18 ]

ในทางปฏิบัติไม่จำเป็นต้องมีการเติมสารป้องกันการออกซิเดชันในน้ำยางชนิด Olefinically unsaturated เพราะยางในฟอร์มนี้มีคุณลักษณะด้านการเสื่อมได้ดีและเหตุผลส่วนหนึ่งเพราะไม่มีการทำให้ยาง Degrade เช่น การบดยางให้นิ่ม (Mastication) หรือผ่านอุณหภูมิสูงขณะอยู่ในสายการผลิต กรณีของน้ำยางธรรมชาติคุณลักษณะที่ดีดังกล่าวนี้เสริมด้วยส่วนของสารที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) ที่มีอยู่ในน้ำยางทำหน้าที่เป็นสารป้องกันออกซิเดชัน ส่วนกรณีของน้ำยางสังเคราะห์ก็เช่นเดียวกัน สารต่างๆ ที่มีหน้าที่ป้องกันออกซิเดชันได้ถูกเติมในระหว่างกระบวนการสังเคราะห์ นอกจากนี้สารตัวเร่งปฏิกิริยาบางรูปที่เติมลงในน้ำยางเพื่อเหตุผลอื่นแสดงหน้าที่ในการป้องกันออกซิเดชันด้วย

สารหลักที่ป้องกันออกซิเดชันมี 2 กลุ่ม คือ เอมีน (Amine compounds) และฟีนอลิก (Phenolic compounds) กลุ่มแรกมีประสิทธิภาพมากกว่ากลุ่มหลัง และมีประสิทธิภาพดีในการป้องกันยางเสื่อมอันเกิดจากผลของออกซิเจน ความร้อน แสง และการกระตุ้นโดยโลหะต่างๆ ต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน อย่างไรก็ตามสารดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์เมื่อมีอายุถึงระยะเวลาหนึ่งซึ่งการกำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนเป็นสีแดงอมน้ำตาลจะเริ่มเกิดขึ้นจนทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นสีขาวหรือสีเหลืองอ่อนๆ เปลี่ยนเป็นสีที่ไม่สวยงาม แม้กลุ่มฟีนอลิกจะมีประสิทธิภาพป้องกันออกซิเดชันไม่ดีเท่าเอมีน แต่ข้อดีคือไม่มีผลเสียมากในด้านการเปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์ในระหว่างที่ผลิตภัณฑ์มีอายุมากขึ้น อนึ่ง ได้มีความสนใจเกี่ยวกับ Chemically-combining antioxidant moieties กับโมเลกุลยาง ซึ่งที่รู้จักกัน คือ Network-bound หรือ Rubber-bound antioxidants เพื่อป้องกันโอกาสที่จะมีการสัมผัสโดยตรงกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งปัจจุบันเชื่อว่าสารป้องกันออกซิเดชันของยางมีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้ นั่นคือสารเหล่านั้นอาจเป็นสารก่อมะเร็งกับมนุษย์ได้

#### 2.7.5 สารทำให้เกิดฟอง [19]

สารที่ใช้ทำให้เกิดฟอง (Foam promoters) สำหรับกระบวนการผลิตที่มีการฟอร์มเจล (Gel process) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการดันลอป ปกติใช้สบู่คาร์บอกซิเลต (Carboxylate soaps) ซึ่งชนิดที่ใช้มากที่สุดคือ Oleates, Ricinoleates, Castor-oil soaps และ Resonates โดยใช้เพียงชนิดเดียวหรือใช้ร่วมกัน การใช้สบู่คาร์บอกซิเลตผสมกันให้ประสิทธิภาพดีกว่าการใช้แยกกัน สบู่ Castor-oil ให้ประสิทธิภาพการเกิดฟองต่ำกว่า Oleates ซึ่งให้ฟองเร็วและฟองมีลักษณะละเอียด การใช้สารให้ฟองทำให้เกิดฟองในน้ำยางธรรมชาติ ใช้ประมาณ 0.2-2 phr ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของฟองพรุนที่ต้องการ น้ำยางสังเคราะห์ใช้สารช่วยการเกิดฟองปริมาณน้อยกว่าปริมาณที่ใช้กับน้ำยางธรรมชาติ เพื่อให้ได้ยางที่มีขนาดฟองพรุนขนาดเดียวกันเพราะในน้ำยางสังเคราะห์มีส่วนของสบู่คาร์บอกซิเลตปริมาณมากแล้ว ด้วยเหตุผลนี้การใช้สบู่ในปริมาณที่แน่นอนจึงขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำยางสังเคราะห์ที่ใช้ ซึ่งบางเกรดสามารถเกิดฟองได้โดยไม่ต้องเติมสบู่ โพแทสเซียมโอเลเอต (Potassium oleate) เป็นสารที่ใสในน้ำยางเพื่อทำให้น้ำยางเกิดฟองในขั้นตอนการปั้นฟองดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 รูปโครงสร้างของโพแทสเซียมโอเลเอต

ที่มา: Rubber-mold, 2011.

## 2.7.6 สารลดแรงตึงผิว [20]

Surfactants คือ Surface-active-agents เป็นสารที่มีสมบัติดูดซับ (Adsorb) บนพื้นผิว (Surface) หรือระหว่างพื้นผิว (Interface) แล้วสามารถเปลี่ยนพลังงานพื้นผิว (Surface free energy) นั้นๆได้ แม้ใช้ในปริมาณเล็กน้อย Surface free energy คืองาน (Work) ที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการสร้างพื้นผิว Surfactants จึงมีบทบาทอย่างมากในระบบที่มีรอยต่อระหว่างวัฏภาค (Phase boundary) เช่น Emulsion, Foams, Dispersions ของของแข็ง ฯลฯ Surfactants มีโครงสร้างโมเลกุลที่มีส่วนชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนไม่ชอบน้ำหรือชอบน้ำมัน (Hydrophobic) เมื่อเติมไปในน้ำ (หรือตัวทำละลาย) สามารถช่วยลดแรงตึงผิว ทำให้แต่ละวัฏภาคชอบกันมากขึ้นจึงใช้งานเป็นสารช่วยเปียก (Wetting agents) สบู่ (Emulsifiers) สารช่วยกระจาย (Dispersing agents) สารช่วยเกิดโฟม (Foaming agents) สารหล่อลื่น (Lubricants) ฯลฯ โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัว (Hydrophilic), ส่วนหาง (Hydrophobic) ดังภาพที่ 2.6

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

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

	Hydrophilic	A	Lipophilic	B
Ionik	Sulfate	-OSO <sub>3</sub>	Linear or branched	C-C
	Sulfonate	-SO <sub>3</sub>	alkyl	C-C
	Carboxylate	-CO <sub>2</sub>	Alkybenzene	
	Quaternary ammonium	R <sub>4</sub> N <sup>+</sup>	Fluoroalkyl	-
Nonionik	Alcohol	-C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> OH	Poly(ethylene oxide)	(OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -
	Ether	-CO-C-		-(OSi(CH <sub>3</sub> )) <sub>n</sub> -
	Poly(propylene oxide)	-(OCH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> -	Polyloxane	

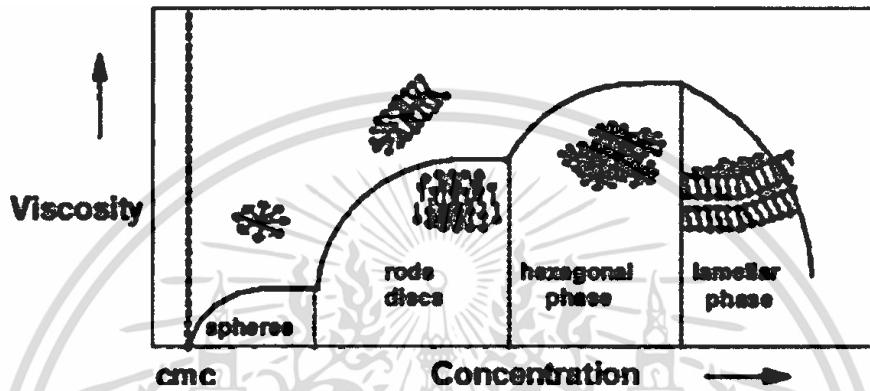
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของ Surfactants และชนิดของส่วนหัว (Hydrophilic), ส่วนหาง (Hydrophobic)

ที่มา: อธิธิพล แจ่มชัด, 2557.

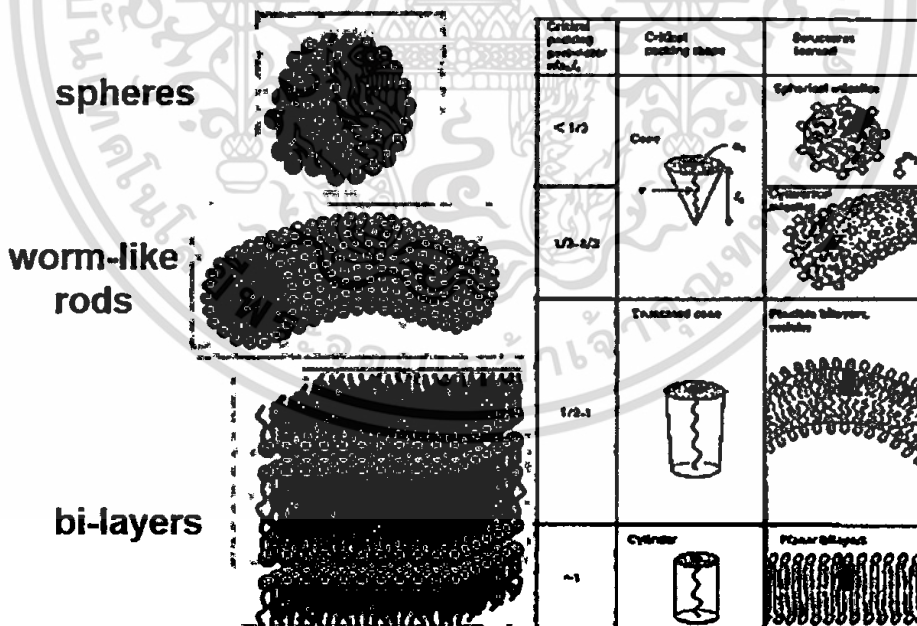
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลของ Surfactants จัดเรียงตัวเป็นรูปร่างต่างๆ ขึ้นกับ “ความเข้มข้น” ณ จุดความเข้มข้นที่ระดับ CMC (Critical micelle concentration) โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่มีรูปร่างต่างๆ กันตามระดับความเข้มข้นดังภาพที่ 2.7 ตัวอย่าง การจัดเรียงตัวในแบบต่างๆ ของ Micelles เมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้นดังภาพที่ 2.8

**Micellar aggregation and flow**



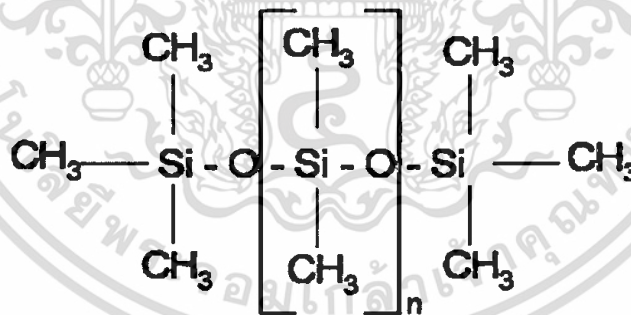
ภาพที่ 2.7 การจัดเรียงตัวของ surfactants ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ  
ที่มา: อธิธิพล แจ่มชัด, 2557.



ภาพที่ 2.8 การจัดเรียงตัวของ Micelles ในแบบต่างๆ เมื่อมีความเข้มข้นที่สูงขึ้น  
ที่มา: อธิธิพล แจ่มชัด, 2557.

## 2.8 ยางซิลิโคน [20]

ยางซิลิโคน (Silicone Rubber, Q) หรือยางพอลิไซล๊อกเซน (Polysiloxane rubber) เป็นยางที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันเป็นอย่างมากเนื่องจากมีสมบัติที่มีความหลากหลายในการใช้งาน ยางซิลิโคนจัดเป็นยางสังเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นทั้งสารอนินทรีย์และอินทรีย์ (Inorganic-organic nature) เนื่องจากมีโครงสร้างโมเลกุลที่ไม่เหมือนยางชนิดอื่นกล่าวคือมีสายโซ่หลักเป็นอะตอมของซิลิกอน (Silicon, Si) สลับกับอะตอมของออกซิเจน คล้ายกับโครงสร้างของแก้ว (Glass) และควอตซ์ (Quartz) พันธะซิลิกอน-ออกซิเจน (Si-O bond) เป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานพันธะ (Bond energy) ประมาณ 88-117 kcal/mole สูงกว่าพลังงานพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอน (C-C bond) (85 kcal/mole) เป็นสาเหตุให้ยางซิลิโคนมีความทนทานต่อความร้อนสูง เนื่องจากอะตอมของซิลิกอนมีขนาดใหญ่เทียบกับคาร์บอน และหมู่เมทิล ( $\text{CH}_3$ ) มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง ทำให้ปริมาตรอิสระ (Free volume) ที่เป็นปริมาตรกีดกันของหน่วยไดเมทิลไซล๊อกเซน (Dimethylsiloxane) มีมาก และผลักไม่ให้สายโซ่ข้างเคียงเข้าใกล้ ทำให้ยางซิลิโคนมีความยืดหยุ่นสูง มีอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ( $T_g$ ) ต่ำมาก และมีความสามารถในการซึมผ่านของก๊าซ (Gas permeability) รวมทั้งความสามารถในการกดอัด (Compressibility) สูง การที่สายโซ่หลักเป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic backbone) ทำให้ยางซิลิโคนมีความต้านทานต่อจุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ยางซิลิโคนสามารถสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ของเมทิลคลอโรไซเลน (Methylchlorosilanes) ทำให้ได้ยางซิลิโคนคือ ไดเมทิลไซล๊อกเซน (Dimethylpolysiloxane, MQ) มีสูตรโครงสร้างดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 สูตรโครงสร้างไดเมทิลไซล๊อกเซน (Dimethylsiloxane)

ที่มา: อิทธิพล แจ่มชัด, 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ยางซิลิโคนชนิดต่างๆ [20]

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

### 2.9 การเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์ (Peroxide vulcanization) [20]

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

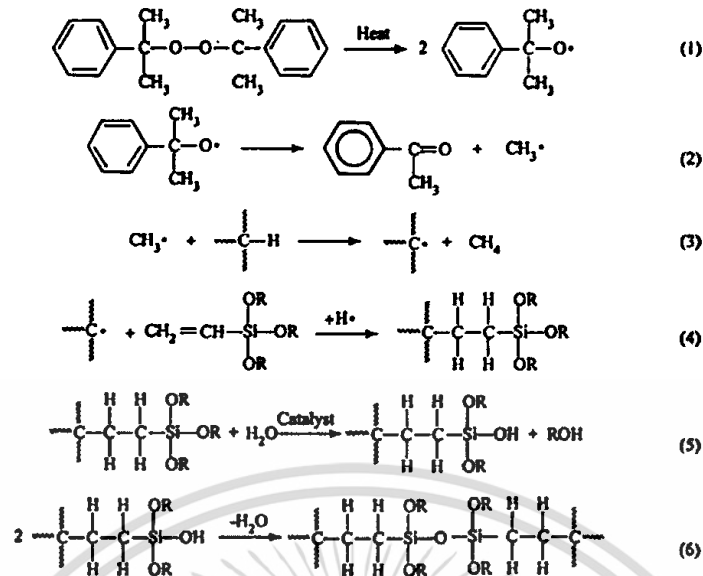
เนื่องจากพันธะที่เกิดจากการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เป็นพันธะระหว่างอะตอมคาร์บอนกับคาร์บอน (C-C bonds) ซึ่งมีพลังงานพันธะสูง (350 kJ/mol) มีความเสถียรกับความร้อน และแรงกระทำ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่างๆ เทียบกับพันธะที่ทำการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันทั้งแบบโมโนซัลฟิดิก และพอลิซัลฟิดิก (C-S bonds) และ (S-S bonds) มีพลังงานพันธะ 285 และ 170 kJ/mol ตามลำดับ ทำให้ยางที่เชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีความเสถียรมากกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน แต่อย่างไรก็ตามการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์มีข้อจำกัดบางประการ เกิดกลิ่นเหม็นของสารที่ปลดปล่อยออกมา เช่น การใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (Dicumyl peroxide DCP) จะได้กลิ่นที่เป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยา (By product) เป็นอะซิโตนฟีโนน และเปอร์ออกไซด์เป็นสารเคมีที่มีความอันตราย อาจจะเปิดหรือติดไฟ ต้องเพิ่มความระมัดระวังในการใช้ และการเก็บรักษา เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับสารเติมแต่งชนิดอื่นในยางมากกว่ากำมะถันดังนั้นจึงมีข้อจำกัด และต้องมีความรอบคอบในการเลือกใช้สารเคมียาง เช่น การเลือกใช้สารหล่อลื่นหรือน้ำมัน (Oils) สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidants) สารพวกนี้อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาข้างเคียงที่ไม่ต้องการได้ และไม่ควรเลือกใช้เทคนิคการให้ความร้อนที่มีบรรยากาศของออกซิเจนในการเชื่อมโยงยาง เช่น เทคนิคการให้ความร้อนเชื่อมโยงโดยใช้อากาศร้อน (Hot air cure) เนื่องจากอนุมูลอิสระที่เคลื่อนย้ายจากเปอร์ออกไซด์ไปยังสายโซ่พอลิเมอร์ในปฏิกิริยาการเชื่อมโยงอาจถูกออกซิไดซ์เนื่องจากออกซิเจนในบรรยากาศทำให้เกิดหมู่ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxide) และไม่เกิดการเชื่อมโยงหรือเกิดการเสถียรภาพ (Degradation) สลายตัวจากความร้อน

#### 2.9.1 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นจากปฏิกิริยาโฮโมไลติกดีคอมโพสิชัน (Homolytic decomposition) สลายตัวเนื่องจากความร้อน แตกตัวเกิดเป็นอัลคอกซี (Alkoxy radicals RO·) สองตัว ซึ่งเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเชื่อมโยง ในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) อนุมูลอิสระสามารถทำปฏิกิริยากับพันธะคู่บนสายโซ่เกิดเป็นสายโซ่ พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ (Polymer radicals หรือ Macro-radicals) นั้นจะเกิดการรวมกันของอนุมูลอิสระที่ต่างสายโซ่เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยง ดังภาพที่ 2.10

นอกจากนี้อนุมูลอิสระจะเข้าทำปฏิกิริยาที่ตำแหน่งพันธะคู่ในยางไม่อิ่มตัวแล้วอนุมูลอิสระยังเข้าจับไฮโดรเจนในตำแหน่งที่เกิดปฏิกิริยาง่าย เช่น (Allylic hydrogen) เกิดเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่มีอนุมูลอิสระ เช่นเดียวกับในกรณีใช้สารประกอบเปอร์ออกไซด์เชื่อมโยงยางที่อิ่มตัว การรวมกันของอนุมูลที่อยู่ต่างสายโซ่ทำให้เกิดเป็นพันธะเชื่อมโยงเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2.10 กลไกการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

ที่มา: อธิพิล แจ้งชัด, 2557.

### 2.9.2 ชนิดของสารประกอบเปอร์ออกไซด์

สารประกอบเปอร์ออกไซด์หลายชนิดที่สามารถใช้ได้ในการเชื่อมโยงยาง เช่น ไดเอซิลเปอร์ออกไซด์ (Diacyl peroxides) และเปอร์ออกซีเอสเทอร์ (Peroxy esters) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ สารเปอร์ออกไซด์ที่นิยมในอุตสาหกรรมยาง ได้แก่

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

สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ DCP มีจำหน่ายทั้งในรูปผงของแข็ง และของเหลว ความบริสุทธิ์ประมาณ 90-99% เนื่องจากเปอร์ออกไซด์มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง จึงมีจำหน่ายในรูปของผสมกับตัวกลางเฉื่อยบางชนิด เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate) ความเข้มข้น 40-50% และใช้ในรูปของผสมพร้อมสารเพิ่มเนื้อ ไดบิวทิล-เปอร์ออกไซด์ DBP เป็นที่นิยมน้อยกว่าเนื่องจากกลายเป็นไอง่ายขณะใช้งานส่วนไดบิวทิลเปอร์ออกซีเฮกเซนนิยมใช้เชื่อมโยงที่อุณหภูมิสูง (180°C) เนื่องจากมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่า และมีกลิ่นเหม็นของสารอะซิโตนในการใช้งานสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ควรหลีกเลี่ยงการเก็บสารที่อุณหภูมิสูง (สูงเกิน 40 °C) เพื่อหลีกเลี่ยงการเสื่อมสลาย นอกจากนี้ควรเก็บให้ห่างจากแหล่งให้ความร้อน และไฟฟ้าสถิตย์ เนื่องจากเปอร์ออกไซด์ติดไฟง่ายและดับยาก

### 2.9.3 การโพสต์เคียว (Post cure)

เพื่อกำจัดกลิ่นของสารพลอยได้ (By products) จากปฏิกิริยาของเปอร์ออกไซด์ รวมทั้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพที่ดีและมีอายุการใช้งานยาวนาน ในอุตสาหกรรมนิยมเพิ่มขึ้นตอนการให้ความร้อนแก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง เรียกขั้นตอนนี้ว่า “โพสต์เคียว” (Post cure) เพื่อกำจัดอนุมูลอิสระที่ตกค้าง และระเหยกำจัดสารพลอยได้ทั้งหมดให้หมดไป

#### 2.9.4 ข้อควรระวังในการเชื่อมโยงด้วยเปอร์ออกไซด์

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

#### 2.10 กระบวนการดันลอป [21-23]

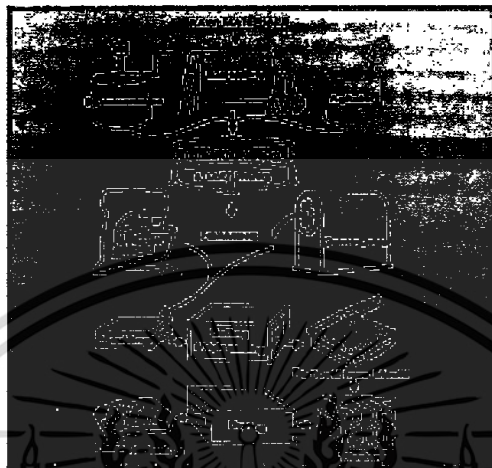
การผลิตโฟมยางโดยกระบวนการที่ทราบกันทั่วไปว่า คือ กระบวนการดันลอป (Dunlop process) หรือกระบวนการซิลิโคฟลูออไรด์ (Silicofluoride process) นั้น ได้มีการจดสิทธิบัตรในปี ค.ศ. 1930 ซึ่งสิทธิบัตรครอบคลุม 2 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการแรก การผลิตโฟมยางจากน้ำยางที่ไวต่อความร้อน (Heat-sensitive latex) ทำให้น้ำยางที่ฟอรั่มฟองแล้วเกิดเจลได้โดยความร้อน ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือ การเติมสารต่างๆ ลงในน้ำยางที่เป็นฟองแล้ว เพื่อให้ฟองยางฟอรั่มเจล สารนี้ได้แก่ไฮเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ และแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์โซเดียมซัลเฟต (Ammonium peroxodisulfate) ทั้งนี้ในเวลาต่อมาวิธีการหลังคือวิธีการที่รู้จักกันในชื่อวิธีการ “กระบวนการดันลอป” สำหรับผลิตโฟมยาง โดยใช้สารก่อเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) เป็น Alkali-metal silicofluoride คือ เกลือโซเดียม (Sodium salt) กระบวนการดันลอปดังกล่าวนี้เป็นกระบวนการที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมผลิตโฟมยาง

หลักการของกระบวนการดันลอปประกอบด้วยขั้นตอนเป็นลำดับ ดังนี้

- ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เป็นฟอง โดยที่มีสารช่วยการเกิดฟอง (Foaming agent) เช่น Ammonium oleate
- เติมสารก่อเจล เช่น Alkali-metal silicofluoride อย่างช้าๆ บางกรณีอาจมีการใช้สารเสริมการก่อเจล (Secondary gelling agent) เช่น Diphenylguanidine
- เทฟองยางขณะที่ยังเหลวลงในแม่พิมพ์ตามรูปร่างผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
- ปลดปล่อยฟองยางฟอรั่มเจลที่อุณหภูมิปกติ หรือที่อุณหภูมิสูงเล็กน้อย
- ทำให้เจลของฟองยางคงรูปแล้วล้าง และนำไปอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตฟองยางโดยกระบวนการตันลอปอาจเป็นกระบวนการผลิตเป็นชุด (Batch) หรือผลิตอย่างต่อเนื่อง (Continuous process) ภาพที่ 2.11 แสดงลำดับขั้นตอนของการผลิตโฟมยางโดยกระบวนการตันลอป



ภาพที่ 2.11 ลำดับขั้นตอนการผลิตโฟมยาง  
ที่มา: Fallows, J. C., 1982.

#### 2.10.1 หลักการเกิดเจล กลไกการเกิด และสารก่อเจล [22,24]

การเกิดเจลของน้ำยาง (Latex gelling) [24] อาจนิยามเป็นการจับตัวของยางเป็นเนื้อเดียว (Homogeneous coagulation) ระบบที่ทำให้เกิดเจลในการผลิตโฟมยางมี 2 ระบบ คือ เจลด้วยความร้อน และเจลอย่างช้า (Heat gelling and Delayed-action gelling) ชนิดของสารที่สำคัญในระบบแรกคือ Zinc oxide-ammonium salt system ที่อยู่ในสถานะสารละลาย โดยเชื่อว่า ซิงค์ออกไซด์ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่อยู่ในเซรัมของน้ำยางแล้วฟอร์มเป็น Zinc amines complexes ที่อุณหภูมิห้อง และที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูง จะเกิดการฟอร์ม Tetraamine complexes และที่อุณหภูมิสูงจะเกิด Lower amine complexes ซึ่งเชื่อว่า Lower amine คือ ตัวที่ทำให้เริ่มเกิดเจล Gelling pH ที่อุณหภูมิห้องในระบบ Zinc oxide-ammonium salt คือ 9-10

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

สารก่อเจลอย่างช้า (Delayed-action gelling agent) ที่ดี สามารถผสมเข้ากับน้ำยางได้โดยง่าย ทำให้เกิดเจลอย่างช้าๆ ภายในเวลาที่เหมาะสม ส่วนใหญ่เป็นสารเชิงซ้อนของ Fluoro ได้แก่ Fluorosilicates, Fluorostannates, Fluorotitanates และ Fluorozirconates of Sodium and Potassium สารเหล่านี้ละลายน้ำได้บ้าง Sodium fluorosilicates ละลายได้เพียง 1% ส่วนเกลือโปแตสเซียมละลายได้น้อยกว่าเกลือโซเดียม ระดับ pH ที่ 20% ดิสเพนชันของโซเดียมซิลิโกฟลูออไรด์ (SSF) คือ สารช่วยกระจายตัวที่เหมาะสมของ SSF คือ Bentonite clay สามารถเติม Surfactant ว่างไว้ที่ pH 3 ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ถ้าจำเป็น และชนิดที่เหมาะสมคือ Naphthaline formaldehyde sulfanates แม้ว่า SSF จะมีความเป็นกรด แต่เนื่องจากละลายได้น้อยมาก การเติมลงในน้ำยางธรรมชาติที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย จึงไม่มีความเสี่ยงต่อการจับตัวของน้ำยางเป็นหย่อมๆ

#### 2.10.2 การทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง [21, 23, 25]

- ทำให้เกิดฟองเป็นชุด/ครั้ง (Batch foaming)

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

- ทำให้เกิดฟองอย่างต่อเนื่อง (Continuous foaming)

สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ความหนาแน่นตามที่กำหนดไว้ และต้องการผลิตในปริมาณมากจะใช้ระบบการผลิตอย่างต่อเนื่อง และสายพานลำเลียงแม่พิมพ์ วิธีการของระบบการผลิตอย่างต่อเนื่องจะมีมอเตอร์วัดแรงจ่ายน้ำยาง และอัดอากาศที่ผ่านเข้าส่วนหัวของเครื่องปั่นฟอง (Mixing or Foaming head) ซึ่งมีโรเตอร์ (Rotor) อยู่ภายในสเตเตอร์ (Stators) 2 ตัว ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์มีเต็อยจำนวนมากเพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงเฉือนพอให้เกิดฟองยางเมื่อโรเตอร์หมุน ฟองยางที่เกิดขึ้นจะผ่านไปยังส่วนผสม (Blender) ที่จะมีการผสมดีสเพิซันซิงค์ออกไซด์ และสารก่อเจลกับฟองยาง จากนั้นฟองยางที่มีส่วนของสารต่างๆ พร้อมแล้ว (Fully compounded foam) จะถูกปล่อยลงแม่พิมพ์โดยท่อ PVC หรือท่อ PE

#### 2.10.3 การขึ้นรูปในแม่พิมพ์ การเกิดเจล การคงรูป การล้างและการอบแห้ง [21]

- การขึ้นรูปในแม่พิมพ์ (Molding)

เมื่อเสร็จการปั่นน้ำยางจนได้ฟองตามต้องการแล้ว จะต้องรีบเทฟองยางลงแม่พิมพ์ (อุณหภูมิ 30-40°C) ทันที ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์โฟมยางเป็นที่นอน หมอน และผลิตภัณฑ์รองรับการกระแทก ซึ่งโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เหล่านี้เป็นโพรง โครงสร้างเช่นนี้เกิดจากการใช้แม่พิมพ์มีเต็อย (Core pin) เรียงเป็นระเบียบ (ปกติเต็อยจะอยู่ที่แม่พิมพ์แผ่นบน โดยเต็อยจะยื่นลงไปแม่พิมพ์อีกแผ่นหนึ่ง ทำให้ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างลักษณะรังผึ้งที่ด้านหนึ่ง) โครงสร้างดังกล่าวมีส่วนช่วยด้านการรับน้ำหนัก และยังช่วยการคงรูปและการอบแห้งภายในเวลาสั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เนื่องจากพื้นที่ที่โฟมขยายผ่านการคงรูป ความต้านทานแรงดึง และความต้านทานแรงฉีกขาดของโฟมยางขณะเป็ยกจะต่ำกว่าเมื่อโฟมยางแห้ง ดังนั้นจำเป็นต้องมั่นใจว่าการลอกโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ง่าย และสะดวกมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ปกติเต็อยจะเป็นลักษณะปลายเรียว หนึ่งเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการลอกผลิตภัณฑ์ออกจากแม่พิมพ์ ควรทำให้ผิวด้านในของแม่พิมพ์ลื่นโดยพ่นสารหล่อลื่นแม่พิมพ์ (Mold release agent) ก่อนการเทฟองยางลงในแม่พิมพ์

#### - การเกิดเจล (Gelation)

ฟองยางภายในแม่พิมพ์จะเกิดเจลหรือเซทตัวภายในระยะเวลาหนึ่งๆ (Gelling time) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ปริมาณของสารก่อเจล (Gelling agent) ซึ่งคือออกไซด์ที่เติมลงไปในน้ำยางคอมปาวด์ ปริมาณและธรรมชาติของสารช่วยความเสถียร และธรรมชาติหรือสมบัติของน้ำยางที่ใช้ ซึ่งคือออกไซด์มีส่วนในการเกิดเจลโดยเป็นตัวควบคุมการเสถียรของคอลลอยด์ของอนุภาคยาง ทั้งนี้มาจากผลที่ซึ่งคือออกไซด์ละลายในน้ำยางซึ่งรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียได้บ้าง ทำให้เกิดการพอร์มสารเชิงซ้อนของซิงค์แอมโมเนียม เมื่อ pH ลดลง สารเชิงซ้อนนี้ทำปฏิกิริยากับ Fatty acid soaps พอร์มเป็น Insoluble zinc soaps ดังนั้นจึงทำให้บางส่วนของสารที่ช่วยความเสถียรของอนุภาคยางถูกแยกออกไป เป็นผลให้สนับสนุนการเกิดเจล ปกติการเกิดเจลควรสมบูรณ์ในเวลา 10-15 นาที ซึ่งสามารถปรับให้เหมาะสมได้โดยสังเกตจากการดูฟองยางล้นแม่พิมพ์

#### - การคงรูป (Vulcanization)

ภายหลังจากที่ฟองยางเกิดเจลแล้วควรทำให้คงรูปทันที เพื่อลดปัญหาการหดตัว การทำให้ฟองยางคงรูปที่อุณหภูมิ 100°C ประมาณ 20-30 นาที ระยะเวลาการคงรูปจะขึ้นอยู่กับความหนาของผลิตภัณฑ์ แผ่นโฟมยางบางอาจใช้เวลา 20-30 นาที หมอนและผลิตภัณฑ์รองกันกระแทกใช้เวลา 25-35 นาที ที่นอนอาจใช้เวลานานถึง 50 นาที ปกติใช้ความร้อนจากไอน้ำในการทำให้โฟมยางคงรูป อย่างไรก็ตามสามารถใช้ลมร้อน หรือน้ำร้อนในการทำให้โฟมยางคงรูป หรือสามารถใช้วิธีการหุ้มแม่พิมพ์ให้ร้อน (Jacketed mould)

#### - การล้าง

เมื่อโฟมยางคงรูปแล้ว เปิดแม่พิมพ์เอาโฟมยางซึ่งเป็ยก (Wet cured foam) ออกจากแม่พิมพ์ล้างด้วยน้ำ อาจใช้วิธีการพ่น/ฉีดน้ำ และใช้ลูกกลิ้งบีบชะล้าง หรือใช้เครื่องปั่นชะล้างเพื่อกำจัดสารเคมีที่ละลายน้ำได้ออกจากโฟมยาง ซึ่งจะเป็นการช่วยให้สมบัติความทนต่อการเสื่อมสภาพดีขึ้น และช่วยลดกลิ่นของโฟมยาง

## - การอบแห้ง

การอบแห้งโพนียงภายหลังเสร็จการล้าง อาจอบแห้งเป็นชุดในตู้อบ (Oven) ที่มีลมร้อนหมุนเวียนที่อุณหภูมิประมาณ 80°C หรืออบแห้งโดยระบบต่อเนื่องในอุโมงค์ร้อนควบคุมอุณหภูมิตลอดทางของอุโมงค์ ในขณะที่การอบแห้งควรวางโพนียงในแนวราบ ไม่ให้บิดเบี้ยว เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียรูปอย่างถาวร หลีกเลี่ยงการวางพองน้ำแต่ละชิ้นติดกันเพราะจะแยกออกจากกันได้ยาก ซึ่งอาจมีผลให้เกิดการฉีกขาด หรือเกิดตำหนิที่ผิวพองน้ำ ทำให้ต้องคัดแยกเป็นของเสีย

## 2.10.4 ลักษณะโพนียงที่ไม่พึงประสงค์และข้อเสนอแนะการแก้ไข [21,26]

การยุบตัวเล็กน้อยของโพนียงมาจากรูพรุนเล็กๆ ของพองยางแตกตัวออกเกิดเป็นโพรงใหญ่ ทำให้โครงสร้างของพองยางหยابลักษณะเป็นรูใหญ่ ซึ่งสาเหตุมาจากปริมาณสารช่วยการก่อเจลไม่เพียงพอหรือการเกิดเจลที่ pH ต่ำเกินไป ผิวพองน้ำยุบเนื่องจากแม่พิมพ์เย็นเกินไป ในขณะที่แม่พิมพ์ที่ร้อนเกินไปทำให้ผิวพองน้ำมีลักษณะหยาบกระด้าง หรือเกิดตำหนิเป็นรอยไหลของพองยางที่ผิวพองน้ำได้ ตำหนิลักษณะเป็นแอ่งตื้นเกิดจากการใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม และถ้าพองยางเจลเร็วมากเกินไปจะมีแนวโน้มเกิดรอยแตกที่ตำแหน่งกลางชิ้นงาน ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตโพนียงนั้น แต่ละลักษณะอาจเนื่องมาจากสาเหตุหลายสาเหตุ อย่างไรก็ตามพอจะสรุปรูปแบบของลักษณะที่ผิดปกติและสาเหตุของการเกิดพร้อมข้อเสนอแนะวิธีการแก้ไข ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะผิดปกติที่ไม่พึงประสงค์แบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการผลิตโพนียง [21,26]

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

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น | โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.11 กระบวนการทาลาเลย์ [27-29]

ชื่อกระบวนการทาลาเลย์ (Talalay process) มาจากชื่อของผู้ประดิษฐ์วิธีการ คือ J.A.A and L Talalay ในช่วงปี ค.ศ. 1950 ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงวิธีการมาโดยตลอดจนปัจจุบันการทำโฟมยางโดยกระบวนการทาลาเลย์มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำโฟมยางโดยกระบวนการดันลอปในบางส่วน กล่าวคือ เริ่มจากการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เกิดฟอง และใช้สุญญากาศทำให้น้ำยางตัว ข้นรูปยางฟองในแม่พิมพ์ ทำให้ฟองยางเจด และคงรูป ล้าง และอบแห้ง อย่างไรก็ตามในแต่ละขั้นตอนจะมีความแตกต่างกับกรณีของกระบวนการดันลอปบ้าง

### 2.11.1 การเตรียมน้ำยางคอมปาวด์และการทำให้เกิดฟอง

วิธีการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ทำนองเดียวกับกรณีของกระบวนการดันลอป แต่ใช้น้ำยางเอสปี-อาร์ แม้บางสูตรจะใช้น้ำยางธรรมชาติผสมด้วย แต่ก็ผสมในปริมาณเพียงเล็กน้อย (10-20%) ช่วงระยะเริ่มต้นของการคิดค้นวิธีการทาลาเลย์ ได้ทำให้น้ำยางคอมปาวด์เป็นฟองโดยใช้ Enzyme catalase (มาจาก Yeast) เร่งการสลายของไฮโดรเจนเพอรอกไซด์ที่ละลายอยู่ใน Latex aqueous phase ได้ออกซิเจนไปขยายน้ำยางจนเกิดเป็นฟองต่อมาได้มีการใช้วิธีการทางเคมีที่ทำให้น้ำยางเป็นฟองเป็นวิธีที่ต้องควบคุมเป็นอย่างดี ซึ่งการควบคุมยากมาก จึงใช้วิธีการทำให้เกิดฟองยางโดยเครื่องกลร่วมกับใช้สุญญากาศ (Vacuum expansion) แล้วทำให้ฟองยางแข็งตัวโดยเทคนิค freeze-gel น้ำยางคอมปาวด์ซึ่งไม่ต้องผ่านการบ่มจะถูกทำให้เริ่มเกิดฟอง (Pre-foam) ที่มีความหนาแน่นสูงโดยใช้เครื่อง Oakes type แล้วชั่งน้ำหนัก pre-foam อย่างระมัดระวังใส่ลงในแม่พิมพ์ ปิดแม่พิมพ์แล้วทำให้เกิดสุญญากาศ ฟองยางจะขยายตัวฟองเต็มแม่พิมพ์ (ไม่มีการใช้สารก่อเจด) โดยวิธีการที่ประณีตดังกล่าว จึงสามารถทำผลิตภัณฑ์ฟองน้ำที่มีความหนาแน่นช่วงต่างๆ ได้โดยไม่จำเป็นต้องคอยปรับระดับความหนาแน่นของฟองยางที่เครื่องผสม นอกจากนี้ยังไม่จำเป็นต้องควบคุมความหนาแน่นของฟองยางอย่างเข้มงวด เพราะควบคุมปริมาณฟองยางที่เทลงแม่พิมพ์โดยน้ำหนักไม่ใช่โดยปริมาตร

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างกระบวนการดันลอปกับกระบวนการทาลาเลย์ คือ การใช้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์ เนื่องจากแม่พิมพ์ที่ใช้กับกระบวนการทาลาเลย์มีความซับซ้อนอันเนื่องมาจากมีเดือยจำนวนมาก จึงยากที่จะทำให้สารหล่อลื่นแม่พิมพ์เคลือบผิวแม่พิมพ์อย่างทั่วถึง ซึ่งแก้ปัญหานี้โดยใช้สารหล่อลื่น (Internal lubricant) ผสมลงไปกับ Pre-foam ก่อนที่จะเทลงแม่พิมพ์ สารที่ใช้เป็น Internal lubricant คือ สารละลายเจือจางของไฮโดรเจนเพอรอกไซด์

### 2.11.2 แม่พิมพ์

แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปโฟมยางที่ใช้กระบวนการทาลาเลย์ เป็นแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าแม่พิมพ์ที่ใช้ขึ้นรูปโฟมยาง ซึ่งผลิตโดยกระบวนการดันลอป ดังนั้นแม่พิมพ์จึงต้องสามารถเปลี่ยนอุณหภูมิให้รวดเร็ว และแม่นยำ แม่พิมพ์จะมีส่วนของช่องทางผ่านของส่วนผสม Glycol/water ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้อย่างแน่นอน ความร้อนเข้าถึง และออกจากโฟมยางโดยแผงเดือยที่เรียงอย่างชิดกัน ปลายของเดือยจากแผ่นทั้ง 2 แผ่นจะฝังอยู่ในโฟมยาง ทางไหล 4 ทางของส่วนผสม Glycol/water ถูกใช้ในระบบ Heat exchange

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.12 การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม [30]

ก้อนในเต้านม (Breast mass หรือ Breast lump) คือ ก้อนเนื้อผิดปกติที่เกิดขึ้นในเต้านม อาจเกิดเพียงข้างเดียว (ซึ่งพบได้บ่อยกว่า) หรือเกิดทั้งสองข้างของเต้านม (ซึ่งพบได้น้อยกว่ามาก) อาจเกิดเพียงก้อนเดียว (ซึ่งพบได้บ่อยกว่า) หรือเกิดได้หลายก้อน (ซึ่งพบได้น้อยกว่ามาก) ก้อนเนื้ออาจมีขนาดเล็ก ตรวจพบได้จากการตรวจคัดกรองโรคมะเร็งเต้านมด้วยการตรวจภาพรังสีเต้านมหรือแมมโมแกรม (Mammogram) หรืออัลตราซาวด์เต้านม หรือก้อนเนื้ออาจมีขนาดใหญ่จนสามารถคลำได้โดยตัวผู้ป่วยเอง หรือโดยแพทย์

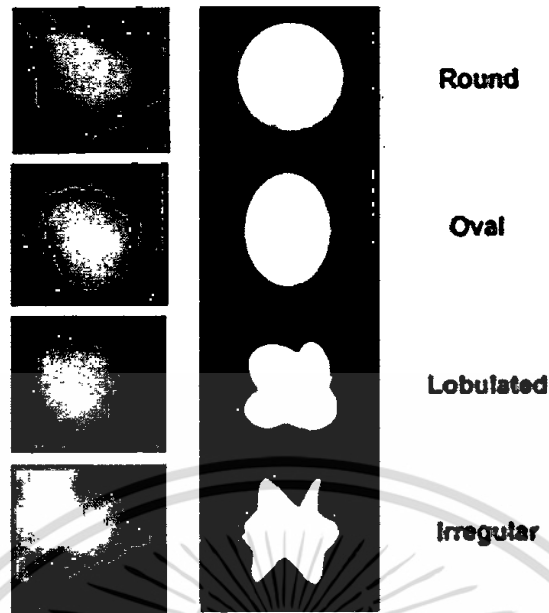
ก้อนเนื้อในเต้านมพบได้ในทุกอายุ ตั้งแต่เด็กจนถึงผู้สูงอายุ โดยในเด็กมักพบในช่วงวัยรุ่นที่ร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนเพศต่างๆ เต้านมจึงมีการขยายใหญ่ขึ้น และเริ่มมีการสร้างต่อมต่างๆ สำหรับการสร้างน้ำนม จึงอาจส่งผลให้คลำได้คล้ายก้อนเนื้อ แต่ก้อนเนื้อเหล่านี้จะค่อยๆ หายไปเมื่อเติบโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่

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

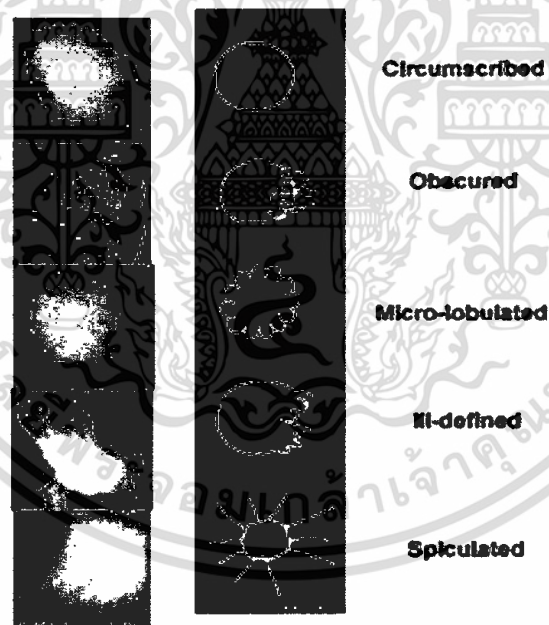
### 2.12.1 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม [31-33]

ก้อนเนื้อในเต้านมมีได้หลากหลายชนิด ที่พบได้บ่อย คือ

1. ไฟโบรซิสติก (Fibrocystic changes หรือ เรียกย่อว่า FCC) ซึ่งพบได้ประมาณ 40% ของก้อนเนื้อในเต้านมทั้งหมด
  2. เนื้องอกชนิด ไฟโบรอะดีโนมา (Fibroadenoma) พบได้ประมาณ 7-10%
  3. ก้อนเนื้ออื่นๆ ที่ไม่ใช่มะเร็ง พบได้ประมาณ 13-20% ซึ่งที่พบได้บ่อยในกลุ่มนี้ คือ ถุงน้ำ (Cyst), เป็นฝี, ก้อนไขมัน (Lipoma), เนื้องอก ชนิดที่เรียกว่า Phyllodes, เนื้องอกชนิดที่เซลล์มีการเจริญเกินปกติ (Hyperplasia), เนื้องอกในท่อน้ำนม หรือเนื้องอกชนิด Adenosis
  4. เนื้องอกมะเร็ง
- รูปร่างของก้อนมะเร็งได้ ดังภาพที่ 2.12 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็งได้ ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.12 ลักษณะรูปร่างของก้อนมะเร็ง  
ที่มา: พวงทอง ไกรพิบูลย์, 2555.



ภาพที่ 2.13 ลักษณะขอบของก้อนมะเร็ง  
ที่มา: พวงทอง ไกรพิบูลย์, 2555.

#### 2.12.2 สาเหตุและอาการของก้อนเนื้อในเต้านม [31-33]

- ชนิดไฟโบรซิสติก (Fibrocystic changes) เป็นภาวะที่พังผืด ต่อมและท่อน้ำนมมีปฏิริยามากเกินไปต่อการกระตุ้นของฮอร์โมนระหว่างการตกไข่ ทำให้พังผืดเกาะตัวเป็นกลุ่มเป็นก้อน หรือมีถุงน้ำเล็กๆ จำนวนมากปะปนอยู่ อาการคือ มีก้อนโตขึ้นและเจ็บเต้านมก่อนจะมีประจำเดือน แล้วค่อยๆ ดีขึ้นเมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยนาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประจำเดือนหมด ซึ่งการกินยาเม็ดคุมกำเนิดจะบรรเทาอาการเหล่านี้ลง ในขณะที่ถ้ากินฮอร์โมนเพศชาย เช่น หลังผ่าตัดรังไข่ อาการต่างๆ จะมากขึ้น ก้อนเนื้อชนิดนี้มักไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง (โรคมะเร็งเต้านม)

- มีประจำเดือน เวลาคลำดูจะรู้สึกว่ามันกลิ้งไปมาได้ ก้อนของเต้านมส่วนใหญ่เป็นชนิดไม่ร้ายแรง ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต

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

- ชนิดถุงน้ำ/ซิสต์ (Breast cyst) เป็นชนิดที่ยังไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด แต่เชื่อว่าสัมพันธ์กับฮอร์โมนเพศหญิง เพราะมักพบเกิดร่วมกับก้อนเนื้อไฟโบรซิสติก พบในวัยเจริญพันธุ์ และถุงน้ำยุบหายไปภายหลังจากวัยหมดประจำเดือนแล้ว ก้อนเนื้อค่อนข้างกลม หรือ รูปไข่ อาจเจ็บหรือไม่ได้ เคลื่อนที่ได้ แข็ง คล้ายลูกโป่งใส่น้ำ มีได้ทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ได้หลายเซนติเมตร โดยทั่วไปถุงน้ำไม่กลายเป็นโรคมะเร็ง ยกเว้นส่วนน้อยมากที่เซลล์ผนังถุงน้ำเกิดการเจริญเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

- เนื้ออกชนิด Phyllodes หรือ Phylloides กลายเป็นมะเร็งได้น้อย ประมาณ 5% ของเนื้ออกชนิดนี้ แต่โรคนี้มีโอกาสย้อนกลับเป็นซ้ำได้สูงภายหลังการผ่าตัด อาการและลักษณะก้อนเนื้อ เช่นเดียวกันกับในก้อนเนื้อ ไฟโบรอะดีโนมา

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

- เนื้ออกในท่อน้ำนม (Intraductal papilloma) คือ เนื้ออกที่เกิดในท่อน้ำนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว แต่พบสองข้างได้บ้าง โดยทั่วไปมักคลำก้อนเนื้อไม่ได้ แต่ถ้าก้อนเนื้อโตขึ้น มักคลำได้ก้อนเนื้อโตอยู่ใต้หัวนม และผู้ป่วยอาจมีน้ำนม น้ำเหลือง หรือ น้ำเลือด ออกจากหัวนมได้ โดยทั่วไป เนื้ออกชนิดนี้เปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งได้บ้าง แต่โอกาสเกิดน้อยมาก

- ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของท่อน้ำนม (Duct ectasia) เกิดจากท่อน้ำนมมีขนาดใหญ่ และมีผนังหนากว่าปกติจนทำให้สามารถคลำได้เป็นก้อนเนื้อ ไม่แข็งมาก อยู่ใต้หัวนม หัวนมอาจบวมได้ และอาจมีน้ำสีออกเขียว หรือดำคล้ำออกจากหัวนม มักเกิดกับเต้านมเพียงข้างเดียว ทั้งนี้ก้อนเนื้อชนิดนี้ ไม่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งเต้านม

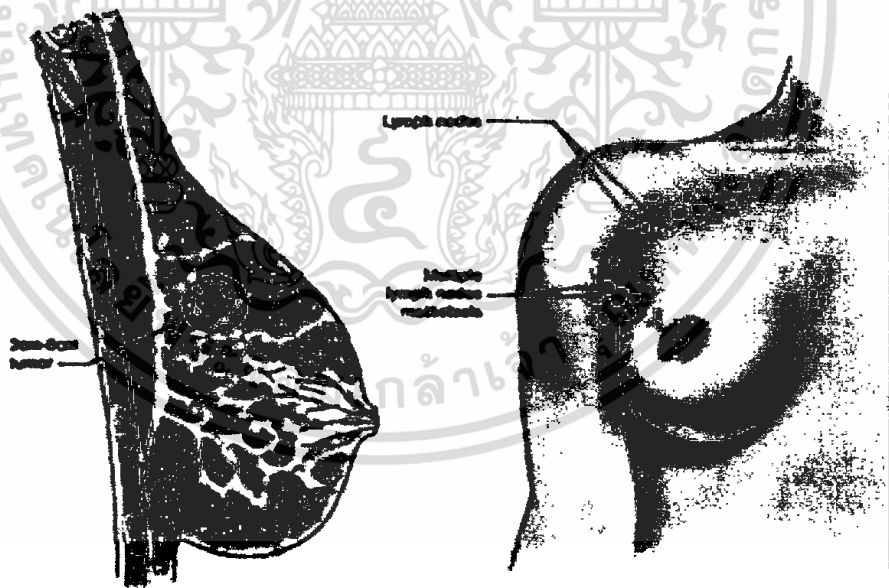
- ก้อนเนื้อจากความผิดปกติของต่อมน้ำนม (Adenosis) ได้แก่ ก้อนเนื้อที่เกิดจากต่อมน้ำนมขยายใหญ่ขึ้น และมีจำนวนต่อมเพิ่มกว่าปกติจนทำให้เกิดเป็นก้อนเนื้อขึ้น มักเกิดกับ

เต้านมเพียงข้างเดียว (แต่พบเกิดได้ทั้งสองข้าง) อาจคลำได้ทั้งเป็นก้อนที่ไม่แข็ง หรือเป็นก้อนที่แข็งเนื่องจากมีพังผืด ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสาเหตุให้เต้านมผิดรูปร่างได้ (Sclerosing adenosis) ก้อนเนื้อชนิดไม่แข็ง มักไม่เปลี่ยนแปลงเป็นมะเร็งเต้านม แต่ชนิดที่แข็งมีพังผืดมาก เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นมะเร็งเต้านมได้ประมาณ 1-2 เท่าของผู้หญิงปกติ

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

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

ก้อนเนื้อชนิดต่างๆ ทุกชนิด อาจมีเซลล์เจริญเกินปกติได้ ซึ่งแพทย์ทราบได้จากการตัดชิ้นเนื้อหรือผ่าตัดก้อนเนื้อเพื่อการตรวจทางพยาธิวิทยา ซึ่งถ้าเกิดมีเซลล์เจริญเกินปกติเกิดขึ้น จะเป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการกลายเป็นโรคมะเร็งเต้านมได้ ดังภาพที่ 2.14 ตัวอย่างก้อนในเต้านม



ภาพที่ 2.14 ลักษณะก้อนเนื้อในเต้านม  
ที่มา: สยามเฮลท์, 2559.

### 2.12.3 การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม [34]

หลังจากที่มีการวินิจฉัยว่าเป็นมะเร็งเต้านมแล้วจะต้องมีการตรวจสอบเพิ่มเติม เพื่อประเมินว่ามี การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งไปยังบริเวณอื่นนอกจากบริเวณเต้านมหรือไม่ เพื่อประเมินระยะความ รุนแรงของโรคและวางแผนการรักษาต่อไป

การแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งในร่างกายมี 3 ทาง

1. ทางเนื้อเยื่อข้างเคียงมีการลุกลามเข้าไปในเนื้อเยื่อปกติที่อยู่รอบๆ
2. ทางระบบน้ำเหลืองมีการลุกลามต่อมน้ำเหลือง

3. ทางเลือดมีการลุกลามเข้าไปยังเส้นเลือดดำ และเส้นเลือดฝอยมีการแพร่กระจายไปยังบริเวณ ต่างๆ ของร่างกาย เมื่อเซลล์มะเร็งมีการแพร่กระจายผ่านทางระบบน้ำเหลืองหรือเลือดไปยังบริเวณอื่นใน ร่างกายอาจทำให้เกิดมะเร็งทุติยภูมิในร่างกายกระบวนการนี้เรียกว่า การแพร่กระจายของโรค (Metastasis) โดยชนิดของเซลล์มะเร็งทุติยภูมิจะเป็นชนิดเดียวกันกับมะเร็งปฐมภูมิ

- ระยะ 0 (Carcinoma in situ) มี 2 ชนิด

1. Ductal carcinoma in situ (DCIS) จะพบเซลล์ผิดปกติในบริเวณเยื่อหุ้มท่อน้ำนมซึ่งเป็น ระยะที่ไม่มีมีการลุกลามของโรคแต่มีโอกาสที่จะกลายเป็นมะเร็งระยะลุกลามได้โดยที่ปัจจุบันยังไม่สามารถ พยากรณ์ได้ว่ารอยโรคบริเวณใดจะกลายเป็นระยะลุกลาม

2. Lobular carcinoma in situ (LCIS) เป็นภาวะที่พบเซลล์ผิดปกติใน Lobules ของเต้านม สภาวะนี้นานๆ ครั้งจะกลายเป็นระยะลุกลามได้อย่างไรก็ตามใน Lobar carcinoma in situ ในเต้านม ข้างเดียวจะเพิ่มปัจจัยเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเต้านมได้ทั้งสองข้าง

- ระยะ I ขนาดก้อนเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2 cm และยังไม่มีการกระจายออกนอกบริเวณเต้านม

- ระยะ IIA มี 3 ภาวะ ได้แก่

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

- ระยะ IIB มี 2 ภาวะ ได้แก่

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

- ระยะ IIIA มี 4 ภาวะ ได้แก่

1. ไม่มีก้อนที่เต้านมแต่มีมะเร็งที่ต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้บริเวณใกล้เคียงเต้านม และบริเวณรักแร้

2. เนื้องอกมีขนาดน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 cm และมีมะเร็งแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลือง บริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม

3. เนื้องอกมีขนาด 2-5 cm และมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณ ใกล้เคียงเต้านม

4. เนื้องอกมีขนาดใหญ่กว่า 5 cm และแพร่ไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม

-ระยะ III B ก้อนมะเร็งมีขนาดเท่าไรก็ได้ร่วมกับเนื้องอกมีการแพร่ไปยังอวัยวะใกล้เคียง เช่น กล้ามเนื้อหรือผิวหนังบริเวณหน้าอก และมีการแพร่กระจายของมะเร็งไปยังต่อมน้ำเหลือง

-ระยะ III C เนื้องอกมีการแพร่กระจายไปที่ต่อมน้ำเหลืองบริเวณเหนือไหปลาร้า และอาจจะพบร่วมกับการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านม สามารถแบ่งเป็นชนิดผ่าตัดได้และผ่าตัดไม่ได้ โดยชนิดที่ผ่าตัดได้จะต้องประกอบด้วยลักษณะดังนี้

1. แพร่กระจายของมะเร็งไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้มากกว่า 10 ต่อมน
2. พบต่อมน้ำเหลืองบริเวณใต้กระดูกไหปลาร้า
3. พบต่อมน้ำเหลืองบริเวณรักแร้ และบริเวณใกล้เคียงเต้านมชนิดที่ผ่าตัดไม่ได้ เนื้องอกมีการแพร่กระจายไปยังต่อมน้ำเหลืองบริเวณเหนือไหปลาร้า

-ระยะ IV มะเร็งมีการแพร่กระจายไปยังอวัยวะอื่นของร่างกาย ส่วนมากพบที่กระดูก, ปอด, ตับ หรือสมอง

#### 2.12.4 การตรวจเต้านมด้วยตนเอง [35]

90% ของมะเร็งจะมาด้วยก้อนเต้านมเป็นอวัยวะที่อยู่ภายนอกร่างกายสามารถคลำได้ การคลำด้วยตนเองเป็นประจำทุกเดือนจะทำให้เกิดความคุ้นเคยสามารถรู้สึกถึงความเปลี่ยนแปลงได้เร็ว

- สำนวณลักษณะภายนอก

1. เต้านมทั้งสองข้างเท่ากันหรือไม่
2. ผิวหนังมีรอยย่น บวม เป็นแผล หรือมีลักษณะคล้ายผิวส้มหรือไม่
3. หัวนมมีลักษณะหดเข้าด้านใน มีของเหลวไหลออกมาหรือไม่



ภาพที่ 2.15 การตรวจเต้านมโดยสำนวนลักษณะภายนอก

ที่มา: [Medinfo2.psu, 2559]

- การคลำ

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

1. ยืนคลำ (สามารถตรวจขณะอาบน้ำสองมือถูด้วยสบู่เพื่อป้องกันการคลำหา)
  - ใช้หัวแม่มือกับนิ้วชี้บีบหัวนมเบาๆ
  - กดหัวนมดูว่ามีก้อนแข็งหรือไม่
  - บีบหัวนมดูว่ามีน้ำเหลวไหลออกมาหรือไม่

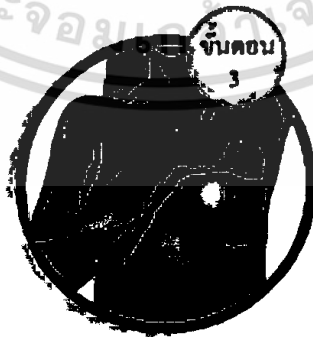


ภาพที่ 2.16 การตรวจเต้านมโดยการยืนคลำ

ที่มา: [Medinfo2.psu, 2559]

2. นอนคลำ

- นอนลงโดยไม่ต้องมีหมอนรอง
- หัวไหล่ซ้ายรองหมอนใบเล็กไว้ มือซ้ายวางไว้หลังศีรษะ
- วิธีการตรวจเหมือนกับตอนยืนคลำ



ภาพที่ 2.17 การตรวจเต้านมโดยการนอนคลำ

ที่มา: [Medinfo2.psu, 2559]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระวัง : วิธีการตรวจด้วยการกด คลำ หรือลูบนั้น ให้ใช้นิ้วชี้ นิ้วกลาง และนิ้วนาง ของมืออีกข้างในการตรวจหา



ภาพที่ 2.18 การตรวจเต้านมโดยใช้มืออีกข้างในการตรวจหา

ที่มา: [Medinfo2.psu, 2559]

### 2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดร.วิริยะ ทองเรือง และคณะ [15] ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติให้มีคุณภาพ ทำการทดลองปรับปริมาณสารเคมีต่างๆ เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยาง (1 ส่วน) และสังเกตเห็นว่าในระบบอุตสาหกรรมครัวเรือนนั้นการปั่นน้ำยางครั้งละ 1 ส่วน จะเป็นการเสียเวลาและได้ผลิตภัณฑ์ครั้งละไม่มาก จึงทำการทดลองเอาสูตร 1 ส่วนที่ดีที่สุดมาปรับเป็นการทำ 2 ส่วน แต่ปรากฏว่าคุณภาพของเนื้อโฟมที่ได้ไม่ดี จึงทำการพัฒนาสูตร 2 ส่วน จนได้อัตราส่วนสารเคมีที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำยาง 2 ส่วน แล้วนำสูตร 2 ส่วนที่พัฒนาแล้วมาอบที่อุณหภูมิ 100 และ 120 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อคุณภาพเนื้อโฟม นอกจากนี้ยังพบว่า การนึ่งจะทำให้คุณภาพของเนื้อโฟมด้อยกว่าการอบ เนื่องจากการนึ่งจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าการอบ จึงทำให้ฟองยางที่อยู่ข้างบนเกิดการวัลคาไนซ์ก่อน และวัลคาไนซ์ได้ดีกว่าฟองยางที่อยู่บริเวณก้นเบ้าพิมพ์ที่เย็นกว่า ทำให้คุณภาพของเนื้อโฟมไม่สม่ำเสมอ ส่วนการอบจะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนช้ากว่า ฟองยางได้รับความร้อนสม่ำเสมอ จึงเกิดการวัลคาไนซ์ได้ดีเท่ากันทุกจุดและพบว่าสามารถวัลคาไนซ์ได้เร็วที่สุดเมื่อใช้เบ้าพิมพ์โลหะ เมื่อเทียบกับเบ้าพิมพ์พลาสติกและเบ้าพิมพ์ปูนปลาสเตอร์ แต่คุณภาพของเนื้อโฟมภายในใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองแปรค่าปริมาณสารเคมีต่างๆ ได้แก่ สารคั่งรูป (Sulphur) สารตัวเร่ง (ZMBT , ZDEC , DPG) สารตัวกระตุ้น (ZnO) และสารทำให้เกิดเจล (SSF) พบว่าการเพิ่มหรือลดปริมาณสารเคมีไม่มีผลต่อเวลาในการอบยางและความหนาแน่นของโฟมที่ได้ (ความหนาแน่นเฉลี่ยของโฟมยางมีค่าเท่ากับ  $0.167 \text{ g/cm}^3$ ) แต่การแปรค่าปริมาณสารเคมีจะส่งผลต่อคุณภาพของเนื้อโฟม

พรทิพย์ ประกายมณีวงศ์ และคณะ [36] ได้ศึกษาอิทธิพลของปริมาณสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของโฟมยางชนิดตันที่เตรียมได้จากน้ำยางธรรมชาติเพื่อลดต้นทุน โดยใช้น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง และสารตัวเติม 50% แคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 0 , 5 , 10 , 20 และ 30 phr การใช้วิธีการเตรียมโฟมยางแบบดันลอป โดยมีลำดับการเติม  $\text{CaCO}_3$  ก่อนและหลังการเติมค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K-oleate ทำการทดสอบสมบัติต่างๆของโพนยางแต่ละสูตร ได้แก่ การทดสอบความแข็ง ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240 การทดสอบดัชนีความแข็งเชิงกด การทดสอบความทนแรงอัดซ้ำครั้งที่ การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงกดและการทดสอบการบ่มแรง ทำการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนโพนยางลาเทกซ์ (มอก.1425-2540) พบว่าโพนยางสูตรที่ใช้วิธีการเติม  $\text{CaCO}_3$  ปริมาณ 5 phr หลังการเติม K-oleate จะได้ตัวอย่างโพนยางที่มีลักษณะทั่วไปค่อนข้างดี คือ ผิวหน้าของตัวอย่างโพนยางเรียบเนียนและลักษณะฟองยางค่อนข้างสม่ำเสมอ เหมาะสำหรับการเตรียมโพนยางที่นำไปใช้งานได้หลากหลาย และต้นทุนราคาวัตถุดิบจะลดลงประมาณ 3.37 บาทต่อกิโลกรัม

จุไรรัตน์ สุริยวงศ์ และคณะ [37] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเบาะยางพาราสุขภาพ โดยใช้ซีลี้อยู่เป็นสารเติมแต่ง เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต โดยปริมาณซีลี้อยู่ที่ใช้คือ 0 , 2.5 , 5.0 และ 7.5 phr ใช้วิธีการเตรียมแบบต้นลอป ศึกษาลักษณะผิวหน้าตัดของโพนยางธรรมชาติพบว่า ฟองน้ำที่ไม่มีสารตัวเติมซีลี้อยู่จะมีสีเหลืองอ่อน ผิวเรียบ ฟองยางมีขนาดเล็กละเอียดและสม่ำเสมอ ฟองน้ำที่เติมซีลี้อยู่ 2.5 phr ฟองน้ำมีสีน้ำตาลอ่อน ผิวหน้าไม่เรียบและขนาดฟองยางสม่ำเสมอ ฟองน้ำที่เติมซีลี้อยู่ 5 phr ฟองน้ำมีสีน้ำตาล ผิวหยาบและฟองน้ำมีขนาดใหญ่ ส่วนฟองน้ำที่เติมซีลี้อยู่ 7.5 phr พบว่าฟองน้ำมีสีน้ำตาลเข้ม ผิวหยาบ เนื้อฟองตรงกลางร่วน ไม่ยึดติดกัน มีลักษณะฟองยางไม่ชัดเจน และฟองน้ำยุบตัวเป็นแอ่งอย่างเห็นได้ชัด จากนั้นทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากการอัด และการทดสอบค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวและการยุบตัวของโพนยาง จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณซีลี้อยู่เพิ่มขึ้นทำให้ความหนาแน่นของโพนยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อปริมาณซีลี้อยู่เพิ่มขึ้นจะทำให้เปอร์เซ็นต์การหดตัวและการยุบตัวของฟองน้ำเพิ่มมากขึ้น

## บทที่ 3 การทดลอง

### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 1) น้ำยางชั้น 60% ชนิดแอมโมเนียสูง จากสถาบันวิจัยยาง
- 2) โพลแทสเซียมโอเลต Potassium oleate 10% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 3) กำมะถัน (Sulfur) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 4) ZDEC (Zinc diethyl dithiocarbamate) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 5) ZMBT (Zinc salt of 2- mercaptobenzothiazole) 50% dispersion จาก สถาบันวิจัยยาง
- 6) ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide ; ZnO) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 7) DPG (Diphenyl guanidine) 33% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 8) วิงสเตย์แอล (Wingstay L) 50% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 9) SSF (Sodium silicofluoride) 12.5% dispersion จากสถาบันวิจัยยาง
- 10) ยางซิลิโคน Silicone RTV#222 จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd
- 11) สารเชื่อมโยงยางซิลิโคน จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd
- 12) น้ำยาล้างจาน ซัลไลต์ จากบริษัท ยูนิลีเวอร์ ไทย โฮลดิ้งส์ จำกัด
- 13) น้ำมันซิลิโคน (Silicone oil) จากบริษัท CPS Specialty Co.,Ltd

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) แม่พิมพ์ Fiber glass สำหรับโฟมยางมะเร็งเต้านม
- 2) แม่พิมพ์ ปูนปาสเตอร์สำหรับยางซิลิโคน
- 3) แม่พิมพ์ประกบสำหรับยางซิลิโคน
- 4) แม่พิมพ์โลหะ ขนาด 152.4x152.4 ตารางมิลลิเมตรหนา 2 มิลลิเมตร
- 5) แผ่นใสชนิดเข้าเครื่องถ่ายภาพเอกสาร ยี่ห้อ Victor
- 6) เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น FOR LP-2020 บริษัท แล็บเทคเอ็นจิเนียร์ จำกัด
- 7) เครื่องผสมแบบปั่นหมุนมอเตอร์พร้อมใบพัด ยี่ห้อ Cuizimate รุ่น RBSMIXERNEW
- 8) เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Meler Toledo รุ่น ML204
- 9) ตู้อบความร้อน ยี่ห้อ Memmert Germany รุ่น UF260
- 10) เครื่องทดสอบความแข็ง(Hardness) ยี่ห้อ Teclock Durometer Shore OO รุ่น GS-754G : Peak pointer type
- 11) เครื่องทดสอบแรงกด (Universal testing machine, UTM) รุ่น LR5K บริษัท ลอยด์อิน-สตูเมนท์ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12) ชุดทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)

13) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) บริษัท Carl Zeiss จำกัด รุ่น Evo 10-15-71

ตารางที่ 3.1 ปริมาณสารเคมีสำหรับการขึ้นรูปโพลีเอทิลีน

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

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลีเอทิลีน

1) ทำการชั่งสารตามสูตรผสมดังตารางที่ 3.1 ลงในถ้วยพลาสติก

2) ทาน้ำยาล้างจานเพื่อให้ปลดชิ้นงานออกได้ง่ายโดยไม่ทำให้พื้นผิวเสียหาย และเตรียมการฝังของแข็ง (เซลล์มะเร็ง, เนื้องอก และซิสต์) โดยมัดก้อนของแข็งกับเส้นด้าย และทำการผูกกับแคลมป์เพื่อให้ก้อนของแข็งรอยอยู่เหนือแม่พิมพ์ 1 เซนติเมตร ดังภาพที่ 3.1a

3) เทน้ำยางชั้นใส่ภาชนะสำหรับปั่นกวน เติมโพลีเอทิลีนโอลิเอต ซึ่งเป็นอิมัลซิไฟเออร์เป็นอันดับแรกเพื่อทำการปั่นกวนทำให้เกิดฟองที่เสถียร แสดงดังภาพที่ 3.1b

4) ปรับระดับความเร็วของการปั่นกวนเป็นระดับ 1 (ระดับต่ำสุด) ระหว่างการปั่นกวนทำการหมุนภาชนะปั่นกวนอย่างช้าๆ เพื่อให้ได้ฟองอากาศที่มีขนาดเล็ก และใช้ไม้พายช่วยผสมกำจัดฟองอากาศที่มีขนาดใหญ่เมื่อสังเกตว่าน้ำยางที่ทำการปั่นกวนมีฟองอากาศที่มีความสม่ำเสมอเป็นเวลา 10 นาที

5) เติมสารละลายกำมะถัน, ZDEC, ZMBT และ Wingstay L ในภาชนะปั่นกวนโดยทำการรีบหมุนภาชนะปั่นกวนแล้วเทสารเคมีลงไปเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้สารเคมีกระจายตัวได้ดียิ่งขึ้นโดยใช้ระดับความเร็วในการปั่นกวนเดิมเป็นเวลา 1 นาที

6) เติม DPG, ZnO รีบหมุนภาชนะปั่นกวน และใช้ไม้พายช่วยในการผสมเพื่อให้เกิดการกระจายตัวที่ดีเป็นเวลา 1 นาที เติม SSF ปั่นกวน 30 วินาที

7) ปาดฟองหน้าแม่พิมพ์ให้เรียบเพื่อความสวยงาม ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดการเซ็ตตัว ดังภาพที่ 3.1c

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) นำไปอบในตู้อบที่ อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมงเพื่อให้โฟมยางธรรมชาติเกิดการวัลคาไนซ์

9) แกะโฟมยางออกจากแม่พิมพ์ Fiber glass



(a)

(b)

(c)

ภาพที่ 3.1 การขึ้นรูปแบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

(a) การเตรียมการฝังก้อนของแข็ง (b) การเติมโพแทสเซียมโอเลตสำหรับการปั่นกววน และ (c) เทโฟมยางธรรมชาติพร้อมปาดผิวหน้าให้เรียบ

3.3.2 การศึกษาพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านม

- การศึกษาพัฒนาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

ทำการทดลองเหมือน 3.3.1 แต่เปลี่ยนเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์เป็นปริมาณ 3, 5, 7, 9 และ

11 นาที

- การศึกษาพัฒนาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

ทำการทดลองเหมือน 3.3.1 แต่เปลี่ยนปริมาณอิมัลซิไฟเออร์เป็น 10, 15 และ 20 phr

3.3.3 การเตรียมยางซิลิโคน

1) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยง ตามตารางที่ 3.2

2) ผสมสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคนเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทลงแม่พิมพ์เหล็กสำหรับกดอัดขึ้นรูป (Mold) โดยมีแผ่นใสรองเพื่อความเรียบของชิ้นงานพร้อมทาน้ำยาล้างจาน ดังภาพที่ 3.2b

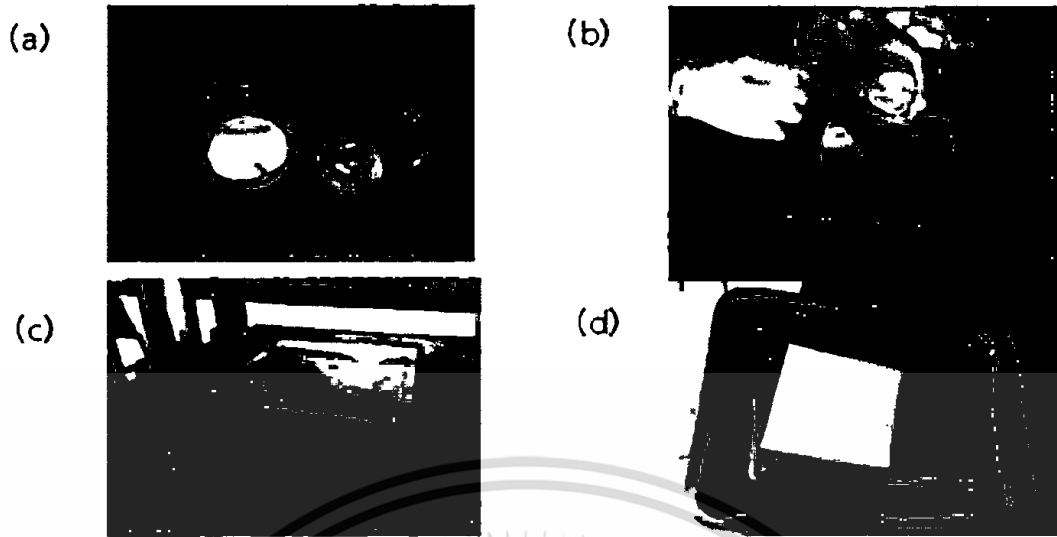
3) นำแผ่นใสปิดยางซิลิโคนด้านบนแล้วตามด้วยแม่พิมพ์แผ่นเหล็กด้านบนแล้วนำเข้าเครื่อง Compression โดยให้ความร้อน 70°C ดังภาพที่ 3.2c

4) นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ อบที่อุณหภูมิ 100°C เวลา 2 ชั่วโมง ได้ชิ้นงานดังภาพที่ 3.2d

ตารางที่ 3.2 ปริมาณยางซิลิโคนและสารเชื่อมโยง

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

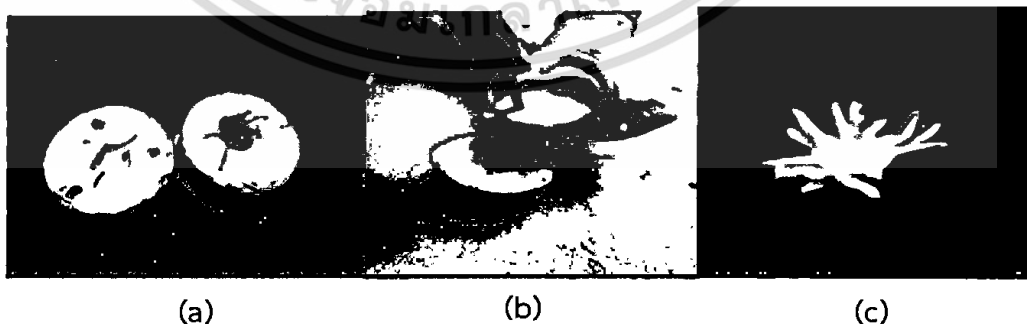


ภาพที่ 3.2 การเตรียมยางชิลิโคน (a) ยางชิลิโคนและสารเชื่อมโยง (b) ผสมสารเชื่อมโยงกับยางชิลิโคน (c) นำเข้าเครื่อง Compression molding และ (d) ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยการกดอัด

### 3.3.4 การเตรียมก้อนของแข็งด้วยยางชิลิโคนแทนก้อนมะเร็ง, ซีสต์และเนื้องอก

#### • การเตรียมก้อนมะเร็ง

- 1) ชั่งยางชิลิโคนและสารเชื่อมโยง ตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr
- 2) ใช้น้ำยาล้างจาน (Mold release) เทใส่แม่พิมพ์ด้านที่ต้องการเทยางชิลิโคน ดังภาพที่ 3.3a
- 3) ประคบแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์แล้วผสมยางชิลิโคนกับสารเชื่อมโยงเป็นเวลา 1 นาที เทยางชิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วเข้าแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 3.3b
- 4) ทิ้งให้ยางชิลิโคนแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง 1 ชม. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 5) เปิดแม่พิมพ์ออก แกะชิ้นงานด้วยความระมัดระวัง (เนื่องจากชิ้นงานค่อนข้างมีความซับซ้อน) ดังภาพที่ 3.3c



ภาพที่ 3.3 การเตรียมก้อนมะเร็ง (a) ใช้น้ำยาล้างจานทาแม่พิมพ์ก้อนมะเร็ง (b) เทยางชิลิโคนเข้า แม่พิมพ์ และ (c) แบบจำลองก้อนมะเร็ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเตรียมซีสต์และเนื้องอก

1) ชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยง 3 phr และน้ำมันซิลิโคน 20 phr (เนื้องอก), 50 phr (ซีสต์) ตามตารางที่ 3.2

2) ทำการผสมยางซิลิโคนและน้ำมันซิลิโคนกับสารเชื่อมโยงแล้วเทเข้าถุงมือยาง ดังภาพที่ 3.4a

3) ใช้ยางวงลัดยางซิลิโคนที่เทลงไปให้เป็นรูปทรงกลมที่บริเวณนิ้วของถุงมือยางอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีพร้อมปลดชิ้นงานออกจากถุงมือ ดังภาพที่ 3.4

4) ชั่งยางซิลิโคน และสารเชื่อมโยงดังตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr ทารอบยางซิลิโคน ก้อนกลม (เฉพาะซีสต์)



ภาพที่ 3.4 การเตรียมซีสต์และเนื้องอก (a) ทำการเทยางซิลิโคนเข้าถุงมือยาง (b) ลัดถุงมือด้วยหนังยาง และ (c) แบบจำลองซีสต์ และเนื้องอก

### 3.3.5 การศึกษาสมบัติของยางซิลิโคน

- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารเชื่อมโยงกับยางซิลิโคน

- ทำการทดลองเหมือน 3.3.3 เพื่อหาค่าต่างๆ ดังนี้ ดังตารางที่ 3.2

- ความแข็งแรงดึง - มอดุลัส 100

- การยืด ณ จุดขาดลดลง - ความแข็งกด

- ความแข็งแรงฉีกขาด

- ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคน

- ทำการทดลองเหมือน 3.3.3 และเตรียมสารดังตารางที่ 3.2 แต่ใช้สารเชื่อมโยง 3 phr

### 3.3.6 การทดลองฝังก้อนของแข็งทำจากยางซิลิโคนแทน ก้อนมะเร็ง, ซีสต์ และเนื้องอก

ทำการทดลองเหมือน 3.3.4 แต่เปลี่ยนขนาดแม่พิมพ์ 2 ขนาด 1 และ 2 เซนติเมตร

### 3.3.7 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโคมยางธรรมชาติด้วยยางซิลิโคน

- การทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

- ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยง และน้ำมันซิลิโคน ตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคน ปริมาณ 40 phr ทาที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านมโดยทาสีที่เข้มกว่าบริเวณหัวนม และทาโทนสีที่อ่อนกว่าบริเวณเต้านม ดังภาพที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.5 การทายางซิลิโคนที่แม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

- นำไปอบที่อุณหภูมิ 100°C 2 ชั่วโมง
- ทำการทดลองเหมือน 3.3.1 และทำการเทโฟมยางธรรมชาติลงแม่พิมพ์ที่ทำการทายางซิลิโคน
  - การหล่อแบบสลัซซ์
    - ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนที่มีสีเข้มกว่าบริเวณเต้านมตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 40 phr ทำการผสมแล้วทายางซิลิโคนบริเวณหัวนม
    - ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โทนสีอ่อนกว่าบริเวณหัวนม และสารเชื่อมโยงแล้วเทลงบนแม่พิมพ์ให้ได้ความหนาตามต้องการถ้ามียางซิลิโคนมากไปใช้วิธีการตักออกแล้วทิ้งให้ยางซิลิโคนกระจายเรียบไปกับแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 3.6

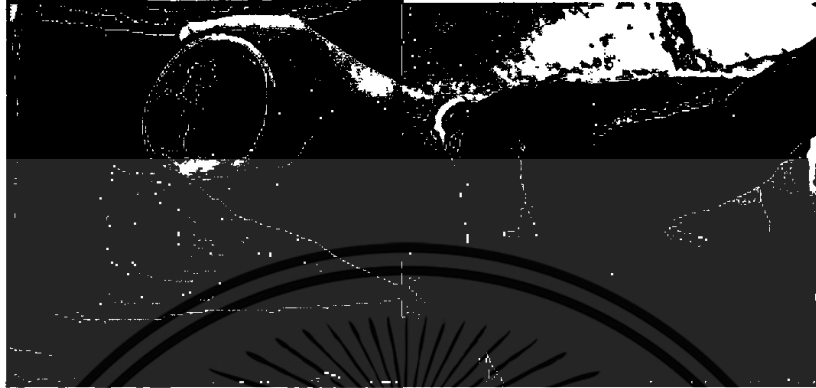


ภาพที่ 3.6 การหล่อแบบสลัซซ์

- นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C เพื่อเร่งการเชื่อมโยงและอบที่อุณหภูมิ 100°C
- ทำการทดลองเหมือน 3.3.1 และทำการเทโฟมยางธรรมชาติลงแม่พิมพ์ลงบนแม่พิมพ์ที่หล่อแบบด้วยวิธีสลัซซ์
  - การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมเป็นตัวกด
    - นำแม่พิมพ์ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C
    - ทำการชั่งยางซิลิโคน, สารเชื่อมโยงและน้ำมันซิลิโคนโทนสีเข้มกว่าบริเวณเต้านมตามตารางที่ 3.2 แต่ใช้น้ำมันซิลิโคนปริมาณ 40 phr ทาบนบริเวณหัวนม
    - ทำการผสมยางซิลิโคนกับน้ำมันซิลิโคนที่โทนสีอ่อนกว่าบริเวณหัวนมและสารเชื่อมโยงแล้วทาบริเวณเต้านม (ขั้นที่ 1) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C 15 นาที ทำการทาขั้นที่ 2 นำไปอบ 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เทียงซิลิโคนที่ผสมสารเชื่อมโยงแล้วลงแม่พิมพ์ตามด้วยแบบจำลองมะเรียงเต้านมจากโคมยางธรรมชาติกดทับยางซิลิโคนให้กระจายตัวทั่วแม่พิมพ์ใช้น้ำหนักกด 3 กิโลกรัม เป็นตัวกดแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70°C ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองมะเรียงเต้านมโคมยางธรรมชาติเป็นตัวกด

### 3.4 การทดสอบสมบัติของชิ้นงาน

#### 3.4.1 การทดสอบความหนาแน่น

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

$$\text{จากสูตร } D = M / V$$

โดยที่  $D$  คือความหนาแน่น ( $\text{g/cm}^3$ )

$M$  คือน้ำหนักของชิ้นงาน (g)

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

#### 3.4.2 การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1425-2540 [39] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางพองน้ำลาเท็กซ์ โดยการเตรียมชิ้นทดสอบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยให้ความกว้างและความยาวเป็นสองเท่าของความหนา วัดความหนาของชิ้นทดสอบในแนวตั้งฉากกับระนาบของชิ้นทดสอบ 3 ตำแหน่ง โดยที่ไม่มีแรงกด แล้วหาค่าเฉลี่ยความหนาของชิ้นทดสอบ ( $t_1$ ) จากนั้นนำชิ้นทดสอบไปวางในชุดทดสอบ แล้วเลื่อนแผ่นชุดทดสอบทั้งสองเข้าหากัน จนกระทั่งชิ้นทดสอบถูกกดจนมีความหนาลดลง 50% ของความหนาเดิม ปล่อยให้ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง นำชิ้นทดสอบออกจากชุดทดสอบ ตั้งทิ้งไว้ให้คืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วทำการวัดความหนาของชิ้นทดสอบ ( $t_2$ ) นำค่าความหนาที่วัดได้มาคำนวณหาค่าการจัดตัวจากแรงอัด

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

โดยที่  $t_1$  คือความหนาเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ (cm)

$t_2$  คือความหนาของชิ้นทดสอบหลังการทดสอบ (cm)

$t_n$  คือความหนาของแท่งเหล็กกัน (cm)

#### 3.4.3 การทดสอบความแข็ง (Hardness test)

การทดสอบความแข็งนี้ดัดแปลงมาจากมาตรฐาน ASTM D 2240 [40] โดยเตรียมชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด  $12 \times 12 \text{ cm}^2$  และทดสอบชิ้นงานที่ความหนา 6 cm โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกด Shore OO ใช้น้ำหนักกด 464.5 กรัม กดเป็นเวลา 5 วินาทีก่อนอ่านค่า โดยแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดห่างกันอย่างน้อย 0.6 mm

#### 3.4.4 การทดสอบการหดตัว (Shrinkage)

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

จากสูตร เปอร์เซ็นต์การหดตัว =  $[(A-B)/A] \times 100$

โดยที่ A แทนเส้นผ่านศูนย์กลางของแม่พิมพ์ (cm)

B แทนเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของชิ้นพองน้ำ (cm)

#### 3.4.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา

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

## บทที่ 4

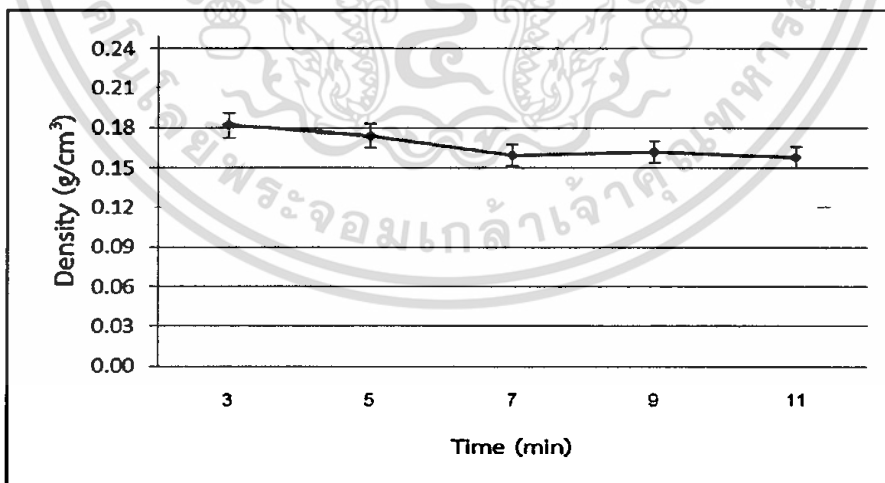
### ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพัฒนาสูตรโพลีเอทิลีนเพื่อขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม โดยศึกษาปัจจัยบางประการ เช่น เวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์และปริมาณของอิมัลซิไฟเออร์ให้แบบจำลองมีความนิ่มเหมือนจริงรวมถึงการฝังก้อนมวล ได้แก่ ก้อนมะเร็ง, เนื้องอก และก้อนซิสต์ มีการพัฒนาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพลีเอทิลีนด้วยยางซิลิโคนเพื่อให้แบบจำลองมีความสวยงามมากขึ้น

#### 4.1 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของโพลีเอทิลีน

##### 4.1.1 ศึกษาผลของเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์

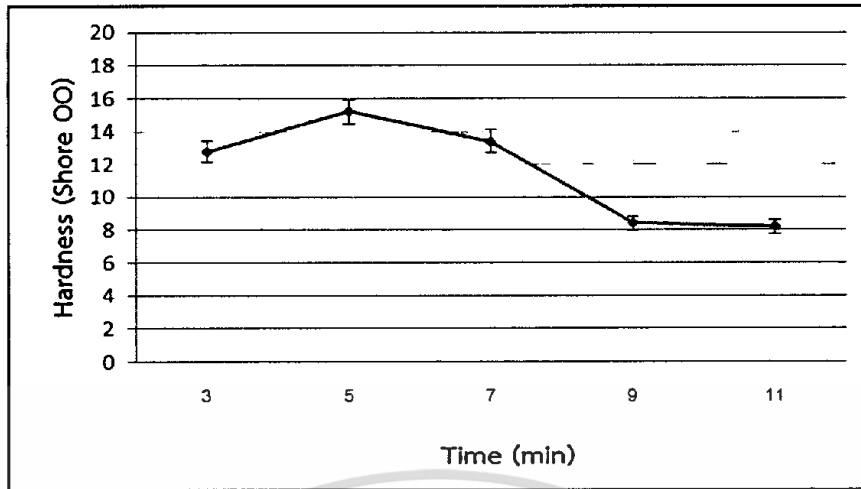
จากการศึกษาผลของเวลาการปั่นอิมัลซิไฟเออร์พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนมากขึ้นความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนลดลง ดังภาพที่ 4.1 เนื่องจากอากาศสามารถแทรกเข้าไปในโพลีเอทิลีนได้มากขึ้นหรือเกิดฟองยางได้มากขึ้นมีขนาดฟองเล็ก ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งส่งผลให้ค่าความแข็ง (Hardness) ลดลง ดังภาพที่ 4.2 และสัมพันธ์กันกับค่าความแข็ง คือ เมื่อความหนาแน่นลดลงค่าความแข็งลดลง อย่างไรก็ตามเวลาการปั่นกวนที่น้อยเกินไปได้ฟองยางขนาดใหญ่มีความเสถียรน้อยอาจแตก หรือฟองมารวมกันทำให้ความแข็งแรงของผนังฟองยางมีน้อยจึงมีค่าความแข็งลดลง และเมื่อผนังฟองมีความแข็งแรงมากขึ้นค่าความแข็งเพิ่มขึ้นที่เวลาการปั่นกวน อิมัลซิไฟเออร์ 5 นาทีแล้วลดลงเมื่อเวลาการปั่นเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากได้ฟองยางขนาดเล็ก



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความหนาแน่นของโพลีเอทิลีนเทียบกับเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์

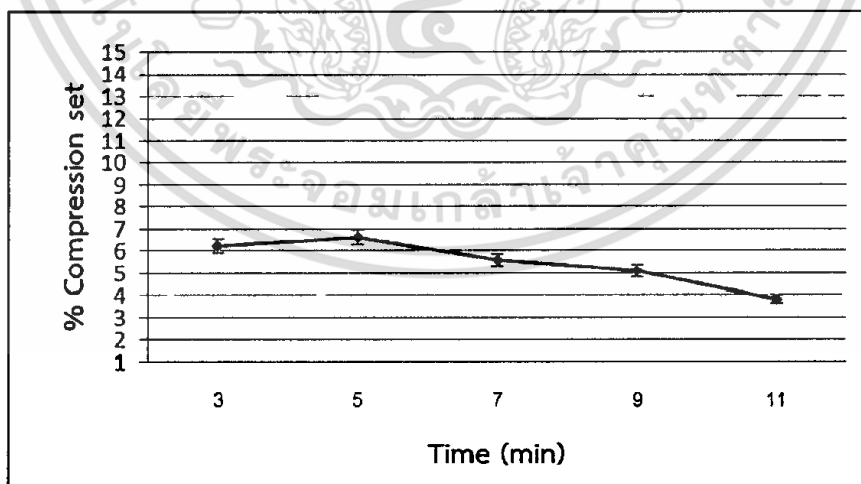
ตารางที่ 4.1 ภาพสัณฐานวิทยาของโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเมื่อใช้เวลาการบ่มกวนอิมัลชันไฟเออร์ที่แตกต่างกัน

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



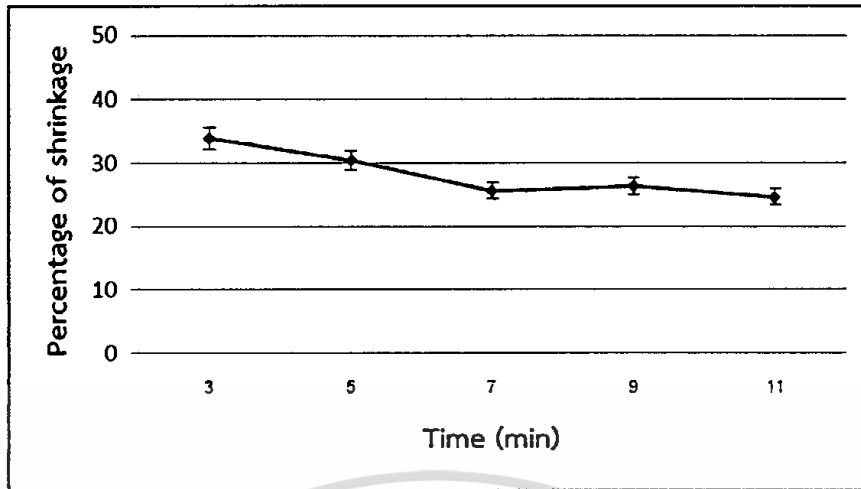
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีแนวโน้มคงที่ ดังภาพที่ 4.3 เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการปั่นทำให้ฟองยางเล็กส่งผลให้ผนังของฟองมีโอกาสบางกว่าผนังของฟองที่มีขนาดใหญ่ ดังตารางที่ 4.1 ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการเชื่อมโยงยังสามารถแพร่เข้าไปทำให้มีประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังสามารถคงรูปฟองยางได้ดีมีเปอร์เซ็นต์การหดตัวลดลง ดังภาพที่ 4.4 เนื่องจากการหดตัวของโฟมยางเกิดจากการระเหยของน้ำแต่เมื่อมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงที่มีประสิทธิภาพฟองยางสามารถคงรูปได้ดีมีการหดตัวที่ลดลง จากการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการปั่นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ คือ 9 นาที



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโฟมยางธรรมชาติเทียบกับเวลาการปั่นกวนอิมัลซิไฟเออร์

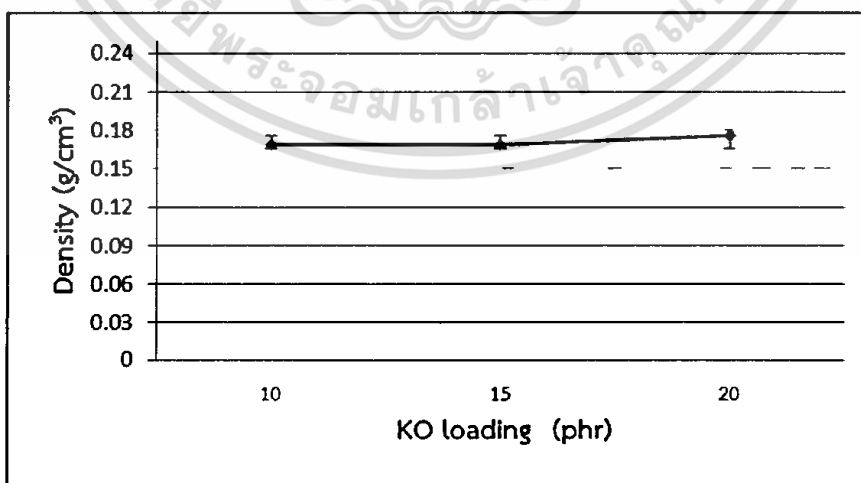
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์หดตัวของโพลีโพรพิลีนเทียบกับเวลาการปั่นกวอนอิมัลซิไฟเออร์

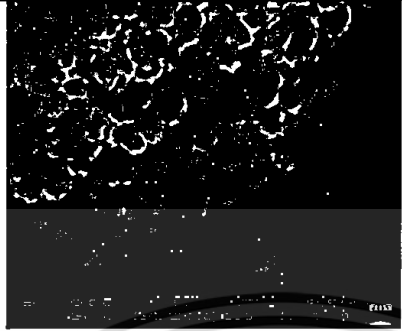
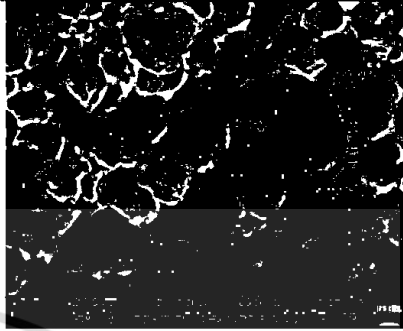

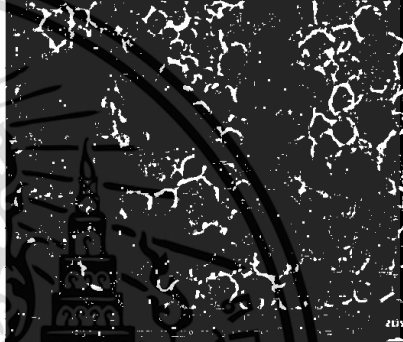

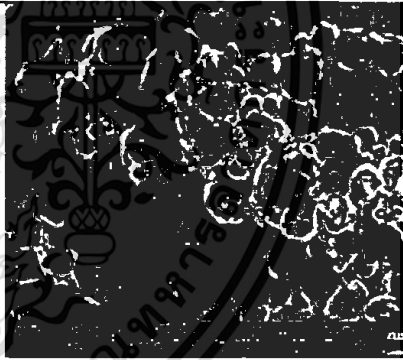
#### 4.1.2 ศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

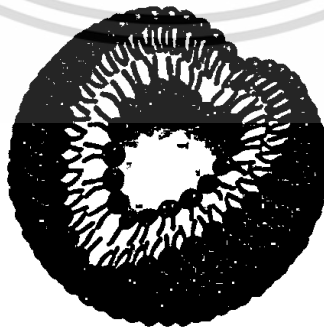
จากการศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิไฟเออร์พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตความหนาแน่นของโพลีโพรพิลีนมีแนวโน้มคงที่ ดังภาพที่ 4.5 และเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์จาก 10 phr เป็น 15 phr ค่าความแข็งโพลีโพรพิลีนลดลง ดังภาพที่ 4.7 เนื่องจากที่ปริมาณ 10 phr อาจมีปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ที่ไม่เพียงพอต่อการทำให้ฟองยางเกิดความเสถียร ฟองยางจึงมีโอกาสที่จะแตกมารวมกันได้เกิดการกระจายตัวของฟองไม่ดีทำให้มีความแข็งที่สูงกว่าที่ปริมาณ 15 phr และเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตเป็น 20 phr ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอาจเนื่องมาจากมีปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่มากเกินไป ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโพแทสเซียมโอเลตเป็น 2 ชั้น (Bilayers) ดังภาพที่ 4.6 [27] ซึ่งทำให้ความเสถียรของฟองยางลดลง และแตกออกเป็นบางส่วนในโพลีโพรพิลีน ดังตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งจึงเพิ่มสูงกว่าที่ปริมาณ 15 phr



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความหนาแน่นของโพลีโพรพิลีนเทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์

ตารางที่ 4.2 ภาพสัณฐานวิทยาของโพลียเอทิลีนเมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตแตกต่างกัน

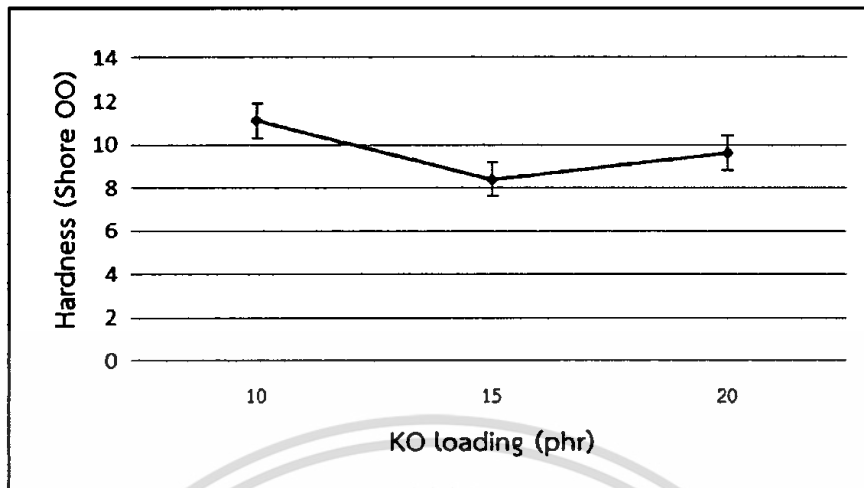
ปริมาณ KO (phr)	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ (SEM)	
	10X	20X
10		
15		
20		



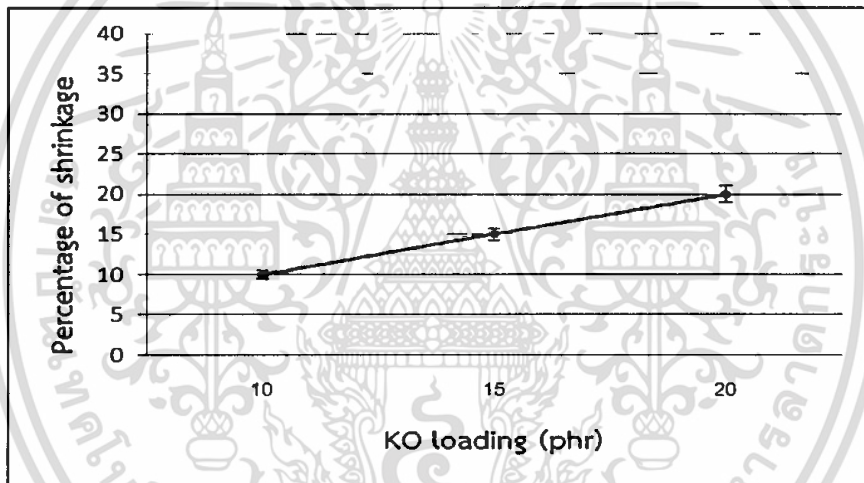
ภาพที่ 4.6 การจัดเรียงตัวของอิมัลซิไฟเออร์เป็น 2 ชั้น (Bilayers)

ที่มา: อธิธิพล แจ่มชัด, 2557.

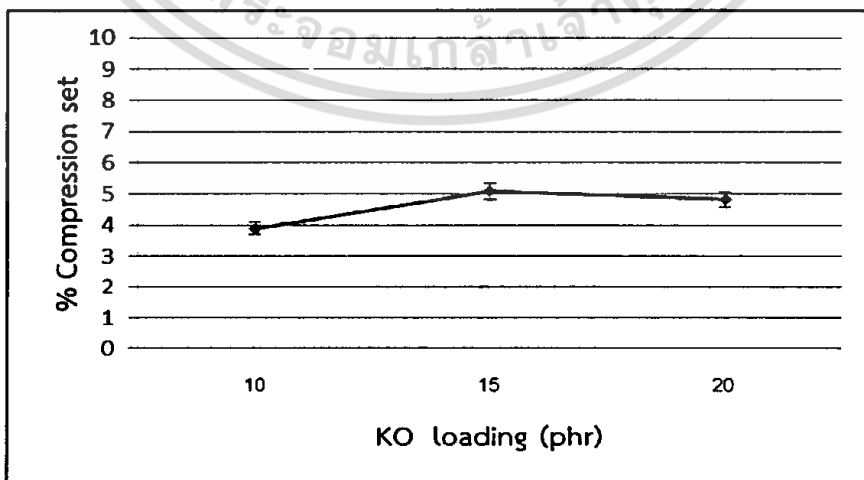
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความแข็งพื้นผิวของโพลียเอทิลีน เททราฟลูออไรด์เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์



ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวของโพลียเอทิลีน เททราฟลูออไรด์เทียบกับปริมาณอิมัลซิไฟเออร์



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดของโพลียเอทิลีน เททราฟลูออไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณอิมัลซิไฟเออร์ หรือโพแทสเซียมโอเลตค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.8 เนื่องจากอิมัลซิไฟเออร์มีส่วนประกอบของน้ำ 90% การเพิ่มอิมัลซิไฟเออร์จึงเปรียบเสมือนเป็นการเพิ่มน้ำลงไปมากขึ้น ทำให้น้ำระเหยได้มากยิ่งขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวจึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีแนวโน้มคงที่

#### 4.2 การขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีน

จากการศึกษาสูตรโพลียเอทิลีนพบว่าสูตรที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง และตรงกับความต้องการของแพทย์มากที่สุด ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งเป็นสูตรที่มีความแข็งประมาณ 8 (Hardness Shore OO)

ตารางที่ 4.3 สูตรโพลียเอทิลีนที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลียเอทิลีนที่มีความแข็งใกล้เคียงกับความเป็นจริง

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

#### 4.3 ศึกษาการขึ้นรูปผิวเคลือบแบบจำลองโพลียเอทิลีนด้วยซิลิโคน

จากการศึกษาพบว่าโพลียเอทิลีนสามารถเกิดการออกซิเดชัน (Oxidation) ได้ง่าย ทำให้ความแข็งเปลี่ยนแปลงจึงมีการทดลองการเคลือบผิวด้วยซิลิโคน เนื่องจากยางซิลิโคนมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเนียนสวยงามมีความยืดหยุ่นสูง และง่ายต่อการขึ้นรูปด้วยวิธีต่างๆ เช่น การทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์, การหล่อแบบสลัซซ์, การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ประกบเพื่อให้ได้ผิวเคลือบที่มีความบางสม่ำเสมอเรียบเนียนสวยงาม

#### 4.3.1 การทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

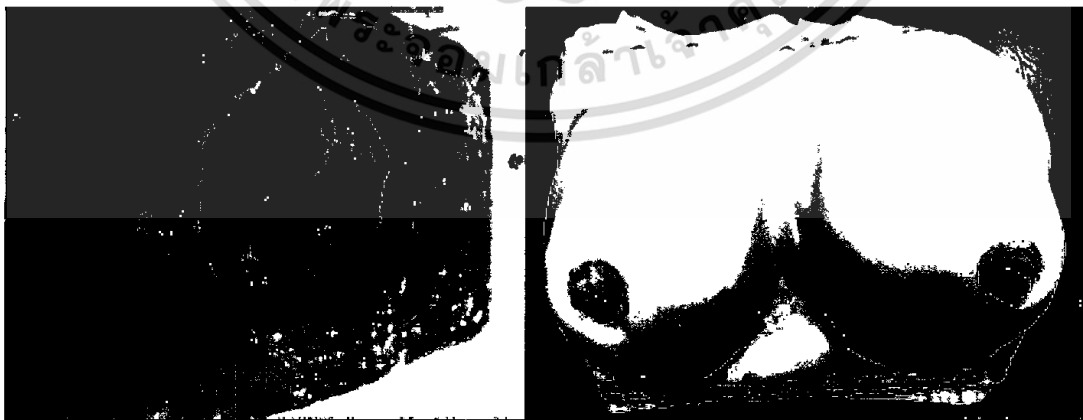
จากการทดลองพบว่าวิธีนี้ได้ชั้นผิวเคลือบยางซิลิโคนที่มีความบางของชั้นผิวไม่สม่ำเสมอ มีลักษณะขรุขระซึ่งยากต่อการตรวจคลำ วิธีนี้เป็นการขึ้นรูปแบบจำลองโดยเทโพลียาธรรมชาติภายหลังการทายางซิลิโคนเพื่อทำผิวเคลือบซึ่งโพลียาธรรมชาติมีการหดตัวทำให้ลักษณะเต้านมที่ทำการเคลือบซิลิโคนเกิดการยุบตัวมีลักษณะภายนอกของแบบจำลองเต้านมไม่สวยงาม ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์แบบจำลองมะเร็งเต้านม

#### 4.3.2 การหล่อแบบสลัซซ์

จากการทดลองพบว่าวิธีการหล่อแบบสลัซซ์ได้ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากยางซิลิโคนมีความเหลวไหลย้อยลงที่ต่ำทำให้ความหนาไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ยากต่อการตรวจคลำหาก้อนมวล และเป็นการขึ้นรูปแบบจำลองโดยเทโพลียาธรรมชาติภายหลังการทายางซิลิโคนเพื่อทำผิวเคลือบ ซึ่งโพลียาธรรมชาติมีการหดตัวทำให้มีลักษณะภายนอกไม่สวยงามเหมือนวิธีการทายางซิลิโคนกับแม่พิมพ์ ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการหล่อแบบสลัซซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกด

จากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปด้วยวิธีการใช้แม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกดได้ชั้นผิวเคลือบซิลิโคนที่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากใช้แบบจำลองโฟมยางที่มีการหดตัวเรียบร้อยแล้วเป็นตัวกดเพื่อให้ได้ชั้นความหนาของซิลิโคนตามรูปร่างแม่พิมพ์ และมีการควบคุมความหนาโดยใช้การทายางซิลิโคนให้ได้ความหนาตามต้องการกับแม่พิมพ์ 2 mm ตามด้วยเทียงซิลิโคนเพื่อขัดเซยส่วนที่ไม่เรียบ ดังภาพที่ 4.12 จึงทำให้วิธีการใช้แม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกดนั้นได้ความสม่ำเสมอของชั้นเคลือบเป็นวิธีที่เหมาะสมต่อการเคลือบแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านม



ภาพที่ 4.12 ผิวเคลือบยางซิลิโคนที่ได้จากวิธีการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ประกบโดยใช้แบบจำลองยางฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติเป็นตัวกด

#### 4.4 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

เนื่องจากการตรวจมะเร็งเต้านมหรือสิ่งผิดปกติบริเวณเต้านมมีท่าการตรวจดู 2 แบบ คือแบบนอนและแบบยืน จึงมีการพัฒนาแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติจากแบบตั้งโต๊ะเป็นแบบชุดสวมเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น ดังภาพที่ 4.13 และสะดวกต่อการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ในการสอนการตรวจคลำเต้านมในท่าลักษณะต่างๆ



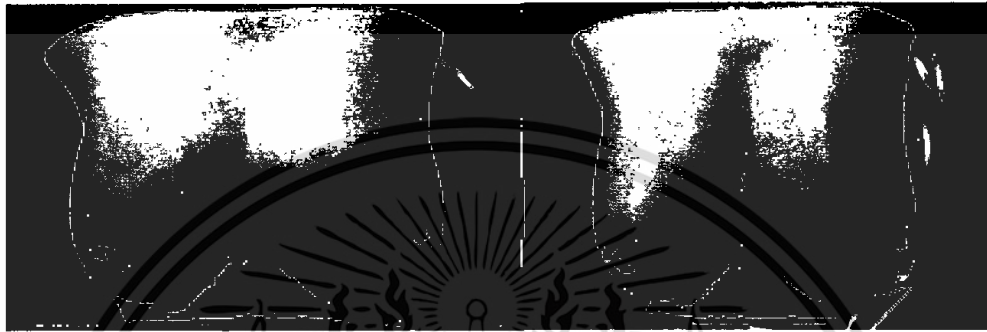
(a) แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมแบบตั้งโต๊ะ (b) แบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมแบบชุดสวม

ภาพที่ 4.13 การพัฒนารูปแบบการใช้งานแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโฟมยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านม

เมื่อได้แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติที่มีทั้งแบบไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคนและเคลือบด้วยยางซิลิโคน ดังภาพที่ 4.14 ที่มีลักษณะรูปร่างและความแข็งของแบบจำลองเต้านมพร้อมก้อนมวลที่ทำการฝังด้านในแบบจำลองมีความตรงตามความต้องการของแพทย์ผู้ใช้งาน จากนั้นทำการประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์โรงพยาบาลรามธิบดี



a) แบบจำลองไม่เคลือบซิลิโคน

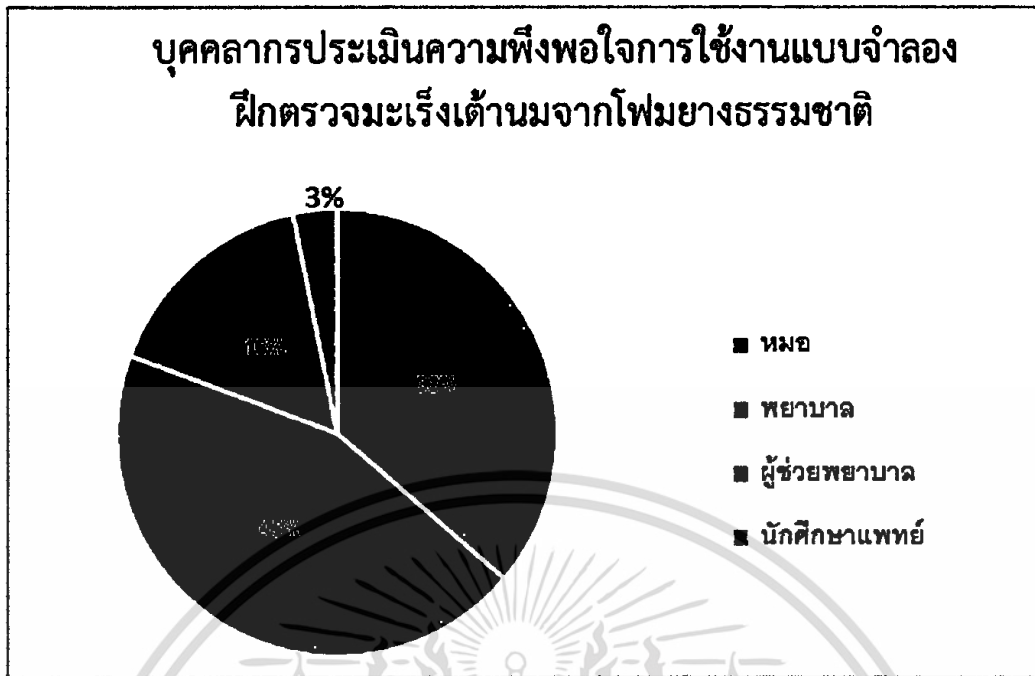
b) แบบจำลองเคลือบซิลิโคน

ภาพที่ 4.14 แบบจำลองยางฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ใช้ในการทำแบบประเมินความพึงพอใจ

ที่มาผลประเมินความพึงพอใจในการใช้งานแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมดังนี้

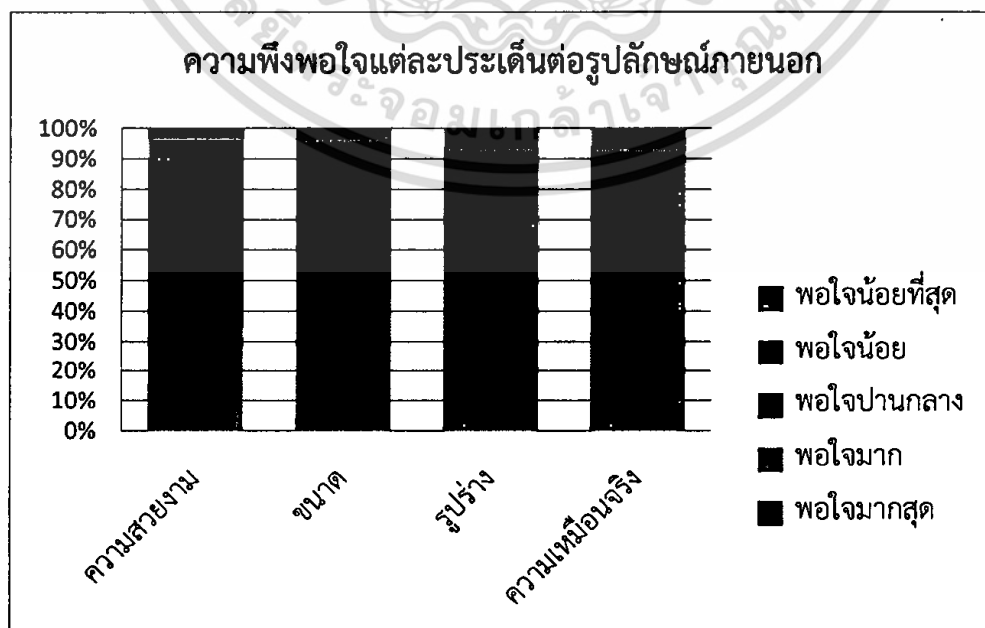
- หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D คลินิก ศัลยกรรมเต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามธิบดี
- หอผู้ป่วยไอ.ซี.ยู (ICU) หอผู้ป่วย 4 สถาบันมะเร็งแห่งชาติ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมของบุคลากรทางการแพทย์ ดังภาพที่ 4.14 เป็นเพศหญิง 47% และเพศชาย 53% สมรสแล้ว 70% และโสด 30% มีอายุส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 20-40 ปี รวมทั้งหมด 32 คน

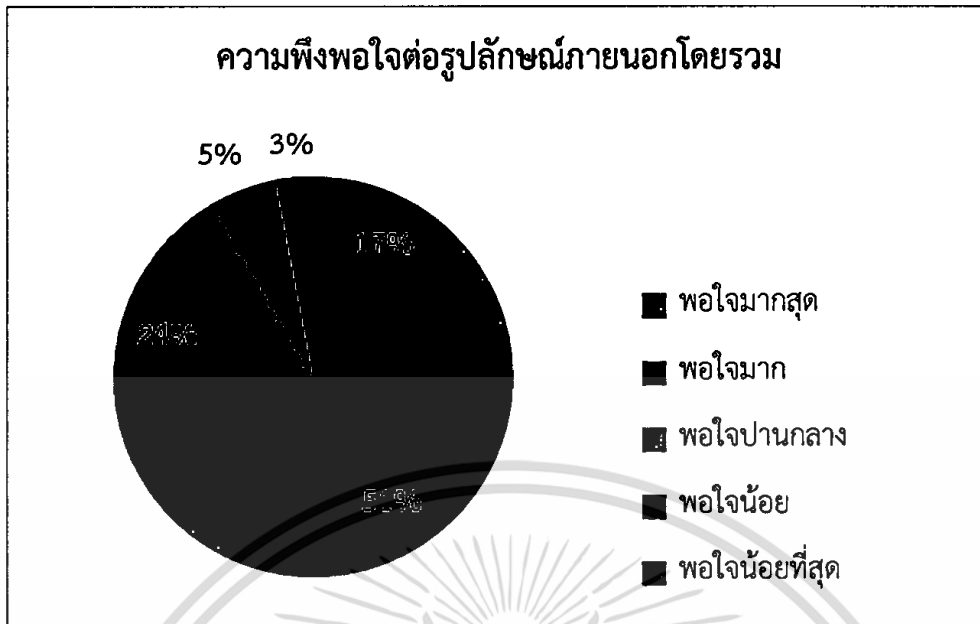


ภาพที่ 4.15 การประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม  
ของบุคลากรทางการแพทย์

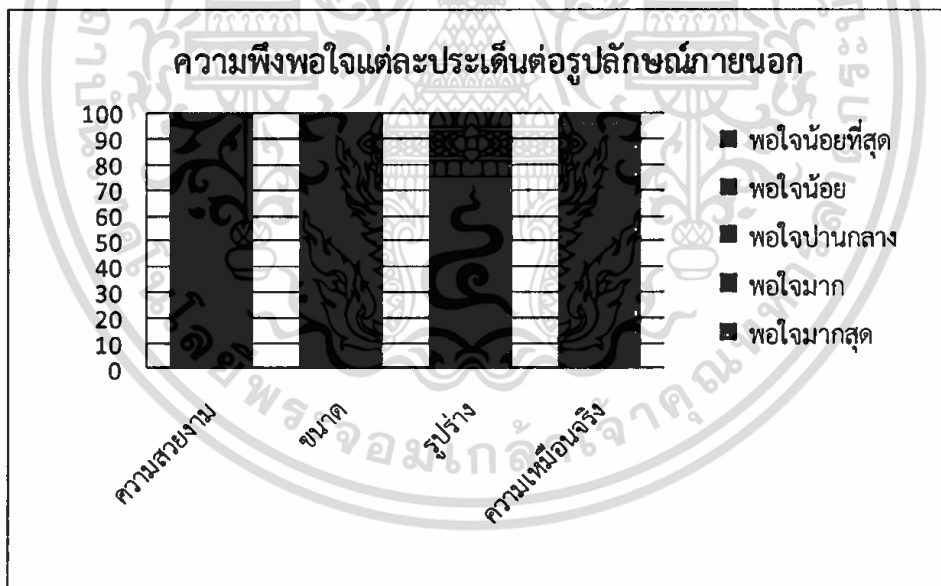
จากการประเมินผลการตอบแบบสอบถาม พบว่าบุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณะภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมแบบเคลือบซิลิโคนมากกว่าไม่เคลือบซิลิโคน เนื่องจากแบบเคลือบซิลิโคนมีลักษณะภายนอกที่สวยงามมากกว่าใกล้เคียงความเป็นจริง อีกทั้งบุคลากรทางการแพทย์ยังเล็งเห็นถึงความทนทานของแบบเคลือบด้วยซิลิโคน และการเก็บรักษาทำความสะอาดที่ทำได้ง่ายกว่าแบบไม่เคลือบซิลิโคน ดังภาพที่ 4.16 และ 4.17



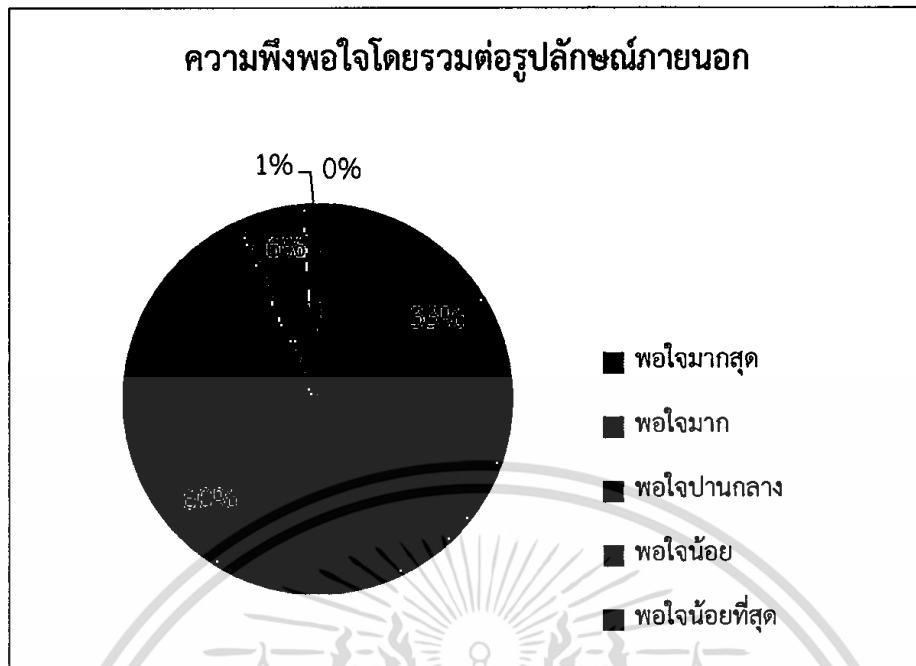
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลอง  
ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมียงธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

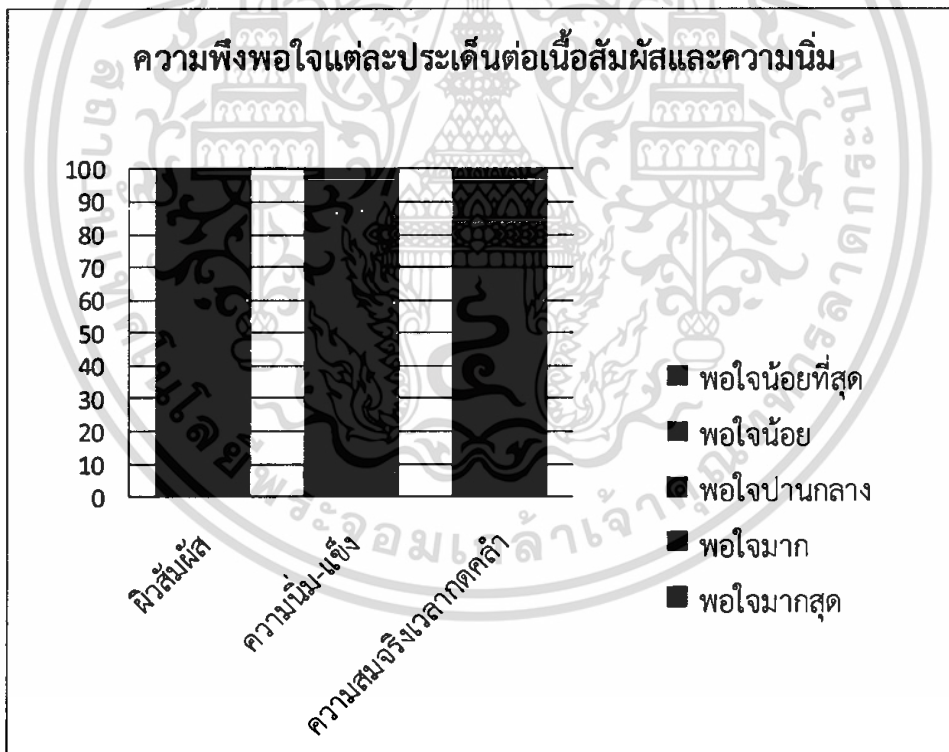
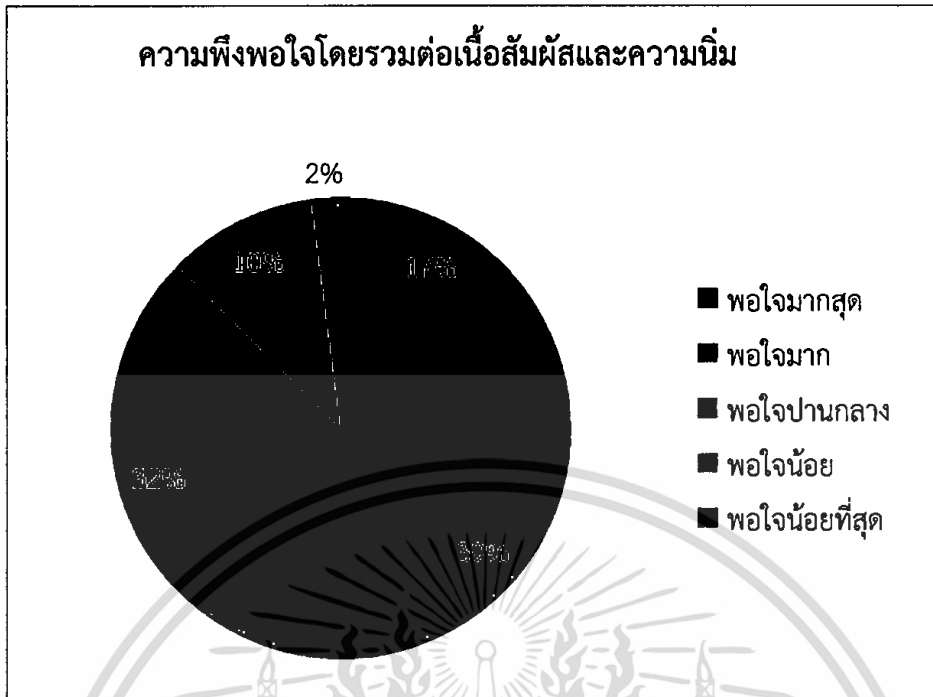


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



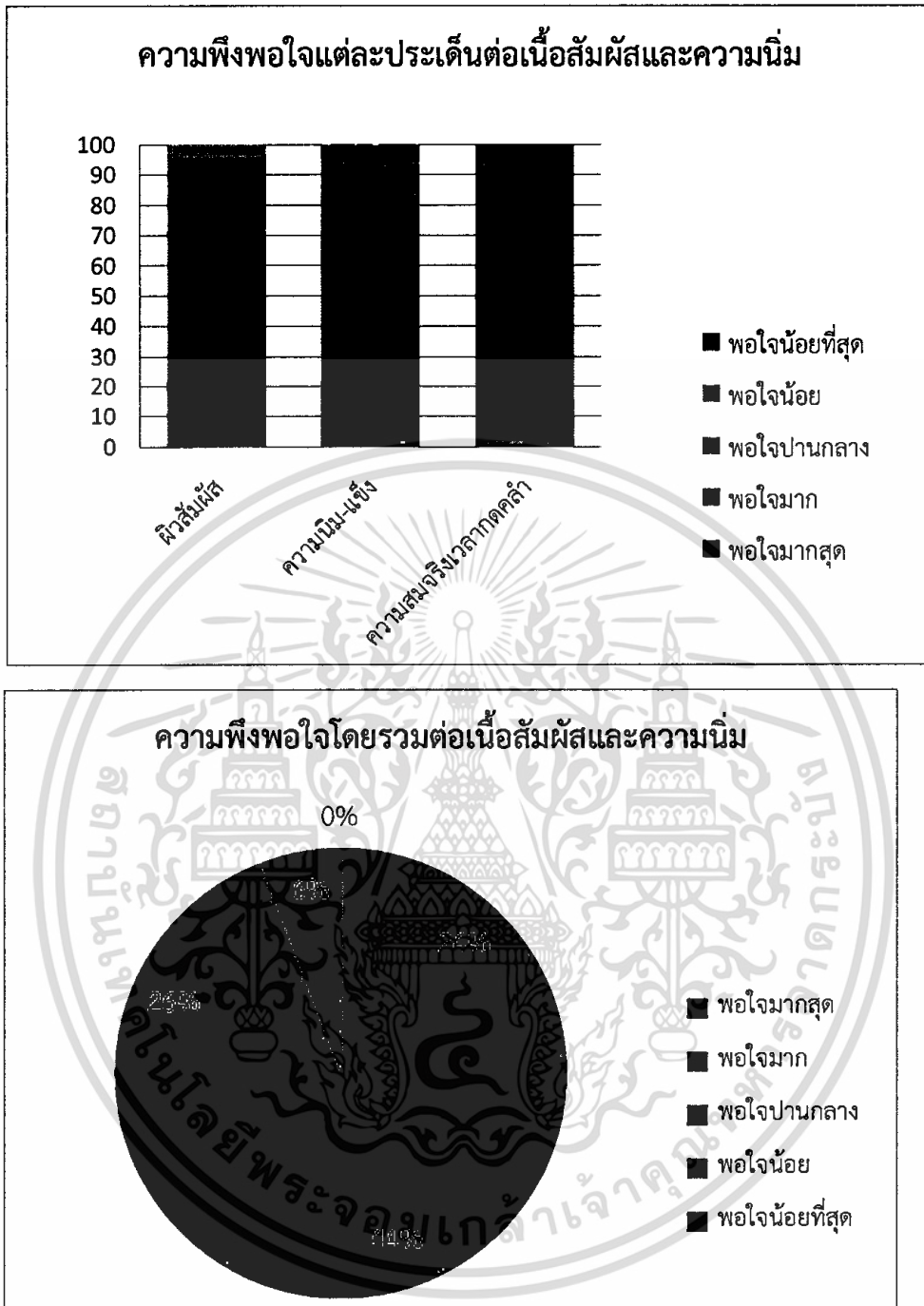
ภาพที่ 4.17 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลอง  
ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมียงธรรมชาติเคลื่อนด้วยยางซิลิโคน

ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัส และความนิยมเชิงพบว่า บุคลากรทางการแพทย์พอใจกับแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมที่ทำจากโคมียงธรรมชาติเคลื่อนด้วยยางซิลิโคนมากกว่าแบบไม่เคลื่อนด้วยยางซิลิโคน เนื่องจากแบบจำลองที่เคลื่อนด้วยยางซิลิโคนมีความเรียบบริเวณพื้นผิวสัมผัสมากกว่าพื้นผิวโคมียงธรรมชาติแบบไม่เคลื่อนด้วยยางซิลิโคนที่มีลักษณะหยาบจึงอยู่ในเกณฑ์ที่มีความพอใจมากกว่า ดังภาพที่ 4.18 และ 4.19 อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่เคลื่อนด้วยยางซิลิโคนต้องมีการทำแบ่งตลอดเพื่อป้องกันการเหนียวติดมือ



ภาพที่ 4.18 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อนือสัมผัส และความนิ่มของแบบจำลอง ผักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

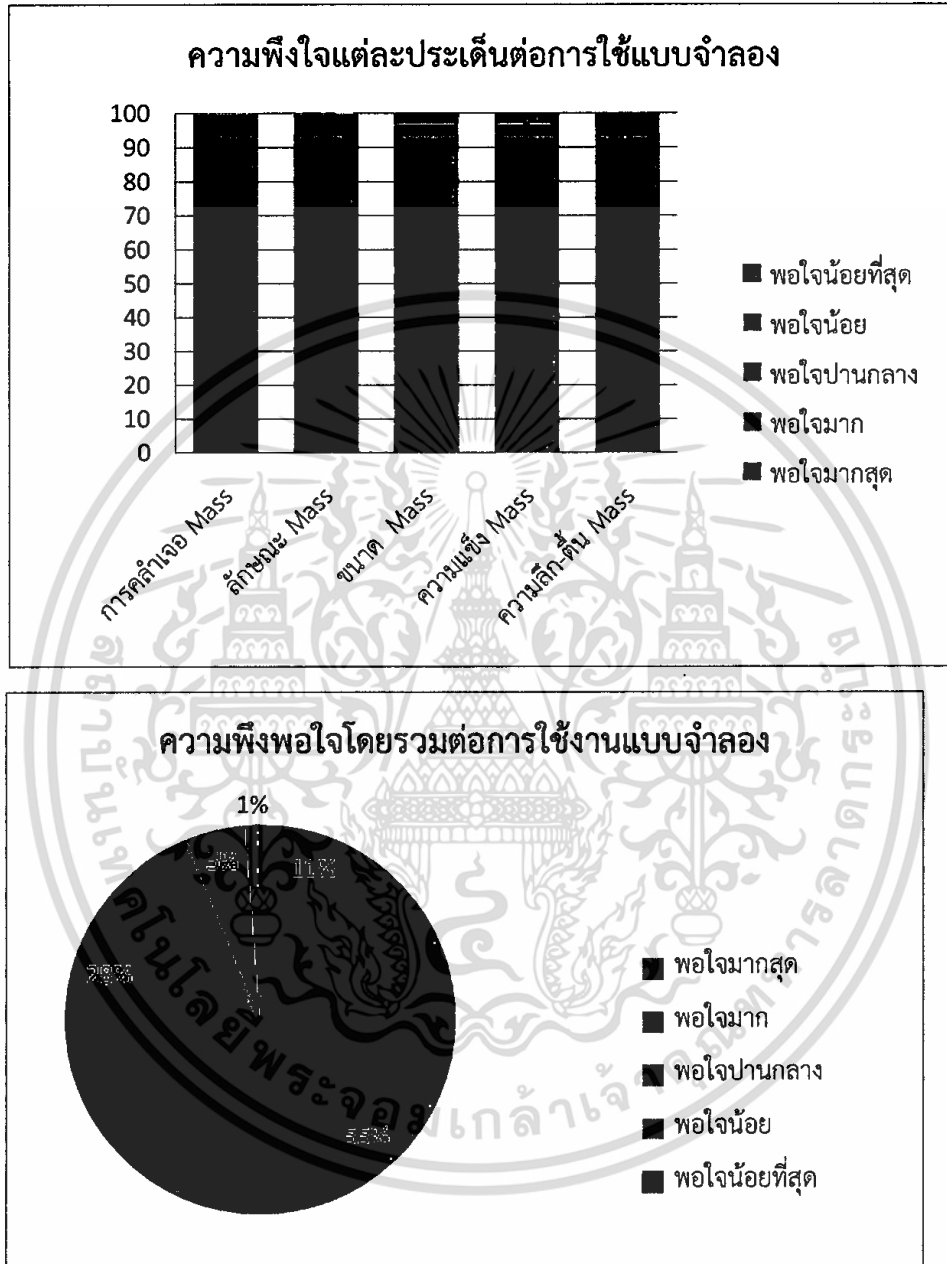


ภาพที่ 4.19 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อน้ำส้มฝัสด และความนึ่งของแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติเคลือบด้วยยางซิลิโคน

จากการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้แบบจำลองบุคลากรทางการแพทย์สามารถค้นหาก้อนมวลเจอทั้งแบบเคลือบด้วยยางซิลิโคนและไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน สามารถแยกชนิดของก้อนมวลได้ในบุคลากรทางการแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญมากทั้งขนาดก้อน 1 และ 2 เซนติเมตร ความแข็งและความ

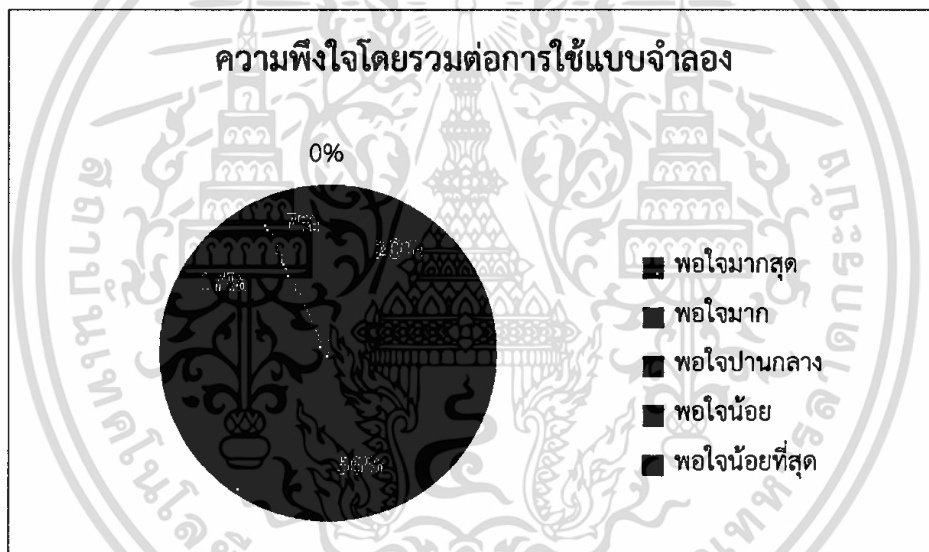
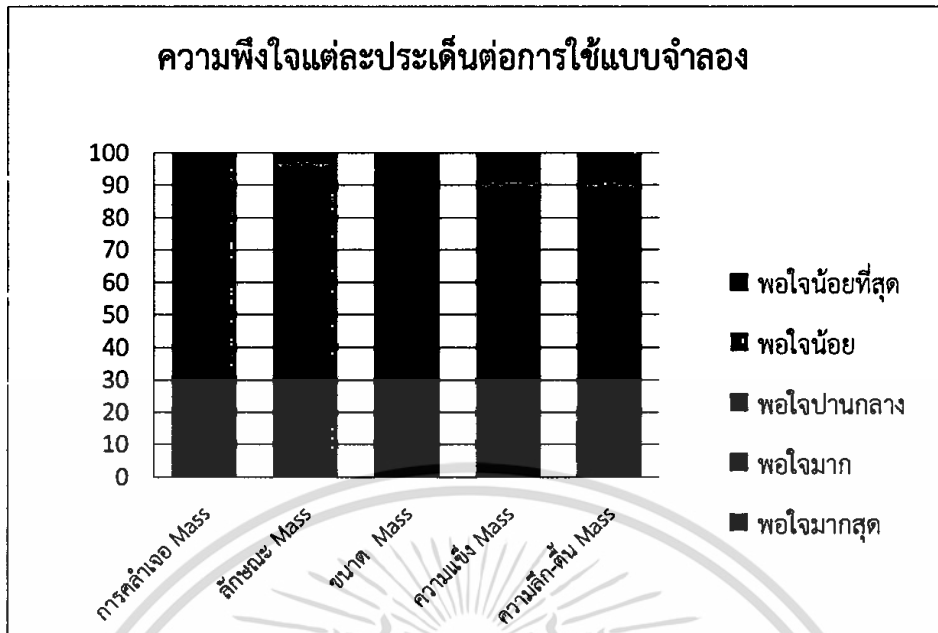
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมจริงของความรู้สึก-ตื่นของก่อนมวलयอยู่ในเกณฑ์ที่พอใจมากสามารถค้นหาเจอได้ ดังภาพที่ 4.20 และ 4.21



ภาพที่ 4.20 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง  
ฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยงธรรมชาติไม่เคลือบด้วยยางซิลิโคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.21 กราฟการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง  
ฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลยางธรรมชาติเคลือบด้วยซิลิโคน

จากการประเมินพบว่าบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจกับแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลยางธรรมชาติแบบเคลือบซิลิโคนมากกว่าแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโพลยางธรรมชาติแบบไม่เคลือบซิลิโคน เนื่องจากแบบเคลือบซิลิโคนมีความสวยงามมากกว่าและมีผิวสัมผัสที่นุ่ม สามารถทำความสะอาดได้ง่าย ซึ่งง่ายต่อการใช้งานมากกว่าแบบจำลองไม่เคลือบซิลิโคนที่เป็นผิวของโพลยางธรรมชาติที่สามารถทำความสะอาดได้ยากกว่าอีกทั้งส่วนที่เป็นโพลยางธรรมชาติเมื่อเวลาผ่านไปจะมีสีของโพลยางที่เปลี่ยนไปเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพเป็นสีเหลืองหรือน้ำตาลทำให้ดูไม่สวยงาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสูตรโพนียงธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปแบบจำลองมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ ให้มีความเสมือนจริงทั้งความนุ่ม และขนาดรูปร่างแบบจำลองให้มีความสวยงาม และศึกษาสูตรยางซิลิโคน ในการเคลือบผิวชั้นนอกแบบจำลองด้วยยางซิลิโคน รวมทั้งออกแบบขนาดรูปร่างและความแข็งของก้อนมวลให้มีความเหมือนจริงพร้อมฝังในแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านม และทำแบบสอบถามเพื่อประเมินความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ผู้ใช้งาน ซึ่งจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

##### ตอนที่ 1 การศึกษาสูตรโพนียงธรรมชาติ

- การศึกษาเวลาการปั้นโพแทสเซียมโอเลต (KO) พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาการปั้นจนทำให้ความหนาแน่น และความแข็งของโพนียงธรรมชาติลดลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าคงที่ และเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าลดลง

- เวลาที่ใช้ในการปั้นอิมัลซิไฟเออร์ที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ คือ 9 นาที

- การศึกษาปริมาณโพแทสเซียมโอเลต พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมโอเลตความหนาแน่นมีแนวโน้มคงที่ และความแข็งของโพนียงธรรมชาติลดลงเมื่อใช้ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตในปริมาณที่เหมาะสม จากการทดลองค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวมีค่าเพิ่มมากขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัดมีค่าคงที่

- ปริมาณโพแทสเซียมโอเลตที่เหมาะสมในการขึ้นรูปแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ คือ 15 phr

ตอนที่ 2 การทำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติ

- บุคลากรทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอกของแบบจำลองฝึกตรวจมะเร็งเต้านมจากโพนียงธรรมชาติแบบเคลือบด้วยซิลิโคนมากกว่าไม่เคลือบด้วยซิลิโคน เนื่องจากมีความเสมือนจริง และความนุ่มต่อผิวสัมผัสที่ดีกว่าไม่เคลือบด้วยซิลิโคน

- บุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลองมากสามารถตรวจคลำหาก้อนมวลภายในแบบจำลองได้ และสามารถแยกความแตกต่างระหว่างก้อนซิสต์, มะเร็ง และเนื้องอกได้

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) เพิ่มลักษณะภายนอกเต้านมให้มีความหลากหลาย เช่น หัวนมบอด, แผลบริเวณเต้านม และ

เนื้อเยื่อ (ลักษณะผิวหนังหยาบ) ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

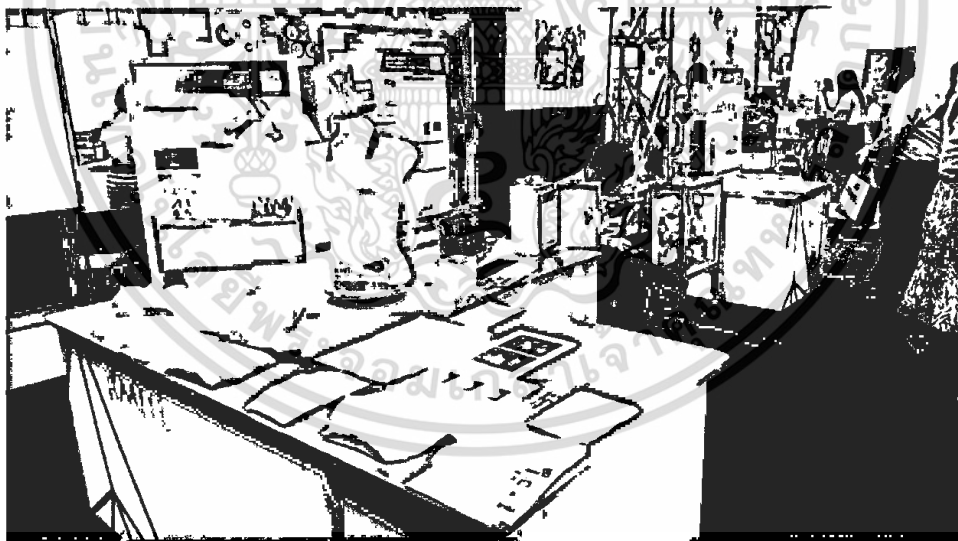
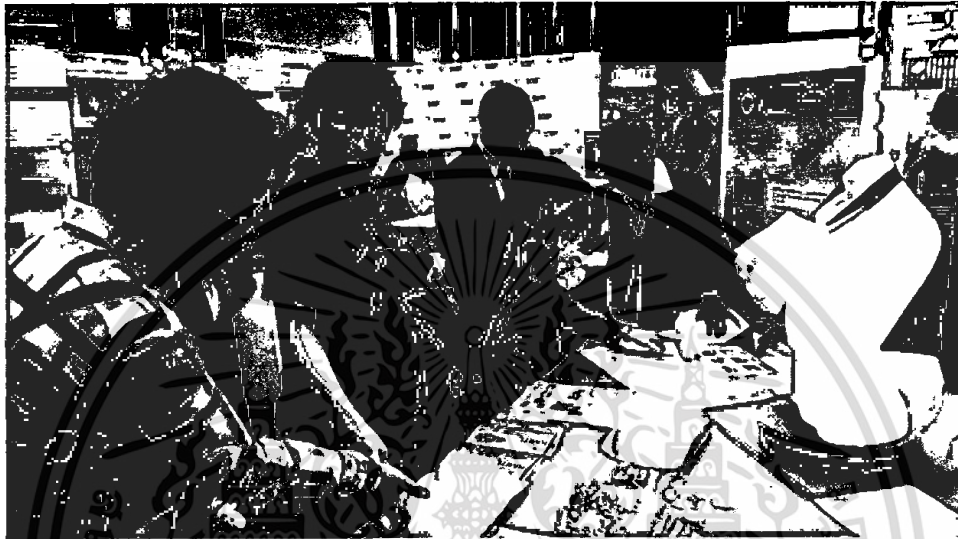
- 2) ปรับปรุงแบบการฝังก้อนมวลให้สามารถถอดเปลี่ยนสลับตำแหน่งได้
- 3) ปรับปรุงลักษณะก้อนมะเร็ง เช่น ให้มีรูปร่างการแตกแขนงของก้อนมะเร็งให้ยาวมากขึ้น และปรับปรุงลักษณะของก้อนซิสต์ให้เคลื่อนที่ได้มากขึ้นเมื่อทำการตรวจคลำ
- 4) ทดลองใช้งานจริงตามโรงพยาบาลต่างๆ หรือผู้ที่สนใจ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

ผู้วิจัยได้จัดการนำเสนอผลงานวิจัย ในงานมหกรรมงานวิจัยแห่งชาติ (Thailand research expo 2016) ระหว่างวันที่ 17-21 สิงหาคม 2559 ของสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้วิจัยได้จัดการนำเสนอผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ ในงานวันวิทยาศาสตร์ ระหว่างวันที่ 14-17 สิงหาคม 2559 ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ยอดยิ่ง วาสฤติย์ สาขาคล้ายศาสตร์ศิระชะ คอและ เต้านม ภาควิชาคล้ายศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล.2555. เรื่องที่น่ารู้และข้อควรปฏิบัติสำหรับผู้ป่วยมะเร็งเต้านม. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราช
- [2] Rubber.sc.mahidol. 2559. ยางธรรมชาติ. [Online] Available : <http://rubber.sc.mahidolac.th/rubbertech/rubbertech.htm>
- [3] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ 2559. น้ำยางที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย. [Online]. Available : <https://www.mtec.or.th/index.php/2013-05-29-09-06-21/2013-05-29-09-3949/773->
- [4] Nstda. 2559. กรดไนโตรเจนระเหยได้. [Online]. Available : <http://www.nstda.or.th/nstda-r-and-d/10021-treatment-nitrate>
- [5] Gotoknow.org 2559. ความเสถียรของคอลลอยด์. [Online]. Available : <https://www.gotoknow.org/posts/291823>.
- [6] Ng.Chew.Sum. 1979. Chemical used in preservation in Latex and Rubber Analysis, RRIM, 33.
- [7] Finn, J. 2011 .Selection, use of water-based dispersions in latex, Rubber World, 243.
- [8] thailandindustry. 2559. สูตรน้ำยางคอมปาวด์. [Online]. Available : <http://thailandindustry.com/guru/view.php?id=19286&section=9&rcount=Y>
- [9] Gorton, A.D.T. and Pendle, T.D. 1981. Dispersion particle size in natural rubber latex technology, Part 1 Particle size distributions of various compounding ingredients, in NR Technology, MRPRA, Volume 12, Part 1, 1, 7.
- [10] Blackley, D.C., 1997. Polymer Latices Science and Technology, Volume 3 : Applications of Latices, 2nd Edition, Chapman&Hall, 229-233.
- [11] Rubbercenter.org 2559. สมบัติของยางฟองน้ำ. [Online]. Available : <http://www.rubbercenter.org/files/foam.pdf>
- [12] Bmroller 2559. คุณสมบัติที่ใช้ทดสอบยาง. [Online]. Available : <http://www.bmroller.com>
- [13] Rubberthai 2559. น้ำยางการผลิตตุ๊กตาฟอง. [Online]. Available : <http://www.rubberthai.com/information/product/dall2.htm>
- [14] Technicchan 2559. การออกสูตรยาง. [Online]. Available : [http://www2.Technicchan.ac.th/~polymer/index.php?option=com\\_content&task=view&id=38&Itemid=56](http://www2.Technicchan.ac.th/~polymer/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=56)
- [15] วิริยะ ทองเรือง, ยงยุทธ รุกขชาติสุวรรณ, เจริญยุทธ เดชวาทกุล และจิตระดา สุนโท. 2547. การพัฒนากระบวนการผลิตโฟมยางธรรมชาติ. กรุงเทพฯ : สถาบันยาง.

- [16] Thaimisc.pukpik 2559. รายละเอียดเกี่ยวกับการทำฟองน้ำยาง. [Online]. Available : <http://thaimisc.pukpik.com/freewebboard/php/vreply.php?user=rubber&topic=920>
- [17] Gorton, A.D.T. 1988. Evaluation of a New Activator/ Accelerator in Natural Rubber Latex, in NR Technology, MRPRA, Volume 19, Part 4, 62-67.
- [18] Siamglove 2559. สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตกัมภ์จากยางพารา. [Online]. Available : <http://www.siamglove.com/%E0%B8%96%E0%B8%B8%E0%B8%87%E0%B8%A1%E0%B8%B7%E0%B8%AD/chemical-for-rubber.html>
- [19] rubber-mold. 2011. สารเคมีสำหรับยาง. [Online]. Available : <http://rubber-mold.blogspot.com/2011/05/blog-post.html>
- [20] อธิพล แจ่มชัด. 2557. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียาง.ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [21] Fallows, J. C. 1982. Moulded Latex Foam in Polymer Latices and Their Applications, Edited by Calvert, K.O., Applied Science Publishers, 207-215.
- [22] Km.rubber. 2011. การเกิดเจลของน้ำยาง. [online]. Available : [http://km.rubber.co.th/index.php?option=com\\_content&view=article&id=82:2011-04-19-02-17-13&catid=23:2011-04-19-02-31-23&Itemid=1](http://km.rubber.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=82:2011-04-19-02-17-13&catid=23:2011-04-19-02-31-23&Itemid=1)
- [23] An Introduction to Latex Foam Manufacture, NR Technical Bulletin. 2559. The Natural Rubber Producers Research Association, 2-5, 11-19.
- [24] Thomas, E. V. 1994. Foam Products Manufacturing Technology, in Rubber Products Manufacturing Technology, Edited by Bhowmick, A. K., Marcel Dekker Inc., 849-851.
- [25] Stem, H. J. 1967. Rubber, Natural and Synthetic 2nd Edition. Maclaren and Sons Ltd., 447.
- [26] วราภรณ์ ขจรไชยกูล และคณะ. (2529). การผลิตยางฟองน้ำ. เอกสารวิธีการผลิตยาง, ฉบับที่ 2, กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตกัมภ์จากยาง, ศูนย์วิจัยยางสงขลา, 13 -14.
- [27] Naturefoam 2559. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : <http://www.naturefoam.com/index.php?lay=show&ac=article&id=461181>
- [28] Rubbercenter 2559. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : <http://www.rubbercenter.org/thesis/thesisDetail.php?ID=525>
- [29] 2553. กระบวนการทาลาเลย์. [Online]. Available : [http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/1759/7/221944\\_ch2.pdf](http://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2553/1759/7/221944_ch2.pdf)
- [30] ยอดยิ่ง วาสฤติย์. สาขาคล้ายศาสตร์ศิริระ คอและ เต้านม ภาควิชาคล้ายศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล. 2555. การเกิดก้อนเนื้อในเต้านม. กรุงเทพฯ : คณะแพทยศาสตร์ศิริราช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] พวงทอง ไกรพิบูลย์. 2012. ก้อนในเต้านม Breast mass. [Online]. Available : <http://haamor.com>
- [32] 2559 มะเร็งเต้านม. [Online]. Available : [http://www.nci.go.th/th/Knowledge/index\\_cancer.html](http://www.nci.go.th/th/Knowledge/index_cancer.html)
- [33] Siamhealth. 2559. มะเร็งเต้านม. [Online]. Available : [http://www.siamhealth.net/public\\_html/Disease/cancer/breast/breast.html#.VPnEmHysWSo](http://www.siamhealth.net/public_html/Disease/cancer/breast/breast.html#.VPnEmHysWSo)
- [34] Chulacancer. 2559. การแบ่งระยะความรุนแรงของมะเร็งเต้านม. [Online]. Available : <http://www.chulacancer.net/patient-knowledge-inner.php?id=49>
- [35] Medinfo2.psu. 2559. ขั้นตอนการตรวจเต้านมด้วยตนเอง. [Online]. Available : [http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news\\_ca.php?newsID=38&typeID=18](http://medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_ca.php?newsID=38&typeID=18)
- [36] พรทิพย์ ประภาคมณีวงศ์, นุชนาฏ ณ ระนอง, ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, วิชาวี พัฒนกุล และสุนณา แจ่มเหมือน. "การพัฒนาสูตรและเทคนิคการผลิตยางฟองน้ำเพื่อลดต้นทุนการผลิตและสร้างเครื่องต้นแบบ." กลุ่มอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตร ส่วนอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง.
- [37] จุไรรัตน์ สุริยงค์, สุราษิณี ปันก้อ, กัลย์สุดา กาวโรจน์, เจนจิรา โนภีระ และรัชนิกร สุจริต. "เบาหวานพาราเพื่อสุขภาพ." โรงเรียนทางดงรัฐราษฎร์อุปถัมภ์ อำเภอทางดง จังหวัดเชียงใหม่.
- [38] ASTM D412-68 Committee on Standard. 1969. Standard Method of Tension Testing of Vulcanized Rubber. Philadelphia. American Society for Testing and Material.
- [39] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม. 2540. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่นอนยางฟองน้ำลาเทกซ์. มอก. 1425-2540.
- [40] ASTM D2240-05 Committee on Standard. 2010. Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness. Philadelphia. American Society for Testing and Material.

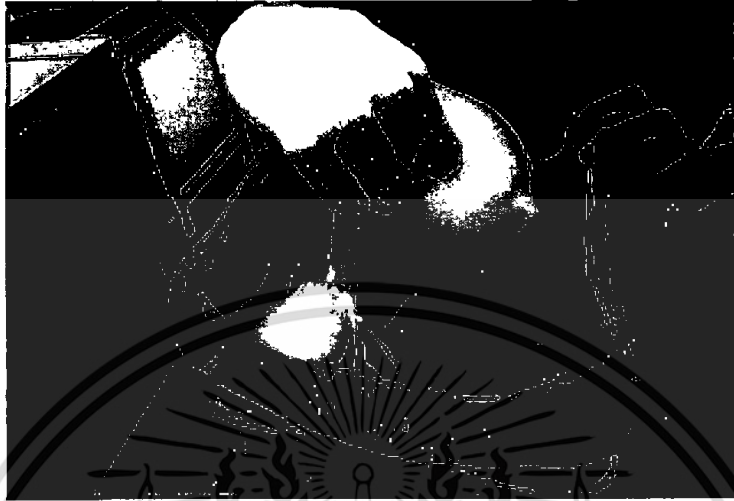


## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ภาพการถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์



ภาพที่ ก.1 ถอดแบบจำลองฝักตรวจมะเร็งเต้านมจากโคมยางธรรมชาติออกจากแม่พิมพ์

ตารางที่ ก.1 ความเร็วรอบของเครื่องปั่นกวนโคมยางธรรมชาติ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมิน



## แบบสอบถามประเมินความพึงพอใจต่อแบบจำลองที่มีกิจกรรมเร่งด้านมาจากโหมยงธรรมชาติ

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ใน  หน้าข้อความตามความเป็นจริงหรือเติมข้อความในช่องว่างให้สมบูรณ์

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นส่วนประกอบในการทำวิจัยเรื่อง “การออกแบบและสร้างแบบจำลองของกิจกรรมเร่งด้านม” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMUTT) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและสร้างแบบจำลองของกิจกรรมเร่งด้านม (Breast Cancer Training Model) จากยุทธศาสตร์ที่ตรงกับความต้องการ ใช้งานจริง ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในครั้งนี้จะถูกเก็บเป็นความลับ และไม่มีการแสวงหาชื่อของข้อมูล และผลการประมวลของ ข้อมูลจะถูกนำมาใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น

## ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ส่วนที่ 2 สอบถามความคิดเห็นต่อประเมินความพึงพอใจที่มีผลต่อแบบจำลองยางพาราตรวจสอบแรงต้าน**

**ตัวอย่างแบบจำลองที่ไม่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน**

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					ไม่สามารถประเมินได้
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	
<b>1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearance)</b>						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาด (ใหญ่ เล็ก)						
- รูปร่างลักษณะ (เช่น ความกว้าง ความสูง ความหนา ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
<b>2. ความพึงพอใจต่อเนื้อสัมผัสและความนิ่ม</b>						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นิ่ม (Hardness)						
- ความสมจริงเวลากดกด						
<b>3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง</b>						
- ความสมจริงในการคล้ำงก่อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของลักษณะของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของขนาดก้อนที่ฝังในแบบจำลอง ขนาด 1 เซนติเมตร ขนาด 2 เซนติเมตร						
- ความสมจริงของความแข็งของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของความตื้น-ลึกของก้อนที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองยางพาราตรวจสอบแรงต้านชนิดนี้ให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?  ใช่  ไม่ใช่ เพราะเหตุใด (โปรดระบุ)

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี) .....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตัวอย่างแบบจำลองที่เคลือบผิวด้วยซิลิโคน

ประเด็นความพึงพอใจ	ระดับความพึงพอใจ					ไม่สามารถประเมินได้
	4 พอใจมากที่สุด	3 พอใจมาก	2 พอใจปานกลาง	1 พอใจน้อย	0 พอใจน้อยที่สุด	
<b>1. ความพึงพอใจต่อรูปลักษณ์ภายนอก (Appearance)</b>						
- ความสวยงามโดยรวม						
- ขนาด (ใหญ่ เล็ก)						
- รูปร่างลักษณะ (เช่น ความกว้าง ความสูง ความนูน ฯลฯ)						
- ความเหมือนจริง						
<b>2. ความพึงพอใจต่อสัมผัสและความนุ่ม</b>						
- ความพึงพอใจในผิวสัมผัส (Texture)						
- ความพึงพอใจในความแข็ง-นุ่ม (Hardness)						
- ความทนจริงเวลากดคลำ						
<b>3. ความพึงพอใจต่อการใช้งานแบบจำลอง</b>						
- ความสมจริงในการเคลื่อนไหวของข้อที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของลักษณะของข้อที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของขนาดข้อที่ฝังในแบบจำลอง ขนาด 1 เซนติเมตร ขนาด 2 เซนติเมตร						
- ความสมจริงของความแข็งของข้อที่ฝังในแบบจำลอง						
- ความสมจริงของความตึง-ลึกลงของข้อที่ฝังในแบบจำลอง						

4. ถ้ามีแบบจำลองข้างที่ตรวจสอบเสร็จแล้วคุณให้ท่านใช้ ท่านยินดีที่จะใช้หรือไม่?  ใช่  ไม่ใช่ (โปรดระบุ)

5. ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแบบจำลอง (ถ้ามี) .....



ภาพที่ ข.1 หน่วยตรวจผู้ป่วยนอกศัลยกรรม ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพรัตน์ ชั้น 2 Zone D  
คลินิกศัลยศาสตร์เต้านมและต่อมไร้ท่อ คณะแพทยศาสตร์ โรงพยาบาลรามาธิบดี



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

## สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

ตารางที่ ค.1 สรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินโครงการวิจัย

หมวดค่าใช้จ่าย	งบประมาณรวมทั้งโครงการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)	คงเหลือ (หรือเกิน)
งบบุคลากร: ค่าจ้างชั่วคราว	100,000	100,000	0
งบดำเนินงาน			
ค่าตอบแทน	-	-	-
ค่าใช้สอย	95,000.00	76,700.00	18,300.00
ค่าวัสดุ	55,000.00	73,300.01	-18,300.01
ค่าสาธารณูปโภค	-	-	-
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-	-	-
รวม	250,000.00	250,000.01	-0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติผู้วิจัย

### ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล นายอิทธิพล แจ่มชัด

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา	วุฒิ	สาขาวิชา	สถาบัน	ประเทศ
2528-2531	วท.บ. (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

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา).....ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์..

### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. Z.Z. Bu, Y. Yoon, R.-M. Ho, W. Zhou, I. Jangchud, R.K. Eby, S.Z.D. Cheng, E.T. Hsieh, T.W. Johnson, R.G. Geerts, S.J. Palackal, G.R. Hawley, and M.B. Welch, "Crystallization, Melting, and Morphology of Syndiotactic Polypropylene Fractions : 3. Single Crystal Morphology and Chain Folding", Polymer, 29, 6575-6581 (1996).
2. โยธิน วงศ์ประเสริฐ, วิสุทธิ รุติรุ่งเรือง, อิทธิพล แจ่มชัด "คุณสมบัติของฟิล์มเพชรที่สังเคราะห์ด้วยก๊าซออกซีเทลิ้น", วารสารวิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 16 ฉบับที่ 2 มิถุนายน 2542 หน้า 140-144
3. อิทธิพล แจ่มชัด, "แนะนำเทคนิคใหม่ : AFM & STM", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2542 หน้า 5-11
4. อิทธิพล แจ่มชัด, "การศึกษาแรงด้วย Atomic Force Microscope (AFM)", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2542 หน้า 18-24
5. Ittipol Jangchud, Piyada Charoensirisomboon and Takashi Inoue "Morphological Study of Advanced COPNA / Nylon 6 Blends", Journal of Science Ladkrabang Vol.9 No.2 August 1999, pp
6. ปิยะวัน ตั้งสุวรรณวานิช, อิทธิพล แจ่มชัด และ วรธรรม อุ๋นจิตติชัย "การศึกษาพอลิเมอร์คอมโพสิตเส้นใยธรรมชาติจากไผ่ (ไผ่สีสุก)", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2542 หน้า 88-101
7. Ittipol Jangchud, Benya Sukying, and Sauvarop Limcharoen, "Plasma Surface Modification of Kevlar Short Fibers/ABS Composites", Polymer Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Society (PPS) Asia/Australia Regional Meeting 1999 Proceedings, Bangkok, Thailand, 1-3 December 1999, pp. 407-409.

8. Ittipol Jangchud, Laksanee Wongkampoo, Sawatree Pichadkitjawat, and Anuvat Jangchud "Study of Biodegradable Polymers from Natural Fillers : Wheat Gluten, Soy Protein, Peanut Protein, and Sodium Caseinate", Polymer Processing Society (PPS) Asia/Australia Regional Meeting 1999 Proceedings, Bangkok, Thailand, 1-3 December 1999, pp. 410-412.
9. ดร.อิทธิพล แจ่มชัด แพล, "คาร์บอน", บริษัทนานมีบุ๊คส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2542
10. ผศ.จินดา อุดชาชน, ผศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย, ดร.อิทธิพล แจ่มชัด, ดร.สุภารัตน์ จำปา, และ ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ แพล, "เคมี : หลักสูตรแห่งชาติระดับมัธยมศึกษา (GCSE) ของประเทศอังกฤษ", พิมพ์ครั้งที่ 2, บริษัทนานมีบุ๊คส์ จำกัด, กรุงเทพฯ, 2544
11. ลัดดาวัลย์ สุภาดี, รุ่งนภา จิตภักดี, อิทธิพล แจ่มชัด และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง, "การศึกษาการลดจุดบกพร่องของผลึกเพชรระหว่างการสังเคราะห์ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543
12. สันติ ชาตบุประชีวิน, นพดล สิทธิพล, อิทธิพล แจ่มชัด และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง, "การการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมต่อวงจรรวมกับหลอดทองคำโดยวิธีการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ" การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 38 สาขาวิศวกรรมศาสตร์, วันที่ 1-4 กุมภาพันธ์ 2543
13. นพดล สิทธิพล, คณรัตน์ วรรณภา, โยธิน วงศ์ประเสริฐ, ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ รศ.ดร. วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง, "การวิเคราะห์ฟิล์มเพชรด้วยเทคนิค Atomic Force Microscopy" การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1, วันที่ 10-11 มิถุนายน 2543, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 137-142
14. รุ่งนภา จิตภักดี, ลัดดาวัลย์ สุภาดี, ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และ รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง, "เทคนิคการลดการรบกวนจากผลึกข้างเคียงในการสังเคราะห์ผลึกเพชรด้วยวิธี HFCVD" การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 1, วันที่ 10-11 มิถุนายน 2543, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 322-327
15. อิทธิพล แจ่มชัด, "ไคโตซาน : พอลิเมอร์สารพัดประโยชน์จากธรรมชาติ", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม 2543 หน้า 27-33
16. Ittipol Jangchud, Somphop Lerluckanukul, and Woratham Oonjittichai, "Natural Fiber-Polymer Composites as Artificial Wood from Poly (Vinyl Chloride) (PVC) and Eucalyptus Fibers", International Polymer Symposium (IPS) 2001 Proceedings, October 16th -18th, 2001, Hat Yai, Thailand, p 896.
17. Ittipol Jangchud, Sajjachai Sajjathanasakul, and Boonharn Ou-udomying, "Study of Porous Pipes from High Density Polyethylene (HDPE) and Ground Rubber Tire (GRT)", International Polymer Symposium (IPS) 2001 Proceedings, October 16th -18th, 2001, Hat Yai, Thailand, p 890.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18. อัญชลีพร วาริทสวัสดิ์ หล่อทองคำ, อธิพิพล แจ่มชัด และกัญญาณี แสงเกียรติยศ “การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุผสมระหว่างผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์ เพื่อการผลิตท่อน้ำซึม”, วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 15 ฉบับที่ 44 สิงหาคม-พฤศจิกายน 2544 หน้า 81-89
19. Anchaleeporn W. Lothongkum, Ittipol Jangchud, Woratham Oonjittichai, and Wanniya Channarong, “Mechanical Properties of Untreated Natural Rubber Fibers-Reinforced Poly(vinyl Chloride) Composites : Effects of Fiber Content and Dioctyl Phthalate”, Engineering Journal Chiang Mai University, Vol.10, no.1 (2002), pp 1-8.
20. Woratham Oonjittichai, Songklod Jarusombuti, Ittipol Jangchud, Charat Chuayna, and Phornphimol Amornchot, “Biological Composites from Vetiver Grass as Wood Material Substitute”, การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 1-16.
21. อธิพิพล แจ่มชัด, วรณิยา ชาญณรงค์, และวรรณม อุ่นจิตติชัย, “ผลของปริมาณไม้และพลาสติกไซเซออร์ที่มีต่อสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตจากเส้นใยไม้อย่างพาราและพีวีซี”, การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 17-28.
22. อธิพิพล แจ่มชัด, อธิพัฒน์ อุณหโชค, พจนีย์ ศรธรรมลี, และวรรณม อุ่นจิตติชัย, “การศึกษาไม้เทียมพอลิเมอร์คอมโพสิตจากเส้นใยผักตบชวาและพอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำที่ใช้พอลิเอทิลีน-กราฟท์-มาลีอิกแอน-ไฮดรอกไซด์เป็นสารช่วยผสม”, การประชุมการป่าไม้ ประจำปี 2545 ด้านวัสดุทดแทนไม้, วันที่ 18-20 กันยายน 2545, หน้า 29-45.
23. Ittipol Jangchud and Anuvat Jangchud, “Study of Polymer Blend Films From Chitosan, Polyvinyl Alcohol and Ester-Modified Starch”, International Polymer Symposium (IPS) 2002 Proceedings, October 24th -26th, 2002, Bangkok, Thailand.
24. Ittipol Jangchud, Thawesak Yotyingthammakul, and Kraisri Duangpatra, “Modification of Anionic Asphalt Emulsion with Natural Rubber Latex”, International Polymer Symposium (IPS) 2002 Proceedings, October 24th -26th, 2002, Bangkok, Thailand.
25. Ittipol Jangchud, Pornravee Sumitra, and Anuvat Jangchud, “Study of Edible Films from Blends of Chitosan and Ester-modified Starch”, The National Chitin-Chitosan Conference, July 17-18, 2003, Bangkok, Thailand, pp 143-145.
26. Ittipol Jangchud and Veeranuch Srakaew, “Study of Essential Oils as Rubber Additives : Lemon, Orange, and Kaffir Lime Oils”, 8th Pacific Polymer Conference Proceedings, November 24-27, 2003, Bangkok, Thailand, pp 52-53.
27. Ittipol Jangchud and Suparat Rukchonlatee, “Porous Water Pipe made from Ground Rubber Tire (GRT) and High Density Polyethylene (HDPE) : Rheology and Water Irrigation”, 8th Pacific Polymer Conference Proceedings, November 24-27, 2003, Bangkok, Thailand, p 120.

28. Ittipol Jangchud and Woratham Oonjittichai, "Natural Fiber-Polymer Composites from Vetiver Grass and Polypropylene", ", 8th Pacific Polymer Conference Proceedings, November 24-27, 2003, Bangkok, Thailand, p 120.
29. อธิพิพล แจ้งชัด, วันฉัตร ชื่นชม, คมสรณ์ จันดียะอด, คุณาวรรณ อารยะนรากุล และอรกานต์ รุ่งพิบูลโสภิษฐ์, "เชื้อเพลิงอัดแท่งจากผงถ่านหินแอนทราไซต์", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2546 หน้า 24-35.
30. อธิพิพล แจ้งชัด, "ยางมะตอยชนิดปรับปรุงพอลิเมอร์", วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2546 หน้า 75-83.
31. อธิพิพล แจ้งชัด และไกรศรี ดวงพัตรา, "การปรับปรุงยางมะตอยด้วยยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์", วารสารเคมีน่ารู้ ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 เดือนมีนาคม 2547 หน้า 62-67.
32. Santi Tungprapa, Ittipol Jangchud, Paradorn Ngamdee, Metha Rutnakornpituk and Pitt Supaphol, "Ultrafine electrospun poly(ethylene glycol)-polydimethylsiloxane-poly(ethylene glycol) triblock copolymer/poly(ethylene oxide) blend fibers ", Materials Letters, Volume 60, Issue 24, October 2006, Pages 2920-2924 (JIF = 1.299)
33. 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)
34. 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
35. 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)
36. 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
37. Santi Tungprapa, Tanarithorn Puangparn, Monchawan Weerasombut, Ittipol Jangchud, Porntiva Fakum, Somsak Semongkhon, 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)
38. Watadta Ritcharoen, Yaowaporn Thaiying, Yupa Saejeng, Ittipol Jangchud, Ratthapol Rangkupan, Chidchanok Meechaisue, Pitt Supaphol, "Electrospun dextran fibrous membranes", Cellulose 15 (2008) 435-444

39. Atcharaporn Rattanamanee, Ittipol Jangchud, and Pichai Chuakewong, "Biodegradable Plastic Film from Blends of Ecoflex® and Modified Starch for Agricultural Applications", ", Proceedings of the 5th Thailand Materials and Technology Conference (MSAT-5), September 16-19, 2008, Bangkok, Thailand
40. Ittipol Jangchud and Doungporn Claypetch, "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
41. อธิพิณ แจ่มชัด, สุภิญญา โคตรมา, นุชนาฏ ณ ระนอง "การประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติที่คงรูปด้วยเปอร์ออกไซด์ในอุตสาหกรรมยาง", ยางพารา พศ. 2553
42. กนกอร แสงสุวรรณ, วรธรรม อุ่นจิตติชัย, อธิพิณ แจ่มชัด "การปรับปรุงสมบัติไม้พลาสติกคอมโพสิตที่เตรียมจากพอลิพรอพิลีนผสมเส้นใยมะพร้าว" การประชุมทางวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 11 มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 12 กุมภาพันธ์ พศ. 2553
43. ขวัญใจ พูลสวัสดิ์, อธิพิณ แจ่มชัด, ชลลดา ฤตวิรุฬห์, ปราณี ภิญโญชีพ, "อิทธิพลของความหนืดที่มีต่อสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมจากยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ" การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 36 (วทท 36) ศูนย์นิทรรศการและการประชุมไบเทค กรุงเทพฯ วันที่ 26-28 ตุลาคม พศ.2553
44. กมลวรรณ ยงค์มาลัยวงศ์ และอธิพิณ แจ่มชัด, "การปรับปรุงสมบัติการต้านการขีดถูของยางธรรมชาติด้วยการผสมพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น: ผลของสารช่วยผสม", การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 6-7 ธันวาคม พศ.2555
45. อุไร จันทร์ทองสว่าง และอธิพิณ แจ่มชัด "การศึกษาฟิล์มพลาสติกชีวภาพพีบีเอสผสมแป้งตัดแปรที่เตรียมจากเทคนิคอัดรีดด้วยสลิทตาย", การประชุมวิชาการครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, 6-7 ธันวาคม พศ.2555
46. เดชาธร ฉันทรักษ์ และ อธิพิณ แจ่มชัด, "การศึกษาเก้าอี้แบบพับเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางไนไตรล์", การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, วันที่ 20-21 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, หน้า 55-62
47. นิติวุฒิ บุญหนุน, วรธรรม อุ่นจิตติชัย และ อธิพิณ แจ่มชัด, "การศึกษาคอมโพสิตชีวภาพชนิดย่อยสลายได้จากพอลิบิวทิลีนซึกซิเนตผสมเส้นใยทะเลลายปาล์มเปล้า" การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6, วันที่ 20-21 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี, หน้า 63-69
48. 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
49. 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
50. 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
51. 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
52. 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

