

การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฟาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ

STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR
AS FILLERS FOR NATURAL RUBBER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของสารศึกษาคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สภากันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ

**STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR
AS FILLERS FOR NATURAL RUBBER**



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR
AS FILLERS FOR NATURAL RUBBER**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2013**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฟาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ
Study of Vegetable Tanned Leather Flour as Fillers for Natural Rubber

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตติภา สิริวิชพงษ์
นางสาวธนิสรา ถนอมมิตร
นางสาววารุณี นิพนธ์กิจ

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์	รัชชสิทธิ์	
ดร.กิตติมนต์	จิระกิตติคุณย์	
รศ.ดร.อิทธิพล	แจ่มชัด	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาพวงหรีดชนิดฟอกฟาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตติภา	สิริวิมลพงษ์
	นางสาวธนิสรา	ถนอมมิตร
	นางสาววารุณี	นิพนธ์กิจ
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล	แจ้งชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ประโยชน์เศษพวงหรีดชนิดฟอกฟาดที่เหลือทิ้งจากการขัดและตกแต่งจากอุตสาหกรรมเครื่องหนัง โดยการใช้เป็นสารตัวเติม (Filler) ในยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) โดยได้ทำการศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่มีผลต่อการใช้สารตัวเติม ได้แก่ ผลของการเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ผลของขนาดอนุภาค (20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh) และปริมาณ (0-120 phr) โดยเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll-mill) ศึกษาค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney) และศึกษาลักษณะการเชื่อมโยง แล้วทำการอัดขึ้นรูปเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกลและทำการศึกษาลักษณะด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว และการยึดเกาะระหว่างสารตัวเติมกับยาง พบว่าการเติม PEG สามารถป้องกันการดูดซึม และ Si-69 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงให้สูงขึ้น ส่งผลให้สมบัติเชิงกลดีขึ้น การเติมพวงหรีดขนาดเล็กกว่า 35 mesh เกิดการเชื่อมโยงเร็วกว่าเล็กน้อยและมีสมบัติเชิงกลดีกว่า เมื่อใส่พวงหรีดปริมาณระหว่าง 0-120 phr พบว่าปริมาณพวงหรีดที่มาก มีผลทำให้การเชื่อมโยงช้าลง แต่สมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยที่ 90 phr มีสมบัติต่างๆ ดีที่สุด อย่างไรก็ตามก็ดีเมื่อเพิ่มปริมาณถึง 120 phr ทำให้ความแข็งแรงลดลง และเมื่อศึกษาลักษณะวิทยาพบว่าพวงหรีดสามารถยึดเกาะกับยางได้ดี และสามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณพวงหรีดเป็น 120 phr จะพบกลุ่มก้อนขนาดใหญ่และช่องว่างในเนื้อยาง จากการวิจัยนี้สรุปได้ว่าสามารถใช้พวงหรีดขนาดเล็กกว่า 35 mesh ได้มากถึง 90 phr เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยใช้ PEG ร่วมกับ Si-69 จะทำให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติดีขึ้นและสามารถลดต้นทุนได้อย่างมากด้วย

คำสำคัญ : พวงหรีด, ยางธรรมชาติ, สารตัวเติม, Si-69, PEG, พวงหรีดฟอกฟาด

Title	Study of Vegetable Tanned Leather Flour as Fillers for Natural Rubber	
Students	Miss Thitipa	Siriwanitpong
	Miss Thanidsara	Thanommitr
	Miss Warunee	Niponkit
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2013	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol	Jangchud

ABSTRACT

This research work was focused on utilization of vegetable tanned leather flour waste from leather industries as “filler” in natural rubber (NR) products. Factors affecting rubber properties were studied, such as, addition of polyethylene glycol (PEG) and silane coupling agent (Si-69), leather flour sizes (20-35 mesh and smaller than 35 mesh) and leather flour loading (0-120 phr). Rubber and additives were compounded by a two-roll mill and shaped into sheets by compression molding. Scanning electron microscopy (SEM) was used to investigate filler dispersion and interfacial bonding between the filler and the rubber matrix. It was found that the addition of PEG could prevent curative adsorption whereas Si-69 silane coupling agent could improve curing efficiency and mechanical properties. By studying different sizes of the leather flour (<35 mesh and 20-35 mesh), it was found that rubber with <35 mesh leather flour showed shorter cure time and better mechanical properties. As the leather flour loading was increased (0, 30, 60, and 120 phr), it was found a decrease in curing efficiency. Mechanical properties were improved significantly at 90 phr, but decreased at 120 phr. SEM images revealed that leather flour was dispersed well in the NR matrix with good interfacial adhesion. However, agglomerates and voids were found at 120 phr loading. It was concluded that the leather flour of < 35 mesh can be used up to 90 phr as filler for natural rubber. Addition of PEG together with Si-69 coupling agent resulted in NR vulcanizates with good mechanical properties and lower the compound cost significantly.

Keywords : Leather flour, Natural rubber, Filler, Si-69, Polyethylene glycol, Vegetable tanned leather

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ผู้คอยแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำโครงการให้สำเร็จและผ่านลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ์ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์ โนน และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการช่วยตรวจสอบโครงการพิเศษ รวมถึงให้คำแนะนำและแนวทางต่างๆให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณศิรินทร ศรีธาดาวุฒิ และห้างหุ้นส่วนจำกัดกรีชมณี โปรดักส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ผังหน้า และข้อมูลที่ใช้ประกอบโครงการวิจัยนี้

ขอขอบคุณ นางสาวขวัญใจ พูลสวัสดิ์ และนายเดชาธร ฉันทรักษ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือโครงการพิเศษนี้ให้ลุล่วงประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณครอบครัว ญาติพี่น้อง พี่ๆเพื่อนๆและบุคคลที่เกี่ยวข้อง ที่เป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือทำให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวฐิติภา สิริวิชพงษ์

นางสาวธนิสรา ถนอมมิตร

นางสาววารุณี นิพนธ์กิจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1-4
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5-27
2.1 นิยามคำศัพท์	5
2.2 ยางธรรมชาติ	5
2.2.1 การแปรรูปน้ำยางธรรมชาติ	6
2.2.2 สมบัติของยางดิบ	6
2.2.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ	6
2.3 สารเติมแต่ง (Additive)	7
2.3.1 สารเชื่อมโยง	7
2.3.2 สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerators)	7
2.3.3 สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators)	8
2.3.4 พลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer)	9
2.3.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent)	9
2.3.6 สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent)	9
2.3.7 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol ; PEG)	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 หนังสัตว์ (Leather)	11
2.4.1 โครงสร้างของหนังสัตว์	11
2.4.2 ประเภทของหนังสัตว์	13
2.5 การฟอกหนัง	14
2.5.1 การเตรียมหนังก่อนฟอก	14
2.5.2 การฟอกโครม (Chrome tanning)	15
2.5.3 การฟอกฝาด (Vegetable tanning)	17
2.5.4 ประเภทของเครื่องหนัง	18
2.6 แทนนิน (Tannin)	18
2.6.1 สมบัติและการนำไปใช้	19
2.6.2 การจำแนกประเภทของแทนนิน	20
2.6.3 การสกัดแทนนิน	23
2.6.4 การตรวจสอบ	24
2.7 พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีน	25
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	28-37
3.1 สารเคมี	28
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.3 วิธีการทดลอง	30
3.3.1 การเตรียมผงหนัง	30
3.3.2 การศึกษาผลของผงหนังที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ	30
3.3.3 การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยง	34
3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล	35
3.3.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	38-59
4.1 การศึกษาผลของการใช้สารคู่ควบไซเลนและ PEG	39
4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงของยาง	39
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา	41
4.2 การศึกษาขนาดของพองหนัที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ	47
4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงยาง	47
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา	48
4.3 การศึกษาปริมาณพองหนัที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ	54
4.3.1 การศึกษาพฤติกรรมกรรมการเชื่อมโยงยาง	54
4.3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61-62
5.1 สรุปผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การนำกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์และการกำจัด	2
2.1 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเอทิลีนไกลคอล	11
2.2 กรดอะมิโนที่พบในหนังสือ	12
3.1 สูตรผสมยางในการทดลองศึกษาผลของผงหนังในยาง	30
4.1 อักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย	38
4.2 ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละสูตร	39
4.3 ค่าความหนืด และค่าพฤติกรรมการเชื่อมโยง ผลของการใช้ PEG และ Si-69	40
4.4 ค่าความหนืดมูนี้ และค่าพฤติกรรมการเชื่อมโยง ผลของขนาดผงหนัง	47
4.5 ค่าความหนืดมูนี้ และค่าพฤติกรรมการเชื่อมโยง ผลของปริมาณการใส่ผงหนัง	55



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 เศษผงหนังฟอกฝาด	1
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ	5
2.2 การเกิดปฏิกิริยาของ Ethoxy group กับ OH group บนพื้นผิวของผงหนัง	10
2.3 โครงสร้างของพันธะเปปไทด์	12
2.4 หนังก่อนฟอก	14
2.5 ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก	15
2.6 ขั้นตอนการฟอกโครม	16
2.7 หนังที่ผ่านกระบวนการฟอกโครเมียม	16
2.8 ขั้นตอนการฟอกฝาด	17
2.9 หนังที่ผ่านกระบวนการฟอกฝาด	18
2.10 กรดแทนนิน (Tannic acid)	19
2.11 ตัวอย่างของสารจำพวก Pseudo tannins	20
2.12 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins)	21
2.13 รูปโครงสร้างของไฮโดรไลซ์แทนนิน	22
2.14 การยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของหนังกับแทนนิน	25
3.1 ขั้นตอนวิธีการทดลอง	33
3.2 ตัวอย่าง Cure curve แสดงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics)	34
4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของการใช้ PEG และ Si-69	40
4.2 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	42
4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	42
4.4 ค่ามอดูลัสของยางที่ 100% ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าความแข็งแรงตึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	43
4.6 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	44
4.7 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	44
4.8 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	45
4.9 เปรอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางใน Toluene ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69	45
4.10 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69 กำลังขยาย 5000 เท่า ; (ก) L-20-35[N30] และ (ข) L-20-35[NSIP30]	46
4.11 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของขนาดผงหนึ่ง	47
4.12 ค่าความแข็งแรงตึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	48
4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	49
4.14 ค่ามอดูลัสของยางที่ 100% ดึงยืดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	49
4.15 ค่าความแข็งแรงตึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	50
4.16 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	50
4.17 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	51
4.18 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และ เล็กกว่า 35 mesh	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 สัณฐานวิทยาของขนาดอนุภาคของผงแห้ง กำลังขยาย 1000 เท่า ; (ก) เล็กกว่า 35 mesh และ (ข) 20-35 mesh	52
4.20 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ผลของขนาดผงแห้ง กำลังขยาย 5000 เท่า ; (ก) เล็กกว่า 35 mesh และ (ข) 20-35 mesh	53
4.21 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของปริมาณการใส่ผงแห้ง	54
4.22 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง	56
4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของ ปริมาณผงแห้ง	56
4.24 ค่ามอดูลัสที่ 10% ดึงยืดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง	57
4.25 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง	57
4.26 ค่าความแข็งแรงกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง	58
4.27 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง ขนาดเล็กกว่า 35 mesh ปริมาณ 30 phr กำลังขยาย 500 เท่า	58
4.28 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง ขนาดเล็กกว่า 35 mesh ปริมาณ 60 phr กำลังขยาย 500 เท่า	59
4.29 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง ขนาดเล็กกว่า 35 mesh ปริมาณ 90 phr กำลังขยาย 500 เท่า	59
4.30 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง ขนาดเล็กกว่า 35 mesh ปริมาณ 120 phr กำลังขยาย 500 เท่า	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ มนุษย์ยังไม่สามารถผลิตเครื่องนุ่งห่มใช้เองได้ จึงได้นำสิ่งต่างๆ จากธรรมชาติมาใช้เพื่อปกปิดร่างกาย หนังสัตว์เป็นอีกสิ่งหนึ่งที่มนุษย์โบราณนิยมนำมาใช้แทนเสื้อผ้า สร้างเป็นที่พักอาศัย และสิ่งอื่นๆ อินเดียนแดงเป็นชนเผ่าหนึ่งที่ตั้งรกรากมายาวนาน โดยจะอาศัยอยู่รวมกันเป็นกลุ่มๆ ยังชีพด้วยการเพาะปลูก และล่าสัตว์ เพื่อนำเนื้อมาเป็นอาหาร กระดูกเป็นเครื่องประดับ หนังสัตว์ใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม และทำเป็นกระโjoinเพื่อพักอาศัย สมบัติเด่นของหนังสัตว์คือ มีความเหนียวและแข็งแรง สามารถกันน้ำได้ จึงนิยมนำหนังสัตว์มาใช้ประโยชน์ตั้งแต่โบราณจนถึงปัจจุบัน [1] ด้วยเหตุนี้เองทำให้มนุษย์ต้องการที่จะรักษาสภาพและปรับปรุงสมบัติของหนังให้ดียิ่งขึ้น การฟอกหนังด้วยเปลือกไม้หรือที่เรียกว่า “การฟอกฝาด” เป็นการปรับปรุงสมบัติของหนังวิธีหนึ่ง โดยนำเปลือกไม้พวยยูคาลิปตัส คิวบราโค (Quebracho sawmills) มาสกัดได้เป็นสารแทนนิน (Tannins) [1]

หนังสัตว์ (Leather) เป็นวัสดุธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ชนิดต่างๆ โดยมีส่วนประกอบหลักคือ เส้นใยคอลลาเจน (Collagen) ที่เกิดการเชื่อมโยงอยู่ในรูปโครงสร้างร่างแห โดยส่วนใหญ่หนังสัตว์มักจะนำมาแปรรูปทำเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง ซึ่งการแปรรูปในทางอุตสาหกรรมจะมีการฟอกหนัง เพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ สมบัติเชิงกล ความทนทานต่อสารเคมีและการย่อยสลายทางชีวภาพ จากนั้นนำหนังที่ได้มาทำการย้อมสีและทำการตกแต่งเพื่อให้ได้หนังฟอกสำเร็จรูปและใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเครื่องหนังต่างๆ แต่ในขั้นตอนกระบวนการตกแต่งสำเร็จจะมีการทิ้งของเสียออกมาเป็นในปริมาณมาก เช่น ผงหนังและเศษหนังจากการขัดเลือนผิว ดังตัวอย่างรูปที่ 1.1 และการตัดตกแต่งชิ้นงาน เป็นต้น



รูปที่ 1.1 เศษผงหนังฟอกฝาด [2]

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการฟอกหนังกำลังเจริญก้าวหน้า ทำให้มีอัตราการผลิตหนังฟอกเพิ่มสูงขึ้น คิดเป็นประมาณปีละ 50,000 ตัน [3] ในการผลิตภัณฑ์เครื่องหนังนั้น ขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการตกแต่งสำเร็จ อย่างเช่น การขัด การเจียร เป็นต้น ทำให้มีเศษผงหนังเหลืออยู่ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณขยะ เพราะเศษผงหนังที่มีปริมาณมากเหล่านี้ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์เท่าไรนักและจะกลายเป็นขยะในที่สุด การนำกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์และการกำจัด แสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การนำกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตไปใช้ประโยชน์และการกำจัด [3]

ขั้นตอน	ลักษณะของเสีย	วิธีการใช้ประโยชน์/กำจัด	
		ต่างประเทศ	ในประเทศ
<u>กระบวนการก่อนฟอก</u> - การขูดพังผืด - การผ่าแยกชั้น	- เศษหนังตัด พังผืดที่มีปูนขาว - หนังส่วนล่างที่มี ปูนขาว	- คอลลาเจน ไขมัน อาหาร โปรตีน - คอลลาเจน เจลาติน เปลือกไม้กรอก ของแทะ เล่นสำหรับสุนัข	- ทำอาหารปลา ปู๋ คอลลาเจน เจลาติน - ของแทะเล่นสำหรับ สุนัข เจลาตินและกาว
<u>กระบวนการฟอกหนัง</u> - ฟอกโครม การตัดเจียรหนัง - ฟอกฝาด การตัดเจียรหนัง	- เศษหนังที่มี โครเมียม - เศษหนัง	- กาวแผ่นกรองเสียง เจลาติน อาหารสัตว์ ปู๋ ผลิตภัณฑ์ดูดซับ leather board - ปู๋ หนังแผ่น ผลิตภัณฑ์ ดูดซับ leather board	- ส่งกำจัด - ทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่น หนังราคาถูก
<u>การตกแต่งหนัง</u>	- เศษหนังที่มี โครเมียมและ สีย้อม	- หนังราคาถูก	- ขายทำผลิตภัณฑ์อื่นๆ ส่งกำจัด

ดังนั้น การนำเศษผงหนังเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัย จึงน่าจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง งานวิจัยนี้ทำต่อเนื่องจากงานวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ” [4] ซึ่งเป็นการนำเศษผงหนังที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทำให้เกิดประโยชน์ โดยการนำไปผสมกับยางธรรมชาติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นวัสดุทดแทนหรือเพื่อทำผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการใช้สารตัวเติม และศึกษาการใช้เศษผงหนังฟอก ผาดที่มีขนาดแตกต่างกันและในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบจากการทดสอบสมบัติ ต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการใช้ผงหนังฟอกผาดเป็นสารตัวเติม (Filler) ลงในยางธรรมชาติ โดยเน้นศึกษา ปัจจัยต่างๆ ได้แก่ การเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ขนาดของ ผงหนัง และปริมาณของผงหนัง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อสมบัติและการใช้งานของชิ้นงาน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. การร่อนเพื่อแยกขนาดผงหนัง
3. เตรียมชิ้นงาน โดยใช้เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll-mill) และทำการอัดขึ้นรูป (Compression molding) ให้เป็นแผ่น เพื่อนำไปศึกษาสมบัติต่างๆ ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป
4. ศึกษาค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และลักษณะการเชื่อมโยงของยาง (Cure characteristics)
5. การทดสอบสมบัติเชิงกลและสมบัติอื่นๆ เช่น
 - ความแข็งแรงดึง
 - เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด
 - มอดุลัสของยางที่ 100 %
 - ความแข็งแรงฉีกขาด
 - ความแข็งกด
 - ความทนทานต่อการขีดถู
 - การยุบตัวถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ศึกษาปัจจัยต่างๆ เช่น

- ผลของการใช้ Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69)
- ผลของปริมาณการเติม (0-120 phr)
- ผลของขนาดผงหน้ (20-35 mesh, เล็กกว่า 35 mesh)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดเศษหน้
2. สามารถเพิ่มมูลค่าให้กับเศษผงหน้
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่นได้
4. ทราบถึงสมบัติของผงหน้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นิยามคำศัพท์

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) คือพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ที่ได้จากน้ำยางของต้นพืช

สารเติมแต่ง (Additives) คือสารที่ใส่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

สารตัวเติม (Fillers) คือวัสดุที่ใส่เพื่อเพิ่มปริมาณของผลิตภัณฑ์

เศษผงหนัง (Leather flour) คือเศษวัสดุที่เหลือจากการขัด เจริบ ในกระบวนการตกแต่งเครื่องหนังในทางอุตสาหกรรม มีลักษณะเป็นผง

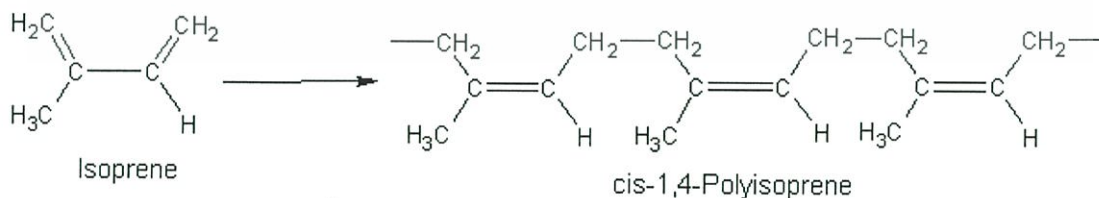
หนังฟอกโครม (Chrome tanning) เป็นหนังสัตว์ที่ได้จากกระบวนการฟอกด้วยสารเคมี โดยการใช้โครเมียมเป็นสารฟอก หนังที่ผ่านการฟอกแล้วจะมีสีฟ้า หรือฟ้าอมเขียว

หนังฟอกผัก (Vegetable tanning) เป็นหนังสัตว์ที่ได้จากกระบวนการฟอกโดยใช้สารแทนนิน ซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติที่มีรสฝาด เมื่อผ่านกระบวนการฟอกแล้ว หนังที่ได้จะมีสีน้ำตาล หรือน้ำตาลอมแดง

2.2 ยางธรรมชาติ

ยางเป็นพอลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนที่มีชื่อทางเคมีว่า 1,4 พอลิไอโซพรีน มีโครงสร้างโมเลกุลแบบซิส (Cis-1,4-polyisoprene) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยมอนอเมอร์ของไอโซพรีนต่อกันจำนวนมากเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว

ยางธรรมชาติ ได้มาจากต้นพืชที่ให้น้ำยางได้ น้ำยางจะมีลักษณะคล้ายน้ำนม (Milky) เป็นสารพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลาง มีน้ำเป็นส่วนประกอบ และมีน้ำหนักโมเลกุลสูง [5]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ [6]

2.2.1 การแปรรูปน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางข้น มีองค์ประกอบ 2 ส่วน คือมีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60% และสารอื่นอีก 40% ยางแห้ง คือยางที่ผ่านกรรมวิธีต่างๆเพื่อกำจัดน้ำและได้ปริมาณเนื้อยางสูง ได้แก่

1. ยางแผ่นรมควัน เป็นยางที่ทำให้แห้ง โดยการใช้ความร้อนและปล่อยให้ควันเข้าไปเคลือบผิวของแผ่นยาง
2. ยางแผ่นผึ่งแห้ง เป็นยางที่ทำให้แห้ง โดยการใช้ความร้อนที่ปราศจากการใช้ควัน และไม่มีการเติมสารใดๆ นอกจากสารที่ยอมรับ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ พาราไนโตรฟินอล และโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์
3. ยางเครพ เป็นยางที่ผลิตจากน้ำยางสดและยางแห้ง โดยนำมาเติมกรด เมื่อยางจับตัวกันแล้ว นำมารีดน้ำออก จากนั้นจึงอบในโรงผึ่งให้แห้ง
4. ยางสกิม ผลิตจากส่วนของหางน้ำยาง นำมาแปรรูปเป็นยางแห้ง
5. ยางแท่ง ผลิตจากน้ำยางสด และยางแห้งที่จับตัวแล้ว [5]

ยางแท่ง เป็นยางที่ผลิตโดยมีวิธีการระบุคุณภาพมาตรฐาน เพื่อปรับปรุงรูปแบบของการผลิตยางธรรมชาติ ลดระยะเวลาการผลิตลง ปรับปรุงวิธีการหีบห่อให้ทันสมัย เหมาะกับการขนส่งและการใช้งาน โดยมีวิธีการตรวจสอบสมบัติที่จำเป็นของยางตามวิธีมาตรฐานสากล และจัดชั้นของยางโดยวิธีการในห้องปฏิบัติการ

ยางแท่งผลิตมาจากวัตถุดิบที่เป็นได้ทั้งน้ำยางสดและยางแห้งที่จับตัวแล้ว หลักการสำคัญของวิธีการผลิตยางแท่ง คือการตัดย่อยก้อนยางให้เป็นเม็ดหรือชิ้นเล็กๆ อย่างรวดเร็ว การล้าง การอบแห้ง และการอัดเป็นก้อนหรือแท่งสี่เหลี่ยม [5]

2.2.2 สมบัติของยางดิบ

1. ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติก นั่นคือยางสามารถไหลได้เมื่อได้รับแรงกด ซึ่งเป็นสมบัติของพลาสติก เมื่อเอาแรงออก ยางสามารถกลับคืนสู่รูปเดิมได้ ซึ่งสมบัติทั้งพลาสติกและอีลาสติก ทำใหยางแบนหรือยืดได้ เมื่อได้รับแรงกดหรือแรงดึง แต่เมื่อกลายแรงยางจะกลับคืนรูปแต่ไม่เท่าเดิม

2. ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก เมื่อยางอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำ ยางจะแข็งกระด้าง ถ้ายางอยู่ในที่อุณหภูมิสูง ยางจะนิ่ม ลักษณะเช่นนี้ทำใหยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด

3. ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ

2.2.3 การใช้งานของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาตินำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบที่อยู่ในรูปของน้ำยาง หรือยางแห้ง ซึ่งมีเทคนิคการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน

- ผลิตภัณฑ์จากน้ำยางข้น เช่น ถุงมือ ลูกโป่ง จุกนม ที่นอน หมอน ถุงเท้า กาว เป็นต้น
- ผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง เช่น ยางล้อ ฟันรองเท้า ยางรัดของ ยางกันกระแทก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 สารเติมแต่ง

สารเติมแต่ง คือสารเคมีต่างๆ ที่ผสมลงในยาง เพื่อปรับปรุงยางให้มีสมบัติตามต้องการ สาเหตุที่ต้องใช้สารเคมีผสมในยาง คือ

1. เพื่อแก้ไขข้อเสียของยาง
2. เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการแปรรูปยาง
3. ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น
4. เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต

2.3.1 สารเชื่อมโยง

สารเชื่อมโยงเป็นสารที่ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล โดยปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Vulcanization) ทำให้ยางคงรูป เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น

1. ยางจะมีความเป็นอีลาสติคที่สูงขึ้น
2. เพิ่มความแข็งแรง โมดูลัส และความต้านทานต่อการสึกหรอ
3. เปลี่ยนสภาพการละลายของยาง จากยางที่สามารถละลายได้ด้วยตัวทำละลายเป็นยางที่ไม่สามารถละลายหรือพองตัวด้วยตัวทำละลาย
4. เป็นการเปลี่ยนยางจากสภาพเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) เป็นเทอร์โมเซต (Thermoset) [7]

กำมะถัน (Sulfur, S) เป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุด และนิยมใช้กับยางที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated rubber) เช่น ยางธรรมชาติ, ยางสไตรีนบิวตาไดอีน (Styrene-butadiene rubber, SBR) และยางบิวตาไดอีน (Butadiene rubber, BR)

เมื่อนำกำมะถันมาผสมกับยางแล้วจากนั้นจึงให้ความร้อน ยางจะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ระหว่างโมเลกุล โดยมีกำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยง หากมีปริมาณของกำมะถันมาก ยางก็จะมี การเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นกำมะถันที่ใช้ในยางนั้นมีอนุภาคนาขนาดเล็ก ถ้าขนาดอนุภาคกำมะถันยิ่งเล็ก การกระจายตัวก็จะยิ่งดี ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงและคงรูปได้ดี สมบัติเชิงกลของยางก็จะสูงขึ้นไปด้วย โดยผสมกำมะถันเป็นลำดับสุดท้าย เพื่อป้องกันไม่ให้ยางเกิดการเชื่อมโยงก่อน

ยางที่ผสมกำมะถันมากจนเกินไป เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นเวลานานกำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะเกิดการตกผลึกออกมาที่ผิวหน้าของยาง เกิดเป็นรอยคราบสีขาว เรียกว่า การบลูม (Blooming) [7]

2.3.2 สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerators)

ในปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยางธรรมชาติ โดยการใช้กำมะถันเพียงอย่างเดียวนั้น อาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงในยางใช้เวลานาน เมื่อใช้สารเร่งจะช่วยลดเวลาในการเชื่อมโยง และยังเป็น การช่วยปรับปรุงสมบัติให้กับผลิตภัณฑ์ โดยการใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณ และชนิดของสารที่ใช้

การทำให้ยางคงรูปต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสารเร่งที่ใช้ ถ้าทำให้คงรูปโดยใช้ความร้อน ต้องใช้สารเร่งชนิดที่ทำให้ยางคงรูปเร็วเพื่อที่ผลิตภัณฑ์นั้นๆ จะสามารถรักษารูปทรงอยู่ได้ เพราะถ้าใช้สารเร่งที่ทำให้ยางคงรูปช้า ยางอาจจะเสียรูปร่างไปก่อน ถ้าทำให้ยางคงรูปโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป สารเร่งที่ใช้ควรเป็นสารเร่งที่มีเวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) นาน เพื่อให้ยางไหลได้เต็มแม่แบบก่อนที่จะคงรูป [8]

2, 2-dibenzthiazyl disulphide (MBTS) คือ สารเร่งที่อยู่ในกลุ่มไทอาโซล (Thiazole) เป็นสารเร่งที่นิยมใช้มากที่สุด ส่วนใหญ่มีฤทธิ์เป็นกรด และมีปฏิกิริยาเร็วปานกลาง ทำให้สมบัติของผลิตภัณฑ์หลังจากการ Ageing ดี มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง มีค่ามอดูลัสสูง ไม่ติดสี ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่โปร่งแสง เป็นตัวที่ช่วยให้ยางนุ่มในการบดผสมยางจึงช่วยในการแปรรูปของยางได้ดี มักใส่ลงในยางขณะเริ่มต้นการบดผสมยาง [8]

Tetramethyl thiuram disulphide (TMTD) คือ สารเร่งกลุ่มไทยูเรม (Thiuram) ส่วนใหญ่มีฤทธิ์เป็นกรด เป็นสารเร่งที่มีปฏิกิริยาเร็ว สามารถใช้ปริมาณเล็กน้อยโดยใช้ร่วมกับกำมะถัน ใช้ในการทำผลิตภัณฑ์ที่โปร่งใสสีขาว หรือสีต่างๆ และผลิตภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร [8]

2.3.3 สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activators)

สารกระตุ้นการเชื่อมโยงเป็นสารที่ช่วยเร่งอัตราการเชื่อมโยงยาง โดยสารจะเข้าไปเร่งปฏิกิริยาทำให้ปฏิกิริยามีความว่องไวมากขึ้น เพื่อเร่งอัตราการเชื่อมโยงยาง ทำให้การเชื่อมโยงมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์ได้ เช่น ยางจะมีค่ามอดูลัสสูงขึ้น

ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) เป็นสารอนินทรีย์ที่จำเป็นในการทำยางคงรูปได้สมบูรณ์ มีความถ่วงจำเพาะสูง นิยมใช้ในปริมาณ 3-5 phr ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็กสามารถลดปริมาณการใช้ลงเหลือเพียง 1 phr ได้ ซึ่งจะช่วยให้ยางมีมอดูลัสสูงและโปร่งใส [7]

นอกจากนี้ยังมีซิงค์ออกไซด์บางชนิดที่มีขนาดอนุภาคเล็กและปนอยู่กับออกไซด์ของโลหะตัวอื่น ที่เรียกว่า Active zinc oxide ก็สามารถใช้กับยางได้ โดยใส่ในปริมาณน้อย จะทำให้ยางใสเช่นเดียวกัน และยังทำให้สมบัติทางกายภาพของยาง ได้แก่ มอดูลัส ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความต้านทานต่อการสึกหรอดีขึ้น

กรดสเตียริก (Stearic acid) เป็นสารอินทรีย์ที่จำเป็นในการใช้เป็นสารกระตุ้นสำหรับสารเร่งบางชนิด ปริมาณที่ใช้ในยางจะขึ้นกับชนิดของยาง ถ้ายางมีกรดไขมันอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ในปริมาณน้อย โดยทั่วไปในการผสมสารเคมีกับยางธรรมชาติจะใส่กรดสเตียริกประมาณ 1-3 phr เพื่อลดอัตราการเชื่อมโยง (Cure rate) ที่แตกต่างกันลง และเป็นการป้องกันการขาดกรดไขมันในยาง เพราะการขาดนี้อาจทำให้สมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไป [7]

2.3.4 พลาสติไซเซอร์ (Plasticizer)

สารที่ใส่เข้าไปในยางเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและเพิ่มความสามารถในการใช้งาน และช่วยให้แปรรูปได้ง่ายขึ้น เป็นสารพลาสติไซเซอร์ที่ใส่เข้าไปแล้ว จะทำหน้าที่เป็นตัวหล่อลื่นระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้โมเลกุลของยางเคลื่อนไหวได้ง่าย ยางจะนิ่มลง แปรรูปได้ง่ายขึ้น เป็นสารที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับยาง และเป็นสารที่จะต้องผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Compatible) กับยางและสารอื่นๆ ได้

น้ำมันแนฟทาติก (Naphthenic oil) เป็นสารที่ช่วยให้ยางผสมเข้ากับสารเติมแต่งได้ง่ายขึ้น และทำให้ยางมีลักษณะนิ่มลงทางกายภาพ เป็นสารจำพวก Saturated ring ไม่มีพันธะคู่ มีความหนืดปานกลาง และไหลได้ง่าย [7]

2.3.5 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Protective agent)

สารป้องกันยางเสื่อมสภาพเป็นสารที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ ป้องกันการเสื่อมสภาพที่จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ การเสื่อมสภาพของยางเกิดจากการที่โมเลกุลของยางเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยออกซิเจนและ โอโซน ยางที่โครงสร้างโมเลกุลไม่อิ่มตัว จะมีความว่องไวและง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพของยาง โดยแสงและความร้อน จะเป็นตัวเร่งทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

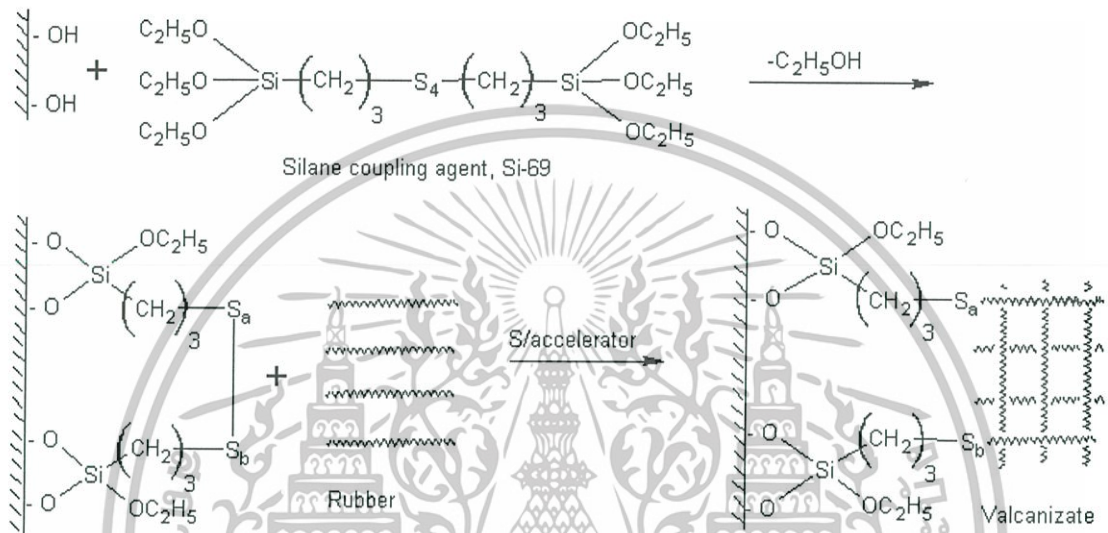
สารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับยาง หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) [7]

2.3.6 สารคู่ควบไซเลน (Silane coupling agent)

สารคู่ควบเป็นสารที่เพิ่มความสามารถในการยึดติดกันระหว่างพอลิเมอร์อินทรีย์กับพื้นผิวอนินทรีย์ นอกจากนี้สารคู่ควบยังใช้เป็นตัวเคลือบพื้นผิวหรือปรับปรุงสภาพพื้นผิวด้วย ความหนาของชั้นสารคู่ควบไซเลนที่มีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มการยึดติดของพื้นผิวจะเท่ากับความหนาของการจัดเรียงตัวแบบชั้นเดียวของสารคู่ควบไซเลนซึ่งจะเปลี่ยนไปตามประเภทของสาร ส่วนมากสารคู่ควบจะใช้เป็นสารเติมแต่งในสารยึดติด สารคู่ควบไซเลนเป็นสารคู่ควบประเภทหนึ่งที่นิยมใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติการยึดติด โดยสารคู่ควบไซเลนนี้จะมีโมเลกุลที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีได้กับพื้นผิวของของแข็งและเข้าทำปฏิกิริยาได้ในเนื้อของพอลิเมอร์ [4]

ถึงแม้ว่าความสามารถในการยึดติดจะเป็นปัจจัยหนึ่งของสารคู่ควบ แต่ปัจจัยอื่นๆ มีความสำคัญเช่นกัน เช่น ในทางปฏิบัติการเติมสารคู่ควบนั้นจะต้องทำให้สารสามารถซึมเข้าสู่พอลิเมอร์อย่างรวดเร็ว สำหรับในงานวิจัยนี้ สารคู่ควบไซเลนที่ใช้ในการเพิ่มความสามารถในการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับผงหนังกุ้งฟอกฟาด คือ ชนิด Bis-(3-triethoxysilylpropyl) tetrasulfide (Si-69)

ในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงกลไกการเข้าทำปฏิกิริยาของสารคู่ควบไซเลนชนิด Si-69 บนผิวของผงแห้งและในเนื้อของยางธรรมชาติ โดยสารคู่ควบไซเลน Si-69 นั้นจะมีหมู่ฟังก์ชันที่เข้าทำปฏิกิริยาสองหมู่ฟังก์ชันคือหมู่ Tetrasulfide และหมู่ Ethoxy สำหรับหมู่ Tetrasulfide นั้น จะไปทำปฏิกิริยารวกลาโนซ์เซชันกับยาง ส่วนหมู่ Ethoxy จะทำปฏิกิริยากับหมู่ OH ที่ผิวของผงแห้ง จากกลไกที่เกิดขึ้นจะทำให้ความสามารถในการยึดติดกันระหว่างยางธรรมชาติกับผงแห้งเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาของ Ethoxy group กับ OH group บนพื้นผิวของผงแห้ง [4]

2.3.7 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG)

พอลิเอทิลีนไกลคอลมีสูตรโดยทั่วไปคือ $H-(O-CH_2-CH_2)_n-OH$ เป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกิดจากเอทิลีนไกลคอล ($HO-CH_2-CH_2-OH$) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดใหญ่ Ethylene glycol เกิดจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ Ethylene โดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวกระทำ Polyethylene glycol หรือ PEG โดย PEG มีคุณลักษณะดังตารางที่ 2.1 PEG มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดเดือดสูง สามารถละลายในตัวทำละลาย เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ สารอีเทอร์และอะซิโตน นิยมนำมาผสมเพื่อเพิ่มความหนืดในสารต่างๆ เช่น ยาสระผม ครีมทาผิว โลชัน ยาสีฟัน หรือแม้แต่ในอาหาร (Cryoprotectant) ใช้เคลือบบริเวณพื้นผิวของสารตัวเติมเพื่อป้องกันการดูดสารเคมีที่มีขี้ เช่น ZnO และสารเร่ง นอกจากนี้ PEG ยังใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำได้อีกด้วย [8]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเอทิลีนไกลคอล [8]

คุณลักษณะ	
สูตรเคมี	HOCH ₂ CH ₂ OH
น้ำหนักโมเลกุล	62.07
จุดเดือด 760 mmHg, °C	197.6
50 mmHg, °C	123
10 mmHg, °C	89
ความดันไอที่ 20 °C, mmHg	0.06
$\Delta bp/\Delta p$ at 750–770 mmHg, °C/mmHg	0.045
ความหนาแน่น, g/ml	1.11336
ความถ่วงจำเพาะที่ 20/20°C	1.1155
Δ (ความถ่วงจำเพาะ)/ Δt at 10-40°C, deg ⁻¹	-0.0007
จุดเยือกแข็ง, °C	-13
ค่าดัชนีหักเห, n_D^{20}	1.4318
แรงตึงผิว 20°C, dyne/cm	48.4
ความหนืด(abs), ที่ 20°C, cP	19.83
อุณหภูมิที่ติดไฟ, °C	116
อัตราส่วนของความร้อนของสาร 20°C, cal/g.deg	0.561
ความร้อนที่ใช้ในการระเหย	202
ความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลว	44.7
ความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวของธาตุ ที่ 20°C kcal/mol	-108.1

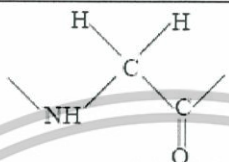
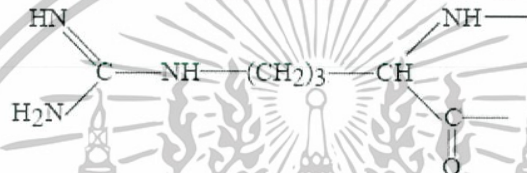
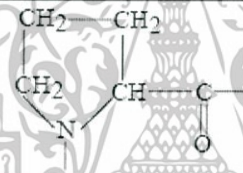
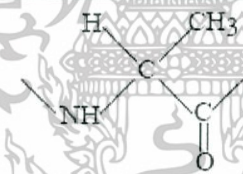
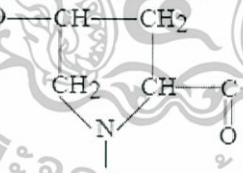
2.4 หนังสือตัว

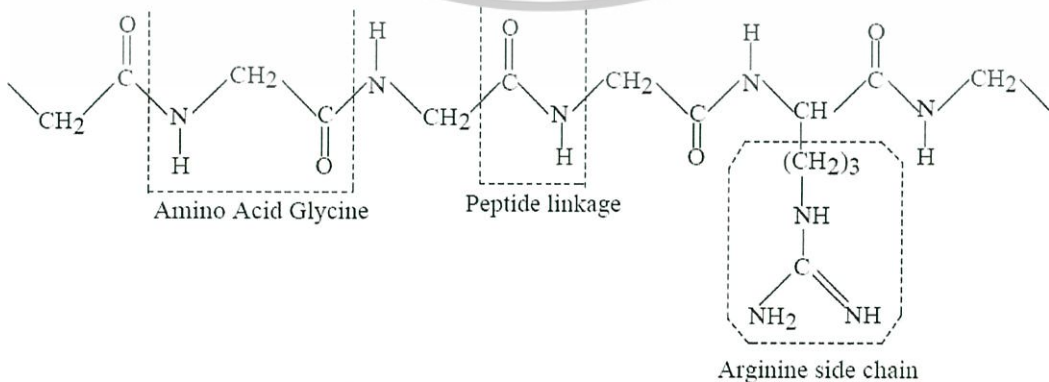
2.4.1 โครงสร้างของหนังสือตัว

ในกระบวนการฟอกหนัง ฟอกเพื่อให้หนังทนต่ออุณหภูมิและความร้อนได้ดีขึ้น ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้น จึงได้นำสารเคมีมาใช้ร่วมในกระบวนการฟอกด้วย เนื่องจากต้องมีการย้อมสี และการตกแต่งสำเร็จ เพื่อปรับปรุงลักษณะให้เหมาะสมตามความต้องการในการใช้งาน [9]

องค์ประกอบพื้นฐานของหนัง ได้แก่ คอลลาเจน และ โปรตีน โดยโครงสร้างภายใน คอลลาเจนประกอบด้วยพอลิเปปไทด์ 3 สายโซ่ แต่ละสายโซ่ประกอบด้วยกระอะมิโนหมู่ต่างๆดัง ตารางที่ 2.2 มาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์ ดังรูปที่ 2.3 และระหว่างสายโซ่เปปไทด์จะเชื่อมกัน ด้วยพันธะไฮโดรเจน

ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่พบในหนังสัตว์ [9]

Amino acid	Structure	Abundance
Glycine		26.8% of total nitrogen
Arginine		15.3%
Proline		9.0%
Alanine		8.0%
Hydroxy proline		8.0%



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของพันธะเปปไทด์ [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของหนังสัตว์

หนังสัตว์ที่นำมาผลิตเครื่องหนัง มาจากสัตว์หลายชนิด เช่น โค กระบือ แพะ แกะ ฐ จระเข้ ม้า สุนัข เป็นต้น แต่โดยทั่วไปนิยมใช้หนังโค และกระบือ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 90 ของหนังสัตว์ที่ใช้ผลิตทั้งหมด ทั้งนี้เพราะหาได้ง่าย และมีปริมาณมาก โดยหนังสัตว์เหล่านี้จะต้องผ่านกระบวนการผลิต ได้เป็นหนังลักษณะต่างๆ [3] ได้แก่

1. **หนังสด (Green hides)** หมายถึงหนังที่ชำแหละจากตัวสัตว์ด้วยวิธีธรรมดาหรือใช้เครื่องจักร และยังไม่ผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษา ซึ่งหนังสดของสัตว์ต่างๆ จะมีน้ำหนักและขนาดแตกต่างกัน

2. **หนังดิบ (Raw hides)** หมายถึงหนังสัตว์ที่ยังไม่ผ่านกรรมวิธีกระบวนการฟอก แต่จะผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษา คือ

- **หนังหมักเกลือ (Wet salted hide)** หนังที่เก็บรักษาโดยใช้เกลือเป็นสารกันเสีย ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมที่สุด

- **หนังแช่น้ำเกลือ (Bine cure)** หนังสดที่เก็บรักษาโดยการแช่น้ำเกลือเข้มข้น

- **หนังตากแห้ง (Dried hide)** หนังสดที่เก็บรักษาโดยการตากให้แห้ง

- **หนังอาบน้ำยา (Arsenicated hide)** หนังสดที่เก็บรักษาโดยวิธีชุบน้ำยากันแมลง แล้วนำไปตากให้แห้ง

- **หนังหมักเกลือตากแห้ง (Dry salted hide)** หนังหมักเกลือประเภทที่ไล่เกลือจนซึมเข้าไปในเนื้อของหนังดีแล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง

3. **หนังฟอก (Leather)** หมายถึงหนังดิบที่ได้ผ่านกระบวนการฟอกด้วยสารเคมี และได้ผ่านกระบวนการย้อมสี เพื่อให้มีสีสันสวยงามและเพิ่มความทนทาน ซึ่งจะทำให้เหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นเครื่องหนังที่เหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ การนำหนังดิบมาผลิตเป็นหนังฟอกจะสูญเสียน้ำหนักไปจำนวนหนึ่ง เพราะหนังจะแห้งหลังจากทำการฟอก

หนังฟอกแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- **หนังทรง หรือหนังชั้นนอก (Upper leather)** เป็นหนังที่นำมาใช้ในการผลิตรองเท้า กระเป๋าและเฟอร์นิเจอร์ เป็นส่วนใหญ่

- **หนังท้อง หรือหนังชั้นใน (Side leather)** เป็นหนังที่นำมาใช้ในการผลิตถุงมือหนัง และหนังซบใน เป็นส่วนใหญ่

- **หนังชั้นล่าง** เป็นหนังที่นำไปผลิตเป็นของเล่นของสุนัข เป็นต้น

4. **หนังฟอกสำเร็จรูป (Wet blue)** หมายถึง การนำหนังดิบนำไปแช่ในน้ำเปลือกไม้ หรือน้ำยาเคมี เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติภายในของหนังสัตว์ไม่ให้เกิดการเน่าเปื่อย ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการฟอกหนังในขั้นแรก เป็นหนังฟอกที่ยังฟอกไม่เสร็จสมบูรณ์ และยังไม่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนังได้ หนังฟอกประเภทนี้จะผลิตเพื่อจำหน่ายให้แก่โรงงานฟอกหนัง เพื่อนำไปทำการฟอกในขั้นตอนต่อไป ตามกรรมวิธีที่แต่ละโรงงานชำนาญ จึงจะได้เป็นหนังฟอกสำเร็จรูปออกจำหน่ายแก่โรงงานผลิตเครื่องหนัง เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนังต่อไป

5. **หนังอัด** แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- หนังอัดลาย หมายถึงหนังที่มีรอยแผลหรือตำหนิ จึงนำมาอัดลายเพื่ออำพรางรอยดังกล่าว
- หนังอัดแผ่น หมายถึงหนังที่ผลิตด้วยการนำเศษหนังมาอัดเป็นแผ่น

2.5 การฟอกหนัง

การฟอกหนัง คือการเปลี่ยนสภาพหนังดิบซึ่งเน่าเปื่อยได้ นำมาผ่านกระบวนการฟอกให้เป็นหนังสำเร็จรูปที่คงตัวกว่า ไม่เกิดการเน่าเปื่อย มีความแข็งแรง มีความทนทานต่อสภาพอากาศ ป้องกันการทำงานของแบคทีเรีย และน้ำร้อน การฟอกหนังเป็นการฟื้นฟูสมบัติทางกายภาพ และจากการสัมผัสจะให้ความรู้สึกที่เป็นธรรมชาติมากที่สุด หรือทำให้หนังมีความทนทานมากขึ้น

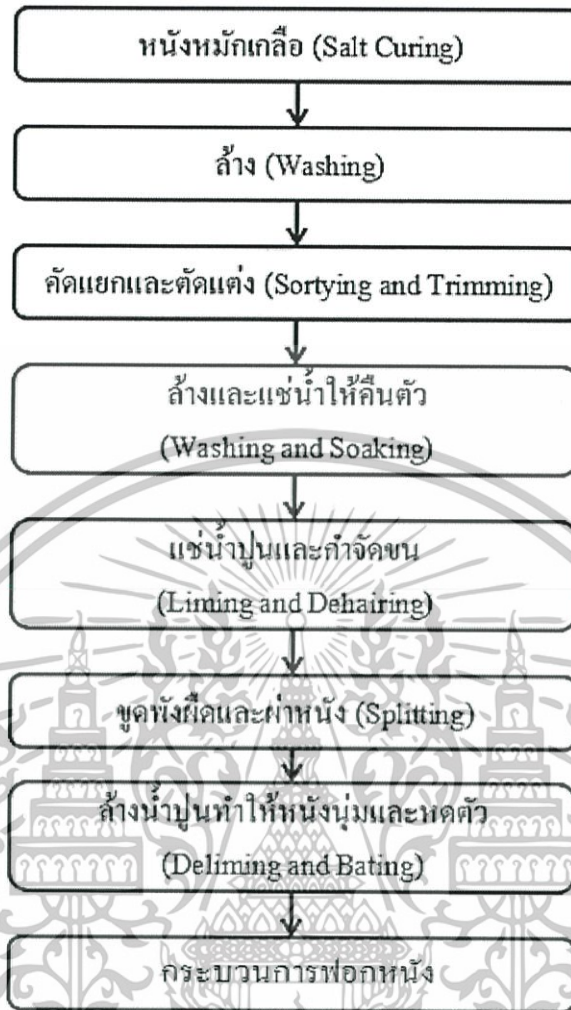
2.5.1 การเตรียมหนังก่อนฟอก

การเตรียมหนังก่อนฟอก เป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น ขน เศษหนัง กีบเท้า ฯลฯ ออกจากหนังดิบ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.4 และเตรียมหนังให้พร้อมที่จะฟอกโดยการล้างและแช่น้ำให้หนังคืนตัว แช่น้ำปูน กัดขนออกด้วยสาลไฟ ขูดพังผืดและผ่าหนัง ล้างน้ำปูนทำให้หนังนุ่มและหดตัว และบ่ม เพื่อเข้าสู่กระบวนการฟอกหนังต่อไป ดังตัวอย่างรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 หนังก่อนฟอก [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



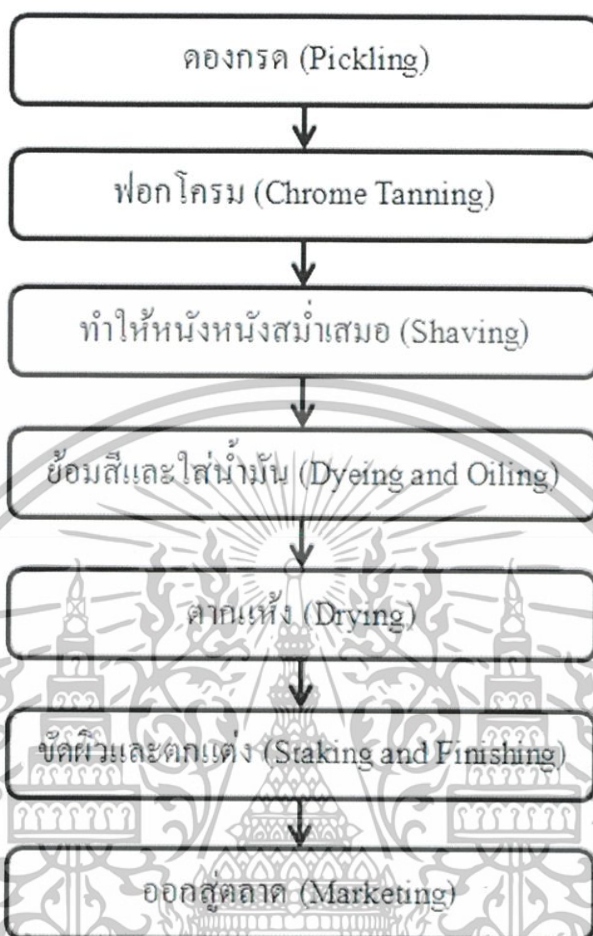
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก [3]

2.5.2 การฟอกโครม (Chrome tanning)

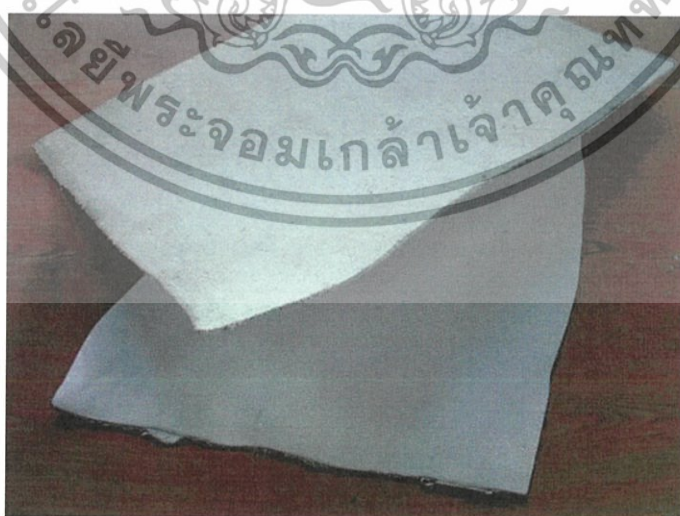
หนังที่ผ่านการฟอกแล้วจะทนต่อความร้อนและความชื้นได้ดี หนังที่ผ่านการฟอกด้วยโครม เรียกว่า หนังเขียว (Wet blue) ซึ่งการฟอกประเภทนี้เป็นที่นิยมกว่า เนื่องจากใช้เวลาสั้น สารเคมีราคาถูกลงและตลาดมีความต้องการอยู่มาก

ในการฟอกโครมจะเติมสารจำพวกโครม (Chrome) ลงไปในหนังที่ผ่านการดองด้วยกรดแล้ว ซึ่งเป็นเกลือของโครเมียม เช่น Chromic sulfate, Sodium dichromate เป็นต้น ใช้เวลาในการฟอกประมาณ 8-10 ชั่วโมง ขั้นตอนการฟอกโครมแสดงในรูปที่ 2.6 หลังจากทำการฟอกเสร็จสิ้น จะได้หนังฟอกโครม ดังตัวอย่างรูปที่ 2.7

การฟอกโครมมักใช้กับหนังที่นำไปใช้ในงานเบาๆ (Light leather) เช่น รองเท้า หุ้มเบาะ เก้าอี้ กระเป๋าถือสตรี เป็นต้น [3]



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการฟอกโครม [3]

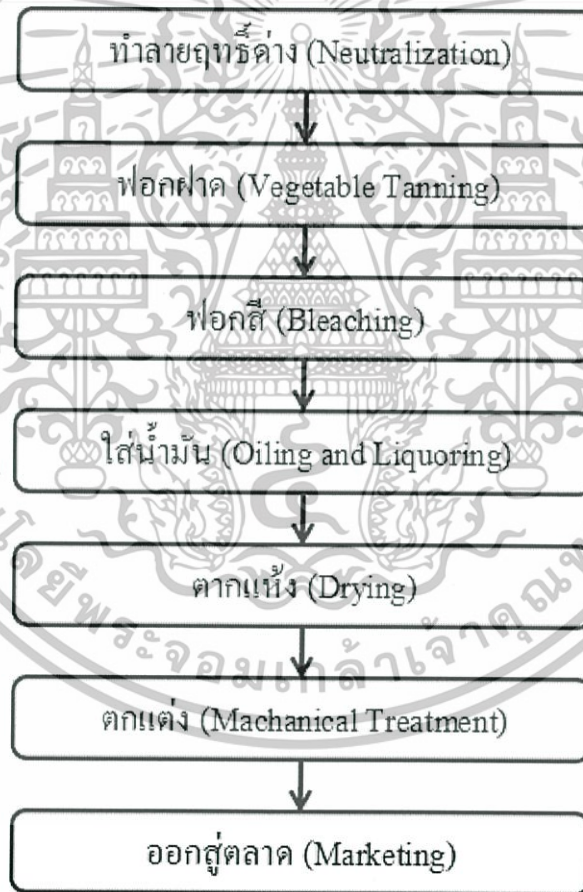


รูปที่ 2.7 หนังที่ผ่านกระบวนการฟอกโครเมียม [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การฟอกฝาด (Vegetable tanning)

การฟอกประเภทนี้จะนำสารสกัดประเภทแทนนิน ซึ่งสกัดได้จากเปลือกไม้พวงยูคาลิปตัส คิวบราโค และอื่นๆ มาเป็นตัวฟอก ซึ่งเรียกว่า สารฟอกฝาด หรือแทนนิน (Tannin) สารนี้ราคาสูงกว่าสารจำพวกโครม ทำให้การฟอกฝาดจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าการฟอกโครม และหนังฟอกฝาดที่ได้ จึงมีราคาสูงกว่าหนังฟอกโครมตามไปด้วย หลังจากการฟอกด้วยสารฟอกฝาด จะทำการล้างหนัง (Rinsing) โดยการใช้กรดออกซาลิกล้างฝาดออกจากหนัง เพื่อล้างฝาดส่วนเกิน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหนังอย่างมาก จากนั้นหนังที่ได้ไปรีดน้ำ เพื่อทำให้แห้ง และมีการเจียรผิวด้วยเครื่องตัดแต่ง และคัดเลือกเพื่อเก็บไว้รอจำหน่าย หรือแปรรูปตามความต้องการของตลาดต่อไป ขั้นตอนการฟอกฝาดแสดงในรูปที่ 2.8 หนังที่ได้จากการฟอกฝาดนี้ (รูปที่ 2.9) จะมีน้ำหนักมากกว่าหนังฟอกโครม โดยส่วนมากมักจะนำไปผลิตเป็นพื้นรองเท้า เข็มขัด [3]



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการฟอกฝาด [3]



รูปที่ 2.9 หน้าที่ผ่านกระบวนการฟอกฟาด [12]

2.5.4 ประเภทของเครื่องหนัง

เครื่องหนัง คือผลิตภัณฑ์ประเภทต่างๆที่ผลิตจากหนังสัตว์ เครื่องหนังที่สำคัญ ได้แก่ [3]

1. เครื่องหนังที่ใช้ในการเดินทาง ได้แก่ เบาะนั่ง กระเป๋าเดินทาง กระเป๋าเครื่องสำอาง กระเป๋าหนังสือ เต็นท์ ถูนอน รวมทั้งใช้ของต่างๆ ที่สามารถนำติดตัวไปใช้ได้ เช่น ซองธนบัตร ซองพาสปอร์ต ซองแว่นตา เป็นต้น
2. กระเป๋าหนัง มีหลายประเภทด้วยกัน ได้แก่ กระเป๋าถือของสตรี กระเป๋าเอกสาร กระเป๋าสตางค์ กระเป๋านักเรียน เป็นต้น
3. ถูมือหนังที่ผลิตในประเทศไทยที่สำคัญมี 2 ประเภท ได้แก่
 - ถูมือหนังที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ เชื่อมโลหะ และอุตสาหกรรมเคมี
 - ถูมือหนังที่ใช้เล่นกีฬา
4. ผลิตภัณฑ์เครื่องหนังประเภทอื่นๆ เช่น เครื่องแต่งกายที่ทำจากหนังสัตว์ หนังสวมเฟอร์นิเจอร์ พวงกุญแจ กรอบรูป เครื่องใช้สำนักงาน เข็มขัด สายนาฬิกา รองเท้า ปลอกคอ สายจูง และของเล่นสำหรับสุนัข เป็นต้น

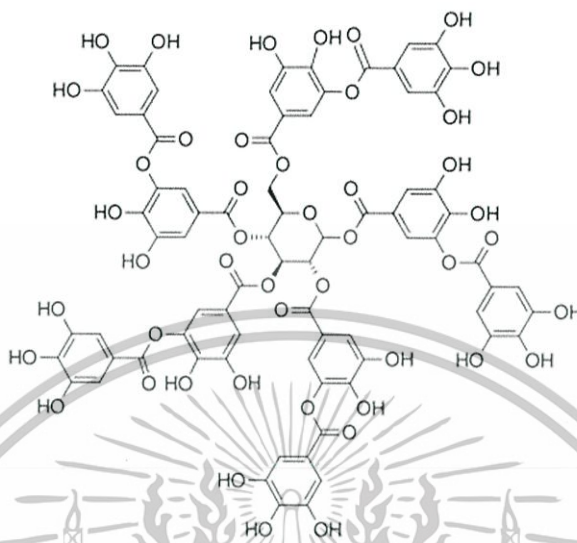
2.6 แทนนิน (Tannin)

แทนนิน เป็นสารประกอบจำพวกฟีนอล (Phenolic compounds) ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ดังรูปที่ 2.10 พบได้เฉพาะในพืชที่มีหมู่ Hydroxyl เป็นจำนวนมากและโมเลกุลมีโครงสร้างซับซ้อน น้ำหนักโมเลกุลของแทนนินจะอยู่ระหว่าง 500-3,000 มีสถานะเป็นกรดอ่อน เป็นสารที่ให้รสฝาด แทนนิน พบได้ในพืชหลายชนิดจากส่วนของราก เปลือก ก้าน ใบ ผล รวมถึงเมล็ด [13]

สารแทนนิน มีสมบัติเปลี่ยนหนังดิบ (Raw hide) ให้เป็นหนังสำเร็จรูป (Leather) โปรรตีนที่มีอยู่ในหนัง สามารถดูดซับสารแทนนินเข้าไปได้มาก หนังจึงพองขึ้น และหนังที่ได้จะมีน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้นจากเดิมก่อนการฟอกถึง 3.5 เท่า [13] แทนนินที่ถูกดูดเอาไว้นี้จะเข้าไปอุดรูขนบนหนังดิบ ทำให้หนังแข็งตัวไม่บิดงอให้เสียรูป ทำให้หนังที่ได้เหมาะสำหรับนำไปใช้กับงานหนัก (Heavy leather) เช่น พื้นรองเท้า เข็มขัด เป็นต้น



รูปที่ 2.10 กรดแทนนิน (Tannic acid) [14]

2.6.1 สมบัติและการนำไปใช้

- ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง แทนนินมีคุณสมบัติในการฟอกหนัง ซึ่งก็คือการตกตะกอนกับโปรตีน โดยแทนนินจะทำปฏิกิริยากับโปรตีน หลังจากการฟอกแล้วหนังที่ได้จะมีลักษณะแข็งกว่าหนังก่อนทำการฟอก มีสีน้ำตาลหรือน้ำตาลอมแดง และหนังที่ได้จะไม่เน่าเสีย
- ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางชนิด เช่น การทำให้เบียร์ใสและเกิดรสขม ผาต รวมทั้งกลิ่นในเครื่องสำอาง เบียร์ ไวน์ ชา และกาแฟ
- ใช้ในอุตสาหกรรมตัวประสาน แทนนินสามารถนำไปใช้ในการผลิตแผ่นไม้อัดแทนการใช้ฟีนอลสังเคราะห์
- ใช้ในทางการแพทย์ แทนนินสามารถนำมารับประทานเป็นยาแก้ท้องเสียหรือท้องเดิน (Antidiarrheals) โดยแทนนินมีกลไกไปจับกับ Fungal protein, Bacteria protein หรือ Viral protein หรือ Macromolecules อื่นๆของเชื้อที่รุกราน ทำให้เชื้อไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้ และใช้เป็นยาภายนอกในการรักษาแผล โดยแทนนินจะไปจับกับผิวหนังชั้นนอกและเนื้อเยื่อที่ผลิตเมือก (Mucosa) คลุมผิวให้สามารถป้องกันน้ำได้และมีฤทธิ์ทำให้เส้นเลือดหดตัว (Vasoconstrictor) ทำให้ลดการสูญเสียน้ำจากบาดแผล เป็นผลให้เนื้อเยื่อที่เป็นแผลหรือเนื้อเยื่อที่โดนไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวกนั้นซ่อมแซมตัวเองได้ดีขึ้น แผลจึงหายเร็วขึ้น ลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยแทนนินบางชนิดมีคุณสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นและยับยั้งการเกิด Superoxide ion ขึ้นมาใหม่อีกด้วย ซึ่งช่วยลดการเกิดมะเร็งต่างๆได้

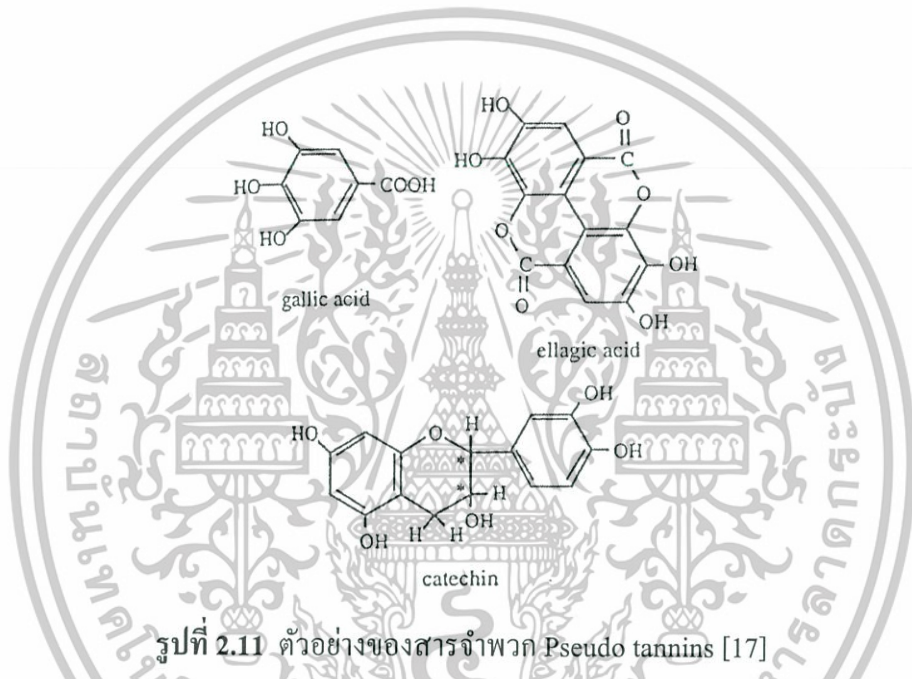
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ในอุตสาหกรรมสีอ้อมและทำหมึก แทนนินสามารถรวมตัวกับเกลือของธาตุเหล็กได้ สารประกอบสีเขียว สีน้ำเงิน จึงช่วยให้สีติดแน่นทนทาน เช่น โพรแอนโทไซยานินแทนนิน (Proanthocyanidin tannins) ใช้ย้อมแห อวน เชือก และเรือใบ ทำให้ทนทานต่อการใช้งานที่สัมผัสกับน้ำเค็ม โดยอาศัยคุณสมบัติการตกตะกอนกับ Macromolecules [13,15]

2.6.2 การจำแนกประเภทของแทนนิน

การจำแนกโดยอาศัยน้ำหนักโมเลกุลของแทนนิน แบ่งออกเป็น

- **Pseudo tannins** เป็นโครงสร้างมีขนาดเล็ก ดังตัวอย่างรูปที่ 2.11 มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 1,000 เป็นสารตั้งต้นของ True tannins



- **True tannins** เป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ ดังตัวอย่างรูปที่ 2.12 โดยมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 1,000-3,000 ซึ่งแบ่งย่อยออกได้เป็น

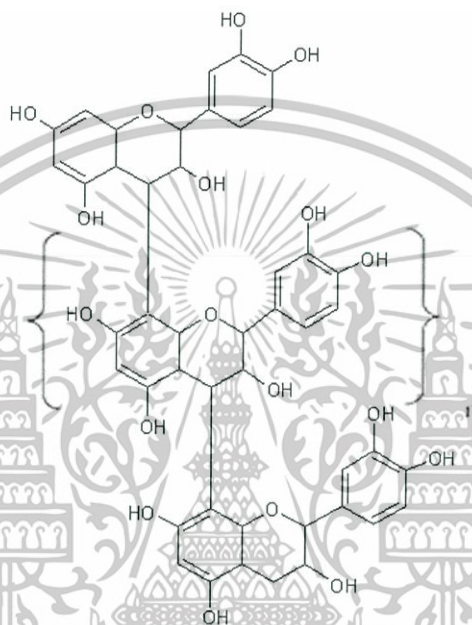
1. คอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins)

คอนเดนส์แทนนิน หรือที่เรียกว่า โพรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanin) หรือ Flavan-3-ols ได้จากการ Condensation ของ Flavan-3, 4 diols เช่น Leucocyanidin ซึ่งเป็นสารประกอบฟอลิฟีนอลที่มีความซับซ้อน แตกตัวหรือสลายด้วยน้ำได้ง่ายกว่าแทนนินชนิดสลายตัวได้ เพราะในโครงสร้างโมเลกุลไม่มีน้ำตาลอยู่ด้วย จึงสลายตัวได้ยากและละลายน้ำได้น้อย โครงสร้างฟอลิฟีนอลนั้นเป็นอนุพันธ์ของสารประกอบกลุ่ม Flavonoids โครงสร้างดังรูปที่ 2.12 สารประกอบกลุ่มนี้เมื่อถูกกรดแทนนิน จะเกิด Polymerization ได้สารประกอบที่เป็นพอลิเมอร์ ในรูปอสัณฐานสีแดงไม่ละลายน้ำ ซึ่งเรียกว่า Phobaphenes หรือ Tannin red จึงเรียกรวมกันว่า Phobatannins เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้มากลั่นแบบ Dry distillation หรือผ่านความร้อนได้สารประกอบที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Catechol tannins สารประกอบกลุ่มนี้จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Catechol tannins กรดร้อนสามารถทำให้พันธะคาร์บอนของสารกลุ่มนี้แตกออกจากกันได้เป็น Anthocyanidin จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า Proanthocyanidin

พืชที่เป็นแหล่งของคอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกชินโคนา เปลือกทลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกและใบของ Hamamelis ราก Krameria ราก Male fern เปลือกโกโก้ ใบชาเป็นต้น [13,16]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของคอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins) [18]

การทดสอบสารคอนเดนส์แทนนินทำได้โดย [16]

- การทดสอบกับน้ำยาทดสอบ โบรมีน ให้ตะกอนสีเหลืองอ่อน
- การทดสอบกับน้ำยา $FeCl_3$ ได้ตะกอนสีเขียวหรือสีเขียวแกมน้ำตาล
- การทดสอบกับน้ำยาโบรมีน จะทำให้เกิดตะกอนสีเหลืองอ่อนขึ้น
- การทดสอบกับน้ำยา Vanillin-HCl จะให้สีชมพูหรือสีแดง (Crimson color)
- การทดสอบการนำยา Formaldehyde-HCl จะได้ตะกอนสีแดงหรือสีชมพูเกิดขึ้น และตะกอนนี้จะไม่ละลายในน้ำร้อน แอลกอฮอล์ หรือ 5% KOH
- การทดสอบกับน้ำปูนใส (Lime water) จะได้ผลลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

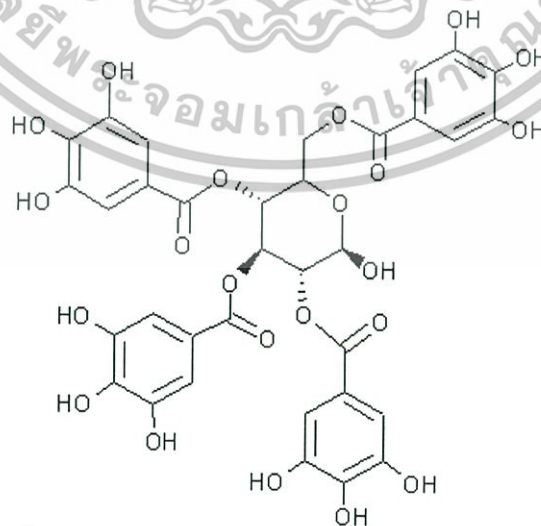
2. สารไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable tannins)

สารไฮโดรไลซ์แทนนิน อาจเรียกว่า Gallotannins หรือ Pyrogallol tannins ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.13 สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่ Glycosylated gallic acids, Catechin, Gallo catechin, Epicatechin, Epigallocatechin, Kaempferol, Quercetin เกิดจาก Gallic acid, Ellagic acid หรืออนุพันธ์มีลักษณะเป็น Amorphous สีเหลืองหรือสีน้ำตาล จับกันเป็นโมเลกุลใหญ่โดยมีการ Esterified อยู่กับ Glucose ที่กลางของไฮโดรไลซ์แทนนินประกอบด้วยหมู่ Polyol carbohydrate (D - glucoase) สามารถถูก Hydrolyzed ด้วยกรดหรือเอนไซม์ Tannase แยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้เป็น Acid กับ Glucose ทำปฏิกิริยากับกรดอ่อนหรือเบสอ่อนจะได้เป็นคาร์โบไฮเดรตและกรดฟีนอลิก [13,16]

แทนนินที่มีโครงสร้างเป็นพวก Polyphenol ที่ซับซ้อน ละลายได้ในน้ำร้อน เป็น Colloidal dispersion พบมากในส่วนใบ ผัก และส่วนที่บุดออกมาจากปกติเมื่อต้นไม้ได้รับอันตราย (Gall) เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของน้ำตาล ส่วนมากมักเป็นน้ำตาลกลูโคส หรือสารประกอบ Polyols อื่นๆ ส่วนที่สองเป็น Phenolic acid เช่น Gallic acid หรือ Hexahydroxydiphenic acid (HHDP) หรืออนุพันธ์ของ HHDP ที่มีอยู่ในรูปออกซิไดซ์โดยส่วนที่เป็น Phenolic acid จะมากกว่าส่วนของน้ำตาลหรือ Polyols เชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเทอร์ (Ester linkage) ที่เรียกว่า Depside linkage [13,16]

การทดสอบสารไฮโดรไลซ์แทนนินทำได้โดย [16]

- การทดสอบกับน้ำยา $FeCl_3$ ได้ตะกอนสีน้ำเงิน สีน้ำเงินคล้ำ สีน้ำเงินม่วง
- การทดสอบกับน้ำปูนใส (Lime water) จะได้ตะกอนสีเทาแกมน้ำเงินเกิดขึ้น
- การทดสอบกับน้ำยาทดสอบโบรมีนให้ผลการทดสอบเป็นลบ



รูปที่ 2.13 รูปโครงสร้างของไฮโดรไลซ์แทนนิน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 การสกัดแทนนิน

หลักการเบื้องต้นของการสกัดสารแทนนินออกจากพืชคือ Solid-liquid extraction ซึ่งทฤษฎีพื้นฐานคือการละลาย สมบัติเบื้องต้นของการละลายคือความมีขั้ว ตัวถูกละลายจะละลายได้ดีที่สุดในตัวทำละลายตามหลักที่เรียกว่า Like dissolves like และนอกจากตัวถูกละลายที่มีขั้วใกล้เคียงกันแล้ว ตัวทำละลายยังสามารถละลายตัวถูกละลายที่มีขั้วต่ำกว่าได้ด้วย ยกเว้นน้ำซึ่งจะละลายได้เฉพาะตัวถูกละลายที่มีขั้วสูงเท่านั้น โดยสารแทนนินจะละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ มีหลายวิธีการสกัดแทนนิน เช่น การกลั่นและการสกัดด้วยตัวทำละลาย [13]

วิธีการสกัดแทนนิน ได้แก่

1. การสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยการสกัดแบบเดิมนั้นจะขึ้นอยู่กับทางเลือกตัวทำละลายที่ถูกต้อง การผสม (Mixing) การให้ความร้อน และการกวน
2. มาเชอเรนชัน (Maceration) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชโดยการหมักสมุนไพรกับน้ำยาสกัดจนกระทั่งเนื้อเยื่อของสมุนไพรอ่อนนุ่มและน้ำยาสกัดสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมา
3. เพอร์โคเลชัน (Percolation) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยการปล่อยให้ น้ำยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายเอาองค์ประกอบออกจากผงสมุนไพรออกมา
4. อินฟิวชัน (Infusion) เป็นการสกัดโดยการต้มกับน้ำเดือด
5. การสกัดด้วยน้ำมันที่เย็น หรือเอ็นเฟลอร์เรจ (Enfleurage)
6. การสกัดด้วยน้ำมันที่ร้อน

ซึ่งในการสกัดต้องพิจารณาถึงโครงสร้างสาร Tannins และสมบัติของแทนนินด้วย ในกรณีนี้อาจสกัดด้วยวิธี Maceration ได้ โดยเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม เช่น โครงสร้างของแทนนิน มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซี (-OH group) เยอะมาก มีขั้ว ต้องเลือกตัวทำละลายที่มีขั้วในการสกัด เป็นต้น

แทนนิน เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อน ไม่สามารถตกผลึกได้ ทำให้ไม่สามารถแยกสารสกัดที่มีสารพอลิฟีนอลหลายชนิดที่รวมกันให้บริสุทธิ์ได้ โดยการตกผลึก การละลายเมื่อละลายน้ำจะได้เป็นสารละลายคอลลอยด์ (Colloidal solution) ส่วนการละลายขึ้นกับความสามารถในการเกิดพอลิเมอร์หรือขนาดของพอลิเมอร์นั่นเอง (Degree of polymerization) ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และอะซีโตน ความคงตัวในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ (Aqueous solution) ขึ้นอยู่กับโครงสร้าง เช่น ระวังสกัดโดยวิธีการต้มหรือเคี้ยวสารประกอบแทนนิน ชื่อ Geraniin จะสลายตัวให้เป็น Gallic acid, Ellagic acid และ Corilagin ใน 30 นาที Tannins สามารถรวมตัวกับโปรตีน, อัลคาลอยด์, ตกตะกอน โปรตีน เช่น เจลาติน และอัลบูมิน ตกตะกอนกับ Macromolecules เช่น แป้ง นอกจากนี้ยังสามารถตกตะกอนกับโลหะหนัก เช่น Lead acetate, Zinc acetate, Potassium dichromate และ Ferric chloride

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดและการทำให้บริสุทธิ์ (Extraction and Purification)

โดยทั่วไปมักใช้ Water-acetone mixture ควรหลีกเลี่ยงการใช้เมทานอล เนื่องจากจะทำให้เกิด Methanolysis ของ Galloyl depsides การสกัดมักทำได้ดีในพืชสด สารประกอบกลุ่มนี้อาจรวมตัวอยู่กับพอลิเมอร์อื่นๆ จากนั้นกำจัดอะซิโตนออกโดยการกลั่น แล้วแยก Pigments และ Lipids โดย Partition ด้วยไดคลอโรมีเทน ต่อมาสกัดแยก Dimeric proanthocyanidins และ Gallotannins ออก โดย Partition กับ Ethyl acetate ส่วน Polymeric proanthocyanidins และ High molecular weight gallotannins จะยังคงอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลว แล้วทำให้บริสุทธิ์ต่อโดย Gel filtration chromatography และตามด้วย Reverse phase chromatography ใน Water-alcohol หรือ Water-alcohol acetone mixtures [20]

2.6.4 การตรวจสอบสารแทนนิน

การตรวจสอบโดยใช้วิธีทางเคมี (Chemical screening) ได้แก่ [20]

- การทดสอบหา Hydrolyzable tannins

เมื่อทดสอบสารสกัดด้วย Ferric salts สารประกอบกลุ่ม Hydrolyzable tannins จะให้สีน้ำเงินเข้มถึงดำ (Bluish-black colors) ในขณะที่ Condensed tannins จะให้ตะกอนสีเขียวถึงสีเขียวอมน้ำตาล (Greenish-brown precipitates)

สารประกอบกลุ่ม Hydrolyzable tannins ทั้งหมดสามารถทดสอบโดยใช้น้ำปูนใส (Lime water) ผลบวกให้ตะกอนเหลืองสีน้ำเงินเทา

นอกจากนี้สามารถแยกประเภทของ Hydrolyzable tannins ได้โดยการทดสอบต่อไปนี้ [20]

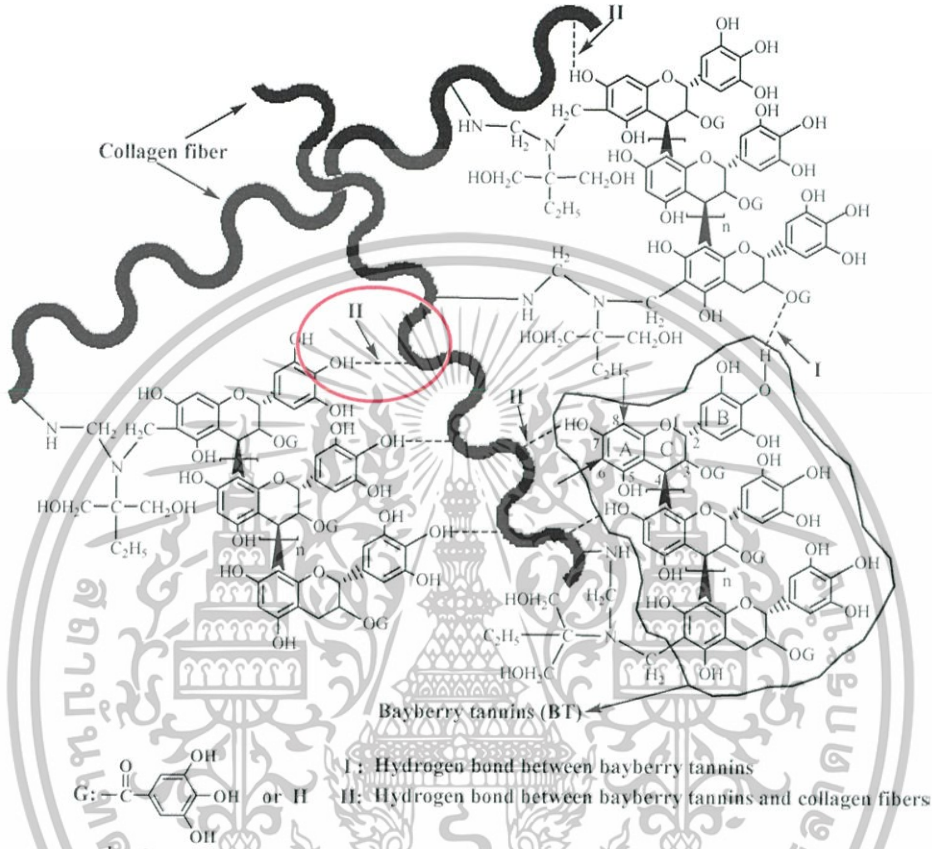
- การทดสอบหา Gallotannins ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Hydrolyzable tannins โดยใช้ Potassium iodate ผลบวกจะให้สีชมพู ส่วน Free gallic acid ให้สีส้มกับ Reagent นี้

- ทดสอบหา Ellagitannins ซึ่งเป็นสารกลุ่ม Hydrolyzable tannins โดยใช้ Nitrous acids ที่มี Acetic acid ผสมอยู่ด้วย ผลบวกให้สีชมพูในตอนแรก ต่อมาจะเปลี่ยนเป็นสีม่วงและสุดท้ายจะเปลี่ยนเป็นสีฟ้า

- การทดสอบหา Condensed tannins โดยใช้สารละลาย Vanillin/hydrochloric acid ผลบวกให้สีแดงและ Bromine water ผลบวกได้ตะกอนสีเหลือง ในขณะที่ Hydrolyzable tannins ไม่เกิดปฏิกิริยานี้

2.7 พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีน

พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีนเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของฟีนอลและพันธะเอไมด์ในโปรตีน [21] ดังในรูปตัวอย่างที่ 2.15



รูปที่ 2.14 การยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของหนังกับแทนนิน [21]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐนันท์ โทษนา และคณะ ศึกษาการใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยศึกษาปัจจัย PEG และสารคู่ควบไซเลน โดยศึกษาผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh และ 12-35 mesh และปริมาณผงหนังที่ 0-120 phr ที่มีผลต่อสมบัติของยาง ศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ทดสอบการลามไฟ พบว่าการใช้ PEG ส่งผลต่อการเชื่อมโยงของยาง และการใช้ PEG ร่วมกับสารคู่ควบไซเลน ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาการใช้ขนาดของผงหนัง พบว่าผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh ทำให้เกิดการเชื่อมโยงช้ากว่า และให้ค่าสมบัติเชิงกลต่ำกว่าเล็กน้อย ศึกษาปริมาณของผงหนังที่มีผลต่อการเชื่อมโยง พบว่าเมื่อผงหนังมีปริมาณมากขึ้น สมบัติเชิงกลจะสูงขึ้น แต่สมบัติเหล่านั้นจะมีค่าสูงสุดที่ 90 phr ส่วนการศึกษาสัณฐานวิทยาเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้นการกระจายตัวจะลดลง ศึกษาการลามไฟ พบว่า ผงหนังทำให้การลามไฟของวัสดุช้าลง [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S. H. El-Sabbagh และ O.A. Mohamed ศึกษาการใช้ผงหนังฟอกโครมขนาด 20 mesh เป็นสารตัวเติมในยางอะครีโลไนไทล์บิวทาไดอีน โดยใช้ผงหนังที่ไม่ได้รับการปรับสภาพและที่ได้รับการปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนีย และ โซเดียมฟอเมต จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อปรับสภาพด้วยสารละลายแอมโมเนีย และ โซเดียมฟอเมต ผงหนังจะมีขนาดอนุภาคเล็กลง ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลได้ ค่าแรงบิดเพิ่มขึ้น เมื่อศึกษาสมบัติเชิงกล พบว่าช่วยเพิ่มค่าความต้านทานแรงดึงและค่ามอดูลัส สมบัติเหล่านี้เกิดจากการเพิ่มความหนาแน่นในการเชื่อมโยงระหว่างผงหนังกับยาง ค่าความต้านทานแรงดึงหรือค่าความเครียดลดลง เนื่องจากการเพิ่มปริมาณของผงหนัง และยังลดการบวมตัวของยางได้อีกด้วย เพิ่มอายุการใช้งานและทนต่ออุณหภูมิดีกว่ายางที่ไม่ได้เติมผงหนัง [22]

K. Ravichandran และ N. Natchimuthu ศึกษาการใช้ผงหนังเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยใช้ผงหนังที่ผ่านการปรับสภาพให้เป็นกลางด้วย โซเดียม ไฮคาร์บอเนต, ยูเรีย และ แอมโมเนีย และเศษยางธรรมชาติขนาด 40 mesh ผสมลงในยางธรรมชาติ นำมาทดสอบการบวมตัวในตัวทำละลายคือ โทลูอีนและน้ำ พบว่ายางที่เติมผงหนังที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพให้เป็นกลาง จะเกิดการบวมตัวในโทลูอีนน้อยกว่า แต่จะบวมตัวในน้ำได้มากกว่า และเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังมากขึ้นการบวมตัวในตัวทำละลายทั้งสองเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับสภาพผงหนังให้เป็นกลาง และปริมาณการเติมผงหนังมีผลต่อการบวมตัวของยาง [23]

A. Przepiorkowska และคณะ ศึกษาการใช้ผงหนังฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยางคาร์บอนิลเลต บิวทาไดอีน-อะครีโลไนไทล์ (XNBR) หรือยางบิวทาไดอีน-อะครีโลไนไทล์ (NBR) โดยใช้ผงหนังขนาด 20 mesh ผสมซิงค์ออกไซด์ และใช้ลิมานอล พีอีวี (Limanol PEV) เป็นสารช่วยในการกระจาย พบว่าเมื่อใช้ผงหนังผสมซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวเติมในยางจะสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกล ความต้านทานแรงดึง ความยืดที่จุดขาด และเพิ่มความหนาแน่นในการเชื่อมโยงได้อย่างดีเยี่ยม นอกจากนี้ผงหนังยังช่วยลดเวลาในการเชื่อมโยงได้ [24]

อาชีชัน แกสมาน และคณะ ศึกษาอิทธิพลของปริมาณผงหนังฟอกโครมต่อสมบัติการเชื่อมโยงของยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีน ไวนิลอะซีเตต ผสมผงหนังขนาด 20 mesh ปริมาณ 75 phr และดินขาวปริมาณ 25 phr โดยใช้ไดควิมิลเปอร์ออกไซด์และไตรเมทิลลอลโพรเพน ไตรเมทาคริเลตเป็นสารเชื่อมโยง จากการศึกษาพบว่าทำให้ยางมีเวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาสุกลดลง เมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้น การเชื่อมโยงเกิดได้เร็วขึ้น ความต้านทานต่อแรงดึง ความสามารถในการยืดขาด และความสามารถในการเจาะทะลุมีค่าลดลงตามปริมาณของผงหนังที่เพิ่มขึ้น แต่ความต้านทานต่อการฉีกขาดและความแข็งแรงมีค่าเพิ่มมากขึ้น ยางมีความต้านทานต่อแรงดึง ความต้านทานต่อการฉีกขาด ความสามารถในการเจาะทะลุต่ำกว่าหนังแท้ แต่ยางมีความสามารถในการยืดขาดมากกว่าหนังแท้ และมีความแข็งแรงใกล้เคียงกับหนังแท้ สำหรับการทดสอบเปรียบเทียบสมบัติเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับหนังสือชี้แจง ว่าจะมีความสามารถในการชี้ขาด ความต้านทานต่อการลี้ภัยหรือ ความแข็งแรงแและ
ความสามารถในการเจาะทะลุดีกว่าหนังสือชี้แจง [25]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากงานวิจัยเรื่อง “การใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ” [4] โดยภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ได้รับความร่วมมือจากห้างหุ้นส่วนจำกัด กริชมณีโปรดักส์ ในการสนับสนุนเศษผงหนัง เพื่อใช้ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษผงหนังฟอกผาดเป็นสารตัวเติม (Filler) ในยางธรรมชาติ (NR) โดยเลือกใช้ยางแท่งเกรด STR-5L ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของการเติม PEG (Polyethylene glycol) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69 Coupling agents)

ตอนที่ 2 ศึกษาขนาดของผงหนังที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณของผงหนังที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

3.1 สารเคมี

1. ยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) ยางแท่งเอสทีอาร์ 5L (STR-5L) บริษัท เอ็ม.บี.เจ. เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
2. เศษผงหนังฟอกผาดตัดเจียร (Leather powder) ห้างหุ้นส่วนจำกัด กริชมณีโปรดักส์
3. สารเชื่อมโยงกำมะถัน (Sulfur) เกรดการค้า บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
4. สารกระตุ้นการเชื่อมโยง (Activator) กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บริษัท ยูนิตี้ อินเตอร์บิสซิเนส จำกัด
5. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activator) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า บริษัท ยูนิตี้ อินเตอร์บิสซิเนส จำกัด
6. สารหล่อลื่นน้ำมันแนฟทานิก (Naphthenic oil) เกรดการค้า บริษัท เพชรไทย เคมีภัณฑ์ จำกัด
7. สารเพิ่มเสถียรภาพ (Antioxidant) Wingstay L เกรดการค้า บริษัท เอ็ม.บี.เจ. เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด
8. ตัวเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) MBTS (Mercaptobenzothiazole disulfide) เกรดการค้า บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ตัวเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) TMTD (Tetramethylthiuram disulfide)
เกรดการค้า บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
10. สารคู่ควบ (Coupling agent): Bis(3-triethoxysilylpropyl)-tetrasulfide (Si-69) เกรดการค้า
บริษัท เบนไมเออร์ เคมีคอล (ที) จำกัด
11. PEG (Polyethylene glycol) เกรดการค้า บริษัท S.K.Polymer จำกัด

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมแบบชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น LRM150
บริษัท Lab tech engineer จำกัด
2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น LP20 บริษัท Lab tech engineer จำกัด
3. แม่แบบ (Mold) ขนาด 6x6 นิ้ว หน้า 2 มิลลิเมตร
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Universal testing machine, UTM) รุ่น LR 5
บริษัท Lloyd instrument จำกัด
5. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer hardness tester) ชนิด Shore A
รุ่น TECLOCK GS-719N บริษัท ATS Faar S.p.A จำกัด
6. เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscometer) รุ่น SMV-201
บริษัท Shimudzu จำกัด
7. เครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR (Moving die rheometer) Curelastomer
รุ่น IIF 150 บริษัท Nichigo Shoji จำกัด
8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
รุ่น S-3400N บริษัท Hitachi high-technologies Europe GmbH จำกัด
9. เครื่องวัดการยุบตัวถาวร (Compression device) รุ่น WL1700 บริษัท ทาชาเทค จำกัด
10. เครื่องวัดความต้านทานต่อการสึกกร่อน (DIN Abrasion tester) รุ่น YC-2130
DIN-53516 บริษัท ซายน์ลูชั่น จำกัด
11. เครื่องชั่งแบบละเอียด
12. ตู้อบความร้อน บริษัท โพรโทเทค อินเทอร์เน็ต จำกัด
13. เครื่องร่อนแยกขนาด บริษัท Retach จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผงแห้ง

- นำเศษผงแห้งฟอกฟาดขนาดเล็กร้อนเพื่อแยกขนาด โดยร้อนผ่านตะแกรงให้ได้ขนาด 20-35 mesh (500-841 ไมครอน) และเล็กกว่า 35 mesh (<500 ไมครอน)

- เมื่อได้ผงแห้งขนาดที่ต้องการจึงนำไปอบในตู้อบ โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบให้น้ำหนักผงแห้งคงที่ เพื่อกำจัดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

3.3.2 การศึกษาผลของผงแห้งที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของการเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69)

1. ชั่งน้ำหนักขงธรรมชาติที่ตัดเป็นชิ้น รวมทั้งชั่งสารเคมีต่างๆ ตามที่ระบุไว้ใน ตารางที่ 3.1 สามารถเพิ่มน้ำหนักขงผสมสูตร โดยคำนวณตามอัตราส่วนที่กำหนด

ตารางที่ 3.1 สูตรผสมขงในการทดลองศึกษาผลของผงแห้งในขง [4]

สาร	สูตรที่ (phr*)
ขงธรรมชาติ (NR)	100
ผงแห้งฟอกฟาด**	30, 60, 90 และ 120
Polyethylene glycol (PEG)**	0, 3%***
สารคู่ควบ – Silane69**	0, 3%***
สารหล่อลื่น (Lubricant) – Naphthenic oil	7
สารกระตุ้นการเชื่อมขง (Activator) – Stearic acid	2
สารกระตุ้นการเชื่อมขง (Activator) – ZnO	5
สารเชื่อมขง – กำมะถัน	1.5
สารเร่ง (Accelerator) – MBTS	1
สารเร่ง (Accelerator) – TMTD	0.3
สารเพิ่มเสถียรภาพ (Antioxidant) – Wingstay L	1

หมายเหตุ * phr = ส่วนโดย 100 ส่วนของขง (โดยน้ำหนัก)

** ปัจจัยที่จะศึกษา

- ตอนที่ 1 ศึกษาการใช้ PEG และสารคู่ควบไซเลน
- ตอนที่ 2 ศึกษาขนาดผงแห้ง (20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh)
- ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณผงแห้ง (30, 60, 90 และ 120)

*** 3% โดยน้ำหนักของปริมาณผงแห้ง

2. ใช้ผงแห้งฟอกฟาดผสมกับไซเลน69 (Si-69) ในเอทานอล ที่มีความเข้มข้น 25%wt โดยฉีดพรมและผสมให้เข้ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใส่ยางธรรมชาติที่เตรียมไว้ลงในเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) เพื่อให้แรงเสียดทานระหว่างลูกกลิ้งทำการบดย่อย (Mastication) ทำการกรีดพับยาง (Cut-and-fold) จนกระทั่งยางนิ่ม จะใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ให้ยางธรรมชาติพันลูกกลิ้ง มีผิวสม่ำเสมอและให้ยางมีความหนาพอประมาณ

4. นำสารต่างๆที่เตรียมไว้ค่อยๆผสมลงในยาง ได้แก่ กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์ และสารเพิ่มเสถียรภาพ ทำการกรีดพับยาง เพื่อให้สารตัวเติมกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง

5. ใส่น้ำมันเนฟทาติก ตามด้วยผงหนังและพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำการกรีดพับยาง (Cut-and-fold) ใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 10-15 นาที

6. เมื่อยางผสมเข้ากันดีแล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นกรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้แผ่นยางพับติดกัน

7. นำแผ่นยางที่ได้ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 นิ้ว จำนวน 2 แผ่น เพื่อใช้วัดหาค่าความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscosity) โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscometer machine) กำหนดอุณหภูมิการวัดที่ 100°C โดยหาค่าความหนืด ML 1+4(100°C) ของยางผสมสูตรก่อนการเชื่อมโยง

หมายเหตุ ML 1+4(100°C) หมายถึงความหนืดมูนนี่ (M-Mooney) โดยใช้แกนหมุนขนาดใหญ่ (L=Large rotor) ทำการให้ความร้อนก่อน 1 นาที (1 = Preheat time 1 นาที) และทำการวัดค่าความหนืดมูนนี่เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที โดยวัดค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100°C ค่าความหนืดมูนนี่ไม่มีหน่วย (Dimensionless)

8. หลังจากตัดยางบางส่วนมาทำการทดสอบหาค่าความหนืดมูนนี่แล้ว นำยางที่เหลือมากรีดและพับในเครื่องบดผสมต่อ นำตัวเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator) ได้แก่ MBTS, TMTD และสารเชื่อมโยงกัมมะถันใส่ลงในยางให้กระจายตัวสม่ำเสมอ ทำการผสมจนเป็นเนื้อเดียวกับยาง ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 นาที

9. เมื่อยางผสมเข้ากันดีแล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นกรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้แผ่นยางพับติดกัน

10. นำแผ่นยางที่ได้ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 2x2 นิ้ว นำไปทดสอบลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristic) ด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR (Moving die rheometer) Curelaster เพื่อหาเวลาการเชื่อมโยง (Cure time, $t_{c(90)}$) และเวลาก่อนการเชื่อมโยง หรือเวลาสกอร์ช (Scorch time, t_{s2}) ที่อุณหภูมิ 150°C

11. เมื่อหาเวลาการเชื่อมโยง และเวลาก่อนการเชื่อมโยงได้แล้ว นำแผ่นยางที่เหลืตัดใส่แม่แบบสี่เหลี่ยมขนาด 6x6 นิ้ว นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) อัดร้อนที่อุณหภูมิ 150°C กำหนดเวลาเท่ากับเวลาเชื่อมโยง ที่ได้จากเส้นกราฟ โดยใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น $t_{c(90)} \times 1.2$ เพื่อเป็นเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านแม่แบบ และภายในชิ้นงาน

12. นำยางที่อัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วมาใช้ทดสอบสมบัติต่างๆต่อไป

13. ทำการทดลองใหม่โดยไม่เติม PEG และสารคู่ควบไซเลน

ตอนที่ 2 ศึกษาขนาดของผงหนังที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

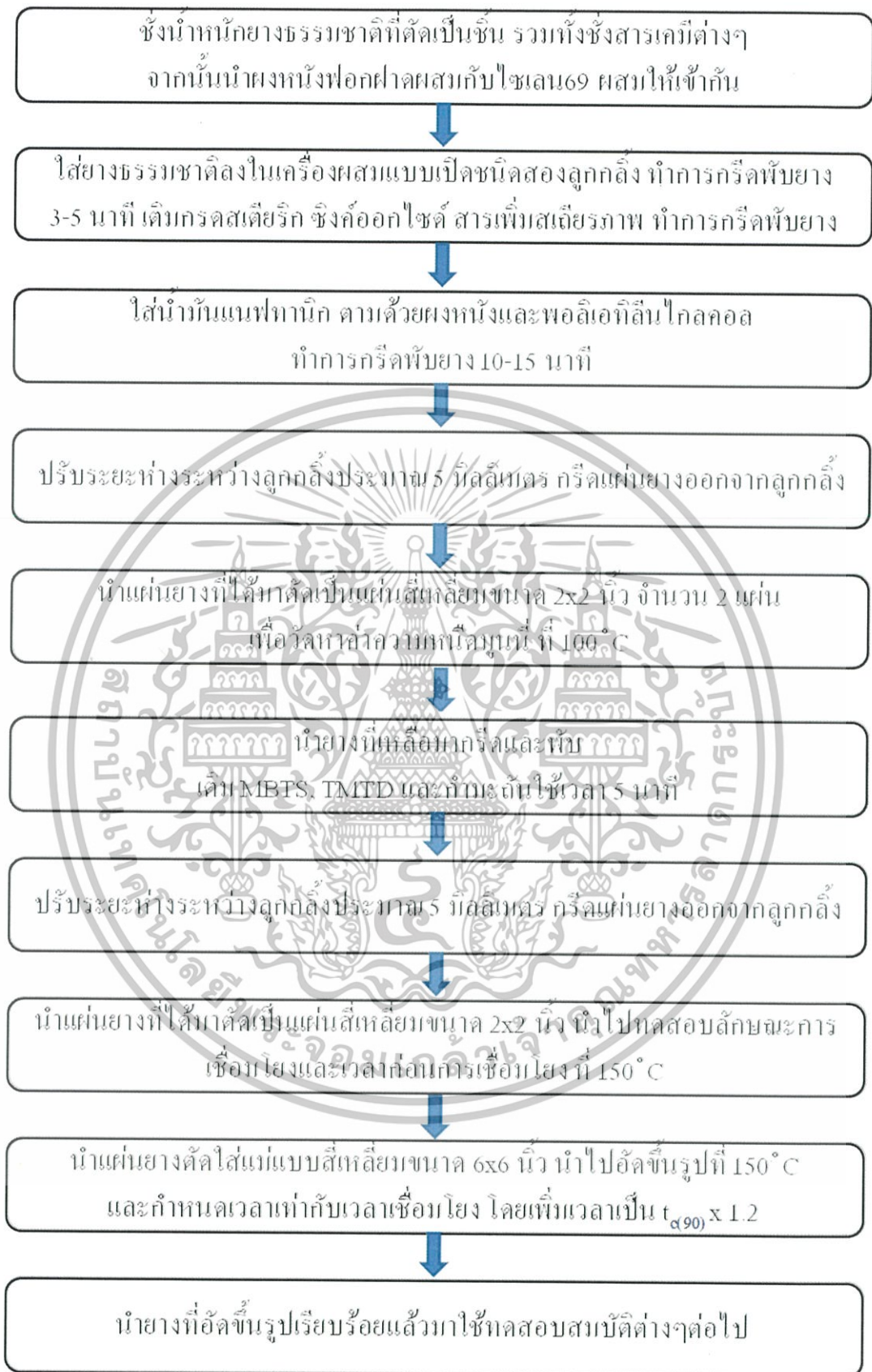
- ทำตามขั้นตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนขนาดผงหนัง

ตอนที่ 3 ศึกษาปริมาณผงหนังที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

- ทำตามขั้นตอนที่ 1 โดยเปลี่ยนปริมาณผงหนัง

แผนผังขั้นตอนวิธีการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.1



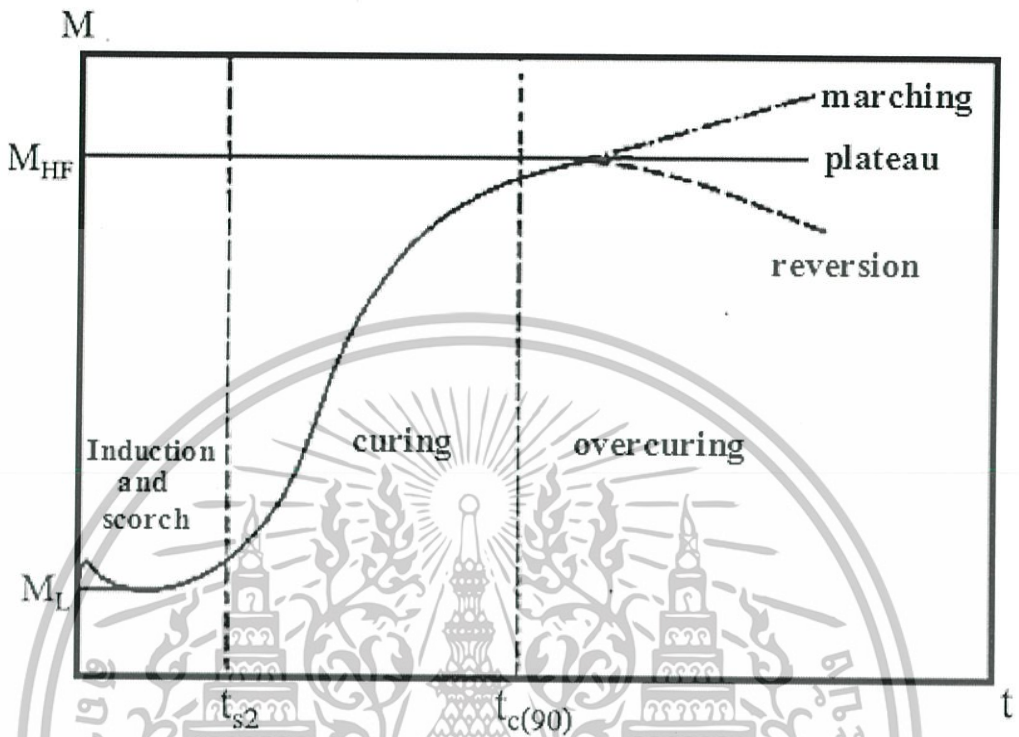


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยง

การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยงของยางด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR จะแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและเวลา ตัวอย่างของกราฟแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่าง Cure curve แสดงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) [26]

จากกราฟอธิบายบริเวณส่วนต่างๆ และความหมายของคำศัพท์ได้ ดังนี้

Induction and scorch	ช่วงเวลาก่อนเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Curing	ช่วงเวลาที่สารเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Over curing	ช่วงเวลาที่หลังการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Reversion	ยางเกิดการเสถียรภาพทางความร้อนทำให้ค่าแรงบิดลดลง
Plateau	ยางไม่เกิดการเสถียรภาพทางความร้อน
Marching	ยางเกิดการเชื่อมโยงมากกว่าปกติ ทำให้ยางแข็งขึ้น ค่าแรงบิดจึงเพิ่มขึ้น

จากกราฟแสดงลักษณะการคงรูปของยางสามารถอธิบายค่าต่างๆ ได้ดังนี้

เมื่อ	M_L (Minimum torque)	ความแข็งของยางที่ยังไม่คงรูป ค่าแรงบิดต่ำสุด
	M_{HF} (Maximum torque)	ความแข็งของยางหลังจากคงรูปแล้ว ค่าแรงบิดสูงสุด

t_{s2} (Scorch time)	เวลาเริ่มเชื่อมโยง เป็นเวลาที่ค่าแรงบิดเพิ่มสูงขึ้น 2 นิวตันเมตร (N.m) เป็นเวลาที่กำมะถันเริ่มทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Curing) กำหนดเป็นช่วงเวลาที่สามารถขึ้นรูปร่างผสมสูตรเป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ โดยที่ยังไม่เกิดการเชื่อมโยง
$t_{c(90)}$ (Cure time)	เวลาเชื่อมโยง เป็นเวลาที่ยางคงรูป เกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุด กำหนดเป็นเวลาที่ ยางเชื่อมโยง 90 % จากค่าแรงบิดต่ำสุด หาได้จาก $M_{t90} = 0.9 (M_{HF} - M_L) + M_L$
CRI (Cure rate index)	ดัชนี อัตราเร็วในการคงรูป หาได้จาก $CRI = 100 / (t_{90} - t_{s2})$

3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

- การทดสอบแรงดึง (Tensile tests)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D422 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปคัมเบลล์ (Dumbbell shape) [4] ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed : 500 mm/min

Gauge length : 30 mm

Load cell : 5 kN

ค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ได้แก่

1) การทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ความแข็งแรงดึง เท่ากับความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้ เมื่อให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

2) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด} = \frac{(l - l_0)}{l_0} \times 100$$

เมื่อ l = ความยาวสุดท้าย ณ จุดขาดของชิ้นงาน (mm)

l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน (mm) หรือความยาวเกจ

3) มอดูลัสของยาง (Rubber modulus)

ทดสอบที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) คือ ค่าความเค้นดึง (Tensile stress) ที่ค่าความเครียด 100 เปอร์เซ็นต์ (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลัสแบบซีแคนต์ (Secant modulus) ความชันของเส้น โค้ง เป็นอัตราส่วนความเค้น ณ ตำแหน่งหนึ่งบนเส้นกราฟ

- การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D624 ทดสอบโดยการตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนก (Right angle) และสภาวะการทดสอบเหมือนกับการทดสอบแรงดึง

ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) หาได้จากสมการ

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A$$

เมื่อ $F =$ แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (N)

$A =$ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

- การทดสอบความแข็งกด (Hardness)

วัดความแข็งกดของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D2440 Durometer hardness ชนิด Shore A โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบจะต้องมีความหนาน้อยกว่า 1/4 นิ้วหรือ 0.25 นิ้ว ทำการทดสอบค่าความแข็งกดตัวอย่างละ 10 จุด สเกลสำหรับอ่านค่าความแข็งกด โดยอ่านค่าหลังให้แรงกด 5 วินาที [4]

- การทดสอบการสึกกร่อน (Abrasion test)

การทดสอบการสึกกร่อนตามมาตรฐาน DIN 53516:1987-06 ด้วยเครื่องวัดความต้านทานต่อการสึกกร่อน (DIN Abrasion tester) โดยชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร หนาน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร โดยกดชิ้นงานให้สัมผัสกับพื้นผิวขดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แล้วหาน้ำหนักที่สูญเสียไปของชิ้นทดสอบและคำนวณเป็นปริมาตรสูญเสีย [4]

- การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set test)

การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D395-03 (2008) (Method B) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Compression device การทดสอบจะทำโดยวัดความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ แล้วนำตัวอย่างเข้าไปวางไว้ระหว่างเครื่องอัด โดยอัดให้ชิ้นงานยุบตัวลงจากเดิมตามที่กำหนด (25%) วัดความหนาของชิ้นงานหลังการใช้แรงอัด แล้วให้ชิ้นงานอยู่ในสภาพมีแรงอัดที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วคลายแรงอัด ปล่อยให้ชิ้นงานคืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของชิ้นงานนั้น [4] หาได้จากสมการ

$$\text{Compression Set (\%)} = (t_0 - t_f) / (t_0 - t_s) \times 100$$

เมื่อ $t_0 =$ ความหนาของยางก่อนทดสอบ (mm)

$t_s =$ ความหนาของยางหลังการใช้แรงอัด (mm)

$t_f =$ ความหนาของยางเมื่อปล่อยแรง (mm)

3.3.5 การทดสอบสัณฐานวิทยา

ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) เพื่อดูรูปร่างสัณฐานของผงแห้ง และการกระจายของผงแห้งในยางธรรมชาติ เตรียมตัวอย่างโดยการแช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 30 นาที แล้วหักตัวอย่างอย่างรวดเร็ว ทำการเคลือบด้วยทอง แล้วส่องที่กำลังขยายต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ผงหนังฟอกผาด (Vegetable tanned leather) เป็นสารตัวเติม (Filler) ในยางธรรมชาติ (Natural rubber, NR) โดยนำผงหนังมาทำการร่อนเพื่อแยกขนาด จากนั้นนำไปผสมกับยางธรรมชาติและสารเคมีด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง จะได้อย่างผสมสูตร แล้วทำการอัดขึ้นรูป จากนั้นทำการศึกษา โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 หัวข้อดังนี้

- ผลของการใช้ Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ใช้ 3% ของน้ำหนักผงหนัง
 - ขนาดของผงหนังที่มีผลต่อยางธรรมชาติ ได้แก่ เล็กกว่า 35 mesh (เล็กกว่า 500 ไมครอน) และ 20-35 mesh (500-841 ไมครอน)
 - ปริมาณผงหนังที่มีผลต่อยางธรรมชาติ ได้แก่ 30, 60, 90 และ 120 phr
- ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง สมบัติเชิงกลและสถานะวิทยา สำหรับอักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย

สูตร	คำอธิบายอักษรย่อในสูตร
[N]	L-35 = ผงหนังที่มีขนาดเล็กกว่า 35 mesh
L-35[NSiP30]	(เล็กกว่า 500 ไมครอน) ผ่านเบอร์ 35 mesh
L-35[NSiP60]	L-20-35 = ผงหนังที่มีขนาด 20-35 mesh
L-35[NSiP90]	(500-841 ไมครอน) ผ่านตะแกรงร่อน
L-35[NSiP120]	เบอร์ 20 mesh แต่ไม่ผ่านเบอร์ 35 mesh
L-20-35[N30]	N = ยางแท่งเอสทีอาร์ 5L (STR-5L)
L-20-35[NSiP30]	P = Polyethylene glycol (PEG) 4000
L-20-35[NSiP60]	Si = Si-69
L-20-35[NSiP90]	30, 60, 90, 120 = ปริมาณผงหนัง (phr)
L-20-35[NSiP120]	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละสูตร

สูตร	ขนาดผงแห้ง (mesh)	ปริมาณ Si-69 (กรัม)	ปริมาณ PEG (กรัม)	ปริมาณผงแห้ง (กรัม)
[N]	-	-	-	-
L-35[NSiP30]	>35	3.6	3.6	120
L-35[NSiP60]	>35	7.2	7.2	240
L-35[NSiP90]	>35	10.8	10.8	360
L-35[NSiP120]	>35	14.4	14.4	480
L-20-35[N30]	20-35	3.6	3.6	120
L-20-35[NSiP30]	20-35	3.6	3.6	120
L-20-35[NSiP60]	20-35	7.2	7.2	240
L-20-35[NSiP90]	20-35	10.8	10.8	360
L-20-35[NSiP120]	20-35	14.4	14.4	480

4.1 การศึกษาผลของการใช้สารก่อกวนไซเลนและ PEG

สารก่อกวนไซเลนช่วยเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างผงแห้งซึ่งเป็นพอลิเมอร์อินทรีย์กับยางธรรมชาติซึ่งเป็นพอลิเมอร์อนินทรีย์ โดยสารก่อกวนไซเลนนี้จะมีโมเลกุลที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาทางเคมีกับพื้นผิวของของแข็งและเข้าทำปฏิกิริยาได้ในเนื้อของพอลิเมอร์ ส่วน Polyethylene glycol เป็นตัวช่วยป้องกันการดูดซึมสารเติมแต่งให้กับสารที่มีขี้

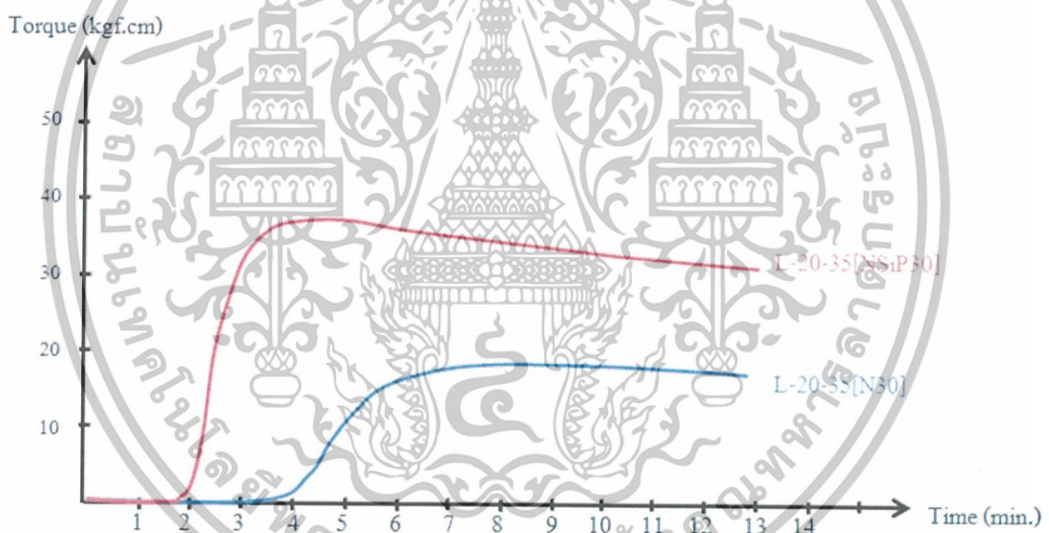
ในการศึกษาผลของการใช้ PEG และ Si-69 ได้อ้างอิงผลการทดลองจากงานวิจัยเรื่อง การใช้ประโยชน์ผงแห้งฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยผลการศึกษาพบว่าทั้ง PEG และ Si-69 ได้ผลการทดสอบที่ดีกว่าการใช้สารอย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ใช้เลย [4] จึงได้นำผลการทดลองมาอ้างอิงในงานวิจัยนี้ โดยศึกษาการใส่และไม่ใส่ทั้ง PEG และ Si-69

4.1.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง

โดยทั่วไปกระบวนการผสมยางจะต้องมีการวัดความหนืดมูนนี้ซึ่งถือว่าเป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของยางในแต่ละครั้งของการผสมให้มีค่าใกล้เคียงกัน จากงานวิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าความหนืดมูนนี้ที่สภาวะ ML (1+4) 100°C โดยสามารถแสดงค่าความหนืดมูนนี้ ดังตารางที่ 4.3

นอกจากนี้ยังได้ศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง ซึ่งใช้เวลาเริ่มเชื่อมโยงของยาง (Scorch time, t_{s2}) และเวลาเชื่อมโยงของยาง (Cure time, t_{c90}) ดัชนีอัตราเร็วการเชื่อมโยง (Cure rate index) งานวิจัยนี้ได้ทดสอบด้วยเครื่องเอ็มดีอาร์ (Moving die rheometer, MDR) ที่อุณหภูมิ 150°C แสดงดังรูปที่ 4.1

จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีการเติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[NSiP30]) มีดัชนีอัตราการเชื่อมโยงและค่าความหนืดมูนนี่มากกว่ายางผสมสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[N30]) และมีเวลาเริ่มเชื่อมโยงของยางกับเวลาเชื่อมโยงของยางน้อยกว่ายางผสมสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 เนื่องจากพวงหรีดเป็นโปรตีนที่มีหมู่เอไมด์ ($-\text{NH}_2$ group) เป็นหมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างที่มีขี้ผึ้ง จึงทำให้พวงหรีดสามารถดูดซับสารเติมแต่งที่เติมลงไป เช่น ZnO, Stearic acid และสารเร่ง จึงทำให้สารเติมแต่งหายไปบางส่วน ทำให้ยางผสมสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 มีการเชื่อมโยงที่ช้ากว่า



รูปที่ 4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของการใช้ PEG และ Si-69

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนืด และค่าพฤติกรรมการณ์เชื่อมโยง แสดงผลของการใช้ PEG และ Si-69

Sample	Mooney (ML (I+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	t_{90} (s)	CRI (s^{-1})
L-20-35[N30]	25.2	1.2	19.5	252	372	0.83
L-20-35[NSiP30]	26.6	1.8	38.5	132	204	1.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

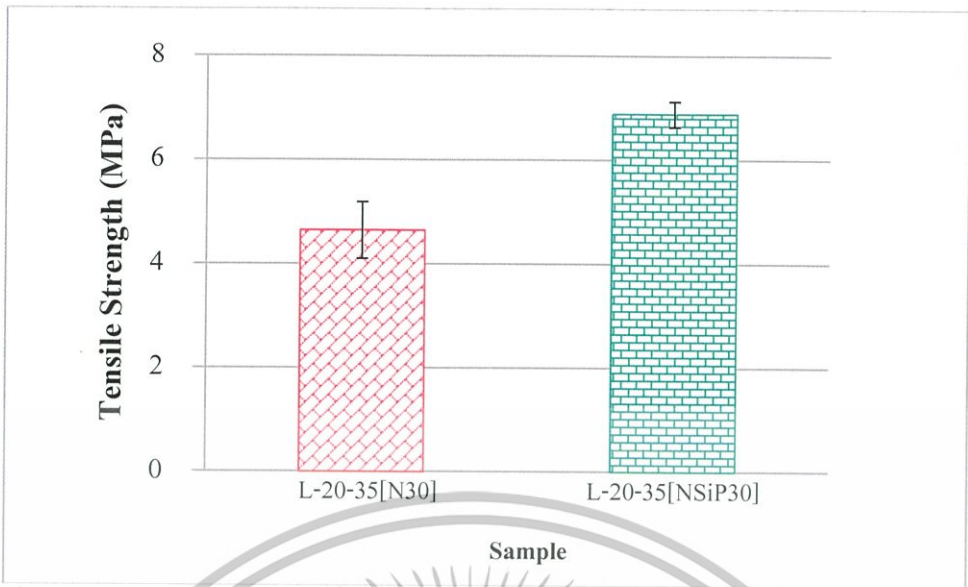
4.1.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา

จากรูปที่ 4.2-4.8 พบว่ายางผสมสูตรที่มีการเติม PEG และ Si-69 มีค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าความแข็งกดมากกว่ายางผสมสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ดึงยืด ณ จุดขาดและค่าการสึกหรอที่น้อยกว่า เนื่องจาก Si-69 มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มการยึดติดระหว่างพื้นผิวผงหน้งที่พอกด้วยเทนินิน มีหมู่ฟีนอล (-Ph-OH group) เป็นหมู่ฟังก์ชันซึ่งเป็นหมู่ที่มีขั้วกับยางธรรมชาติที่ไม่มีขั้ว ทำให้ยึดติดกันได้ดี เพราะ Si-69 ประกอบด้วยหมู่ Alkoxy ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ Silanol บนผิวของสารตัวเติม เกิดเป็นโครงสร้างของหมู่ Siloxane และหมู่ Organo-fuction ซึ่งเป็นส่วนของไฮโดรคาร์บอนและซัลเฟอร์ ซึ่งเข้ากันได้ดีและสามารถเกิดปฏิกิริยาโครงสร้างตาข่าย (Crosslink) กับยางเพื่อเพิ่มความแข็งแรงอีกด้วย [27] และ PEG ช่วยป้องกันการดูดซับสารเคมีที่จะเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง ส่งผลให้การเชื่อมโยงของยางเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

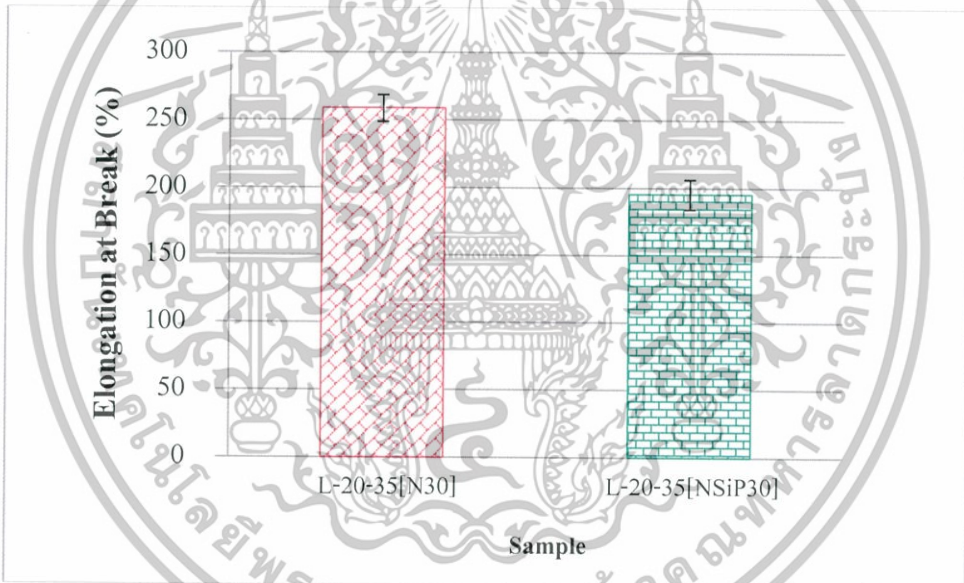
พิจารณาค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัด (Compression set) ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง สูตรที่เติม PEG และ Si-69 มีค่าการยุบตัวมากกว่า อาจเกิดจากความชื้นและสารขนาดเล็กที่ผงหน้งได้ดูดซับไว้ เมื่อนำไปทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน ความร้อนนั้นจะทำให้เกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยเข้าไปจับกำมะถัน ทำให้กำมะถันที่จะไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มีน้อยลง จึงส่งผลให้การเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เกิดไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปทดสอบการยุบตัวค่าที่ได้จึงมีการยุบตัวมากกว่า ดังนั้นค่าที่ได้จึงไม่สอดคล้องกับค่าอื่นๆจากสมบัติเชิงกลข้างต้น

จากรูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การบวมตัว ในสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[N30]) มีอัตราการบวมตัวสูงกว่าสูตรที่เติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[NSiP30]) เนื่องจากการเชื่อมโยงที่ไม่สมบูรณ์ ทำให้ผงหน้งกับยางยึดติดกันไม่ดี

เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยา จากรูป SEM แสดงการยึดติดระหว่างผงหน้งกับยาง พบว่าสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[N30]) ดังรูปที่ 4.10(ก) ผงหน้งกับยางมีการยึดติดกันไม่ดี เนื่องจากยางเป็นโครงสร้างที่ไม่มีขั้วและผงหน้งเป็น โครงสร้างที่มีขั้ว จึงทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกันได้อย่างชัดเจน ส่วนสูตรที่เติม PEG และ Si-69 (สูตร L-20-35[NSiP30]) ดังรูปที่ 4.10(ข) ผงหน้งกับยางมีการยึดติดกันดี เนื่องจากยางเป็น โครงสร้างที่ไม่มีขั้วและผงหน้งเป็น โครงสร้างที่มีขั้ว เมื่อเติม PEG ซึ่งช่วยในการเคลือบพื้นผิวของผงหน้ง เพื่อกันไม่ให้ผงหน้งดูดซับสารเคมีและ Si-69 จะเป็นตัวช่วยประสานระหว่างส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ยางจึงเข้าไปยึดติดและเคลือบผงหน้ง จากสัณฐานวิทยาจะพบว่าทั้งยางและผงหน้งเกิดการยึดติดกันได้ดีกว่า

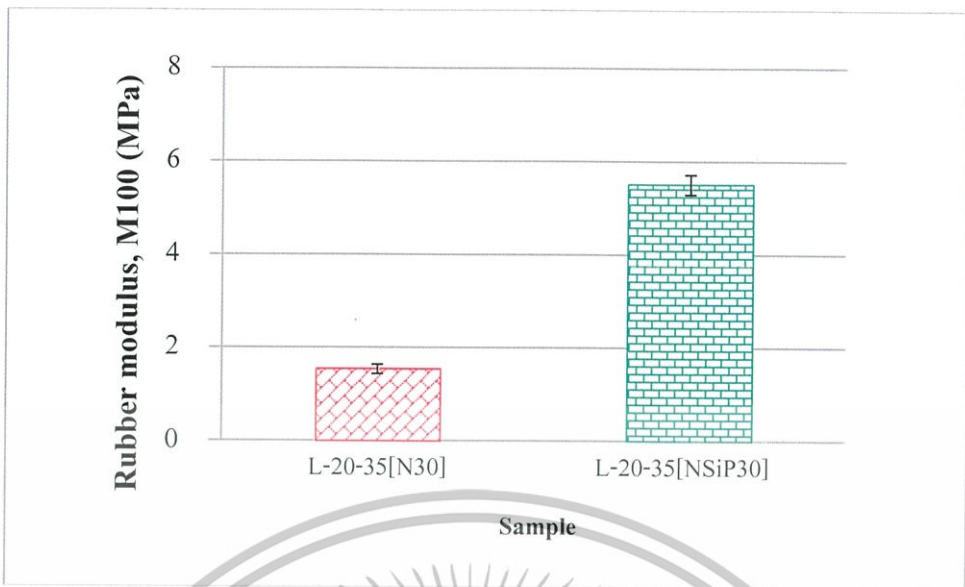


รูปที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

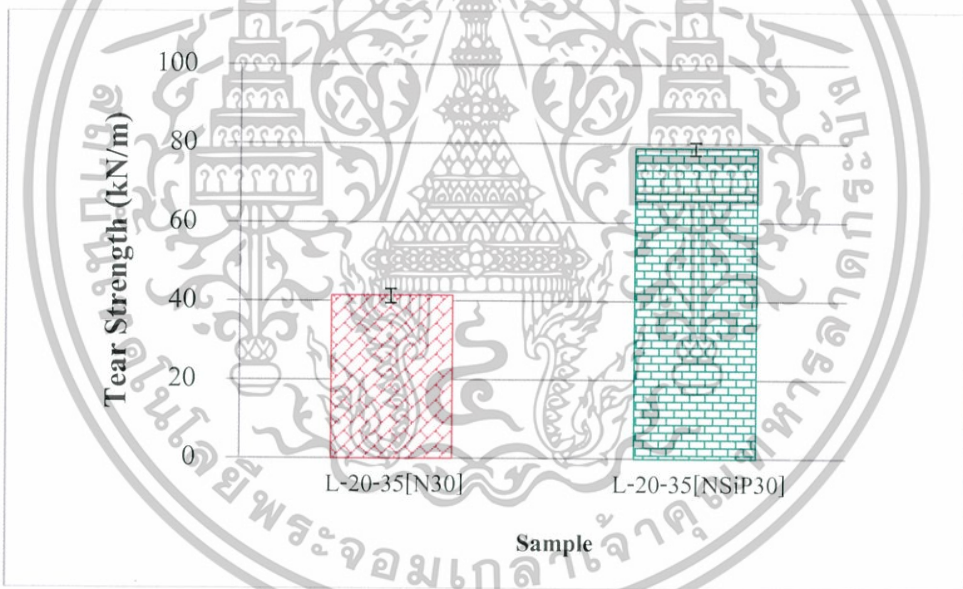


รูปที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

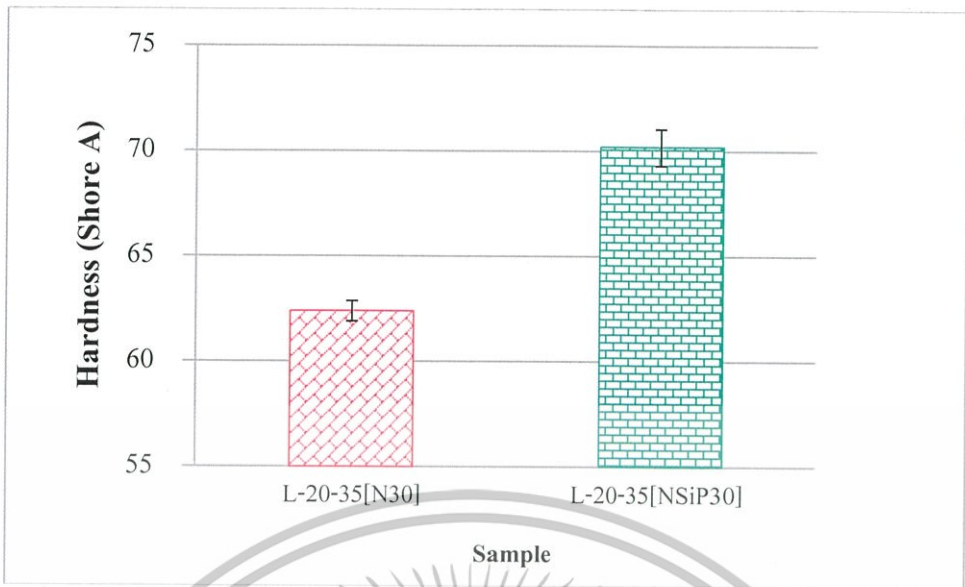


รูปที่ 4.4 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

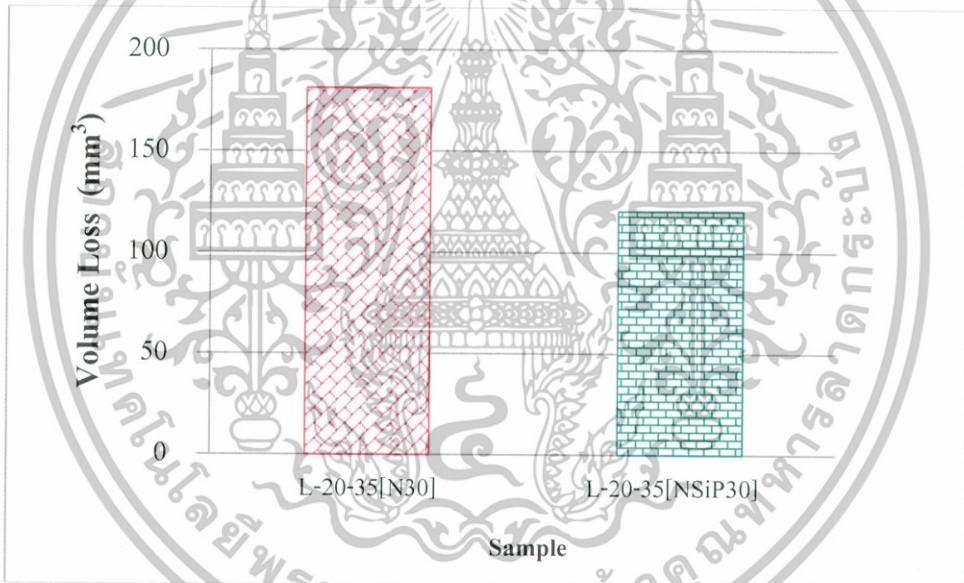


รูปที่ 4.5 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

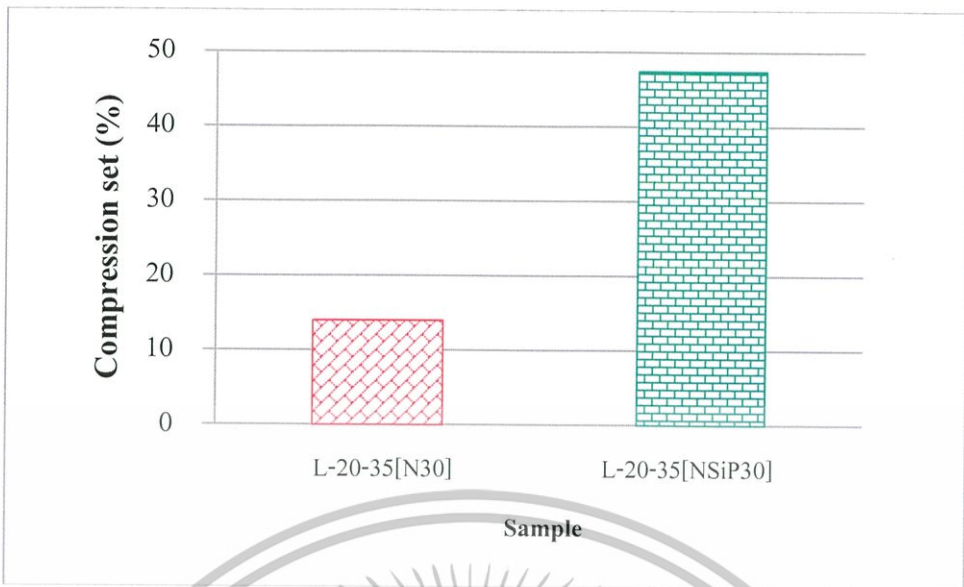


รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69



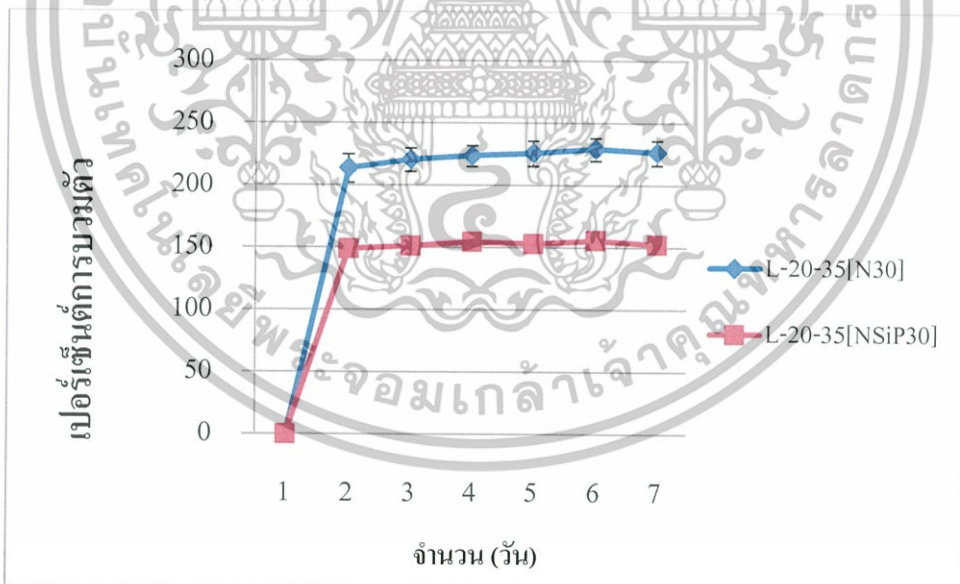
รูปที่ 4.7 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

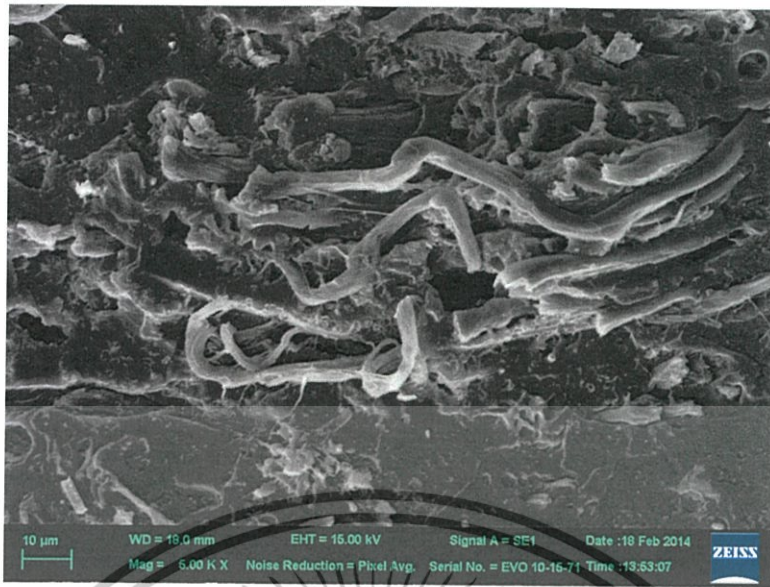


รูปที่ 4.8 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69

หมายเหตุ รูปที่ 4.7 และ 4.8 ขางสูตรผสม L-20-35[NSiP30] และ L-35[NSiP30] ไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสึกหรอและค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด เนื่องจากการส่งตัวอย่างทดสอบค่าที่ได้จากการทดสอบมีเพียงค่าเดียวจึงไม่สามารถนำมาหาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้



รูปที่ 4.9 เปอร์เซนต์การบวมตัวของยางใน Toluene ของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.10 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ผลของการใช้ PEG ร่วมกับ Si-69
 กำลั้งขยาย 5000 เท่า ; (ก) L-20-35[N30] และ (ข) L-20-35[NSiP30]

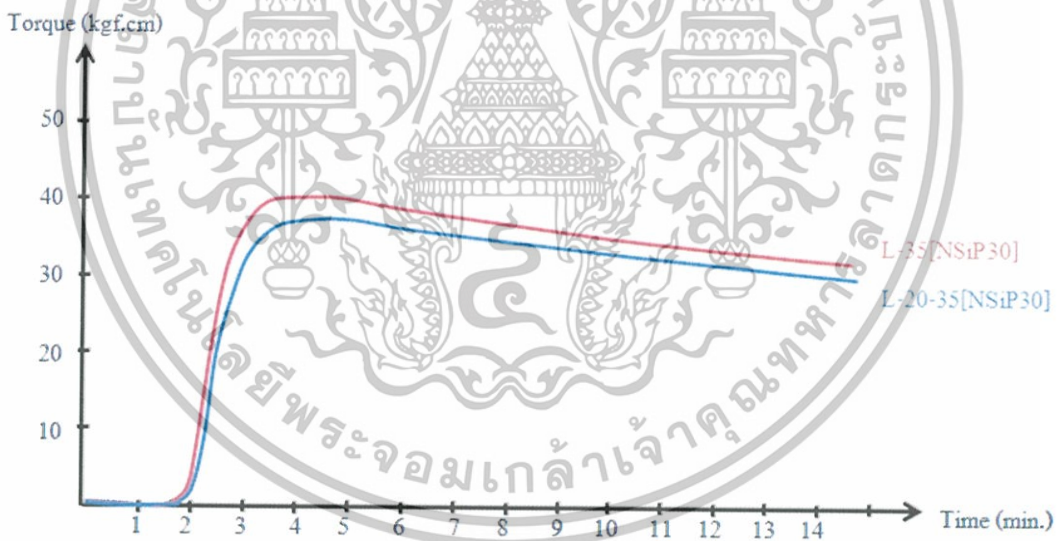
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาขนาดของผงหนังที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ

ขนาดของผงหนังมีผลโดยตรงกับสมบัติของยาง เนื่องจากขนาดที่เล็กกว่าจะมีพื้นที่ผิวมาก จึงทำให้สารเคมีเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีกว่า โดยในตอนนี้ได้ทำการแปรขนาดอนุภาคของผงหนังที่มีขนาดเล็กกว่า 35 mesh และระหว่าง 20-35 mesh โดยได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการเชื่อมโยง และสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงฉีกขาด ความแข็งกด มอดูลัสของยาง การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด และสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมของการเชื่อมโยงยาง

จากรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.4 สมบัติการเชื่อมโยงของยางที่ผสมผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh และ 20-35 mesh พบว่าการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรระหว่างสูตรที่มีขนาดผงหนังเล็กกว่า 35 mesh (สูตร L-35[NSiP30]) ค่าดัชนีอัตราการเชื่อมโยงมีความต่างกันเล็กน้อยกับสูตรที่มีขนาดผงหนัง 20-35 mesh (สูตร L-20-35[NSiP30]) เนื่องจากขนาดที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ขนาดเล็กกว่า 35 mesh มีพื้นที่ผิวมากกว่า ทำให้ PEG เข้าไปเคลือบพื้นผิวได้ดีกว่าทำให้มีค่าความหนืดมูนิ้มากกว่าที่ขนาด 20-35 mesh



รูปที่ 4.11 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของขนาดผงหนัง

ตารางที่ 4.4 ค่าความหนืดมูนิ้ม และค่าพฤติกรรมการเชื่อมโยง แสดงผลของขนาดผงหนัง

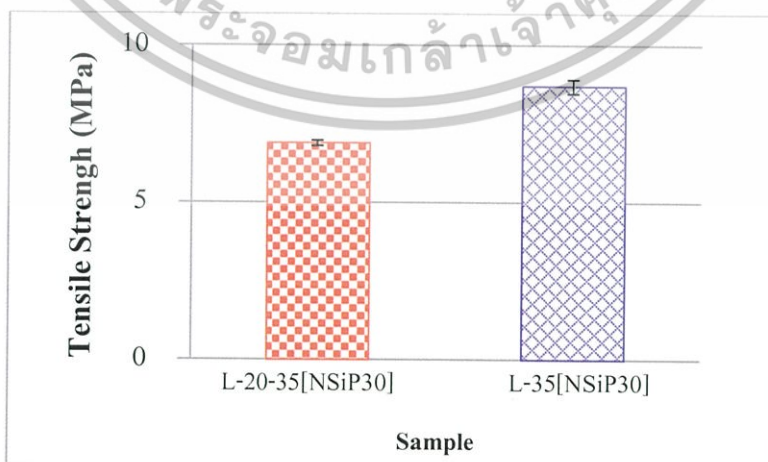
Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_2 (s)	t_{90} (s)	CRI (s ⁻¹)
L-20-35[NSiP30]	26.6	1.8	38.5	132	204	1.39
L-35[NSiP30]	40.2	1.5	37	132	195	1.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา

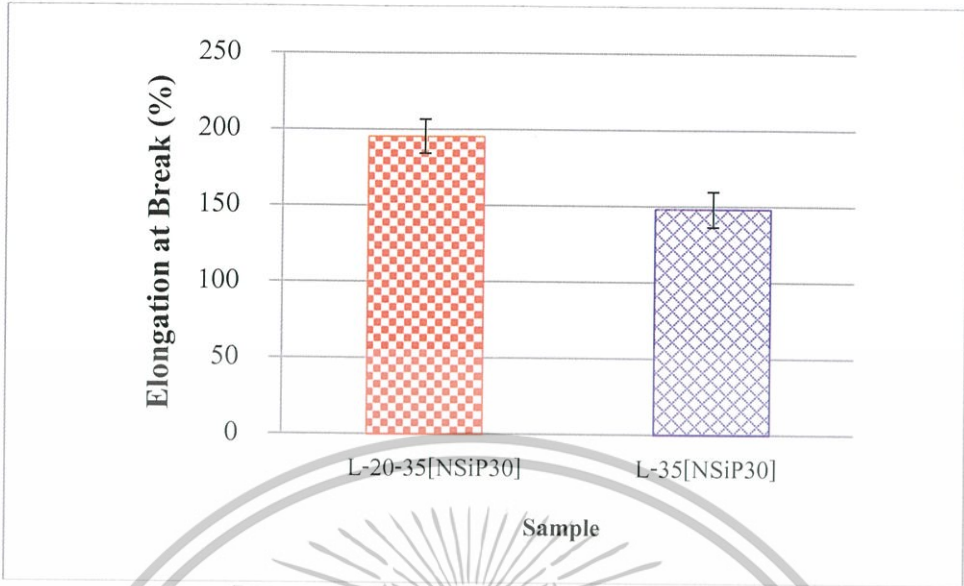
จากการศึกษาขนาดของผงแห้งที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ โดยผลจากการเติมผงแห้งขนาดเล็กกว่า 35 mesh (สูตร L-35[NSiP30]) และ 20-35 mesh (สูตร L-20-35[NSiP30]) ดังรูปที่ 4.12-4.18 พบว่าอย่างธรรมชาติที่ผสมผงแห้งที่มีขนาดเล็กกว่า 35 mesh มีค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ค่าความแข็งแรงหักงอ ค่าความแข็งแรงกด และค่าการสึกหรอมากกว่าอย่างธรรมชาติที่ผสมผงแห้งขนาด 20-35 mesh สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ดัดยัด ณ จุดขาดที่น้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากขนาดอนุภาคของผงแห้งที่มีขนาดต่างกัน เพราะผงแห้งมีลักษณะเป็นเส้นใย จากการแยกขนาดของอนุภาคของผงแห้ง อาจเป็นการแยกขนาดความยาวของผงแห้งได้ ส่วนค่าการสึกหรอมีมากกว่าอาจเป็นเพราะขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าจึงทนต่อการสึกหรอได้ต่ำกว่า แต่ค่าการยุบตัวมากกว่าทั้งนี้อาจเกิดจากความชื้นที่ผงแห้งได้ดูดซับไว้ เมื่อนำไปทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน ความร้อนนั้นจะทำให้อนุภาคของน้ำเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยเข้าไปจับกำมะถัน ทำให้กำมะถันที่จะไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มีน้อยลง จึงส่งผลให้การเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่เกิดไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปทดสอบการยุบตัวค่าที่ได้จึงมีการยุบตัวมากกว่า ดังนั้นค่าที่ได้จึงไม่สอดคล้องกับค่าอื่นๆจากสมบัติเชิงกลข้างต้น

เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยา พบว่าผงแห้งขนาดเล็กกว่า 35 mesh ดังรูปที่ 4.19(ก) เส้นใยมีลักษณะสั้นจึงไม่เกี่ยวพันกันมากนักและผงแห้งขนาด 20-35 mesh ดังรูปที่ 4.19(ข) เส้นใยมีลักษณะยาวกว่าและเกี่ยวพันกันเป็นกระจุก ในอย่างธรรมชาติที่ผสมผงแห้งขนาดเล็กกว่า 35 mesh (สูตร L-20-35[NSiP30]) ดังรูปที่ 4.20(ก) มีลักษณะพื้นผิวไม่เรียบ อาจเกิดจากอนุภาคผงแห้งที่เล็กกว่าจึงกระจายอยู่ในเนื้อยางได้ดี เมื่อเทียบกับอย่างธรรมชาติที่ผสมผงแห้งขนาด 20-35 mesh (สูตร L-35[NSiP30]) ดังรูปที่ 4.20(ข) มีลักษณะพื้นผิวเรียบกว่า เนื่องจากอนุภาคที่ใหญ่กว่าเกิดการกระจุกตัวเป็นกลุ่มก้อน ทำให้มีอย่างธรรมชาติบางส่วนที่ไม่มีผงแห้งกระจายอยู่จึงมีพื้นผิวที่เรียบ

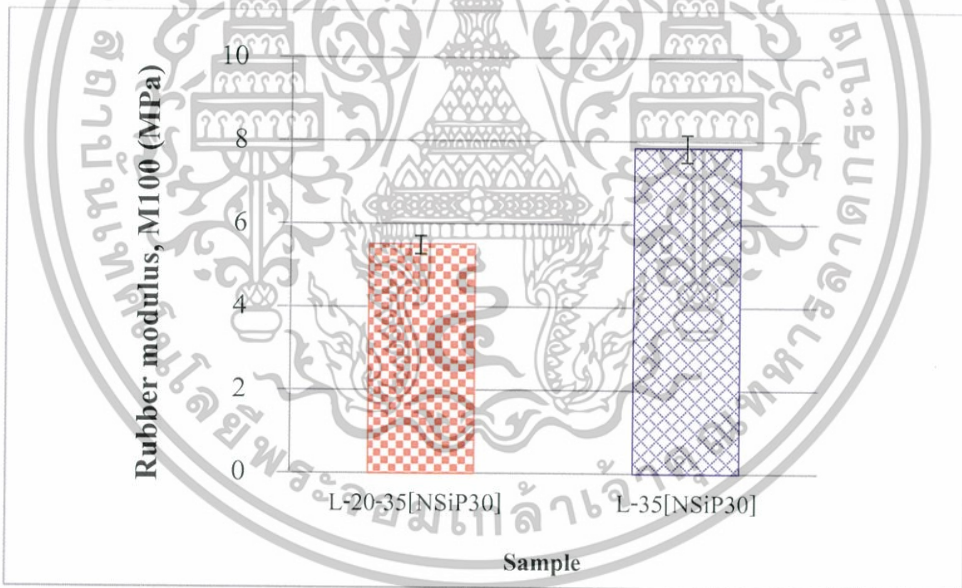


รูปที่ 4.12 ค่าความแข็งแรงดึงของอย่างธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงแห้งขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

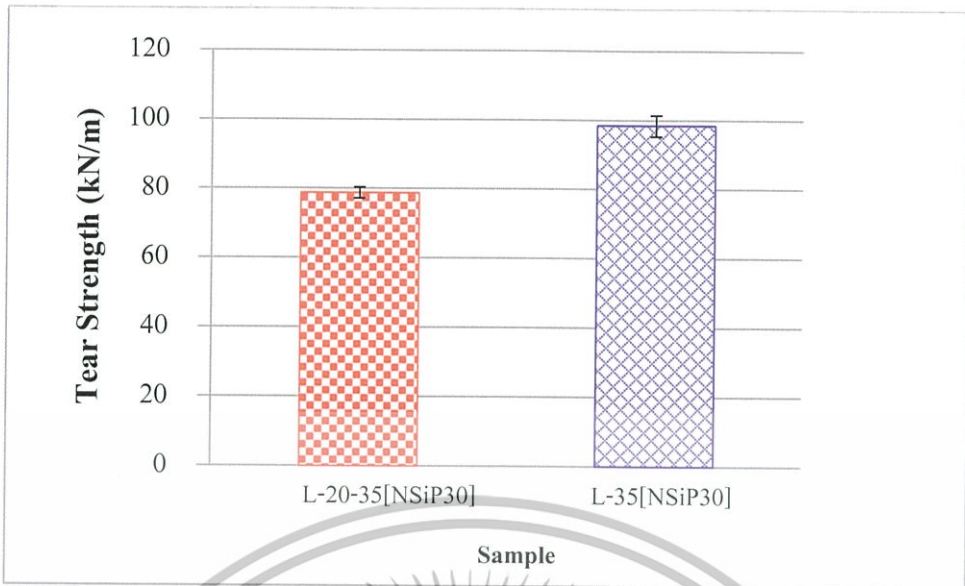


รูปที่ 4.13 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

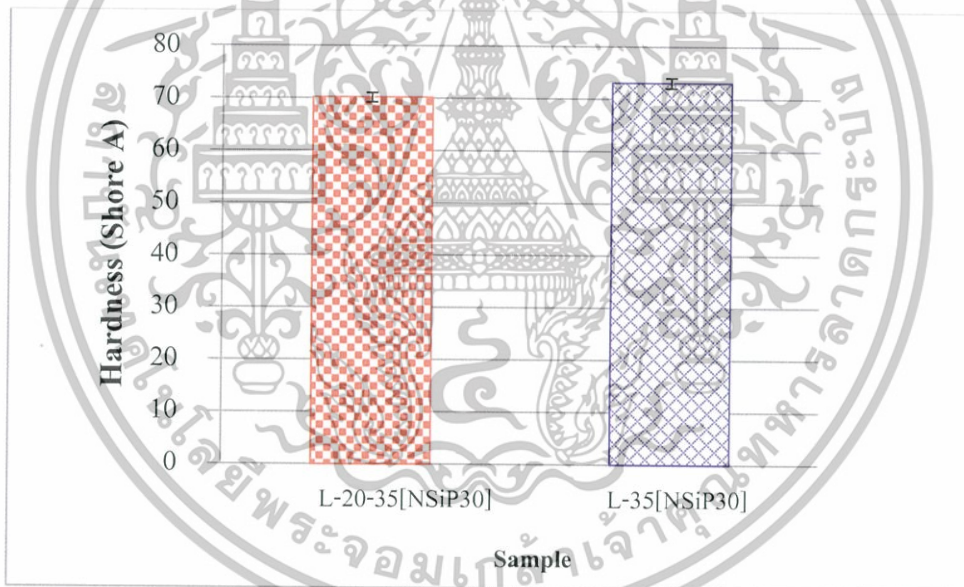


รูปที่ 4.14 ค่ามอดูลัสของยางที่ 100% ดึงยืดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหนึ่งขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

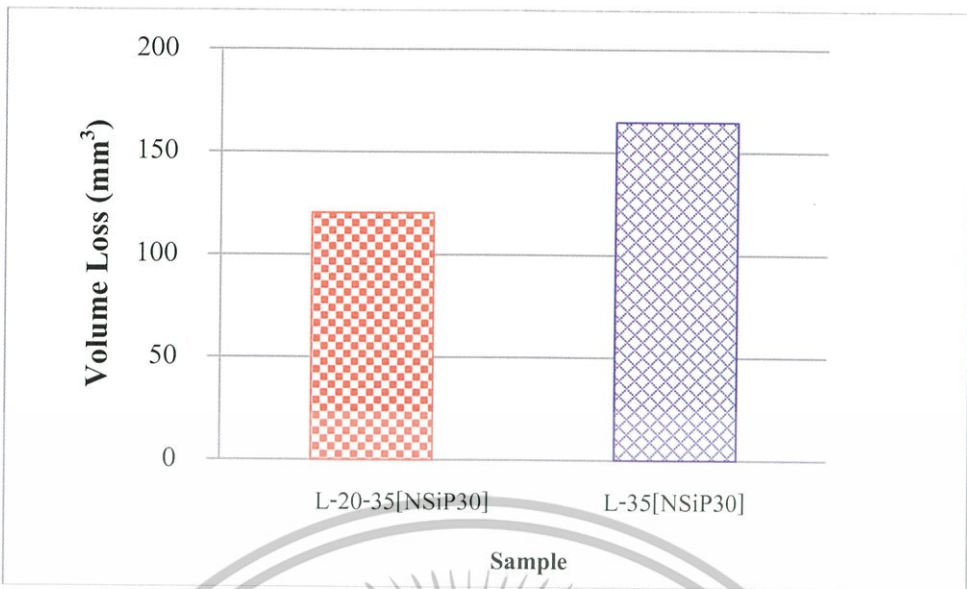


รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหน้ขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

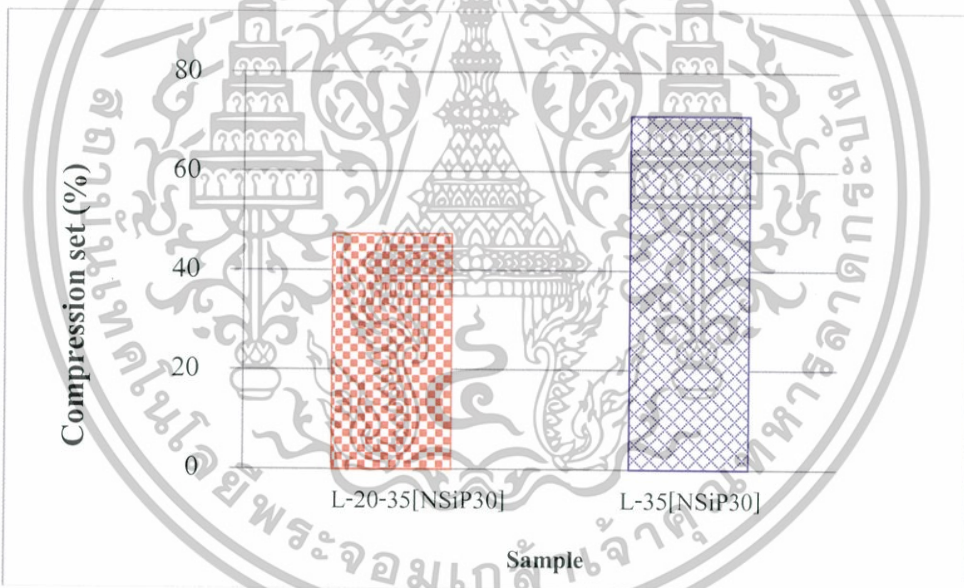


รูปที่ 4.16 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหน้ขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

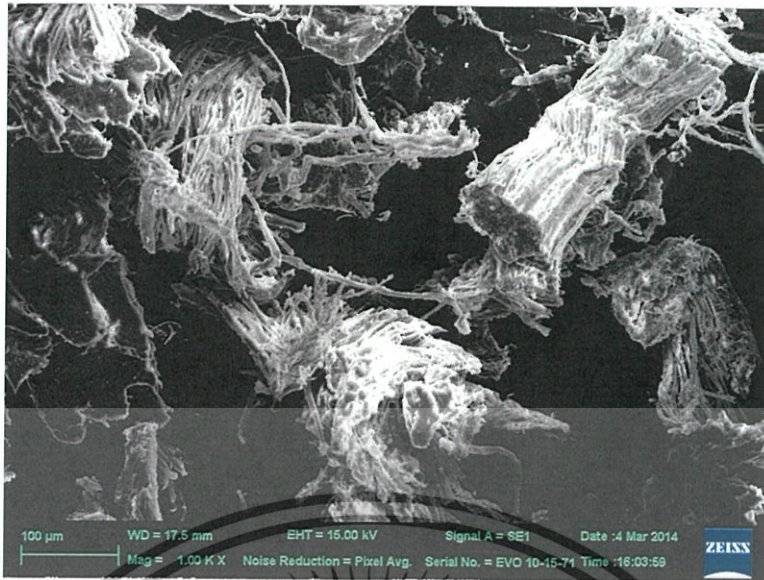


รูปที่ 4.17 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหน้ขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

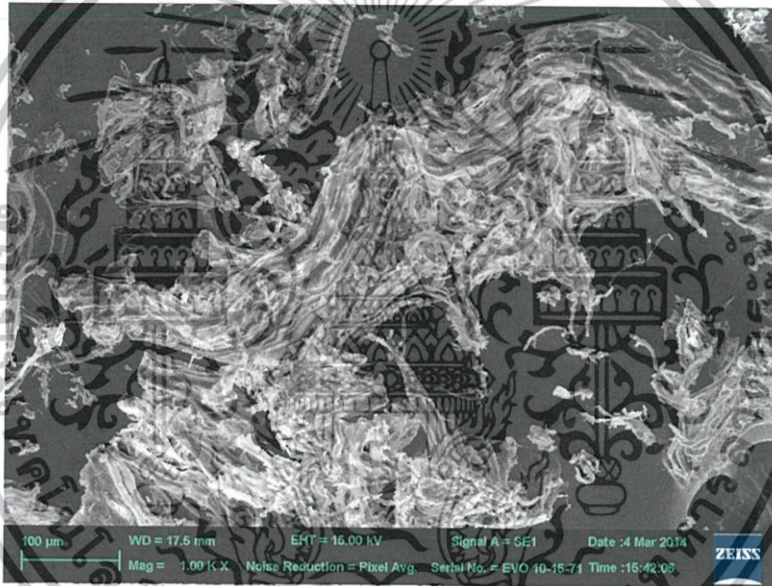


รูปที่ 4.18 ค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดที่ 100 °C เป็นเวลา 22 ชั่วโมงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของผงหน้ขนาด 20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh

หมายเหตุ รูปที่ 4.17 และ 4.18 ยางสูตรผสม L-20-35[NSiP30] และ L-35[NSiP30] ไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการสึกหรอและค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด เนื่องจากการส่งตัวอย่างทดสอบค่าที่ได้จากการทดสอบมีเพียงค่าเดียวจึงไม่สามารถนำมาหาค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้



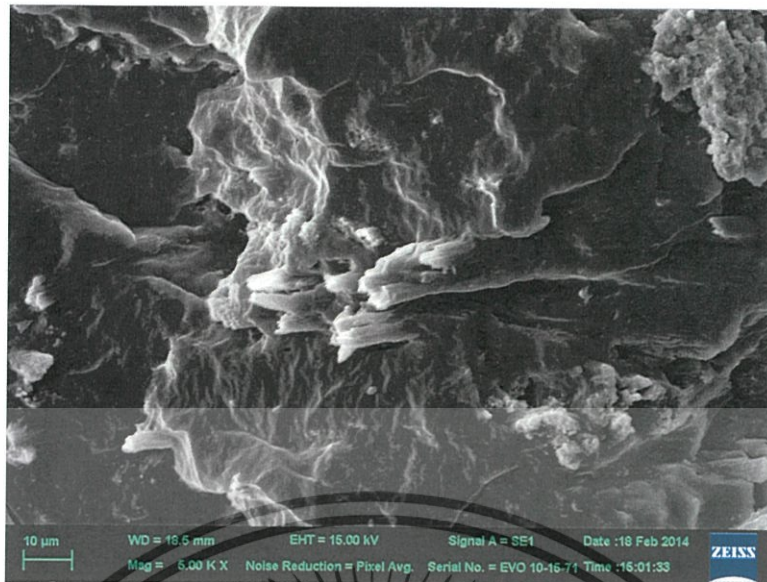
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.19 สัณฐานวิทยาของขนาดอนุภาคของผงหนัง กำดั่งขยาย 1000 เท่า ;
(ก) เล็กกว่า 35 mesh และ (ข) 20-35 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.20 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ผลของขนาดผงหนึ่ง กำลังขยาย 5000 เท่า ;
(ก) เล็กกว่า 35 mesh และ (ข) 20-35 mesh

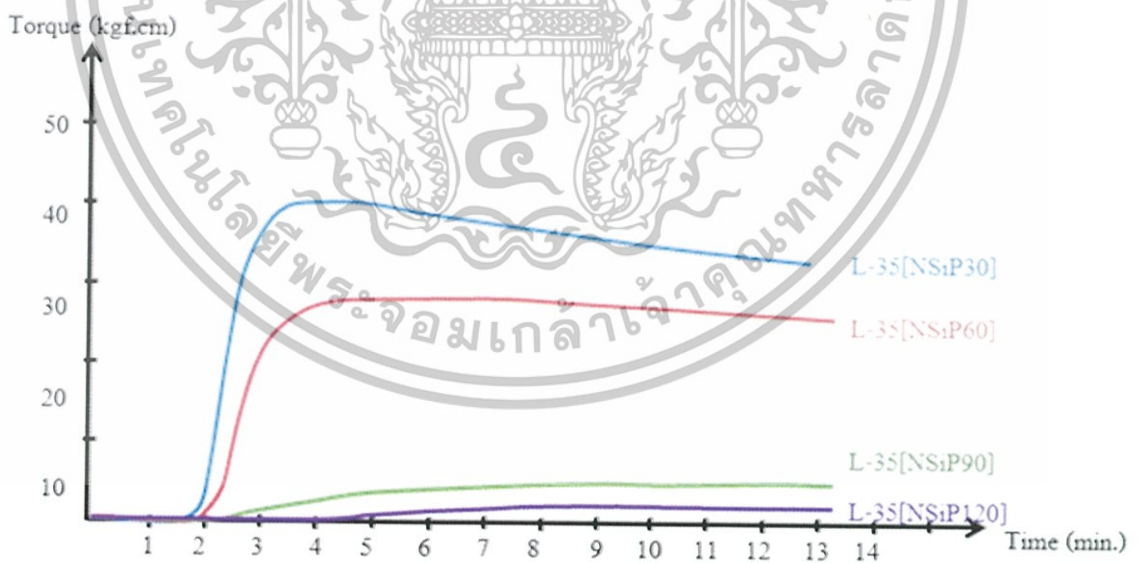
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาปริมาณผงแห้งที่มีผลต่ออย่างธรรมชาติ

เนื่องจากปริมาณของผงแห้งซึ่งเป็นสารตัวเดิมมีผลโดยตรงกับสมบัติของยาง โดยในตอน ที่ 4.3 นี้ทำการศึกษาปริมาณของผงแห้งที่ 30, 60, 90 และ 120 phr เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมที่ช่วย ในการเสริมแรง ส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง โดยได้ ทำการศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด อด จุดขาด ความแข็งแรงฉีกขาด ความแข็งกด โมดูลัสของยาง การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด และ สันฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

4.3.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงยาง

จากรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.5 ยางสูตรที่ใช้ผงแห้งปริมาณ 30 phr (สูตร L-35[NSiP30]) จะมีดัชนีอัตราการเชื่อมโยงและค่าความหนืดมูนนี้มากกว่ายางผสมสูตรที่ไม่ใส่ผงแห้ง (สูตร [N]) สังเกตได้ว่าเมื่อผงแห้งมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่ปริมาณ 60, 90 และ 120 phr ตามลำดับ ค่าความ หนืดมูนนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเมื่อเติมผงแห้งลงไป ปริมาณที่มากขึ้น การกระจายตัวของ ผงแห้งจะลดลง เกิดการจับตัวกันเป็นก้อน รวมทั้งดัชนีอัตราการเชื่อมโยงลดลงเรื่อยๆ เวลาการ เชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อผสมผงแห้งในปริมาณมากทำให้ PEG ที่เติมลงไปซึ่งมีหน้าที่เคลือบ ผงแห้งไม่ให้ผงแห้งดูดซับสารเคมีแต่งที่เติมลงไปเกิดการกระจายตัวอย่างไม่ทั่วถึง และผงแห้งจึง อาจเกิดการดูดซับสารเคมีเข้าไปทำให้เกิดการเชื่อมโยงไม่ได้



รูปที่ 4.21 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร ผลของปริมาณการใส่ผงแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดมูนนี่ ค่าพฤติกรรมการเชื่อมโยง และแสดงผลของปริมาณการใส่ผงหนัง

Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{r2} (s)	t_{90} (s)	CRI (s ⁻¹)
[N]	14.8	0.5	20	252	330	1.29
L-35[NSiP30]	40.2	1.5	37	132	195	1.59
L-35[NSiP60]	44.7	4	32	132	210	1.28
L-35[NSiP90]	124.0	15	28	180	480	0.33
L-35[NSiP120]	132.7	14	14.4	294	408	0.88

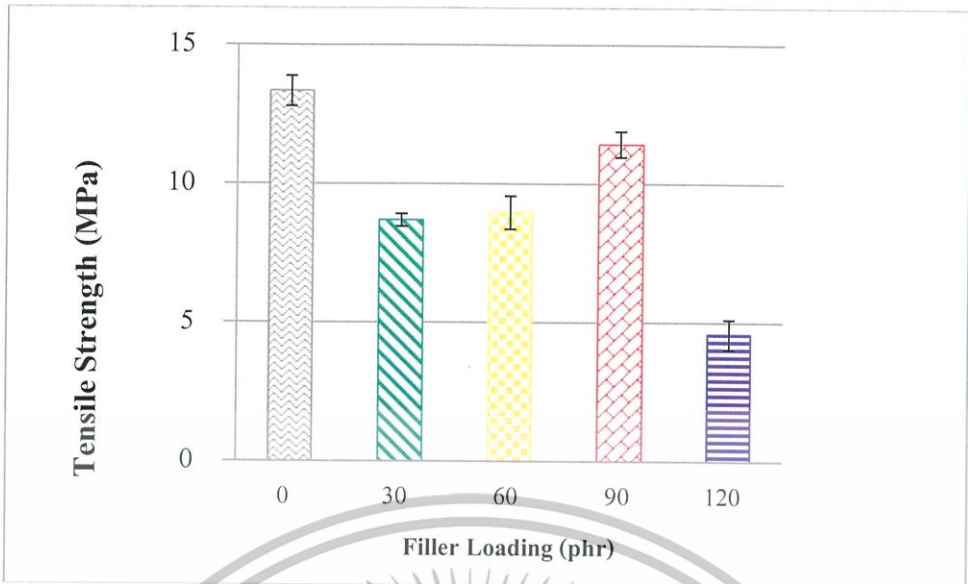
4.3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสถานะวิทยา

จากรูปที่ 4.22-4.24 เมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังที่ 30, 60, 90 และ 120 phr พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสที่ 10% จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนสูงสุดที่ 90 phr และจะลดลงที่ 120 phr แต่ยางธรรมชาติมีค่าสูงมากที่สุด เนื่องจากสายโซ่ของยางจะถูกดึงยึดจนมีลักษณะเป็นเส้นตรงชิดติดกันหรือที่เรียกว่าการเกิดผลึกจากการยืดตัว (Strain induced crystallization) เนื่องจากปริมาณผงหนังที่มากเกินไป ทำให้ยางที่มีปริมาณคงที่ไม่สามารถเข้าไปยึดติดและเคลือบผงหนังได้ไม่เพียงพอจึงทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อยาง

จากรูปที่ 4.25 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติที่ไม่ผสมผงหนังมีค่าต่ำสุด เนื่องจากผงหนังมีลักษณะเป็นเส้นใยยาว ทำให้เส้นใยสามารถเกิดการเกี่ยวพันกันได้ จึงส่งผลให้ชิ้นงานสามารถต้านทานการฉีกขาดได้ดีขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังมากขึ้น ทำให้มีปริมาณเส้นใยที่กระจายตัวในยางมีมากและเกิดการเกี่ยวพันกันมาก ค่าที่ได้จึงเพิ่มสูงขึ้น

จากรูปที่ 4.26 ค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้นตามปริมาณผงหนังที่เพิ่ม ยางธรรมชาติที่ไม่ใส่ผงหนังมีค่าความแข็งกดต่ำสุด เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลมีลักษณะเป็นเส้นยาวต่อเนื่อง ทำให้สายโซ่สามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายกว่า เมื่อเพิ่มปริมาณผงหนัง ซึ่งผงหนังที่มีลักษณะเป็นเส้นใย สามารถเกี่ยวพันกันได้และเส้นใยนี้จะไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้สายโซ่เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น เมื่อนำไปทดสอบค่าความแข็งกดจึงเห็นค่าความแข็งกดเพิ่มสูงขึ้น ตามปริมาณที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน

เมื่อศึกษาสถานะวิทยา รูปที่ 4.27-4.30 พบว่าเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้น จะทำให้ยางที่มีปริมาณคงที่ไม่เพียงพอต่อการเข้าไปยึดติดและเคลือบผงหนังที่มีปริมาณมากขึ้น เมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเฟสได้อย่างชัดเจน

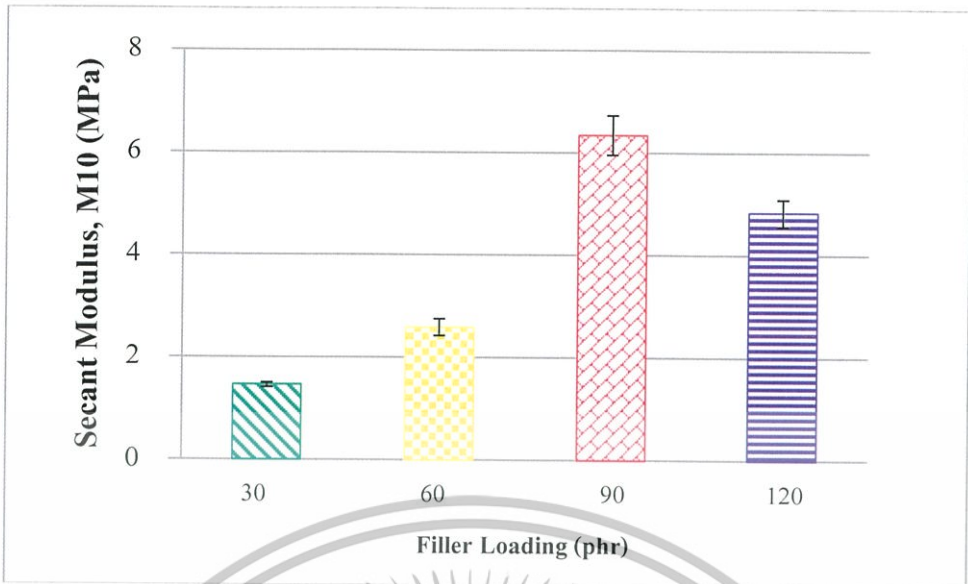


รูปที่ 4.22 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงหนัง



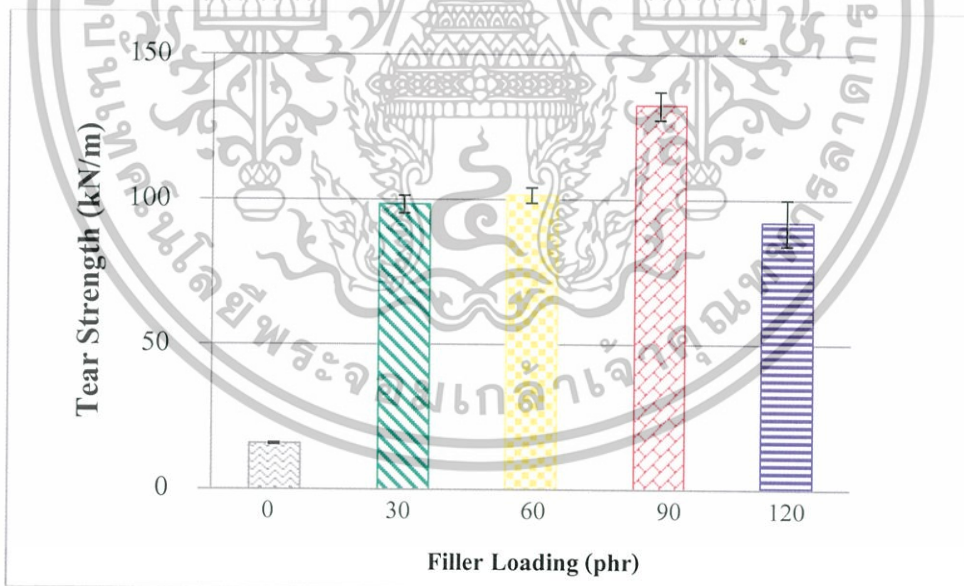
รูปที่ 4.23 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



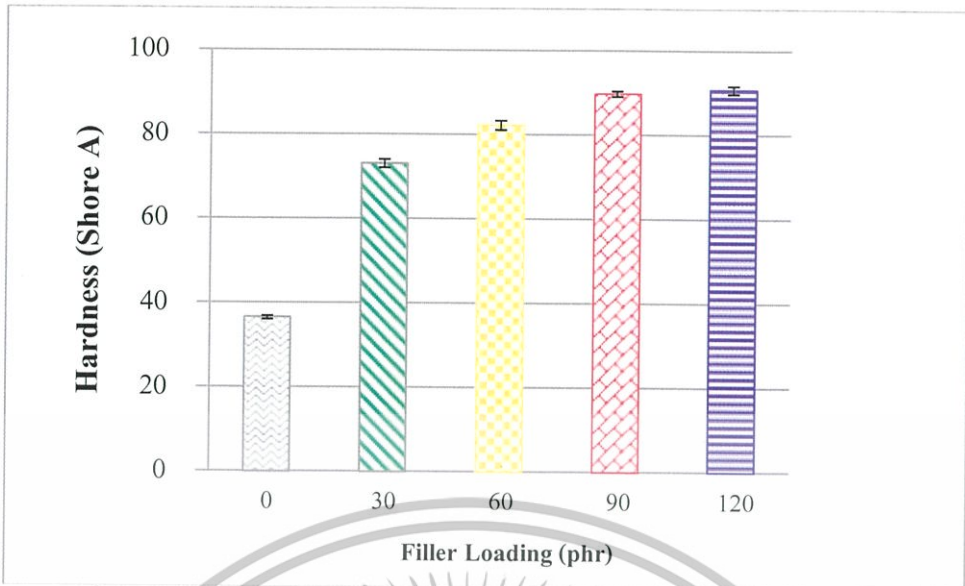
รูปที่ 4.24 ค่ามอดูลัสที่ 10% ค้างยึดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง

หมายเหตุ ยางสูตรผสม L-35[NSiP90] และ L-35[NSiP120] ไม่มีค่ามอดูลัส 100% เนื่องจากทำการ ค้างยึดได้ไม่ถึง 100 จึงใช้ค่ามอดูลัสที่ 10% ในการเปรียบเทียบแทนและไม่มีการทดสอบ หาค่าการตีกรหรือค่าการขูดตัวในหัวข้อนี้



รูปที่ 4.25 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

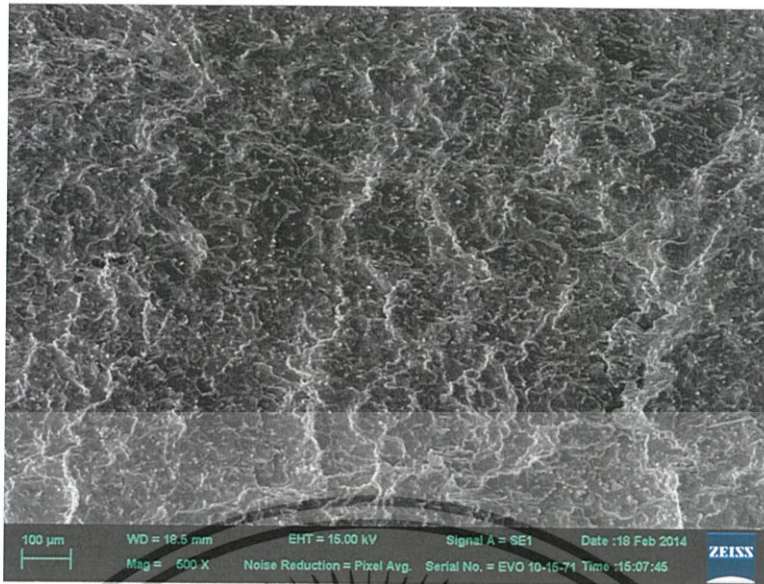


รูปที่ 4.26 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้ง

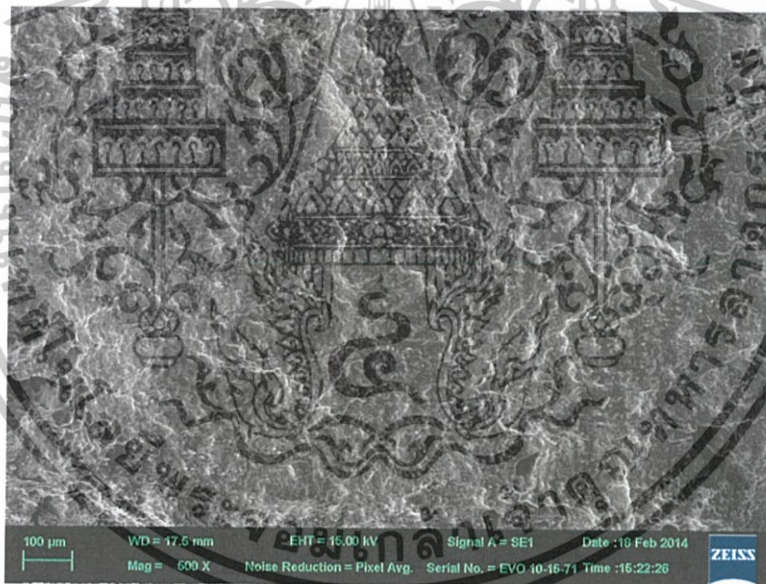


รูปที่ 4.27 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงแห้งขนาดเล็กลงกว่า 35 mesh ปริมาณ 30 phr กำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

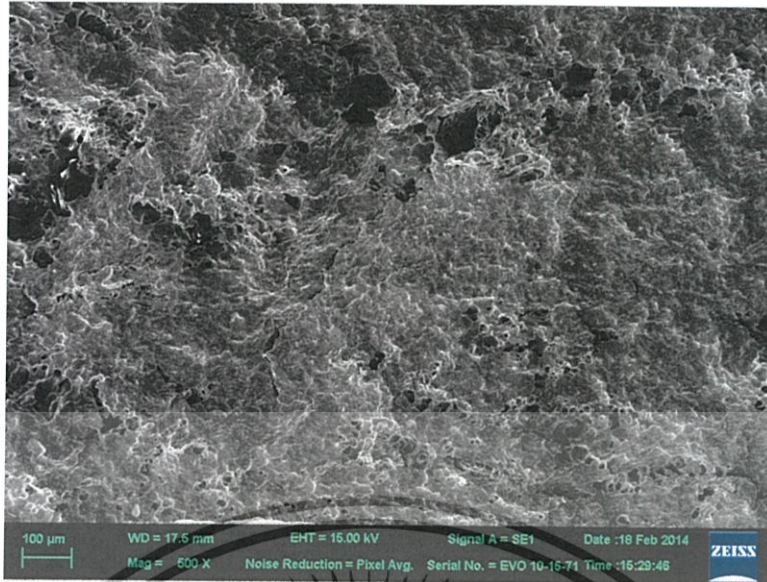


รูปที่ 4.28 สัตินฐานวิททยาของขางธรรมเนียมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงหน้ขงขนาดเล้กกว่า 35 mesh ปริมาณ 60 phr กำล้งขยาย 500 เท่า



รูปที่ 4.29 สัตินฐานวิททยาของขางธรรมเนียมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงหน้ขงขนาดเล้กกว่า 35 mesh ปริมาณ 90 phr กำล้งขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 สัณฐานวิทยาของยางธรรมชาติผสมสูตร ; ผลของปริมาณผงหิ้งขนาดเล็กกว่า 35 mesh ปริมาณ 120 phr กำลึงขยาย 500 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของยางที่มีผงหนังก่อนฟาดเป็นสารตัวเติม โดยมีปัจจัยศึกษาต่างๆ ได้แก่ การเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ขนาดของผงหนังก่อนฟาด และปริมาณของผงหนังก่อนฟาด ทดสอบหาสมบัติต่างๆ โดยสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ผลของการเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ที่มีต่อสมบัติของยาง

จากการทดลองพบว่า หากไม่เติม PEG เวลาเริ่มการเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงมีค่าสูงและดัชนีอัตราเร็วเชื่อมโยงมีค่าต่ำอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากผงหนังก่อนฟาดเติมแต่ง และ Si-69 ช่วยในการยึดติดระหว่างอนุภาคผงหนังก่อนฟาดกับยาง ทำให้สมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น เช่น ความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่าความแข็งกด และค่าการสึกหรอลดลง สามารถยืนยันได้จากหลักฐานวิทยาพบว่า เมื่อเติม PEG และ Si-69 ทำให้ง่ายกับผงหนังก่อนฟาดมีการยึดติดกันดีกว่าสูตรที่ไม่เติม PEG และ Si-69

2. ผลของขนาดของผงหนังก่อนฟาดที่มีต่อสมบัติของยาง

จากการทดลองพบว่า สูตรที่ใช้ผงหนังก่อนฟาดขนาดเล็กกว่า 35 mesh (<500 ไมครอน) มีค่าดัชนีอัตราการเชื่อมโยงมีความใกล้เคียงกันกับสูตรที่มีขนาดผงหนังก่อนฟาด 20-35 mesh (500-841 ไมครอน) เนื่องจากขนาดที่ใกล้เคียงกันจึงส่งผลให้ค่าที่ได้มีความต่างกันเล็กน้อย แต่มีสมบัติเชิงกลดีกว่า เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าความแข็งกด สามารถยืนยันได้จากหลักฐานวิทยาว่าผงหนังก่อนฟาดขนาดเล็กกว่า 35 mesh มีการกระจายอยู่ในเนื้อยางได้ดี ส่วนผงหนังก่อนฟาด 20-35 mesh มีการจับตัวกัน ทำให้กระจายตัวไม่ดี

3. ผลของปริมาณของผงหนังก่อนฟาดที่มีต่อสมบัติของยาง

โดยศึกษาที่ปริมาณ 30, 60, 90 และ 120 phr จากการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณผงหนังก่อนฟาดเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดมูนนี้ เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นมากขึ้นด้วย แต่ดัชนีอัตราเร็วการเชื่อมโยงลดลง นอกจากนี้ปริมาณผงหนังก่อนฟาดที่เพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติเชิงกล เช่น ค่าความแข็งแรงดึง, ค่ามอดุลัสที่ 10%, ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้น แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ จุดขาดลดลง และสมบัติเชิงกลจะลดลงที่ปริมาณ 120 phr สามารถยืนยันได้จากหลักฐานวิทยาเมื่อ ปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้นจะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน

จากการทดลอง ผงหนังสามารถนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติได้ เมื่อใช้ผงหนัง ขนาด 35 mesh เป็นสารตัวเติมในยางที่ปริมาณ 90 phr ใช้ร่วมกับ PEG และ Si-69 สามารถช่วยทำให้สมบัติการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกลของยางดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนได้ดีอีกด้วย ในกรณีที่ไม่ต้องการสมบัติเชิงกลที่สูงมากนัก สามารถเพิ่มปริมาณผงหนังให้มากขึ้นได้ประมาณ 120 phr เพื่อเป็นการลดต้นทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาสมบัติของยางที่มีผงหนังฟอกผาดเป็นสารตัวเติม โดยมีปัจจัยศึกษาต่างๆ ได้แก่ การเติม Polyethylene glycol (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ขนาดของผงหนัง และ ปริมาณของผงหนัง สามารถสรุปข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปได้ดังนี้

- เนื่องจากผงหนังดูดความชื้นได้ง่าย ดังนั้นจึงควรศึกษาการเพิ่มสารดูดความชื้น (CaOH) ในสูตรยาง
- ศึกษาการทดสอบสมบัติอื่นๆ เช่น ความเป็นฉนวนทางความร้อน
- ศึกษาการทดสอบสมบัติเชิงไดนามิกส์ เช่น ความเค้น, ความเครียด, ความถี่ และอุณหภูมิ
- ศึกษาการใช้เปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง
- ศึกษาการใช้ยางชนิดอื่นที่มีข้าว

เอกสารอ้างอิง

- [1] Simply Leather (Wales) Ltd. “**History of Leather.**” [Online]. Available :
http://www.simplyleather.co.uk/acatalog/History_of_Leather.html. 2013.
- [2] วิกิพีเดีย. “**เก๊สซ์เวท**.” [Online]. Available :
<http://th.wikipedia.org/wiki/เก๊สซ์เวท>. 2556.
- [3] จรินทร์ เจริญศรีวัฒนกุล. “**ลู่ทางและโอกาสการส่งออกและผลกระทบจากการมีเขตการค้าเสรีอาเซียน (มาตรฐานการตรวจสอบโรงงานฟอกหนัง)**” กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2539.
- [4] ณัฐนันท์ โพนนา, ภัทรพร เอี่ยมสุข และอาทร ทับทิมทอง. “**การใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ**” โครงการพิเศษ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555.
- [5] วิภาวี พัฒนกุล. “**ยางธรรมชาติ**” เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง, กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. 2556.
- [6] วิชาการดอทคอม. “**พอลิเมออร์**” [Online]. Available :
<http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1465>. 2556.
- [7] สุภิญญา โคตรมา. “**สารเคมีสำหรับยาง**” เอกสารประกอบการอบรม หลักสูตรการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง, กลุ่มอุตสาหกรรมยาง สถาบันวิจัยยาง. 2556.
- [8] กฤติกา ปรัชญลักษณ์. “**การศึกษาความเหมาะสมทางการเงินและขนาดกำลังการผลิตของการลงทุนผลิตเอทีดีไนไทดกลดในนิคมอุตสาหกรรมภาคตะวันออกในประเทศไทย**” วิศวกรรม-อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. 2548.
- [9] B. R. Mann (G. L. Bowron & Co. Ltd.) and M. M. McMillan. “**The chemistry of the leather industry**” (Aranui high school) [Online]. Available :
<http://nzic.org.nz/ChemProcesses/animal/5C.pdf>. 2013.
- [10] Sinkaonline.com. “**หนังวัว**.” [Online]. Available
http://www.sinkaonline.com/items_postview.php?key=246471. 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

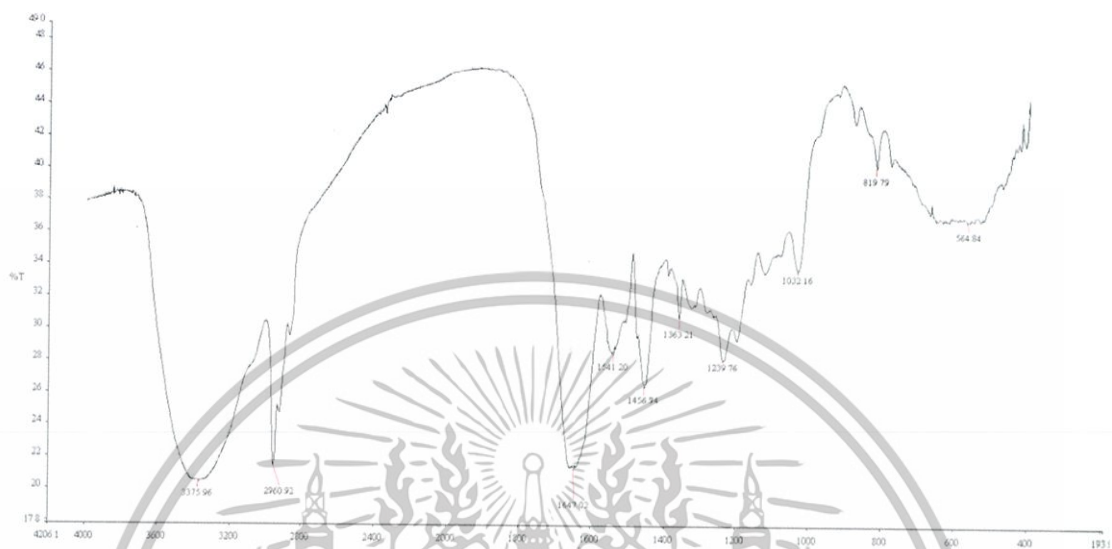
- [22] S. H. El-Sabbagh and O. A. Mohamed. “**Recycling of Chrome-Tanned leather waste in Acrylonitrile butadiene rubber**” *Journal of applied polymer science*, vol. 121, 979-988. 2011.
- [23] K. Ravichandran and N. Natchimuthu. “**Natural rubber - leather composites**” *Anna university, India polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 15, 102-108. 2005.
- [24] A. Przepiorkowska, K. Chronska and M. Zaborski. “**Chrome-tanned leather shavings as a filler of butadiene-acrylonitrile rubber**” *Journal of hazardous materials* vol. 141, 252-257. 2007.
- [25] อาชีชัน แกสมาน, พนิดา สุภัทรพงศ์ และณัฐนิ โล่ห์พัฒนานนท์. “**อิทธิพลของผงหนังต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมเอทิลีนไวนิลอะซิเตท**” *โครงการานพิเศษ ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี*. 2553.
- [26] Tut.fi. “**Stages of vulcanization**” [Online]. Available : https://www.tut.fi/ms/muo/vert/5_rubber_chemistry/2_vulcanization_stages.htm. 2013.
- [27] หน่วยคลังข้อมูลยา “**โพลี เอธิลีน ไกคอล คืออะไร**” [Online]. Available : http://www.pharmacy.mahidol.ac.th/dic/QA_full.php?id=2234. 2556.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

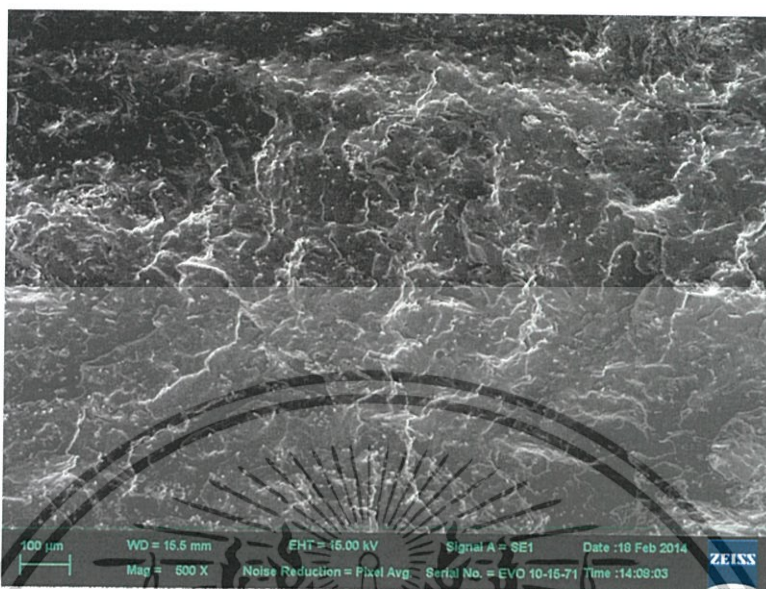
การศึกษาอินฟราเรด สเปกตรัมของผงหนังฟอกฝาด



รูปที่ ก.1 อินฟราเรด สเปกตรัมของผงหนังฟอกฝาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM

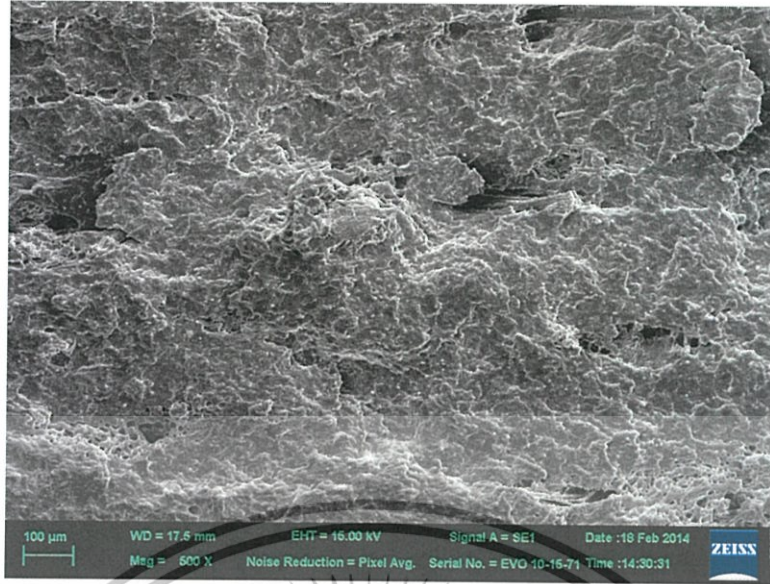


รูปที่ ก.2 สัณฐานวิทยาของยางที่ใช้ผงหนัขนาด 20-35 mesh ปริมาณ 30 phr กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ก.3 สัณฐานวิทยาของยางที่ใช้ผงหนัขนาด 20-35 mesh ปริมาณ 60 phr กำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



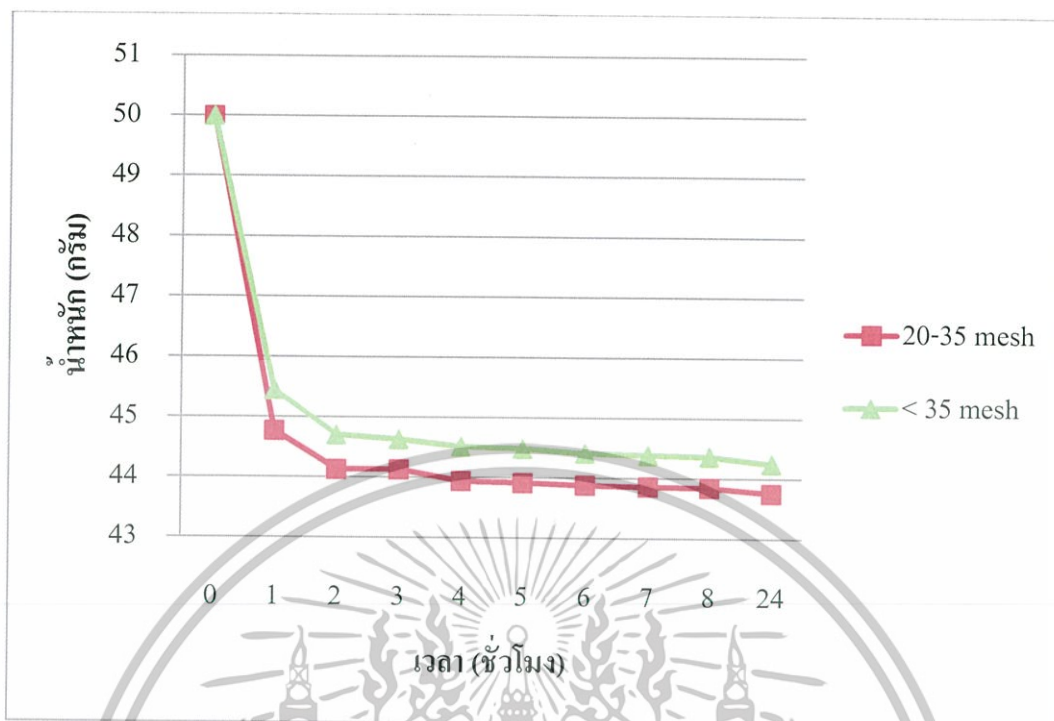
รูปที่ ก.4 สัณฐานวิทยาของยางที่ใช้ผงหนังขนาด 20-35 mesh ปริมาณ 90 phr กำลังขยาย 500 เท่า



รูปที่ ก.5 สัณฐานวิทยาของยางที่ใช้ผงหนังขนาด 20-35 mesh ปริมาณ 120 phr กำลังขยาย 500 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นของผงแห้ง



รูปที่ ก.6 น้ำหนักของผงแห้งหลังอบที่อุณหภูมิ 80°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้