สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ: ผลของการปรับปรุงด้วยแว็กซ์

STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR AS BIO-FILLER FOR NATURAL RUBBER: EFFECTS OF WAX TREATMENT

T141286

สุดาพร ศักดิ์ศศิธร
SUDAPORN SAKSASITORN

กพ.
ส741ก
2558

b.10751819
i.

เลขหมู่.................
เลขทะเบียน 141286
วัน.เดือน.ปี 8 มี.ค. 2559

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2558

KMITL-2015-SC-M-014-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR AS BIO-FILLER FOR NATURAL RUBBER: EFFECTS OF WAX TREATMENT

SUDAPORN SAKSASITORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY

DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015
KMITL-2015-SC-M-014-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	"การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ : ผลของการปรับปรุงด้วยแว๊กซ์" "STUDY OF VEGETABLE TANNED LEATHER FLOUR AS BIO-FILLER FOR NATURAL RUBBER : EFFECTS OF WAX TREATMENT"
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร
รหัสประจำตัว	56605048
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา	เคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ประธานกรรมการ	(signature)
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี อาจารย์บัณฑิตประจำ (ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง)	(signature)
รศ.ดร.สมบัติ ธนะวันต์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสถาบันฯ	(signature)
รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	(signature)

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ 14 สิงหาคม พ.ศ. 2558 เวลา 09.00 – 12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง 306 ชั้น 3 อาคารปฏิบัติการใหม่

คณะวิทยาศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดุษณี ธนะบริพัฒน์)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

วันที่.....5.....**เดือน**.....พย.....**พ.ศ.**.....58.....

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ: ผลของการปรับปรุงด้วยแว็กซ์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร
รหัสประจำตัว	56605048
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีพอลิเมอร์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำเศษผงหนังฟอกฝาดที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) ซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ผลของการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG) และแว็กซ์สังเคราะห์ (พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax; PE wax) และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax; OPE wax)), ผลของปริมาณ OPE wax (1, 2 และ 3 phr), ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง (เล็กกว่า 35, 51-100, 101-150 และ 151-200 mesh), ผลของปริมาณผงหนัง (30 และ 100 phr) และผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง ทำการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างโดยการผสมผงหนังกับยางธรรมชาติด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) ศึกษาค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity) และลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ของยางผสมสูตรแล้วขึ้นรูปยางผสมสูตรเป็นแผ่นด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติเชิงกล การดูดซึมน้ำ และศึกษาสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) จากการทดลองพบว่าเมื่อเติม PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ทำให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น และทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดน้ำของยางผสมสูตรลดลง การเปรียบเทียบระหว่างแว็กซ์ทั้ง 2 ชนิด พบว่าสมบัติของยางผสมสูตรไม่แตกต่างกันเมื่อปริมาณแว็กซ์เพิ่มมากขึ้น พบว่าสมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น และเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำลดลง และเมื่อขนาดอนุภาคของผงหนังเล็กลง ส่งผลให้ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่าความแข็งกด และค่ามอดุลัสของยางที่ 100% มีค่าลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดและเปอร์เซ็นต์การดูดน้ำเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณผงหนังเป็น 100 phr พบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าการสึกหรอของยางผสมสูตรมีค่าลดลง แต่ความแข็งกด ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าการใช้ผงหนังที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลือบด้วย OPE wax และเติมผง PEG ขณะผสมสูตรยางให้ยางที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด นอกจากนี้เมื่อนำยางผสมสูตรแช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน พบว่าสมบัติเชิงกลลดลง จากสัณฐานวิทยาพบว่าเมื่อเติม PEG และแว็กซ์ทำให้ผงหนังสามารถยึดเกาะกับยางธรรมชาติและกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh ที่เติม PEG และปรับปรุงพื้นผิวผงหนังด้วย OPE wax 3 phr ทำให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติดีขึ้น สามารถใช้ผงหนังเป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติได้

คำสำคัญ : การปรับปรุงด้วยแว็กซ์, ผงหนังฟอกฝาด, ยางธรรมชาติ, สารตัวเติมชีวภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study of Vegetable Tanned Leather Flour as Bio-filler for Natural Rubber: Effects of Wax Treatment
Student Name	Sudaporn Saksasitorn
Student ID	56605048
Degree	Master of Science (Polymer Technology)
Department	Chemistry
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Ittipol Jangchud

Abstract

This research work was focused on utilization of vegetable tanned leather flour waste from leather industries as "bio-filler" in natural rubber (NR) products. Factors affecting rubber properties were studied, such as, treatment of polyethylene glycol (PEG) and synthetic wax (polyethylene wax; PE wax and oxidized polyethylene wax; OPE wax), OPE wax loading (1, 2 and 3 phr), leather flour sizes (smaller than 35, 51-100, 101-150 and 151-200 mesh), leather flour loading (30 and 100 phr) and leather flour surface treatment. Samples were prepared by mixing leather flour and NR with a two-roll mill. Rubber compounds were studied for Mooney viscosity, cure characteristics and were shaped into sheets by compression molding machine. Samples were tested mechanical properties, water absorption and scanning electron microscopy (SEM). It was found that the addition of PEG and synthetic wax could improve mechanical properties and decrease water absorption of the rubber compounds. In this work, there was no significant difference of the rubber compounds between the use of two types of waxes. When the wax loading was increased, mechanical properties of the rubber compounds were improved and water absorption was reduced. As the particle sizes of leather was decreased, it was found that tensile strength, tear strength, hardness and modulus at 100% of the rubber compounds were decreased. However %elongation at break and water absorption were increased. As the leather flour loading was increased to 100 phr, it was found that tensile strength, %elongation at break, tear strength and abrasion of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

the rubber compounds were decreased. However hardness, compression set and water absorption were increased. It was found that the compounding step that was prepared with PEG powder followed by the OPE wax coated leather flour yielded the best mechanical properties of the rubber vulcanizates. When the rubber compound was immersed in water for 14 days mechanical properties were decreased. SEM images revealed that leather flour was dispersed well in the NR matrix with good interfacial adhesion when the rubber compound was added with PEG and wax. It was concluded that the use of leather flour of smaller than 35 mesh with the addition of PEG and with surface treatment with OPE wax 3 phr resulted in NR vulcanizates with good mechanical properties. It could be used as bio-filler in NR.

Keywords : Wax Treatment, Vegetable Tanned Leather Flour, Natural Rubber, Bio-Filler

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลากรหลายฝ่าย ซึ่งผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ้งชัด ซึ่งเป็นอาจารย์ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้คอยให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและปฏิบัติการ คอยแนะนำและให้คำปรึกษาในการทำวิจัย เป็นผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี และ รศ.ดร.สมบัติ ธนะวันต์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้คำแนะนำและแนวทางต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับทุนอุดหนุนในการทำวิทยานิพนธ์ และทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับปริญญาโท

ขอขอบพระคุณ คุณสิรินทร ศรีธาดาวุฒิ และห้างหุ้นส่วนจำกัดกริชมณีโปรดักส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ผงหนัง และข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และบุคคลที่เกี่ยวข้อง ที่เป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ... ค
กิตติกรรมประกาศ ... จ
สารบัญ ... ฉ
สารบัญตาราง ... ฌ
สารบัญรูป ... ญ
บทที่ 1 บทนำ ... 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ ... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ... 4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย ... 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ... 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 6
2.1 ยางธรรมชาติ ... 6
2.1.1 ประวัติความเป็นมา ... 6
2.1.2 องค์ประกอบของยางธรรมชาติ ... 6
2.1.3 โครงสร้างของยางธรรมชาติ ... 9
2.2 สารเคมีสำหรับยาง ... 9
2.2.1 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing or curing agent) ... 9
2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerators) ... 10
2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activators) ... 12
2.2.4 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) ... 12
2.2.5 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants) ... 14
2.2.6 พอลิเอทิลีนไกคอล (Polyethylene glycol) ... 14
2.3 แว็กซ์ ... 15
2.3.1 พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) ... 15
2.3.2 ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax) ... 16
2.3.3 การใช้งานแว็กซ์ ... 16
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแว็กซ์ ... 17
2.4 หนังสัตว์ ... 17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 องค์ประกอบและโครงสร้างของหนังสัตว์ ... 17
2.4.2 ประเภทของหนังสัตว์ ... 19
2.5 การฟอกหนังสัตว์ ... 20
2.5.1 การจัดเตรียมหนังก่อนฟอก ... 21
2.5.2 การฟอกหนัง ... 22
2.5.3 การฟอกซ้ำ ย้อมสี ให้น้ำมัน และการตกแต่งหนัง ... 23
2.6 แทนนิน (Tannin) ... 25
2.6.1 ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน ... 25
2.6.2 คอนเดนส์แทนนิน ... 27
2.6.3 ประโยชน์ของแทนนิน ... 27
2.6.4 พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีน ... 28
2.7 การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยง ... 29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย ... 33
3.1 สารเคมี ... 33
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ ... 35
3.3 วิธีการทดลอง ... 36
3.3.1 การเตรียมผงหนัง ... 36
3.3.2 การเตรียมยางผสมสูตรและการขึ้นรูปยางผสมสูตร ... 36
3.3.3 การศึกษาผลของผงหนังที่มีผลต่อยางธรรมชาติ ... 39
3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล ... 41
3.3.5 การวิเคราะห์ผงหนังด้วยเทคนิคทางความร้อน TGA ... 43
3.3.6 การทดสอบสัณฐานวิทยา ... 44
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล ... 45
4.1 การวิเคราะห์ผงหนัง ... 46
4.2 ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax) ... 46
4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่ ... 47
4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ ... 50
4.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา ... 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr 57
4.3.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่ 57
4.3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ 58
4.3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา 63
4.4 ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง 64
4.4.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่ 65
4.4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ 67
4.4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา 71
4.5 ผลของปริมาณผงหนังที่ 30 และ 100 phr 73
4.5.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่ 73
4.5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ 74
4.5.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา 78
4.6 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง 79
4.6.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่ 79
4.6.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ 81
4.7 ศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3] 86
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 89
5.1 สรุปผลการวิจัย 89
5.2 ข้อเสนอแนะ 90
เอกสารอ้างอิง 92
ภาคผนวก 96
ภาคผนวก ก 97
ภาคผนวก ข 99
ประวัติผู้เขียน 101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของน้ำยางสดและของยางแห้ง.. 7
2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเอทิลีนไกลคอล-4000................................... 15
3.1 สมบัติบางประการของ PE Wax.. 34
3.2 สมบัติบางประการของ OPE Wax.. 34
3.3 สูตรผสมยางในการทดลองศึกษาผลของผงหนังในยาง.. 37
3.4 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์................. 39
3.5 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr......... 39
3.6 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนัง.................................... 40
3.7 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณผงหนัง.. 40
3.8 สูตรผสมยางในการทดลองศึกษาผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง.................................... 40
4.1 อักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย.. 46
4.2 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์........... 48
4.3 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน........................... 58
4.4 ความกว้างและความยาวของผงหนังที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน.. 65
4.5 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน........................... 66
4.6 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................................... 74
4.7 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.............. 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของแทนนิน (A) ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน และ (B) คอนเดนส์-แทนนิน ... 1
1.2 เศษผงหนังฟอกฝาด ... 2
2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ ... 9
2.2 โครงสร้างสารไดเบนโซไทอะซีลไดซัลไฟด์ ... 11
2.3 โครงสร้างสารเททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ ... 12
2.4 โครงสร้างของ (a) น้ำมันอะโรมาติก (b) น้ำมันแนฟทานิก และ (c) น้ำมันพาราฟิน ... 13
2.5 ชนิดและโครงสร้างของกรดอะมิโน ... 18
2.6 การยึดเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ของโมเลกุลกรดอะมิโน ... 18
2.7 หนังแกะ หนังวัว และหนังนกกระจอกเทศที่ยังไม่ผ่านการฟอก ... 20
2.8 ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse process) ... 21
2.9 ขั้นตอนการฟอกหนัง (Tanning process) และการตกแต่งหนัง (Finishing process) ... 24
2.10 โครงสร้างทางเคมี (A) Gallic acid และ (B) Ellagic acid ... 26
2.11 โครงสร้างทางเคมีของคอนเดนซ์แทนนิน (Condensed tannins) ... 27
2.12 การยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของคลอลาเจนในหนังกับแทนนิน ... 29
2.13 ตัวอย่าง Cure curve แสดงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ... 29
4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กสังเคราะห์ ... 48
4.2 ภาพวาดกลไกการป้องกันการดูดซับสารกระตุ้นและสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของ PEG ที่คาดว่าจะเกิด ... 49
4.3 ภาพวาดกลไกการป้องกันการดูดน้ำของแว็กซ์ที่คาดว่าจะเกิด ... 49
4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ ... 51
4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์-สังเคราะห์ ... 51
4.6 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ 52
4.7 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรผลของการใช้ PEG และแว็กซ์-สังเคราะห์ ... 52
4.8 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ ... 53
4.9 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ ... 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.10 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์.......... 53
4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์.......... 54
4.12 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์.......... 55
4.13 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[N], (ข1) L-35[NP], (ค1) L-35[NPW1] และ (ง1) L-35[NPOW1] กำลังขยาย 100 เท่า และ (ก2) L-35[N], (ข2) L-35[NP], (ค2) L-35[NPW1] และ (ง2) L-35[NPOW1] กำลังขยาย 2000 เท่า.......... 56
4.14 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 57
4.15 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 59
4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน... 59
4.17 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 60
4.18 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 60
4.19 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 61
4.20 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 61
4.21 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน 62
4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 62
4.23 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน.......... 63
4.24 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[NPOW1] และ (ข1) L-35[NPOW3] กำลังขยาย 100 เท่า และ (ก2) L-35[NPW1] และ (ข2) L-35[NPOW3] กำลังขยาย 2000 เท่า.......... 64
4.25 สัณฐานวิทยาของผงหนัง (ก) >35 mesh, (ข) 51-100 mesh, (ค) 101-150 mesh และ (ง) 151-200 mesh.......... 65
4.26 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.......... 66
4.27 ตัวอย่าง Stress-strain curve ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.. 68
4.28 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.......... 68
4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.. 69
4.30 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.......... 69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.31 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.................... 70

4.32 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.................... 70

4.33 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.................... 71

4.34 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน 71

4.35 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน.................... 72

4.36 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[NPOW3] และ (ข1) L-151-200[NPOW3 กำลังขยาย 100 เท่า.................... 72

4.37 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 73

4.38 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 75

4.39 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 75

4.40 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 76

4.41 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 76

4.42 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 77

4.43 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 77

4.44 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน.................... 78

4.45 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[NPOW3] และ (ข1) L-35[NPOW3]100 phr กำลังขยาย 100 เท่า (ก2) L-35[NPW3] และ (ข2) L-35[NPOW3]100 phr กำลังขยาย 2000 เท่า.................... 79

4.46 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 80

4.47 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 82

4.48 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 82

4.49 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.. 83

4.50 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 83

4.51 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 84

4.52 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน.................... 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

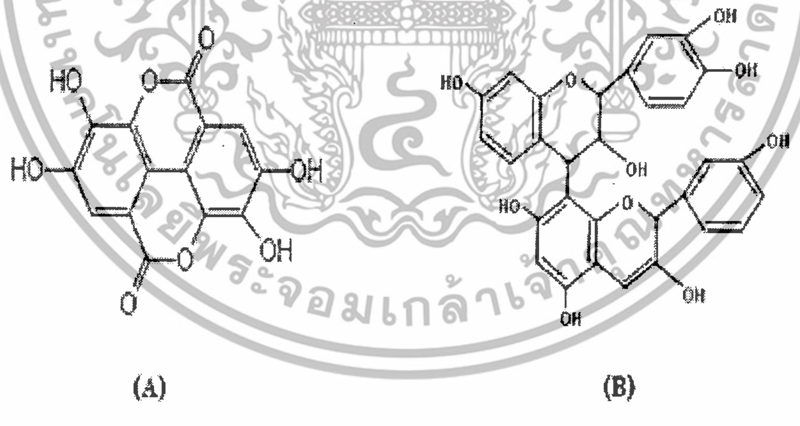
4.53 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน........ 85
4.54 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน 85
4.55 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน............. 86
4.56 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ.. 86
4.57 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ...................... 87
4.58 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ................................. 87
4.59 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ............. 88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

มนุษย์ได้รู้จักการใช้ประโยชน์จากหนังสัตว์โดยการฟอกหนังเมื่อประมาณเกือบห้าพันปีมาแล้ว ซึ่งชาวอินเดียแดงหลายๆ เผ่ามีวิธีการทำหนังฟอกแตกต่างกัน โดยทั่วไปจะกองพวกซากสัตว์และหนังสัตว์ทิ้งไว้จนเริ่มเน่า เมื่อหนังสัตว์เน่าเปื่อยจะทำให้ขนสัตว์หลุด และสามารถใช้มือขูดรีดเนื้อสัตว์ที่ติดอยู่ด้านในของหนังออกได้ น้ำมันสัตว์และสมองสัตว์จะถูกรีดให้ซึมเข้าไปในแผ่นหนัง ซึ่งวิธีการนี้แผ่นหนังต้องถูกรมควันบ่อยครั้งและแผ่นหนังที่ได้ไม่สามารถกันน้ำได้ ต่อมาชาวฮิบรูจึงได้วิวัฒนาการการฟอกหนังโดยการใช้เปลือกไม้โอ็กมาใช้ในการฟอกหนัง และพบว่าเปลือกไม้จากต้นเฮมล็อคและเปลือกไม้ของต้นเชสนัทก็สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการฟอกได้อย่างดีเช่นกัน [1] วิธีการที่ใช้เปลือกไม้ในการฟอกหนังหรือที่เรียกว่าหนังฟอกฝาด (Vegetable tanned leather) ยังคงใช้มาจนถึงทุกวันนี้ โดยสารสกัดที่ได้จากเปลือกไม้ คือแทนนิน (Tannins) ตัวอย่างโครงสร้างของแทนนิน ดังรูปที่ 1.1 หนังที่ได้จากการฟอกฝาดจะมีสี และสัมผัสที่เป็นธรรมชาติ มีความยืดหยุ่นสูง ดัดให้เกิดเป็นรูปทรงได้ง่าย ดังนั้นหนังสัตว์จึงได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของแทนนิน (A) ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน และ (B) คอนเดนส์-แทนนิน [2]

หนังสัตว์ (Leather) เป็นวัตถุดิบธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีความคงทนและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย หนังสัตว์มีส่วนประกอบหลัก คือเส้นใยคอลลาเจน (Collagen) ที่เกิดการเชื่อมโยงอยู่ในรูปโครงสร้างร่างแห 3 มิติ โดยหนังสัตว์จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปก่อนด้วยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอกหนัง เพื่อปรับปรุงลักษณะทางกายภาพ และสมบัติเชิงกล จากนั้นทำการย้อมสีหนังฟอกและตกแต่ง จะได้หนังฟอกสำเร็จรูป เพื่อนำไปใช้ทำผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง ซึ่งในกระบวนการแปรรูปหนังสัตว์เป็นหนังฟอกสำเร็จรูป และการแปรรูปจากหนังฟอกสำเร็จรูปไปเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง พบว่ามีเศษผงหนังที่เกิดจากการขัดผิวและการตัดแต่งริมแผ่นหนังเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษผงหนังที่ได้ส่วนมากมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 500 ไมครอน ดังรูปที่ 1.2

รูปที่ 1.2 เศษผงหนังฟอกฝาด [3]

ปัจจุบันหนังสัตว์ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก โดยแบ่งเป็น 3 อุตสาหกรรมหลักๆ คือการผลิตหนังฟอก รวมถึงการตกแต่งหนังฟอก การผลิตรองเท้า และการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องหนัง โดยในปี 2555 มีสถานประกอบการในอุตสาหกรรมรองเท้าและเครื่องหนังที่จดทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมประมาณ 946 แห่ง [4] และการส่งออกสินค้าเครื่องหนังและรองเท้าโดยรวมของประเทศไทยในเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ 2557 ที่ผ่านมา พบว่ามีมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้น 6.67 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี 2556 [5] จะเห็นว่าอุตสาหกรรมรองเท้าและเครื่องหนังยังคงเติบโตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดเศษผงหนังจากอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ซึ่งเศษผงหนังเหล่านี้มีการนำไปใช้ประโยชน์เพียงเล็กน้อย ส่วนใหญ่จะกลายเป็นขยะที่ต้องสูญเสียเม็ดเงินในการกำจัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเศษผงหนังฟอกฝาดจากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพ (Bio-filler) ในยางธรรมชาติ เพื่อลดปริมาณขยะที่เกิดจากกระบวนการ-ผลิต เป็นการเพิ่มมูลค่าให้เศษผงหนัง ซึ่งหนังสัตว์มีองค์ประกอบหลัก คือโปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด ยึดเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide bonds) และเมื่อทำการฟอกหนังสัตว์ด้วยแทนนินที่มีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (Free hydroxy groups) จึงเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอไมด์ในโปรตีนกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของแทนนิน ซึ่งหมู่เอไมด์และหมู่ไฮดรอกซิลมีขั้วสูงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ง่าย ดังนั้นเศษผงหนังฟอกฝาดจึงสามารถดูดน้ำได้ง่าย และทำให้เศษผงหนังฟอกฝาดกับยางธรรมชาติที่ไม่มีขั้วเข้ากันได้ไม่ดีนัก ในงานวิจัยจึงทำการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟอกฝาดโดยใช้แว็กซ์สังเคราะห์ คือพอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax; PE wax) และออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax; OPE wax)

แว็กซ์ (Wax) มีโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ความยาวของสายโซ่ปานกลาง (C_{20}-C_{60}) มีน้ำหนักโมเลกุลไม่มากที่อุณหภูมิ 20°C จะมีลักษณะคล้ายพลาสติกแข็งและเปราะ แว็กซ์จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40°C จนถึง 140°C สามารถกลับมาอยู่ในรูปของแข็งได้เมื่ออุณหภูมิลดลง แว็กซ์มีอยู่ทั้งในรูปแว็กซ์จากธรรมชาติและแว็กซ์จากการสังเคราะห์ โดยพอลิเอทิลีน-แว็กซ์เป็นแว็กซ์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (500-4,000 g/mol) สามารถสังเคราะห์ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำผ่านกระบวนการแตกตัวทางความร้อน (Thermal cracking) ที่เรียกว่าไพโรไลซิส (Pyrolysis) ลักษณะเฉพาะของพอลิเอทิลีนแว็กซ์ คือการมีจุดหลอมเหลวสูง มีความแข็งที่ดีจากอุณหภูมิต่ำไปสูงและมีค่าความหนืดที่กว้าง จึงถูกนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่น เป็นสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) และสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricant) สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) สารถอดแบบ (Mold release agent) ในกระบวนการผลิต สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids) และสารป้องกันโอโซนในยาง (Anti-oxonant) เป็นต้น ซึ่งพอลิ-เอทิลีนแว็กซ์สามารถปรับปรุงให้มีขั้วมากขึ้นได้ โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศหรือทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ที่อุณหภูมิสูง และทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชัน (Saponification) หรือเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ที่หมู่คาร์บอกซีในสายโซ่โมเลกุล จึงได้แว็กซ์ที่มีขั้วมากขึ้น เรียกว่า ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์

จากงานวิจัยของฐิติภา สิริวณิชพงศ์ และคณะ [3] ศึกษาการใช้ผงหนังฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ โดยได้ทำการศึกษาผลของการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol; PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง (20-35 และเล็กกว่า 35 mesh) และปริมาณผงหนัง (0-120 phr) พบว่าการเติม PEG และ Si-69 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงให้สูงขึ้นและส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น การเติมผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh ทำให้เกิดการเชื่อมโยงยางธรรมชาติเร็วกว่าเล็กน้อยและมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการเติมผงหนังขนาด 20-35 mesh และเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มมากขึ้น พบว่าสมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น แต่ทำให้การเชื่อมโยงยางช้าลง เนื่องจากพื้นผิวผงหนังมีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วอยู่จึงดูดสารเร่งและสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง และผงหนังสามารถดูดความชื้นไว้ได้ ดังนั้นเมื่อนำไปทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน ความร้อนนั้นจะทำให้น้ำเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ โดยเข้าไปจับกำมะถัน ทำให้กำมะถันที่จะไปทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์มีน้อยลง จากงานวิจัยนี้สรุปว่าการดูดน้ำของผงหนังเป็นอุปสรรคที่ทำให้เกิดปัญหาในการขึ้นรูป และส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของยาง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่อง ซึ่งนำผงหนังฟอกฝาดมาใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาผลของการเติม PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของขนาดอนุภาคและปริมาณผงหนัง ผลของปริมาณแว็กซ์สังเคราะห์ และผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง เพื่อนำยางผสมสูตรไปประยุกต์ใช้ในการผลิตเป็นวัสดุทดแทนหรือเพื่อใช้ทำผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการปรับปรุงผงหนังฟอกฝาดที่ใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพ (Bio-filler) ในยางธรรมชาติด้วยการใช้แว็กซ์ โดยศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ผลของการเติม PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ ผลของการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังด้วยแว็กซ์สังเคราะห์ คือชนิดแว็กซ์สังเคราะห์ และปริมาณแว็กซ์สังเคราะห์ ผลของขนาดอนุภาคและปริมาณผงหนัง และผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2) เตรียมตัวอย่างโดยใช้เครื่องบดผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) และขึ้นรูปชิ้นงานโดยใช้เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine)

3) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของยางผสมสูตร ดังนี้

- ผลของการเติม PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)
- ผลของปริมาณแว็กซ์สังเคราะห์ (OPE wax 1, 2 และ 3 phr)
- ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง (เล็กกว่า 35, 51-100, 101-150 และ 151-200 mesh)
- ผลของปริมาณผงหนัง (30 และ 100 phr)
- ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

4) ศึกษาสมบัติต่างๆ ของยางที่เตรียมได้โดยทำการทดสอบ ดังนี้

- ความหนืดมูนนี่ (Mooney viscosity)
- ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) ได้แก่ เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time; t_{s2}), เวลาเชื่อมโยง (Cure time; t_{c90}) และอัตราเร็วในการเชื่อมโยง (Cure rate Index; CRI)
- สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัสของยางที่ 100 เปอร์เซ็นต์ดึงยืด (Rubber modulus; M100) ความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) ความแข็งกด (Hardness) การต้านทานต่อการสึกหรอ (Abrasion resistance) และการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด (Compression set)
- การบวมตัว (Swelling)
- การดูดซึมน้ำ (Water absorption)
- สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถปรับปรุงผงหนังฟอกฝาดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้เป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ สำหรับใช้เป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรม

2) เป็นการเพิ่มมูลค่า และช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากการกำจัดเศษผงหนังฟอกฝาดที่เหลือจากอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

2.1.1 ประวัติความเป็นมา

ประเทศไทยได้มีการนำต้นยางพาราเข้ามาปลูกครั้งแรกตั้งแต่สมัยที่ยังใช้ชื่อประเทศว่าสยาม โดยความคิดที่จะนำยางพาราเข้ามาปลูกในประเทศไทยเกิดขึ้นเมื่อ พระยารัษฎานุประดิษฐ์-มหิศรภักดีเดินทางไปดูงานในประเทศมลายู พบว่าชาวมลายูปลูกต้นยางกันได้ผลดีมากจึงเกิดความสนใจที่จะนำต้นยางเข้ามาปลูกที่ประเทศไทยบ้างแต่ไม่สามารถนำกลับมาได้ เนื่องจากในสมัยนั้นต้นยางมีฝรั่งเป็นเจ้าของซึ่งหวงพันธุ์ยางมาก จนเมื่อปี พ.ศ. 2444 พระสถลสถานพิทักษ์เดินทางไปประเทศอินเดียได้มีโอกาสนำต้นกล้ายางกลับมาปลูกไว้ที่บริเวณหน้าบ้านพักของท่าน ที่อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง และต้นยางรุ่นแรกนี้ พระสถลสถานพิทักษ์ได้ขยายเนื้อที่ปลูกออกไปจนมีเนื้อที่ปลูกประมาณ 45 ไร่ นับได้ว่า พระสถลสถานพิทักษ์ คือผู้เป็นเจ้าของสวนยางคนแรกของประเทศไทย จากนั้นพระยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดีได้ส่งคนไปเรียนวิธีปลูกต้นยางเพื่อมาถ่ายทอดให้กลับประชาชน รวมถึงมีการนำพันธุ์ยางมาแจกจ่าย และส่งเสริมให้ราษฎรปลูกโดยทั่วกัน ซึ่งในยุคนั้นอาจกล่าวได้ว่าเป็นยุคตื่นยาง โดยปัจจุบันนี้มีการปลูกยางไปทั่วทั้งภาคใต้และภาคตะวันออก จัดได้ว่าต้นยางเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญรองลงมาจากข้าว ซึ่งทำรายได้ให้กับประเทศอย่างมากมาย พระ-ยารัษฎานุประดิษฐ์มหิศรภักดี จึงได้รับการยกย่องและให้เกียรติเป็นบิดาแห่งยางพาราไทย [7]

2.1.2 องค์ประกอบของยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติหลังการกรีดทันทีจะมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ประมาณ 6 มีค่าแรงตึงผิว 40.5 ดายน์ต่อเซนติเมตร (dyn/cm) ที่ 30 องศาเซลเซียส และมีสีขาวข้น ถ้านำน้ำยาง-สดมาปั่นที่ความเร็วรอบประมาณ 13,000 รอบต่อนาทีขึ้นไป พบว่าน้ำยางเกิดการแยกชั้นได้เป็น 3 ส่วนหลัก ดังนี้ [7]

1. ส่วนเนื้อยาง (Rubber phase) เป็นส่วนของชั้นยางสีขาวซึ่งอยู่ชั้นบนสุด คิดเป็นประมาณ 30-36 เปอร์เซ็นต์ โดยอนุภาคของยางธรรมชาติมีขนาด 0.05-3 ไมครอน อนุภาคส่วนมากมีลักษณะเป็นทรงกลม และที่ผิวของอนุภาคยางจะถูกล้อมรอบด้วยชั้นของโปรตีนและไขมัน ทำให้อนุภาคยางสามารถแขวนลอยอยู่ในน้ำได้อย่างเสถียร แต่หลังจากการกรีดไม่ถึงชั่วโมง แบคทีเรียและเอนไซน์จะทำปฏิกิริยากับชั้นของโปรตีนและไขมันได้ ถ้าปราศจากการเติมสารเคมีที่ยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียทำให้น้ำยางเสียความเสถียรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. <u>ส่วนชั้นน้ำหรือซีรั่ม (Serum phase)</u> คิดเป็นประมาณ 44-55 เปอร์เซ็นต์ โดยในส่วนนี้ประกอบด้วยสารที่สามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน โปรตีนบางชนิด คาร์โบไฮเดรต เอนไซม์และไอออนของโลหะ เป็นต้น

3. <u>ส่วนตกตะกอน (Sludge phase)</u> เป็นส่วนที่อยู่ชั้นล่างสุด คิดเป็นประมาณ 15-20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนประกอบที่สำคัญในชั้นนี้ คืออนุภาคลูทอยด์ (Lutoid particle) ซึ่งเป็นของที่มีความหนืดมากมีรูปร่างเป็นทรงกลม โดยมีชั้นของเยื่อหุ้มปกคลุมอยู่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคมีค่า 0.5-3 ไมครอน มีน้ำหนักมากกว่าอนุภาคของยาง โดยที่ผิวมีชั้นของเมมเบรนหนาประมาณ 80 อังสตรอมเป็นเยื่อหุ้มที่ไวต่อการแพร่ผ่าน (Osmotic sensitive membrane) ซึ่งจะเสียความเสถียรได้ง่ายมาก ดังนั้นถ้าไม่ทำการปั่นน้ำยางสดทันทีจะไม่พบอนุภาคลูทอยด์ ซึ่งภายในอนุภาคลูทอยด์ประกอบไปด้วยสารจำพวกโปรตีน คาร์โบไฮเดรต กรด และเกลือต่างๆ ค่า pH ของสารแขวนลอยอยู่ที่ประมาณ 5.5 ดังนั้นในน้ำยางที่ไม่ได้ถูกกำจัดเอาอนุภาคลูทอยด์ออกมักจะเกิดการจับตัวเองตามธรรมชาติ (Spontaneous coagulation)

โดยสรุปน้ำยางธรรมชาติประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อยางเพียง 30-36 เปอร์เซ็นต์ และส่วนของแข็งที่ไม่ใช่เนื้อยางประมาณ 5-6 เปอร์เซ็นต์ ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบโดยทั่วไปของน้ำยางสดและของยางแห้ง ทั้งนี้ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ จะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของดินที่ใช้ปลูกต้นยาง ฤดูกาล สายพันธุ์ อายุของต้นยาง เวลาการกรีดน้ำยาง รวมถึงวิธีการเตรียมยางแห้ง เช่น วิธีการจับตัว เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบโดยทั่วไปของน้ำยางสดและของยางแห้ง [7]

องค์ประกอบ	น้ำยางสด (% โดยน้ำหนัก)	ยางแห้ง (% โดยน้ำหนัก)
ยางไฮโดรคาร์บอน	36.0	93.7
โปรตีนและกรดอะมิโน	1.4	2.2
นิวทรอลลิปิด	1.0	2.4
ไกลโคลิปิดและฟอสโฟลิปิด	0.6	1.0
คาร์โบไฮเดรต	1.6	0.4
สารอนินทรีย์	0.5	0.2
อื่นๆ	0.4	0.1
น้ำ	58.5	0.0

การกรีดยางในฤดูที่ต่างกันพบว่า การกรีดยางในหน้าฝนน้ำยางที่ได้จะมีปริมาณของส่วนที่ไม่ใช่ยางมากกว่าน้ำยางที่กรีดได้จากหน้าร้อน และในหน้าหนาว พบว่าส่วนที่ไม่ใช่ยางมีปริมาณน้อยมาก ทำให้ปริมาณเนื้อยางเทียบกับส่วนที่ไม่ใช่ยางในแต่ละฤดูแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในยางธรรมชาติมีส่วนที่ไม่ใช่ยางอยู่หลากหลายชนิด ส่วนที่ไม่ใช่ยางแต่ละชนิดจะส่งผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติที่แตกต่างกัน โดยจะสามารถจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. <u>โปรตีนและกรดอะมิโน</u> ในยางธรรมชาตินั้นจะประกอบด้วยโปรตีนและกรดอะมิโนหลากหลายชนิด เช่น แอลฟา-โกลบูลิน (α-globulin), กรดกลูตามิก (Glutamic acid) และกรดแอสพาติก (Aspartic acid) พบมากในซีรั่ม และฮีวีน (Hevein) พบมากในส่วนที่ตกตะกอน เป็นต้น สารในกลุ่มนี้จะส่งผลกระทบต่อสมบัติของยาง โดยทำให้ความเหนียวติด (Stiffening) ความแข็งแรง-ฉีกขาด (Tear strength) การเกิดความร้อนสะสม (Heat build-up) และความต้านทานต่อการแตกเมื่อได้รับแรงเชิงพลวัต (Dynamic crack growth) ของยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดยังทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตามธรรมชาติทำให้ยางคงรูป (Vulcanization) แต่ถ้ามีโปรตีนปริมาณมากในยางที่ผ่านการทำให้คงรูปแล้วจะทำให้ยางมีความสามารถในการดูดความชื้นได้สูง ส่งผลให้ค่าการ-คืบ (Creep) และค่าการคลายตัวของความเค้น (Stress relaxation) มีค่าสูง

2. <u>ไขมัน</u> สารประกอบประเภทไขมันประกอบไปด้วยสาร 3 กลุ่มหลักๆ คือนิวทรอลลิ-ปิด (Neutral lipid) ไกลโคลิปิด (Glycolipid) และฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) ซึ่งสารในกลุ่มนี้จะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเกิดออกซิเดชันจากความร้อน โดยฟอสโฟลิปิดจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตามธรรมชาติทำให้ยางคงรูป และกรดสเตียริก (Stearic acid) จะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นของปฏิกิริยาคงรูป นอกจากนี้กรดไขมันยังมีผลกระทบต่อการตกผลึกของยางที่อุณหภูมิต่ำด้วย โดยกรดไขมันชนิดอิ่มตัว เช่น กรดสเตียริกจะทำให้เกิดการตกผลึกของยางที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว เช่น กรดไลโนเลอิกจะชะลอการตกผลึกของยางที่อุณหภูมิต่ำ

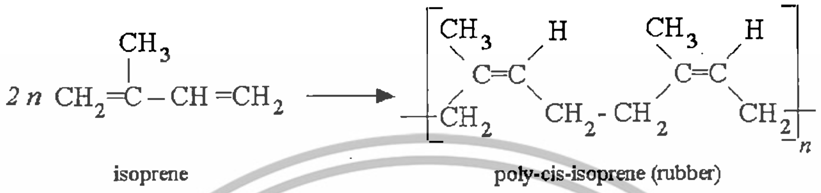
3. <u>คาร์โบไฮเดรต</u> ส่วนมากที่มีอยู่ในยางธรรมชาติจะเป็นกลุ่มของน้ำตาล ซึ่งสารที่พบมากที่สุด คือคิวบราชิทอล (Quebrachitol) มีอยู่ประมาณ 1% ในน้ำยางสด นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังประกอบไปด้วยน้ำตาลชนิดอื่นๆ ด้วยในปริมาณที่น้อย เช่น ซูโครส (Sucrose) กลูโคส (Glucose) กาแลกโตส (Galactose) ฟรุกโตส (Fructose) แรฟฟิโนส (Raffinose) และเพนโตส (Pentose) โดยน้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายได้ง่ายและเปลี่ยนเป็นกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid; VFA) ซึ่งค่ากรดไขมันที่ระเหยได้เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำยางมีการเก็บรักษาที่ดีหรือไม่ และมีเสถียรภาพสูงหรือต่ำ

4. <u>ไอออนของโลหะ</u> ปริมาณของไอออนของโลหะที่มีในยางธรรมชาตินั้นแตกต่างกันออกไป เนื่องจากกระบวนการผลิตที่แตกต่าง ซึ่งปริมาณไอออนของโลหะส่งผลต่อเสถียรภาพของน้ำยาง และการเสื่อมสภาพของยาง เนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไอออนโลหะที่พบในยางธรรมชาติได้แก่ โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น **[7]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีหน่วยย่อยเป็นหน่วยของไอโซพรีน (Isoprene unit) ซึ่งมีสูตรทางเคมีเป็น C_5H_8 โดยหน่วยไอโซพรีนที่พบในยางธรรมชาติจะอยู่ในลักษณะโครงสร้างแบบซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene) มีน้ำหนักโมเลกุล 200,000-500,000 g/mol



รูปที่ 2.1 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ [3]

2.2 สารเคมีสำหรับยาง

2.2.1 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing or curing agent)

สารเชื่อมโยงเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ต้องผสมลงไปในยางเพื่อทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันหรือปฏิกิริยาคงรูป การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมโยงกันเป็นโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ ซึ่งจะทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากอ่อนเหนียวติด และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติกไปเป็นยางคงรูป (Thermoset) ที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความทนทาน และมีสมบัติที่เสถียรเพิ่มมากขึ้น

แม้ว่าการทำให้ยางเชื่อมโยงจะสามารถทำได้ด้วยการใช้รังสีที่มีพลังงานสูงโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเชื่อมโยง แต่วิธีการทำให้ยางเชื่อมโยงดังกล่าวจำเป็นต้องใช้เครื่องมือราคาแพง และใช้ได้ดีเฉพาะในกรณีที่ต้องการเชื่อมโยงยางที่บางๆ เท่านั้น ด้วยเหตุนี้การทำให้ยางเชื่อมโยงด้วยรังสีที่มีพลังงานสูงจึงไม่เป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันการเชื่อมโยงส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารกลุ่มที่ทำให้ยางเชื่อมโยง โดยทั่วไปการเชื่อมโยงยางที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (Sulfur) ระบบที่ใช้เพอร์ออกไซด์ (Peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ เป็นต้น

1. ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน เป็นระบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่ต้นทุนต่ำ การเชื่อมโยงเกิดได้เร็วเมื่อใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่เหมาะสม และยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดี ดังนั้นระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันจึงนิยมใช้ในการเชื่อมโยงยางแทบทุกชนิดที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเฉพาะยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ส่วน-ใหญ่ เช่น ยางสไตรีน-บิวทาไดอีน (SBR) ยางพอลิไอโซพรีน (IR) ยางพอลิบิวทาไดอีน (BR) และยางไนไตรล์ (NBR) เป็นต้น อย่างไรก็ดีระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันมีข้อจำกัดหลักๆ คือไม่สามารถใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเชื่อมโยงยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล เนื่องจากพันธะคู่เป็นตำแหน่งที่กำมะถันจะเข้าไปทำปฏิกิริยาและทำให้เกิดการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้น [8]

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถันนั้นจะเกิดขึ้นเมื่อนำกำมะถันมาผสมกับยางและให้ความร้อน ยางจะเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ระหว่างโมเลกุลโดยมีกำมะถันเป็นตัวเชื่อมโยง ถ้าปริมาณของกำมะถันเพิ่มมากขึ้นยางจะมีการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และถ้าขนาดอนุภาคกำมะถันมีขนาดเล็กทำให้มีการกระจายตัวที่ดี ยางเกิดการเชื่อมโยงและคงรูปได้ดี สมบัติเชิงกลของยางสูงขึ้นไปด้วย แต่ถ้าปริมาณกำมะถันที่ใช้มากจนเกินไปเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานกำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะเกิดการตกผลึกออกมาที่ผิวหน้าของยาง เกิดเป็นรอยคราบสีเหลืองอ่อนอยู่ที่พื้นผิวของยางคอมพาวด์ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า กำมะถันบลูม (Sulfur bloom) การบลูมทำให้สมบัติความเหนียวติดของยางคอมพาวด์เสียไป โดยการผสมกำมะถันนั้นจะผสมกำมะถันเป็นลำดับสุดท้าย เพื่อป้องกันไม่ให้ยางเกิดการเชื่อมโยงก่อน

2. ระบบการเชื่อมโยงด้วยเพอร์ออกไซด์ แม้ว่าสามารถใช้ได้กับยางส่วนใหญ่ ทั้งที่มีพันธะคู่และไม่มีพันธะคู่ในโมเลกุล แต่เนื่องจากระบบการเชื่อมโยงด้วยเพอร์ออกไซด์มีต้นทุนสูงกว่าระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันและยางที่ได้มีสมบัติเชิงกลและเชิงพลวัตที่ด้อยกว่ายางที่ได้จากการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน นอกจากนี้เพอร์ออกไซด์ยังจัดเป็นสารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย ทำให้การขนย้ายและการเก็บรักษาต้องทำด้วยความระมัดระวัง ด้วยเหตุนี้ระบบการเชื่อมโยงด้วยเพอร์ออกไซด์จึงนิยมใช้ในการเชื่อมโยงยางที่ไม่มีพันธะคู่หรือยางที่มีปริมาณพันธะคู่ในโมเลกุลต่ำมากเท่านั้น สำหรับยางไดอีนอื่นๆ ที่มีพันธะคู่อยู่มากนิยมใช้ระบบการเชื่อมโยงด้วยกำมะถันมากกว่า ยกเว้นในกรณีที่ต้องการผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อความร้อนได้ดีและ/หรือมีค่าการเสียรูปหลังการกดอัดต่ำเท่านั้น [8]

3. ระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น การใช้โลหะออกไซด์นิยมใช้ในยางคลอโรพรีน (CR) แม้ว่ายางคลอโรพรีนเป็นยางที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล แต่อะตอมของคลอรีนในยางทำให้พันธะคู่ที่มีอยู่ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ด้วยเหตุนี้ยางคลอโรพรีนจึงไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน สารทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงที่นิยมใช้กันมากสำหรับยางคลอโรพรีน ได้แก่ โลหะออกไซด์ เช่น แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และออกไซด์ของตะกั่ว (Pb_3O_4) เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้แมกนีเซียมออกไซด์ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ (MgO/ZnO) โดยแมกนีเซียมออกไซด์ช่วยทำหน้าที่เป็นตัวจับกรดไฮโดรคลอริกที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชื่อมโยงในขณะที่ซิงค์ออกไซด์ทำหน้าเป็นสารทำให้ยางเชื่อมโยง [8]

2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerators)

การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับระบบการคงรูปยางด้วยกำมะถัน เพราะปฏิกิริยาคงรูประหว่างยางและกำมะถัน จะเกิดขึ้นได้ช้ามากแม้ว่าที่อุณหภูมิสูงๆ โดยทั่วไปจึงต้องใช้ระยะเวลาในการคงรูปยางนานเป็นชั่วโมงและต้องใช้กำมะถันในปริมาณที่สูงมาก อีกทั้งยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลต่ำ การเติมสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงลงไปในปริมาณเพียง

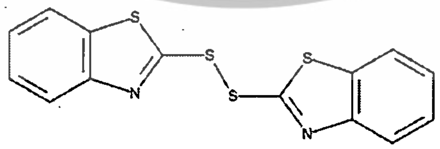
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กน้อยช่วยทำให้ปฏิกิริยาระหว่างยางและกำมะถันเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น จึงช่วยลดระยะเวลาที่ใช้ในการคงรูปยาง ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้กำมะถันในปริมาณที่สูงเกินไปและยางคงรูปที่ได้มีความหนาแน่นการเชื่อมโยงสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น [8]

สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น เวลาเริ่มเชื่อมโยง (Scorch time) อัตราเร็วการเชื่อมโยง (Cure rate) เวลาเชื่อมโยงสมบูรณ์ (Cure time) ความสามารถในการละลายในยาง (Solubility) ความเป็นพิษ (Toxicity) เป็นต้น ดังนั้นการเลือกชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมาก โดยในอุตสาหกรรมยางอาจใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ใช้ปริมาณมากกว่าเรียกว่า สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงปฐมภูมิ (Primary accelerators) ส่วนสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ใช้ปริมาณน้อยกว่าจะเรียกว่า สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงทุติยภูมิ (Secondary accelerators) สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยงทั้งสองอาจเกิดปฏิกิริยาเสริมกันที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ซินเนียจิสติก (Synergistic effects) ทำให้ได้สมบัติของยางที่ดีกว่าการใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงตัวใดตัวหนึ่งเพียงอย่างเดียว

การทำให้ยางคงรูปต้องคำนึงถึงความเหมาะสมของสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ใช้ ถ้าต้องการเวลาที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์นานควรใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่มีเวลาเริ่มเชื่อมโยงนาน แต่ถ้าใช้เวลาในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สั้นควรใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงกลุ่มตัวเร่งเร็วยิ่งยวด [9]

ไดเบนโซไทอะซีลไดซัลไฟด์ (2,2-dibenzothiazyl disulfide; MBTS) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่อยู่ในกลุ่มไทเอโซล (Thiazoles) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุดสามารถใช้ได้ดีกับยางแทบทุกประเภท มีอัตราเร็วในการคงรูปยางปานกลาง ยางคงรูปที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพสูง มีความต้านทานต่อแรงดึงสูง มีค่ามอดุลัสสูง ไม่ติดสี ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่โปร่งแสง เป็นตัวที่ช่วยให้ยางนิ่มในการบดผสมยางจึงช่วยในการแปรรูปของยางได้ดี มักใส่ลงในยางขณะที่เริ่มต้นการบดผสมยาง

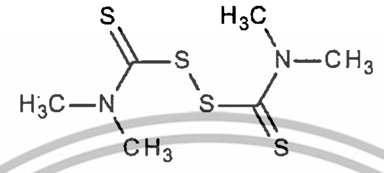


รูปที่ 2.2 โครงสร้างสารไดเบนโซไทอะซีลไดซัลไฟด์ [10]

เททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ (Tetramethylthiuram disulfide; TMTD) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่อยู่ในกลุ่มไทยูแรม (Thiurams) เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่ทำให้ยางมีอัตราในการเกิดปฏิกิริยาคงรูปที่เร็วมาก นิยมใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงทุติยภูมิ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่มีประโยชน์มากในกรณีทำการเชื่อมโยงโดยไม่ใช้กำมะถันหรือใช้กำมะถันในปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงชนิดนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาแล้วจะให้อะตอมของกำมะถันเกิดพันธะเชื่อมโยงกำมะถันอะตอมเดี่ยวหรือโมโนซัลฟิดิก (Monosulfidic linkage) ได้ยางคงรูปที่มีสมบัติที่ดี สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงชนิดนี้ไม่เลอะสีจึงสามารถใช้กับยางสีอ่อนหรือสีขาวได้โดยไม่เปื้อนสี



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสารเททระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ **[11]**

2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงเป็นสารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูป เนื่องจากสารเคมีในกลุ่มนี้จะเข้าไปกระตุ้นหรือเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง

สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงที่นิยมใช้มากที่สุดในอุตสาหกรรมยางในปัจจุบัน คือซิงค์ออกไซด์ร่วมกับกรดสเตียริก (ZnO/Stearic acid) เนื่องจากราคาไม่แพงและมีประสิทธิภาพในการทำงานสูง สามารถใช้ได้กับยางทั่วไป ซิงค์ออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับกรดสเตียริกเกิดเป็น ซิงค์-สเตียเรต (Zinc stearate) ซึ่งสามารถละลายในยางได้ และช่วยเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เนื่องจากอยู่ในรูปซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) ที่ละลายได้ในยาง [9]

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารอนินทรีย์ที่จำเป็นในการทำให้ยางคงรูปได้สมบูรณ์ มีความถ่วงจำเพาะสูง นิยมใช้ในปริมาณ 3-5 phr แต่ถ้าซิงค์ออกไซด์มีขนาดอนุภาคเล็ก สามารถลดปริมาณการใช้ลงเหลือเพียง 1 phr ได้ ซึ่งจะทำให้ยางมีมอดุลัสสูงและโปร่งใส

กรดสเตียริกเป็นสารอินทรีย์ที่จำเป็นในการใช้เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงสำหรับสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงบางชนิด ปริมาณที่ใช้ในยางจะขึ้นกับชนิดของยาง ถ้ายางมีกรด-ไขมันอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องใส่หรือใส่ในปริมาณน้อย โดยทั่วๆ ไปในการผสมสารเคมีกับยางธรรมชาติจะใส่กรดสเตียริกประมาณ 1-3 phr เพื่อลดอัตราการเชื่อมโยงที่แตกต่างกันลง และเป็นการป้องกันการขาดกรดไขมันในยาง เพราะการขาดกรดไขมันอาจทำให้สมบัติทางกายภาพแตกต่างกันไป [3]

2.2.4 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids)

สารช่วยกระบวนการผลิต เป็นสารเคมีที่ผสมในยางเพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตง่าย-ขึ้น มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ใช้เวลาและพลังงานในการผลิตน้อยลง นอกจากยังช่วยในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจายตัวของสารเติมแต่งต่างๆ ในยาง เพิ่มความสม่ำเสมอหรือเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ทำให้มีอัตราเร็วในการผลิตสูงขึ้น สารช่วยกระบวนการผลิตมีหลายชนิด เช่น

1. เปปไทเซอร์ (Peptizers) เป็นสารที่ทำให้ยางนิ่มเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาเคมี ทำหน้าที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่ของยางทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง เป็นผลให้ความหนืดของยางลดลงเกิดการผสมได้ง่ายขึ้น นิยมใส่เพื่อลดเวลาการบดย่อย (Mastication) โดยเฉพาะในยางธรรมชาติ ตัวอย่างของเปปไทเซอร์ เช่น กรดซัลโฟนิก (Sulfonic acid) เพนตะคลอโรไทโอฟีนอล (Pentachlorothiophenol) เป็นต้น

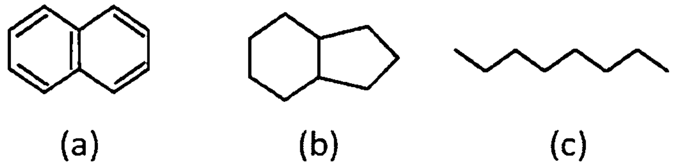
2. พลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) เป็นสารเติมแต่งที่ใส่เพื่อเพิ่มความนิ่มให้กับยางและช่วยลดความหนืด ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย พลาสติไซเซอร์เป็นสารโมเลกุลเล็กที่แทรกตัวอยู่ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ช่วยเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free volume) ทำให้สายโซ่โมเลกุลยางสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น อุณหภูมิเปลี่ยนสภานะคล้ายแก้วลดลง ทำให้วัสดุมีสมบัติยืดหยุ่นเป็นยางที่ดีขึ้น นิ่มตัวขึ้นและเพิ่มสมบัติความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำ ตัวอย่างพลาสติไซเซอร์ เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) น้ำมันปิโตรเลียม (Petroleum oils) สารประกอบเอสเทอร์ (Ester compounds) น้ำมันสน (Pine oil) เป็นต้น

โดยน้ำมันปิโตรเลียมเป็นน้ำมันที่เข้ากันได้ดีกับยาง ทำให้ความหนืดลดลง เป็นน้ำมันที่ไม่ระเหย ไม่ติดสี และสีไม่ตก น้ำมันชนิดนี้เมื่อใช้จะทำให้สมบัติของยางตรงกันข้ามกับการใช้สารตัวเติม คือมีผลทำให้ความแข็งลดลง ค่ามอดุลัสลดลง น้ำมันปิโตรเลียมประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ มีกำมะถัน ออกซิเจน และไนโตรเจนปนอยู่บ้างเล็กน้อย น้ำมันปิโตรเลียมแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ [9]

1. น้ำมันอะโรมาติก (Aromatic oils) เป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนอะโรมาติกไม่อิ่มตัว มีสีคล้ำ ความหนืดสูง

2. น้ำมันแนฟทานิก (Naphthenic oils) เป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นวงแหวนแนฟทานิกอิ่มตัว มีความหนืดปานกลาง

3. น้ำมันพาราฟิน (Paraffinic oils) เป็นน้ำมันที่มีองค์ประกอบส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว อาจมีกิ่งบ้าง มีความหนืดต่ำ



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของ (a) น้ำมันอะโรมาติก (b) น้ำมันแนฟทานิก และ (c) น้ำมันพาราฟิน **[9]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)

ยางส่วนใหญ่ที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่อิ่มตัวจะเสื่อมสภาพได้ง่าย โดยเฉพาะในภาวะการใช้งานที่ต้องสัมผัสกับแสงแดด ออกซิเจน โอโซน ความร้อน หรือโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน รวมทั้งการใช้งานที่ต้องมีการหักงอเชิงกลตลอดเวลา ดังนั้นการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อที่จะให้ยางมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น เมื่อยางเกิดการเสื่อมสภาพสมบัติต่างๆ ของยางจะด้อยลง การเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นอาจสังเกตเห็นได้จากการแข็งตัว (Embrittlement) การอ่อนตัว (Softening) รวมถึงการล้าตัวหรือการขยายตัวของรอยแตก (Fatigue process) โดยทั่วไปการเสื่อมสภาพจะเกิดได้เร็วยิ่งขึ้นที่อุณหภูมิสูงหรือในภาวะที่มีการปนเปื้อนด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น โลหะทองแดง (Cu) และแมงกานีส (Mn) เป็นต้น [8] สารป้องกันการเสื่อมสภาพแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. <u>สารแอนตี้ออกซิแดนท์ (Antioxidant)</u> เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับยางหรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) แบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือสารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดไม่เปื้อนสี (Nonstraining antioxidant) และสารแอนตี้ออกซิแดนท์ชนิดเปื้อนสี (Straining antioxidant)

2. <u>สารแอนตี้โอโซแนนท์ (Antiozonant)</u> เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพของยางเนื่องจากการทำปฏิกิริยากับโอโซนหรือปฏิกิริยาโอโซเนชัน ปกติปริมาณโอโซนมีน้อยประมาณ 3-4 ppm แต่มีผลต่อยางโดยทำให้ยางเกิดรอยแตก สารแอนตี้โอโซแนนท์ที่นิยมใช้มาก คือสารประกอบพาราฟีนิลลีนไดเอมีน (Para-phenylenediamines; PPDs) [9]

2.2.6 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol)

พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลขนาดใหญ่ เอทิลีนไกลคอลเกิดจากการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอทิลีนโดยใช้ออกซิเจน พอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) มีสมบัติดังตารางที่ 2.2 PEG มีลักษณะใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีจุดเดือดสูง สามารถละลายในตัวทำละลาย เช่น น้ำ แอลกอฮอล์ อีเทอร์ และอะซิโตน นิยมนำมาผสมเพื่อเพิ่มความหนืดในสารต่างๆ เช่น ยาสระผม ครีมทาผิว โลชัน ยาสีฟันหรือแม้แต่ในอาหาร เป็นต้น ในอุตสาหกรรมยางจะใช้ PEG เคลือบบริเวณพื้นผิวของสารตัวเติมเพื่อป้องกันสารตัวเติมดูดสารเคมีที่มีขั้ว เช่น ซิงค์ออกไซด์ สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง นอกจากนี้ PEG ยังใช้เป็นสารป้องกันการแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของพอลิเอทิลีนไกลคอล-4000 **[12-13]**

สมบัติทางกายภาพและทางเคมี	
โครงสร้างทางเคมี	$(C_2H_4O)_nH_2O$
น้ำหนักมวลโมเลกุล	3,600-4,000
ค่าไฮดรอกซิล, mg KOH/g	25-32
ความหนาแน่น, g/cm^3 @ 60°C	1.0926
ช่วงการแข็งตัว, °C	53-59
การละลายน้ำที่ 20°C, % by wt	66
ความหนืดที่ 100°C, cSt	140.4
หน่วยซ้ำของออกซีเอทิลีน	90.5
ความชื้น, %w/w	0.5
ความร้อนที่ในการหลอมเหลว, Cal/g	45
pH ที่ 25°C, 5% Aqueous Solution	4.5-7.5
จุดวาบไฟ, Pensky Martens Closed Cup, °C	229
จุดวาบไฟ, Cleveland Open Cup, °C	291
การละลาย	ละลายน้ำ
สี	ขาว

2.3 แว็กซ์

แว็กซ์โดยทั่วไปมีโครงสร้างเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ความยาวของสายโซ่ปานกลาง มีน้ำหนักโมเลกุลไม่มาก (จำนวนคาร์บอนประมาณ 20-60) ที่อุณหภูมิ 20°C จะมีลักษณะคล้ายพลาสติกแข็งและเปราะ แว็กซ์จะหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 40°C จนถึง 140°C โดยที่ไม่มีการสลายตัวและสามารถกลับมาอยู่ในรูปของแข็งได้เมื่ออุณหภูมิลดลง แว็กซ์มีทั้งชนิดที่มาจากธรรมชาติ (Natural wax) และจากการสังเคราะห์ (Synthetic wax) โดยแว็กซ์จากธรรมชาติจะแบ่งออกเป็นแว็กซ์จากพืชและสัตว์ (Plant and animal wax) แว็กซ์จากฟอสซิส (Fossil wax) และแว็กซ์สังเคราะห์จะแบ่งเป็นแว็กซ์โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer wax) เช่น Polyethylene wax, Polypropylene wax และ Fischer-Tropsch wax เป็นต้น และแว็กซ์โคพอลิเมอร์ (Copolymer wax) เช่น Ethylene vinyl acetate wax และ Ethyl acetoacetate wax เป็นต้น **[14]**

2.3.1 พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax)

พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Polyethylene wax) เป็นแว็กซ์สังเคราะห์มีมวลโมเลกุลต่ำ (500-4,000 g/mol) ที่สังเคราะห์ได้จากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงหรือพอลิเอทิลีนชนิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนาแน่นต่ำผ่านกระบวนการแตกตัวทางความร้อน (Thermal cracking) หรือเรียกว่าไพโรไลซิส (Pyrolysis) ลักษณะเฉพาะของพอลิเอทิลีนแว็กซ์ คือการมีจุดหลอมเหลวสูง มีความแข็งที่ดีจากอุณหภูมิต่ำไปสูง และมีค่าความหนืดที่กว้าง จึงถูกนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย ซึ่งในอุตสาหกรรมยางพอลิเอทิลีนแว็กซ์ถูกใช้เป็นสารช่วยกระบวนการผลิตและสารแอนตี้โอโซแนนท์ ในอุตสาหกรรมพลาสติกทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระบวนการผลิตและสารหล่อลื่น (Lubricant) ในกระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีนแว็กซ์ยังถูกนำมาใช้เป็นสารหล่อลื่นและสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) โดยพอลิเอทิลีนแว็กซ์ช่วยให้สารตัวเติมหรือเม็ดสีต่างๆ กระจายตัวได้ดีขึ้น นอกจากนี้พอลิ-เอทิลีนแว็กซ์ยังถูกใช้เป็นสารดัดแปรสำหรับกระบวนการผลิตเทียน พลาสติกและอีลาสโตเมอร์ และการเคลือบผิวกระดาษด้วย [15-16]

2.3.2 ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax)

ออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ (Oxidized polyethylene wax) เป็นแว็กซ์สังเคราะห์เกิดจากนำพอลิเอทิลีนแว็กซ์มาปรับปรุงให้มีขั้วมากขึ้นได้โดยการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศหรือทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ที่อุณหภูมิสูง และทำปฏิกิริยาสะปอนนิฟิ-เคชัน (Saponification) หรือเอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ที่หมู่คาร์บอกซีในสายโซ่โมเลกุล ลักษณะของออกซิไดซ์พอลิเอทิลีนแว็กซ์ คือมีจุดหลอมเหลวสูง มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง มีความแข็งที่ดี และมีหมู่ของคาร์บอกซีและไฮดรอกซีอยู่ในสายโซ่โมเลกุลจึงมีขั้วสูงกว่าพอลิเอทิลีนแว็กซ์ สามารถเป็นได้ทั้งสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricant) และสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricant) จึงถูกนำไปใช้กันอย่างงานอย่างแพร่หลาย เช่น สารช่วยกระจายตัว สารถอดแบบ (Mold release agent) ในกระบวนการผลิตเป็นสารช่วยกระบวนการผลิต และสารแอนตี้โอโซแนนท์ในยาง เป็นต้น [17]

2.3.3 การใช้งานแว็กซ์

แว็กซ์ถูกใช้ในอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ต่างๆ หลากหลายอุตสาหกรรม โดยมีการใช้งานแว็กซ์ ดังนี้

1. <u>สารช่วยกระบวนการผลิต</u> ทำหน้าที่ช่วยให้กระบวนการผลิตง่ายขึ้น โดยช่วยให้พอ-ลิเมอร์ขึ้นรูปง่าย (Ease of processability) ไหลดีขึ้น อัตราเร็วการผลิตสูงขึ้น พื้นผิวผลิตภัณฑ์ดีขึ้น สวยขึ้น ลดปัญหาบิดเบี้ยว (Melt fracture) และผิวขรุขระ (Shark skin) ของผลิตภัณฑ์

2. <u>สารหล่อลื่น</u> สามารถลดแรงเสียดทานระหว่างวัสดุกับเครื่อง และวัสดุภายในตัวเอง แบ่งเป็นสารหล่อลื่นภายใน (Internal lubricants) และสารหล่อลื่นภายนอก (External lubricants) โดยสารหล่อลื่นภายในสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์สูง อยู่ภายในเนื้อพอลิเมอร์ ทำให้สายโซ่ไหลผ่านกันง่ายความหนืดขณะไหลลดลง ปกติเป็นสารที่มีจุดหลอมเหลวต่ำทำให้ไหลง่ายขณะขึ้นรูป เช่น Amine waxes, Wax esterderivatives และ Long-chain esters แต่สารหล่อลื่นภายนอกเข้าไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับพอลิเมอร์จึงแพร่ออกมาที่ผิว ช่วยหล่อลื่นระหว่างเครื่องขึ้นรูปกับพอลิเมอร์ เช่น กรดสเตียริก และน้ำมันพาราฟิน เป็นต้น

3. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ จำเป็นมากสำหรับยางที่มีโครงสร้างไม่อิ่มตัว เช่น ยางธรรมชาติ (NR) ยางเอสบีอาร์ (SBR) ยางไออาร์ (IR) ยางบีอาร์ (BR) ฯลฯ ซึ่งว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) และโอโซน (O_3) ในบรรยากาศ ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) และโอโซเนชัน (Ozonation) ตามลำดับ เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของยาง แว็กซ์สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพได้โดยเกิดการแพร่ (Migration) ออกมาที่ผิวด้านนอก เกิดเป็นชั้นฟิล์มบางๆ ของแว็กซ์เคลือบผลิตภัณฑ์ยาง เป็นกำแพงป้องกันการเข้าทำปฏิกิริยาของออกซิเจนและโอโซนในอากาศ

4. สารช่วยกระจายตัว สามารถช่วยให้สารตัวเติมและผงสีกระจายตัวเข้ากับเนื้อพอลิ-เมอร์ดีขึ้น และช่วยให้ผงสีกระจายตัวในหมึกพิมพ์ได้ดีขึ้น โดยป้องกันไม่ให้อนุภาคของผงสีจับกันเป็นก้อน และช่วยปรับความหนืดให้เหมาะสม ทำให้ผงสีในหมึกพิมพ์ถ่ายโอนลงบนกระดาษดีขึ้น จึงสามารถพิมพ์ได้ดี **[14]**

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของแว็กซ์

1. น้ำหนักโมเลกุล ส่งผลต่อความแข็งแรงและจุดหลอมเหลวของแว็กซ์ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น สายโซ่โมเลกุลยาวเกิดการเกี่ยวพันกันมาก ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จุดหลอมเหลวสูงขึ้น

2. โครงสร้างกิ่งและความเกะกะ ส่งผลต่อความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวของแว็กซ์ เมื่อโครงสร้างมีกิ่งทำให้สายโซ่โมเลกุลแพ็คกันได้ไม่แน่น เนื่องจากความเกะกะของกิ่งทำให้ความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวลดลง

3. หมู่ฟังก์ชันและความมีขั้ว ส่งผลต่อความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ เมื่อความมีขั้วของแว็กซ์เพิ่มมากขึ้นสามารถเข้ากับพอลิเมอร์ที่มีขั้วได้ดีขึ้น โดยสามารถเกิดแรงระหว่างขั้วได้

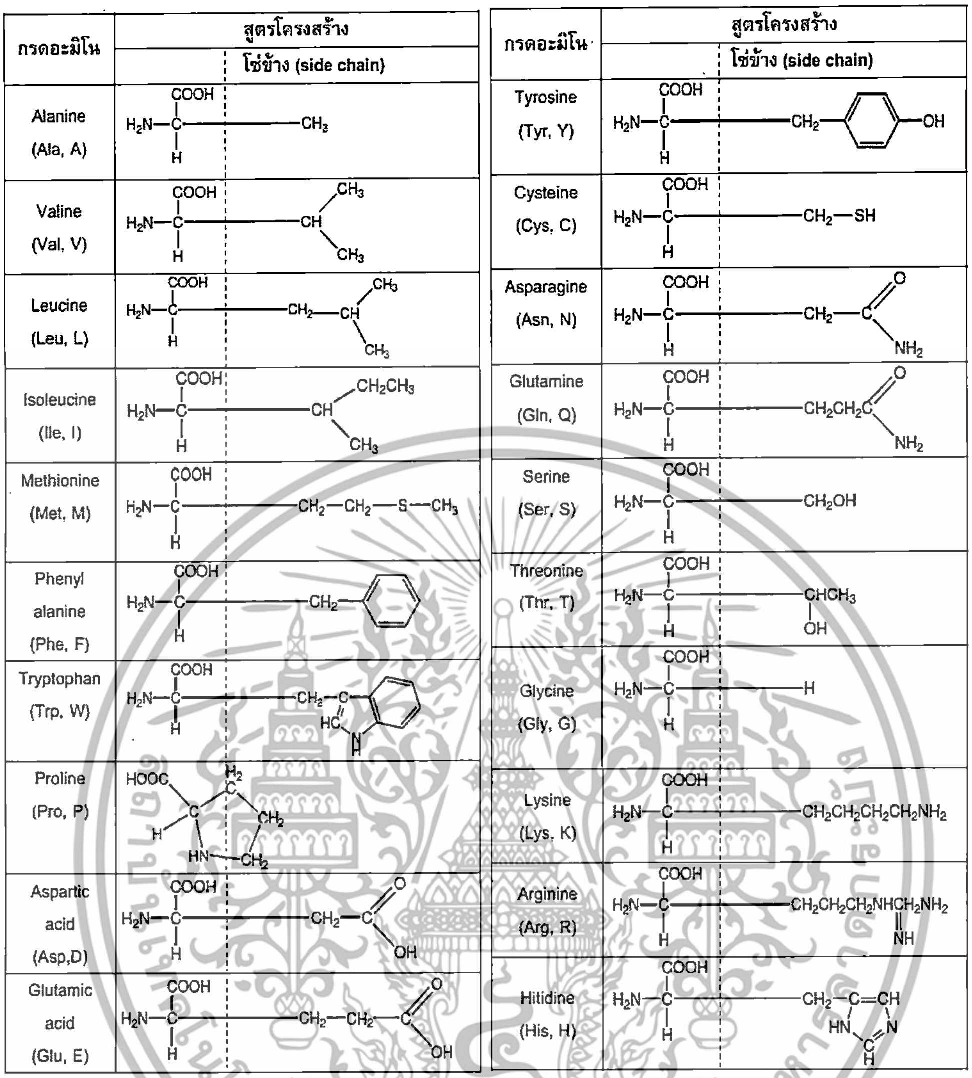
2.4 หนังสัตว์

2.4.1 องค์ประกอบและโครงสร้างของหนังสัตว์

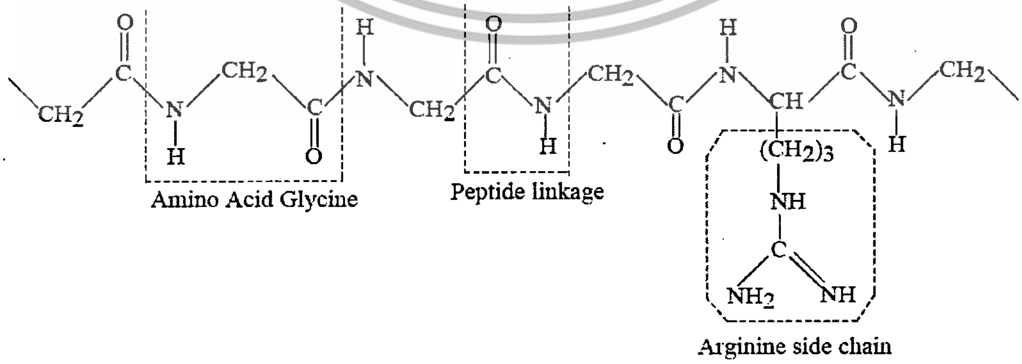
หนังสัตว์มีองค์ประกอบหลัก คือโปรตีน เป็นพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอไมด์ (Polyamide) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด ดังรูปที่ 2.5 ยึดเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ (Peptide bond) ดังรูปที่ 2.6 เมื่อสายพอลิเปปไทด์ยาวหลายสายมารวมกันพันเป็นเกลียวหรือเรียงเป็นแผ่นซ้อนๆ กันโดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายพอลิเปปไทด์ จึงได้โปรตีนแบบเส้นใยหรือแบบแท่งเกิดขึ้น สำหรับโปรตีนที่พบมากในหนังสัตว์มีลักษณะเป็นเส้นและไม่ละลายน้ำ คือคอลลาเจน (Collagen) ซึ่งเกิดจากสายโซ่โปรตีนจำนวน 3 สายโซ่ อยู่ร่วมกันในลักษณะเป็นเกลียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

141286



รูปที่ 2.5 ชนิดและโครงสร้างของกรดอะมิโน [18]



รูปที่ 2.6 การยึดเกาะกันด้วยพันธะเปปไทด์ของโมเลกุลกรดอะมิโน [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ประเภทของหนังสัตว์

หนังสัตว์ที่นำมาผลิตเครื่องหนัง มาจากสัตว์หลายชนิด เช่น โค กระบือ แพะ แกะ งู จระเข้ ม้า และสุกร เป็นต้น โดยทั่วไปนิยมใช้หนังโคและกระบือ ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 90 ของหนังสัตว์ที่ใช้ผลิตทั้งหมด ทั้งนี้เพราะหาได้ง่าย และมีปริมาณมาก สามารถแบ่งลักษณะของหนังได้ ดังนี้

1. หนังสด (Green hides) หมายถึงหนังที่ชำแหละจากตัวสัตว์ด้วยวิธีธรรมดาหรือใช้เครื่องจักร และยังไม่ผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษา ซึ่งจะประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 65 และไขมันร้อยละ 30 ที่เหลือเป็นคาร์โบไฮเดรต และเกลือแร่ สามารถแยกหนังออกเป็นส่วนของชั้นต่างๆ ได้ 3 ชั้น ดังนี้

- หนังชั้นนอกเป็นหนังกำพร้าซึ่งจะมีขนติดอยู่ เรียกว่า เอพิเดอร์มิส (Eapidermis) ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญเป็นโปรตีนชนิดเคราติน (Keratin) โดยทั่วไปมีความหนาประมาณร้อยละ 0.5-2.0 ของความหนาของหนังสด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของหนังสัตว์นั้นๆ
- หนังชั้นกลางหรือหนังแท้ เรียกว่า เดอร์มา (Derma) หรือคอเรียม (Corium) มีความหนามากประมาณร้อยละ 95-98 ของความหนาของหนังสด เป็นชั้นที่มีเส้นใยโปรตีนสานกันอยู่อย่างหนาแน่น ซึ่งเป็นชั้นที่นำไปฟอกเพื่อทำเครื่องหนังต่างๆ
- หนังชั้นใน หมายถึงหนังชั้นล่างที่ติดกับเนื้อ (Hypodermis) หนังส่วนนี้ประกอบด้วยไขมันต่างๆ ซึ่งอยู่ระหว่างเนื้อกับหนังสด มีความหนาประมาณร้อยละ 1-5 ของความหนาของหนังสด เป็นชั้นที่ต้องกำจัดออก [19]

2. หนังดิบ (Raw hides) หมายถึงหนังสัตว์ที่ยังไม่ผ่านกรรมวิธีกระบวนการฟอก แต่จะผ่านกรรมวิธีการเก็บรักษา คือ

- หนังหมักเกลือ (Wet salted hide) หนังที่เก็บรักษาโดยใช้เกลือเป็นสารกันเสีย ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมที่สุด
- หนังแช่น้ำเกลือ (Bine cure) หนังสดที่เก็บรักษาโดยการแช่ในน้ำเกลือเข้มข้น
- หนังตากแห้ง (Dried hide) หนังสดที่เก็บรักษาโดยการตากให้แห้ง
- หนังอาบน้ำยา (Arsenicated hide) หนังสดที่เก็บรักษาโดยวิธีชุบในน้ำยากันแมลง แล้วนำไปตากให้แห้ง
- หนังหมักเกลือตากแห้ง (Dry salted hide) หนังหมักเกลือประเภทที่ใส่เกลือจนซึมเข้าไปในเนื้อของหนังดีแล้วนำไปผึ่งแดดให้แห้ง

3. หนังฟอก (Tanning leather) หมายถึงหนังดิบที่ได้ผ่านกระบวนการฟอกด้วยสารเคมีและกระบวนการย้อมสีแล้ว เพื่อให้มีสีสันสวยงามและเพิ่มความทนทาน ซึ่งทำให้เหมาะแก่การนำไปผลิตเป็นเครื่องหนังที่เหมาะกับการใช้งานต่างๆ การนำหนังดิบมาผลิตเป็นหนังฟอกทำให้สูญเสียน้ำหนักไปจำนวนหนึ่ง เพราะหนังแห้งหลังจากทำการฟอก แบ่งเป็น 3 ประเภท คือ

- หนังทรงหรือหนังชั้นนอก เป็นหนังที่นำมาใช้ในการผลิตรองเท้า กระเป๋าและเฟอร์นิเจอร์ เป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หนังท้องหรือหนังชั้นใน เป็นหนังที่นำมาใช้ในการผลิตถุงมือหนังและหนังซับในเป็นส่วนใหญ่

- หนังชั้นล่าง เป็นหนังที่นำไปผลิตเป็นของเล่นของสุนัข

4. หนังฟอกกึ่งสำเร็จรูป (Wet blue) หมายถึงการนำหนังดิบนำไปแช่ในน้ำเปลือกไม้หรือน้ำยาเคมี เพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติภายในของหนังสัตว์ไม่ให้เกิดการเน่าเปื่อย ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการฟอกหนังในขั้นแรก เป็นหนังฟอกที่ยังฟอกไม่เสร็จสมบูรณ์ และยังไม่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนังได้ หนังฟอกประเภทนี้จะผลิตเพื่อจำหน่ายให้แก่โรงงานฟอกหนังเพื่อนำไปทำการฟอกในขั้นตอนต่อไป ตามกรรมวิธีที่แต่ละโรงงานชำนาญ จึงได้เป็นหนังฟอกสำเร็จรูปออกจำหน่ายแก่โรงงานผลิตเครื่องหนัง เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เครื่องหนังต่อไป [3]

5. หนังอัด (Emboss leather) หมายถึงหนังที่ผ่านกระบวนการฟอกมาแล้ว นำมาอัดด้วยลูกกลิ้งความร้อน เนื่องจากพื้นผิวหนังมีรอยตำหนิหรือมีเศษหนังเป็นจำนวนมาก ซึ่งหนังที่ได้ขาดความเป็นธรรมชาติของลายหนังแต่ยังคงมีผิวสัมผัสของหนังที่มีความเป็นธรรมชาติเอาไว้ แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

- หนังอัดลาย หมายถึงหนังที่มีรอยแผลหรือตำหนิ จึงนำมาอัดลายเพื่ออำพรางรอยดังกล่าว

- หนังอัดแผ่น หมายถึงหนังที่ผลิตด้วยการนำเศษหนังมาอัดเป็นแผ่น

2.5 การฟอกหนังสัตว์

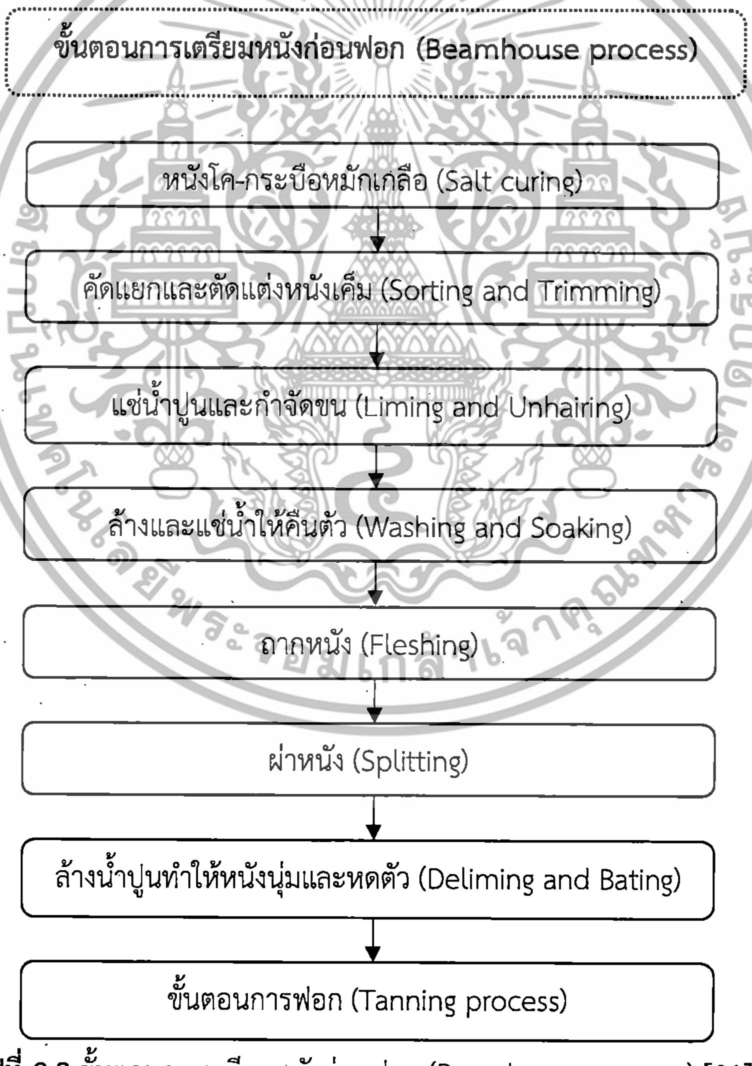
การฟอกหนัง คือกระบวนการเปลี่ยนหนังสัตว์ดิบหรือหนังสด เพื่อการเก็บรักษาหนังไว้ไม่ให้เน่าเปื่อยโดยทำให้เป็นหนังฟอกสำเร็จ ซึ่งหนังดิบหรือหนังสด ดังรูปที่ 2.7 มีสมบัติในการดูดซับกรดแทนนิน (Tannic acid) และสารประกอบทางเคมีอื่น สารเหล่านี้ช่วยป้องกันหนังไม่ให้เน่าเปื่อย ทนทานต่อน้ำและความเปียกชื้น รวมถึงรักษาให้หนังมีความยืดหยุ่น อ่อนนุ่ม ทนทานต่อสภาพอากาศและป้องกันการทำงานของแบคทีเรีย โดยการผลิตหนังฟอก แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือการจัดเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse process) การฟอก (Tanning process) และการตกแต่ง (Finishing process)

รูปที่ 2.7 หนังแกะ หนังวัว และหนังนกกระจอกเทศที่ยังไม่ผ่านการฟอก [3, 20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 การจัดเตรียมหนังก่อนฟอก

เริ่มจากการเตรียมหนังดิบให้พร้อมที่จะฟอก โดยเริ่มจากการล้าง (Washing) การคัด-แยกและตัดแต่งหนังเค็ม (Sorting and Trimming) หรือเป็นการกำจัดส่วนที่ไม่ต้องการ เช่น กีบเท้า ขน เศษหนัง จากขั้นตอนนี้จึงเกิดเศษหนัง ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถนำไปบดผลิตเป็นหนังพื้นรองเท้า จากนั้นนำหนังที่ได้มาล้างและแช่น้ำให้คืนตัว (Washing and Soaking) และทำการแช่น้ำปูน (Liming) กำจัดขนออกด้วยซัลไฟด์ ถากหนัง (Fleshing) ผ่าหนัง (Splitting) หนังเมื่อผ่าแยกชั้นแล้ว มี 2 ส่วน คือส่วนบน เรียกว่า หนังส่วนบน (Grain) ส่วนนี้นำไปผลิตเป็นหนังฟอก และส่วนล่างเรียกว่า หนังส่วนล่าง (Splits) ส่วนนี้นำไปผลิตเป็นสินค้าแทะเล่นของสัตว์เลี้ยง (Dog chew) และหนังฟอกคุณภาพรอง ต่อจากนั้นนำหนังมาล้างน้ำปูน (Deliming) และบ่มหนัง (Bating) เพื่อให้หนังนุ่มและ หดตัว **[21]** ซึ่งขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอกแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการเตรียมหนังก่อนฟอก (Beamhouse process) **[21]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การฟอกหนัง

การรักษาสภาพหนังดิบไม่ให้เน่าเปื่อยจะต้องใช้สารเคมีบางชนิด เช่น ฝาด โครเมียมหรือสารเคมีอื่นๆ ไปทำปฏิกิริยากับโปรตีน (คอลลาเจน) ในหนัง กรรมวิธีการฟอกหนังที่ใช้กันอยู่มี 2 วิธี คือ

1. การฟอกโครม (Chrome tanning) การฟอกประเภทนี้เป็นที่นิยมกว่า เนื่องจากเป็นที่ต้องการของตลาด ใช้เวลาสั้น สารเคมีราคาถูก หนังที่ฟอกแล้วทนต่อความร้อนและความชื้นได้ดีกว่า มักใช้กับหนังที่นำไปใช้ในงานเบาๆ (Light leather) เช่น รองเท้า หุ้มเบาะเก้าอี้ กระเป๋าถือสตรี เป็นต้น

การฟอกโครมเป็นการฟอกที่ทำในถังหมุน โดยใส่สารเคมีจำพวกโครม (Chrome) ลงไป สารนี้เป็นพวกเกลือของโครเมียม เช่น โครมิก (Chromic) เป็นตัวฟอก ซึ่งทำให้หนังมีสภาพเป็นเส้นใย (Fiber) เมื่อนำไปตากแห้งแล้วจะแข็งมีสีเขียว ระยะเวลาในการฟอกประมาณ 8-10 ชั่วโมง โดยทั่วไปแล้วประมาณร้อยละ 70 ของโครเมียมที่เติมลงไปทำปฏิกิริยากับหนัง ที่เหลืออีกร้อยละ 30 จะถูกปล่อย-ทิ้งไปกับน้ำเสีย การตรึงโครมให้อยู่กับหนังสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการปรับค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ดังนั้นระหว่างการฟอกโครมจึงต้องมีการเติมแมกนีเซียมออกไซด์ ลงไปทีละน้อยอย่างช้าๆ เพื่อได้ค่า pH ตามที่กำหนดไว้ คือ 4.5 หนังที่ผ่านการฟอกโครมแล้วเรียกว่า หนังเขียว [20] ซึ่งขั้นตอนการฟอกโครมแสดงดังรูปที่ 2.9

2. การฟอกฝาด (Vegetable tanning) การฟอกหนังประเภทนี้หนังที่ได้มีสีและสัมผัสเป็นแบบธรรมชาติ มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถดัดให้เกิดเป็นรูปทรงได้ง่าย มักนำไปใช้ในงานผลิต-หนังทำพื้นรองเท้าและเข็มขัด

ในการฟอกฝาดหนังต้องผ่านการล้างน้ำปูนและถูกนำไปทำลายฤทธิ์ด่างเสียก่อน แล้วจึงนำไปแช่ในบ่อฟอกฝาดที่มีสารฟอกฝาด คือแทนนิน (Tannin) ซึ่งได้จากการสกัดจากต้นพืชต่างๆ เช่น เปลือกไม้ยูคาลิปตัส เปลือกต้นแวตเติล เปลือกต้นโอ๊ก กราบูร สีเสียด หมาก และไม้โกงกาง โดยแทนนินมีราคาสูงกว่าสารฟอกโครม ดังนั้นโรงงานฟอกหนังทั่วไปเมื่อใช้แล้วจะไม่ปล่อยทิ้งไป แต่จะค่อยๆ เติมสารฟอกฝาดลงไปเพื่อใช้ฟอกต่อไปไม่มีที่สิ้นสุด แทนนินมีสมบัติเปลี่ยนหนังดิบให้เป็นหนังสำเร็จรูปได้ดี ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นช้ากว่าการฟอกโครม ระยะเวลาการฟอกกินเวลา 1-2 สัปดาห์ ทำให้หนังมีน้ำหนักมากขึ้นอาจถึงร้อยละ 350 ของน้ำหนักเดิม แทนนินที่ถูกดูดเอาไว้นี้จะไปอุดรูขุมขนของหนังดิบทำให้หนังแข็งตัวบิดงอเสียรูปได้ยากจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในงานหนัก หลังจากการฟอกด้วยสารฟอกฝาด จะทำการล้างหนัง (Rinsing) โดยการใช้กรดออกซาลิกล้างฝาดออกจากหนัง เพื่อล้างฝาดส่วนเกิน ซึ่งมีผลต่อคุณภาพหนังอย่างมาก จากนั้นนำหนังที่ได้ไปรีดน้ำ เพื่อทำให้แห้งและมีการเจียรผิวด้วยเครื่องตัดแต่งและคัดเลือกเพื่อเก็บไว้รอจำหน่ายหรือแปรรูปตามความต้องการของตลาดต่อไปเช่นเดียวกับหนังฟอก-โครม ซึ่งขั้นตอนการฟอกฝาดแสดงดังรูปที่ 2.9

การฟอกฝาดใช้ฝาดอยู่ 2 ชนิด คือแคทีคอล (Catechols) และไพโรแกลลอล (Pyrogallol) โดยผู้ฟอกที่ชำนาญสามารถผสมฝาดทั้ง 2 ชนิด เข้าด้วยกันได้โดยคำนึงถึงสมบัติของหนังที่ต้องการ เช่น ความแข็ง ความสุกเนียน และความหนักเบาของหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

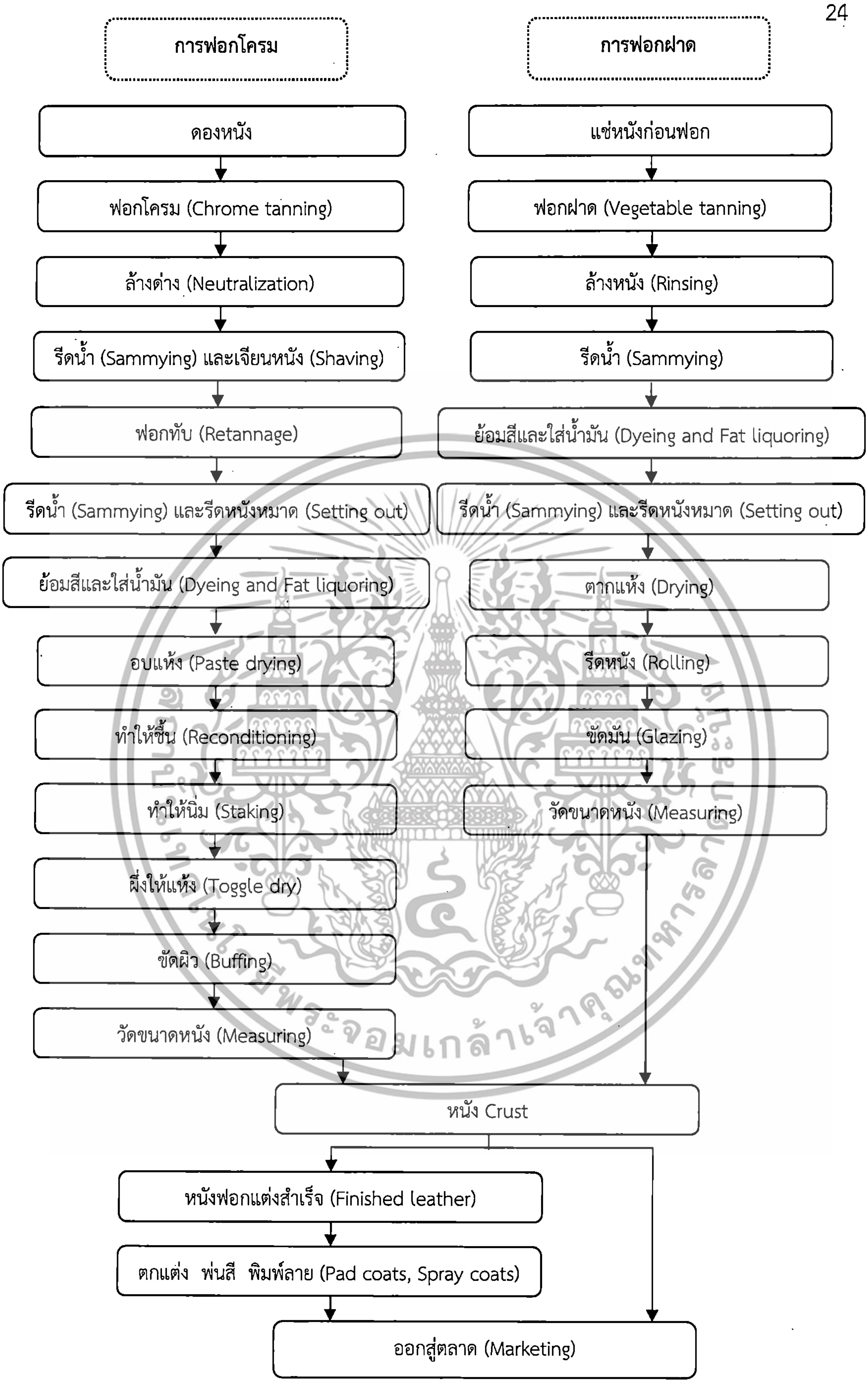
- ฝาดแบบแคทีคอลเป็นด่างเข้มข้นมีความเป็นด่างมากกว่า และฟอกหนังออกมาได้เร็วกว่าการใช้ฝาดแบบไพโรแกลลอล ฝาดแบบแคทีคอลมีการตกตะกอน (Deposit) โดยมีตะกอนนอน-ก้น (Sediment) เป็นสีออกแดง เรียกว่า โพรบาฟีน (Phlobaphenes) หรือ Reds ซึ่งสารตัวนี้ทำให้หนังที่ผ่านการฟอกมีลักษณะสีขาวอมชมพู สีแดงหรือสีน้ำตาลแก่ โดยที่สีออกน้ำตาลแก่ให้ความแข็งแรงกับหนังมากกว่าสีอื่น แคทีคอลให้จุดสีดำอมเขียวเมื่อสัมผัสถูกกับเหล็กหรือโลหะ

- ฝาดแบบไพโรแกลลอลเป็นด่างที่ละลายกับน้ำได้ ตกตะกอนเป็นสีออกเหลือง เรียกว่า บลูม ซึ่งถ้าใช้กับหนังจะทำให้หนังมีความแข็งมากขึ้น มีสมบัติกันน้ำ และเหมาะกับการสวมใส่ นิยมนำหนังฟอกฝาดประเภทนี้ไปทำเป็นพื้นรองเท้า (Ben sole leather) ปกและขอบสันหนังสือ (Book binder) เครื่องหนังตกแต่งบ้าน เช่น โซฟา เก้าอี้ และงานที่ต้องการความทนทาน หนังที่ได้มีลักษณะซีด มีสีออกครีมอมเหลืองไปจนกระทั่งสีน้ำตาลอ่อน ไพโรแกลลอลทำให้เกิดจุดสีดำอมน้ำเงินเมื่อสัมผัสถูกกับเหล็กหรือโลหะ ไพโรแกลลอลมีสมบัติต้านการเปลี่ยนแปลงของค่า pH โดยต้นเกาลัด ปุ่มสน และต้นโอ๊ก ให้ฝาดแบบไพโรแกลลอล [2]

2.5.3 การฟอกซ้ำ ย้อมสี ให้น้ำมัน และการตกแต่งหนัง

การฟอกซ้ำมักทำกับหนังที่ได้มาจากฟอกโครม โดยทำขึ้นเพื่อปรับปรุงคุณภาพหนังให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาด ในการนี้สารเคมีที่ใช้อาจเป็นโครเมียม แทนนินหรือซินแทน (ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์ขึ้น) การย้อมสีมีการทำตามที่ตลาดต้องการหรืออาจไม่ทำการย้อมสี ขั้นตอนของการย้อมสีแตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของสีที่ใช้ย้อมปกติใช้กรดฟอร์มิกปรับสภาพก่อนการย้อมด้วยสีและการตรึงให้สีติดหนังซึ่งต้องอาศัยอุณหภูมิสูง มักใช้ไอน้ำมาทำให้หนังย้อมร้อนขึ้น หนังที่จะนำไปใช้งานจำเป็นต้องมีความอ่อนนุ่มอยู่ตัว ดังนั้นจำเป็นต้องมีการทาน้ำมันให้แก่หนังที่ฟอกแล้ว การทำน้ำมันอาจทำพร้อมการฟอกซ้ำหรือการย้อมสีหรืออาศัยการทาต่างหากได้ หนังที่ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะนำไปผ่านการพ่นสี พิมพ์ลายและอื่นๆ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของตลาดต่อไป [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนการฟอกหนัง (Tanning process) และการตกแต่งหนัง (Finishing process) **[21]**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 แทนนิน (Tannin)

ประวัติของแทนนินอาจจะย้อนกลับไปถึงยุคก่อนประวัติศาสตร์ ซึ่งมีการค้นพบหลักฐานทางโบราณคดี มีการใช้แทนนินในการฟอกหนังสัตว์ขึ้นในยุคโบราณทางตอนเหนือของเยอรมันและคำว่า แทนนิน ถูกบัญญัติขึ้นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1976 โดย Sequil ทั้งนี้เพื่อใช้ในการอธิบายถึงสารประกอบเคมีชนิดหนึ่งที่พบอยู่ในน้ำยาสกัดจากต้นพืช สารประกอบเคมีดังกล่าวนี้มีสมบัติที่สามารถรวมตัวได้กับโปรตีนของหนังสัตว์ ทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดการเน่าเปื่อย ตลอดจนการเปลี่ยนสภาพของหนังดิบสดๆ ให้กลายสภาพเป็นหนังฟอกหรือหนังสำเร็จได้ แต่ยังไม่พบว่ามีหลักฐานยืนยันแน่ชัดของจุดเริ่มต้นของการฟอกหนัง แต่ได้มีการพัฒนาการผลิตหนังจนมีคุณภาพดีจนมาถึงปัจจุบัน ต่อมาคำว่าแทนนินได้ถูกนำไปใช้เรียกพอลิฟีนอล (Polyphenol) ซึ่งมีสมบัติในการตกตะกอนของโปรตีน [23]

สารแทนนิน เป็นสารประกอบจำพวกฟีนอล (Phenol) ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl) เป็นจำนวนมาก ขนาดของโมเลกุลมีขนาดใหญ่และเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง 500–3,000 g/mol นอกจากนี้ยังสามารถแสดงสมบัติของการเกิดปฏิกิริยาที่เป็นสมบัติเฉพาะเจาะจงของฟีนอลได้ เช่น สามารถตกตะกอนกับโปรตีนประเภทต่างๆ เช่น โมเลกุลของเจลาติน (Gelatin) อัลคาลอยด์ (Alkaloid) ไกลโคไซด์ และโปรตีนจากหนังสัตว์ รวมทั้งโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส และเพคติน เป็นต้น แทนนินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือกลุ่มไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (Hydrolyzable tannins) ซึ่งเป็นสารแทนนินที่สามารถแตกตัวได้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก พบมากในส่วนต่างๆ ของพืช ได้แก่ ใบ ฝัก เปลือก ผล และส่วนที่ปูดออกมาจากลำต้น ปกติเมื่อพืชได้รับอันตรายหรือทำให้เกิดรอยแผล (Gall) เป็นต้น และกลุ่มคอนเดนซ์แทนนิน (Condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซยานิน (Proanthrocyanin) พบในส่วนเปลือกต้นไม้ เนื้อไม้ และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากแทนนินมีสมบัติช่วยในการตกตะกอนโปรตีน ทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้สารแทนนินในอุตสาหกรรมการฟอกหนัง นอกจากนี้สารละลายแทนนิน ยังมีความสามารถในการตกตะกอนโลหะหนักบางชนิด เช่น เหล็ก ตะกั่ว และสังกะสีได้ การเกิดปฏิกิริยาพบว่าเมื่อไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (Hydrolyzable tannins) ทำปฏิกิริยากับเกลือของเฟอร์ริก (Ferric) เช่น เฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride) ให้ตะกอนสีน้ำเงิน-ดำ ส่วนคอนเดนซ์แทนนินตกตะกอนสีน้ำตาล-เขียว [23]

2.6.1 ไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน

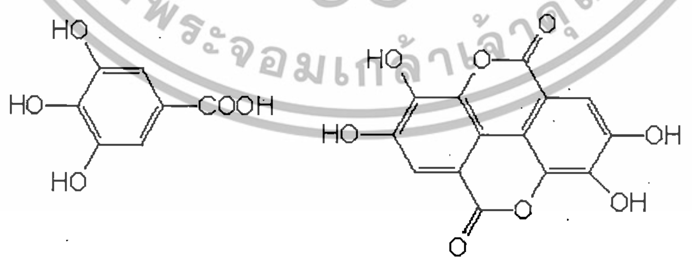
ไฮโดรไลเซเบิลแทนนินเป็นสารประกอบที่ประกอบไปด้วยส่วนโครงสร้าง 2 ส่วนใหญ่ๆ คือส่วนแรกเป็นส่วนของน้ำตาลโดยส่วนมาก พบว่าเป็นน้ำตาลกลูโคสหรืออาจเป็นสารประกอบโพลี-ออล (Polyols) อื่นๆ และส่วนที่สองเป็นกรดฟีนอลิก (Phenolic acid) เช่น กรดแกลลิก (Gallic acid) หรือกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกส์ (Hexahydroxydiphenic acid; HHDP) หรือสารอนุพันธ์ของกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกส์ มักอยู่ในรูปออกซิไดซ์ พบส่วนที่กรดฟีนอลิกมากกว่าส่วนของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำตาลหรือโพลีออล เชื่อมโยงกันด้วยพันธะเอสเทอร์ที่เรียกว่า Depside linkage ซึ่งพันธะเอสเทอร์นี้สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะที่มีน้ำและถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรดเบสหรือเอนไซม์แทนเนส (Tannase) ให้กรดฟีนอลิก และน้ำตาลหรือโพลีออล เมื่อนำไปกลั่นแบบแห้งสารประกอบกรดฟีนอ-ลิก จะเปลี่ยนเป็นไพโรแกลลอน ดังนั้นไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน จึงเรียกอีกอย่างว่าไพโรแกลลอนแทน-นินมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (Free hydroxy group) 3 หมู่ สารประกอบกลุ่มไฮโดรไลเซเบิลแทนนินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยดังนี้ [24]

1. แกลโลแทนนิน (Gallotannins) เป็นสารประกอบที่ประกอบด้วยกรดแกลลิกเชื่อมต่อกับน้ำตาลกลูโคส ด้วยพันธะเอสเทอร์ เมื่อไฮโดรไลซ์ด้วยกรด (Acid hydrolysis) เกิดการสลายตัวให้สาร 2 ชนิด คือกรดแกลลิกและน้ำตาลกลูโคส ตัวอย่างของแกลโลแทนนินได้แก่ กรดแทน-นิก (Tannic acid) และทาราแกลโลแทนนิน (Tara gallotannin) พืชที่เป็นแหล่งของแกลโลแทนนินได้แก่ Turkish galls, Hamamelis, Chinese galls, Bearberry leaves, Chesnut, Maple, โกศน้ำเต้า กานพลู และกลีบกุหลาบแดง เป็นต้น

2. เอลลาจิกแทนนิน (Ellagitannins) เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลิฟีนอลที่ประกอบไปด้วยกรดเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกส์หรือ Modified form เช่น กรดดีไฮโดรเฮกซะไฮดรอกซีไดฟีนิกส์ (Dehydrohexahydroxydiphenic acid) และกรดชิบูลิก (Chebulic acid) เป็นต้น โดยอยู่รวมกับน้ำตาลเอลลาจิกแทนนิน เมื่อเกิดการสลายตัวแบบไฮโดรไลซ์ด้วยกรด ส่วนของกรดเฮกซะไฮดรอกซี-ไดฟีนิกส์จะแยกตัวออกและเกิดปฏิกิริยา Lactonization ให้กรดเอลลาจิก (Ellagic acid) ตัวอย่างของเอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ พูนิคาลาจิน (Punicalagin) และกรดชิบูลาจิก (Chebulagic acid) พืชที่ใช้เป็นยาที่เป็นแหล่งของเอลลาจิกแทนนิน ได้แก่ เปลือกผลทับทิม ผลสมอไทย เปลือกต้นโอ๊ค และใบยูคาลิปตัส เป็นต้น

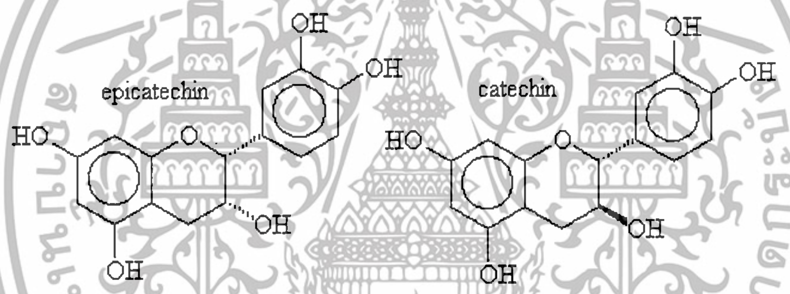


รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมี (A) Gallic acid และ (B) Ellagic acid [23]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 คอนเดนส์แทนนิน

คอนเดนส์แทนนินหรือที่เรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซยานิน เป็นกลุ่มของสารประกอบพอลิฟีนอล ที่มีความซับซ้อน และสลายตัวด้วยน้ำยากกว่ากลุ่มไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน โครงสร้างพอลิฟีนอลในกลุ่มนี้เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) พืชที่เป็นแหล่งของคอนเดนส์แทนนิน ได้แก่ เปลือกอบเชย เปลือกซินโคนา เปลือกหลิว เปลือกโอ๊ค เปลือกโกโก้ เปลือกและใบของ Hamamelis ราก Krameria และใบโดยสารประกอบกลุ่มนี้เมื่อนำมาต้มกับกรดหรือทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ จะได้สารประกอบพอลิเมอร์ในรูปอสัณฐานสีแดง ไม่สามารถละลายน้ำ เรียกว่า Phobaphenes หรือ Tannin red จึงเรียกสารกลุ่มนี้ว่า Phobatannins เมื่อนำสารประกอบกลุ่มนี้มาทำการกลั่นแบบแห้ง จะได้สารประกอบที่เป็น Catechol tannins สารประกอบกลุ่มนี้ จึงถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Catechol tannins สารในกลุ่มคอนเดนส์แทนนินประกอบไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ อยู่ 2 หมู่ [24]



รูปที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของคอนเดนซ์แทนนิน [23]

2.6.3 ประโยชน์ของแทนนิน

1. <u>ใช้ในการฟอกหนัง</u> โดยสารแทนนินทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้หนังที่ผ่านการฟอกแล้วมีสี และไม่เกิดการเน่าเสียหลังการฟอก นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องดื่มบางชนิด เช่น การทำให้เบียร์ใสมีรสขมและฝาด รวมทั้งกลิ่นในเครื่องดื่มบางประเภท เช่น เบียร์ ไวน์ ชา และกาแฟ เป็นต้น

2. <u>ใช้ในการย้อม</u> โดยใช้ย้อมแห อวน เชือก และเรือใบ ทำให้มีความทนทานต่อการใช้ในงานที่ต้องสัมผัสกับน้ำเค็ม ซึ่งอาศัยสมบัติการตกตะกอนกับโมเลกุลขนาดใหญ่ของแทนนิน

3. <u>ใช้ในกระบวนการผลิตกาวและสีย้อม</u> โดยมีผลให้สีที่ใช้ในการย้อมติดแน่นทนทาน นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการผลิตไม้อัดทดแทนการใช้สารฟีนอลสังเคราะห์ที่ผลิตจากปิโตรเคมีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้รับประทานแก้อาการท้องเสียหรือท้องเดิน โดยสารแทนนินมีกลไกไปจับกับ Fungal protein, Bacteria protein, Viral protein หรือโมเลกุลขนาดใหญ่อื่นๆ ของเชื้อที่ก่อให้เกิดโรค ทำให้เชื้ออ่อนแอ และไม่สามารถทำอันตรายกับร่างกายได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอาหารสัตว์ที่มีสารแทนนินอยู่ในปริมาณที่เหมาะสมสามารถลดอัตราการเกิดพยาธิในสัตว์ได้เช่นกัน

5. ใช้เป็นยารักษาแผลภายนอก โดยสารแทนนินจะทำปฏิกิริยากับผิวหนังชั้นนอกและเนื้อเยื่อ โดยผลิตเมือกคลุมผิวที่สามารถป้องกันน้ำได้ และมีฤทธิ์ต่อเส้นเลือดบริเวณผิวหนังทำให้เส้นเลือดหดตัว (Vasoconstrictor) ลดการสูญเสียน้ำจากบาดแผล ทำให้เนื้อเยื่อที่เป็นแผลหรือแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ดีขึ้น บาดแผลจึงแห้งและหายได้เร็วขึ้น

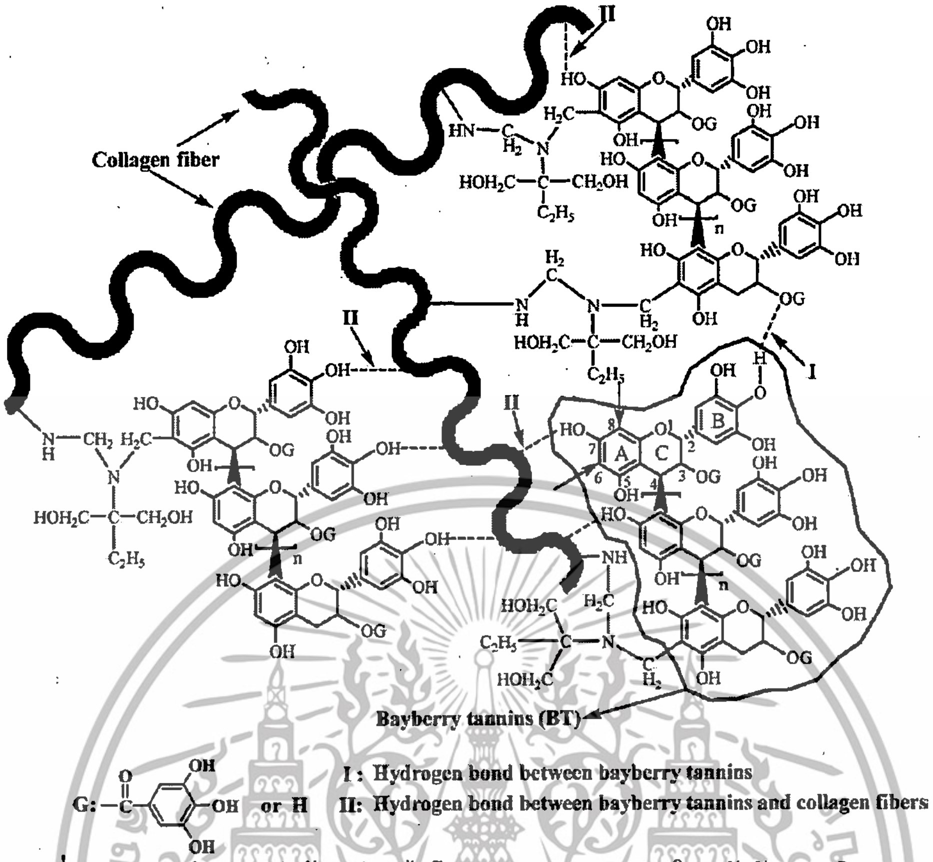
6. ช่วยลดการเกิดอนุมูลอิสระในร่างกาย โดยสารแทนนินบางชนิดมีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ และยับยั้งการเกิด Superoxide anion ซึ่งมีผลช่วยลดการเกิดมะเร็งต่างๆ ได้

นอกจากนี้ สารแทนนินยังมีสมบัติที่เป็นประโยชน์อีกมาก เช่น ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์บางชนิด เช่น Lipoxygenase และ Angiotensin converting enzymegx เป็นต้น อีกทั้งสารแทนนินบางประเภทมีโครงสร้างของสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ จึงมีสมบัติทำให้หลอดเลือดมีความยืดหยุ่นได้ดีไม่เกิดการเปราะหรือแตกได้ง่ายเมื่อได้รับการกระทบกระเทือน [24]

2.6.4 พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีน

พันธะระหว่างแทนนินและโปรตีนเป็นพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของฟี-นอลและพันธะเอไมด์ในโปรตีน [3] ดังแสดงในรูปที่ 2.12

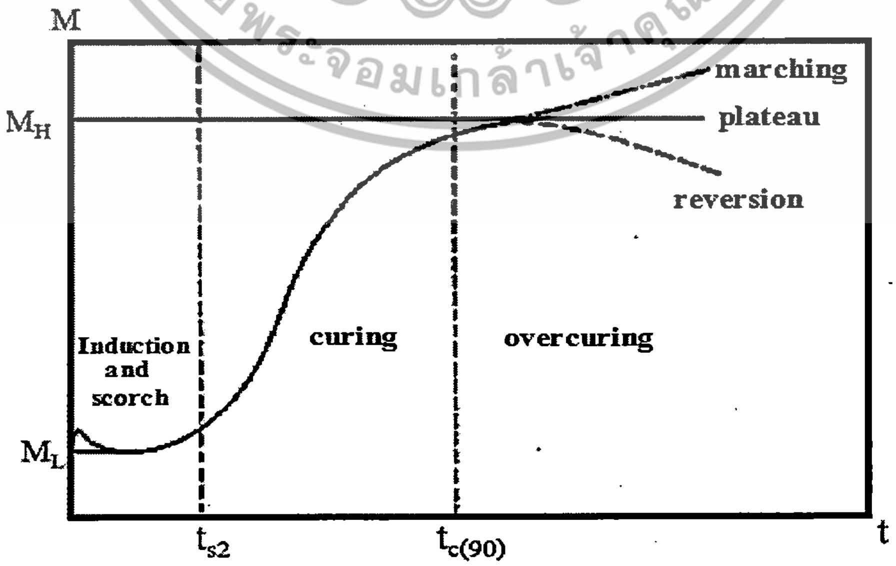
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 การยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนของคอลลาเจนในหนังกับแทนนิน [3]

2.7 การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยง

การศึกษาลักษณะการเชื่อมโยงของยางด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR แสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงบิดและเวลา ตัวอย่างของกราฟแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่าง Cure curve แสดงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure characteristics) [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟอธิบายบริเวณส่วนต่างๆ และความหมายของคำศัพท์ได้ดังนี้

Induction and scorch	ช่วงเวลาก่อนเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Curing	ช่วงเวลาที่สารเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Over curing	ช่วงเวลาหลังการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของยาง
Reversion	ยางเกิดการเสียสภาพทางความร้อนทำให้ค่าแรงบิดลดลง
Plateau	ยางไม่เกิดการเสียสภาพทางความร้อน
Marching	ยางเกิดการเชื่อมโยงมากกว่าปกติ ทำให้ยางแข็งขึ้น ค่าแรงบิดจึงเพิ่มขึ้น

จากกราฟแสดงลักษณะการคงรูปของยางสามารถอธิบายค่าต่างๆ ได้ ดังนี้

M_L (Minimum torque)	ความแข็งของยางที่ยังไม่คงรูป ค่าแรงบิดต่ำสุด
M_H (Maximum torque)	ความแข็งของยางหลังจากคงรูปแล้ว ค่าแรงบิดสูงสุด
t_{s2} (Scorch time)	เวลาเริ่มเชื่อมโยงเป็นเวลาที่ค่าแรงบิดเพิ่มสูงขึ้น 2 นิว-ตันเมตร (N.m) เป็นเวลาที่กำมะถันเริ่มทำปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Curing) กำหนดเป็นช่วงเวลาที่สามารถขึ้นรูปยางผสมสูตรเป็นรูปร่างผลิตภัณฑ์ยางตามที่ต้องการ โดยยางยังไม่เกิดการเชื่อมโยง
$t_{c(90)}$ (Cure time)	เวลาเชื่อมโยงเป็นเวลาที่ยางคงรูปเกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุดกำหนดเป็นเวลาที่ยางเชื่อมโยง 90% หรือค่าแรงบิดเพิ่ม 90% จากค่าบิดต่ำสุด (M_{t90}) สามารถหาค่าได้จาก $M_{t90} = 0.9 (M_H - M_L) + M_L$
CRI (Cure rate index)	ดัชนีอัตราเร็วในการคงรูป หาได้จาก CRI = $100/(t_{90}-t_{s2})$

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ฐิติภา สิริวณิชพงศ์ และคณะ **[3]** ศึกษาการใช้ผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ โดยได้ทำการศึกษาผลของการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง (20-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh) และปริมาณผงหนัง (0-120 phr) พบว่าการเติม PEG และ Si-69 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงยางให้สูงขึ้นและส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น การเติมผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh เกิดการเชื่อมโยงยางเร็วกว่าเล็กน้อยและยางผสมสูตรมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการเติมผงหนังขนาด 20-35 mesh ในการศึกษาปริมาณผงหนังระหว่าง 0-120 phr พบว่าปริมาณผงหนังที่มากขึ้นมีผลทำให้การเชื่อมโยงยางช้าลง แต่สมบัติเชิงกลดีขึ้น โดยที่ 90 phr ยางผสมสูตรมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณถึง 120 phr พบว่าความแข็งแรงลดลง และเมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าที่ 90 phr ผงหนังสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดเกาะกับยางได้ดี และสามารถกระจายตัวได้ดีในเนื้อยาง แต่เมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังเป็น 120 phr พบกลุ่มก้อนขนาดใหญ่และช่องว่างในเนื้อยาง

ณัฐนันท์ โพชนา และคณะ **[25]** ศึกษาการใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยได้ทำการศึกษาผลของการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล (PEG) และสารคู่ควบไซเลน (Si-69) ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง (12-35 mesh และเล็กกว่า 35 mesh) และปริมาณผงหนัง (0-120 phr) ที่มีผลต่อสมบัติของยาง พบว่าการเติม PEG และ Si-69 ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงยางให้สูงขึ้น และส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น เมื่อศึกษาขนาดอนุภาคผงหนัง พบว่าการเติมผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh เกิดการเชื่อมโยงยางช้ากว่าเล็กน้อยและมีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับการเติมผงหนังขนาด 20-35 mesh เมื่อศึกษาปริมาณผงหนังระหว่าง 0-120 phr พบว่าปริมาณผงหนังที่มากขึ้นมีผลทำให้การเชื่อมโยงยางช้าลง แต่สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยที่ 90 phr ยางผสมสูตรมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด จากสัณฐานวิทยาผงหนังสามารถยึดเกาะและกระจายตัวในเนื้อยางได้ดี แต่เมื่อเพิ่มปริมาณถึง 120 phr พบว่าความแข็งแรงลดลง พบกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ของผงหนังและช่องว่างในเนื้อยาง ศึกษาการลามไฟพบว่าเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้นการลามไฟของวัสดุช้าลง

ถิรานันท์ ถือชาติ และคณะ **[26]** ศึกษาการปรับปรุงสภาพผิวของซีโอไลต์จากธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ โดยศึกษาการใช้ Bis-[3-(triethoxysilyl)-propyl]-tetrasulfide (Coupling 89) และ 3-Octanoylthio-1-propyltriethoxysilane (NXT) เป็นสารคู่ควบที่ปริมาณ 2, 4 และ 8% โดยน้ำหนักของซีโอไลต์ พบว่าเมื่อเติมสารคู่ควบไซเลนทั้งสองชนิดเพิ่มมากขึ้นทำให้ยางผสมสูตรมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และมีผลทำให้การเชื่อมโยงยางช้าลง ปริมาณของสารคู่ควบไซเลนมีผลต่อสมบัติเชิงกลของยาง โดยค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัสของยาง และความแข็งแรงกดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณสารควบคู่ไซเลนทั้งสองชนิด (Coupling 89 และ NXT) เพิ่มขึ้นถึง 4% แต่ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณเป็น 8% จากการศึกษาชนิดของสารคู่ควบ พบว่าการปรับปรุงสภาพผิวของซีโอไลต์ด้วย NXT มีค่าความแข็งแรงดึงที่ดีกว่า Coupling 89 ในขณะที่การปรับปรุงสภาพผิวด้วย NXT ทำให้มอดุลัสของยาง ความแข็งแรงกด และค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงกดอัดมีค่าน้อยกว่าการปรับปรุงสภาพผิวด้วย Coupling 89 สารคู่ควบไซเลนทั้งสองชนิดมีผลต่อสมบัติการทนความร้อนและน้ำมันของยางเพียงเล็กน้อย

Chronska K. และคณะ **[27]** ศึกษาการใช้ผงหนังฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยางคาร์บอกซิเลต บิวทาไดอีน-อะคริโลไนไทรล์ (XNBR) หรือยางบิวทาไดอีน-อะคริโลไนไทรล์ (NBR) โดยใช้ผงหนังขนาด 20 mesh ผสมซิงค์ออกไซด์ และใช้ลิมานอล พีอีวี (Limanol PEV) เป็นสารช่วยในการกระจาย พบว่าเมื่อใช้ผงหนังผสมซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวเติมในยางสามารถปรับปรุงสมบัติเชิงกลให้ดีขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น และเพิ่มความหนาแน่นในการเชื่อมโยงได้อย่างดีเยี่ยม นอกจากนี้ผงหนังยังช่วยลดเวลาในการเชื่อมโยงยางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอมรรัตน์ สุนทรพงศ์ [28] ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบพอลิเอทิลีนและเศษผงหนัง โดยทำการศึกษาสมบัติของวัสดุประกอบจากขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วและผงหนัง ที่อัตราส่วนขวดน้ำพลาสติกพอลิเอทิลีนที่ใช้แล้วเป็น 100 phr เศษผงหนัง 10, 30, 50, 70 และ 90 phr ศึกษาสมบัติของวัสดุประกอบเมื่อใช้ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่ง 5, 10 และ 15 phr และปรับปรุงผงหนังด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลนความเข้มข้น 5% (w/w) พบว่าเมื่อใส่ยางรีเคลมเป็นสารเติมแต่งมากขึ้น ความทนแรงกระแทกของวัสดุประกอบเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งกดลดลง ในการปรับปรุงผงหนังด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลนที่อัตราส่วนของผงหนังมากกว่า 50 phr ช่วยลดการดูดซึมน้ำของวัสดุประกอบอย่างมาก จากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุประกอบคือเศษผงหนังที่ปรับปรุงด้วยสารยึดเหนี่ยวไวนิลไซเลน 90 phr และยางรีเคลม 15 phr

ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอรอุษา ศิริคุตต์ [6] ศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบคล้ายหนัง จากพีวีซีและเศษหนังสัตว์ โดยทำการศึกษาผลของปริมาณผงหนัง (20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 และ 200 phr) ผลของปริมาณพลาสติไซเซอร์ไดไอโซโนนิลพทาเลต (Diisononyl phthalate; DINP) (0, 10, 20 และ 30 phr) ผลของการเติมสารคู่ควบอะมิโนไซเลนและไวนิลไซเลน และผลของปริมารสารคู่ควบอะมิโนไซเลน (0, 1, 3 และ 5 % โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง) พบว่าเมื่อปริมาณของผงหนังเพิ่มขึ้น หนังกึ่งสังเคราะห์มีค่าความแข็งกดและการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น แต่มีค่าความแข็งแรงดึงและค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดลดลง ผลของ DINP ทำให้ค่าการดูดซึมน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของ DINP เพิ่มขึ้น แต่ค่าความแข็งกดและค่าความแข็งแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณของ DINP เพิ่มขึ้น จากการทดลองปริมาณการเติมผงหนังและ DINP ที่เหมาะสม คือ 20-80 phr และ 10 phr ตามลำดับ สำหรับการปรับปรุงผงหนังด้วยสารคู่ควบ ผลที่ได้พบว่าอะมิโนไซเลนเป็นตัวช่วยประสานระหว่างผงหนังกับพีวีซีได้ดีกว่าไวนิลไซเลน และปริมาณที่เหมาะสมของอะมิโนไซเลน คือที่ 5% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง ซึ่งทำให้หนังกึ่งสังเคราะห์มีสมบัติดีขึ้น ซึ่งมีสมบัติความแข็งแรงใกล้เคียงกับหนังแท้

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้ผงหนังที่เหลือจากอุตสาหกรรมเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เป็นจำนวนมาก โดยหนังสัตว์ที่ผ่านกระบวนการฟอกฝาด พบว่าเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอไมด์ในโปรตีนกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของแทนนิน ซึ่งหมู่เอไมด์ของและหมู่ไฮดรอกซิลมีขั้วสูงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ง่าย ดังนั้นผงหนังฟอกฝาดจึงสามารถดูดซึมน้ำได้เป็นจำนวนมาก และทำให้ผงหนังฟอกฝาดกับยางธรรมชาติเข้ากันได้ไม่ดีนัก ผงหนังจึงกระจายตัวในยางได้ไม่ดี ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลของการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังฟอกฝาดด้วยแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax) และศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนังฟอกฝาด (เล็กกว่า 35, 51-100, 101-150 และ 151-200 mesh) ที่มีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติผสมสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

1. ยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR): ยางแท่งเอสทีอาร์ 5L (STR-5L) บริษัท ไทยฮั้วรับเบอร์ จำกัด

2. สารตัวเติม (Filler): เศษผงหนังฟอกฝาดตัดเจียร (Leather powder) ห้างหุ้นส่วนจำกัด กริชมณีโปรดักส์

3. สารเชื่อมโยง (Vulcanizing agent): กำมะถัน (Sulfur) เกรดการค้า บริษัท สหไพศาล อินดัสทรี จำกัด

4. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Activator): กรดสเตียริก (Stearic acid) เกรดการค้า บริษัท พีที ซิสาเดน รายา เคมิคัล จำกัด

5. สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง: ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) เกรดการค้า บริษัท จักรวาลเคมี จำกัด

6. สารหล่อลื่น (Lubricant): น้ำมันแนฟทานิก (Naphthenic oil) เกรดการค้า บริษัท คุคดง ออย แอนด์ เคมิคัล จำกัด

7. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradant): วิงสเตย์แอล (Wingstay L) เกรดการค้า บริษัท ออมโนว่า โซลูชั่นส์ จำกัด

8. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง (Accelerator): MBTS (Mercaptobenzothiazole disulfide) เกรดการค้า บริษัท มอนเฟล็กซ์ จำกัด

9. สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง: TMTD (Tetramethlythiuram disulfide) เกรดการค้า บริษัท อาร์คีมา จำกัด

10. แว็กซ์สังเคราะห์ (Synthetic wax): Oxidized polyethylene homopolymer Wax เกรด A-C® 629A บริษัท ฮันนี่เวลล์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด

11. แว็กซ์สังเคราะห์: Polyethylene homopolymer wax เกรด WD2040P® บริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด

12. พอลิเอทิลีนไกลคอล 4000 (Polyethylene glycol; PEG 4000) เกรดการค้า บริษัท คอลดิค จำกัด

13. ไซลีน (Xylene) เกรดการค้า บริษัท แลป ซิสเต็ม จำกัด

14. โทลูอีน (Toluene) เกรดการค้า บริษัท แลป ซิสเต็ม จำกัด

15. ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สมบัติบางประการของ PE Wax: WD2040P®

สมบัติ	ค่าที่ได้
ความหนืด (Viscosity) ที่ 140°C	400 ± 50 cPs
ความหนาแน่น (Density)	0.92 ± 0.01 g/cm³
Penetration Hardness	Max. 5 d.mm
ค่าอุณหภูมิอ่อนตัว (Softening point)	107 ± 3 °C
ลักษณะของผลิตภัณฑ์ (Product form)	ผงสีขาว

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

ตารางที่ 3.2 สมบัติบางประการของ OPE Wax: A-C® 629A

สมบัติ	ค่าที่ได้
ความแข็งที่ 25°C (77°F)	3-6 d.mm
สี (Color)	150 Klett Max
ค่าความเป็นกรด (Acid Number)	14-17 mg KOH/g
ขนาด (Size)	98% minus 12 mesh (1410 microns)
จุดหยด (Drop point), Mettler	101°C (214°F)
ความหนาแน่น	0.93 g/cc
ความหนืดที่ 140°C Brookfield	200 cps
ลักษณะของผลิตภัณฑ์	ผงสีขาว
ความหนาแน่นรวม (Bulk density)	485 kg/m³ (30 lb/ft³)

<u>หมายเหตุ</u> ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องผสมแบบชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-roll mill) รุ่น LRM150 บริษัท แล็บเทคเอ็นจิเนียร์ จำกัด

2. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) รุ่น FOR LP-2020 บริษัท แล็บเทค เอ็นจิเนียร์ จำกัด

3. แม่แบบ (Mold) ขนาด 152.4x152.4 ตารางมิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร

4. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM) รุ่น LR5K บริษัท ลอยด์อินสทรูเมนท์ จำกัด

5. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer hardness tester) ชนิด Shore A รุ่น TECLOCK GS-719N บริษัท เอทีเอส ฟาร์เอส พี เอ จำกัด

6. เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscometer) รุ่น SMV-201 บริษัท ชิมุดซุ จำกัด

7. เครื่องวัดการเชื่อมโยงเอ็มดีอาร์ (Moving Die Rheometer; MDR) รุ่น II F 150 บริษัท นิชิโกโชวจิ จำกัด

8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) รุ่น S-3400N บริษัท ฮิทาชิ ไฮเทคโนโลยี ยุโรป จีเอ็มบีเอช จำกัด

9. เครื่องวัดความต้านทานต่อการสึกกร่อน (DIN abrasion tester) รุ่น YC-2130 DIN-53516 บริษัท ซายน์ลูชั่น จำกัด

10. เครื่องร่อนแยกขนาด (Vibrating screen) บริษัท นัมเฮง จำกัด

11. ตู้อบความร้อน (Drying oven) บริษัท โปรโทรนิกส์ อินเตอร์เทรด จำกัด

12. เครื่องชั่งแบบละเอียด (Balance scales) บริษัท พรีซิสา จำกัด

13. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM) รุ่น MHD-2M บริษัท มิตูโตโย จำกัด

14. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate) บริษัท ฟิชเชอร์ไซแอนทิฟิค จำกัด

15. เครื่องปั๊มลม (Air compressor)

16. ปืนพ่นสี (Paint gun)

17. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผงหนัง

1. นำเศษผงหนังขนาดเล็กมาร่อนเพื่อแยกขนาด โดยร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh (เล็กกว่า 500 ไมครอน) 51-100 mesh (149-292 ไมครอน) 101-150 mesh (105-148 ไมครอน) และ 151-200 mesh (74-99 ไมครอน)

2. เมื่อได้ผงหนังขนาดที่ต้องการจึงนำไปอบในตู้อบ โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบให้น้ำหนักผงหนังคงที่ เพื่อกำจัดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

3. การปรับปรุงผงหนังโดยการเคลือบพื้นผิวผงหนัง

3.1. <u>การเคลือบพื้นผิวผงหนังด้วยแว็กซ์ (PE wax และ OPE wax)</u> ละลายแว็กซ์ในตัวทำละลายไซลีนความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นนำสารละลายไปฉีดพรมให้ทั่วพื้นผิวผงหนัง นำผงหนังไปทิ้งไว้ในตู้ดูดควันให้ไซลีนระเหยแล้วจึงนำไปอบในตู้อบ โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบจนไซลีนระเหยออกไปจนหมดก่อนนำไปใช้งาน

3.2. <u>การเคลือบพื้นผิวผงหนังด้วย PEG และแว็กซ์</u> ละลาย PEG ในตัวทำละลายไซลีนความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80°C จากนั้นนำสารละลาย PEG ไปฉีดพรมให้ทั่วพื้นผิวผงหนัง แล้วจึงละลายแว็กซ์ในตัวทำละลายไซลีนความเข้มข้นประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 80°C นำสารละลายแว็กซ์ไปฉีดพรมให้ทั่วพื้นผิวผงหนังเช่นเดียวกัน นำผงหนังไปทิ้งไว้ในตู้ดูดควันให้ไซลีนระเหยแล้วจึงนำไปอบในตู้อบ โดยใช้ความร้อนอุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรืออบจนไซลีนระเหยออกไปจนหมดก่อนนำไปใช้งาน

3.3.2 การเตรียมยางผสมสูตรและการขึ้นรูปยางผสมสูตร

1. ชั่งน้ำหนักยางธรรมชาติที่ตัดเป็นชิ้น รวมทั้งชั่งสารเคมีต่างๆ ตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.3 สามารถเพิ่มน้ำหนักยางผสมสูตร โดยคำนวณตามอัตราส่วนที่กำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 สูตรผสมยางในการทดลองศึกษาผลของผงหนังในยาง [3]

สาร	**สูตรที่ (phr*)**
ยางธรรมชาติ (NR)	100
ผงหนังฟอกฝาด***	30 และ 100
Polyethylene glycol (PEG)***	0 และ 3%**
แว๊กซ์สังเคราะห์***	1, 2 และ 3
สารหล่อลื่น – Naphthenic oil	7
สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง – Stearic acid	2
สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง – ZnO	5
สารเชื่อมโยง – Sulfur	1.5
สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง – MBTS	1
สารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง – TMTD	0.3
สารป้องกันการเสื่อมสภาพ – Wingstay L	1

<u>หมายเหตุ</u> * phr คือส่วนโดย 100 ส่วนของยาง (โดยน้ำหนัก)

** 3% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง

*** ปัจจัยที่จะศึกษา

- ตอนที่ 1 ศึกษาผลของการใช้ PEG และแว๊กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)
- ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr
- ตอนที่ 3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนัง
- ตอนที่ 4 ศึกษาผลของปริมาณผงหนังที่ 30 และ 100 phr
- ตอนที่ 5 ศึกษาผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

2. ใส่ยางธรรมชาติที่เตรียมไว้ลงในเครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง เพื่อให้แรงเฉือนระหว่างลูกกลิ้งทำการบดย่อย (Mastication) ทำการกรีดพับยาง (Cut-and-fold) จนกระทั่งยางนิ่ม ใช้เวลาประมาณ 3-5 นาที ให้ยางธรรมชาติพันลูกกลิ้งและมีความหนาพอประมาณ

3. ใส่สารตัวเติมและสารเติมแต่งต่างๆ ยกเว้นสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถัน ทำการกรีดพับยางเพื่อให้สารตัวเติมและสารเติมแต่งต่างๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในยาง โดยใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 10-15 นาที

4. เมื่อยางผสมเข้ากันดีแล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นกรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้แผ่นยางพับติดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำแผ่นยางที่ได้ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 50.8x20.8 ตารางมิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น เพื่อใช้วัดหาค่าความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscosity) โดยใช้เครื่องวัดความหนืดแบบมูนนี่ (Mooney viscometer machine) กำหนดอุณหภูมิการวัดที่ 100°C โดยหาค่าความหนืด ML 1+4(100°C) ของยางผสมสูตรก่อนการเชื่อมโยง

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

6. หลังจากตัดยางบางส่วนมาทำการทดสอบหาค่าความหนืดมูนนี่แล้ว นำยางที่เหลือมากรีดพับในเครื่องบดผสมต่อ นำสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง ได้แก่ MBTS, TMTD และสารเชื่อมโยงกำมะถันใส่ลงไปในยาง ทำการผสมจนสารที่เติมลงไปกระจายตัวสม่ำเสมอในยาง ขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 นาที

7. เมื่อยางผสมเข้ากันดีแล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งให้ห่างประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นกรีดแผ่นยางออกจากลูกกลิ้ง ระวังอย่าให้แผ่นยางพับติดกัน ได้ยางผสมสูตรออกมา

8. นำยางผสมสูตรที่ได้ตัดเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาด 50.8x50.8 ตารางมิลลิเมตร นำไปทดสอบลักษณะการเชื่อมโยงด้วยเครื่องวัดการเชื่อมโยง MDR Curelastomer เพื่อหาเวลาเชื่อมโยงยาง ($t_{c(90)}$) และเวลาเริ่มเชื่อมโยงยางหรือเวลาสกอร์ช (t_{s2}) ที่อุณหภูมิ 150°C

9. เมื่อหาเวลาเชื่อมโยงยางและเวลาเริ่มเชื่อมโยงยางได้แล้ว นำยางผสมสูตรตัดใส่แม่พิมพ์สี่เหลี่ยมขนาด 152.4x152.4 ตารางมิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร นำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression molding machine) ที่อุณหภูมิ 150°C กำหนดเวลาเท่ากับเวลาเชื่อมโยงยางที่ได้จากเส้นกราฟ โดยใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็น $t_{c(90)}$x1.2 เพื่อเป็นเวลาในการถ่ายเทความร้อนผ่านแม่พิมพ์ และภายในชิ้นงาน นำยางที่อัดขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วมาใช้ทดสอบสมบัติต่างๆ ต่อไป

10. ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการสึกหรอของพื้นผิววัสดุ โดยนำยางผสมสูตรตัดใส่แม่พิมพ์ แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา $t_{c(90)}$+3 นาที ซึ่งชิ้นงานทดสอบที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหนา 6.0±0.2 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0±0.2 มิลลิเมตร

11. ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด โดยนำยางผสมสูตรตัดใส่แม่พิมพ์ แล้วนำไปอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา $t_{c(90)}$+5 นาที ซึ่งชิ้นงานทดสอบที่ได้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหนา 12.0±0.2 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.0±0.2 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาผลของผงหนังที่มีผลต่อยางธรรมชาติ

หมายเหตุ X^A = เติมผงหนัง, PEG และ OPE wax แยกกันตอนผสมสูตรยาง

X^B = ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วยแว็กซ์

X^C = ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วยแว็กซ์ และเติมผง PEG ตอนผสมสูตรยาง

X^D = ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย PEG และ OPE wax

ตอนที่ 1 ศึกษาผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยเปลี่ยนปริมาณสารตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

สูตร	ขนาดผงหนัง (mesh)	ปริมาณ PEG (phr)	ปริมาณ PE wax (phr)	ปริมาณ OPE wax (phr)	ปริมาณผงหนัง (phr)	ปริมาณ NR (phr)
L-35[N]	>35	-	-	-	30^A	100
L-35[NP]	>35	0.9	-	-	30^A	100
L-35[NW1]	>35	-	1	-	30^B	100
L-35[NOW1]	>35	-	-	1	30^B	100
L-35[NPW1]	>35	0.9	1	-	30^C	100
L-35[NPOW1]	>35	0.9	-	1	30^C	100

ตอนที่ 2 ศึกษาผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยเปลี่ยนปริมาณ OPE wax ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr

สูตร	ขนาดผงหนัง (mesh)	ปริมาณ PEG (phr)	ปริมาณ PE wax (phr)	ปริมาณ OPE wax (phr)	ปริมาณผงหนัง (phr)	ปริมาณ NR (phr)
L-35[NPOW1]	>35	0.9	-	1	30^C	100
L-35[NPOW2]	>35	0.9	-	2	30^C	100
L-35[NPOW3]	>35	0.9	-	3	30^C	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนัง

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยเปลี่ยนขนาดอนุภาคผงหนังตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนัง

สูตร	ขนาดผงหนัง (mesh)	ปริมาณ PEG (phr)	ปริมาณ PE wax (phr)	ปริมาณ OPE wax (phr)	ปริมาณผงหนัง (phr)	ปริมาณ NR (phr)
L-35[NPOW3]	>35	0.9	-	3	30[C]	100
L-51-100[NPOW3]	51-100	0.9	-	3	30[C]	100
L-101-150[NPOW3]	101-150	0.9	-	3	30[C]	100
L-151-200[NPOW3]	151-200	0.9	-	3	30[C]	100

ตอนที่ 4 ศึกษาผลของปริมาณผงหนังที่ 30 และ 100 phr

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยเปลี่ยนปริมาณผงหนังตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สูตรผสมยางในการทดลองสำหรับศึกษาผลของปริมาณผงหนัง

สูตร	ขนาดผงหนัง (mesh)	ปริมาณ PEG (phr)	ปริมาณ PE-wax (phr)	ปริมาณ OPE-wax (phr)	ปริมาณผงหนัง (phr)	ปริมาณ NR (phr)
L-35[NPOW3]	>35	0.9	-	3	30[C]	100
L-35[NPOW3]100phr	>35	3	-	3	100[C]	100

ตอนที่ 5 ศึกษาผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยเปลี่ยนวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

ตารางที่ 3.8 สูตรผสมยางในการทดลองศึกษาผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

สูตร	ขนาดผงหนัง (mesh)	ปริมาณ PEG (phr)	ปริมาณ PE-wax (phr)	ปริมาณ OPE-wax (phr)	ปริมาณผงหนัง (phr)	ปริมาณ NR (phr)
L-35[NPOW3]	>35	0.9	-	3	30[C]	100
L-35[NPOW3]Con	>35	0.9	-	3	30[A]	100
L-35[NPOW3]AC	>35	0.9	-	3	30[D]	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 6 ศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3]

- ทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.2 โดยใส่ปริมาณสารต่างๆ ตามสูตร L-35[NPOW3] จากนั้นนำยางที่อัดขึ้นรูปมาตัดเป็นชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงและความแข็งแรงฉีกขาด แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน นำขึ้นจากน้ำซับให้แห้งแล้วจึงนำไปทดสอบแรงดึงและความแข็งแรงฉีกขาดต่อไป

3.3.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

1. <u>การทดสอบแรงดึง (Tensile tests)</u>

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D412 โดยเตรียมชิ้นงานตัวอย่างรูปดัมเบลล์ (Dumbbell shape) โดยชิ้นงานมีความหนา 2±0.15 มิลลิเมตร [29] ทดสอบตามสภาวะดังนี้

Test speed:	500 mm/min
Gauge length:	25 mm
Load cell:	5 kN

ค่าการทดสอบที่ได้จากการทดสอบแรงดึง ได้แก่

- ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

ความแข็งแรงดึง เท่ากับความเค้นสูงสุด (Maximum stress) ของวัสดุที่รับได้ เมื่อให้แรงดึง (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่) หาได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{ความแข็งแรงดึง} = F/A \qquad (3.1)$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (mm^2)

- เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) หาได้จากสมการที่ 3.2

$$\text{เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด} = [(l-l_0)/l_0] \times 100 \qquad (3.2)$$

เมื่อ l = ความยาวสุดท้าย ณ จุดขาดของชิ้นงาน (mm)

l_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานหรือความยาวเกจ (mm)

- มอดุลัสของยาง (Rubber modulus)

ทดสอบที่ 100 เปอร์เซ็นต์ (M100) คือค่าความเค้นดึง (Tensile stress) ที่ค่าความเครียด 100 เปอร์เซ็นต์ (หน่วยเป็นแรงต่อพื้นที่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength)

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine ตามมาตรฐาน ASTM D624 แบบ Die C ทดสอบโดยการตัดชิ้นงานเป็นรูปปีกนก (Right angle) ชิ้นงานมีความหนา 2±0.15 มิลลิเมตร และสภาวะการทดสอบเหมือนกับการทดสอบแรงดึงโดยความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) หาได้จากสมการที่ 3.3 **[30]**

$$\text{ความแข็งแรงฉีกขาด} = F/T \tag{3.3}$$

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดสูงสุด (N)

T = ความหนาของชิ้นงาน (mm)

3. การทดสอบความแข็งกด (Hardness)

วัดความแข็งกดของชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D2240 Durometer hardness ชนิด Shore A โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบต้องมีความหนาอย่างน้อย 1/4 นิ้ว ทำการทดสอบค่าความแข็งกดตัวอย่างละ 10 จุด โดยอ่านค่าหลังให้แรงกด 5 วินาที **[31]**

4. การทดสอบการสึกหรอของพื้นผิววัสดุ (Abrasion test)

การทดสอบการสึกหรอของพื้นผิววัสดุตามมาตรฐาน DIN 53516:1987-06 ด้วยเครื่องวัดปริมาณการสึกหรอของพื้นผิววัสดุ (DIN Abrasion tester) โดยชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกหนา 6.0±0.2 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 16.0±0.2 มิลลิเมตร โดยกดชิ้นงานให้สัมผัสกับพื้นผิวขัดที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ แล้วหาน้ำหนักที่สูญเสียไปของชิ้นทดสอบและคำนวณเป็นปริมาตรสูญเสีย **[32]**

หมายเหตุ ค่าการสึกหรอไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เนื่องจากเป็นการส่งตัวอย่างทดสอบ ค่าที่ได้จากการส่งทดสอบมีเพียงค่าเดียว

5. การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัด (Compression set test)

การทดสอบการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D395 (Method B) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบคือ Compression device โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นทรงกระบอกหนา 12.0±0.2 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 28.0±0.2 มิลลิเมตร การทดสอบทำโดยวัดความหนาของชิ้นงานก่อนทดสอบ แล้วนำตัวอย่างเข้าไปวางไว้ระหว่างเครื่องอัด โดยอัดให้ชิ้นงานยุบตัวลงจากเดิมตามที่กำหนด (25%) วัดความหนาของของแท่งเหล็กกั้น แล้วให้ชิ้นงานอยู่ในสภาพมีแรงอัดที่ 100°C เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วคลายแรงอัด ปล่อยให้ชิ้นงานคืนตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้ววัดความหนาของชิ้นงานนั้น หาค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด (Compression set) ได้จากสมการที่ 3.4 **[33]**

$$\text{Compression Set (\%)} = [(t_o - t_i)/(t_o - t_n)] \times 100 \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ t_o = ความหนาของชิ้นงานทดสอบเริ่มต้น (mm)

t_i = ความหนาของชิ้นงานทดสอบหลังการกดอัด (mm)

t_n = ความหนาของแท่งเหล็กกั้น (mm)

6. การทดสอบการบวมตัว (Swelling test)

ทดสอบการบวมตัวในตัวทำละลายตามมาตรฐาน ASTM D471 โดยชิ้นงานที่ใช้ทดสอบมีขนาด 10×10 ตารางมิลลิเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จำนวน 3 ชิ้นของแต่ละสูตร ทำการชั่งน้ำหนักก่อนแช่ จากนั้นนำไปแช่ในตัวทำละลายโทลูอีนปริมาตร 30 มิลลิลิตร ในภาชนะที่ปิดมิดชิด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างยางที่บวมมาซับด้วยกระดาษทิชชู แล้วชั่งน้ำหนักชิ้นตัวอย่างหลังแช่ คำนวณการบวมตัวดังสมการที่ 3.5 **[34]**

$$\text{Swelling (\%)} = [(W_s-W_o)/W_o] \times 100 \qquad (3.5)$$

เมื่อ W_o = น้ำหนักของชิ้นทดสอบก่อนการแช่ในโทลูอีน (g)

W_s = น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังแช่ในโทลูอีน (g)

7. การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water absorption test)

การทดสอบการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน ASTM D570 โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบมีขนาด 60×60 ตารางมิลลิเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร นำไปอบให้แห้งในเตาอบแล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการชั่งน้ำหนักวัสดุอบแห้ง (W_1) แล้วจึงนำไปแช่น้ำในภาชนะที่เตรียมไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำวัสดุขึ้นจากน้ำ วางบนผ้าซับน้ำแล้วจึงเช็ดวัสดุด้วยผ้าซับน้ำจนน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวออกจนหมด ทำการชั่งหาน้ำหนักวัสดุทันที เป็นน้ำหนักวัสดุในสภาพอิ่มตัวแห้ง (W_2) หาค่าเปอร์เซ็นต์การ ดูดซึมน้ำได้จากสมการที่ 3.6 **[35]**

$$\text{ร้อยละของการดูดซึมน้ำ} = [(W_2-W_1)/W_1] \times 100 \qquad (3.6)$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักวัสดุอบแห้งในอากาศ (g)

W_2 = น้ำหนักวัสดุในสภาพอิ่มตัวแห้ง (g)

3.3.5 การวิเคราะห์ผงหนังด้วยเทคนิค TGA

การวิเคราะห์ผงหนังด้วย TGA ทำโดยการใช้สารประมาณ 3-5 มิลลิกรัม นำไปให้ความร้อนด้วยอัตราการให้ความร้อน 10°C/min จากอุณหภูมิห้องจนถึงอุณหภูมิ 900°C ภายใต้บรรยากาศของ N_2 gas

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.6 การทดสอบสัณฐานวิทยา

1. ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเพื่อดูการกระจายของผงหนังในยางธรรมชาติ เตรียมตัวอย่างขนาด 1×5×0.2 cm^3 โดยการแช่ตัวอย่างในไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) เป็นเวลา 30 นาที แล้วหักตัวอย่างอย่างรวดเร็ว ทำการเคลือบทองที่ส่วนพื้นที่ภาคตัดขวาง แล้วนำไปส่องที่กำลังขยายต่างๆ

2. ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM)

ดูสัณฐานวิทยาของผงหนังด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยนำผงหนังไปโรยบนเทปใส แล้วทำการวัดความกว้างและความยาวของผงหนังแต่ละชิ้นด้วยเครื่อง OM จำนวน 50 ชิ้น จากนั้นนำมาหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ผงหนังชนิดฟอกฝาด (Vegetable tanned leather flour) เป็นสารตัวเติมชีวภาพ (Bio-filler) ในยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) โดยนำผงหนังมาทำการร่อนเพื่อแยกขนาด จากนั้นนำไปผสมกับยางธรรมชาติและสารเคมีด้วยเครื่องผสมสองลูกกลิ้ง ได้ยางผสมสูตร แล้วทำการอัดขึ้นรูป และเนื่องจากผงหนังเป็นสารที่มีขั้วจึงได้มีการใช้ PEG เพื่อไปลดความมีขั้วของผงหนังทำให้ผงหนังดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง และสารเชื่อมโยงกำมะถันลดลง นอกจากนี้ยังมีการใช้แว็กซ์ในการเคลือบพื้นผิวผงหนังเพื่อช่วยลดความมีขั้วของผงหนังอีกทางหนึ่ง เพื่อให้ผงหนังดูดน้ำลดลง เพื่อทำให้สมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรดีขึ้น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 6 หัวข้อดังนี้

1) ศึกษาผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)
2) ศึกษาผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr
3) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนัง
4) ศึกษาผลของปริมาณผงหนังที่ 30 และ 100 phr
5) ศึกษาผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง
6) ศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3]

ซึ่งได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยาง สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา สำหรับอักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 อักษรย่อของสูตรที่ใช้ในงานวิจัย

คำอธิบายอักษรย่อในสูตร	
L-35:	ผงหนังที่มีขนาดเล็กกว่า 35 mesh
L-51-100:	ผงหนังที่มีขนาด 51-100 mesh
L-101-150:	ผงหนังที่มีขนาด 101-150 mesh
L-151-200:	ผงหนังที่มีขนาด 151-200 mesh
N:	ยางแท่งเอสทีอาร์ 5L (STR-5L)
P:	Polyethylene glycol (PEG) 4000
W:	PE wax
OW:	OPE wax
1, 2 และ 3:	ปริมาณแว็กซ์ (phr)
Con:	Conventional (เติมผงหนัง, PEG และ OPE wax แยกกันตอนผสมสูตรยาง)
AC:	All coat (ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วยสารละลาย PEG และ OPE wax)
100 phr:	ปริมาณผงหนัง 100 phr

4.1 การวิเคราะห์ผงหนัง

จากการใช้ TGA วิเคราะห์ผงหนังและผงหนังที่พื้นผิวมีการเคลือบด้วยแว็กซ์ (PE wax และ OPE wax) กระบวนการเคลือบใช้ไซลีน (Xylene) เป็นตัวทำละลาย แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยไซลีน จากเทอร์โมแกรมของผงหนัง ในภาคผนวก ก ทั้ง 3 รูป พบว่าผงหนังมีน้ำหนักที่หายไป (% Weight loss) ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-100°C เนื่องจากความชื้นของผงหนัง (เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียประมาณ 3-5%) และที่อุณหภูมิประมาณ 140°C ไม่พบการลดลงของน้ำหนักสารที่เกิดจากการระเหยของไซลีน แสดงว่าผงหนังที่เคลือบพื้นผิวด้วยแว็กซ์เมื่อนำไปอบที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ไม่มีไซลีนตกค้างอยู่ในผงหนังแล้ว (ไซลีนมีจุดเดือดที่ประมาณ 140°C) แต่จากเทอร์โมแกรมพบว่าผงหนังที่ทำการเคลือบพื้นผิวด้วย PE wax และ OPE wax มีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 446.6°C และ 437.6°C ตามลำดับ ซึ่งมาจากการสลายตัวของ PE wax และ OPE wax เนื่องจาก PE สามารถเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิ 350-490°C **[36]** แสดงว่าบนพื้นผิวผงหนังมีแว็กซ์เคลือบอยู่จริง

4.2 ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)

หนังสัตว์ที่ผ่านกระบวนฟอกฝาดสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่เอไมด์ของหนังสัตว์กับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระของแทนนิน ซึ่งหมู่เอไมด์และหมู่ไฮดรอกซิลมีขั้วสูงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ง่าย การใช้แว็กซ์สังเคราะห์ในการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังทำให้ลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผงหนังสามารถกระจายตัว และเข้ากับยางได้ดีมากขึ้น และการใช้ PEG นั้นสามารถช่วยลดการดูดสารเติมแต่งที่มีขั้วของสารตัวเติม เช่น ซิงค์ออกไซด์และสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เป็นต้น

4.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่

กระบวนการผสมยางต้องมีการวัดความหนืดมูนนี่เป็นสมบัติที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพของยางในแต่ละครั้งของการผสมให้มีค่าใกล้เคียงกัน จากงานวิจัยได้ทำการทดสอบหาค่าความหนืดมูนนี่ที่สภาวะ ML (1+4) 100°C โดยสามารถแสดงค่าความหนืดมูนนี่ ดังตารางที่ 4.2 และศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางด้วยเครื่องเอ็มดีอาร์ (MDR) ที่อุณหภูมิ 150°C เพื่อหาเวลาเริ่มเชื่อมโยงของยาง (Scorch time; t_{s2}) เวลาเชื่อมโยงของยาง (Cure time; $t_{c(90)}$) และดัชนีอัตราเร็วการเชื่อมโยง (Cure rate index; CRI) แสดงดังรูปที่ 4.1

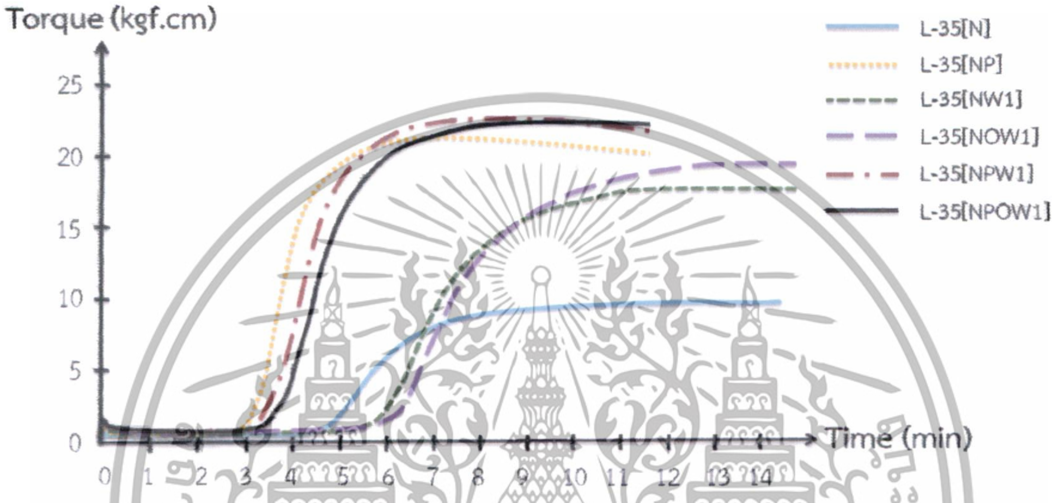
จากรูปที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 พบว่ายางผสมสูตร NR ผสมผงหนังทุกสูตรที่มีการเติม PEG (L-35[NP], L-35[NPW1] และ L-35[NPOW1]) มีเวลาเชื่อมโยงยาง (t_{s2} และ $t_{c(90)}$) ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้เติม PEG เนื่องจาก PEG เป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ไหลได้ง่าย เมื่อไปเคลือบพื้นผิวของผงหนังจึงช่วยลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงลดลง กลไกการป้องกันการดูดซับของ PEG แสดงดังรูปที่ 4.2 ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้น

สูตรที่มีการเติมแว็กซ์ (L-35[NW1] และ L-35[NOW1]) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตรที่ไม่ได้ทำการเติมแว็กซ์ (L-35[N]) การใช้แว็กซ์ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงยางเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงดีขึ้น ดังเห็นได้จากค่าแรงบิดสูงสุดสูงที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากแว็กซ์เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดใหญ่กว่า PEG แว็กซ์อาจไปเคลือบเชิงกายภาพที่พื้นผิวผงหนัง ทำให้ผงหนังดูดน้ำน้อยลง ดังรูปที่ 4.3 ซึ่งทำให้น้ำที่จะไปเกิดการแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) เข้าไปจับกับกำมะถันมีปริมาณลดลง ยางจึงเชื่อมโยงดีขึ้น [37] และเมื่อน้ำได้รับความร้อนในระหว่างกระบวนการขึ้นรูปจะเกิดการดูดความร้อน ทำให้ความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของกำมะถันลดลง ดังนั้นเมื่อผงหนังดูดน้ำลดลงความร้อนที่สูญเสียไปกับน้ำจะลดลง ทำให้ยางเชื่อมโยงได้ดีขึ้น นอกจากนี้การที่เกิดการเชื่อมโยงได้สมบูรณ์มากกว่านั้น อาจมาจากแว็กซ์เป็นไฮโดรคาร์บอนจะไปเคลือบพื้นผิวผงหนังที่มีโครงสร้างของแทนนิน ทำให้แทนนินไม่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา โดยผงหนังที่ผ่านการฟอกฝาดจะมีแทนนินอยู่ที่พื้นผิว ซึ่งแทนนินเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างเป็นวงอะโรมาติก มีขั้วสามารถจับอนุมูลอิสระได้ ดังนั้นในการเชื่อมโยงผ่านอนุมูลอิสระแทนนินอาจไปทำให้เกิดการหน่วงปฏิกิริยาการเชื่อมโยงหรือทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงได้ไม่สมบูรณ์

เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่มีการเติม PEG และแว็กซ์ (L-35[NPW1] และ L-35[NPOW1]) กับสูตรที่ไม่ได้เติมทั้ง PEG และแว็กซ์ (L-35[N]) พบว่าสูตรที่มีการเติม PEG และแว็กซ์เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงยางลดลง เนื่องจาก PEG และแว็กซ์สามารถไปเคลือบพื้นผิวผงหนังช่วยลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารเชื่อมโยงกำมะถัน และน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลง ทำให้ยางสามารถเกิดการเชื่อมโยงได้เร็วขึ้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบสูตรที่ใช้ PE wax (L-35[NPW1]) กับ OPE wax (L-35[NPOW1]) พบว่าสูตรที่ใช้ PE wax ใช้เวลาเชื่อมโยงน้อยกว่าสูตรที่ใช้ OPE wax เนื่องจาก OPE wax เป็นสารที่มีขั้วมากกว่า PE wax จึงสามารถดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถันไปบางส่วน ทำให้ปริมาณสารเชื่อมโยงที่มีในระบบลดลง การเชื่อมโยงจึงเกิดได้ช้าลง และจากตารางที่ 4.2 พบว่าการเติม PEG และแว็กซ์ (PE wax หรือ OPE wax) ไม่มีผลต่อค่าความหนืดมูนนี่อย่างมีนัยสำคัญ

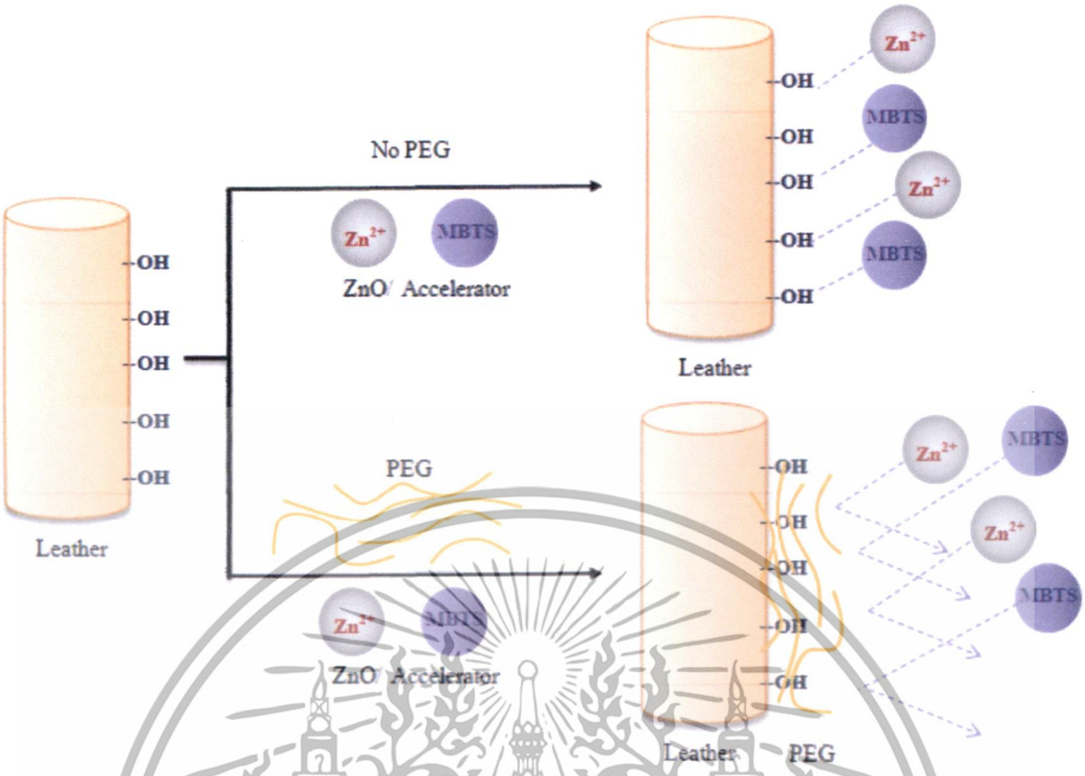


รูปที่ 4.1 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กสังเคราะห์

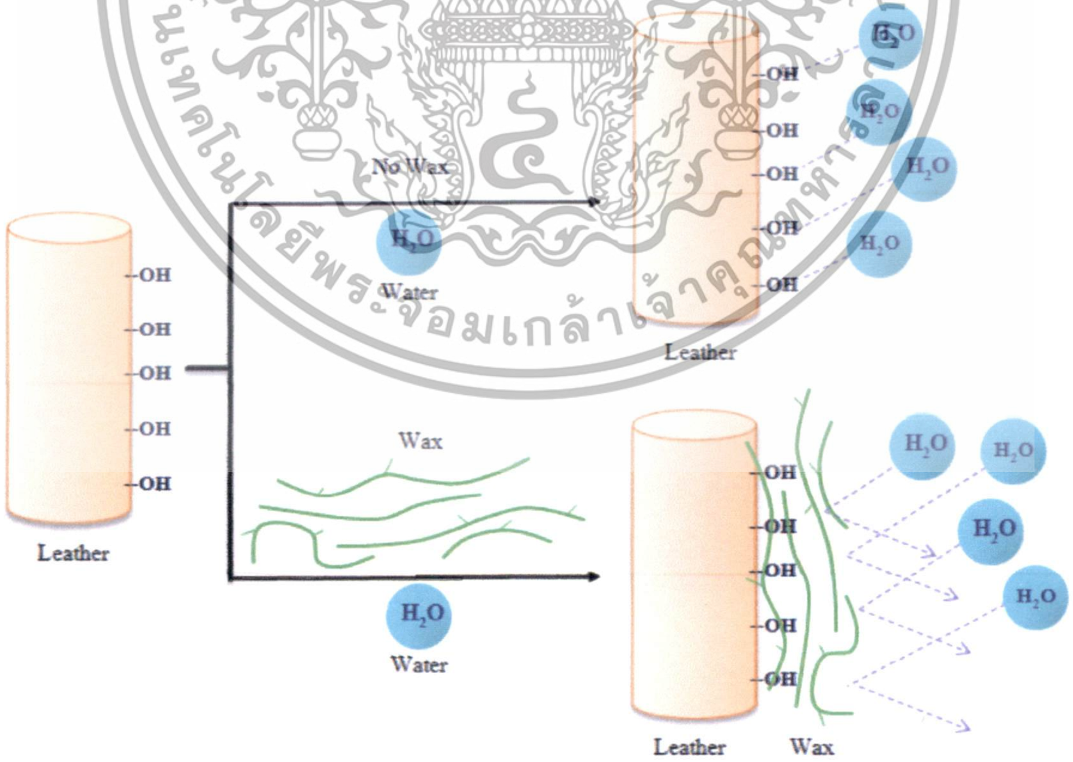
ตารางที่ 4.2 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	$t_{c(90)}$ (s)	CRI (s^{-1})
L-35[N]	29.8	0.5	9.4	318	495	0.56
L-35[NP]	30.5	0.5	21.5	198	300	0.98
L-35[NW1]	29.4	0.5	17.5	369	579	0.48
L-35[NOW1]	28.7	0.8	19.0	390	600	0.48
L-35[NPW1]	29.6	0.8	23.0	215	345	0.77
L-35[NPOW1]	28.6	0.8	22.8	234	378	0.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ภาพวาดกลไกการป้องกันการดูดซับสารกระตุ้นและสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของ PEG ที่คาดว่าจะเกิด



รูปที่ 4.3 ภาพวาดกลไกการป้องกันการดูดน้ำของแว็กซ์ที่คาดว่าจะเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.4-4.9 พบว่าสมบัติเชิงกลของยางที่มีการเติม PEG ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับยางสูตร L-35[N] โดยค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ค่าความแข็งแรงฉีกขาด (Tear strength) และค่าความแข็งกด (Hardness) เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าการสึกหรอ (Abrasion) ที่มีค่าลดลง เนื่องจาก PEG สามารถช่วยลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังลดการดูดซับสารเร่ง-ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถัน ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงได้สมบูรณ์ ความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น และสูตรที่ใช้แว็กซ์สังเคราะห์ (L-35[NW1] และ L-35[NOW1]) เมื่อเปรียบเทียบกับยางสูตร L-35[N] พบว่าทั้ง 3 สูตร มีค่าความแข็งแรงฉีกขาดใกล้เคียงกัน แต่สูตรที่ใช้แว็กซ์มีค่าความแข็งแรงดึง ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% และค่าความแข็งกดมากกว่า ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดและค่าการสึกหรอของยางมีค่าน้อยกว่า เนื่องจากแว็กซ์สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังช่วยลดความมีขั้วของผงหนังทำให้การดูดน้ำลดลง และลดความว่องไวของแทนนินลง ยางจึงเกิดการเชื่อมโยงได้สมบูรณ์มากขึ้น สมบัติเชิงกลจึงดีขึ้น

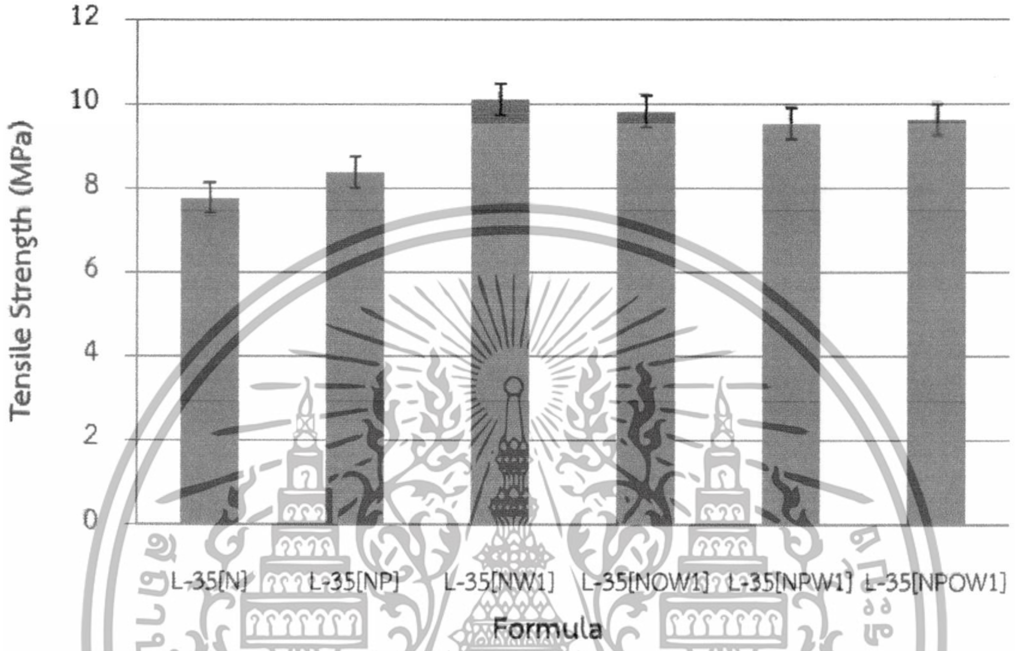
เมื่อทำการเปรียบเทียบสูตรที่มีการเติม PEG และแว็กซ์ (L-35[NPW1] และ L-35[NPOW1]) กับสูตรที่ไม่ได้เติมทั้ง PEG และแว็กซ์ (L-35[N]) พบว่าสูตรที่มีการเติม PEG และแว็กซ์นั้นมีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% และค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดและค่าการสึกหรอที่มีค่าลดลง เนื่องจาก PEG และแว็กซ์สามารถไปเคลือบพื้นผิวผงหนังช่วยลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารเชื่อมโยงกำมะถัน และน้ำลดลง นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสูตรที่มีการใช้ PE wax กับสูตรที่ใช้ OPE wax พบว่าการใช้แว็กซ์ทั้งสองชนิดให้ค่าสมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรที่ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากแว็กซ์ทั้ง 2 ชนิดนั้นสามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังช่วยลดความมีขั้วของผงหนังได้เช่นเดียวกัน และสามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระบวนการผลิต ทำให้ผงหนังกระจายตัวในยางได้ดีไม่แตกต่างกัน สังเกตได้จากสัณฐานวิทยาของยางผสมสูตรในรูปที่ 4.13 และจากการที่ OPE wax มีค่าความเป็นกรดอยู่ที่ 14-17 mg KOH/g ซึ่งแสดงว่า OPE wax มีขั้วมากกว่า PE wax เพียงเล็กน้อย สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรจึงไม่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.10 พบว่าการเติม PEG และ/หรือแว็กซ์สังเคราะห์ช่วยให้ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด (Compression set) มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสูตร L-35[N] เนื่องจาก PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงยางได้ดีขึ้น ช่วยให้ความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติทำให้เมื่อปล่อยแรงกดอัดชิ้นงานทดสอบจึงสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้ดีกว่า ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางสูตร L-35[NP], L-35[NOW1] และ L-35[NPOW1] ที่มีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับยางสูตร L-35[N] แสดงว่า PEG และแว็กซ์สามารถทำให้ยางมีความหนาแน่นการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น

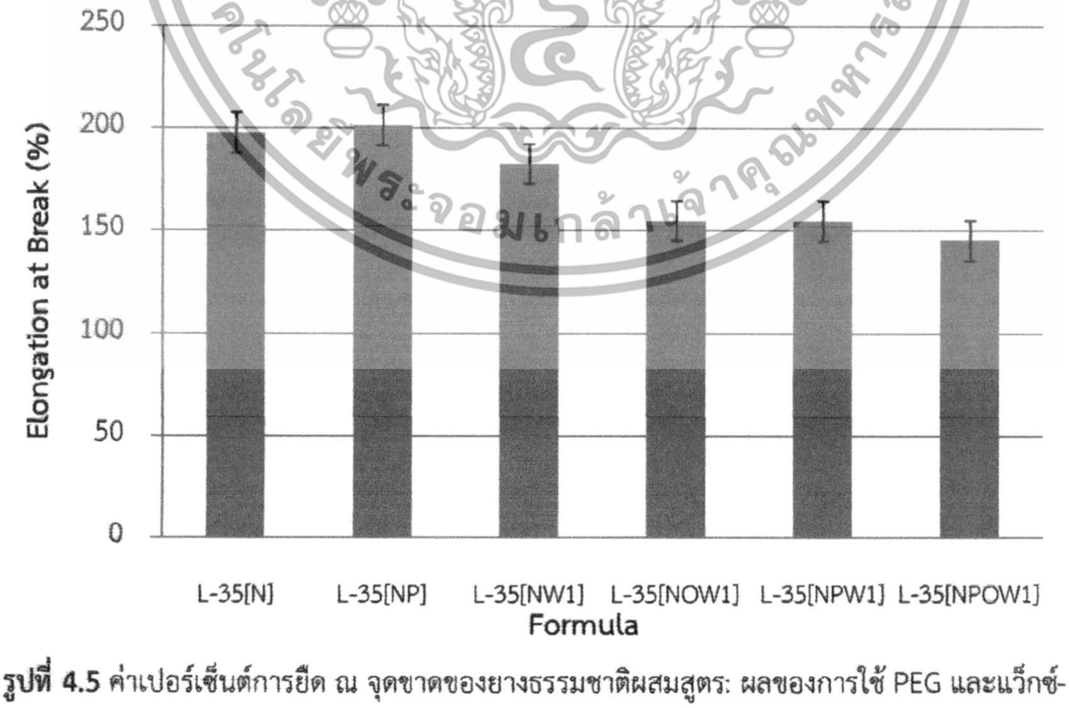
จากรูปที่ 4.12 พบว่าการเติม PEG และ/หรือแว็กซ์สังเคราะห์ช่วยให้ค่าการดูดซึมน้ำของยางผสมสูตรลดลง เนื่องจาก PEG และแว็กซ์สังเคราะห์สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังทำให้ความมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้วของผงหนังลดลง ยางผสมสูตรจึงดูดน้ำได้น้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบสูตร L-35[NPW1] กับ L-35[NPOW1] พบว่า PE wax และ OPE wax มีค่าการดูดซึมน้ำไม่ต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก OPE wax มีขั้วมากกว่า PE wax เพียงเล็กน้อย ซึ่งแว็กซ์ทั้ง 2 ชนิด สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังลดความมีขั้วและลดการดูดน้ำได้เช่นเดียวกัน

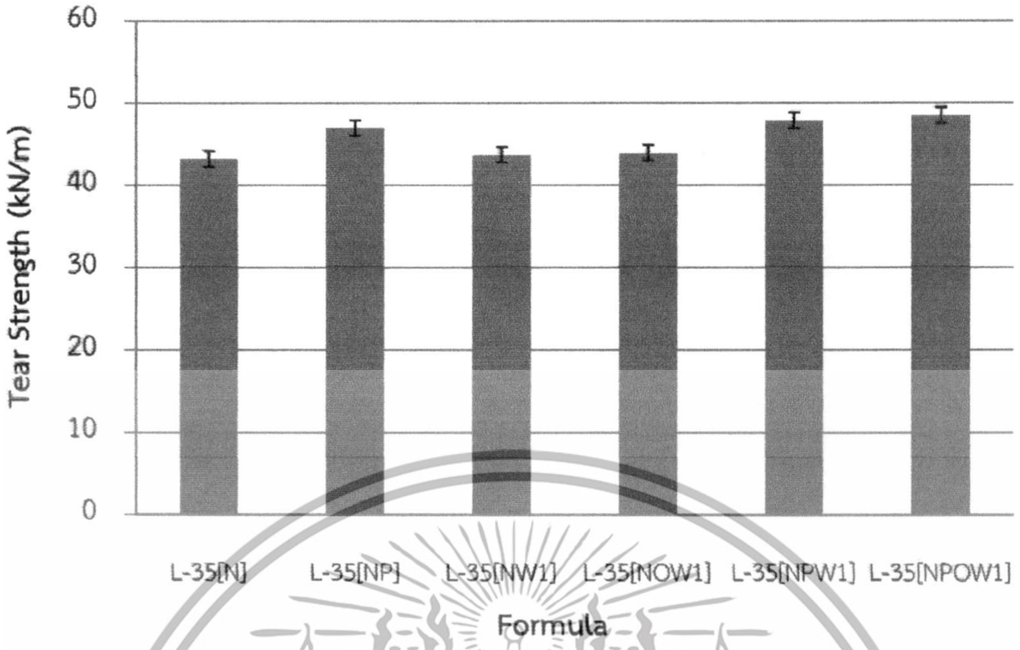


รูปที่ 4.4 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

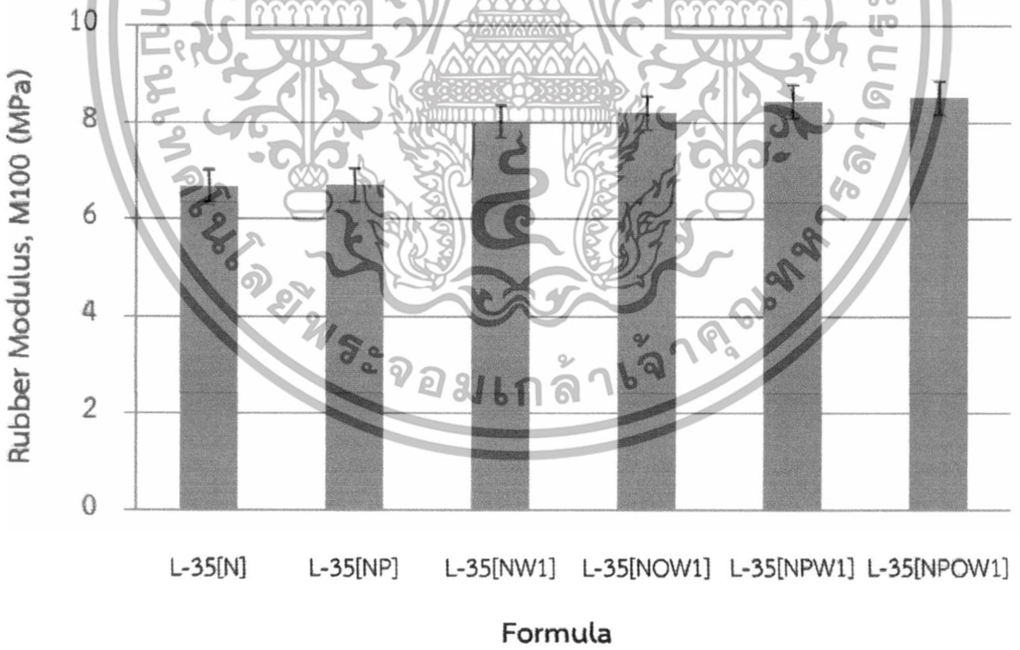


รูปที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์-สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

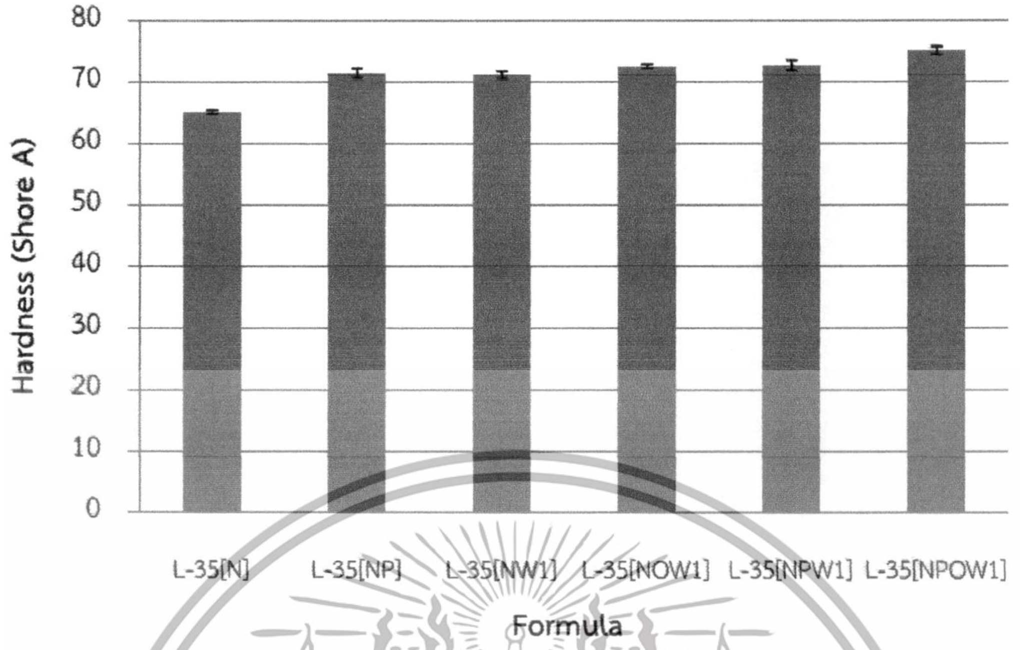


รูปที่ 4.6 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

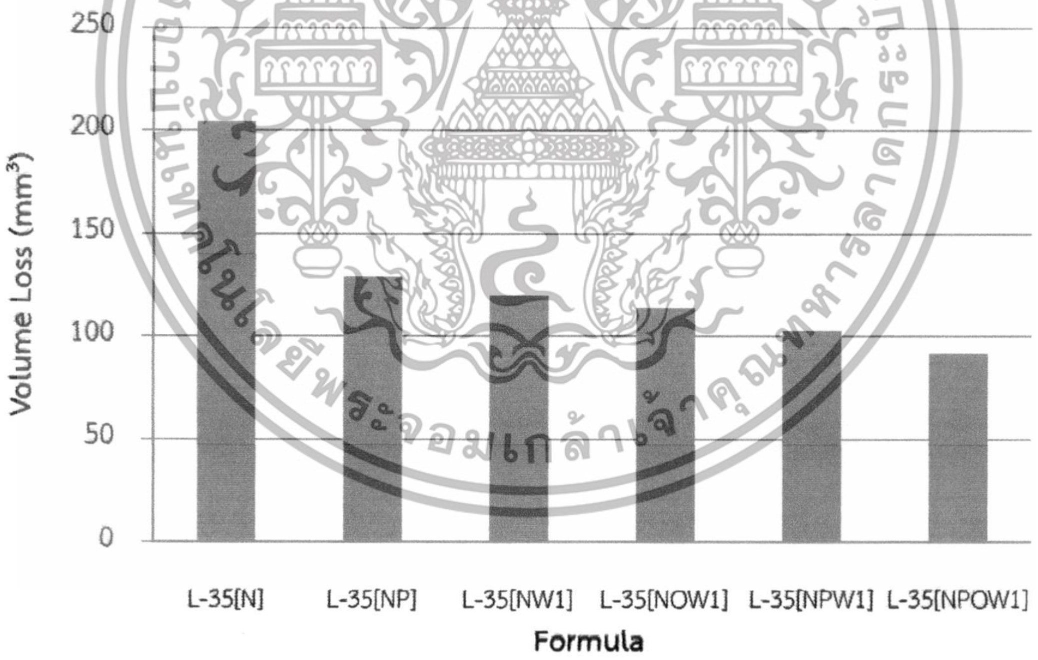


รูปที่ 4.7 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

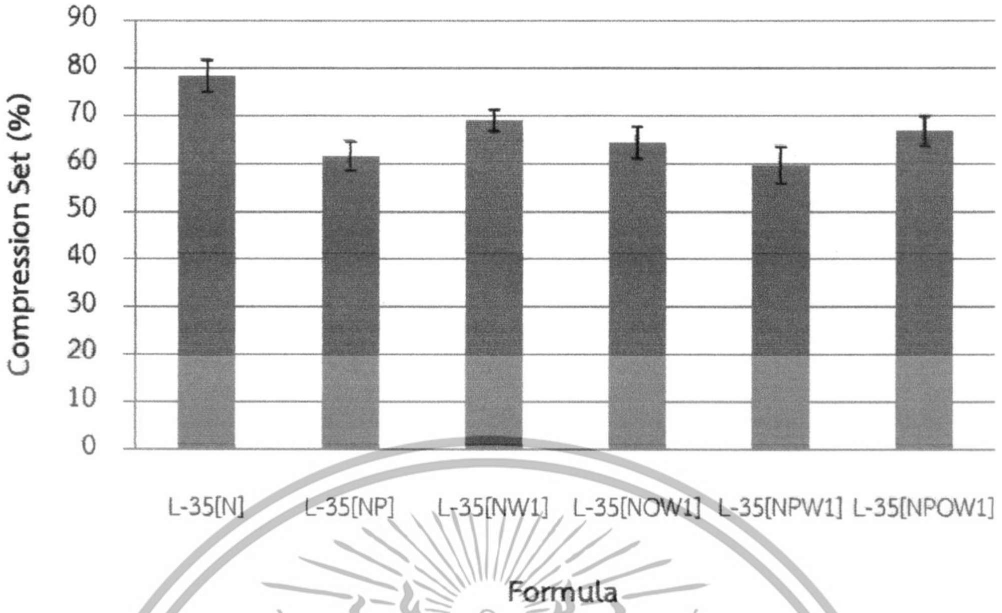


รูปที่ 4.8 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

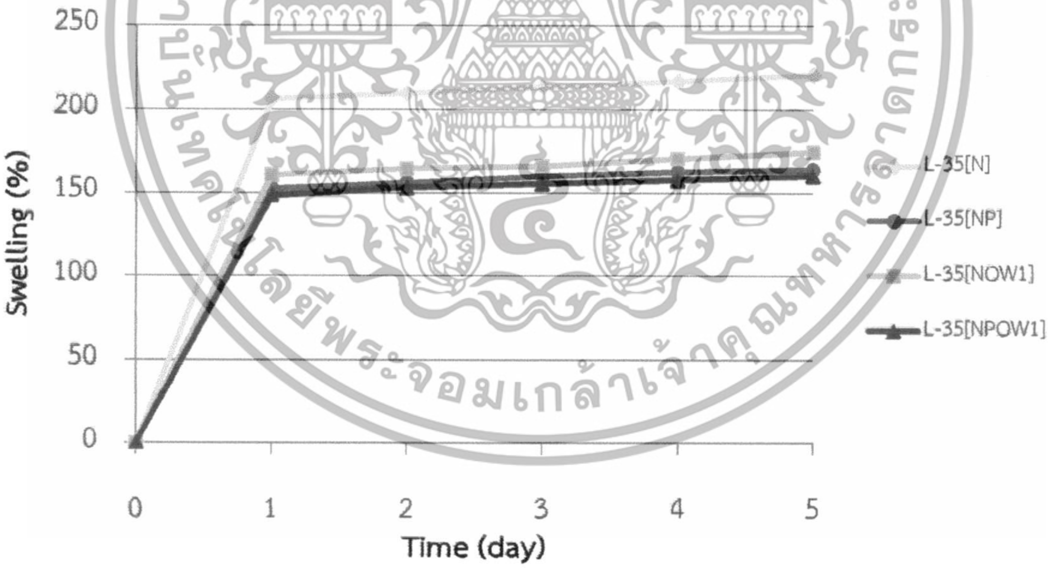


รูปที่ 4.9 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

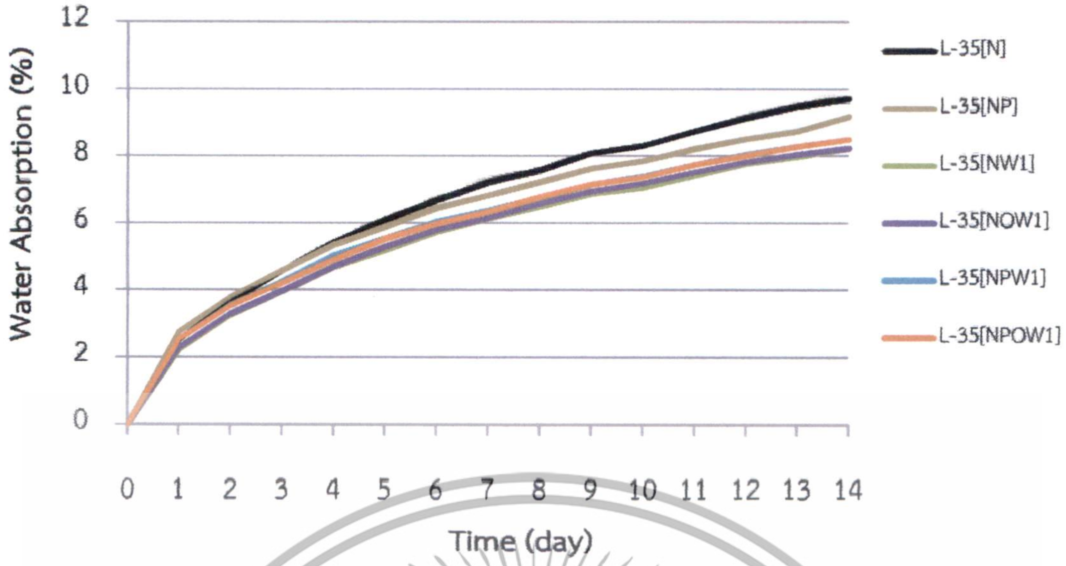


รูปที่ 4.10 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์



รูปที่ 4.11 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

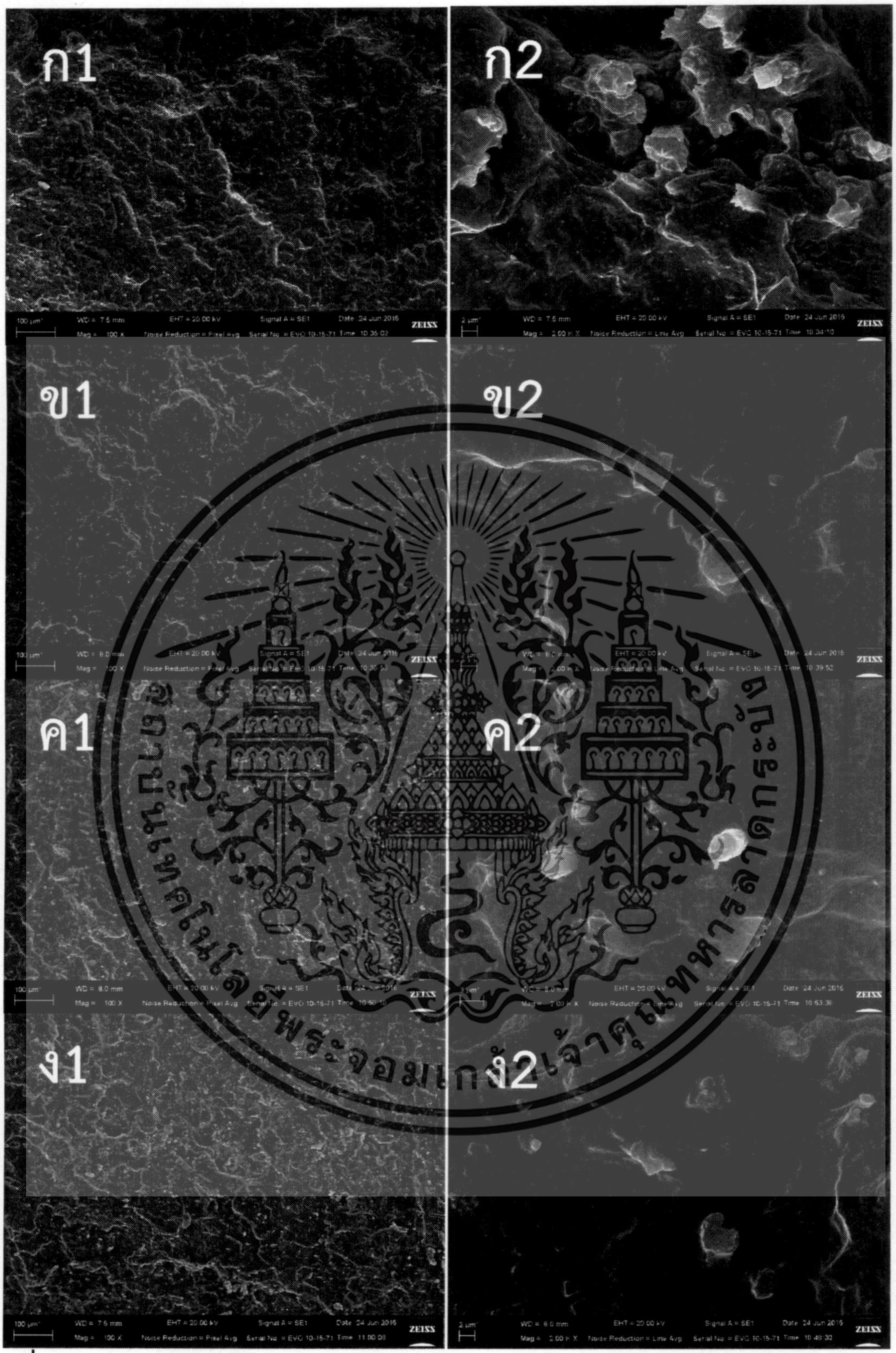


รูปที่ 4.12 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

4.2.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

การศึกษาสัณฐานวิทยาของยางผสมสูตรที่แตกหักที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic crack) ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 100 และ 2,000 เท่า แสดงในรูปที่ 4.13 พบว่ายางผสมสูตร L-35[N] มีการหลุดออกของผงหนัง (รูปที่ 4.13 (ก2)) เนื่องจากผงหนังเป็นสารที่มีขั้วจึงยึดเกาะกับยางธรรมชาติได้ไม่ดี แต่ในยางผสมสูตรที่มีการเติม PEG และ/หรือแว็กซ์นั้น ผงหนังสามารถเข้ากับยางและยึดเกาะกับยางได้ดี เห็นได้จากการไม่พบการหลุดออกของผงหนัง ดังรูปที่ 4.13 (ข2), (ค2) และ (ง2) และพบว่ายางผสมสูตรที่มีการเติม PEG และแว็กซ์มีการกระจายตัวของ ผงหนังที่ดีกว่ายางที่ไม่ได้เติม PEG และแว็กซ์ สังเกตจากการไม่พบอนุภาคของผงหนังที่มีการรวมกลุ่มกัน และรูที่เกิดจากการหลุดออกของผงหนัง เนื่องจาก PEG ช่วยในการเคลือบพื้นผิวของผงหนัง เพื่อลดการดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถันของผงหนัง และแว็กซ์ช่วยเคลือบพื้นผิวผงหนังลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังเข้ากับยางได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 4.13 (ค1), (ค2), (ง1) และ (ง2) แสดงว่านอกจากการทำหน้าที่เป็นสารเคลือบแล้ว แว็กซ์ทั้ง 2 ชนิด สามารถทำหน้าที่เป็นสารช่วยกระบวนการผลิตลดความหนืดของยาง ผงหนังจึงกระจายตัวในยางธรรมชาติได้ดี ส่งผลทำให้การรับ และการส่งผ่านแรงดีมากขึ้น เป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลสูงขึ้นเมื่อเทียบกับยางที่ไม่ได้เติม PEG และแว็กซ์สังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[N], (ข1) L-35[NP], (ค1) L-35[NPW1] และ (ง1) L-35[NPOW1] กำลังขยาย 100 เท่า และ (ก2) L-35[N], (ข2) L-35[NP], (ค2) L-35[NPW1] และ (ง2) L-35[NPOW1] กำลังขยาย 2000 เท่า

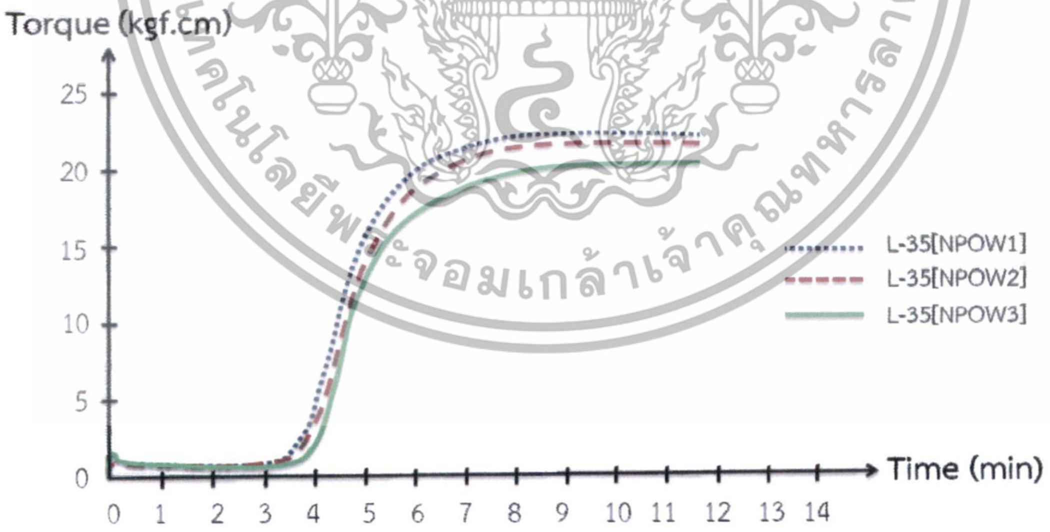
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่ไม่มีขั้วทำให้เข้ากันได้ไม่ดีกับผงหนัง จึงได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังโดยใช้แว็กซ์เพื่อลดความมีขั้วของผงหนังและเพิ่มความเข้ากันได้ของยางกับผงหนัง ซึ่งได้มีการเลือก OPE wax มาใช้เป็นตัวแทนของแว็กซ์เพื่อศึกษาผลของปริมาณแว็กซ์ เนื่องจาก OPE wax มีขั้วมากกว่า PE wax เพียงเล็กน้อย ดังนั้นการใช้ปริมาณ OPE wax มากขึ้นอาจทำให้เกิดแรงระหว่างขั้วกับผงหนังที่มีขั้วได้ดีกว่า PE wax จึงปรับปรุงพื้นผิวผงหนังด้วย OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr เพื่อหาปริมาณแว็กซ์ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

4.3.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่

จากรูปที่ 4.14 และตารางที่ 4.3 เป็นการศึกษาปริมาณ OPE wax ที่มีผลต่อพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางผสมสูตร และค่าความหนืดมูนนี่ โดยทำการศึกษาปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ OPE wax ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากการที่ OPE wax เป็นสารที่เป็นกรดเมื่อปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จึงไปหน่วงการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง และปริมาณของ OPE wax ไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนนี่ของยางผสมสูตร อาจเนื่องมาจากการ OPE wax มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่ 88-140°C ซึ่งแว็กซ์บางส่วนอาจยังไม่เกิดการหลอมเหลวออกมาเป็นสารหล่อลื่น เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดมูนนี่อยู่ที่ 100°C และใช้เวลาในการวัดเพียง 5 นาที



รูปที่ 4.14 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	$t_{c(90)}$ (s)	CRI (s^{-1})
L-35[NPOW1]	28.6	0.8	22.8	234	378	0.69
L-35[NPOW2]	29.9	0.8	21.5	234	384	0.67
L-35[NPOW3]	29.7	0.8	20.5	246	390	0.69

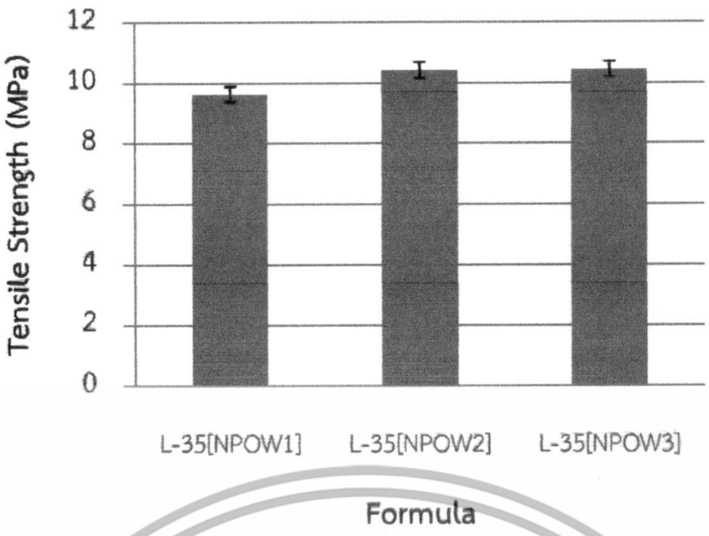
4.3.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.15-4.20 แสดงสมบัติเชิงกลของ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr เมื่อปริมาณ OPE wax เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าการสึกหรอที่มีค่าลดลง และพบว่าที่ปริมาณ OPE wax 2 และ 3 phr มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยางที่ 100% มากกว่า OPE wax ที่ 1 phr เนื่องจากเมื่อปริมาณ OPE wax เพิ่มมากขึ้น แว็กซ์สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังได้มากขึ้น ทำให้ความมีขั้วของผงหนังลดลง ลดการดูดสารเร่งการปฏิกิริยาเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถันของผงหนัง ทำให้ยางเกิดการเชื่อมโยงที่สมบูรณ์ และนอกจากนี้เมื่อปริมาณ OPE wax เพิ่มมากขึ้น ทำให้สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังที่มีแทนนินซึ่งเป็นโครงสร้างที่ชอบจับอนุมูลอิสระได้ดีขึ้น ทำให้การรบกวนของผงหนังที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาการเชื่อมโยง เช่น การดูดสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและการดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงลดลง ทำให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมโยงดีขึ้น ความหนาแน่นการเชื่อมโยงมากขึ้น ดังรูปที่ 4.22 ที่เมื่อปริมาณ OPE wax มากขึ้นเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางลดลง สมบัติเชิงกลดีขึ้น ส่วนผลของค่าความแข็งกดเมื่อปริมาณ OPE wax เพิ่มขึ้นมีค่าไม่ต่างกัน อาจเนื่องมาจากการที่แว็กซ์เป็นสารโมเลกุลใหญ่และสามารถอยู่ในรูปของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งปกติในอุตสาหกรรมยางนั้นแว็กซ์ถูกใช้เป็นสารแอนตี้โอโซแนนท์และสารช่วยกระบวนการผลิต ซึ่งการใช้แว็กซ์เพียง 1-3 phr นั้นไม่ส่งผลทำให้ความแข็งกดของยางผสมสูตรเปลี่ยนแปลง

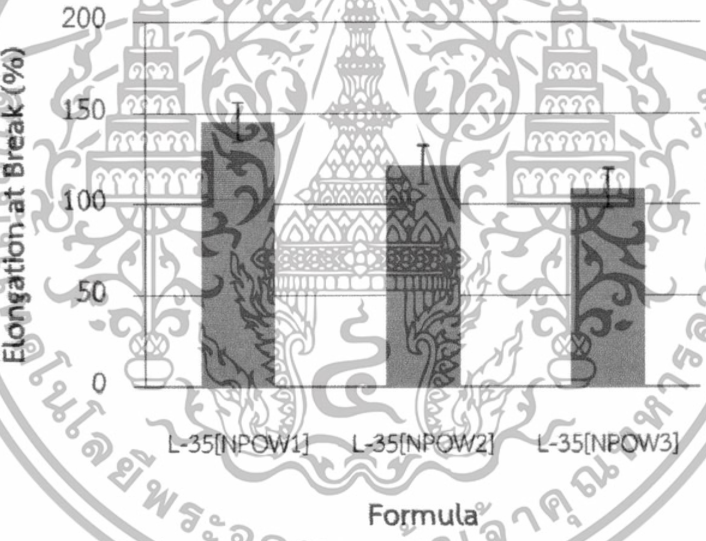
จากรูปที่ 4.21 พบว่าที่ OPE wax ที่ 3 phr มีค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดน้อย-กว่าที่ 1 และ 2 phr เนื่องจากที่ปริมาณ OPE wax 3 phr OPE wax สามารถเคลือบพื้นผิวผงหนังได้มากกว่าช่วยลดความมีขั้วของผงหนังลง ความหนาแน่นการเชื่อมโยงจึงเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถกลับคืนรูปร่างเดิมได้ดีเมื่อทำการปล่อยแรง

จากรูปที่ 4.23 ที่ปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr มีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน อาจเนื่องมาจากผงหนังเป็นสารที่มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 20 ชนิด และพบว่าบนพื้นผิวผงหนังนั้นมีหมู่ไฮดรอกซิลของแทนนินที่ใช้ในการฟอกหนังอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งหมู่เอไมด์และหมู่ไฮดรอกซิลมีขั้วสูงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ง่าย ผง-หนังจึงสามารถดูดน้ำได้ง่าย ดังนั้นแม้ใส่ OPE wax ถึง 3 phr แว็กซ์ยังคงมีปริมาณไม่มากพอในการเคลือบพื้นผิวผงหนังทั้งหมดทำให้ผงหนังยังคงสามารถดูดซึมน้ำได้อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

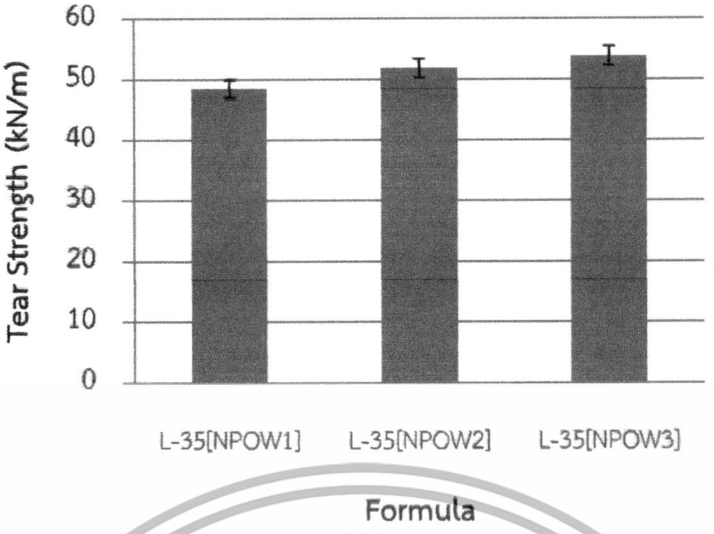


รูปที่ 4.15 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

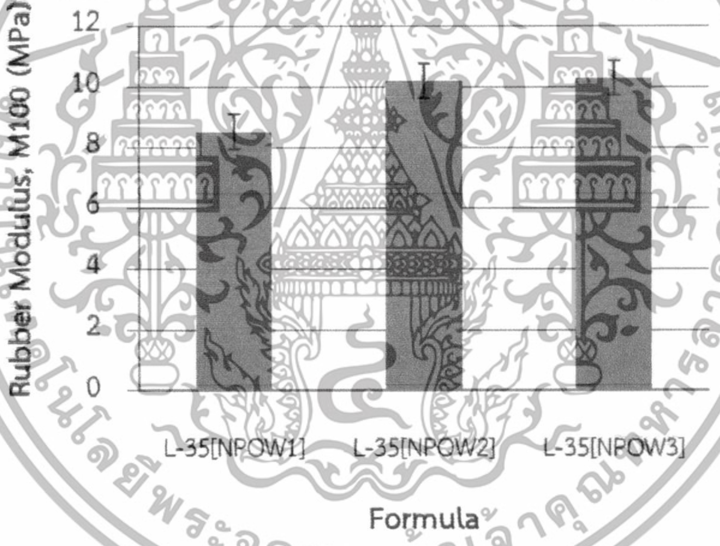


รูปที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

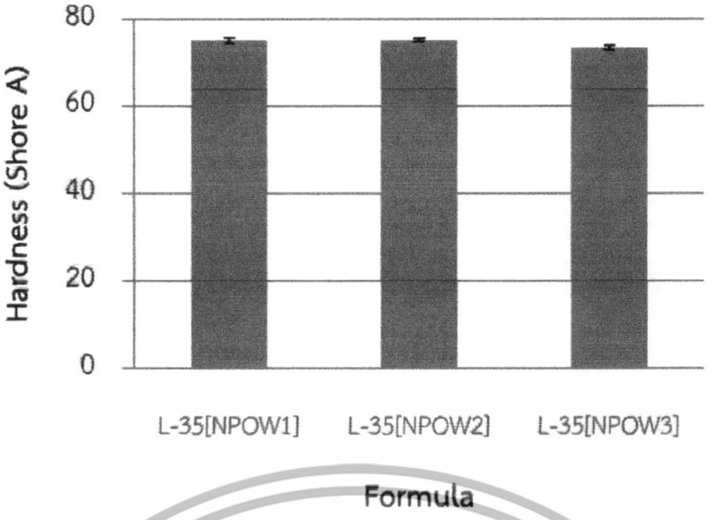


รูปที่ 4.17 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

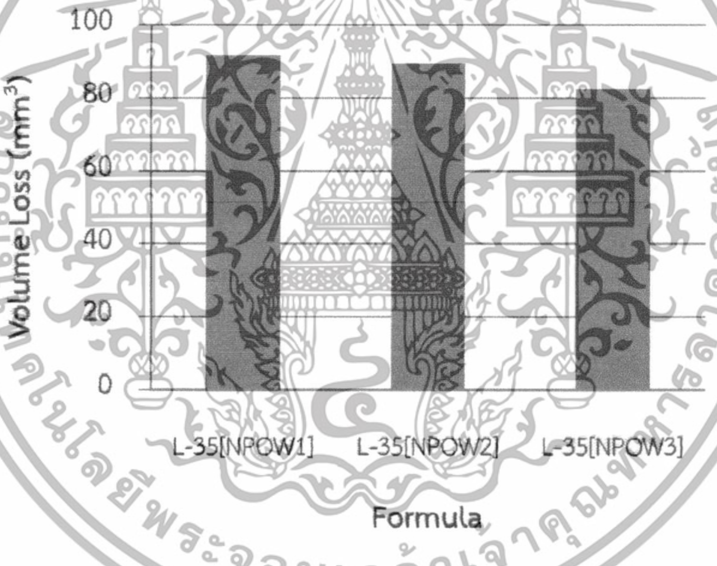


รูปที่ 4.18 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

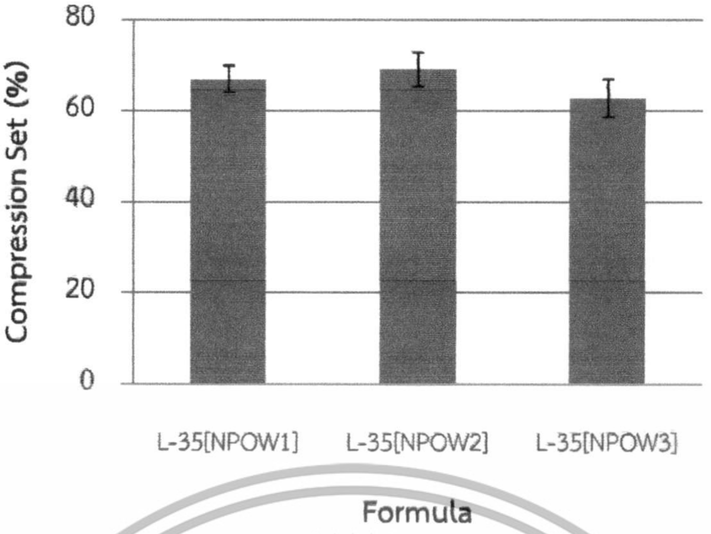


รูปที่ 4.19 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

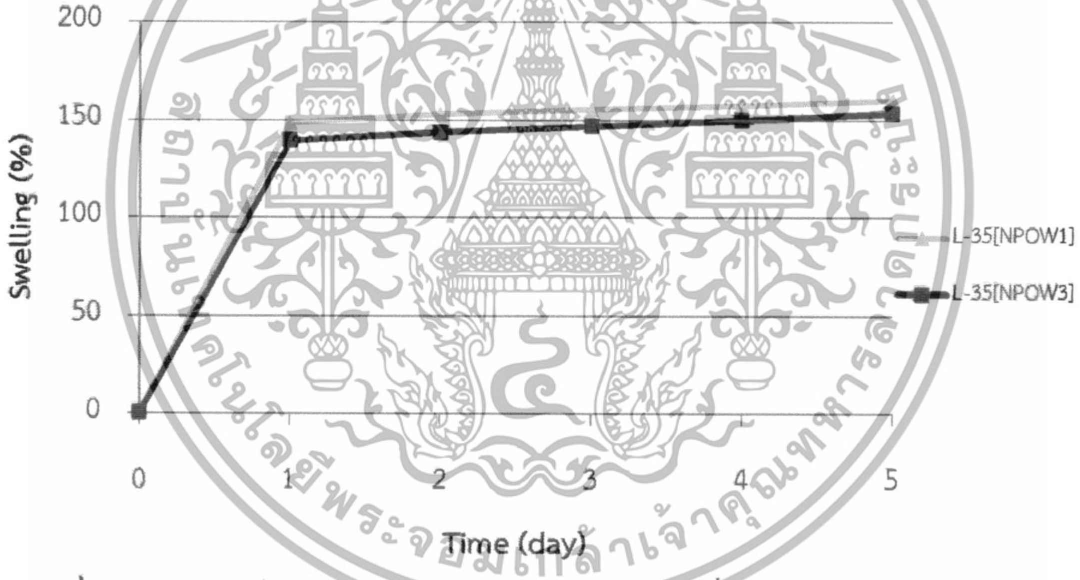


รูปที่ 4.20 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

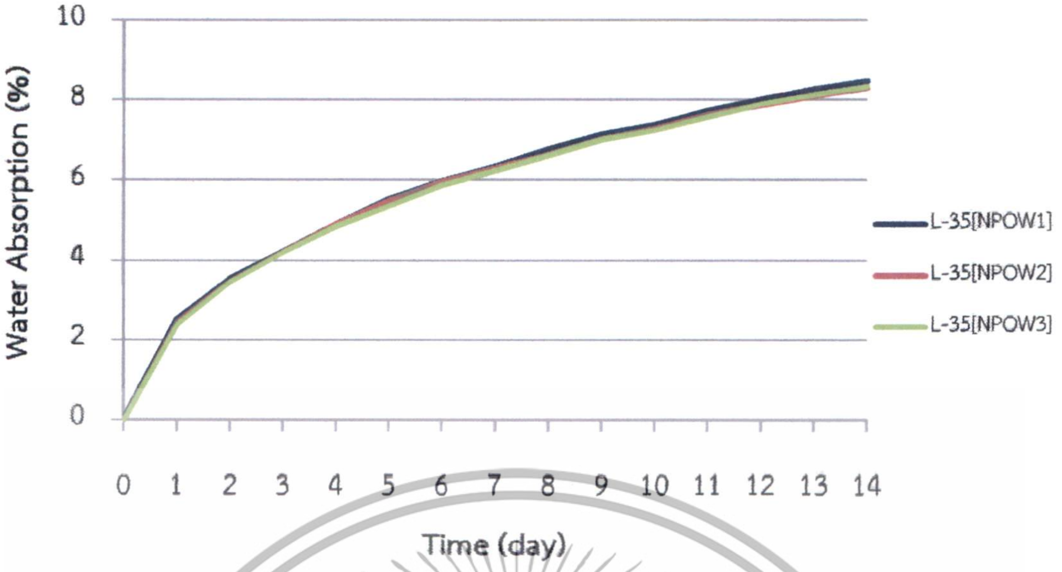


รูปที่ 4.21 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน



รูปที่ 4.22 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

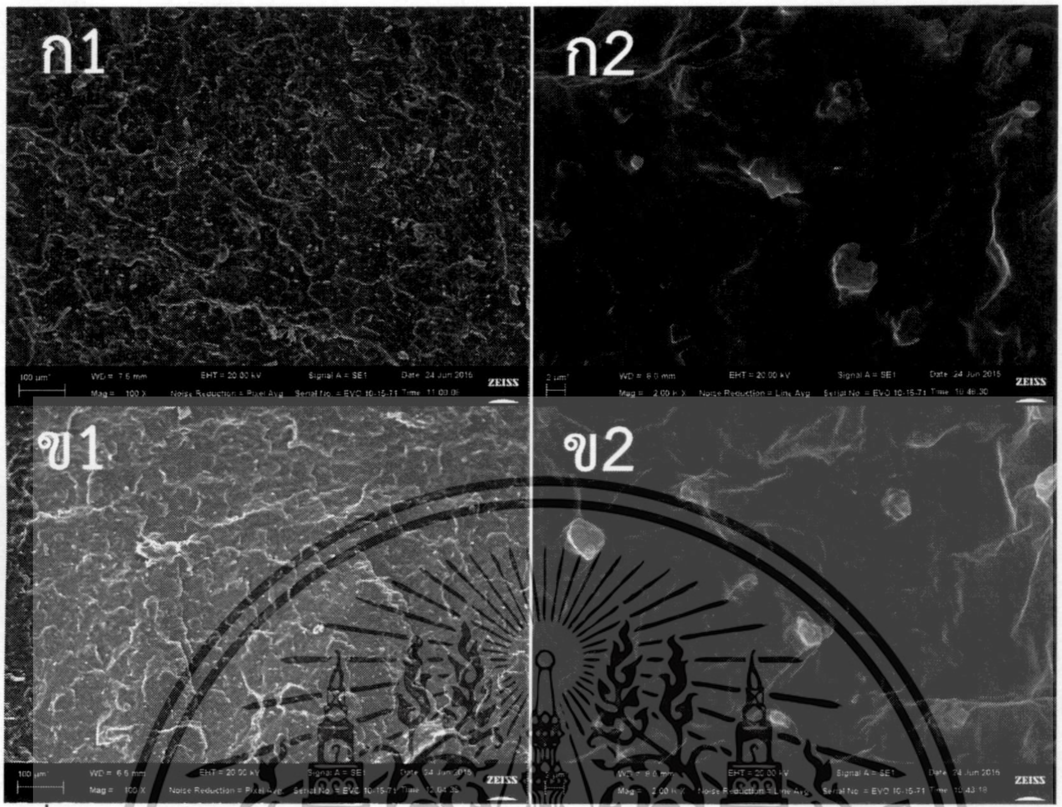


รูปที่ 4.23 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณ OPE wax ต่างกัน

4.3.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

จากสัณฐานวิทยาในรูปที่ 4.24 พบว่า OPE wax เพียง 1 phr สามารถทำให้ผงหนัง (30 phr) กระจายตัวได้ดีในเนื้อยางเช่นเดียวกับที่ปริมาณ OPE wax 3 phr เนื่องจากแว็กซ์เป็นสารช่วยกระบวนการผลิตสามารถลดความหนืดของยางขณะผสมสูตรยางได้ และแว็กซ์สามารถไปเคลือบพื้นผิวผงหนังช่วยลดความมีขั้วของผงหนัง ทำให้ผงหนังสามารถยึดเกาะกับเนื้อยางได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[NPOW1] และ (ข1) L-35[NPOW3] กำลัง-ขยาย 100 เท่า และ (ก2) L-35[NPW1] และ (ข2) L-35[NPOW3] กำลังขยาย 2000 เท่า

4.4 ผลของขนาดอนุภาคผงหนัง

ขนาดอนุภาคผงหนังมีผลโดยตรงต่อสมบัติของยางผสมสูตร เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ ฐิติภา สิริวณิชพงศ์ และคณะ [3] ที่ทำการศึกษาการใช้ผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ พบว่าการเติมผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh ทำให้เกิดการเชื่อมโยงยางเร็วกว่าเล็กน้อยและมีสมบัติเชิงกลดีกว่าการเติมผงหนังขนาด 20-35 mesh ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของขนาดอนุภาคผงหนังที่เล็กกว่า 35 mesh, 51-100 mesh, 101-150 mesh และ 151-200 mesh โดยทำการเคลือบพื้นผิวผงหนังด้วย OPE wax 3 phr

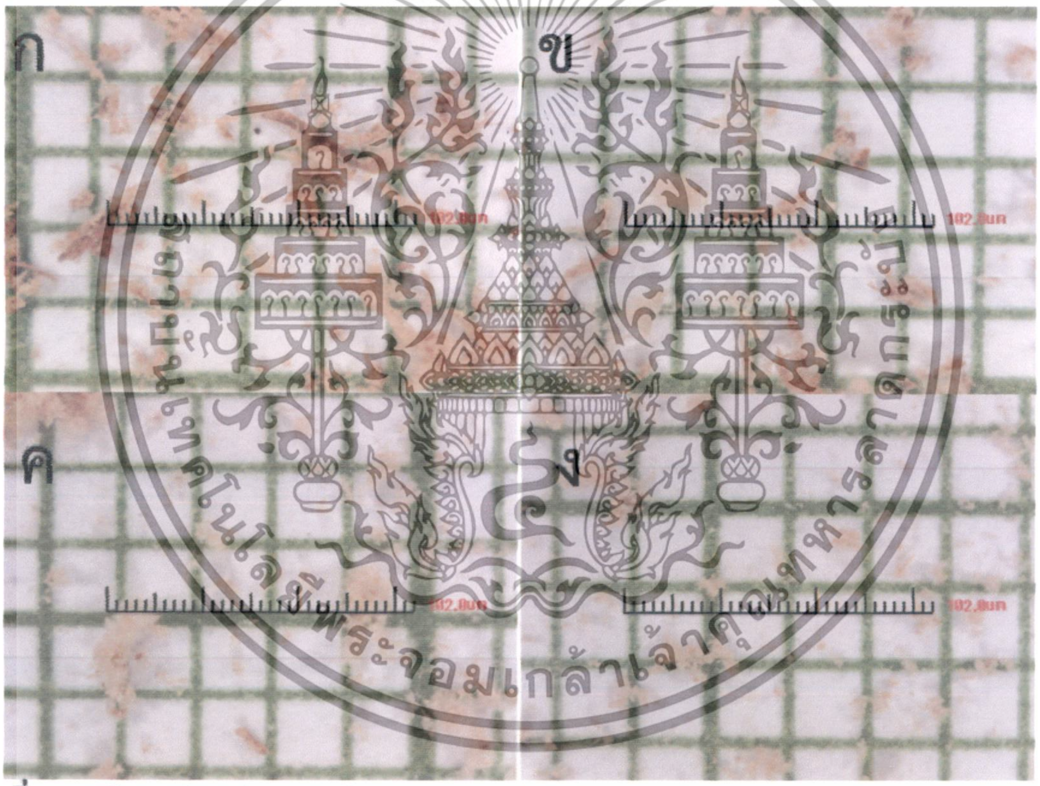
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.25 พบว่าผงหนังขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh มีความกว้างและความยาวของผงหนังมากที่สุด มีการเกี่ยวพันกันของเส้นใยจึงทำให้เกิดกลุ่มก้อนของผงหนัง โดยจากสัณฐานวิทยาพบกลุ่มก้อนของผงหนังอยู่เป็นจำนวนมาก ผงหนังขนาดอนุภาค 51-100 mesh มีความกว้าง ความยาว และกลุ่มก้อนของผงหนังที่น้อยกว่าผงหนังขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh จากสัณฐานวิทยาของผงหนังเห็นได้ว่ากลุ่มก้อนของผงหนังมีขนาดที่เล็กลง และเริ่มมีผงหนังที่เป็นเส้นใยเส้นเล็กๆ ผงหนังขนาดอนุภาค 101-150 mesh ความกว้างและความยาวของผงหนังลดลงมากขึ้น จากสัณฐานวิทยาของผงหนังสังเกตได้ว่ามีเส้นใยเส้นเล็กๆ เป็นจำนวนมาก และมีกลุ่มก้อนของผงหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดจากการเกี่ยวพันกันของเส้นใยน้อยลงอย่างชัดเจน และผงหนังขนาดอนุภาค 151-200 mesh ความกว้างและความยาวของผงหนังมีค่าน้อยที่สุด จากสัณฐานวิทยาของผงหนังสามารถเห็นได้ว่ามีเส้นใยเส้นเล็กๆ เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 4.4 ความกว้างและความยาวของผงหนังที่มีขนาดอนุภาคต่างกัน

ขนาดผงหนัง (mesh)	ความกว้าง (mm)	ความยาว (mm)
>35	0.177 ± 0.085	0.743 ± 0.473
51-100	0.064 ± 0.028	0.285 ± 0.324
101-150	0.053 ± 0.063	0.132 ± 0.086
151-200	0.048 ± 0.031	0.114 ± 0.075



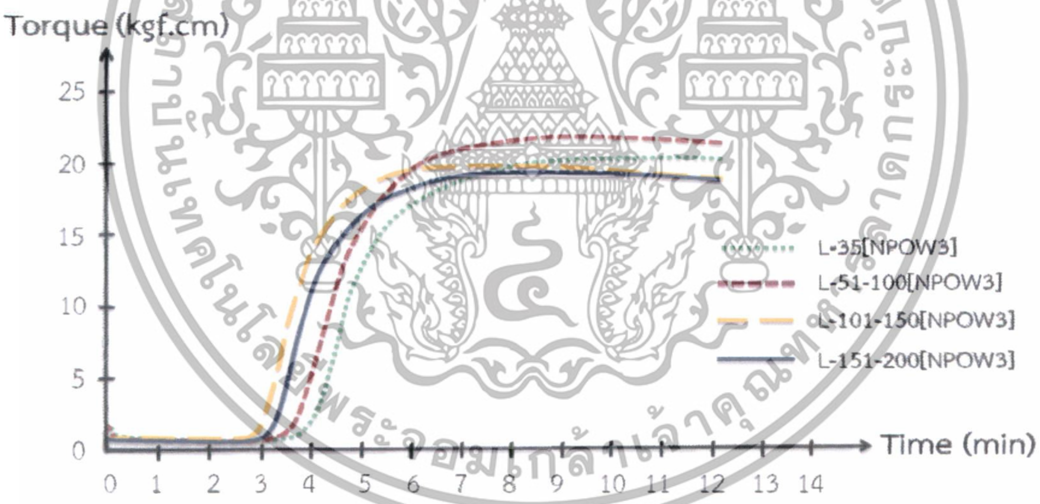
รูปที่ 4.25 สัณฐานวิทยาของผงหนัง (ก) >35 mesh, (ข) 51-100 mesh, (ค) 101-150 mesh และ (ง) 151-200 mesh

4.4.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่

จากรูปที่ 4.26 และตารางที่ 4.5 ศึกษาลักษณะการเชื่อมโยงยางที่ผสมผงหนังที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh, 51-100 mesh, 101-150 mesh และ 151-200 mesh พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคของผงหนังเล็กลง ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงลดลงเล็กน้อยทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ คือกลุ่มก้อนของผงหนังที่เกิดจากการเกี่ยวพันกันของเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กจำนวนมาก ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.25 (ก) >35 mesh และ (ข) 51-100 mesh ที่มีกลุ่มก้อนของผงหนังอยู่ ดังนั้นเส้นใยที่มีลักษณะเป็นเส้นใยเส้นเล็กๆ หรือไมโครไฟบริล (Microfibrils) ประกอบกัน จึงยากที่จะทำการเคลือบหรือป้องกันการดูดสารเคมียาง ส่งผลให้ผงหนังสามารถดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อมโยง ทำให้ผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ใช้เวลาเชื่อมโยงนานกว่าผงหนังที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่เกิดจากการแตกออกของกลุ่มก้อนผงหนังเป็นเส้นใยเส้นเล็กๆ ดังเห็นได้จากรูปที่ 4.25 (ค) 101-150 mesh แว็กซ์จึงสามารถเคลือบผงหนังได้ดีมากขึ้น แต่พบว่าที่ขนาดอนุภาคผงหนัง 151-200 mesh กลับใช้เวลาเชื่อมโยงยางมากกว่ายางที่เติมผงหนังขนาด 101-150 mesh อาจเนื่องมาจากเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคเล็กมากๆ พื้นที่ผิวจึงเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งผงหนังเป็นสารที่มีขั้วจึงสามารถดูดน้ำไว้ได้มากกว่า ส่งผลให้ต้องสูญเสียเวลาในการระเหยน้ำในผงหนัง จึงใช้เวลาในการเชื่อมโยงยางที่นานกว่า และการใช้ขนาดอนุภาคของผงหนังเล็กลง พบว่าค่าความหนืดมูนนี่มีค่าลดลง เนื่องจากผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เป็นกลุ่มก้อนที่มีการเกี่ยวพันกันของเส้นใย เมื่อขนาดอนุภาคผงหนังเล็กลงเส้นใยมีความยาวลดลง ดังเห็นได้จากตารางที่ 4.4 ที่พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคผงหนังเล็กลงผงหนังมีความกว้างและความยาวลดลง ทำให้ผงหนังขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่ยางน้อยลง



รูปที่ 4.26 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	$t_{c(90)}$ (s)	CRI (s^{-1})
L-35[NPOW3]	29.7	0.8	20.5	246	390	0.69
L-51-100[NPOW3]	29.9	0.8	21.8	237	384	0.68
L101-150[NPOW3]	26.3	0.8	20.0	186	306	0.83
L151-200[NPOW3]	23.9	0.8	19.3	207	330	0.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

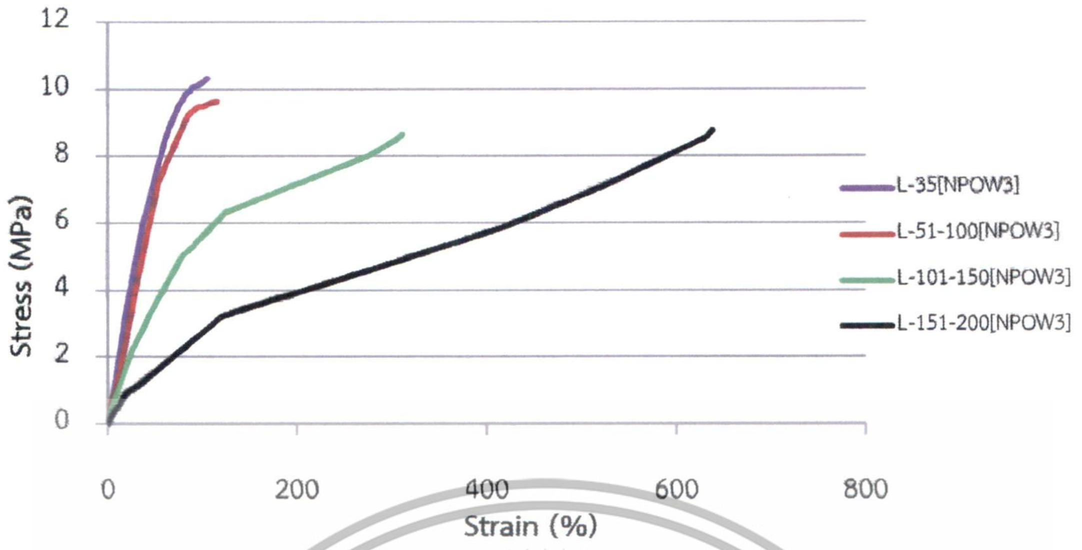
4.4.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.27 พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง ส่งผลให้พฤติกรรมของยางผสมสูตรเปลี่ยนอย่างชัดเจน โดยยางผสมสูตรสามารถดึงยืดได้เพิ่มขึ้น ดังเห็นได้จากค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดที่เพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง (รูปที่ 4.29) เนื่องจากผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เป็นกลุ่มก้อนของผงหนัง ซึ่งเกิดจากการเกี่ยวพันของเส้นใยขนาดเล็กทำให้ผงหนังมีความแข็ง เมื่อได้รับแรงดึงจะเกิดการแตกออกของกลุ่มก้อนผงหนังที่มีการเกี่ยวพันกันของเส้นใย ทำให้ยางผสมสูตรที่เติมผงหนังขนาดอนุภาคใหญ่ดึงยืดได้น้อยกว่ายางผสมสูตรที่เติมผงหนังขนาดอนุภาคเล็ก เพราะผงหนังที่มีขนาดอนุภาคเล็กเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ที่มีความนิ่ม และจากรูปที่ 4.28-4.33 แสดงสมบัติเชิงกลของผงหนังที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh, 51-100 mesh, 101-150 mesh และ 151-200 mesh พบว่าเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่าความแข็งกด และค่ามอดุลัสของยางที่ 100% มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าการสึกหรอมีค่าต่ำสุดเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (เล็กกว่า 35 mesh) เนื่องจากผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่นั้น จากรูปที่ 4.25 (ก) เห็นได้ว่าผงหนังขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุดเป็นกลุ่มก้อนที่เกิดจากเส้นใยเส้นเล็กๆ ที่เกี่ยวพันกัน ดังนั้นจึงอาจทำให้เกิดปรากฏการณ์เสริมแรงและเกิดยางออกคลู๊ด (Occluded rubber) ได้ดี (ยางสามารถเกิดการยึดเกาะเชิงกลกับผงหนังได้ดี) มากกว่าผงหนังขนาดอนุภาคเล็ก สังเกตได้จาก Stress-strain curve ในรูปที่ 4.27 ยางสูตรที่ผสมผงหนังขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด เส้นกราฟมีความชันค่อนข้างมากและมีค่าความแข็งแรงดึงมากที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยขนาดอื่นๆ

โดยปกติการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดในอุตสาหกรรมยางหลักๆ มาจากหลายปัจจัย เช่น การเชื่อมโยงยาง ถ้ายางเกิดการเชื่อมโยงได้ไม่สมบูรณ์ ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดจะมีค่ามาก และอันตรกิริยาระหว่างยางกับสารตัวเติม ถ้ายางที่มีอันตรกิริยที่ดีกับสารตัวเติม เช่น เกิดยางออกคลู๊ดที่มากทำให้ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดมีค่าน้อย จากรูปที่ 4.34 พบว่าค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดมีค่าลดลงเมื่อขนาดอนุภาคผงหนังเล็กลง อาจเนื่องมาจากเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคเล็ก PEG และแว็กซ์จึงสามารถเข้าไปเคลือบพื้นผิวผงหนังได้ง่ายมากขึ้น ผงหนังจึงดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารกระตุ้นปฏิกิยาการเชื่อมโยงลดลง ยางจึงสามารถเกิดการเชื่อมโยงได้สมบูรณ์ แต่พบว่าที่ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh กลับมีค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดน้อยที่สุด แม้ว่าจากกราฟการเชื่อมโยงรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นว่ายางที่ผสมผงหนังขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (เล็กกว่า 35 mesh) เชื่อมโยงได้สมบูรณ์น้อยกว่ายางที่ผสมผงหนังที่มีขนาดอนุภาคเล็ก แต่จากสัณฐานวิทยาของผงหนัง (รูปที่ 4.25) ผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่เป็นกลุ่มก้อนของผงหนังที่เกิดจากการเกี่ยวพันของเส้นใย ดังนั้นคาดว่าจะเกิดอันตรกิริยาที่ดีกับยาง คือเกิดลักษณะยางออกคลู๊ดได้ดี ยางสามารถเข้าไปยึดเกาะกับผงหนังเกิดการยึดเกาะเชิงกลได้ดี จึงมีค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดต่ำ

จากรูปที่ 4.35 พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงค่าการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคเล็กลงจึงมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น ซึ่งผงหนังเป็นสารที่มีขั้ว เนื่องจากหมู่เอไมด์และหมู่ไฮดรอกซิลของผงหนังๆ จึงสามารถดูดน้ำได้ง่าย

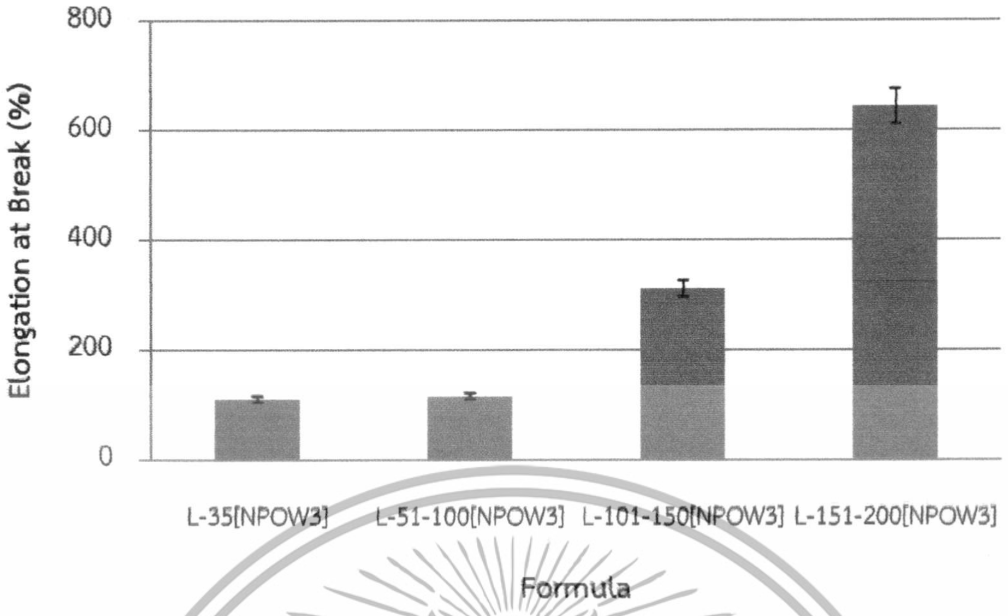
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



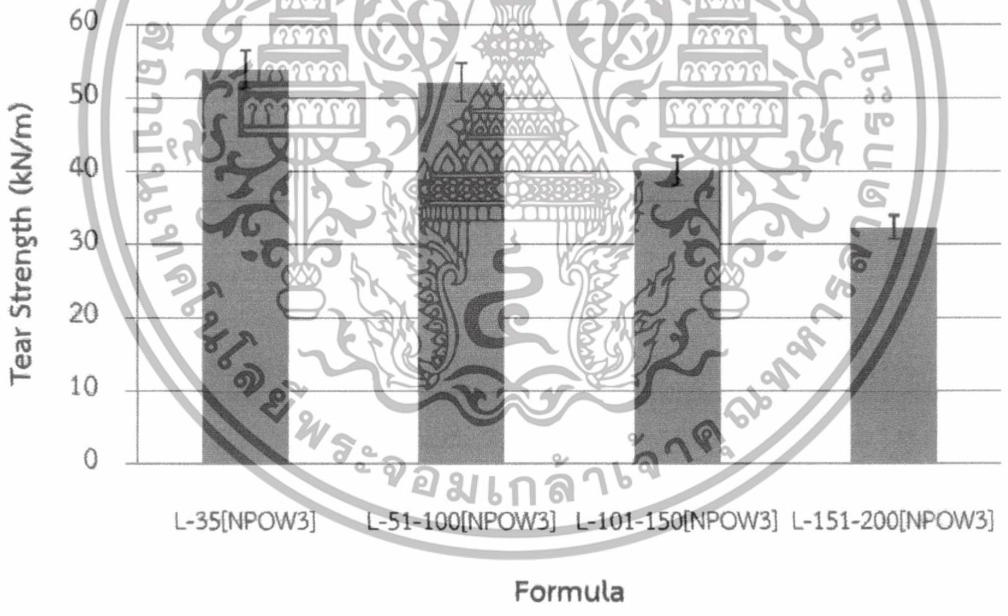
รูปที่ 4.27 ตัวอย่าง Stress-strain curve ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

รูปที่ 4.28 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

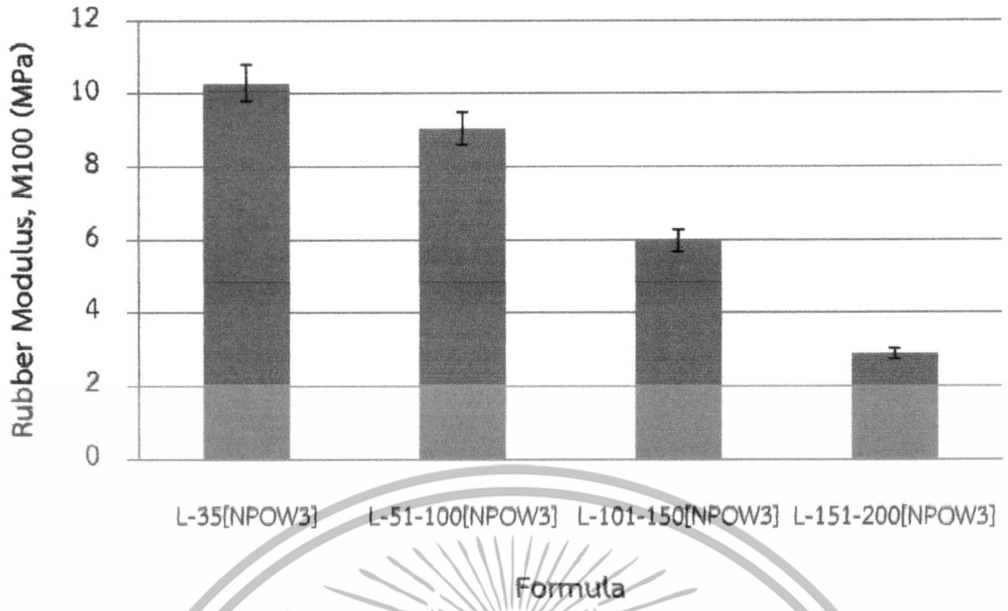


รูปที่ 4.29 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

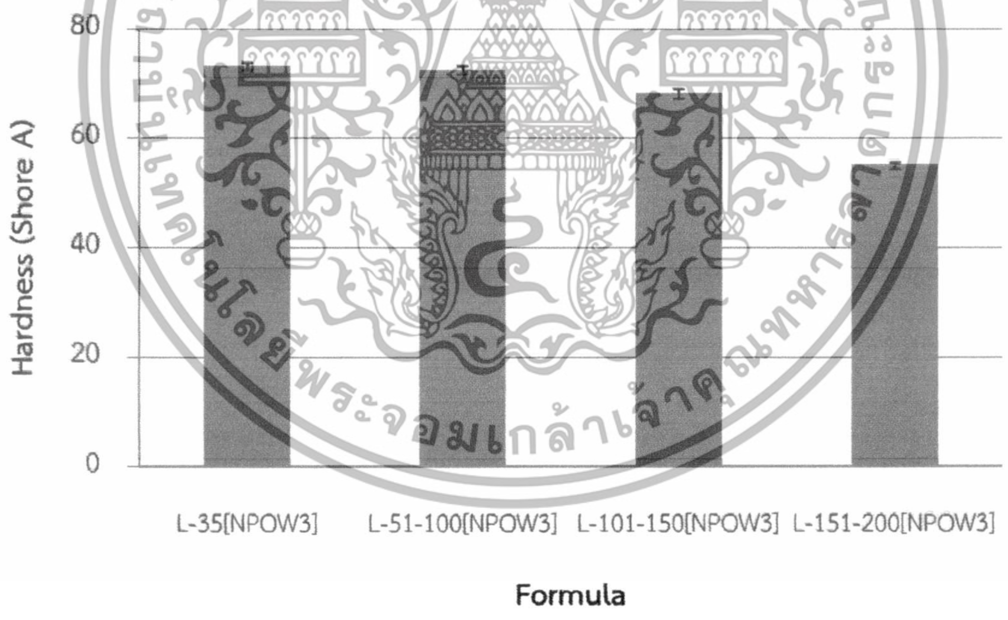


รูปที่ 4.30 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

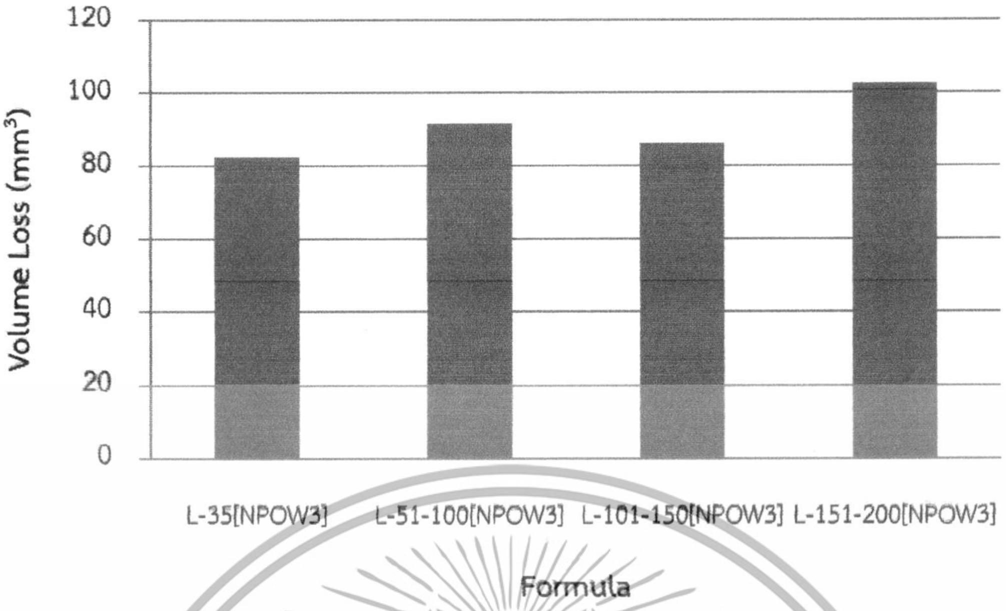


รูปที่ 4.31 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

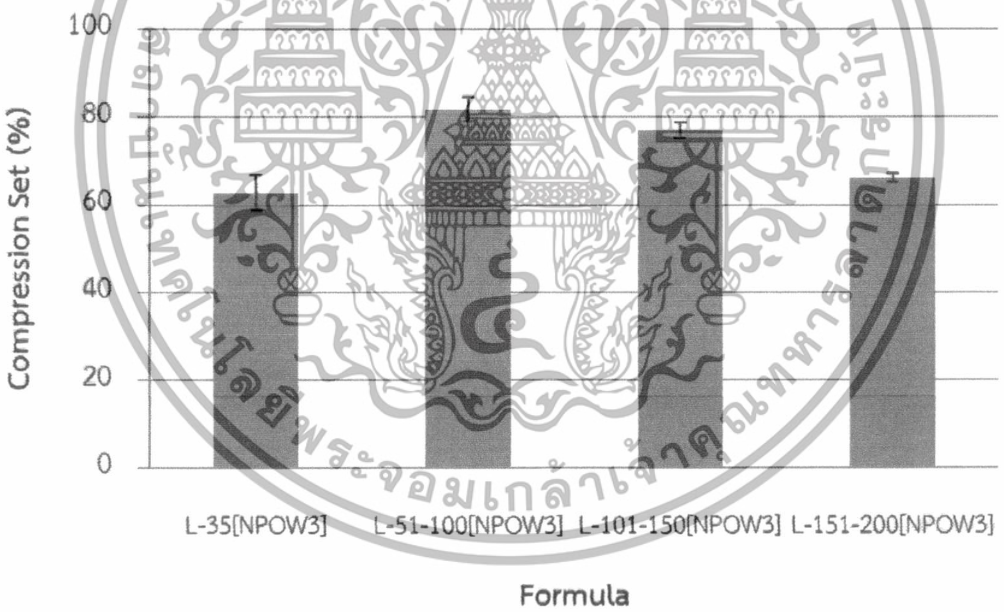


รูปที่ 4.32 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

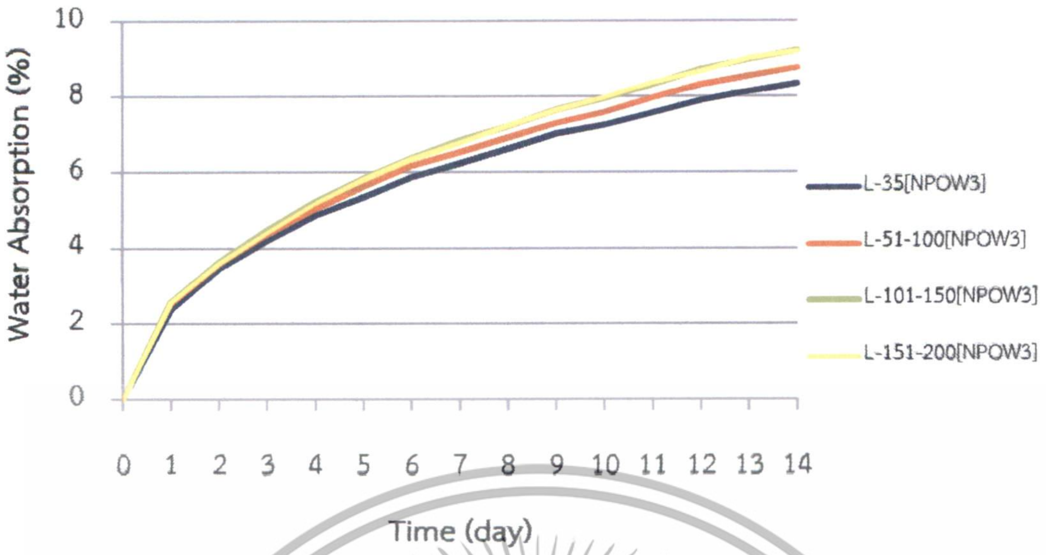


รูปที่ 4.33 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน



รูปที่ 4.34 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีขนาดอนุภาคผงหนังต่างกัน

4.4.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

จากสัณฐานวิทยาของยางผสมสูตรที่ขนาดของอนุภาคผงหนังต่างกัน รูปที่ 4.36 พบว่าไม่พบช่องว่างและรูที่เกิดจากการหลุดออกของผงหนังในเนื้อยาง แสดงว่าผงหนังขนาดอนุภาคเล็กหรือใหญ่ สามารถกระจายตัวและยึดเกาะกับยางในสูตรที่มีการใช้ผงหนัง 30 phr OPE wax 3 phr และ PEG 0.9 phr ได้ดีเช่นเดียวกัน

รูปที่ 4.36 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก) L-35[NPOW3] และ (ข) L-151-200[NPOW3] กำลังขยาย 100 เท่า

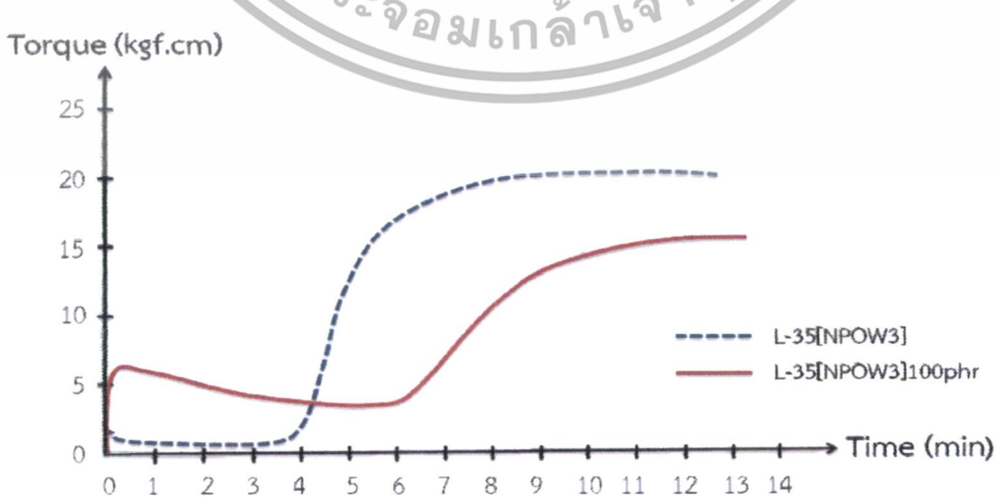
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลของปริมาณผงหนังที่ 30 และ 100 phr

เนื่องจากปริมาณของผงหนังซึ่งเป็นสารตัวเติมมีผลโดยตรงกับสมบัติของยาง โดยในตอนนี้จึงทำการเปรียบเทียบระหว่างผงหนังขนาดเล็กกว่า 35 mesh ที่ปริมาณ 30 phr กับ 100 phr โดยการศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของยางผสมสูตร

4.5.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่

จากการออกสูตรยางที่ปริมาณผงหนัง 30 phr มีการใช้ OPE wax เคลือบพื้นผิวผงหนังอยู่ที่ 3 phr (10% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง) และที่ปริมาณผงหนัง 100 phr มีการใช้ OPE wax เคลือบพื้นผิวผงหนังอยู่ที่ 3 phr (3% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง) ดังนั้นจากรูปที่ 4.37 และตารางที่ 4.6 พบว่าที่ปริมาณผงหนัง 30 phr ใช้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงน้อยกว่าที่ 100 phr เนื่องจากผงหนังที่ใช้เป็นผงหนังที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ (เล็กกว่า 35 mesh) เกิดจากการรวมกลุ่มของผงหนังขนาดเล็ก และผงหนังเป็นสารที่มีขั้วเมื่อเติมลงไปเป็นจำนวนมากจึงรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมีการกระจายตัวได้น้อย PEG จึงไม่สามารถเข้าไปเคลือบผงหนังได้ไม่ทั่วถึง และเนื่องจากมีปริมาณ OPE wax 3 phr ที่ไม่เพียงพอในการเคลือบผงหนังให้ทั่วถึงที่ปริมาณผงหนัง 100 phr ทำให้ผงหนังเกิดการดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถันบางส่วน การเชื่อมโยงยางจึงเกิดได้ช้าอย่างชัดเจน และผงหนังเป็นสารที่มีขั้วสามารถดูดน้ำได้ง่าย แม้ทำการอบไล่ความชื้นในผงหนังก่อนทำการผสมกับยาง แต่ยังคงมีความชื้นติดอยู่ในผงหนัง เมื่อนำยางไปทำการขึ้นรูปด้วยความร้อน ความร้อนนั้นทำให้น้ำเกิดการระเหย ดังนั้นความร้อนที่ใช้ในการแตกตัวของกำมะถันหายไปมากขึ้นเมื่อใช้ผงหนัง 100 phr การเชื่อมโยงยางจึงใช้เวลามากขึ้น ส่วนค่าความหนืดมูนนี่ของยางที่มีปริมาณผงหนัง 100 phr มีค่ามากกว่ายางที่มีปริมาณผงหนัง 30 phr เนื่องจากเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้นทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางมีการเคลื่อนที่ลดลง



รูปที่ 4.37 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

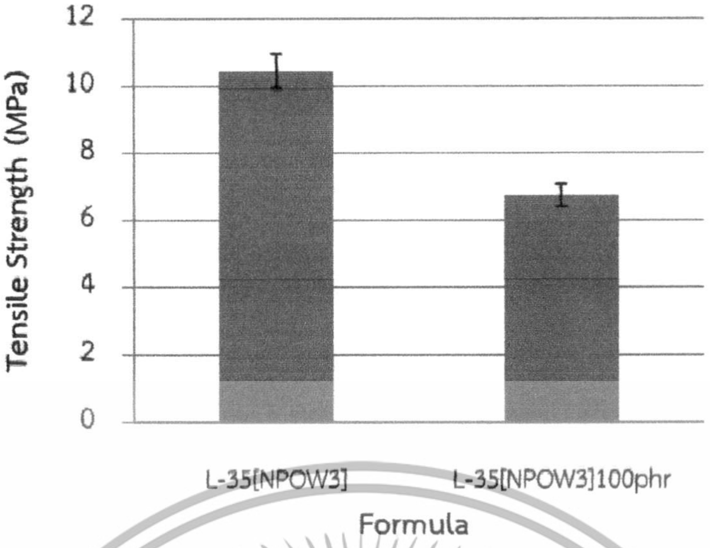
Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	$t_{c(90)}$ (s)	CRI (s^{-1})
L-35[NPOW3]	29.7	0.8	20.5	246	390	0.69
L-35[NPOW3]100phr	91.3	3.5	15.5	334	660	0.31

4.5.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ

จากรูปที่ 4.38-4.43 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังจาก 30 phr ไปเป็น 100 phr ค่าความแข็งแรงดึงและค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางผสมสูตรมีค่าลดลง และการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางผสมสูตรมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณผงหนังที่มีขั้วทำให้ผงหนังกระจายตัวได้ไม่ดี แม้ว่ามีการใช้ PEG เพิ่มขึ้นตามปริมาณผงหนัง PEG อาจเข้าไปเคลือบผงหนังได้ไม่ทั่วถึง เพราะผงหนังรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนมากขึ้น และปริมาณ OPE wax ไม่เพียงพอต่อการเคลือบพื้นผิวผงหนังได้อย่างทั่วถึง ผงหนังจึงสามารถดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยง สารเชื่อมโยงกำมะถัน และน้ำไว้ภายในโครงสร้าง ทำให้ประสิทธิภาพการเชื่อมโยงลดลง ยางเกิดการเชื่อมโยงได้ไม่สมบูรณ์ ความหนาแน่นการเชื่อมโยงลดลง สมบัติเชิงกลจึงลดลง โดยค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางผสมสูตรมีค่าลดลงเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณผงหนังทำให้ยางผสมสูตรมีความยืดหยุ่นลดลง เพราะผงหนังไปขัดขวางการเคลื่อนที่ของสายโซ่โมเลกุลยาง [38] นอกจากนี้อาจเนื่องจากเมื่อปริมาณผงหนังเพิ่มขึ้น เกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของผงหนังเมื่อได้รับแรงดึงกลุ่มก้อนของผงหนังเกิดการแตกออกได้ง่าย และพบว่าเมื่อปริมาณผงหนังมากขึ้น ค่าความแข็งกดมีค่าเพิ่มขึ้นและค่าการสึกหรอมีค่าลดลง เนื่องจากผงหนังเป็นอนุภาคที่มีความแข็งมากกว่าเนื้อยางเมื่อใส่ลงไปเป็นจำนวนมากจึงทำให้ยางมีความแข็งกดเพิ่มขึ้น และเมื่อยางผสมสูตรได้รับแรงขัดถูเนื้อยางที่มีความนิ่มนั้น สามารถเกิดการสึกหรอได้ง่ายกว่าผงหนัง เนื่องจากสารที่แข็งนั้นสามารถต้านการขัดถูได้ดีกว่า ดั้งนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนัง อัตราส่วนของเนื้อยางมีปริมาณน้อยลง ยางผสมสูตรจึงสามารถต้านทานต่อการสึกหรอได้มากขึ้น

จากรูปที่ 4.44 เนื่องจากผงหนังเป็นสารที่มีขั้วสามารถดูดน้ำได้เป็นอย่างดี เมื่อมีผงหนังในยางผสมสูตรมากขึ้นยางผสมสูตรจึงมีการดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้น และจากการที่ปริมาณผงหนัง 100 phr ทำให้มีปริมาณ OPE wax ไม่เพียงพอต่อการเคลือบพื้นผิวผงหนัง ยางสูตร L-35[NPOW3]100phr จึงมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่ายางสูตร L-35[NPOW3]

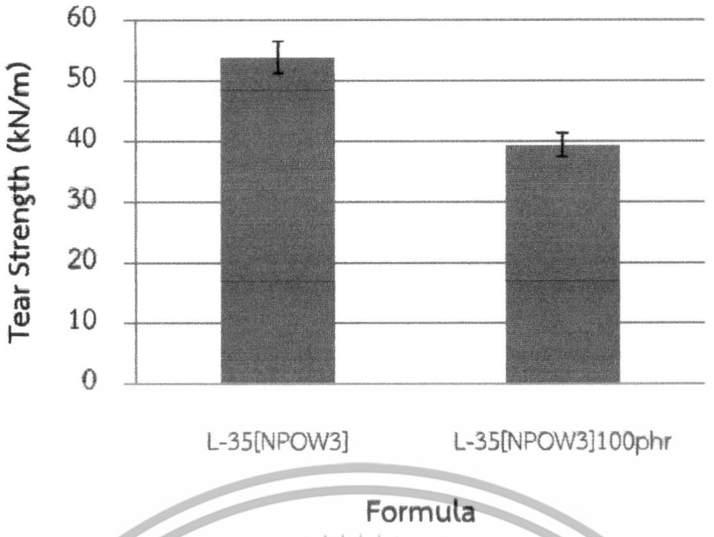
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



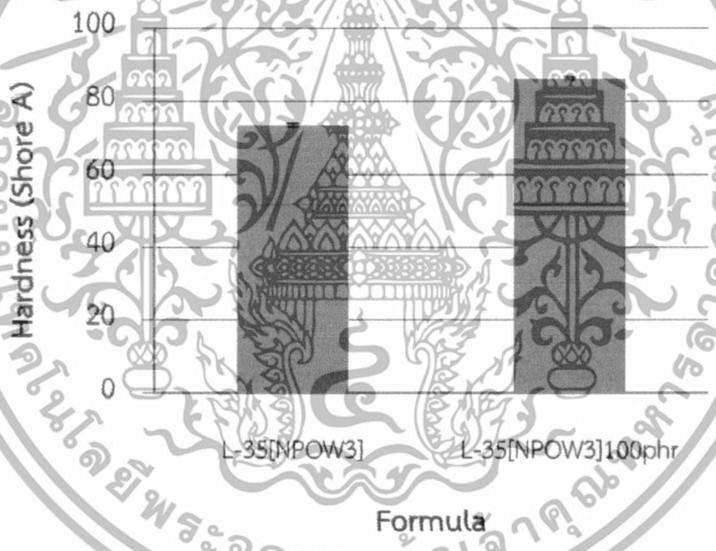
รูปที่ 4.38 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

รูปที่ 4.39 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

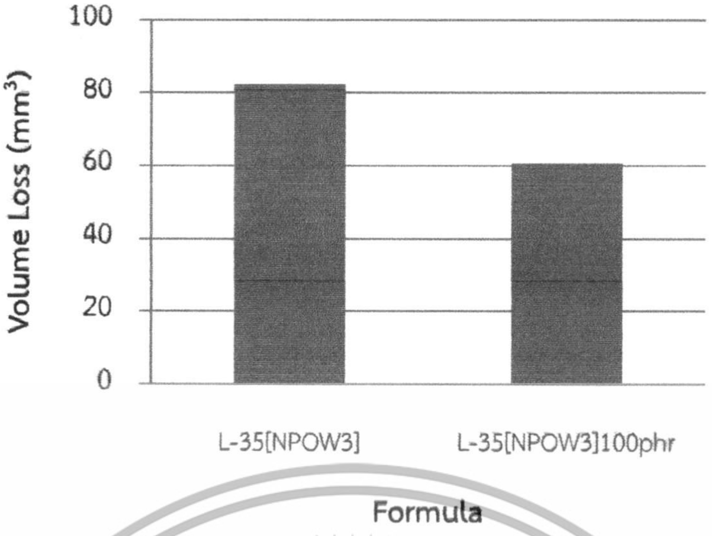


รูปที่ 4.40 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

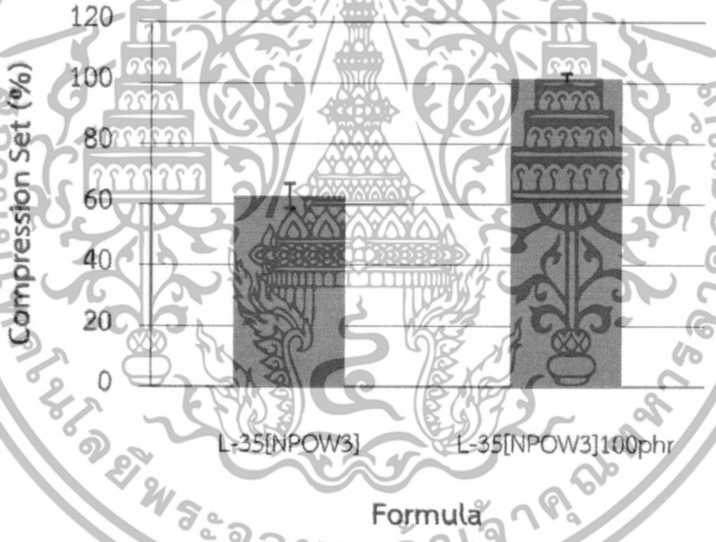


รูปที่ 4.41 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

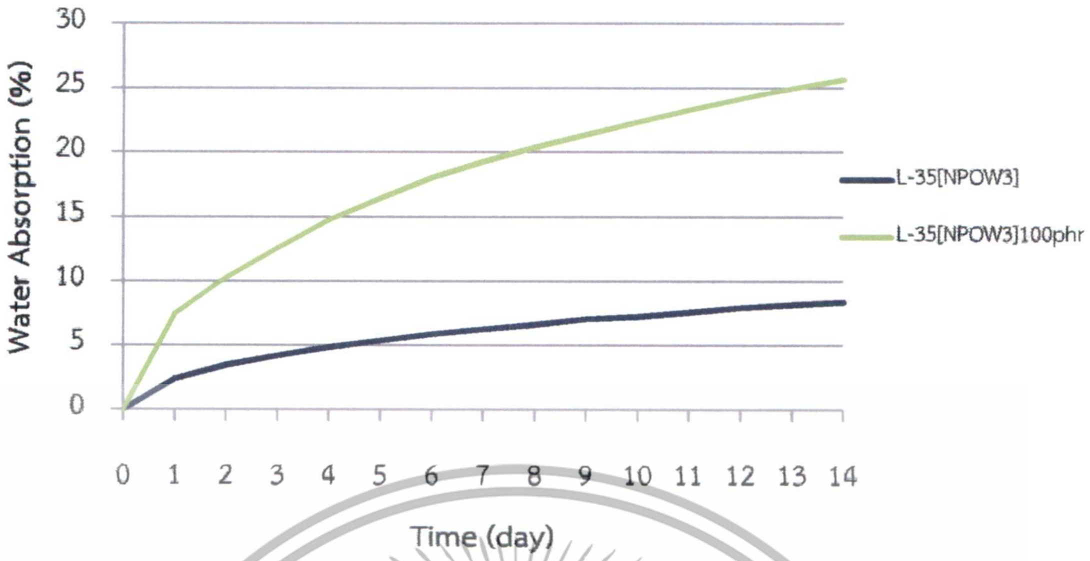


รูปที่ 4.42 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน



รูปที่ 4.43 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

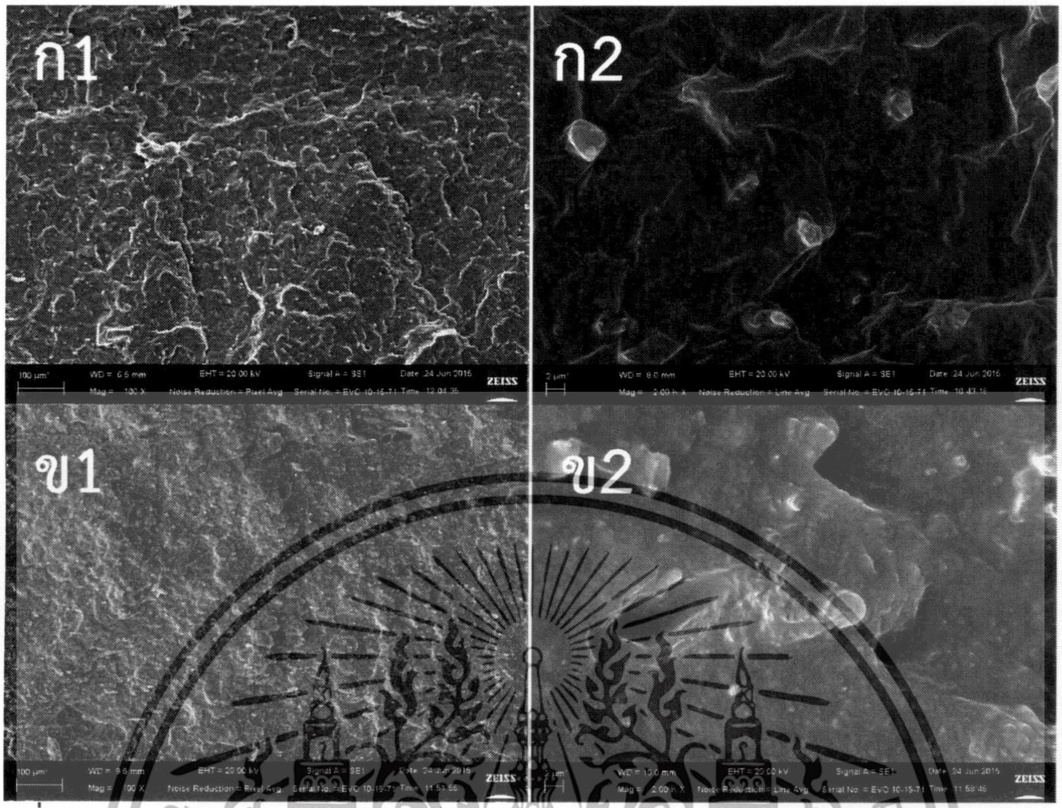


รูปที่ 4.44 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีปริมาณผงหนังต่างกัน

4.5.3 การศึกษาสัณฐานวิทยา

จากสัณฐานวิทยา จากรูปที่ 4.45 พบว่ายางที่มีปริมาณผงหนัง 30 phr PEG 3% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง และ OPE wax 3 phr นั้น ผงหนังมีการยึดเกาะกับยางได้ดี ไม่พบการหลุดออกของกลุ่มก้อนผงหนัง เนื่องจากแว็กซ์ช่วยเคลือบพื้นผิวผงหนังลดความมีขั้วของผงหนัง แต่ยางที่มีปริมาณผงหนัง 100 phr PEG 3% โดยน้ำหนักของปริมาณผงหนัง และ OPE wax 3 phr พบว่ามีการหลุดออกของกลุ่มก้อนผงหนัง เป็นที่ทราบดีว่าการใส่สารตัวเติมปริมาณมาก (High loading) เช่น ที่ 100 phr การผสมทำได้ยากต้องใช้เครื่องที่มีประสิทธิภาพ โดยผงหนังเป็นสารที่มีขั้วเมื่อใส่ปริมาณมากอาจเกิดการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนผงหนัง (Agglomerates) ซึ่งการผสมโดยใช้เครื่องในห้องปฏิบัติการอาจไม่สามารถทำให้ผงหนังกระจายตัวได้ทั้งหมด ยางจึงไม่สามารถแทรกเข้าไปยึดเกาะกับผงหนังได้ ทำให้ผงหนังเกิดการหลุดออก ซึ่งผลจากการศึกษาสัณฐานวิทยาสอดคล้องกับผลการทดสอบสมบัติเชิงกล กล่าวคือเกิดการลดลงอย่างมากของสมบัติ เช่น ค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็งแรงฉีกขาด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.45 สัณฐานวิทยาของยางผสมสูตร (ก1) L-35[NPOW3] และ (ข1) L-35[NPOW3]100 phr กำลังขยาย 100 เท่า (ก2) L-35[NPW3] และ (ข2) L-35[NPOW3]100 phr กำลังขยาย 2000 เท่า

4.6 ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนัง

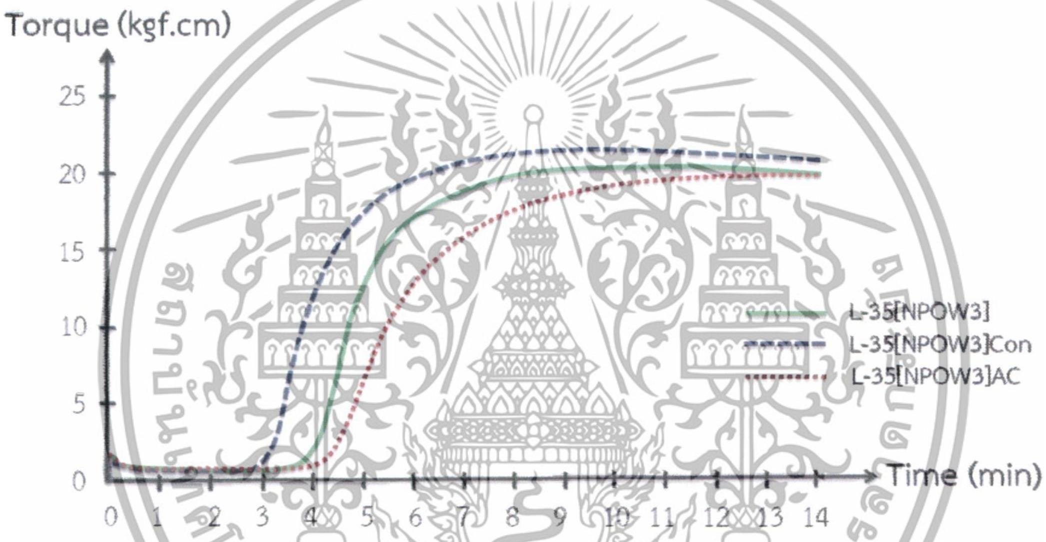
ผงหนังเป็นสารที่มีขั้วสามารถดูดน้ำได้ง่าย และเข้ากับยางธรรมชาติได้ไม่ดีนัก เนื่องจากสภาพขั้วที่แตกต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังโดยการเปรียบเทียบระหว่างยางสูตร L-35[NPOW3]Con ที่พื้นผิวผงหนังไม่ได้รับการเคลือบด้วย PEG และ OPE wax แต่มีการเติมผง PEG และ OPE wax ตอนผสมสูตรยาง ยางสูตร L-35[NPOW3] ใช้ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย OPE wax และเติมผง PEG ตอนผสมสูตรยาง และยางสูตร L-35[NPOW3]AC ใช้ผงหนังได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย PEG และ OPE wax โดยทำการเคลือบพื้นผิวผงหนังด้วย PEG ก่อน (เนื่องจากมีขั้วมากกว่า OPE wax) แล้วจึงทำการเคลือบด้วย OPE wax เพื่อให้ OPE wax ลงไปเคลือบพื้นผิวผงหนังบริเวณที่ยังไม่ได้รับการเคลือบด้วย PEG

4.6.1 การศึกษาพฤติกรรมการเชื่อมโยงของยางและความหนืดมูนนี่

จากรูปที่ 4.46 และตารางที่ 4.7 พบว่ายางทั้ง 3 สูตร (L-35[NPOW3], L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC) ที่ผงหนังได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกันมีค่าแรงบิดสูงสุดใกล้เคียงกัน และยางสูตร L-35[NPOW3]Con, L-35[NPOW3] และ L-35[NPOW3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เวลาการเชื่อมโยงยางเพิ่มขึ้นตามลำดับ จากเทอร์โมแกรมของผงหนังในภาคผนวก ก สังเกตได้ว่ามีการหายไปของน้ำหนักผงหนังที่ช่วงอุณหภูมิ 50-100°C แสดงว่าผงหนังยังคงมีน้ำที่อยู่ในโครงสร้างภายใน (Brown water) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดการแตกต่างของเวลาการเชื่อมโยงยาง เนื่องจากยาง L-35[NPOW3]Con ตอนผสมสูตรยางมีการใส่ผงหนังลงไปผสมกับยางก่อน แล้วจึงเติมผง PEG และ OPE wax ลงไปเคลือบพื้นผิวผงหนังทีหลัง ซึ่งกระบวนการนี้อุณหภูมิของเครื่องผสมอาจสามารถช่วยกำจัดน้ำบางส่วนในผงหนังได้ ซึ่งการเคลือบ PEG และแว็กซ์บนพื้นผิวผงหนังก่อนนั้น อาจเป็นสาเหตุทำให้เวลาในการเชื่อมโยงยางมากขึ้น เนื่องจากการกำจัดน้ำหรือการหลุดออกของน้ำที่ค้างอยู่ภายในผงหนังเกิดได้ยากขึ้นจึงต้องสูญเสียเวลาในการกำจัดน้ำนานขึ้น และจากวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังทั้ง 3 สูตร ที่มีการเติมสารเติมแต่งต่างๆ ปริมาณเท่ากันไม่ส่งผลต่อค่าความหนืดมูนนี่อย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.46 กราฟการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

ตารางที่ 4.7 ค่าความหนืดและค่าพฤติกรรมการเชื่องโยงที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

Sample	Mooney (ML (1+4) 100°C)	M_L (kgf.cm)	M_H (kgf.cm)	t_{s2} (s)	$t_{c(90)}$ (s)	CRI (s^{-1})
L-35[NPOW3]	29.7	0.8	20.5	246	390	0.69
L-35[NPOW3]Con	27.0	0.8	21.5	192	354	0.62
L-35[NPOW3]AC	26.8	0.8	20.0	273	513	0.42

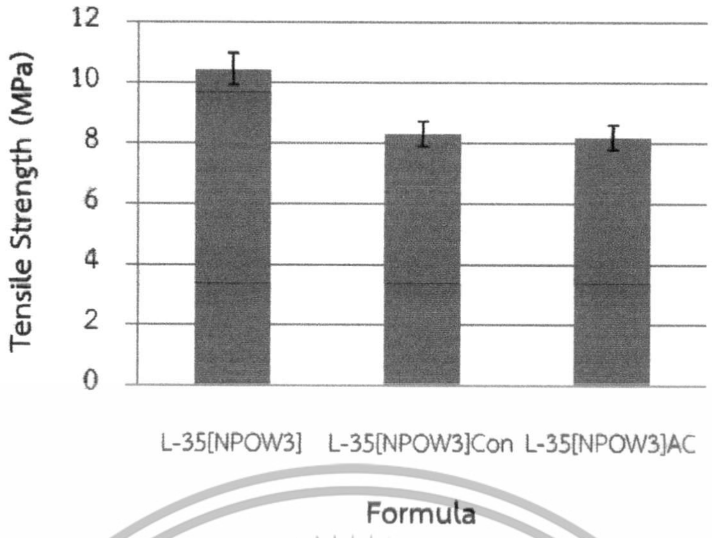
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 การศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการดูดซึมน้ำ

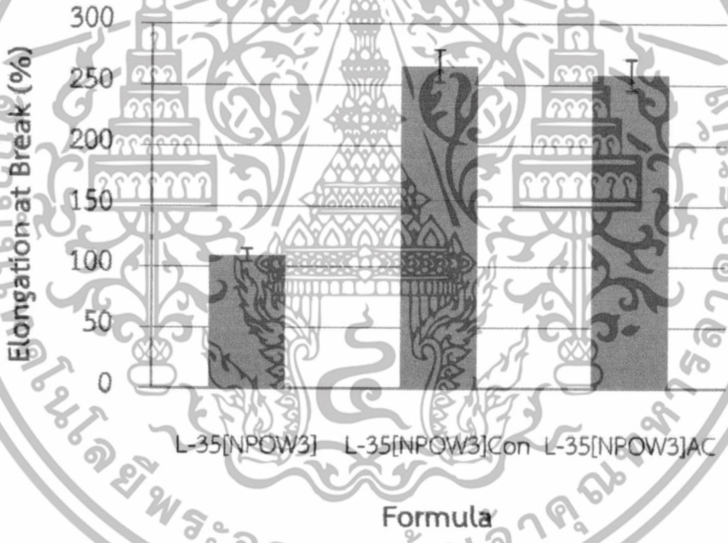
จากรูปที่ 4.47-4.54 พบว่ายางสูตร L-35[NPOW3] มีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% และค่าความแข็งกดมากกว่ายางสูตร L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC ซึ่งมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกัน และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด และค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวน้อยกว่ายางสูตร L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC ซึ่งมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกัน เนื่องจากยางสูตร L-35[NPOW3] ที่ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย OPE wax และเติมผง PEG ตอนผสมสูตรยาง เมื่อทำการผสมสูตรยาง PEG ที่เติมเข้าไปในระหว่างกระบวนการผลิตนั้นสามารถเข้าไปเคลือบพื้นผิวส่วนที่ไม่ได้รับการเคลือบด้วย OPE wax ทำให้ยางเกิดการดูดซับสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถันลดลง ยางจึงเกิดการเชื่อมโยงได้สมบูรณ์ ส่วนยางสูตร L-35[NPOW3]Con อาจเนื่องจากมีการเติมผง PEG และ OPE wax ตอนผสมสูตรยาง ทำให้ PEG และ OPE wax ไม่สามารถเข้าไปเคลือบพื้นผิวผงหนังได้อย่างทั่วถึง ทำให้ความหนาแน่นการเชื่อมโยงลดลง และ L-35[NPOW3]AC อาจเกิดจากการที่ PEG และ OPE wax อยู่ในรูปสารละลายเมื่อทำการเคลือบ OPE wax อาจไปเคลือบที่ส่วนที่มีขั้วของ PEG ได้ง่ายกว่าการไปเคลือบที่พื้นผิวผงหนัง ทำให้พื้นผิวผงหนังบางส่วนไม่ได้รับการปรับปรุง จึงดูดสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงและสารเชื่อมโยงกำมะถัน ดังนั้นความหนาแน่นการเชื่อมโยงจึงลดลง และจากค่าการสึกหรอ พบว่ายางสูตรทั้ง 3 สูตร ต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 4.55 พบว่าค่าการดูดซึมน้ำของยางทั้ง 3 สูตร (L-35[NPOW3], L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC) ที่ผงหนังได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกัน มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากทั้ง 3 สูตร แว็กซ์สามารถไปเคลือบพื้นผิวผงหนังได้เช่นเดียวกัน แม้ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกัน เพราะตอนผสมสูตรยางแว็กซ์สามารถเกิดการละลายและเคลื่อนที่ไปเคลือบพื้นผิวผงหนังได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

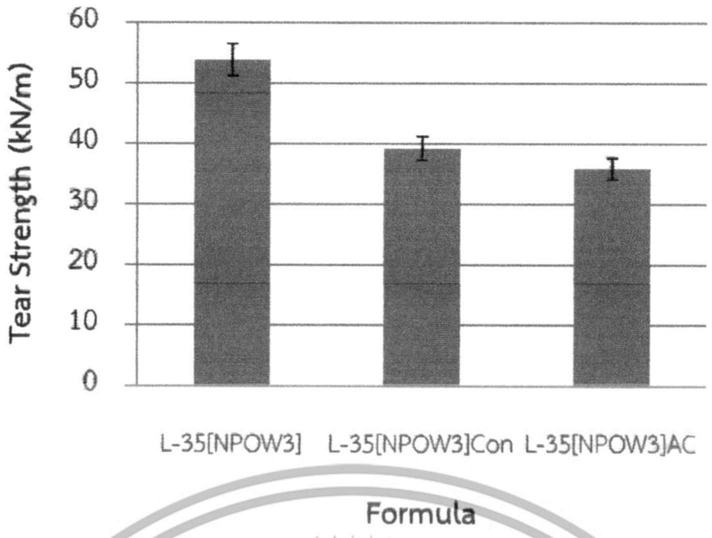


รูปที่ 4.47 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

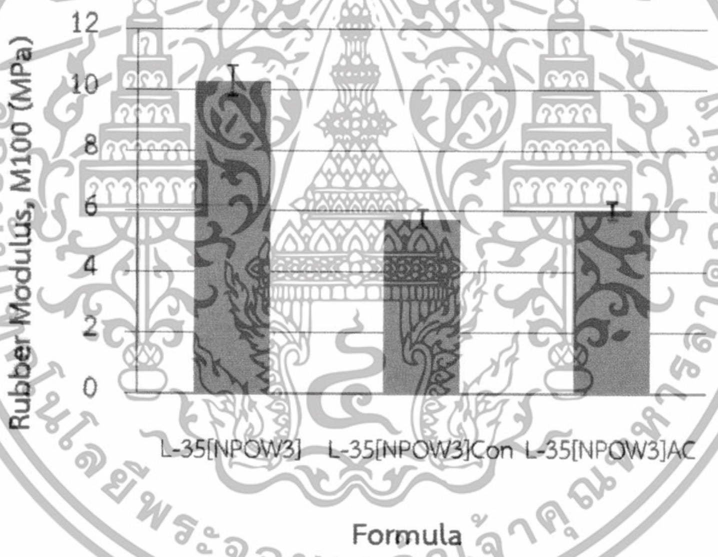


รูปที่ 4.48 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

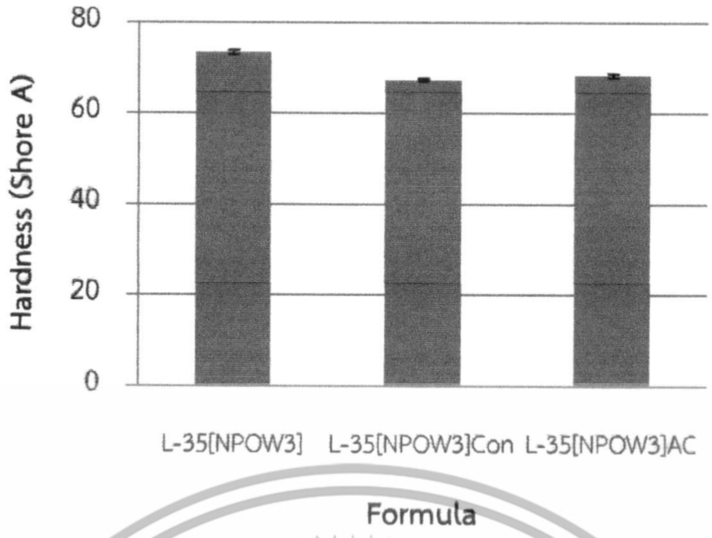


รูปที่ 4.49 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

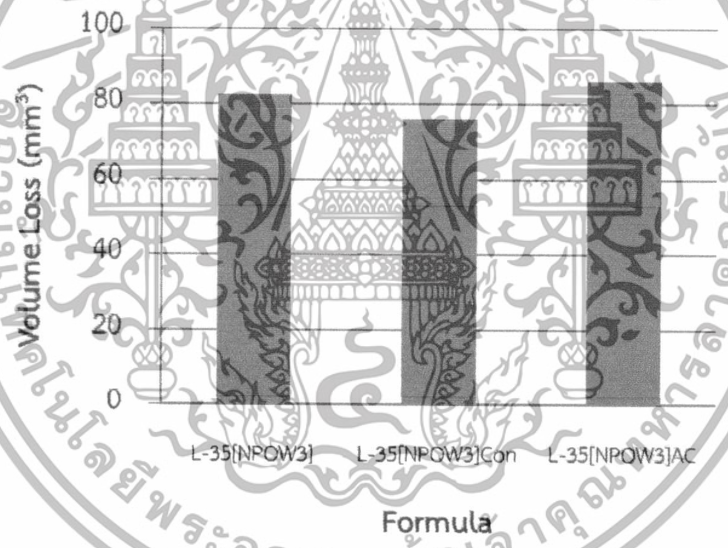


รูปที่ 4.50 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

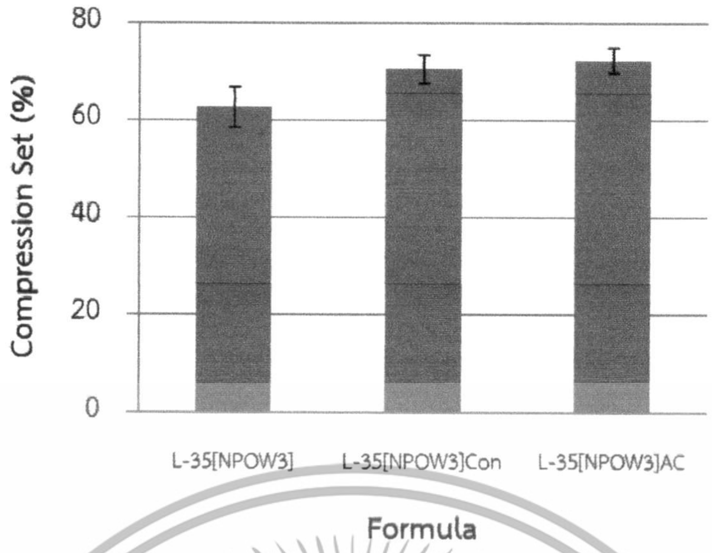


รูปที่ 4.51 ค่าความแข็งกดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

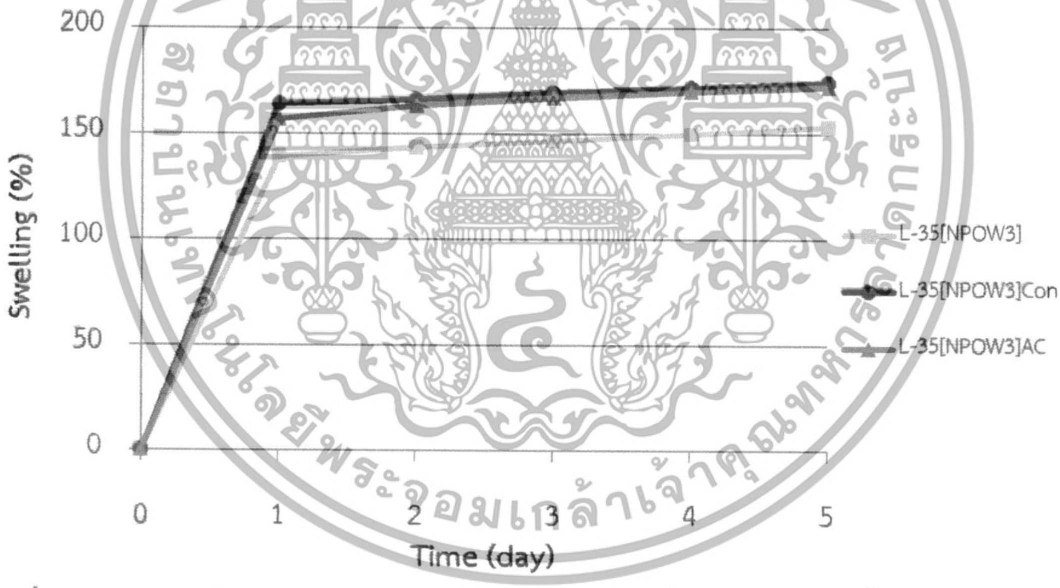


รูปที่ 4.52 ค่าการสึกหรอของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

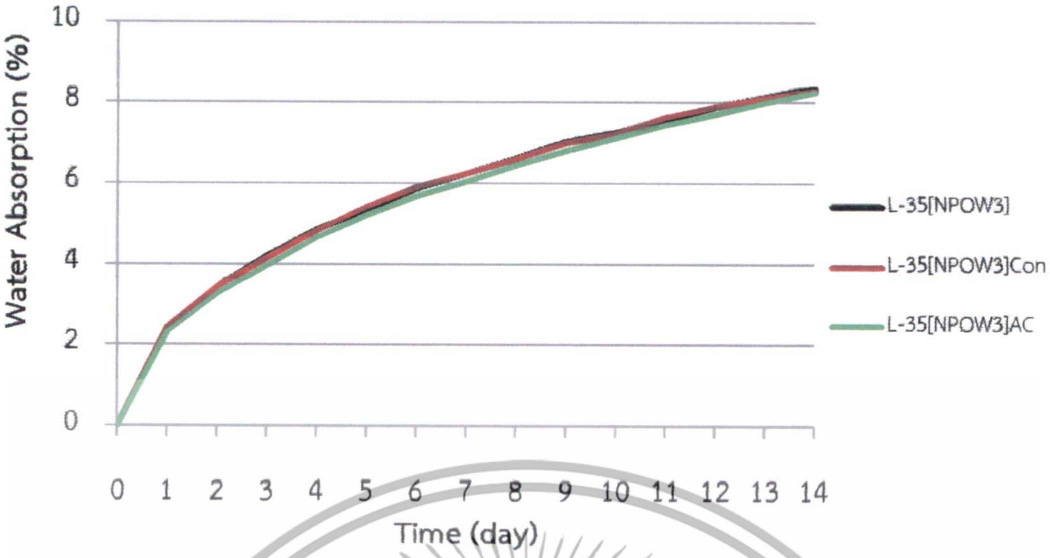


รูปที่ 4.53 ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน



รูปที่ 4.54 ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

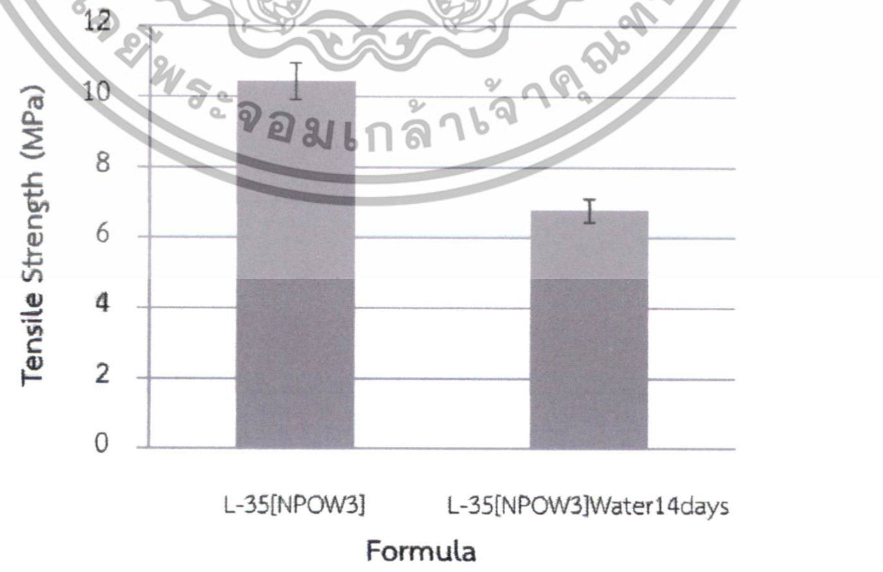
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.55 ค่าการดูดซึมน้ำของยางธรรมชาติผสมสูตรที่มีวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังต่างกัน

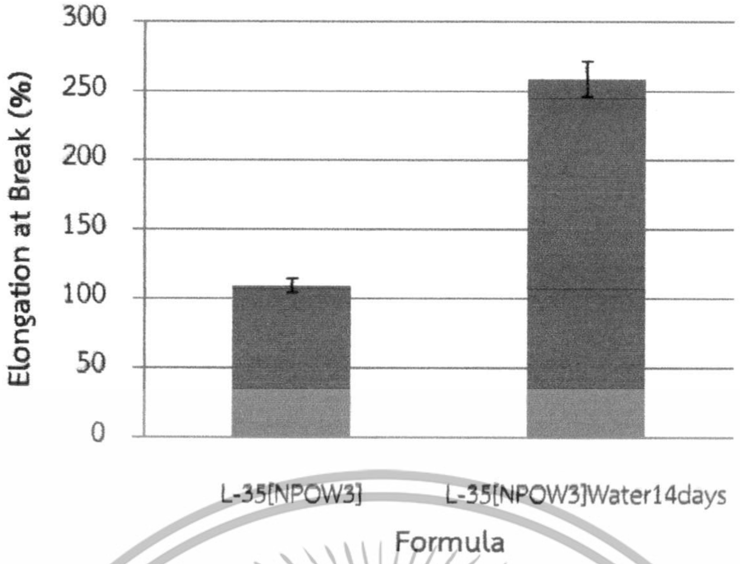
4.7 ศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3]

จากรูปที่ 4.56-4.59 แสดงสมบัติเชิงกลบางประการของยางสูตร L-35[NPOW3] ที่ไม่ได้แช่น้ำและแช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน พบว่ายางที่แช่น้ำมีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากยางที่แช่น้ำมีการดูดซึมน้ำเข้าไปในโครงสร้าง ซึ่งน้ำทำหน้าที่คล้ายพลาสติไซเซอร์ (Plasticizers) แทรกเข้าไปอยู่ระหว่างเส้นใยผงหนัง ทำให้เส้นใยผงหนังนิ่มขึ้น สายโซ่ของยางสามารถขยับได้ง่ายขึ้น ยางผสมสูตรจึงดึงยืดได้มากขึ้น

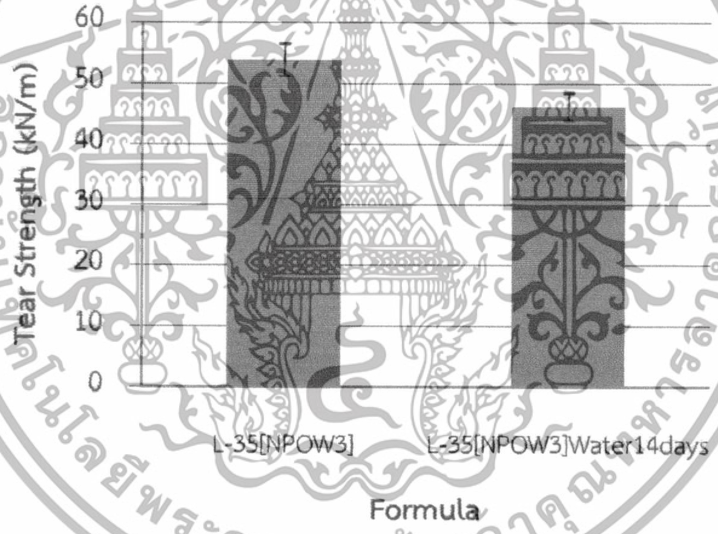


รูปที่ 4.56 ค่าความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

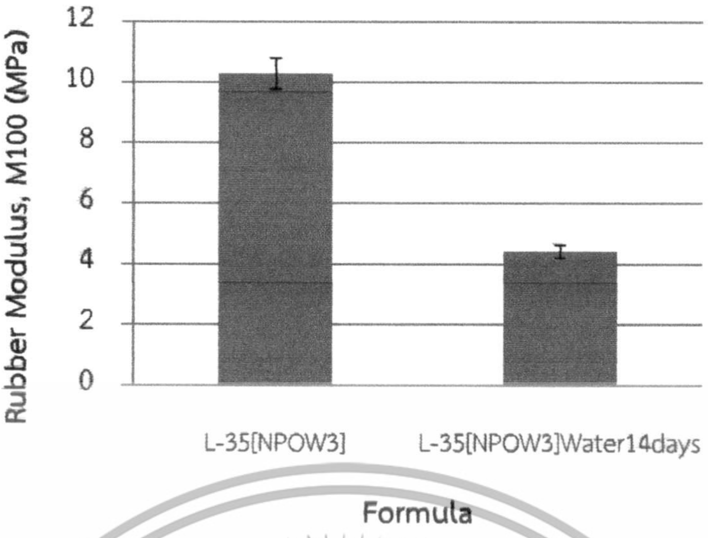


รูปที่ 4.57 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ



รูปที่ 4.58 ค่าความแข็งแรงฉีกขาดของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.59 ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% (M100) ของยางธรรมชาติผสมสูตร: ผลของการแช่น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมชีวภาพในยางธรรมชาติ โดยทำการศึกษาผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax) ผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr ผลของขนาดอนุภาคผงหนังฟอกฝาด ผลของปริมาณผงหนังฟอกฝาดที่ 30 และ 100 phr ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังฟอกฝาด และศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3]

- ผลของการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์ (PE wax และ OPE wax)

จากการทดลอง พบว่าเมื่อเติม PEG ทำให้เวลาเชื่อมโยงยางลดลง และสมบัติเชิงกลดีขึ้น การใช้ทั้ง PEG และแว็กซ์ร่วมกัน ทำให้สมบัติเชิงกลของยางดีที่สุด คือค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% และค่าความแข็งกดเพิ่มขึ้น และค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าการสึกหรอ ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด และค่าการดูดซึมน้ำของยางลดลง ซึ่งสมบัติดังที่กล่าวมาดีกว่าสูตรที่ไม่มีการใช้ PEG และแว็กซ์สังเคราะห์หรือสูตรที่ใช้อย่างใดอย่างหนึ่ง นอกจากนี้พบว่าแว็กซ์ทั้งสองชนิด (PE wax และ OPE wax) ให้สมบัติต่างๆ ของยางผสมสูตรไม่แตกต่างกัน

- ผลของปริมาณ OPE wax ที่ 1, 2 และ 3 phr

จากการทดลอง พบว่าปริมาณ OPE wax เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อความหนืดมูนนี่ แต่ทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และปริมาณ OPE wax ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงฉีกขาดมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดและค่าการสึกหรอมีค่าลดลง โดยที่ปริมาณ OPE wax 2 และ 3 phr มีค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของยางที่ 100% มากกว่า OPE wax ที่ 1 phr และที่ปริมาณ OPE wax 3 phr มีค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดน้อยที่สุด นอกจากนี้พบว่าที่ปริมาณ OPE wax 1, 2 และ 3 phr มีการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน

- ผลของขนาดอนุภาคผงหนังฟอกฝาด

จากการทดลอง พบว่าเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้เวลาเริ่มเชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงลดลงเล็กน้อย โดยมีดัชนีอัตราเร็วการเชื่อมโยงและแรงบิดสูงสุดใกล้เคียงกัน และเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้สมบัติเชิงกลลดลง โดยค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่าความแข็งกด และค่ามอดุลัสของยางที่ 100% มีค่าลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน และค่าการสึกหรอและค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดมีค่าน้อยที่สุดเมื่อผงหนังมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 35 mesh นอกจากนี้พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงทำให้ค่าการดูดซึมน้ำของยางผสมสูตรเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลของปริมาณผงหนังฟอกฝาดที่ 30 และ 100 phr

จากการทดลอง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังจาก 30 phr ไปเป็น 100 phr ทำให้เวลาเริ่ม-เชื่อมโยงและเวลาเชื่อมโยงยางเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดมูนนี่มีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าค่าความแข็งแรงดึง ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าความแข็งแรงฉีกขาด และค่าการสึกหรอมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนัง แต่ความแข็งกด ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด และค่าการดูดซึมน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณผงหนังเป็น 100 phr

- ผลของวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังฟอกฝาด

จากการทดลอง พบว่ายางทั้ง 3 สูตร (L-35[NPOW3], L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC) ที่ผงหนังได้รับการปรับปรุงพื้นผิวด้วยวิธีที่แตกต่างกันมีค่าแรงบิดสูงสุดใกล้เคียงกัน และยางสูตร L-35[NPOW3]AC ที่ผงหนังได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย PEG และ OPE wax ใช้เวลาการเชื่อมโยงมากที่สุด พบว่ายางสูตร L-35[NPOW3] ที่ผงหนังที่ได้รับการเคลือบพื้นผิวด้วย OPE wax และเติมผง PEG ตอนผสมสูตรยาง มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด โดยมีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% และค่าความแข็งกดมากกว่ายางสูตร L-35[NPOW3]Con ที่ทำการเติมผง PEG และ OPE wax ตอนผสมสูตรยางและยางสูตร L-35[NPOW3]AC และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ค่าการเสียรูปถาวรหลังการกดอัด และค่าเปอร์เซ็นต์การบวมตัวน้อยกว่ายางสูตร L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC ซึ่งยางสูตร L-35[NPOW3]Con และ L-35[NPOW3]AC นั้นมีสมบัติต่างๆ ใกล้เคียงกันทุกสมบัติ นอกจากนี้พบว่าทั้ง 3 สูตรมีค่าการดูดซึมน้ำใกล้เคียงกัน

- ศึกษาปัจจัยการแช่น้ำต่อสมบัติเชิงกลของยางสูตร L-35[NPOW3]

จากการทดลอง พบว่ายางสูตร L-35[NPOW3] ที่แช่น้ำเป็นเวลา 14 วัน มีค่าความแข็งแรงดึง ค่าความแข็งแรงฉีกขาด ค่ามอดุลัสของยางที่ 100% ลดลง แต่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับยางสูตร L-35[NPOW3] ที่ไม่ได้แช่น้ำ

จากการทดลอง พบว่าผงหนังชนิดฟอกฝาดที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงพื้นผิวด้วยแว็กซ์สังเคราะห์สามารถใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติได้ เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังด้วยแว็กซ์แว็กซ์สามารถช่วยลดการดูดน้ำของผงหนัง สมบัติเชิงกลของยางผสมสูตรจึงดีขึ้น แต่ยังคงต้องมีการเติม PEG เพื่อลดการดูดสารกระตุ้นและสารเร่งปฏิกิริยาการเชื่อมโยงของผงหนัง ทำให้เวลาเชื่อมโยงลดลงและยางเกิดการเชื่อมโยงได้อย่างสมบูรณ์มากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการใช้ผงหนังฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมในยางชนิดอื่นๆ เช่น ยางไนไทรล์ (Nitrile rubbers; NBR) เพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกในการใช้ผงหนังฟอกฝาดเป็นสารตัวเติม

2. ควรศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวผงหนังฟอกฝาดเพื่อให้ผงหนังฟอกฝาดดูดน้ำน้อยลง เช่น การเปลี่ยนสารเคลือบหรือเปลี่ยนสารเติมแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ควรศึกษาการใช้เศษผงหนังฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องการการดูดความชื้นหรือดูดน้ำสูง เช่น กระถางต้นไม้

4. ควรศึกษาผลของผงหนังฟอกฝาดที่มีต่อสมบัติอื่นๆ เช่น ผลของแทนนินบนพื้นผิวผงหนังฟอกฝาดที่มีต่ออายุการใช้งาน ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย (Antibacterial) ของยางผสมสูตร ฯลฯ

5. ควรศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างการใช้ผงหนังฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมในยางกับการใช้ผงหนังฟอกโครมเป็นสารตัวเติมในยาง ว่าให้สมบัติที่เหมือนหรือแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ชุติมณฑ์ ฝอยหิรัญ. 2536. **หัตถกรรมงานหนัง.** กรุงเทพฯ : ที.พี.พริ้นท์.

[2] ชนินทร์ จิตต์โกมุท. 2551. **ความรู้เรื่องเครื่องหนัง.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] ฐิติภา สิริวณิชพงศ์, ธนิสรา ถนอมมิตร และวารุณี นิพนธ์กิจ. 2556. **การศึกษาผงหนังชนิดฟอกฝาดเป็นสารตัวเติมสำหรับยางธรรมชาติ.** โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 2555. **เอกสารเผยแพร่อุตสาหกรรมน่ารู้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอุตสาหกรรมรองเท้าและเครื่องหนัง.** กรุงเทพฯ : วงศ์สว่างพับลิชชิ่ง.

[5] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2557. **รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมเครื่องหนังและรองเท้า เดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ ปี 2557 การส่งออก.** [Online]. Available : http://www.thaitextile.org/main/documents/อุตสาหกรรมรองเท้าและเครื่องหนังเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2557.pdf.

[6] ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอรอุษา ศิริคุตต์. 2548. "การสังเคราะห์วัสดุประกอบคล้ายหนัง จากพีวีซีและเศษหนังสัตว์." *วิศวสารลาดกระบัง.* 22(3) : 13-18.

[7] จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2553. **เทคโนโลยียางธรรมชาติ.** กรุงเทพฯ : เทคโนบิซ คอมมิวนิเคชั่นส์

[8] พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. **สารเคมียาง.** กรุงเทพฯ : ศูนย์เทคโนโลยีและโลหะวัสดุแห่งชาติ

[9] อิทธิพล แจ้งชัด. 2557. **เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีการยาง.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[10] U.S. National Library of Medicine. 2014. **2,2'-DIBENZOTHIAZYL DISULFIDE.** [Online]. Available : http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search/a?dbs+hsdb:@term+@DOCNO+1137.

[11] Tanmay Mahajan. 2014. **Tetramethylthiuram disulfide.** [Online]. Available : http://alphachemika.tradeindia.com/tetramethylthiuram-disulfide–611067.html.

[12] bioWORLD. 2014. **Material Safety Data Sheet - PEG 4000 (Polyethylene glycol).** [Online]. Available : http://www.bio-world.com/msds/41600044/PEG-Polyethylene-glycol.html.

[13] The Dow Chemical Company. 2014. **CARBOWAX™ Polyethylene Glycol (PEG) 4000.** [Online]. Available :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

http://www.dow.com/webapps/lit/litorder.asp?filepath=polyglycols/pdfs/noreg/118-01804.pdf.

[14] อิทธิพล แจ้งชัด. 2557. **Polymer Additives: Waxes.** [สไลด์]. กรุงเทพฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[15] Endlein, E. and Peleikis, K.H. 2011. "Natural Waxes–Properties, Compositions and Applications" *SOFW Journal.* 137 : 1-8.

[16] Vessel Chemical Co., Ltd. 2014. **โพลีเอททีลีนแวกซ์ (POLYETHYLENE WAX).** [Online]. Available : http://www.vessel-chemical.com/Default.aspx?pageid=16.

[17] บริษัท ไทยโพลีเคมิคอล จำกัด. 2557. **ออกซิไดซ์โพลีเอททิลีนแวกซ์.** [Online]. Available : http://thaipolychemical.page.tl/%26%233629%3B%26%233629%3B%26%233585%3B%26%233595%3B%26%233636%3B%26%233652%3B%26%233604%3B%26%233595%3B%26%233660%3B%26%233650%3B%26%233614%3B%26%233621%3B%26%233637%3B%26%233648%3B%26%233629%3B%26%233607%3B%26%233636%3B%26%233621%3B%26%233637%3B%26%233609%3B%26%233649%3B%26%233623%3B%26%233585%3B%26%233595%3B%26%233660%3B.htm.

[18] สาขาวิชาเคมี โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์. 2557. **สารชีวโมเลกุล.** [Online]. Available : http://www.mwit.ac.th/~t2040113/data/Biochemistry/Biochem_5ed.pdf.

[19] ดวงใจ ลิ้มสกุล และพิสมัย เลิศวัฒนะพงษ์ชัย. 2542. "กว่าจะมาเป็นเครื่องหนังสวยสวย." *กรมวิทยาศาสตร์.* 47(149) : 13-16.

[20] ณัฐวัฒน์ โสมดี. 2554. **การประยุกต์พระราชดาริเศรษฐกิจพอเพียงเพื่อสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นงานหัตถกรรมสาขาเครื่องหนังของจังหวัดเชียงใหม่.** โครงการวิจัยของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่.

[21] สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2557. **บทที่ 2 โครงสร้างของอุตสาหกรรมรองเท้าและเครื่องหนัง.** [Online]. Available : sci.flas.kps.ku.ac.th/course/leather.doc.

[22] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2557. **"คู่มือมาตรฐานการตรวจสอบโรงงานฟอกหนัง."** [Online]. Available : www.diw.go.th/km/factory/pdf/ฟอกหนัง.pdf

[23] สุปรีณา ศรีใสคำ. 2552. **ผลของการใช้ใบและก้านสะเดาในอาหารแพะเนื้อต่อกระบวนการหมักในกระเพาะหมักและสมรรถนะการผลิต.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] ฤทัยรัตน์ น้อยคนดี. 2551. **สารสกัดแทนนินจากใบมันสำปะหลังเพื่อการบำบัดคุณภาพน้ำเสีย.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิทยาลัยสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[25] ณัฐนันท์ โพชนา, ภัทราพร เอี่ยมสุข และอาทร ทับทิมทอง. 2555. **การใช้ประโยชน์เศษผงหนังธรรมชาติเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ.** โครงงานพิเศษ ภาควิชาเคมี สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[26] ถิรานันท์ ถือชาติ และวิรัญญา แก้ววัฒนะ. 2552. **การปรับปรุงสภาพผิวของซีโอไลท์จากธรรมชาติเพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ.** โครงการวิจัยแห่งชาติ: การวิจัยขนาดเล็กเรื่องยางพารา สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

[27] Chronska, K. Przepiorkowska, A. and Zaborski, M. 2007. "Chrome-Tanned Leather Shavings as a Filler of Butadiene–Acrylonitrile Rubber." *Journal of Hazardous Materials.* 141 : 252-257.

[28] ไพศาล นาคพิพัฒน์ และอมรรัตน์ สุนทรพงศ์. 2548. "การสังเคราะห์วัสดุประกอบพอลิเอทิลีนและเศษผงหนัง." *วิศวสารลาดกระบัง.* 22(3) : 19-23.

[29] American Standard for Testing and Materials. 2013. "Standard Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers Tension." ASTM D412. *Annual Book of ASTM Standards.* 9 : 1-14.

[30] American Standard for Testing and Materials. 2012. "Standard Test Method for Tear Strength of Conventional Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers." ASTM D624. *Annual Book of ASTM Standards.* 9 : 1-9.

[31] American Standard for Testing and Materials. 2010. "Standard Test Method for Rubber Property-Durometer Hardness." ASTM D2240. *Annual Book of ASTM Standards.* 9 : 1-13.

[32] Deutsches Institut für Normung. 1977. "Testing of Rubber and Elastomers; Determination of Abrasion Resistance." DIN 53516:1987-06. *DIN Standards.* 6 : 2-6.

[33] American Standard for Testing and Materials. 2014. "Standard Test Method for Rubber Property-Compression Set." ASTM D395. *Annual Book of ASTM Standards.* 9 : 1-6.

[34] American Standard for Testing and Materials. 2014. "Standard Test Method for Rubber Property-Effect of liquids." ASTM D471. *Annual Book of ASTM Standards.* 6 : 1-13.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[35] American Standard for Testing and Materials. 2000. "Standard Test Method for Water Absorption of Plastics." ASTM D570. *Annual Book of ASTM Standards.* 8 : 32-35.

[36] Peterson, D J. Vyazovkin, S. and Wight, A C. 2001. "Kinetics of the Thermal and Thermo-Oxidative Degradation of Polystyrene, Polyethylene and Poly(propylene)." *Macromol. Chem. Phys.* 202(6) : 775-784.

[37] Vanderbilt Chemicals, LLC. 2015. **Non-Black Fillers For Rubber.** [Online]. Available : http://www.vanderbiltchemicals.com/ee_content/Documents/Technical/Non-Black_Fillers_Web.pdf

[38] ขวัญฤทัย บุญส่ง, จุฑาทิพย์ อาจชมภู และเดี่ยว สายจันทร์. 2555. "ประสิทธิภาพการลดพลังงานการผสมและสมบัติเชิงกลของยางวัลคาไนซ์จากยางธรรมชาติซิลิกามาสเตอร์แบท." *วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ.* 1(1) : 241-250.

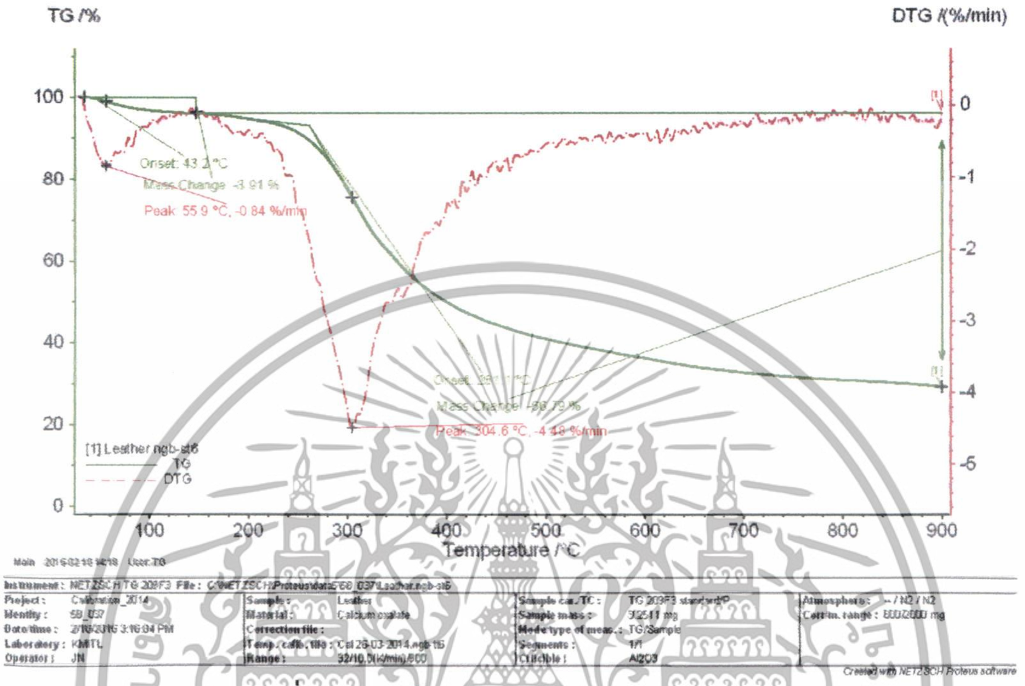
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

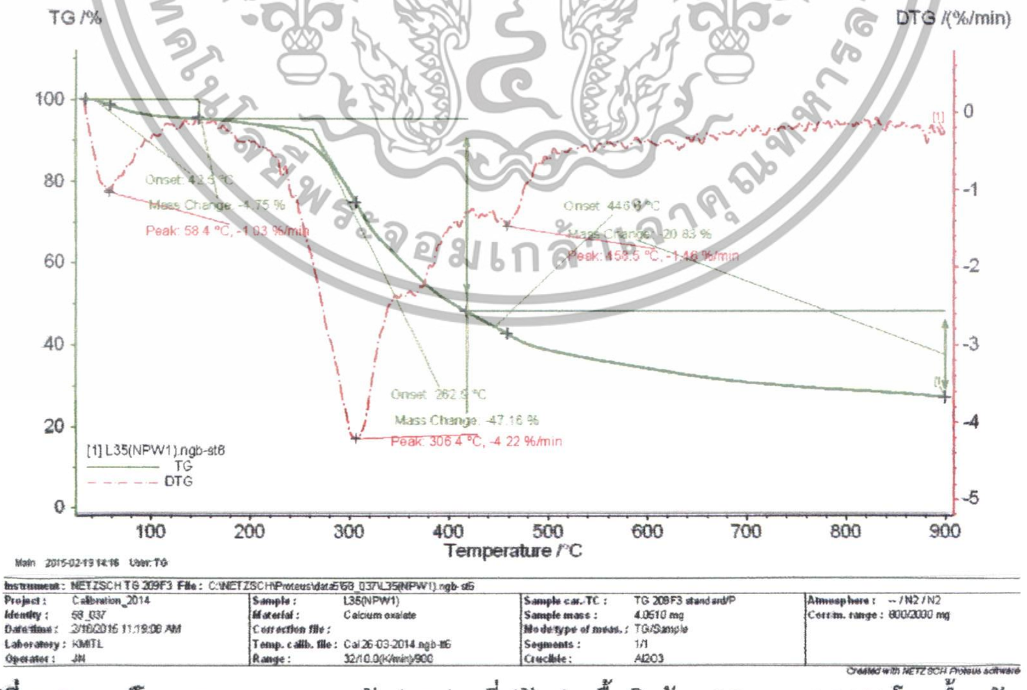
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การตรวจวิเคราะห์ผงหนังด้วยเทคนิคทางความร้อน (Thermogravimetric analysis; TGA)

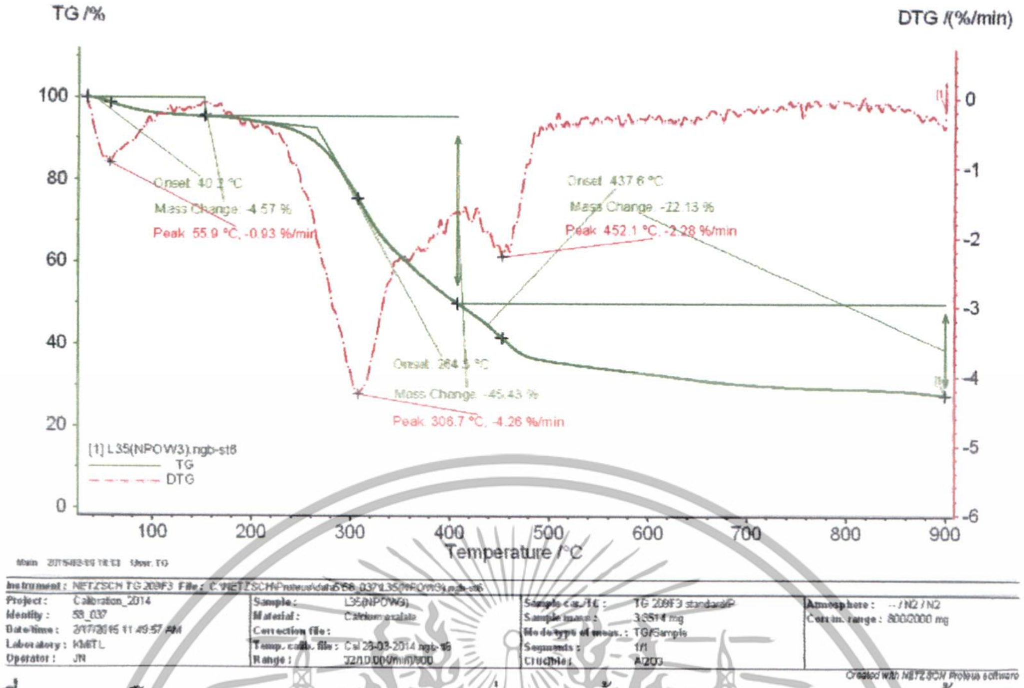


รูปที่ ก-1 เทอร์โมแกรมของเศษผงหนังฟอกฝาด



รูปที่ ก-2 เทอร์โมแกรมของเศษผงหนังฟอกฝาดที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย PE wax 3.33% โดยน้ำหนักของผงหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

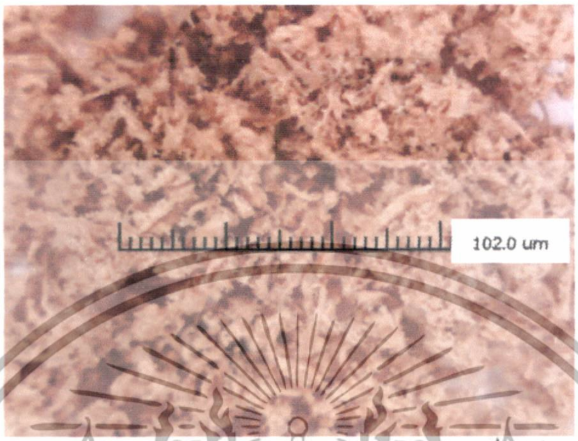


รูปที่ ก-3 เทอร์โมแกรมของเศษผงหนังฟอกฝาดที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย OPE wax 10% โดยน้ำหนักของผงหนัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

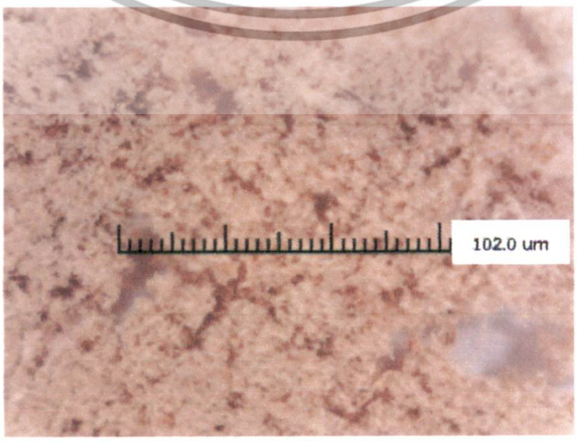
ภาคผนวก ข

การศึกษาสัณฐานวิทยาของเศษผงหนังฟอกฝาดด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope; OM)



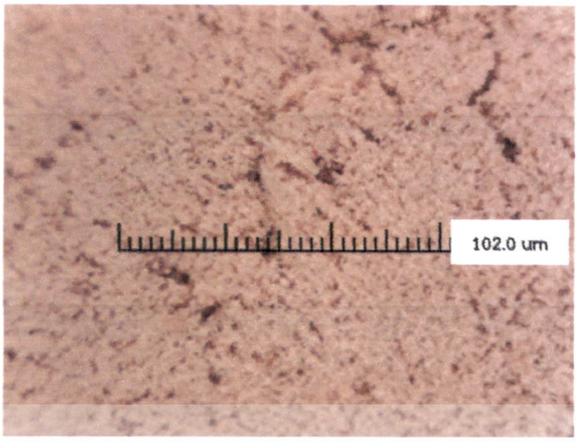
รูปที่ ข-1 สัณฐานวิทยาของเศษผงหนังฟอกฝาดขนาดเล็กกว่า 35 mesh

รูปที่ ข-2 สัณฐานวิทยาของเศษผงหนังฟอกฝาดขนาด 51-100 mesh



รูปที่ ข-3 สัณฐานวิทยาของเศษผงหนังฟอกฝาดขนาด 101-150 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 สัณฐานวิทยาของเศษผงหนังฟอกฝาดขนาด 151-200 mesh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร
วัน เดือน ปีเกิด	27 เมษายน พ.ศ. 2534
ที่อยู่ปัจจุบัน	242/5 ม.10 ต.วังใหม่ อ.นายายอาม จ.จันทบุรี 22170
ประวัติการศึกษา	2555 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม เกรดเฉลี่ย 3.14 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการศึกษาในระดับปริญญาโทของคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
ผลงานทางวิชาการ	Saksasitorn, S. and Jangchud, I. 2015. "Study of Vegetable Tanned Leather Flour as Bio-filler for NR: Effects of Wax Treatment." 420-423. In **Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON2015).** Bangkok.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้