สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หอสมุดคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ

นางสาวผอบ พิทักษ์ฉนวน

นางสาวศศิธร เชิญชัยวชิรากุล

ปพ.
ผ232ท
2535

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

b17531522

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMOPLASTIC ELASTOMER OF POLYPROPYLENE AND NATURAL RUBBER BLENDS

Miss Pa-ob Pituckchanuan

Miss Sasitorn Chernchaivachirakul

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment

Reguirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1992

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของ
พอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ

โดย นางสาวผอบ พิทักษ์ฉนวน
นางสาวศศิธร เชิญชัยวชิรากุล

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต

_____ หัวหน้าภาควิชาเคมี
(ดร. ธีรวัฒน์ มงคลอัศวรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ

_____ ประธานกรรมการ
(ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล)

_____ กรรมการ
(อ.คณิตา รุ่งหิรัญรักษ์)

_____ กรรมการ
(ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล)

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ
นักศึกษา	นางสาวผอบ พิทักษ์ฉนวน
	นางสาวศศิธร เชิญชัยวชิรากุล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2534

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ ได้แก่ วิธีการผสม ชนิดของสารเชื่อมโยง ปริมาณของพลาสติกพอลิโพรพิลีน และสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในพอลิเมอร์ผสม โดยทำการผสมพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิในช่วง 178-179 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

จากการศึกษาพบว่า สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงวิธีการผสมเป็นยางผสมสูตรก่อนและการผสมตามลำดับขั้นตอนมีค่าใกล้เคียงกัน การศึกษาการใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ พบว่า ถ้าปริมาณของยางธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสมมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ DCP เป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสม แต่เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนมากกว่า 60 เปอร์เซนต์ เรซินฟีนอลิกกับซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสม เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อใช้สารตัวเติมเขม่าดำ ซิลิกา หรือแคลเซียมคาร์บอเนตในปริมาณ 50 phr. จะทำให้ความแข็งแรงดึง และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดลดลงอย่างมาก แต่ผลิตภัณฑ์มีความแข็งเพิ่มขึ้น การนำพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ ในอัตราส่วน 90: 10 และ 80:20 กลับมาใช้ใหม่ จะทำให้สมบัติเชิงกลเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ 1 ครั้งและ 2 ครั้ง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Totle	THERMOPLASTIC ELASTOMER OF POLYPROPYLENE AND NATURAL RUBBER BLENDS
Name	Miss Pa-ob Pituckchanuan Miss Sasitorn Chernchaivachirakul
Special Project Advisor	Dr. Nipon Wongvisetsirikul
Department	Chemistry
Acadamic Year	1991

Abstract

This project was to study the factors affecting TPNR's properties. The study was vary by mixing methods, crosslinking agents, contents of PP and fillers in polyblends. The mixing between NR and PP was operated in brabender plasticorder at temperature between 178-179 C ,the rotor speed at 50 rpm.

From the study found that the polyblends from various mixing methods were similarly in mechanical properties. In various crosslinking agents shown that when amount of NR more than 50 % , DCP is the best, but when PP content more than 60 % the suitable crosslinking agent is phenolic resin/ZnO. When increasing amount of PP gave the product of higher mechanical properties. However,when using carbon black , silica or calcium carbonate 50 phr as fillers,the tensile strength and % elongation were decreased,but product increased in hardness . Recycling PP/NR blends of the ratio 90:10 and 80:20,the mechanical properties were little change when recycle 1 and 2 times respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษสิริกุล ที่กรุณาให้คำปรึกษาและให้การช่วยเหลือในการดำเนินโครงงานพิเศษนี้ ขอขอบคุณ ผศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และอาจารย์คณิตา รุ่งหิรัญรักษ์ คณะกรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษ ที่ช่วยตรวจสอบและแก้ไขโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ บริษัทยางสยาม จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเครื่องมือที่ใช้ในโครงงานพิเศษ ขอขอบคุณบริษัท เอช เอ็ม ซี โปลีเมอส์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านเม็ดพลาสติก ท้ายสุดขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านและเพื่อน ๆ นักศึกษาภาควิชาเคมีทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจจนโครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ผอบ พิทักษ์ฉนวน
ศศิธร เชิญชัยวชิรากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	35
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	78
ภาคผนวก	80
เอกสารอ้างอิง	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่3.1	แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่งเป็นสารเชื่อมโยง	33
ตารางที่3.2	แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	33
ตารางที่3.3	แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกกับซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	34
ตารางที่3.4	แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อไม่มีการวัลคาไนซ์	34
ตารางที่4.1	แสดงลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงและสารตัวเติมต่าง ๆ	39
ตารางที่6.1	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยทำเป็นยางผสมสูตรก่อน	82
ตารางที่6.2	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน	83
ตารางที่6.3	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ TMTM เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สารบัญตาราง</u>(ต่อ)

		หน้า
ตารางที่6.4	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MBTS เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน	85
ตารางที่6.5	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยงโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน	86
ตารางที่6.6	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยงโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน	87
ตารางที่6.7	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	88
ตารางที่6.8	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ	89
ตารางที่6.9	แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วน 90:10 เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยการผสมตามลำดับขั้นตอน	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

หน้า

ตารางที่6.10 แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในอัตราส่วน 80:20 เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยการผสมตามลำดับขั้นตอน 91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่2.1	เปรียบเทียบขบวนการขึ้นรูประหว่างเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์กับยางเทอร์โมเซท	7
รูปที่2.2	แสดงช่วงความแข็งของยางเทอร์โมพลาสติก ยางชนิดต่าง ๆ และพลาสติก	8
รูปที่2.3	ผลของปริมาณพอลิโพรพิลีนที่มีต่อความทนทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	12
รูปที่2.4	ผลของปริมาณพอลิโพรพิลีนที่มีต่อการยืดของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	13
รูปที่2.5	ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกและพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-บิวตะไดอีนสไตรีน	14
รูปที่2.6	ผลของปริมาณไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก	15
รูปที่4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง	36
รูปที่4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ TMTM เป็นสารตัวเร่ง	37
รูปที่4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MBTS เป็นสารตัวเร่ง	38
รูปที่4.4	แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีในการผสมต่างกัน	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่4.5 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีในการผสมต่างกัน 43

รูปที่4.6 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีในการผสมต่างกัน 43

รูปที่4.7 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีในการผสมต่างกัน 44

รูปที่4.8 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีในการผสม 44

รูปที่4.9 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 80:20 โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่งเมื่อใช้วิธีการผสมเป็นยางผสมสูตรก่อน กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 45

รูปที่4.10 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 80:20 โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่งเมื่อใช้วิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่4.11 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้วิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน 46

รูปที่4.12 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้วิธีในการผสมตามลำดับขั้นตอน 47

รูปที่4.13 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้วิธีในการผสมตามลำดับขั้นตอน 47

รูปที่4.14 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้วิธีในการผสมตามลำดับขั้นตอน 48

รูปที่4.15 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อใช้วิธีในการผสมตามลำดับขั้นตอน 48

รูปที่4.16 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

		หน้า
รูปที่4.17	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	51
รูปที่4.18	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	51
รูปที่4.19	แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	52
รูปที่4.20	แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	52
รูปที่4.21	แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	53
รูปที่4.22	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	54
รูปที่4.23	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆโดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สารบัญภาพ</u>(ต่อ)

		หน้า
รูปที่4.24	แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	55
รูปที่4.25	แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง	55
รูปที่4.26	แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	56
รูปที่4.27	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	57
รูปที่4.28	แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	57
รูปที่4.29	แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	58
รูปที่4.30	แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง	58
รูปที่4.31	แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่4.32 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ 60

รูปที่4.33 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ 61

รูปที่4.34 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ 62

รูปที่4.35 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ 63

รูปที่4.36 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 90:10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 65

รูปที่4.37 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 90:10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 65

รูปที่4.38 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 90:10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 66

รูปที่4.39 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 90:10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 66

รูปที่4.40 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 67

รูปที่4.41 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่4.42 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 68

รูปที่4.43 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่ 68

รูปที่4.44 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิ-โพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ 69

รูปที่4.45 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ 69

รูปที่4.46 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 72

รูปที่4.47 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติม กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 72

รูปที่4.48 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่4.49 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 90:10 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 74

รูปที่4.50 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 80:20 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 74

รูปที่4.51 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 70:30 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 75

รูปที่4.52 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 75

รูปที่4.53 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 50:50 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สารบัญภาพ</u>(ต่อ)

หน้า

รูปที่4.54 แสดงภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสม ระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 40:60 เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่ง TMTM เป็นสารเชื่อมโยง กำลังขยาย 400 เท่า มุมanalyzer 0 องศา 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หอสมุดคณะวิทยาศาสตร์ มจธ.

บทที่ 1
บทนำ

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาพอลิเมอร์ชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมาโดยการนำเทอร์โมพลาสติกผสมกับอีลาสโตเมอร์ เพื่อใช้ในการผลิตพอลิเมอร์ผสมโดยเป็นการนำเอาคุณสมบัติที่ดีของพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดไว้ด้วยกัน พอลิเมอร์ผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกและอีลาสโตเมอร์ เรียกว่า เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (TPE)

ได้มีการนำเอาเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ มาใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เหมือนกับพอลิเมอร์จำพวกยางเทอร์โมเซทและพลาสติกอื่น ๆ และเป็นคู่แข่งที่สำคัญเพราะได้มีการนำมาใช้งานแทนยางวัลคาไนซ์กันมากมาย สามารถนำไปใช้ทดแทนพอลิไวนิลคลอไรด์ หรือ พลาสติกอื่น ๆ ที่มีความยืดหยุ่นไปจนถึงวัสดุที่มีความแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการผสม (blends) ระหว่างเรซินเทอร์โมพลาสติกและอีลาสโตเมอร์ทำได้หลายชนิด และด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ กัน ซึ่งจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติแตกต่างกันไปตามความต้องการ นอกจากนี้กระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติก-อีลาสโตเมอร์ไม่ยุ่งยากและมีขั้นตอนการผลิตน้อยกว่ายางเทอร์โมเซทมาก สามารถใช้กับเครื่องจักรในการผลิตเทอร์โมพลาสติกทั่ว ๆ ไปได้ โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนในการวัลคาไนซ์สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้และมีต้นทุนการผลิตต่ำ ได้มีการศึกษาและพัฒนาการผสมกันระหว่างยางกับพลาสติกชนิดต่าง ๆ ดังนี้

ในปีค.ศ.1970 P.F.Hartman, C.L.Eddy และ G.P.Koo[11] ได้ทำการศึกษาการผลิตยางเทอร์โมพลาสติก โดยใช้ยางบิวทิลผสมกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้อัตราส่วนของพอลิเอทิลีนต่อยางบิวทิลตั้งแต่ 3:1 ไปจนถึง 1:1 โดยใช้เครื่องผสมระบบปิด และใช้เรซินฟีนอลลิกเป็นสารวัลคาร์ไนซ์ พบว่า สมบัติเชิงกลของยางเทอร์โมพลาสติกจะอยู่ในช่วงระหว่างพลาสติกและยาง ในปีเดียวกัน G.V. Strate และ Z.W. Wilchinsky ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิเมอร์ร่วมของยางเอทิลีน-โพรพิลีน (Ethylene propylene rubber) กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและชนิดความหนาแน่นต่ำ

ในปี ค.ศ.1976 J.R.Falender, S.E.Lindsey และ J.C.Saam[11] ได้ทำการศึกษาการผสมกันระหว่างยางซิลิโคนกับพอลิเอทิลีน โดยทำการผสมพอลิไดเมทิล-ไซลอกเซนกับพอลิเอทิลีนในเครื่องผสมแบบใช้แรงเฉือนเพื่อให้เกิดอนุมูลอิสระ ในระหว่างการผสมจะเกิดอนุมูลอิสระ ซึ่งจะทำให้เกิดปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชัน และการเชื่อมโยง ปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันจะมีการเติมอนุมูลอิสระของพอลิเอทิลีนในพันธะคู่ของวัฏภาคซิลิโคน หรือเกิดปฏิกิริยาการควบคู่ระหว่างอนุมูลอิสระของพอลิเอทิลีนและยางซิลิโคน จากการศึกษาพบว่ามีการเชื่อมโยงเกิดขึ้นในวัฏภาคของซิลิโคน และสามารถควบคุมปฏิกิริยากราฟท์โคพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยจำนวนของพันธะคู่ในวัฏภาคของยาง

ปี ค.ศ.1978 D.J.Elliott[11] ได้ทำการศึกษาของผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโอเลฟิน ได้แก่ พอลิโพรพิลีนโดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเชื่อมโยงและทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด

สำหรับประเทศไทยซึ่งสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มาก ฉะนั้นควรมีการส่งเสริมให้นำเอายางธรรมชาติมาผสม (blends) กับพอลิโอเลฟิน แทนที่จะใช้ยางสังเคราะห์ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จากเอกสารที่ผ่านมา ได้มีการกล่าวถึงการนำเอาพอลิ-โพรพิลีนมาผสมกับยางธรรมชาติบ้างแล้ว โดยใช้สารเชื่อมโยงต่าง ๆ กัน ซึ่งการพัฒนาการผสมกันระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ (PP/NR blends) จัดเป็นเรื่องใหญ่เรื่องหนึ่งทีเดียว เพราะยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสมอีกมาก ดังนั้นจึงน่าที่จะทำการศึกษาต่อไปเพื่อให้ได้พอลิเมอร์ผสมที่มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำคัญและที่มาของโครงงานพิเศษ

เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์สามารถผลิตได้มากมายหลายสูตร โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป และจะให้คุณสมบัติเฉพาะที่ต้องการเพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานประเภทต่าง ๆ ได้ดี การผลิตยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับยางธรรมชาติ ซึ่งประเทศไทยเป็นผู้ผลิตรายใหญ่และยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกยังสามารถทำการผลิตได้ง่ายกว่ายางวัลคาร์ไนซ์ โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการวัลคาไนซ์ ทั้งยังสามารถใช้ได้กับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตเทอร์โมพลาสติกโดยทั่ว ๆ ไป และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (recycle) โดยที่คุณสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

นอกจากเหตุผลดังกล่าวแล้ว โครงงานพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาหาวัสดุที่แข็งเหมือนพอลิโพรพิลีน แต่ไม่เปราะที่อุณหภูมิต่ำ และมีความยืดหยุ่น (flexible) เพื่อให้สามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี และเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในงานในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้

วัตถุประสงค์

การทำโครงงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาชนิดของสารเชื่อมโยงที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของ PP/NR blends
2. เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของ PP/NR blends ที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ
3. เพื่อศึกษาสภาวะและขั้นตอนที่เหมาะสมในการผลิต PP/NR blends
4. เพื่อศึกษาความสามารถในการนำ PP/NR blends กลับมาใช้ใหม่
5. เพื่อศึกษาผลของสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ที่มีต่อคุณสมบัติเชิงกลของ PP/NR blends

ขอบเขตของการวิจัย

โครงงานวิจัยนี้จะทำการผสมพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ โดยมีสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ในส่วนผสม แล้วนำมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรบ้าง โดยทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ ความแข็ง (Hardness) ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด (Tensile strength) ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Yield strength)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอดูลัส 100 (Modulus 100) เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) และศึกษารูปร่าง (Morphology) ของพอลิเมอร์ผสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

จากการทำโครงงานวิจัยนี้ คาดว่าจะสามารถพัฒนาสารเชื่อมโยงชนิดใหม่ ๆ เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมให้ดีขึ้น ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการผสมกันระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ และทราบถึงผลของอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติที่มีต่อสมบัติเชิงกล รวมทั้งความสามารถในการนำพอลิเมอร์ผสมกลับมาใช้ใหม่ได้ เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานในทางอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ได้ต่อไป

การดำเนินการวิจัยโดยย่อ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการผสมพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ และสารเติมแต่งต่าง ๆ โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณของพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ ชนิดของสารเชื่อมโยงต่าง ๆ และชนิดของสารตัวเติมต่าง ๆ โดยทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิดที่อุณหภูมิระหว่าง 178-179 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-6 นาที โดยใช้ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที แล้วนำมาทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลต่าง ๆ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Elastomer;TPE)

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่ม (block copolymer) ที่มีสมบัติยืดหยุ่นคล้ายยาง โดยไม่มีการเชื่อมโยงทางเคมีระหว่างโซ่โมเลกุล แต่มีการเชื่อมโยงทางกายภาพ เป็นผลเนื่องมาจากการแยกวัฏภาคที่ไม่เข้ากันออกเป็น 2 วัฏภาค ได้แก่ วัฏภาคแข็ง (hard phase) และ วัฏภาคอ่อน (soft phase) วัฏภาคแข็งมีอุณหภูมิในการใช้งานต่ำกว่าค่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition tempeaturer;Tg) ในขณะที่วัฏภาคอ่อนมีอุณหภูมิการใช้งานสูงกว่า วัฏภาคแข็งจะจำกัดการเคลื่อนตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ในวัฏภาคอ่อน ทำให้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีความต้านทานต่อการเสียรูปร่างได้ดี

วัฏภาคแข็งมักจะเป็นเทอร์โมพลาสติกชนิดที่มีความแข็ง เช่น พอลิสไตรีน พอลิโพรพิลีน พอลิคาร์บอเนต เป็นต้น และวัฏภาคอ่อนมักจะเป็นอีลาสโตเมอร์ เช่น ยางธรรมชาติ ยางพอลิบิวทาไดอีน พอลิไอโซบิวทิลีน เป็นต้น

ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของวัฏภาคแข็ง เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติจากยางมาเป็นของเหลวหนืด ทำให้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการขึ้นรูปของยางที่ยังไม่วัลคาไนซ์ หรือ พวกเทอร์โมพลาสติกได้ เมื่อให้ความเย็นเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จะกลับมาแข็งตัวและมีคุณสมบัติคล้ายยางอีก

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ แบ่งออกได้เป็น 6 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่

1.เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyolefin Elastomer ;TPO)

เป็นพอลิเมอร์ผสมทางเชิงกล ระหว่างพอลิโอเลฟินพอลิเมอร์กับอีลาสโตเมอร์ ซึ่งตัวที่เป็นหลักในกลุ่มนี้ คือ พอลิเมอร์ผสมระหว่างไอโซแทคติกพอลิโพรพิลีน (PP) กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางเอทิลีน-โพรพิลีน (EPDM)

2.เทอร์โมพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyvinyl Chloride Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ผสมของพอลิไวนิลคลอไรด์ กับ เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์

3.เทอร์โมพลาสติกพอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyester Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มซึ่งประกอบด้วยส่วนที่แข็งและส่วนที่อ่อน โดยส่วนที่แข็งคือ พอลิอัลคิลีนเทอเรพทาเลท และส่วนที่อ่อนคือ พอลิอัลคิลีนอีเทอร์

4.เทอร์โมพลาสติกพอลิยูรีเทนอีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyurethane Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มที่มีส่วนอ่อนและส่วนแข็ง ซึ่งสามารถเตรียมได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบของเหลวของไกลคอลที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกับ ไดไอโซไซยาเนต และมาโครไกลคอล ส่วนที่อ่อนจะเป็นมาโครไกลคอล ซึ่งอาจจะเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ หรือ อีเทอร์ก็ได้ สำหรับส่วนที่แข็งจะเป็นผลิตผลที่เกิดจากปฏิกิริยาของไกลคอลและไดไอโซไซยาเนท

5.เทอร์โมพลาสติกพอลิเอไมด์อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Polyamide Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มที่มีสองโครงสร้าง คือ พอลิอีเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์ และพอลิเอสเทอร์สลับกับพอลิเอไมด์ ส่วนที่แข็งคือพอลิเอไมด์ และส่วนที่อ่อนเป็นอะลิฟาติกพอลิเอสเทอร์ หรือ พอลิอีเทอร์

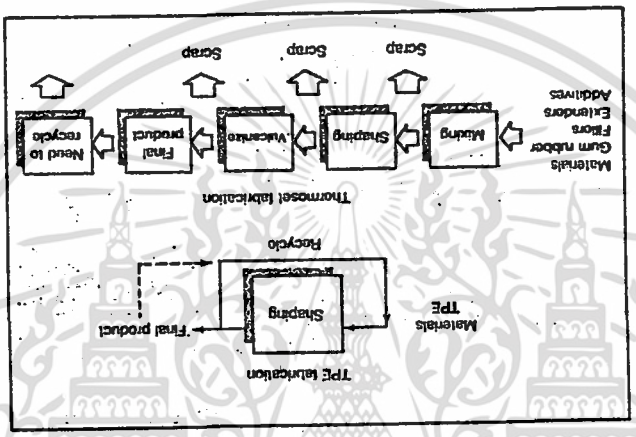
6.เทอร์โมพลาสติกพอลิ (สไตรีน-ไดอีน) อีลาสโตเมอร์ (Thermoplastic Poly(styrene-diene) Elastomer)

เป็นพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มที่มีความหนืดหลอมเหลวสูงมาก ส่วนที่เป็นอีลาสโตเมอร์จะเป็นพวกที่มีพันธะคู่ ส่วนที่แข็งจะเป็นพวกสไตรีน

เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์มีข้อดีกว่าอีลาสโตเมอร์ที่วัลคาไนซ์แล้ว คือ ง่ายต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการขึ้นรูปที่ใช้เทคนิคเดียวกับเทอร์โมพลาสติก ใช้สารเติมแต่ง(additives) ใส่ในพอลิเมอร์ไม่มาก ใช้เวลาในการผสมสั้น สามารถนำเศษและของเสียกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยไม่ทำให้เกิดการสูญเสียและมีคุณสมบัติคงเดิม พลังงานที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ สามารถควบคุมรูปร่างให้เป็นไปตามความต้องการได้ง่าย และที่ปริมาตรเท่ากันจะมีน้ำหนักเบากว่าพลาสติกเทอร์โมเซท

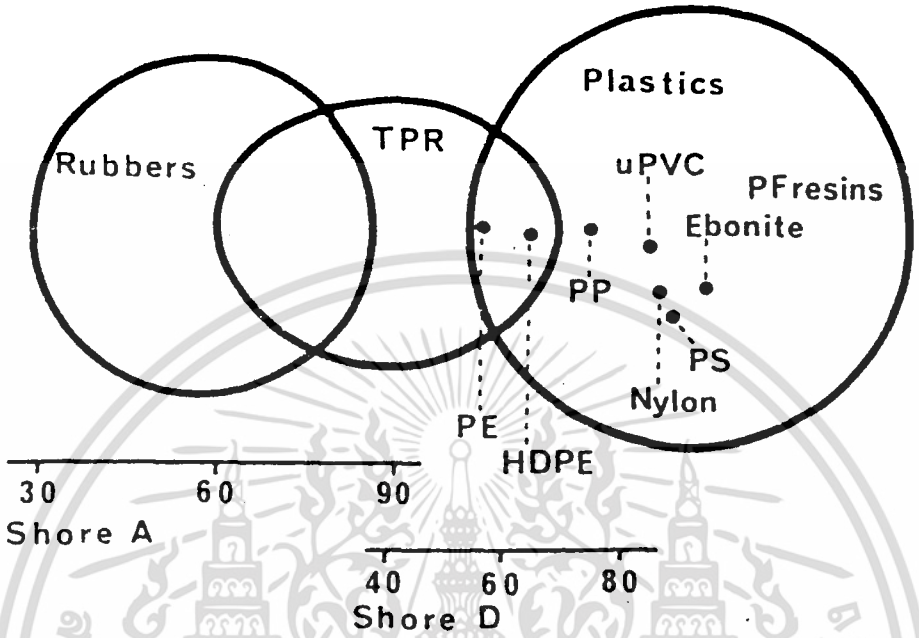


รูปที่ 2.1 เปรียบเทียบกระบวนการขึ้นรูประหว่างเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์กับยางเทอร์โมเซท

ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Natural Rubber;TPNR)

จัดเป็นเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ประเภทหนึ่ง มีจุดเริ่มต้นมาจากความพยายามค้นคว้าหาวัสดุชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างยางและพลาสติก คือ สามารถขึ้นรูปหรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้โดยใช้กรรมวิธีเช่นเดียวกับที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกทั่ว ๆ ไป แต่มีคุณสมบัติพิเศษกว่า คือ มีคุณสมบัติยืดหยุ่นและสามารถโค้งงอได้ (flexibility) มีการกระดอนดี (resilience) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของยาง ยางเทอร์โมพลาสติกมีค่าความแข็งอยู่ในช่วงระหว่างยางกับพลาสติก สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความแข็งของยางเทอร์โมพลาสติก ยางชนิดต่าง ๆ และพลาสติก

ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เด่นกว่าวัสดุอื่นดังนี้

1.มีความยืดหยุ่นที่อุณหภูมิต่ำดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิยูรีเทน และพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ

2.มีคุณสมบัติที่อุณหภูมิสูงดีกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ เอทิลีนไวนิลอะซิเตต พอลิเอทิลีน และพอลิเมอร์ชนิดอื่น ๆ

3.มีความทนทานต่อแรงกระแทกดีกว่าพอลิโพรพิลีน

4.มีความหนาแน่นต่ำกว่าพอลิไวนิลคลอไรด์ และพอลิยูรีเทน และมีราคาถูกกว่าพอลิยูรีเทน

5.มีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่ายางวัลคาไนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.สามารถทนทานต่อน้ำและสารเคมีได้ดี

จากคุณสมบัติข้างต้น จึงมีการนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ได้ดังนี้

1.ใช้ทดแทนยางวัลคาไนซ์ในผลิตภัณฑ์ที่ไม่จำเป็นต้องมีความยืดหยุ่นสูง และความแข็งแรงมาก ๆ

2.ใช้แทนพลาสติกที่มีความยืดหยุ่น เช่น เอทิลีนไวนิลอะซิเตต พอลิยูรีเทน และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ เป็นต้น

3.ใช้ในอุตสาหกรรมด้านใหม่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมรถยนต์

ในบรรดาเทอร์โมพลาสติกต่าง ๆ ทั้งหลาย สารโอเลฟินจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เป็นจำนวนมาก โดยเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์จะครอบคลุมช่วงของความยืดหยุ่นระหว่างยางอ่อนและพลาสติกที่ใช้ในทางวิศวกรรม ซึ่งสามารถทำเป็นสูตรต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความแข็งและความเหนียวขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน เทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ที่ได้จะมีความแข็งอยู่ในช่วงระหว่าง 70 shore A ถึง 70 shore D มอดูลัสยืดหยุ่น (flexural modulus) อยู่ในช่วงระหว่าง 1,000 ถึงมากกว่า 250,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ตัวหนึ่งสามารถถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นมาก หรือให้แข็งมาก แต่ยังคงมีสมบัติความต้านทานต่อแรงกระแทกได้ดี และมีศักยภาพสูงในการผลิตเป็นส่วนประกอบของรถยนต์ เช่น กันชน (blumpers), spoilers และแผ่นที่ต้องการความโค้งงอชนิดอื่น ๆ ได้

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับรูปร่าง (morphology)[8] ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ (PP/NR blends) โดยทำการผสมในเครื่องผสมระบบปิด ซึ่งมีลำดับการผสมเป็นดังนี้

ยางธรรมชาติ พอลิโพรพิลีน และสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ จะถูกผสมในเครื่องผสมระบบปิด (เครื่อง Banbury ความจุ 1 ลิตร) ทำการอุ่นเครื่องที่อุณหภูมิระหว่าง 80-120 องศาเซลเซียส แล้วเพิ่มอุณหภูมิไปที่จุดหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 165 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปการผสมด้วยความเร็วสูงจะให้ประสิทธิภาพในการผสมดี แต่ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงเกินไป เพราะจะทำให้ยางธรรมชาติสลายตัวได้ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานกว่า 2-3 นาที

การผสมในเครื่องแบนบุรี จะใช้ความเร็วของใบพัด 116 รอบต่อนาที และมีลำดับการผสมเป็นดังนี้

0 นาที -ใส่ยางธรรมชาติ สารแอนติออกซิแดนซ์ พอลิโพรพิลีน และสารตัวเติม (หากใช้)

5 นาที -เทออก

สารเชื่อมโยงสำหรับยางที่ใช้อาจจะนำมาใส่ในตอนต้นของการผสม โดยให้มีปริมาณพียงพอต่อการเชื่อมโยงเป็นบางส่วนตามกระบวนการที่เรียกว่า การเชื่อมโยงแบบพลศาสตร์ (dynamic crosslinking) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในระหว่างการผสมอาจทำให้เกิดยางที่เป็นมาโครเจลกระจายอยู่ทั่วไปในพอลิโพรพิลีนที่หลอมเหลว ในกรณีนี้จะต้องเปลี่ยนแปลงกระบวนการผสมโดยยังไม่เติมสารแอนติออกซิแดนซ์ และสารเชื่อมโยงจนกว่าพอลิโพรพิลีนจะหลอมหมด เพื่อให้ทำการผสมสามารถเข้ากันได้ดีทุกส่วน

ขั้นตอนที่ใช้สำหรับการเชื่อมโยงบางส่วนของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีดังนี้

0 นาที -ใส่ยางธรรมชาติ พอลิโพรพิลีน และสารตัวเติม (หากใช้)

2-3 นาที -ใส่สารเชื่อมโยง

5 นาที -ใส่สารแอนติออกซิแดนซ์

6 นาที -เทออก

การเติมสารแอนติออกซิแดนซ์ในตอนท้ายของการผสม จะทำเมื่อใช้สารเชื่อมโยงเพียงตัวเดียว ซึ่งจะเกิดกลไกแบบอนุมูลอิสระ

หลังจากการผสม ขณะที่ของผสมยังร้อนสามารถนำไปรีดให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วปล่อยให้เย็นเป็นแผ่นหนาประมาณ 8 มิลลิเมตร

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยที่มอดูลัสและความแข็งแรงดึงเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลที่ได้ในการศึกษาคุณสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ทำให้สามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

1. อัตราส่วนผสมของยางธรรมชาติและพอลิโอเลฟิน
2. ค่าของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสม
3. ผลของการเชื่อมโยงบางส่วน
4. การผสมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่มีสารตัวเติมและน้ำมัน

1. <u>อัตราส่วนผสมของยางธรรมชาติและพอลิโอเลฟิน</u>

ช่วงความแข็งต่าง ๆ ของวัสดุจะเปลี่ยนไปตามอัตราส่วนของยางและพลาสติก มีหลักฐานที่แสดงว่าส่วนประกอบทั้งสองอาจอยู่ในรูปวัฏภาคต่อเนื่อง ยกเว้นในสารผสมที่มีส่วนประกอบของพอลิเมอร์แต่ละชนิดน้อยกว่า 25 เปอร์เซนต์

ในบริเวณที่เป็นผลึกเล็ก ๆ ในพอลิเมอร์ร่วมแบบกลุ่มของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ จะมีคุณสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับการเชื่อมโยงทางเคมีในยางแผ่นรมควัน สำหรับยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก บริเวณที่เป็นผลึกของพอลิโอเลฟินจะให้คุณสมบัติความแข็ง ในขณะที่วัฏภาคยางที่เป็นอสัณฐานจะให้คุณสมบัติความยืดหยุ่น

ขอบเขตที่แข็ง (Hard Domain)

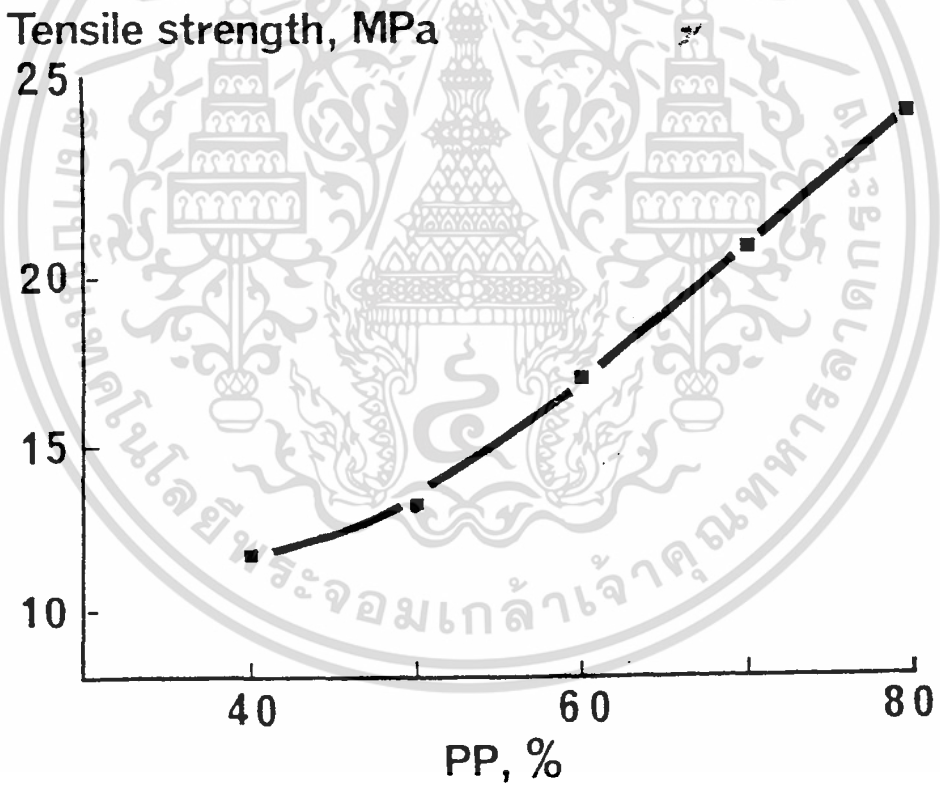
ในของผสมระหว่างเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินกับอีลาสโตเมอร์ ทางการค้าส่วนใหญ่ขอบเขตที่แข็งจะเป็นไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนโฮโมพอลิเมอร์ หรือ ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ ซึ่งจะมีเอทิลีนเป็นโคโมโนเมอร์ พอลิเมอร์เหล่านี้เป็นแบบกึ่งผลึก (semi crystalline) โฮโมพอลิเมอร์และบล็อกโคพอลิเมอร์มีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงระหว่าง 155-165 องศาเซลเซียส ขณะที่โคพอลิเมอร์แบบสุ่มมีจุดหลอมเหลวอยู่ในช่วงระหว่าง 145-155 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลวที่สูงของพอลิโพรพิลีนในเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์มีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ คุณสมบัติทางกายภาพของพอลิโพรพิลีนโฮโมพอลิเมอร์จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ส่วนพอลิโพรพิลีนโคพอลิเมอร์ (ทั้งแบบกลุ่มและแบบสุ่ม) จะมีสมบัติทางกายภาพขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลและปริมาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอทิลีนโคพอลิเมอร์ ถ้าปริมาณของเอทิลีนในโคพอลิเมอร์มาก จะทำให้มีความทนทานต่อการกระแทกมากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ และมีความแข็งลดลง (rigidity) จุดหลอมเหลวจะลดต่ำลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณของเอทิลีน และพบว่าโคพอลิเมอร์แบบสุ่มจะมีค่าจุดหลอมเหลวลดลงมากกว่าแบบบลอกโคพอลิเมอร์

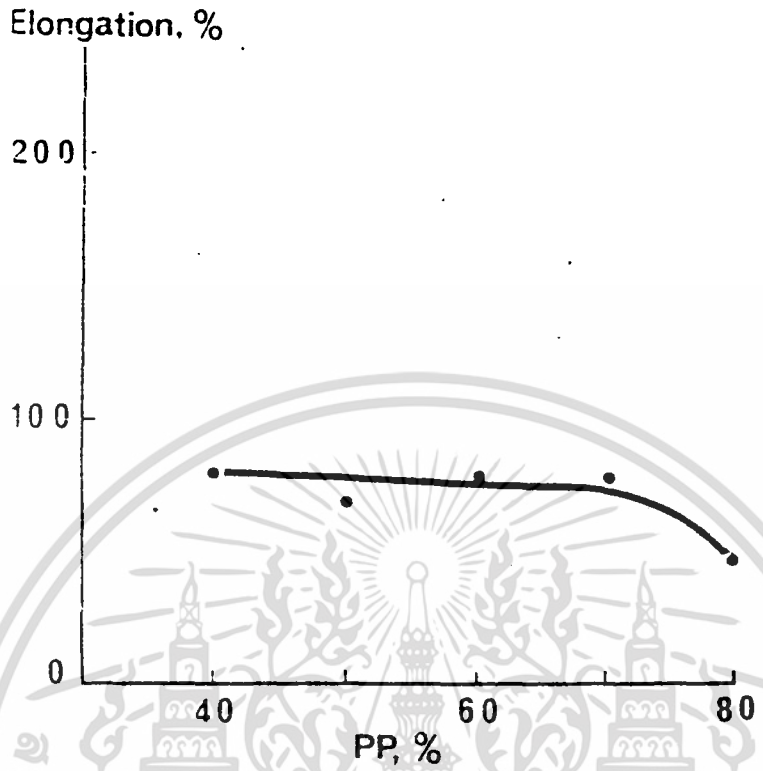
ขอบเขตที่อ่อน (Soft Domain)

ส่วนที่อ่อนเป็นยางเอทิลีน-โพรพิลีน (EPR) เป็นส่วนใหญ่ หรือ ยางเอทิลีน-โพรพิลีน-ไดอีน (EPDM) จุดประสงค์หลักสำหรับการที่มีไดอีนในโมเลกุลของยางเพื่อสามารถนำยางไปวัลคาไนซ์ได้ สำหรับการวัลคาไนซ์ด้วยซัลเฟอร์จะมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการประยุกต์ใช้งานของยางเทอร์โมเซท



รูปที่ 2.3 ผลของปริมาณพอลิโพรพิลีน ที่มีต่อความทนทานต่อแรงดึงของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

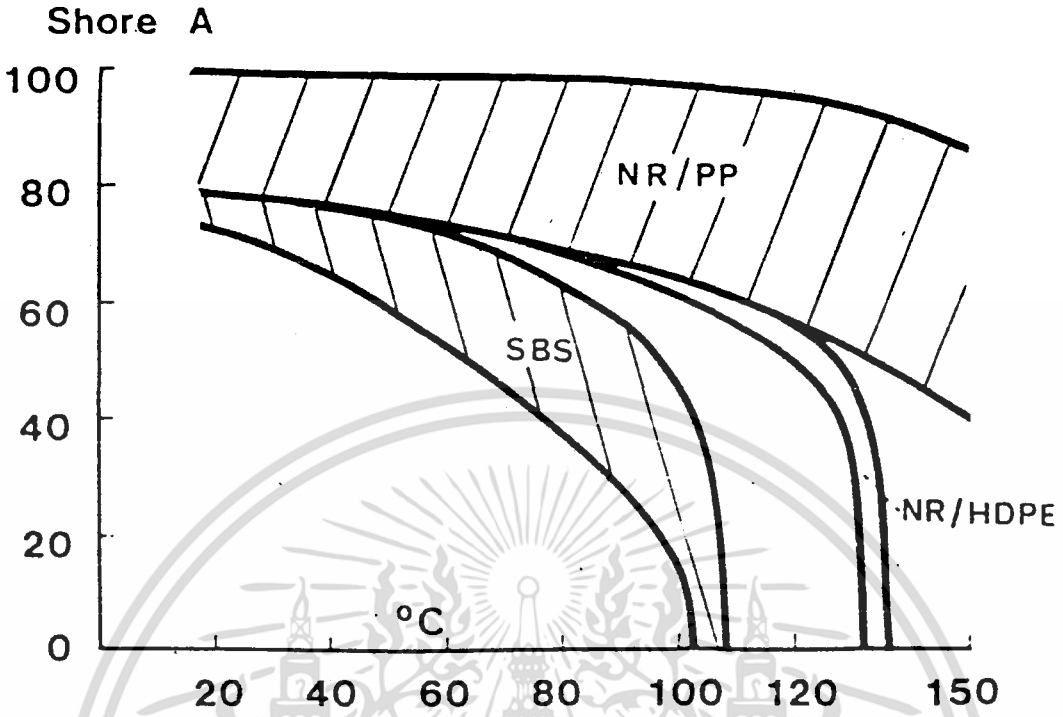


รูปที่ 2.4 ผลของปริมาณพอลิโพรพิลีนที่มีต่อการยืดของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

2. <u>ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก</u>

พอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ จะมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดีกว่ายางเอสบีเอส (SBS) และพอลิยูรีเทน ซึ่งสามารถแสดงโดยกราฟเปรียบเทียบความแข็งที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

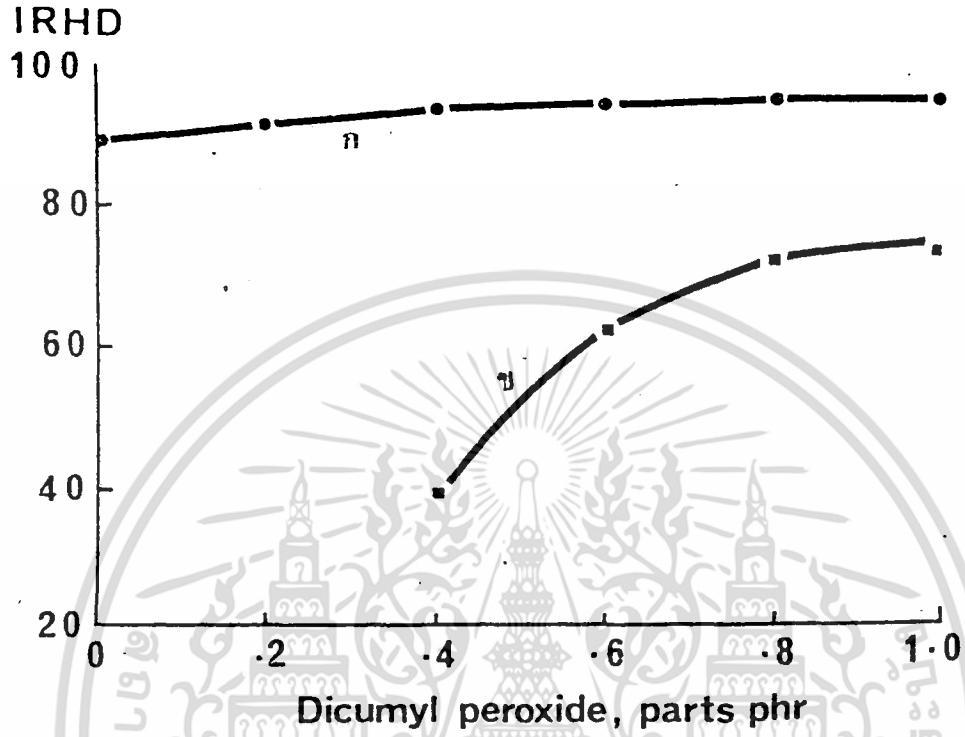


รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อความแข็งของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก และพอลิเมอร์ร่วมของสไตรีน-บิวทาไดอีน-สไตรีน

3. <u>ผลของการเชื่อมโยงบางส่วน</u>

สำหรับของผสมที่มีการเชื่อมโยงบางส่วนในวัฏภาคยางที่มีปริมาณอยู่มากกว่า 65 เปอร์เซนต์ จะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ผลของปริมาณไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อความแข็ง

ก.ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (ยางธรรมชาติต่อพอลิโพรพิลีน 65:35)

ข.ยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก (ยางธรรมชาติต่อพอลิโพรพิลีน 85:15)

4.<u>การผสมยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกกับสารตัวเติมและน้ำมัน</u>

ในการผสมสารเติมแต่งลงไปในยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก จะต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่า 160 องศาเซลเซียส และจะเติมลงไปในช่วงการผสมในเครื่องผสมแบบปิด อาจเติมเขม่าดำ (carbon black) หรือไทเทเนียมไดออกไซด์ 1-2 เปอร์เซนต์ ลงไปเพื่อป้องกันแสงอัลตราไวโอเลตรวมทั้งอาจเติมรงควัตถุลงไปด้วย สารตัวเติมเกรดต่ำจะมีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพเพียงเล็กน้อย แต่สารตัวเติมที่มีเกรดสูงจะนำมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่า

การเติมน้ำมันลงไปในยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกจะทำให้ค่าความแข็ง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกมีค่าลดลง โดยปกติจะใช้ปริมาณของน้ำมันอยู่ในช่วงระหว่าง 5 ถึง 15 เปอร์เซนต์ และน้ำมันที่มีความหนืดสูง จะมีความเหมาะสมกว่า เพราะว่าถ้าใช้น้ำมันที่มีความหนืดต่ำ จะมีแนวโน้มที่จะเกิดการแพร่มาที่ผิวหน้า (bloom) ได้

การเชื่อมโยงในระหว่างการผสม

การปรับปรุงคุณสมบัติยืดหยุ่นของเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ สามารถทำได้โดยการเชื่อมโยงโมเลกุลยางเพียงบางส่วน (partially crosslinked) ในระหว่างการผสม ดังนั้นของผสมระหว่างยางธรรมชาติและพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง หรือพอลิไวนิลคลอไรด์ วัฏภาคยางจะถูกเชื่อมโยงและสามารถนำไปใช้กับกระบวนการขึ้นรูปของเทอร์โมพลาสติกได้ เนื่องจากโมเลกุลของยางที่ถูกเชื่อมโยงจะกระจายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในแมทริกซ์ของพลาสติก การเกิดการเชื่อมโยงแบบนี้เรียกว่า การเชื่อมโยงแบบพลศาสตร์ (Dynamic crosslinked) ซึ่งจะช่วยเพิ่มความแข็งแรง มอดูลัส ความทนทานต่อแรงกระแทก และความยืดหยุ่นให้สูงขึ้น ในขณะที่เกิดการเชื่อมโยง ความหนืดของวัฏภาคยางจะสูงขึ้น และจะทำให้พลาสติกก่อตัวเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง นอกจากนี้ปัจจัยอื่น ๆ ก็มีส่วนเกี่ยวข้องกับสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก เช่น การเกิดกราฟท์ของยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีน เป็นต้น

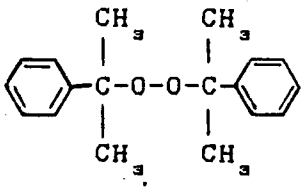
จากการศึกษาระบบการเชื่อมโยงแบบพลศาสตร์ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก พบว่าระบบที่จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงได้อย่างรวดเร็ว จะต้องใช้ระบบที่มีอุณหภูมิในการผสมมากกว่า 140 องศาเซลเซียส และสารที่ใช้ในการเชื่อมโยงมีหลายประเภทดังนี้

การเชื่อมโยงด้วยสารเปอร์ออกไซด์

ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ เป็นสารเชื่อมโยงชนิดแรกที่ใช้ในการเชื่อมโยง แบบพลศาสตร์ในยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก มีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

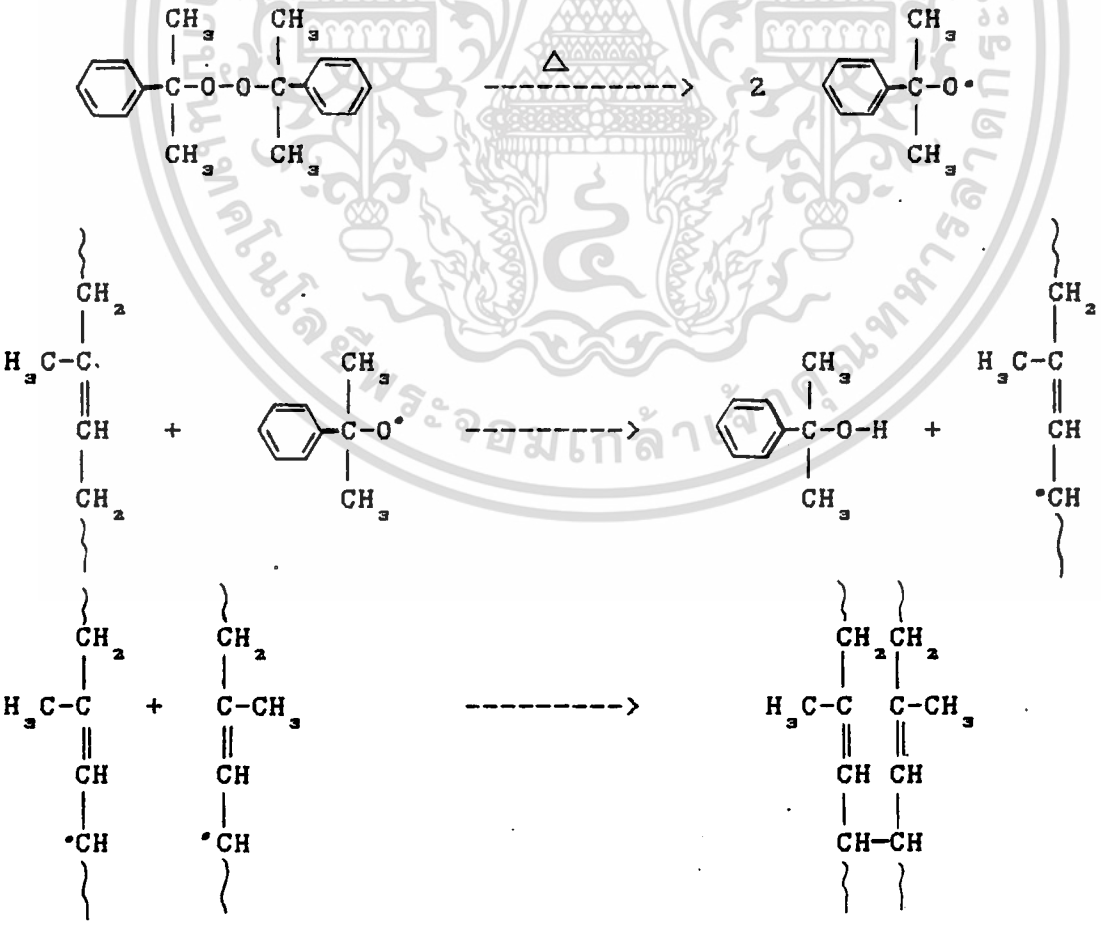
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์สลายตัวที่อุณหภูมิค่อนข้างสูง และมีความว่องไวต่อออกซิเจนน้อยกว่าเปอร์ออกไซด์ที่มีหมู่คาร์บอกซิลิก

กลไกการเชื่อมโยงโดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์

ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์จะเกิดการสลายตัวให้อนุมูลอิสระ (free radical) เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสามารถดึงเอาอะตอมของไฮโดรเจนที่ว่องไวจากโมเลกุลของยางได้ ต่อจากนั้นจะเกิดการเชื่อมโยงโดยการรวมตัวกันของอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถแสดงกลไกการเกิดการเชื่อมโยงได้ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของการใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยงคือ ไม่เกิดปัญหาการแพร่กระจายที่ผิวหน้า (bloom) ซึ่งมักเกิดเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง แต่มีข้อเสีย คือ ราคาแพงกว่าการใช้กำมะถัน และผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติทางเชิงกลต่ำกว่าการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน และมีกลิ่นฉุนซึ่งเกิดจากอะซิโตฟีโนน และที่สำคัญ คือ สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์จะเป็นตัวเริ่มทำให้เกิดการสลายตัว โดยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางธรรมชาติและพลาสติก

<u>ประสิทธิภาพของสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์ในการเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง</u>

1. <u>ชนิดของยาง</u>

ยางแต่ละชนิดมีการแตกตัวให้อนุมูลอิสระยากง่ายต่างกัน ดังนั้นเมื่อใช้สารเปอร์ออกไซด์ชนิดเดียวกันกับยางต่างชนิดกัน จะทำให้ปริมาณการเชื่อมโยงเกิดขึ้นต่างกัน โดยทั่วไปยางซิลิโคน อีวีเอ ยางยูรีเทน และยางไนไตรล์ใช้ได้ดี แต่สำหรับยางธรรมชาติอาจมีปัญหาบ้าง

2. <u>ชนิดของสารตัวเติม</u>

ถ้าสารตัวเติมสามารถให้โปรตอนออกมาก่อนที่ยางจะถูกดึงไฮโดรเจนออกไปจากโมเลกุลจะทำให้ยางไม่เกิดการเชื่อมโยงโดยเปอร์ออกไซด์

3. <u>อุณหภูมิและการแปรรูป</u>

การวัลคาไนซ์โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ ซึ่งอุณหภูมิของการสลายตัวเกิน 135 องศาเซลเซียส นั้น โดยปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์จะเกิดได้ดี ที่อุณหภูมิมากกว่า 150 องศาเซลเซียส การใช้สารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์สามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิในการวัลคาร์ไนซ์ โดยทั่ว ๆ ไปสารเชื่อมโยงเปอร์ออก-ไซด์ไม่ควรใช้ในการเชื่อมโยงในบรรยากาศที่มีออกซิเจน เพราะออกซิเจนจะมีผลต่อการวัลคาไนซ์ โดยออกซิเจนจะเข้าไปทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระของยางเกิดเป็นสารประกอบไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะทำให้ยางเหนียวที่ผิวได้

4. <u>ปริมาณของสารเชื่อมโยงเปอร์ออกไซด์</u>

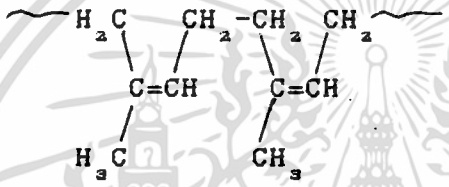
การเพิ่มปริมาณสารเปอร์ออกไซด์จะทำให้องศาการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่ามอดูลัสสูงขึ้น ความแข็งเพิ่มขึ้น สมบัติเชิงกลดีขึ้น และความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำลง แต่ถ้าใช้ในปริมาณที่มากเกินจุดที่เหมาะสมแล้วคุณสมบัติดังกล่าวจะไม่ดี

การเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน

การวัลคาไนซ์โดยใช้กำมะถัน เมื่อนำกำมะถันใส่เข้าไปในยางแล้วนำมาให้ความร้อน ยางจะเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันขึ้นทำให้ยางมีคุณสมบัติเชิงกลสูงขึ้น ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของกำมะถันทำให้โมเลกุลของยางมาเชื่อมต่อกัน โดยทั่วไปยางที่จะสารมารถทำการวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถันจะต้องเป็นยางที่มีพันธะคู่ เช่น ยางธรรมชาติ (cis-1,4-polyisoprene) ซึ่งมีสูตรโครงสร้างเป็นดังนี้



การเชื่อมโยงสามารถแสดงได้ดังปฏิกิริยาข้างล่างนี้

การละลายของกำมะถันในยางจะขึ้นอยู่กับชนิดของยาง สำหรับยางธรรมชาติ และยางเอสบีอาร์ กำมะถันจะสามารถละลายได้ดีที่อุณหภูมิห้อง โดยทั่วไปถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นกำมะถันจะละลายได้มากขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงกำมะถันที่เป็นส่วนเกินจะตกผลึกออกมา ซึ่งผลึกของกำมะถันดังกล่าวอาจอยู่ในเนื้อยาง หรือแทรกตัวออกมาที่ผิวของยางก็ได้ การตกผลึกออกมาที่ผิวยาง เรียก การแพร่กระจายมาที่ผิวหน้า (bloom) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ยางไม่ติดกัน ถ้ามีรอยแนวของกำมะถันที่ตกผลึกที่ผิวมากั้นไว้ และผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ไม่สวยงาม

<u>สารตัวเร่ง</u> (Accelerators)

เมื่อนำสารตัวเร่งมาใช้ร่วมกับกำมะถันในปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันยาง พบว่าสารตัวเร่งจะช่วยลดเวลาและอุณหภูมิในการวัลคาไนซ์ลงอย่างมาก ผลิตภัณฑ์ยางที่ได้จะมีความทนทานต่อการใช้งานสูง (good aging resistance) และลดการแพร่ซึมของกำมะถันมาที่ผิวของยางด้วย

สารตัวเร่งสามารถแบ่งตามลักษณะของโครงสร้างทางเคมี ได้ดังนี้

1.กลุ่มแอลดีไฮด์เอมีน เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาปานกลาง ได้แก่ HMT (Hexamethylene tetramine) , EA (Ethylidene aniline)

2.กลุ่มกัวนิดีน เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาปานกลาง ได้แก่ DPG (Diphenyl guanidine) , DOTG (Di-o-tolyl guanidine)

3.กลุ่มไทอะโซล เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ MBT (2-Mercaptobenzothiazole) , MBTS (Dibenzothiazyl disulphide), ZMBT (Zinc salt of 2-mercaptobenzothiazole)

4.กลุ่มซัลฟินาไมด์ เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็ว ได้แก่ CBS (N-Cyclohexyl-2-benzothiazyl sulphenamide) , NOBS

5.กลุ่มไดไทโอคาร์บาเมท เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ PPD , ZDEC , ZEPC

6.กลุ่มไทยูแรมซัลไฟด์ เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ TMT (Tetramethyl thiuramdisulphide) , TETD (Tetraethyl thiuramdisulphide) , TMTM (Tetramethyl thiurammonosulphide) และ DPTS (Dipentamethylene thiuramtetrasulphide)

7.กลุ่มแซนเทรท เป็นสารตัวเร่งที่มีความเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเร็วมาก ได้แก่ ZIX (Zinc isopropylxanthate) , SIX (Sodium isopropylxanthate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>สารกระตุ้นตัวเร่ง</u>

ใช้เป็นส่วนผสมปริมาณเล็กน้อยในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาร์ไนซ์ โดยสารกระตุ้นตัวเร่งจะช่วยทำให้ตัวเร่งทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดปฏิกิริยาวัลคาร์ไนซ์ได้อย่างสมบูรณ์ สารกระตุ้นตัวเร่งที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กรดสเตียริก และซิงค์สเตียเรท

สารเติมแต่ง

ในการนำพอลิเมอร์ส่วนใหญ่ไปใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น ยางธรรมชาติ พอลิโพรพิลีน จะต้องมีการเติมสารบางชนิดลงไปเพื่อทำให้สมบัติทางกายภาพของพอลิเมอร์ดีขึ้น สารดังกล่าว เรียกว่า สารเติมแต่ง เช่น สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) สารเสริมเสถียรภาพต่อแสงอัลตราไวโอเลต (UV stabilizer) พอลิเมอร์ทั่ว ๆ ไป โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พอลิโพรพิลีนสามารถสลายตัวได้ค่อนข้างง่ายโดยความร้อนขณะทำการแปรรูป ซึ่งการสลายตัวของพอลิเมอร์นี้จะเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ โดยทั่วไปจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นเริ่มต้น ขั้นแผ่ขยาย และขั้นสิ้นสุด

โซ่โมเลกุลของคาร์บอนสามารถเกิดการสลายตัวได้หลายแบบ แบบที่ 1 ได้แก่ การสลายพันธะคาร์บอน-ไฮโดรเจนของโซ่พอลิเมอร์โดยความร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจน อีกแบบหนึ่งเป็นการสลายพันธะของคาร์บอน - คาร์บอนในโซ่พอลิเมอร์โดยความร้อน หรือแสงอัลตราไวโอเลต กลไกของการเกิดปฏิกิริยาขั้นเริ่มต้นทั้ง 2 แบบ สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

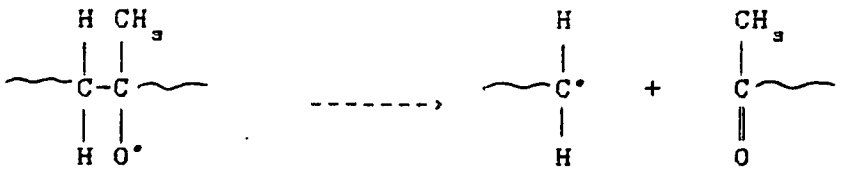
$$\sim\!\sim C\text{-}H \xrightarrow{\Delta} H^{\bullet} + \sim\!\sim C^{\bullet}$$

$$\sim\!\sim C\text{-}H + O_2 \longrightarrow \sim\!\sim C\text{-}O\text{-}OH \longrightarrow {}^{\bullet}OH + \sim\!\sim CO^{\bullet}$$

$$\sim\!\sim C\text{-}C\sim\!\sim \xrightarrow{\Delta,\ h\nu} \sim\!\sim C^{\bullet} + \sim\!\sim C^{\bullet}$$

หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ขั้นแผ่ขยาย

$$\sim C^{\bullet} + O_2 \longrightarrow \sim COO^{\bullet}$$

$$\sim COO^{\bullet} + \sim C\text{-}H \longrightarrow \sim COOH + \sim C^{\bullet}$$

$$\sim CO^{\bullet} + \sim C\text{-}H \longrightarrow \sim O\text{-}H + \sim C^{\bullet}$$

$$^{\bullet}OH + \sim C\text{-}H \longrightarrow H\text{-}O\text{-}H + \sim C^{\bullet}$$

ขั้นสิ้นสุด

$$\sim C^{\bullet} + \sim C^{\bullet} \longrightarrow \sim C\text{-}C \sim$$

$$\sim O^{\bullet} + \sim O^{\bullet} \longrightarrow \sim O\text{-}O \sim$$

$$\sim C^{\bullet} + {}^{\bullet}OH \longrightarrow \sim C\text{-}OH$$

$$\sim COO^{\bullet} + \sim COO^{\bullet} \longrightarrow \sim COOOOC \sim \longrightarrow \sim COOC \sim + O_2$$

นอกจากนี้ในการผสมเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ตัวหนึ่ง ๆ อาจมีการใส่สารตัวเติม (filler) สารเสริมแรง (reinforcing agent) พลาสติไซเซอร์ ฯลฯ สารป้องกันการลุกไหม้ติดไฟ (flame retardant) และสารช่วยในการผลิตต่าง ๆ

โดยทั่ว ๆ ไปสารตัวเติม (filler) ที่ผสมอยู่ในเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์จะอยู่ในวัฏภาคของยางที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างเช่น ในสูตรของเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์ที่มีเขม่าดำ 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก จะไม่มีเขม่าดำอยู่ในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนเลย ที่อุณหภูมิในการผลิตนั้นสารตัวเติมเขม่าดำอาจเคลื่อนเข้าไปในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีน โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็ก ๆ สามารถกระจายได้ในพอลิโพรพิลีน และจะมีอิสระในการเคลื่อนย้ายไปสู่วัฏภาคของพอลิโพรพิลีนทันทีที่พอลิโพรพิลีนหลอมเหลว แต่เมื่อเกิดการแข็งตัว (solidification) สารตัวเติมจะเคลื่อนกลับสู่วัฏภาคที่เป็นยาง ด้วยเหตุผลนี้จะก่อให้เกิดผลเสีย คือ เมื่อสารตัวเติมเกิดการย้ายเข้าไปในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนที่หลอมเหลว อาจติดอยู่ในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนขณะที่เกิดการแข็งตัวและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผลึก สารตัวเติมที่ยังคงค้างอยู่เหล่านี้จะค่อย ๆ เคลื่อนออกจากวัฏภาคของพอลิ-โพรพิลีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผลิตภัณฑ์นั้นถูกปล่อยไว้ในสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การเคลื่อนออกจากวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนของสารตัวเติมมักจะทำให้เกิดการแพร่กระจายมาที่ผิวหน้าได้ (surface bloom)

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารเติมแต่งที่ใส่ในพอลิเมอร์จะละลายอยู่ในวัฏภาคใดนั้น ขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ของสารเติมแต่งนั้น ๆ กับวัฏภาคที่อยู่ เช่น ถ้าสารที่ใช้กับยางก็จะมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับยางมากกว่าพลาสติก จึงมีการย้ายเข้าสู่วัฏภาคที่เป็นยาง

รูปร่างของพอลิเมอร์ผสม (Morphology)

รูปร่างของเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินอีลาสโตเมอร์นั้นซับซ้อน การกระจายขนาดและรูปร่างของทั้งวัฏภาคยางและพอลิโพรพิลีน จะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของพอลิ-เมอร์ผสม วัฏภาคพอลิโพรพิลีนส่วนใหญ่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเสมอ วัฏภาคยางอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือไม่ ขึ้นอยู่กับปริมาณของยางในพอลิเมอร์ผสม ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณของพอลิโพรพิลีน ชนิดของยาง กระบวนการผลิต และสารที่เติมแต่ง (ingredients) ที่ใช้

ในพอลิเมอร์ผสมส่วนใหญ่วัฏภาคยางจะต่อเนื่อง ถ้าปริมาณของยางอยู่ระหว่าง 45 ถึง 85 เปอร์เซนต์ของปริมาณพอลิเมอร์ทั้งหมด ในช่วงนี้ทั้งวัฏภาคยางและพอลิ-โพรพิลีนจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

รูปร่างของพอลิเมอร์ผสมยังถูกกำหนดโดยสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ ซึ่งสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ อาจแตกต่างกันในเรื่องความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) กับยางหรือพอลิโพรพิลีน ซึ่งจะกำหนดขอบเขตของสารตัวเติมที่กระจายอยู่ ตัวอย่างเช่น แคลเซียมคาร์บอเนตจะกระจายเป็นอนุภาคไม่ต่อเนื่องอยู่ในวัฏภาคของยางและวัฏภาคของพอลิโพรพิลีน หรือไม่ก็อยู่ทั้งสองวัฏภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การทดลอง

<u>สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง</u>

1.พอลิโพรพิลีน เกรดโฮโมพอลิเมอร์ รหัส 6331 บริษัท เอช เอ็ม ซี โปลิเมอส์ จำกัด

2. ยางธรรมชาติ เกรด TTR 5L

3. เออร์กานอก 1010 (Irganox 1010)

4. ไทนูวิน (Tinuvin)

5. ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์

6. เรซินฟีนอลฟอร์มาลดีไฮด์

7. ซิงค์ออกไซด์

8. กรดสเตียริก

9. สารตัวเร่ง MXK

10. เตตระเมทิลไทยูแรมโมโนซัลไฟด์ (TMTM)

11. ไดเบนโซไทอะซิลไดซัลไฟด์ (MBTS)

12. กำมะถัน

13. เขม่าดำ เกรด HAF N.330

14. แคลเซียมคาร์บอเนต ชนิดตะกอนเบา

15. ซิลิกา เกรด Purosil UR บริษัท พรภัทรเคมี จำกัด

16. พอลิเอทิลีนไกลคอล 4000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1.เครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ (Brabender Plasticorder) ซึ่งมีโรเตอร์ในห้องผสมแบบหมุนสวนทางกัน โดยความอนุเคราะห์ของบริษัทยางสยาม จำกัด

2.เครื่องรีดแบบลองลูกกลิ้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว โดยความอนุเคราะห์ของบริษัทยางสยาม จำกัด

3.เครื่องอัดร้อน (Hot Compression) รุ่น LP 20 บริษัท แลบเทคเอนจิเนียริ่ง จำกัด

4.เครื่องทดสอบความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Testing Machine) รุ่น S-100-C บริษัท Shimudzu จำกัด

5.ไมโครมิเตอร์

6.เครื่องวัดสมบัติการคงรูป (Oscillating Disk Rheometer; ODR) โดยความอนุเคราะห์ของบริษัทยางสยาม จำกัด

7.เครื่องวัดความแข็ง (Durometer type D)

8.เครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (Polorized Microscope) รุ่น AFX 2 พร้อมกล้องถ่ายภาพ บริษัท Nikkon จำกัด

ขั้นตอนการทดลอง

สูตรที่ใช้ในการทดลอง

1.แอนติออกซิแดนท์ เออร์กานอกซ์ 1010	1.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
2.ไทนูวิน	1.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
3.ซิงค์ออกไซด์*	3.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
4.กรดสเตียริก	1.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
5.ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์	5.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
6.เรซินฟีนอลิก	2.0	ส่วนในร้อยส่วนของพอลิเมอร์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.สารตัวเร่ง MXK	1.5	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
8.สารตัวเร่ง MBTS	1.5	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
9.สารตัวเร่ง TMTM	1.5	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
10.กำมะถัน	2.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง

* ซิงค์ออกไซด์เมื่อใช้ร่วมกับเรซินฟีนอลิกจะใช้ในปริมาณ 0.05 ส่วนในร้อยส่วนของพอลิเมอร์ทั้งหมด

1.<u>การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนเมื่อใช้สารเชื่อมโยงต่าง ๆ กัน</u>

1.1 <u>การศึกษาอุณหภูมิในการหลอมเหลวของพอลิโพรพิลีนเมื่อเวลาคงที่</u>

1.ตั้งสภาวะของเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

2.เติมพอลิโพรพิลีน 50 กรัม แล้วจับเวลาที่ทำให้พอลิโพรพิลีนหลอมหมด โดยสังเกตได้จากค่าทอร์กที่ลดลงมาอยู่ในระดับที่มีค่าคงที่

3.ปรับอุณหภูมิของเครื่องขึ้นครั้งละ 1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะได้อุณภูมิที่ทำให้พอลิโพรพอลีนหลอมหมดภายในเวลา 4 นาที

4.บันทึกอุณหภูมิที่ได้

1.2 <u>การศึกษาเวลาที่ใช้ในการเชื่อมโยงด้วยกำมะถัน เมื่อใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ</u>

1.ชั่งยางธรรมชาติมา 50 กรัม เออร์กานอกซ์ 0.5 กรัม ไทนูวิน 0.5 กรัม กรดสเตียริก 0.5 กรัม ซิงค์ออกไซด์ 1.5 กรัม กำมะถัน 1 กรัม สารตัวเร่ง 0.75 กรัม (สารตัวเร่ง คือ MXK,MBTS,TMTM)

2.นำสารที่ชั่งทั้งหมดใส่ในเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที ผสมจนกว่าค่าทอร์กคงที่ จึงเอายางผสมออก

3.นำยางผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องรีดสองลูกกลิ้งให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร

4.นำไปหาเวลาที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุด (Optimum cure time) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ โดยใช้เครื่อง ODR.

2.<u>การศึกษาวิธีการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง</u>

2.1 <u>การผสมโดยทำเป็นยางผสมสูตรก่อน</u> โดยใช้สารตัวเร่ง MXK

ตั้งสภาวะของเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิ 178-179 องศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที เติมพอลิโพรพิลีนลงไปในเครื่อง เมื่อเวลาผ่านไป 3 นาทีเติมยางผสมสูตรที่ใช้สารตัวเร่ง MXK ที่เตรียมไว้ แล้วเทออกในนาทีที่ 5

นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องรีดสองลูกกลิ้ง ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นเพื่อเตรียมทำการขึ้นรูปต่อไป

2.2 <u>วิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน</u> โดยใช้สารตัวเร่ง MXK

ตั้งสภาวะของเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิ 178-179 อาศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

<u>ขั้นตอนในการผสม</u>

0 นาที - เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ เออร์กานอกซ์ ไทนูวิน กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์

4 นาที - เติมสารตัวเร่ง MXK และกำมะถัน

5 นาที - เทออก

นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องรีดสองลูกกลิ้ง ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นเพื่อทำการขึ้นรูปต่อไป

3.<u>การศึกษาการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ โดยใช้วิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน</u>

ตั้งสภาวะของเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิ 178-179 อาศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ขั้นตอนในการผสม เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง</u>

0 นาที - เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ เออร์กานอกซ์ ไทนูวิน กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์

3-4 นาที - เติมสารตัวเร่ง* และกำมะถัน

5 นาที - เทออก

*สารตัวเร่ง TMTM เติมในนาทีที่ 4

สารตัวเร่ง MBTS เติมในนาทีที่ 3

<u>ขั้นตอนในการผสม เมื่อใช้ DCP เป็นสารเชื่อมโยง</u>

0 นาที - เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ

2-3 นาที - เติม DCP

5 นาที - เติมเออร์กานอกซ์ ไทนูวิน

6 นาที - เทออก

<u>ขั้นตอนในการผสม เมื่อใช้ฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง</u>

0 นาที - เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ ซิงค์ออกไซด์

2-3 นาที - เติมเรซินฟีนอลิค

4.5 นาที - เติมเออร์กานอกซ์ ไทนูวิน

5 นาที - เทออก

<u>ขั้นตอนในการผสม เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง</u>

0 นาที - เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ เออร์กานอกซ์ และไทนูวิน

4 นาที - เทออก

นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องรีดสองลูกกลิ้ง ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นเพื่อเตรียมทำการขึ้นรูปต่อไป

* ปริมาณสารต่าง ๆ ที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 3.1 - 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. <u>การศึกษาการใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ</u>

ตั้งสภาวะของเครื่องบราเบนเดอร์ที่อุณหภูมิ 178-179 อาศาเซลเซียส ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

<u>ขั้นตอนในการผสม</u>

0 นาที -เติมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ เออร์กานอกซ์ ไทนูวิน กรดสเตียริก ซิงค์ออกไซด์ สารตัวเติม

4 นาที -เติมสารตัวเร่ง และกำมะถัน

5.5 นาที -เทออก

นำพอลิเมอร์ผสมที่ได้ไปผ่านเครื่องรีดสองลูกกลิ้ง ให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร ตัดเป็นชิ้นเพื่อเตรียมทำการขึ้นรูปต่อไป

<u>สูตรที่ใช้ในการทดลอง</u>

1.เออร์กานอกซ์ 1010	1	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
2.ไทนูวิน	1	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
3.กรดสเตียริก	1	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
4.ซิงค์ออกไซด์	3	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
5.MBTS	1.05	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
6.TMTM	0.25	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
7.MXK	0.20	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
8.กำมะถัน	2.0	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
9.สารตัวเติม		
9.1 เขม่าดำ	50	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
9.2 แคลเซียมคาร์บอเนต	50	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
9.3 ซิลิกา	50	ส่วนในร้อยส่วนของยาง
พอลิเอทิลีนไกลคอล	10	ส่วนในร้อยส่วนของซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบคุณสมบัติของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้

1. การทดสอบการดึงยืด

การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

นำพอลิเมอร์ผสมที่เตรียมได้มาขึ้นรูปให้เป็นแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องอัดร้อน สภาวะที่ใช้ ดังนี้

อุณหภูมิในการอัดร้อน	190	องศาเซลเซียส		
preheat	2	นาที	ความดัน	50 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
อัด (compress)	2	นาที	ความดัน	90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
หล่อเย็น(ที่อุณหภูมิ 10 ซ)	2	นาที	ความดัน	90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

นำแผ่นพอลิเมอร์ผสมมาตัดให้เป็นรูปดัมเบลล์ วัดความกว้าง ความหนาอย่างละ 3 จุดด้วยไมโครมิเตอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ยเพื่อคำนวณหาพื้นที่หน้าตัด

การทดสอบสมบัติเชิงกล

ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Testing Machine)

ทำการทดสอบแรงดึงยืดตามมาตรฐาน ASTM D 638M - 89 โดยกำหนดสภาวะในการทดสอบดังนี้

ความเร็วในการทดสอบ	50	มิลลิเมตรต่อนาที
ความยาวเกจ	3	เซนติเมตร
น้ำหนักที่ใช้ในการดึง	50	กิโลกรัม
อุณหภูมิทดสอบ	25	องศาเซลเซียส

ใช้ชิ้นงานในการทดสอบจำนวน 8 ชิ้น เมื่อตั้งสภาวะที่ทดสอบเรียบร้อยแล้ว นำชิ้นงานใส่เครื่องดึง แล้วทำการดึงจนชิ้นงานขาดและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด = F/A

เมื่อ F = แรงที่ใช้ในการดึง ณ จุดขาด (กิโลกรัม)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นตัวอย่างที่ทำการทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

ค่ามอดูลัส 100 = F_t/A

เมื่อ F_t = แรงที่ใช้ในการดึงให้ชิ้นงานตัวอย่างยืดได้ 1 เท่าของความยาวเดิม (กิโลกรัม)

ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก = F_m/A

เมื่อ F_m = แรงดึง ณ จุดคราก (กิโลกรัม)

เปอร์เซ็นการยืด ณ จุดขาด = $100\ (L-L_o)/L_o$

เมื่อ L_o = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นตัวอย่าง (3 เซนติเมตร)

L = ความยาว ณ จุดขาด (เซนติเมตร)

2. <u>การทดสอบความแข็ง</u> (Hardness)

เตรียมชิ้นงานให้เป็นแผ่นเหมือนในข้อ 1 แล้วตัดให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 1.5 นิ้ว จำนวน 7 แผ่น แล้วนำไปวัดค่าความแข็งด้วย durometer type D โดยวางชิ้นตัวอย่างซ้อนกัน 7 ชิ้น เพื่อให้มีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 มิลลิเมตร ทำการวัดความแข็งของชิ้นงานตัวอย่าง บันทึกค่าที่ได้ จากนั้นเปลี่ยนชิ้นตัวอย่างที่ทำการวัดความแข็งที่จุดต่าง ๆ 5 ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

3. <u>การศึกษาความสามารถในการกระจาย (dispersibility) ของพอลิเมอร์ผสม</u>

นำชิ้นงานที่เป็นแผ่นที่เตรียมได้จากข้อ 1 เลือกส่วนที่บางมาก ๆ มาส่องดูด้วยเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (Polarized microscope) เพื่อศึกษาการกระจายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของยางธรรมชาติในพอลิโพรพิลีน รวมทั้งศึกษาขนาดและรูปร่างของอนุภาคยาง โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า

4. <u>การศึกษาความสามารถในการนำกลับมาใช้ใหม่ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก</u>

โดยการนำยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกที่ใช้สารตัวเร่ง MXK อัตราส่วน PP:NR เป็น 90:10 และ 80:20 ตามลำดับ หลังจากทำการทดสอบในข้อ 1 แล้ว นำกลับมาขึ้นรูปใหม่ โดยใช้สภาวะเดียวกันกับข้อ 1 และนำมาทดสอบสมบัติเชิงกล จากนั้นก็นำชิ้นส่วนที่ทดสอบแล้วมาขึ้นรูปและทดสอบใหม่ ทำอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ 5 ครั้ง แล้วเปรียบเทียบสมบัติที่เปลี่ยนไป

ค่าที่ได้จากการทดสอบต่าง ๆ จะนำมาคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ดังนี้

$$S.D. = \sqrt{(\Sigma x^2 - nx^2)/(n-1)}$$

เมื่อ x = ค่าการวัดในแต่ละครั้ง

n = จำนวนครั้งในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้กำมะถันและสารตัวเร่งเป็นสารเชื่อมโยง

No.	PP:NR	NR	PP	Str.a.	ZnO	Irganox	Tinuvin	S	Acc.
1	90:10	5	45	0.05	0.15	0.05	0.05	0.1	0.075
2	80:20	10	40	0.10	0.30	0.10	0.10	0.2	0.150
3	70:30	15	35	0.15	0.45	0.15	0.15	0.3	0.225
4	60:40	20	30	0.20	0.60	0.20	0.20	0.4	0.300
5	50:50	25	25	0.25	0.75	0.25	0.25	0.5	0.375
6	40:60	30	20	0.30	0.90	0.30	0.30	0.6	0.450

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้ DCP เป็นสารเชื่อมโยง

No.	PP:NR	NR	PP	DCP	Irganox	Tinuvin
1	90:10	5	45	0.05	0.05	0.05
2	80:20	10	40	0.10	0.10	0.10
3	70:30	15	35	0.15	0.15	0.15
4	60:40	20	30	0.20	0.20	0.20
5	50:50	25	25	0.25	0.25	0.25
6	40:60	30	20	0.30	0.30	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อใช้ฟินอลลิกเรซิน กับซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

No.	PP:NR	NR	PP	SP	ZnO	Irganox	Thinuvin
1	90:10	5	45	1.0	0.25	0.05	0.05
2	80:20	10	40	1.0	0.25	0.10	0.10
3	70:30	15	35	1.0	0.25	0.15	0.15
4	60:40	20	30	1.0	0.25	0.20	0.20
5	50:50	25	25	1.0	0.25	0.25	0.25
6	40:60	30	20	1.0	0.25	0.30	0.30

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนในการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เมื่อไม่มีการวัลคาไนซ์

No.	PP:NR	NR	PP	Irganox	Thinuvin
1	90:10	5	45	0.05	0.05
2	80:20	10	40	0.1	0.1
3	70:30	15	35	0.15	0.15
4	60:40	20	30	0.20	0.20
5	50:50	25	25	0.25	0.25
6	40:60	30	20	0.30	0.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน เพื่อพัฒนาหาสูตรพอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีที่สุด ให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

1. <u>การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผสมกันระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน</u>

1.1 <u>อุณหภูมิของเครื่องผสมบาร์เบนเดอร์</u>

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการผสมอยู่ในช่วงระหว่าง 178-179 องศาเซลเซียส

ความเร็วในการหมุนของใบพัด 50 รอบต่อนาที

เป็นสภาวะที่ทำให้พอลิโพรพิลีนหลอมเหลวหมดภายในเวลา 4 นาที และในเวลา 4 นาที พอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ และสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆสามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

1.2 <u>เวลาที่ใช้ในการเติมสารเชื่อมโยงกำมะถันและสารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ</u>

เมื่อใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ในยางผสมสูตร แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง ODR ที่อุณหภูมิ 177 องศาเซลเซียส เพื่อหาเวลาที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุด (T_{90}) ได้ผลดังรูปที่ 4.1-4.3

จากรูปที่ 4.1-4.3 พบว่า

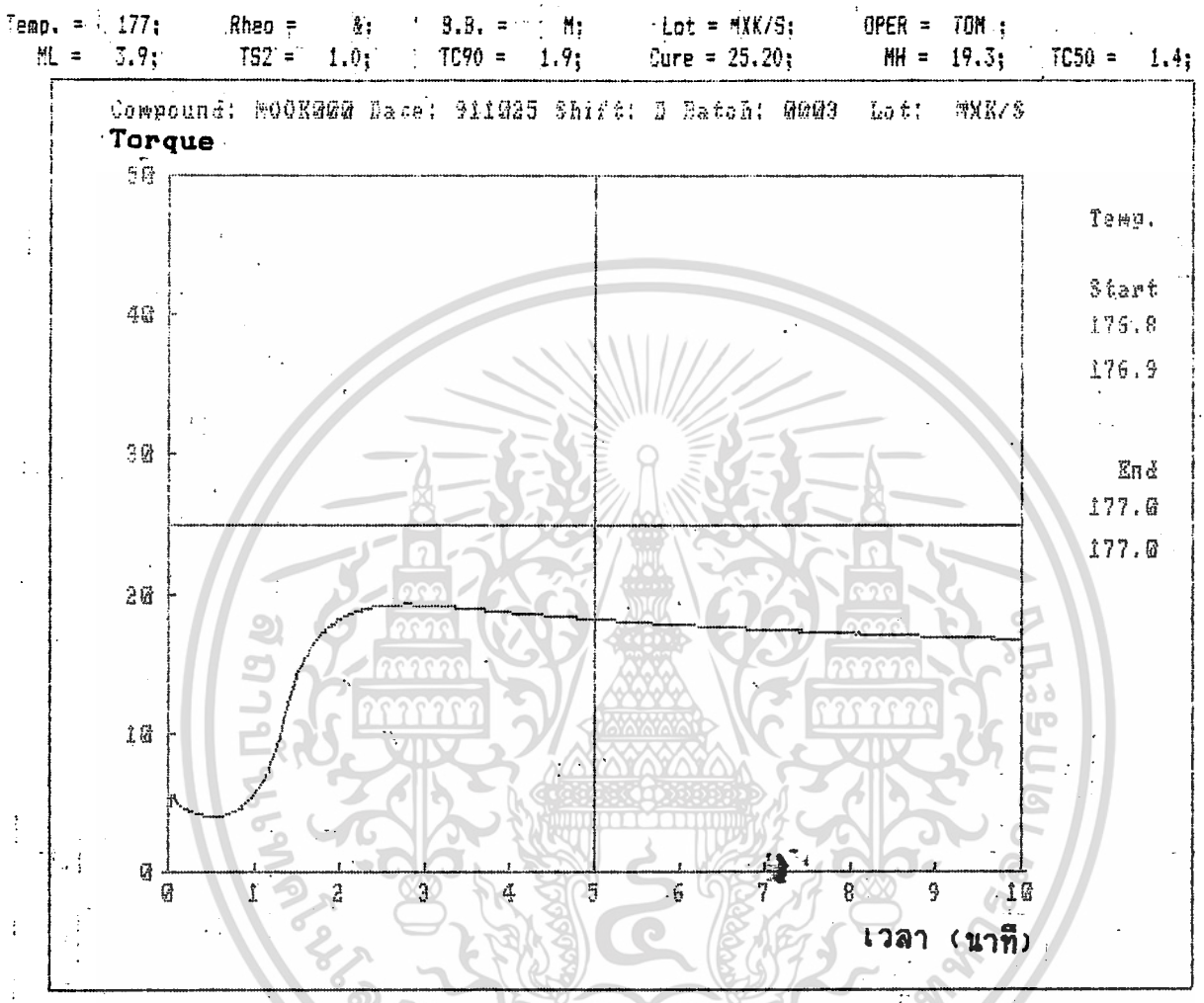
เมื่อใช้สารตัวเร่ง MXK จะมีค่า T_{90} = 1.9 นาที

ถ้าใช้สารตัวเร่ง TMTM จะมีค่า T_{90} = 1.8 นาที

ถ้าใช้สารตัวเร่ง MBTS จะมีค่า T_{90} = 2.7 นาที

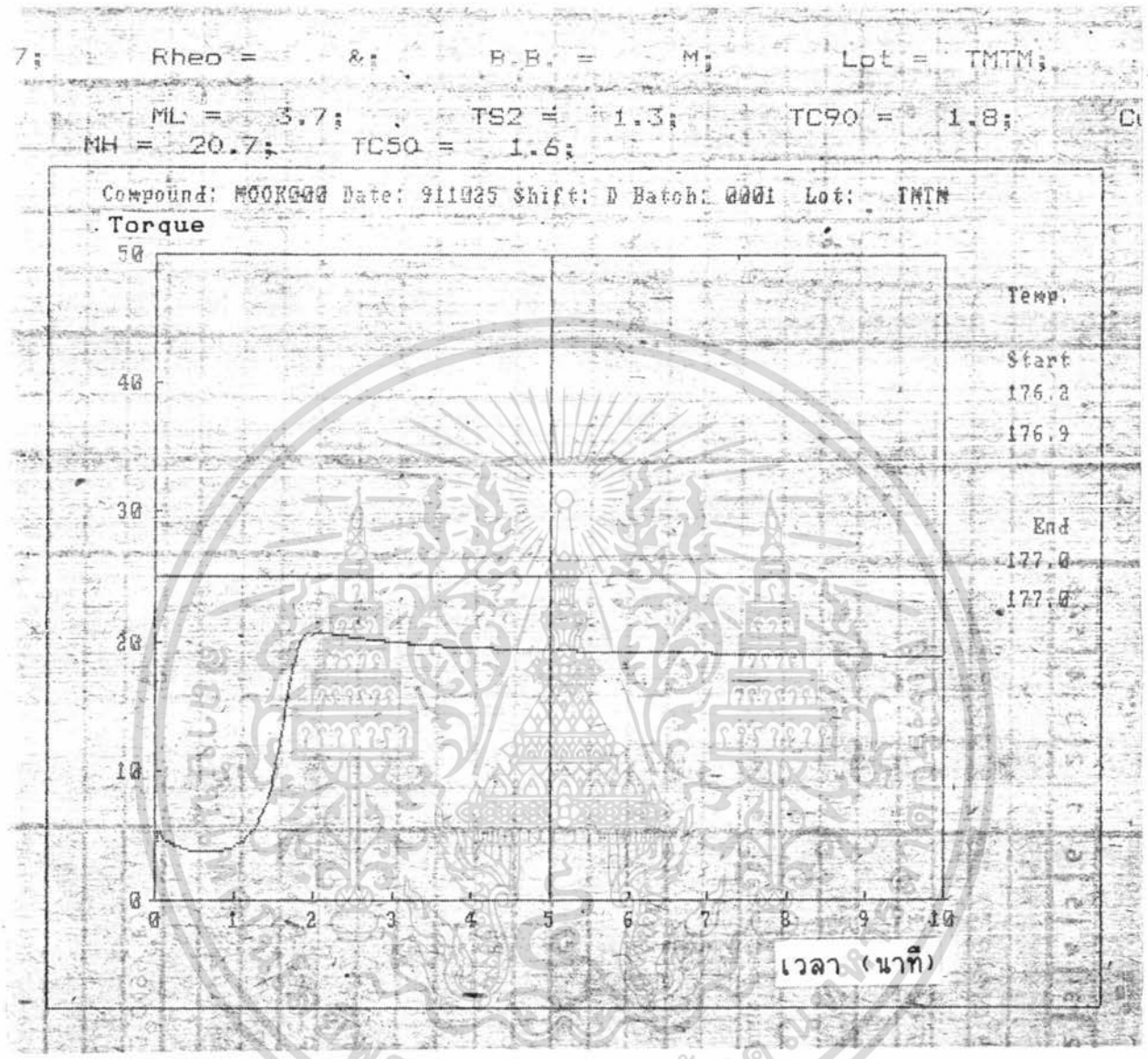
เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์สูงกว่า 177 องศาเซลเซียส ดังนั้นเวลาที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงที่ดีที่สุด (T_{90}) จะลดลง และจากการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าเมื่อทำการผสมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ และสารเติมแต่งชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 4 นาที แล้วจึงเติมกำมะถันกับสารตัวเร่ง ถ้าใช้ MXK หรือ TMTM เป็นสารตัวเร่งจะทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



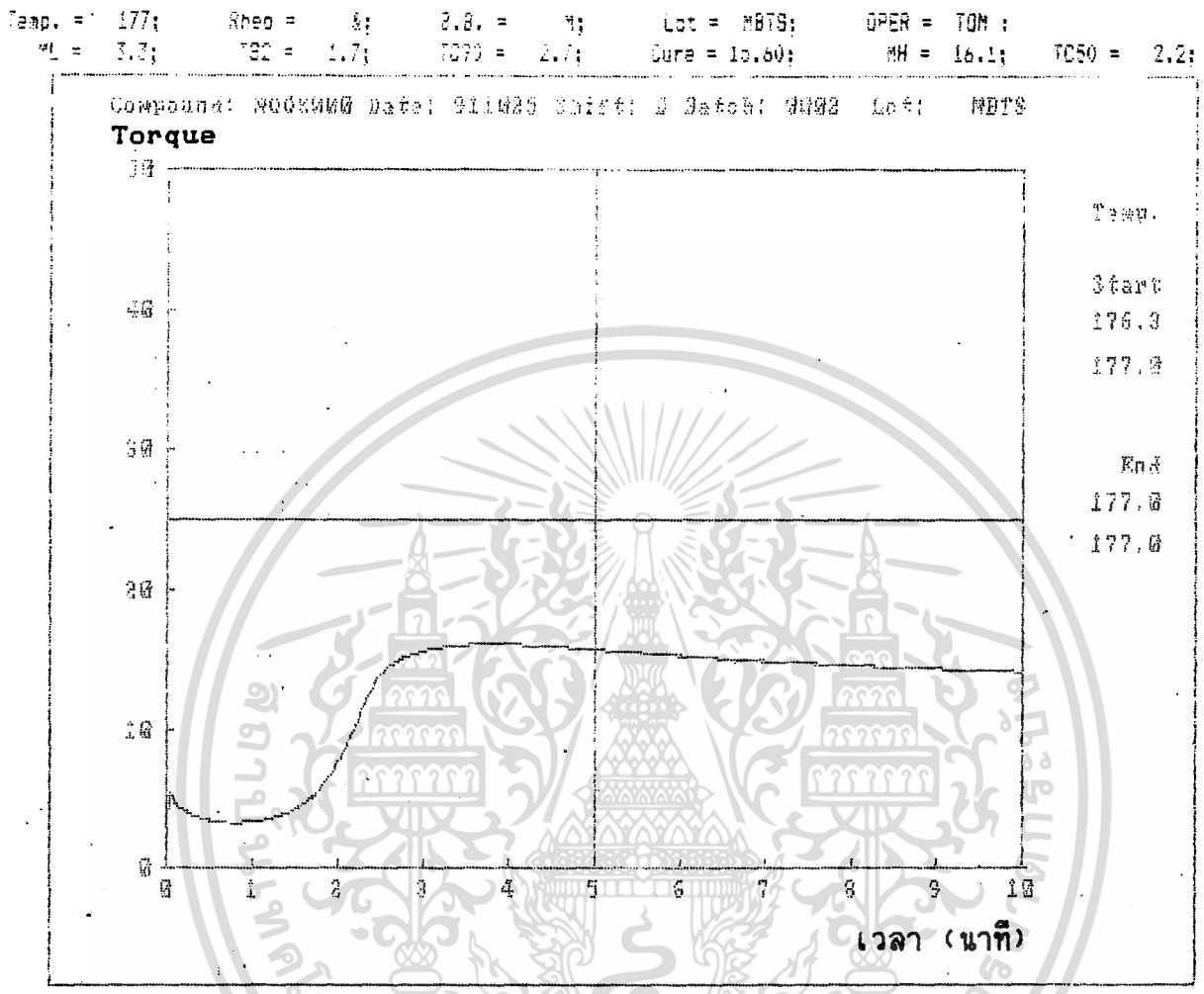
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นสารตัวเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ TMTM เป็นสารตัวเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับเวลาที่ได้จากเครื่อง ODR เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MBTS เป็นสารตัวเร่ง

การผสมต่อไปอีก 1 นาที ถ้าใช้ MBTS เป็นตัวเร่งจะใช้เวลาในการผสมต่อไปอีก 2 นาที จะให้พอลิเมอร์ผสมที่มีสมบัติต่าง ๆ ดีที่สุด โดยไม่ทำให้ยางเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 4.1</u> ลักษณะทางกายภาพของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยง และสารตัวเติมต่าง ๆ

PP:NR	สารเชื่อมโยง	ลักษณะชิ้นงานเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า	ความสามารถในการขึ้นรูป
90:10	S/MXK	สีเหลืองอ่อนมาก และใสมาก ผิวมัน	ดีมาก
	S/TMTM	สีเหลืองอ่อนมาก และใสมาก ผิวมัน	ดีมาก
	S/MBTS	สีเหลืองอ่อนมาก และใสมาก ผิวมัน	ดีมาก
	DCP	สีเหลืองอ่อนมาก และใสมาก ผิวมัน	ดีมาก
	SP/ZnO	สีเหลืองสดใส ผิวไม่ค่อยมัน	ดีมาก
	ไม่มี	ไม่มีสี โปร่งใส ผิวมัน	ดีมาก
80:20	S/MXK	สีเหลือง และใส ผิวมัน	ดีมาก
	S/TMTM	สีเหลืองอ่อน ใส ผิวมัน	ดีมาก
	S/MBTS	สีเหลืองอ่อน ใส ผิวมัน	ดีมาก
	DCP	สีเหลืองอ่อนมาก และใส ผิวมัน	ดีมาก
	SP/ZnO	สีเหลืองสดใส ผิวไม่ค่อยมัน	ดีมาก
	ไม่มี	มีสีอ่อน ๆ และใสผิวมัน	ดีมาก
70:30	S/MXK	สีเหลืองและใส ผิวมัน	ดี
	S/TMTM	สีเหลืองเข้มขึ้น และใส ผิวมัน	ดี
	S/MBTS	สีเหลืองคล้ำ ๆ และเริ่มขุ่น ผิวมัน	ดี
	DCP	สีเหลืองอ่อนมาก และใส ผิวมัน	ดี
	SP/ZnO	สีเหลืองสดใส ผิวไม่ค่อยมัน	ดี
	ไม่มี	มีสีอ่อน ๆ และใส ผิวมัน	ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

PP:NR	สารเชื่อมโยง	ลักษณะชิ้นงานเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า	ความสามารถในการขึ้นรูป
60:40	S/MXK	สีเหลืองเข้มขึ้น และใส ผิวมัน	พอใช้
	S/TMTM	สีเหลืองคล้ำ และขุ่นเล็กน้อย ผิวมัน	พอใช้
	S/MBTS	สีเหลืองคล้ำ และขุ่น ผิวไม่ค่อยมัน	พอใช้
	DCP	สีเหลืองอ่อน และใส ผิวมัน	ดี
	SP/ZnO	สีเหลืองสดใส ผิวไม่ค่อยมัน	พอใช้
	ไม่มี	สีอ่อน ๆ และใส ผิวมัน	พอใช้
50:50	S/MXK	สีเหลืองขึ้นและใส ผิวมัน	พอใช้และเริ่มติดแบบพิมพ์
	S/TMTM	สีน้ำตาล ใส ผิวมัน	"
	S/MBTS	สีเหลืองคล้ำขุ่น ผิวไม่ค่อยมัน	"
	DCP	สีเหลืองอ่อน ใส ผิวมัน	ดี
	SP/ZnO	สีเหลืองคล้ำขุ่น ผิวไม่ค่อยมัน	พอใช้และเริ่มติดแบบพิมพ์
	ไม่มี	สีเหลืองอ่อน ใส ผิวมัน	"
40:60	S/MXK	สีเหลือง ๆ ออกน้ำตาล ใส ผิวไม่ค่อยมัน	พอใช้และติดแบบมากขึ้น
	S/TMTM	สีน้ำตาล ขุ่น ผิวไม่ค่อยมัน	"
	S/MBTS	สีน้ำตาลอ่อน ขุ่น ผิวด้าน	"

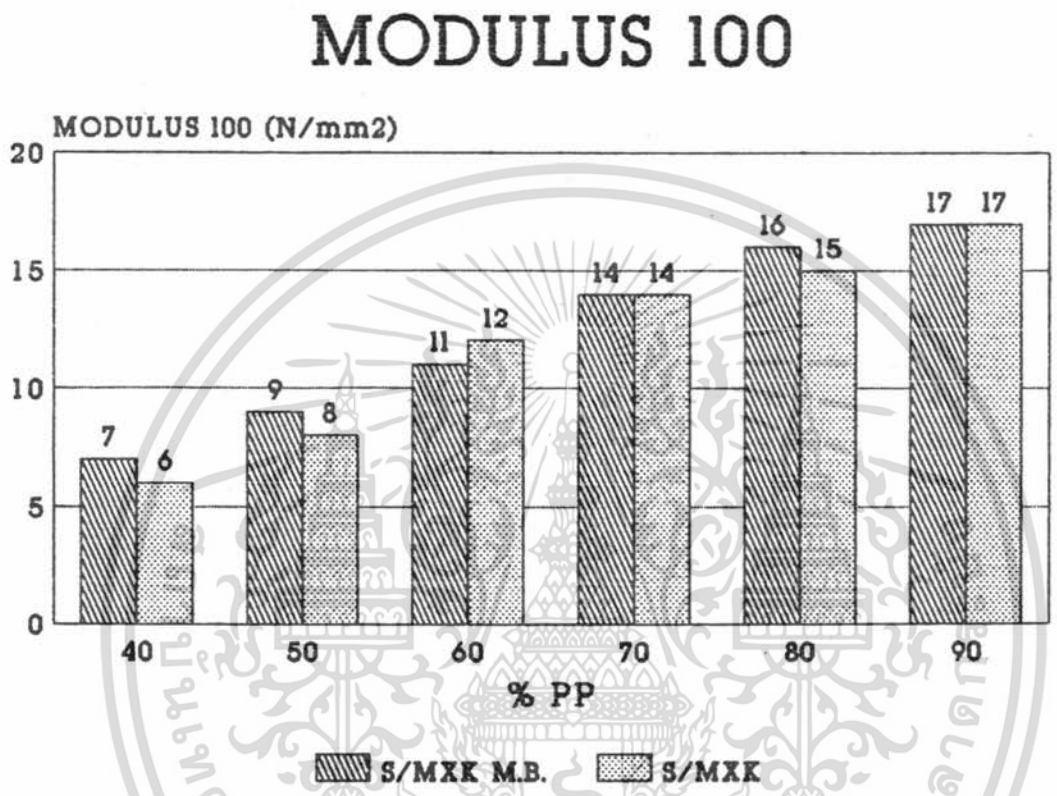
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

PP:NR	สารเชื่อมโยง	ลักษณะชิ้นงานเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า	ความสามารถในการขึ้นรูป
40:60	DCP	สีเหลืองเข้ม ใส ผิวมัน	ดี
	SP/ZnO	สีเหลืองคล้ำขุ่น ผิวไม่ค่อยเป็นมัน	พอใช้และติดแบบมากขึ้น
	ไม่มี	สีเหลืองอ่อน ใส ผิวไม่ค่อยมัน	"
PP:NR	**สารตัวเติม**	**ลักษณะชิ้นงานเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า**	**ความสามารถในการขึ้นรูป**
60:40	เขม่าดำ	สีดำทึบแสง ผิวมัน	ดี
40:60	เขม่าดำ	สีดำทึบแสง ผิวมัน	ดี
60:40	$CaCO_3$	สีเทา-เหลือง ทึบแสง ผิวมัน	ดี
40:60	$CaCO_3$	สีเทา-เหลือง ทึบแสง ผิวด้าน	พอใช้
60:40	ซิลิกา	สีเหลือง ใส ผิวมัน	ดี
40:60	ซิลิกา	สีเหลือง ใส ผิวไม่ค่อยมัน	พอใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. <u>การศึกษาวิธีการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง</u>



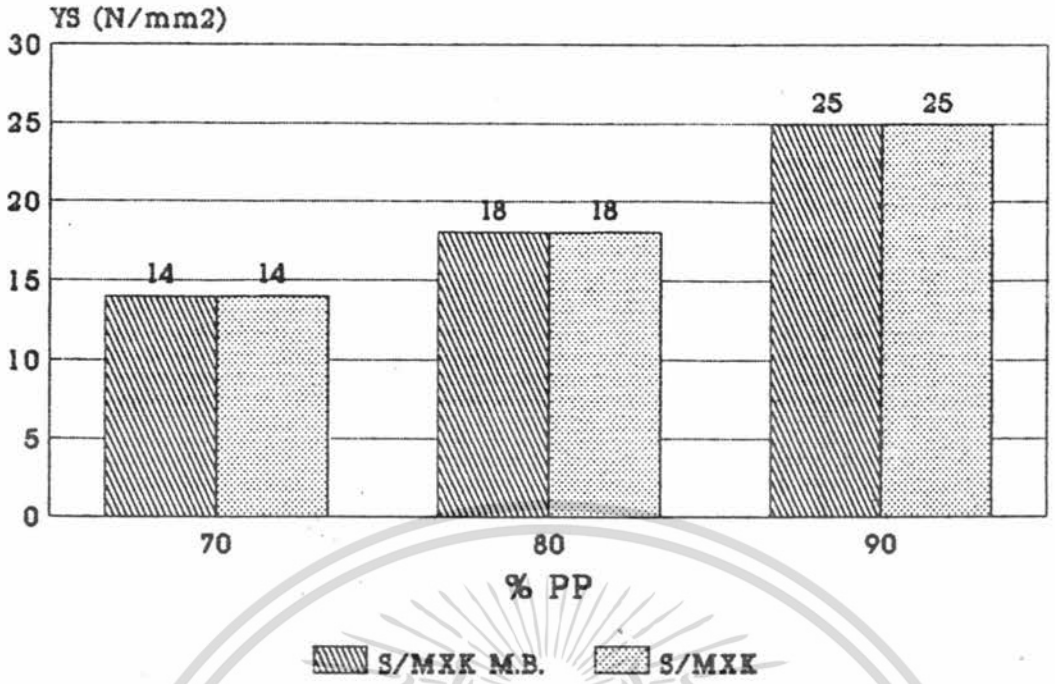
รูปที่ 4.4 แสดงค่ามอดูลัส100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีการผสมต่างกัน

S/MXK M.B. คือการผสมโดยทำเป็นยางผสมสูตรก่อน

S/MXK คือการผสมโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

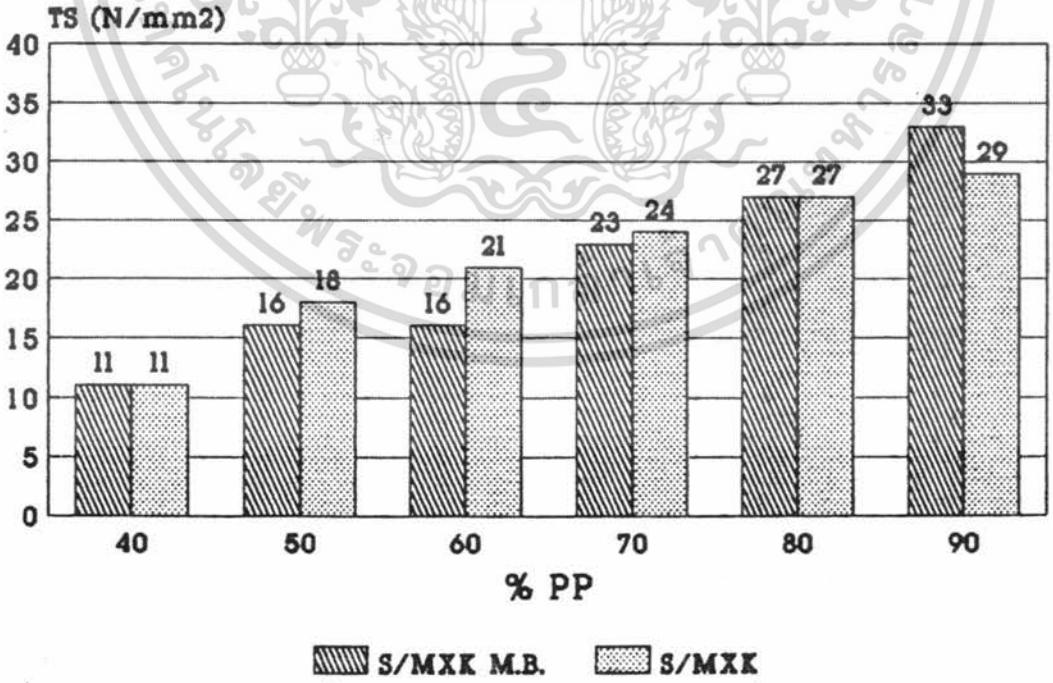
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YIELD STRENGTH



รูปที่ 4.5 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีการผสมต่างกัน

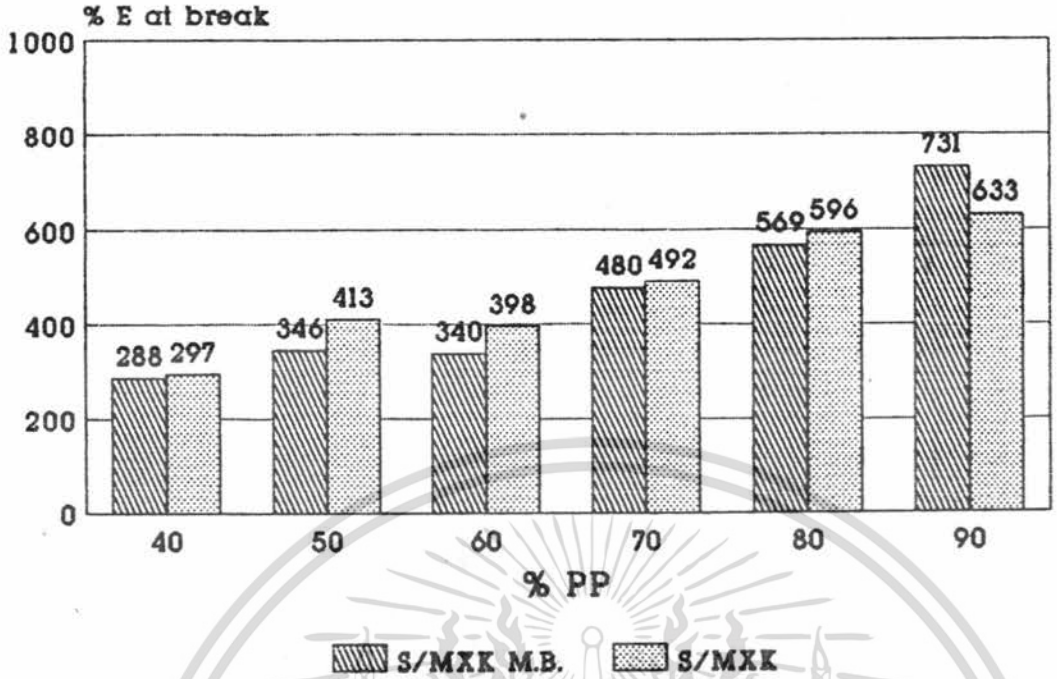
TENSILE STRENGTH



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีการผสมต่างกัน

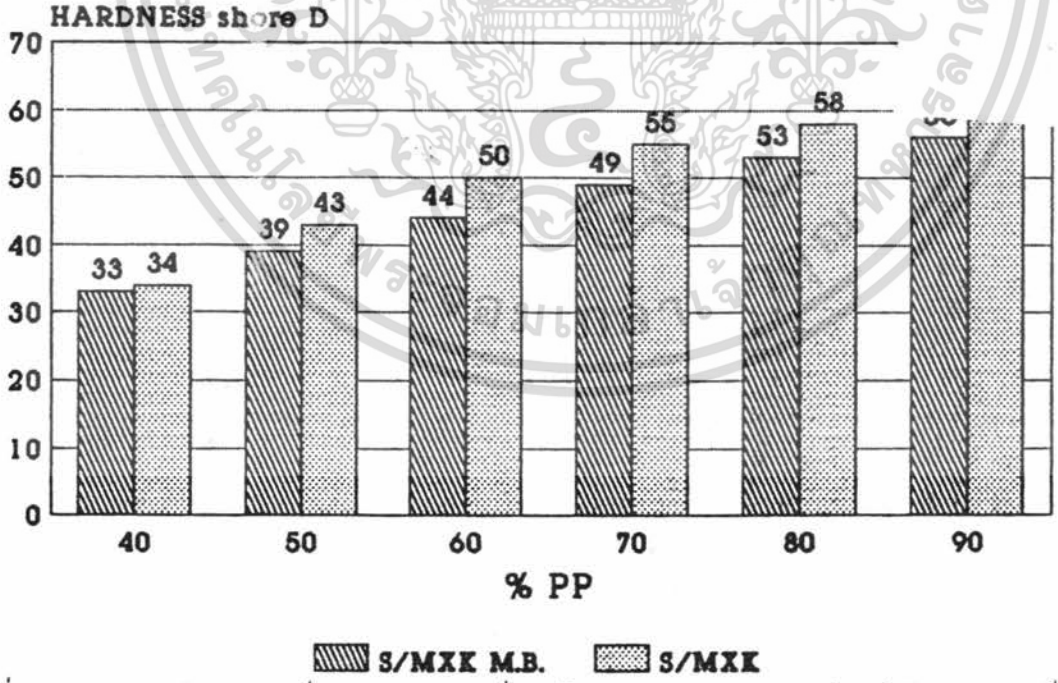
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% ELONGATION AT BREAK



รูปที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีการผสมต่างกัน

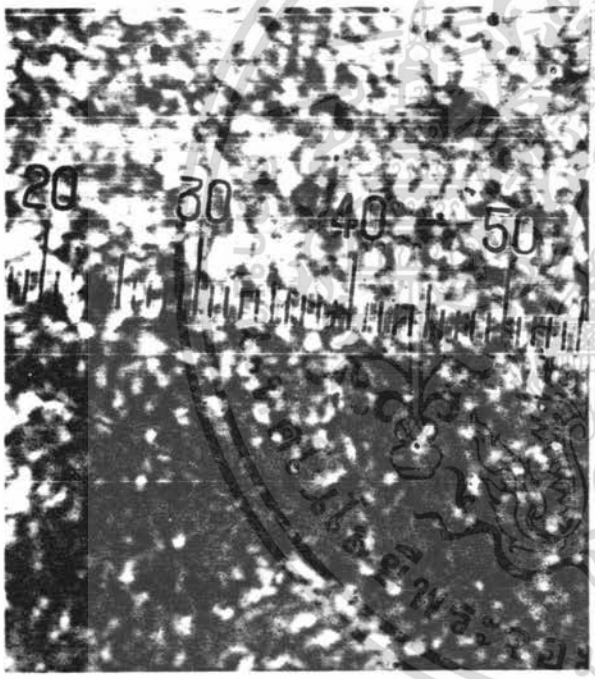
HARDNESS



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อใช้วิธีการผสมต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่4.4-4.8 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ระหว่างการผสมโดยทำเป็นยางผสมสูตรก่อนกับการผสมโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน เมื่อใช้MXKเป็นสารตัวเร่งจะให้ค่ามอดูลัส100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็ง มีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องบาร์เบนเดอร์เป็นเครื่องผสมระบบปิด จึงทำให้ไม่เกิดการสูญเสียของสารเคมีชนิดต่าง ๆ ในระหว่างการผสม ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องนำสารเคมีชนิดต่าง ๆ ไปทำการผสมสูตรกับยางก่อนเพื่อป้องกันการสูญเสีย การผสมโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนสามารถประหยัดเวลาในการผสมและสามารถทำการผสมได้ง่ายกว่าอีกด้วย



4.9 S/MXK M.B.

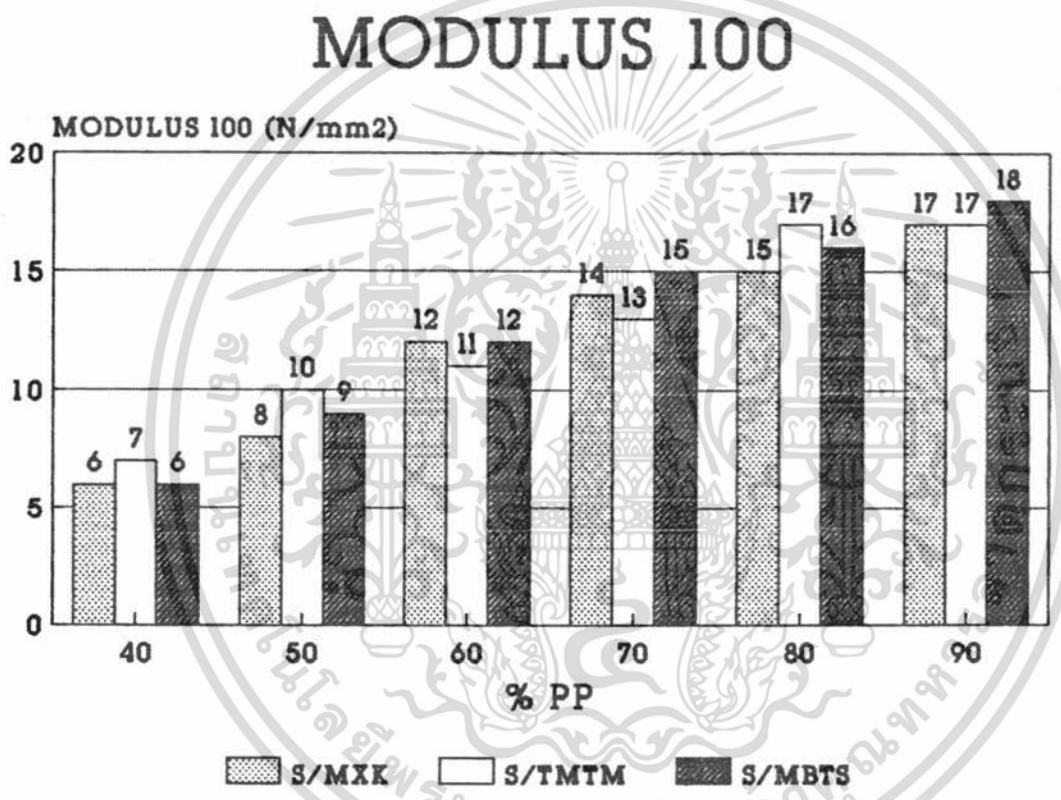
4.10 S/MXK

รูปที่ 4.9-4.10 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน โดยอัตราส่วนของ PP:NRเป็น 80:20 โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และMXKเป็นสารตัวเร่ง เมื่อมีวิธีการผสมต่างกัน กำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9-4.10 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวของอนุภาคยางในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติโดยวิธีการผสมเป็นยางผสมสูตรก่อน และวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนมีลักษณะการกระจายตัวที่ดี เนื่องจากเครื่องบาร์เบนเดอร์ที่ใช้มีประสิทธิภาพสูง

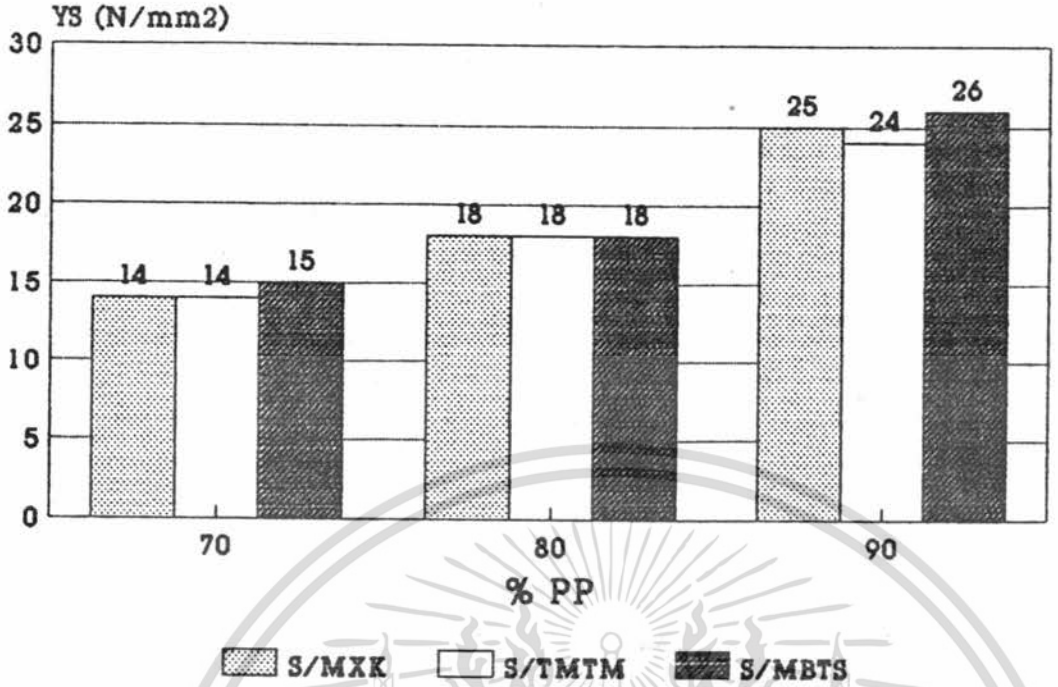
3. <u>การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ</u>



รูปที่ 4.11 แสดงค่ามอดูลัส100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ ดังนี้ S/MXK S/TMTM หรือ S/MBTS คือเมื่อใช้MXK TMTM หรือ MBTS เป็นสารตัวเร่งตามลำดับ

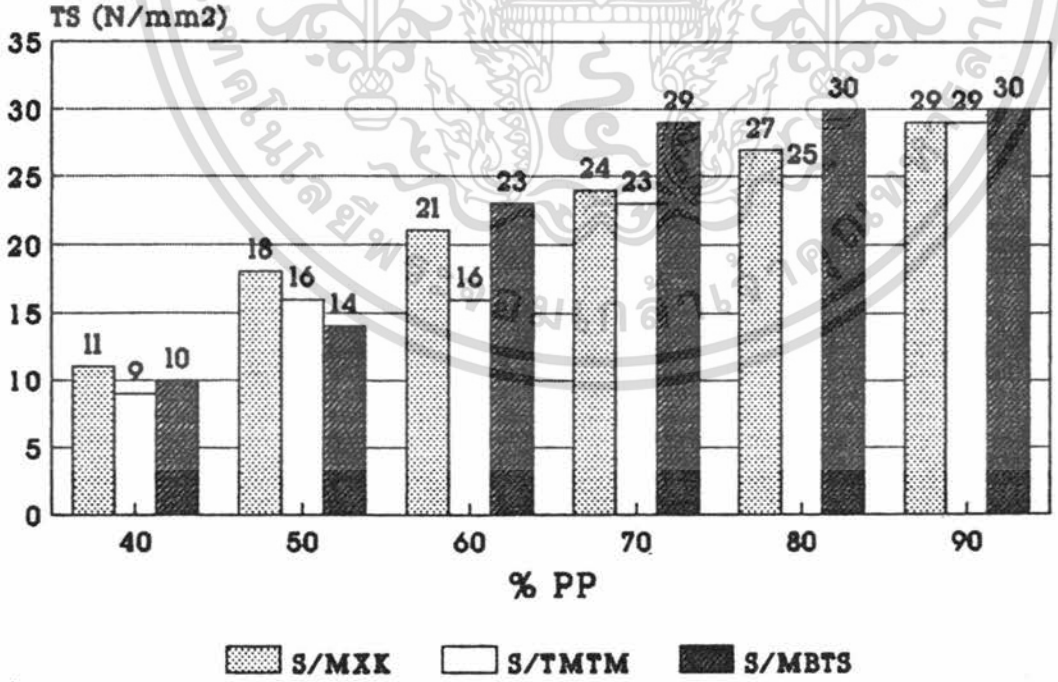
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

YIELD STRENGTH



รูปที่ 4.12 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ

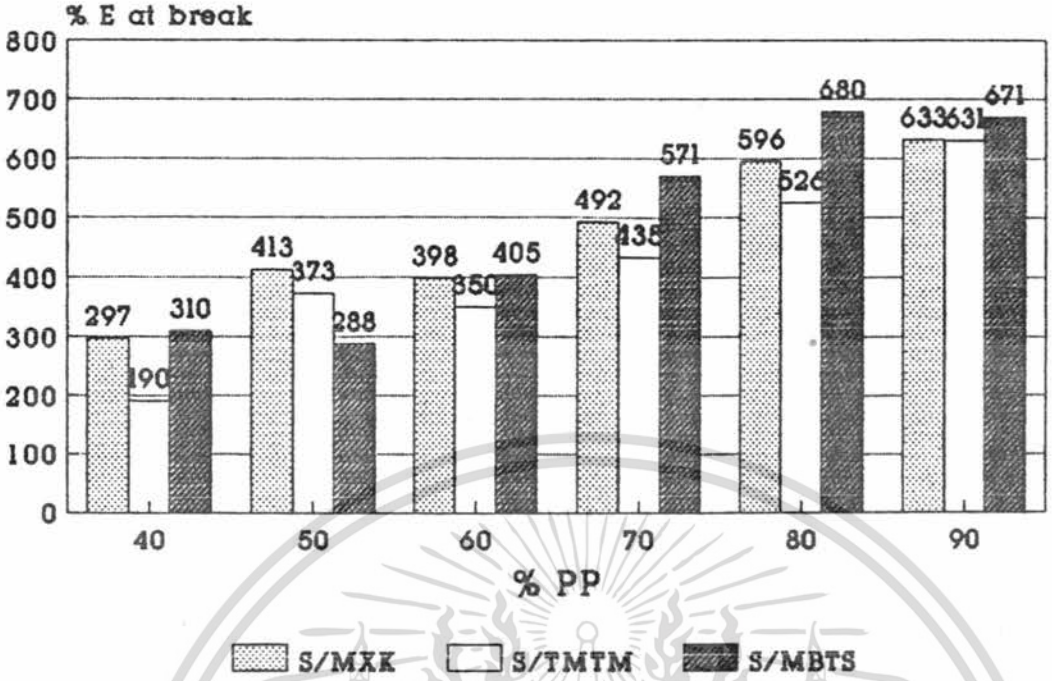
TENSILE STRENGTH



รูปที่ 4.13 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ

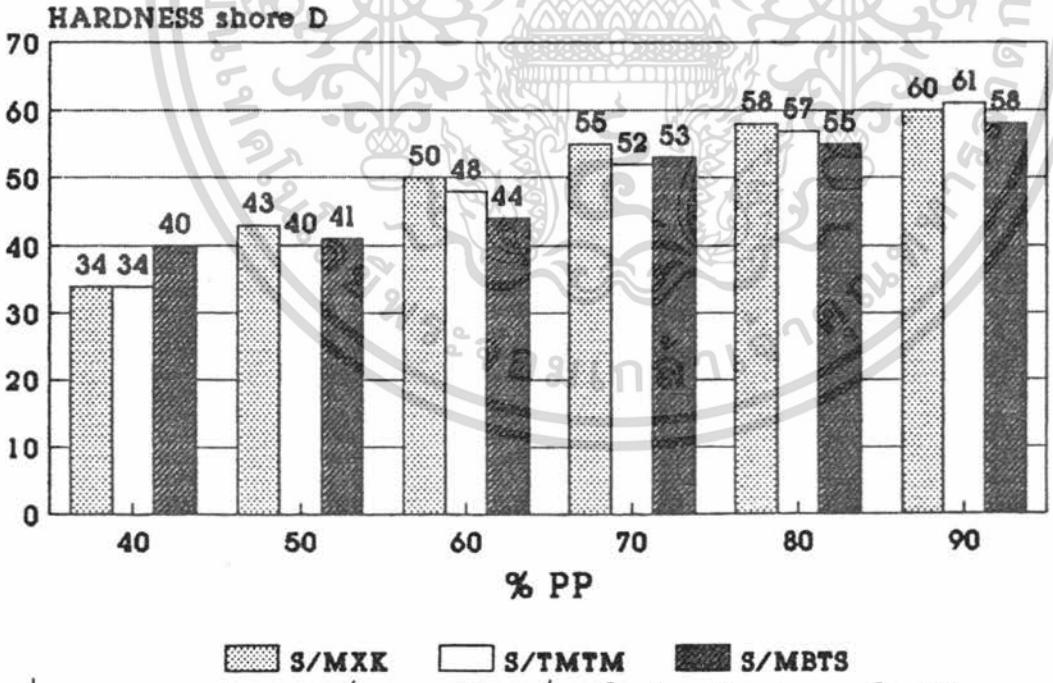
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% ELONGATION AT BREAK



รูปที่ 4.14 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ

HARDNESS



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอนเมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11-4.15 จะแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของสมบัติต่าง ๆ คือ ค่ามอดูลัส 100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งของพอลิเมอร์ผสมโดยใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงและใช้สารตัวเร่งชนิดต่าง ๆ เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก

ไอโซแทกติกพอลิโพรพิลีนมีโครงสร้างเชิงเส้นตรงปราศจากโซ่สาขา โมเลกุลของพอลิโพรพิลีนจึงสามารถจัดตัวกันได้อย่างเป็นระเบียบ และค่อนข้างจะชิดกัน ทำให้มีความเป็นผลึกสูง จึงทำให้มีความทนทานต่อการดึง และมีความแข็งมากขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ยางมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานจึงมีความแข็งแรงดึงและความแข็งต่ำกว่า

โดยทั่วไปเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของยางธรรมชาติวัลคาไนซ์จะมีค่าสูงกว่าพอลิโพรพิลีน แต่ในพอลิเมอร์ผสมเมื่อเพิ่มปริมาณของยางธรรมชาติจะพบว่า เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง เนื่องจากอนุภาคของยางธรรมชาติเข้าไปแทรกอยู่ในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีน ทำให้เกิดเป็นบริเวณรอยต่อระหว่างอนุภาคยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนซึ่งเป็นจุดที่มีความเครียดสูงจึงทำให้เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าลดลง

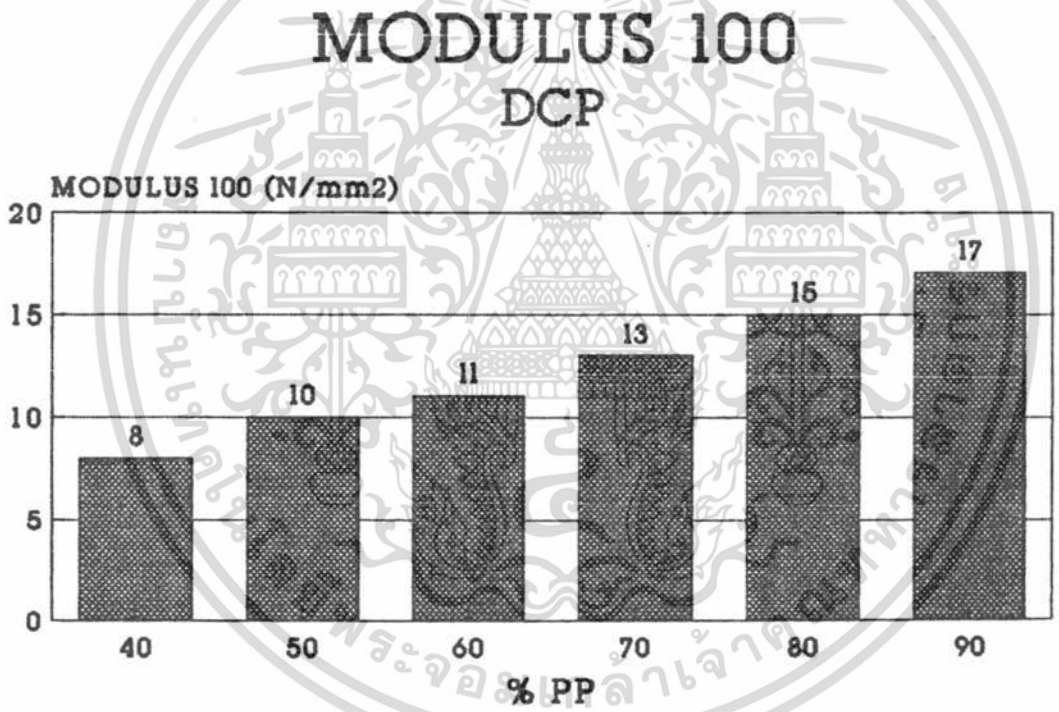
จากการทดลองพบว่า สีของพอลิเมอร์ผสมจะเข้มขึ้นและความสดใสของสีจะน้อยลงเมื่อปริมาณของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปขึ้นรูปจะทำให้ติดแบบพิมพ์มากขึ้นเมื่อสัมผัสจะเหนียวที่บริเวณผิวด้วย เนื่องจากเกิดการสลายตัวของโมเลกุลของยางธรรมชาติในขณะที่กำลังขึ้นรูป

จากรูปที่ 4.11-4.15 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้สารตัวเร่ง MXK TMTM หรือ MBTS จะพบว่าเมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติตั้งแต่ 60:40 ขึ้นไป ระบบวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันซึ่งใช้ MBTS เป็นสารตัวเร่งจะมีแนวโน้มของค่ามอดูลัส100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดสูงกว่าเมื่อใช้ TMTM หรือ MXK เป็นสารตัวเร่ง เนื่องจาก MBTS เป็นสารตัวเร่งที่ทำให้เกิดกลไกการเชื่อมโยงแบบพลศาสตร์ของพอลิเมอร์ผสมที่อุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

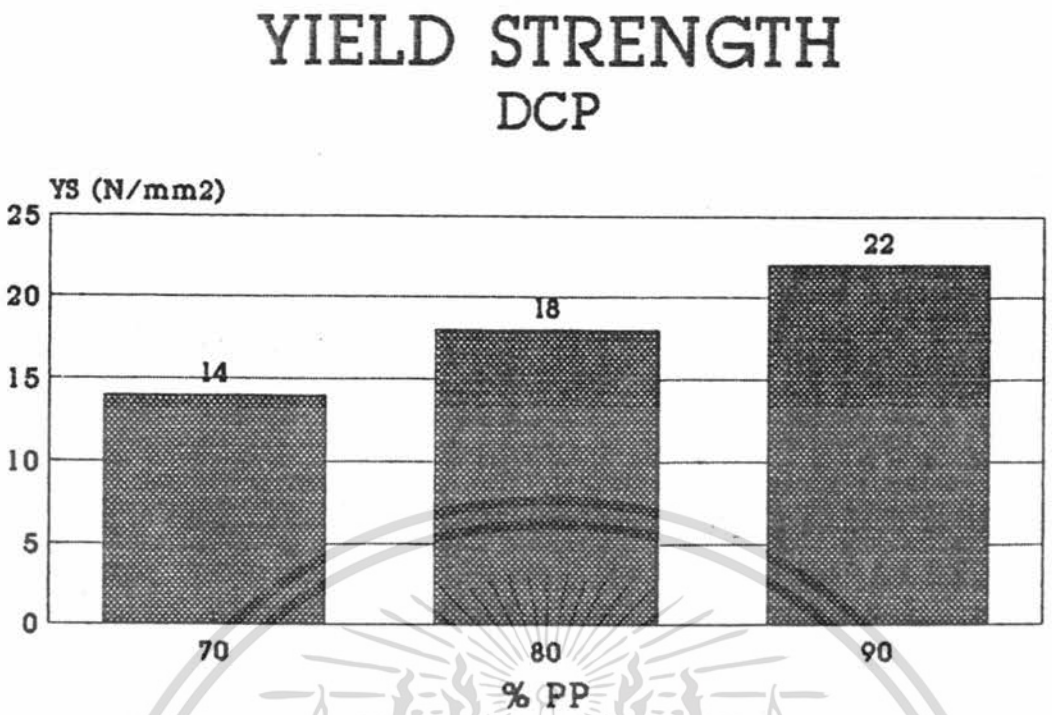
สูงได้ดีและมีความเหมาะสมในสภาวะที่ใช้ในการทดลอง แต่เมื่อปริมาณของยางมากขึ้น คือ อัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติตั้งแต่ 50:50 ขึ้นไปจะทำให้สมบัติต่าง ๆ ของพอลิเมอร์ผสมเมื่อใช้สารตัวเร่ง TMTM หรือ MXK แล้วจะมีค่าสูงกว่าเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจาก TMTM และMXK เป็นสารตัวเร่งที่มีประสิทธิภาพดีเมื่อมีปริมาณของยางมากซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ได้รวดเร็วและเหมาะสมในสภาวะที่ทำการทดลอง สำหรับค่าความแข็งเมื่อใช้ MXK TMTM หรือ MBTS จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

4. <u>การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง</u>

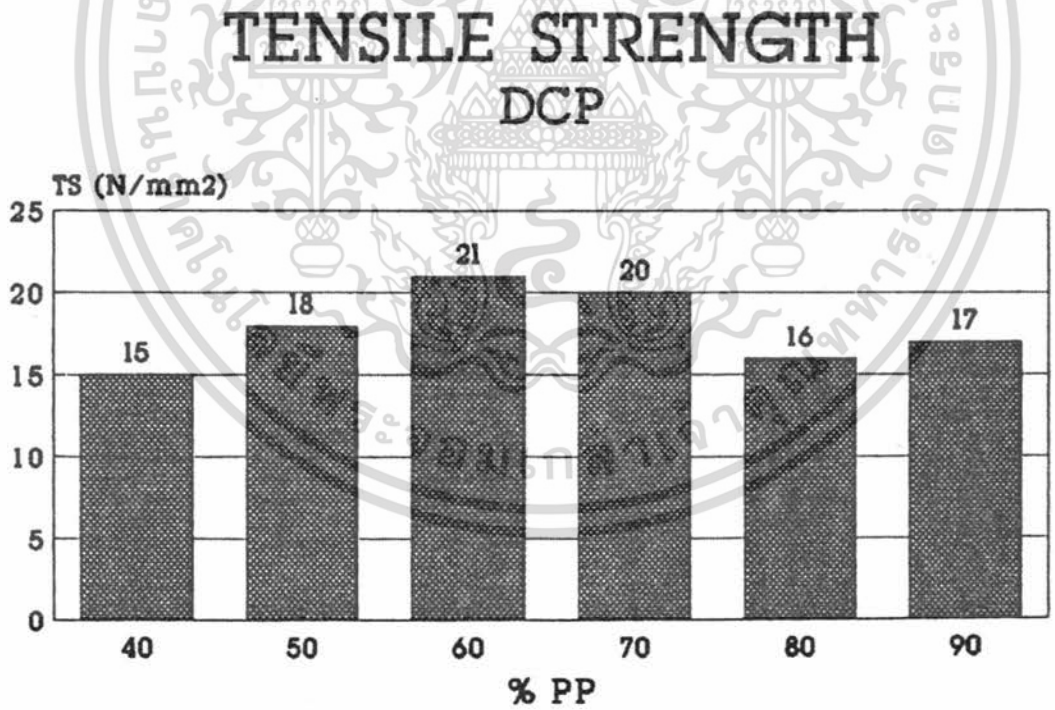


รูปที่ 4.16 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



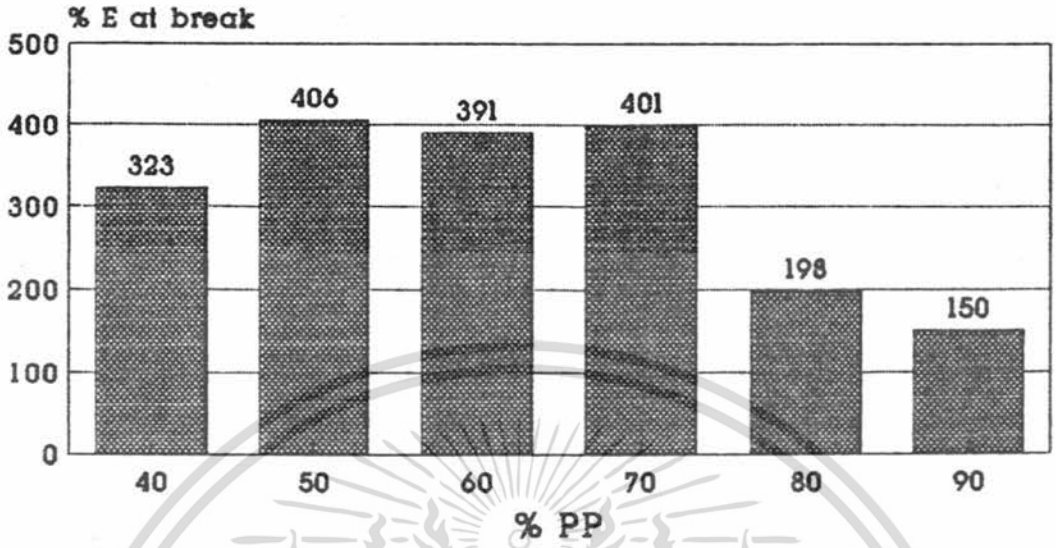
รูปที่ 4.17 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง



รูปที่ 4.18 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

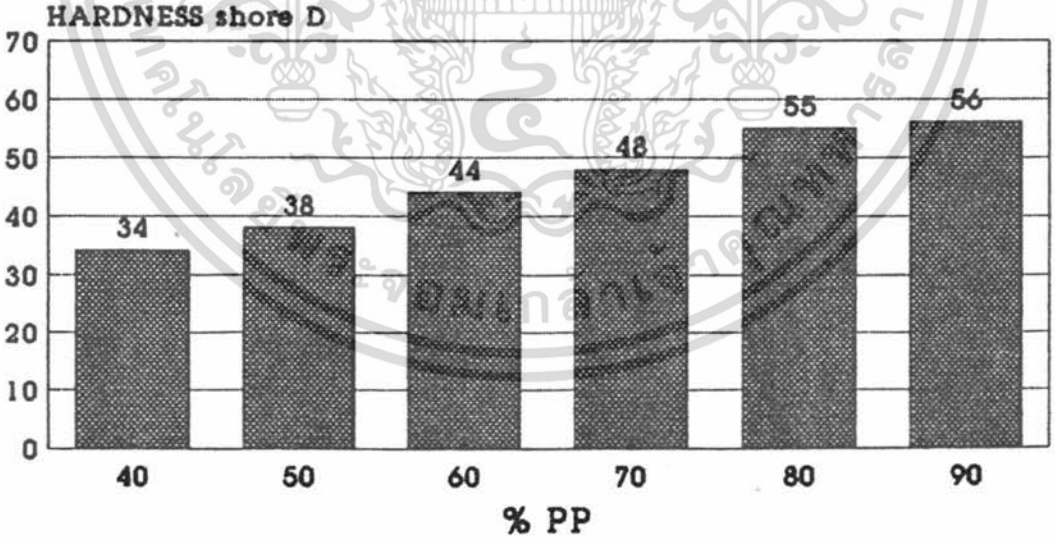
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% ELONGATION AT BREAK
DCP



รูปที่ 4.19 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

HARDNESS
DCP

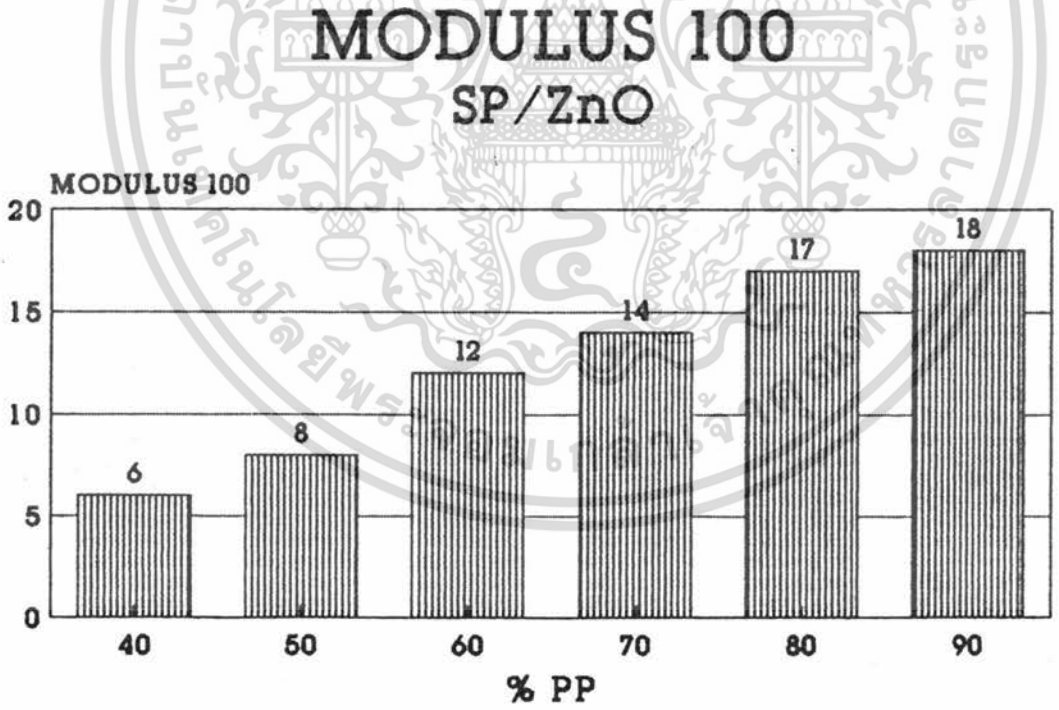


รูปที่ 4.20 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

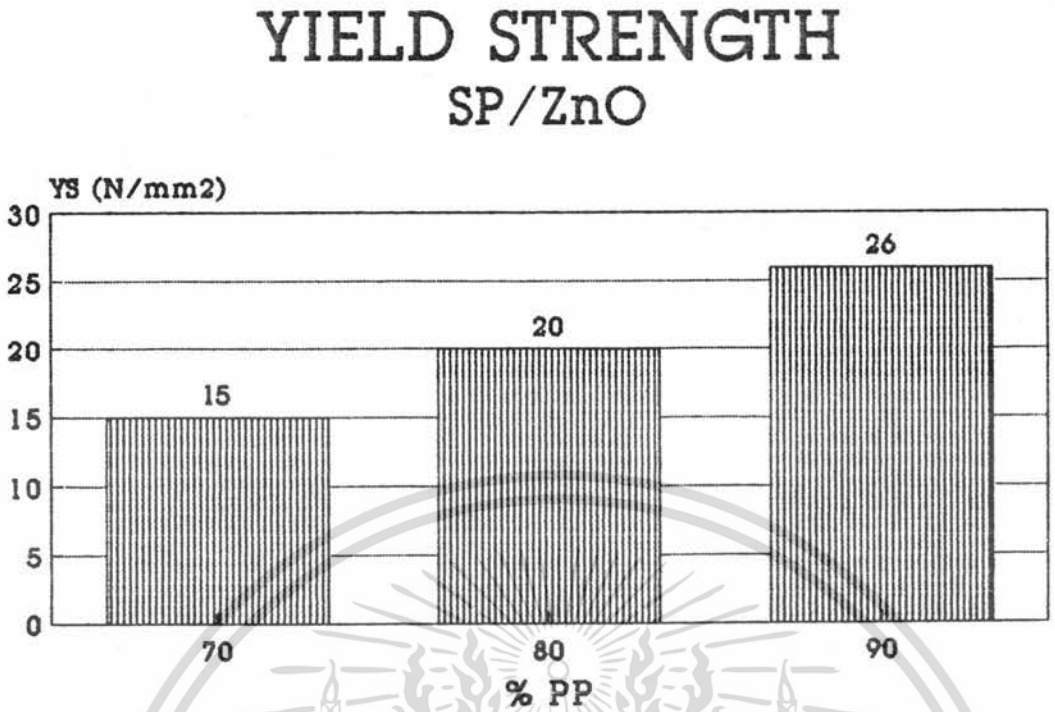
จากรูปที่ 4.16 - 4.20 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัส 100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก และความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น แต่ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดที่อัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติตั้งแต่ 70:30 ขึ้นไป จะมีค่าลดลงและเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณของพอลิโพรพอลีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอนุมูลอิสระนี้สามารถดึงอะตอมไฮโดรเจนที่เกิดพันธะกับคาร์บอนตติยภูมิ (tertiary carbon) ในโซ่โมเลกุลของพอลิโพรพิลีน ทำให้พอลิโพรพิลีนสลายตัวได้ง่าย ดังนั้นพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของพอลิโพรพิลีนมาก ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ไม่เหมาะที่จะใช้เป็นสารเชื่อมโยง แต่เหมาะสำหรับใช้ในพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณยางธรรมชาติค่อนข้างมาก

5. <u>การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง</u>

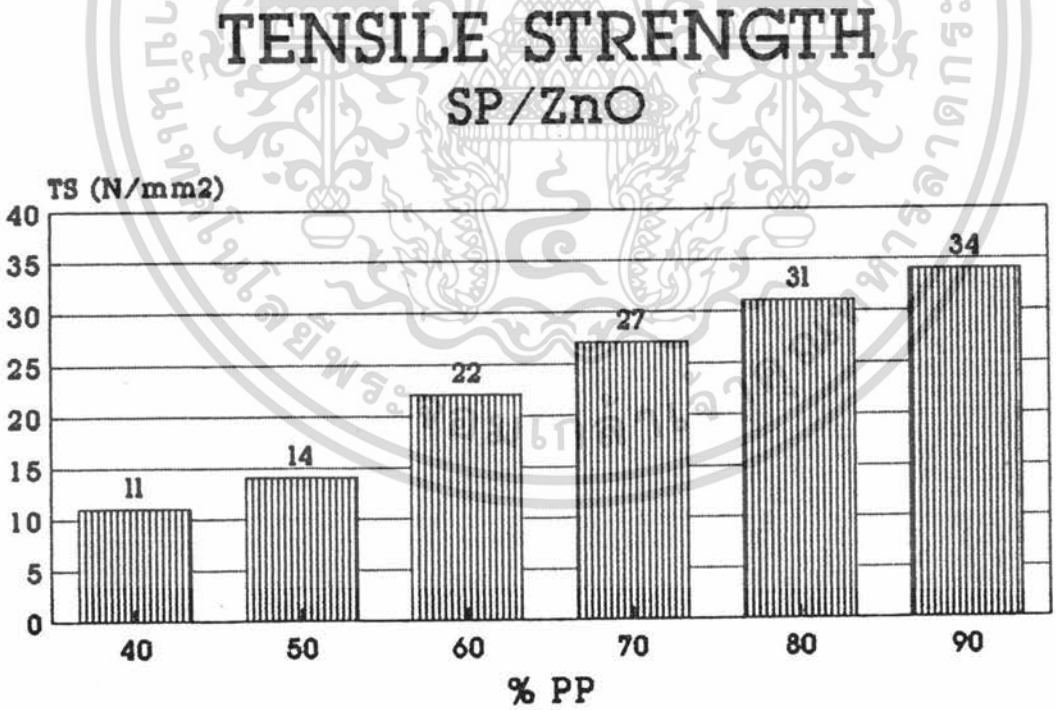


รูปที่ 4.21 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



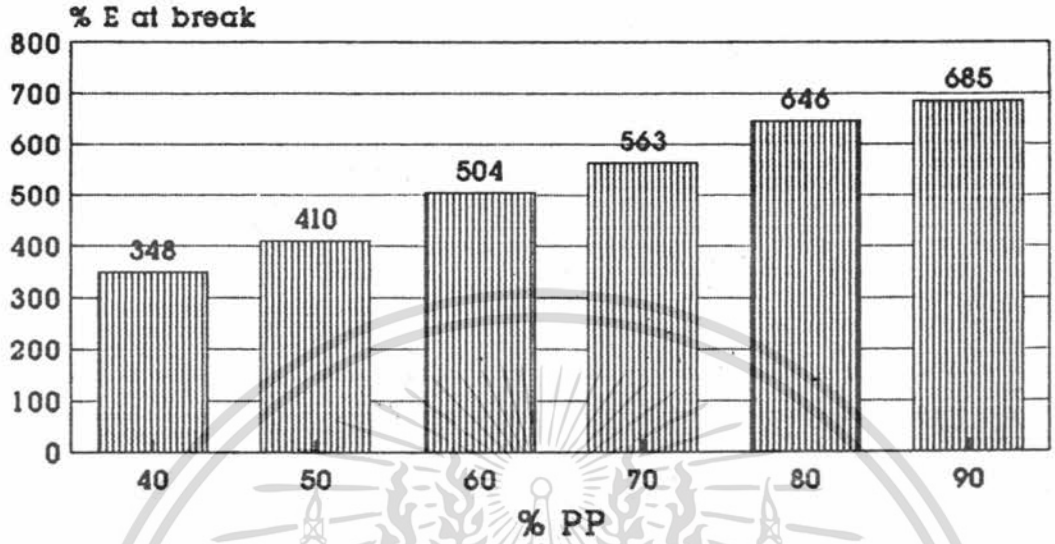
รูปที่ 4.22 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง



รูปที่ 4.23 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

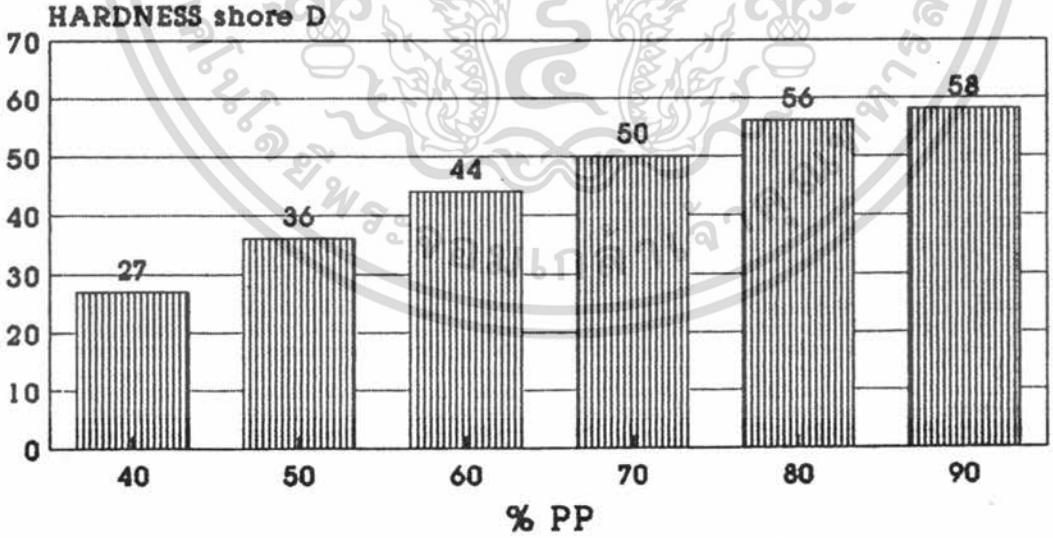
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% ELONGATION AT BREAK
SP/ZnO



รูปที่ 4.24 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

HARDNESS
SP/ZnO

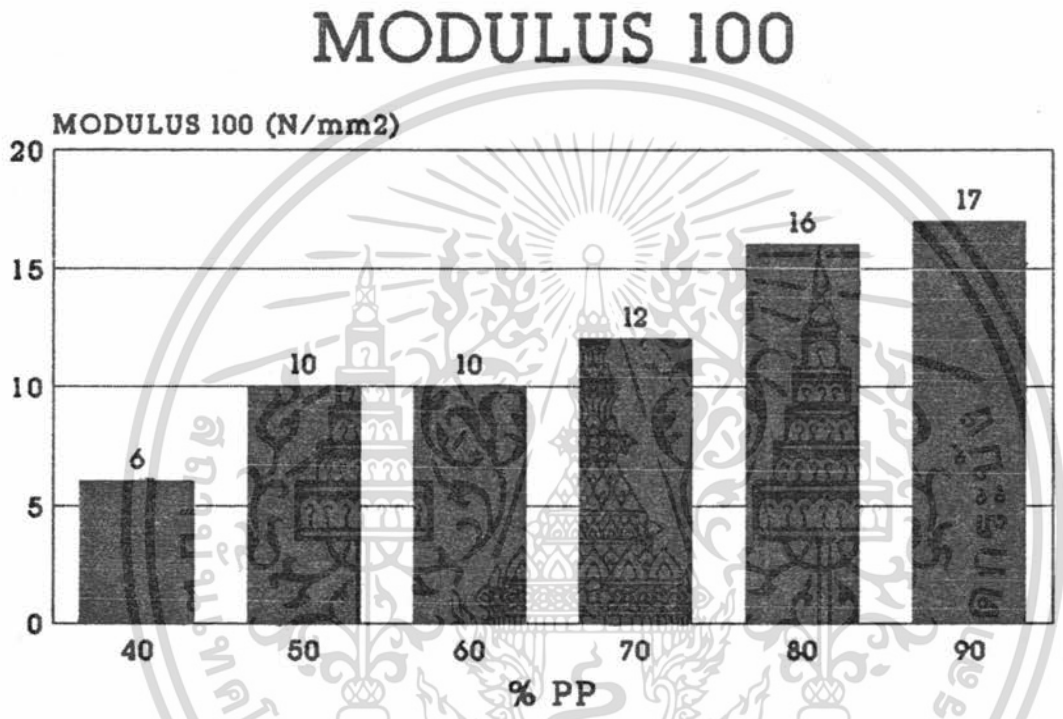


รูปที่ 4.25 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

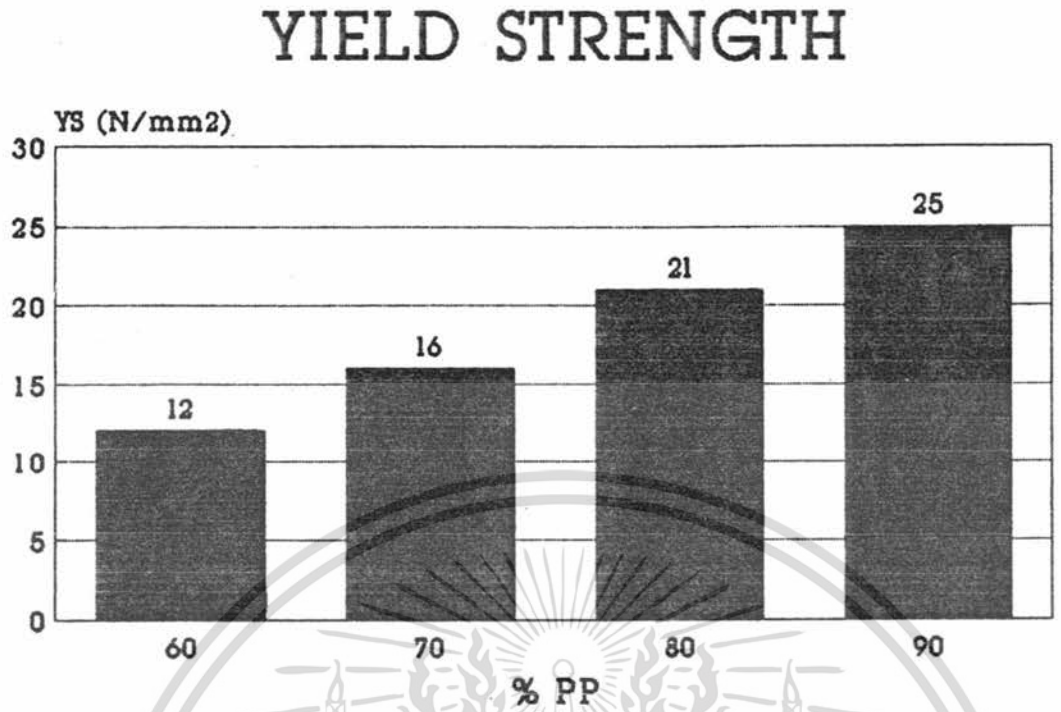
จากรูปที่ 4.21 - 4.25 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัส 100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด และค่าความแข็ง เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น

6. <u>การศึกษาพอลิเมอร์ผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง</u>

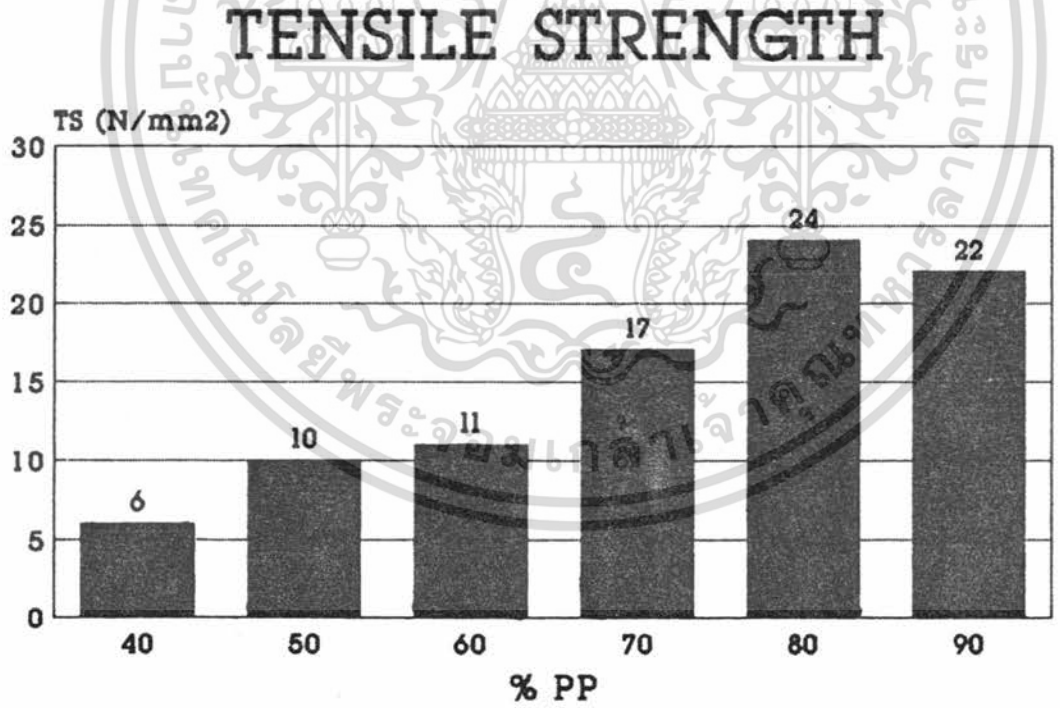


รูปที่ 4.26 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



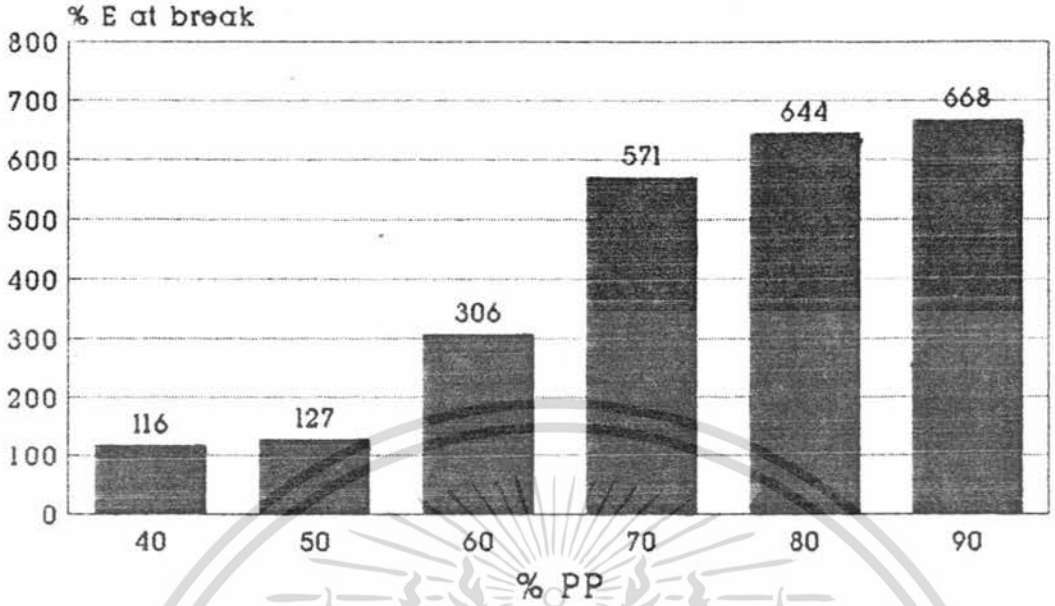
รูปที่ 4.27 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง



รูปที่ 4.28 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

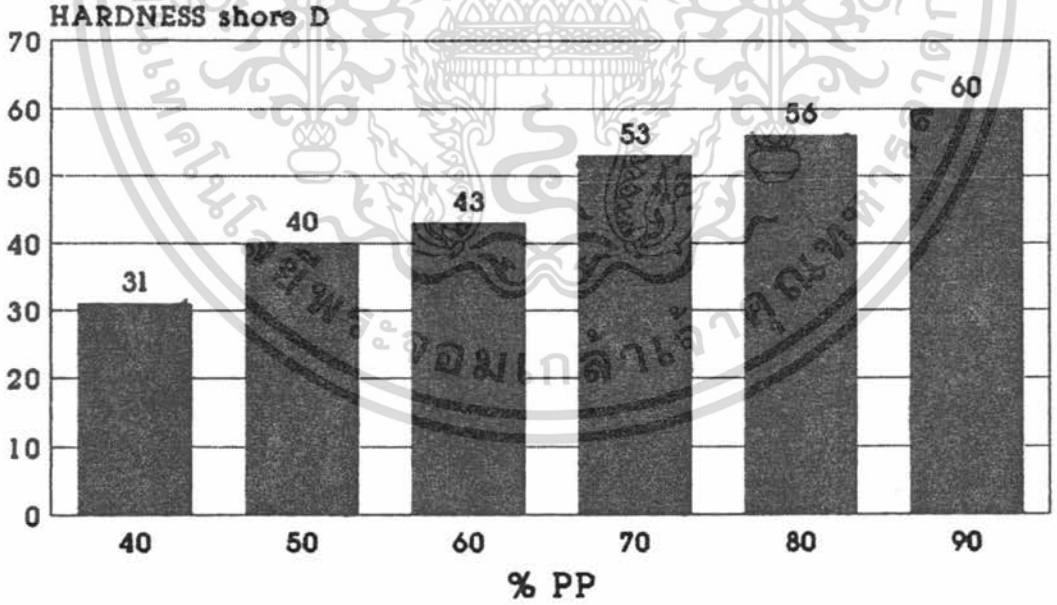
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

% ELONGATION AT BREAK



รูปที่ 4.29 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

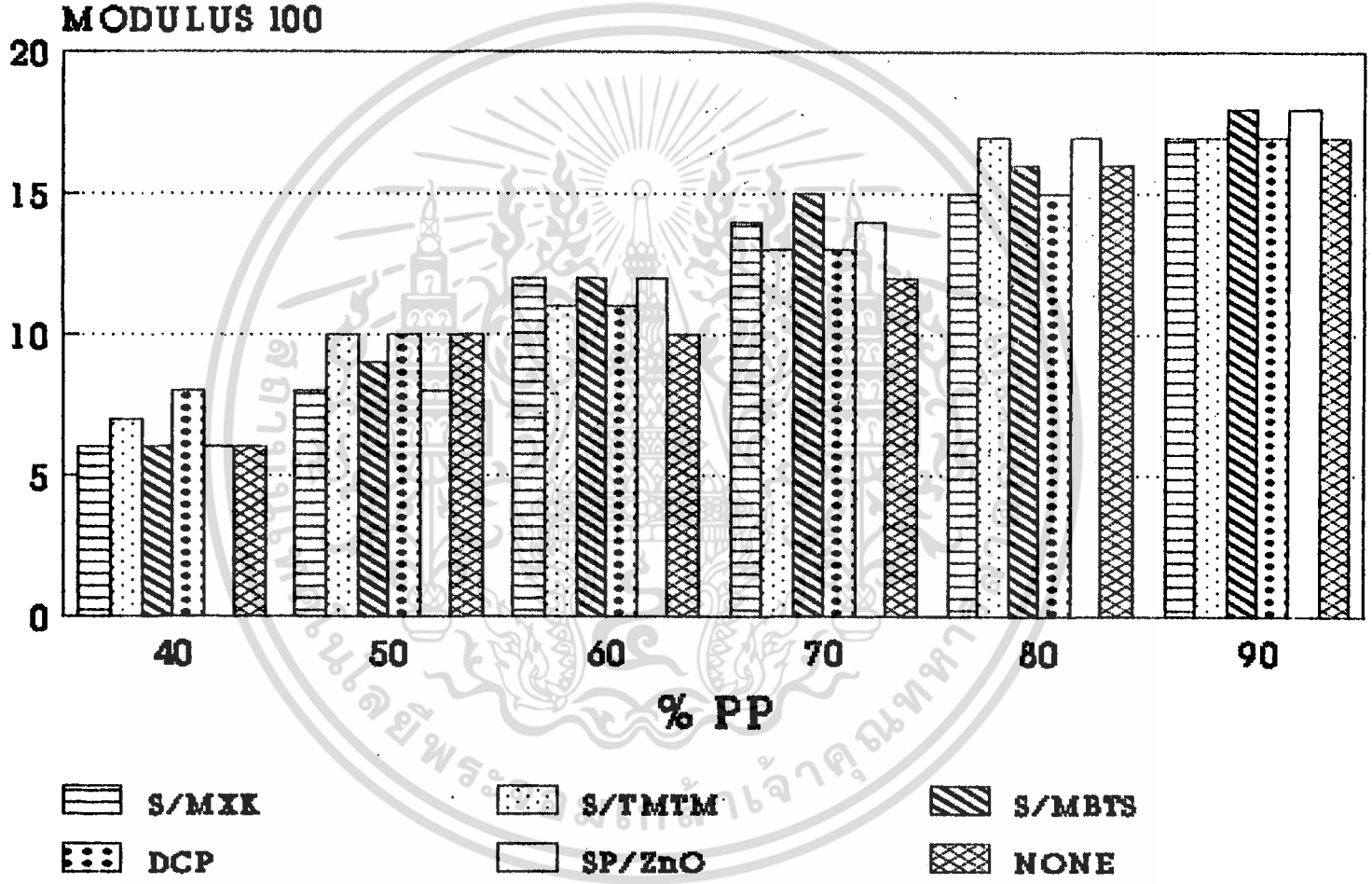
HARDNESS



รูปที่ 4.30 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่างๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

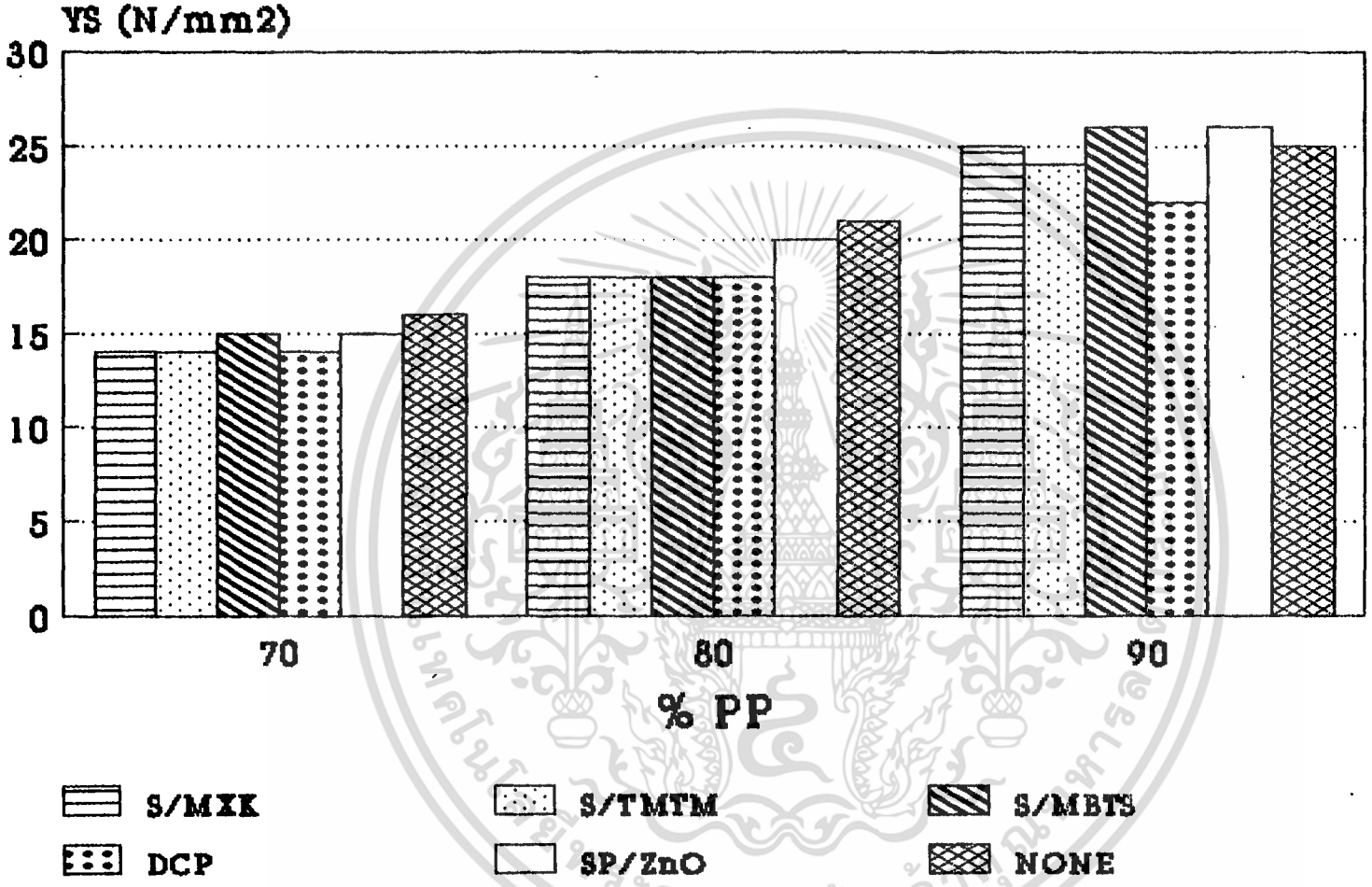
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODULUS 100



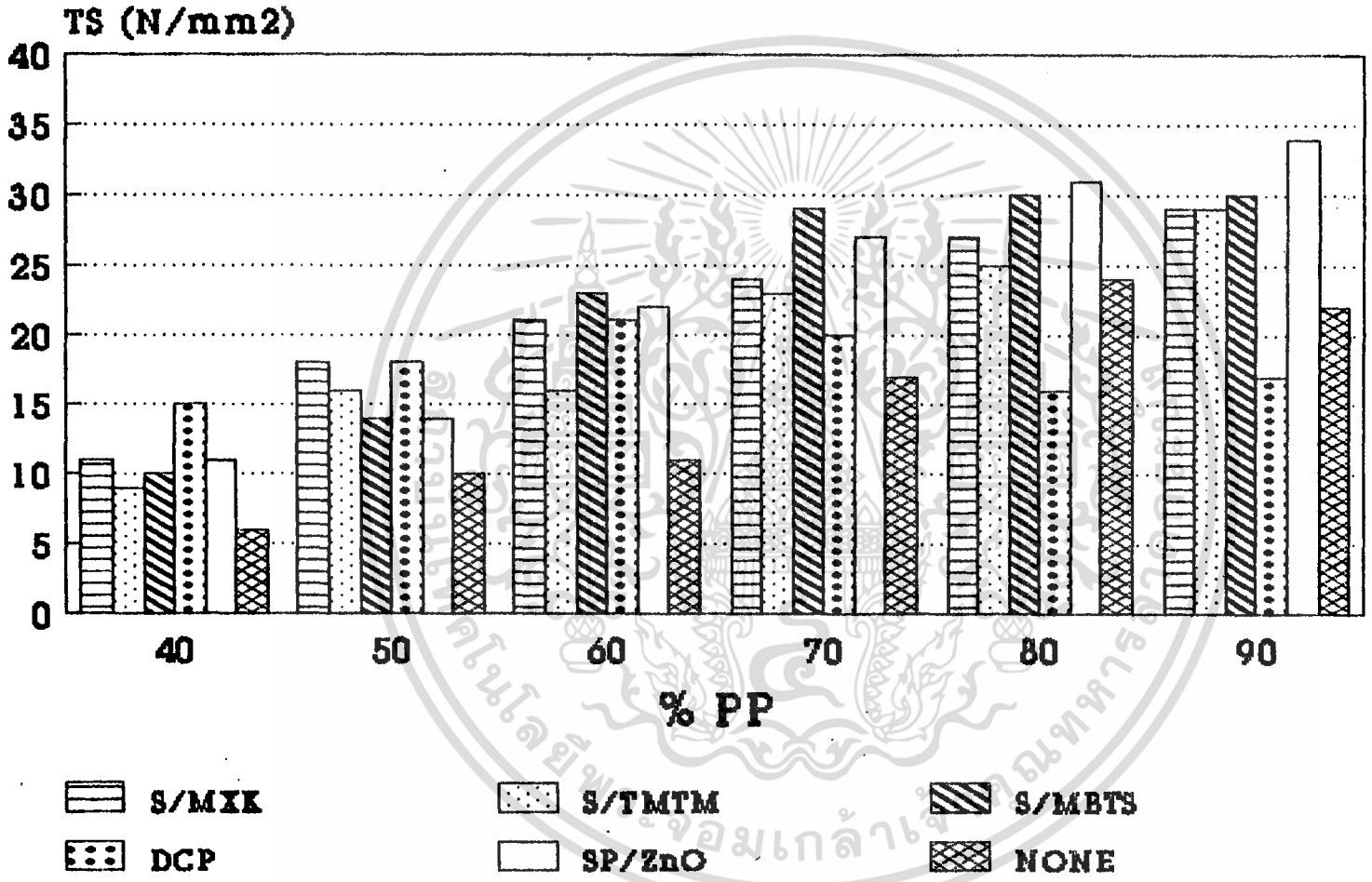
รูปที่ 4.31 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ

YIELD STRENGTH



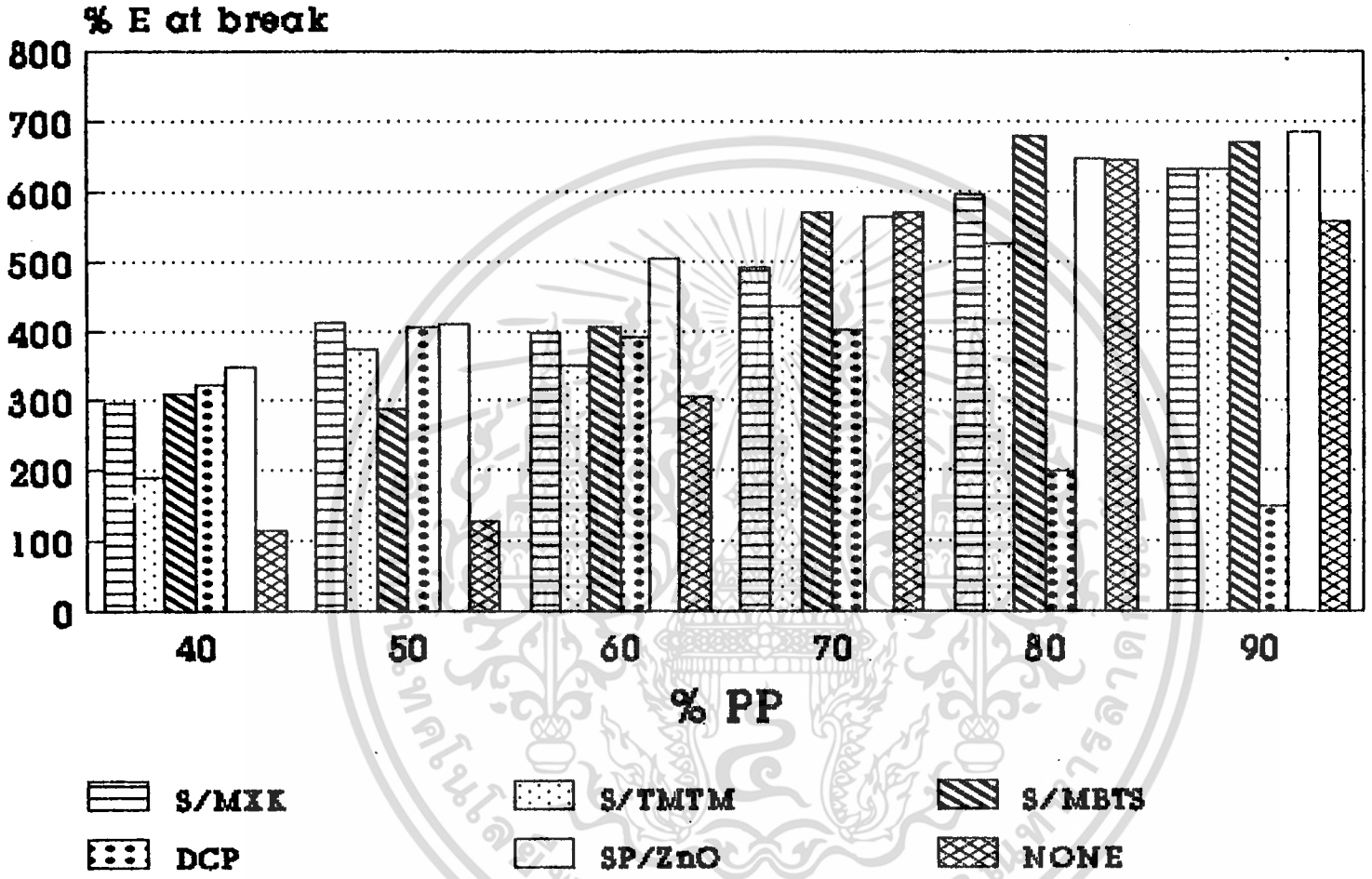
รูปที่ 4.32 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ และเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

TENSILE STRENGTH



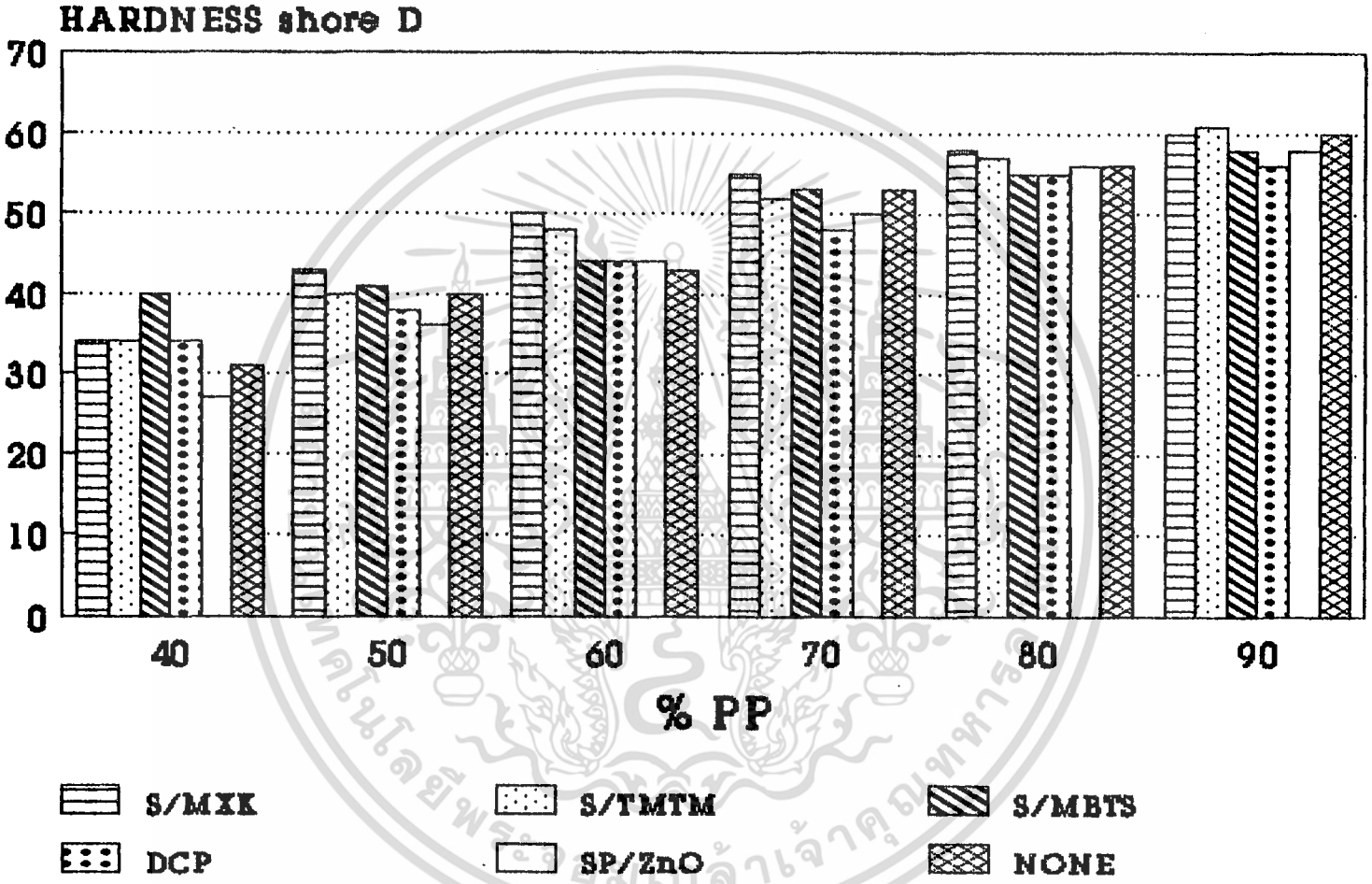
รูปที่ 4.33 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ และเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

% ELONGATION AT BREAK



รูปที่ 4.34 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ และเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

HARDNESS



รูปที่ 4.35 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ และเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.26 - 4.30 แสดงให้เป็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของค่ามอดูลัส 100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด และความแข็งเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น โดยพอลิโพรพิลีนจะมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ อย่างชัดเจนเมื่อพอลิเมอร์ผสมยังไม่ถูกวัลคาไนซ์

7.<u>คุณสมบัติของพอลิเมอร์ผสม เมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่างๆ และไม่ใช้สารเชื่อมโยง</u>

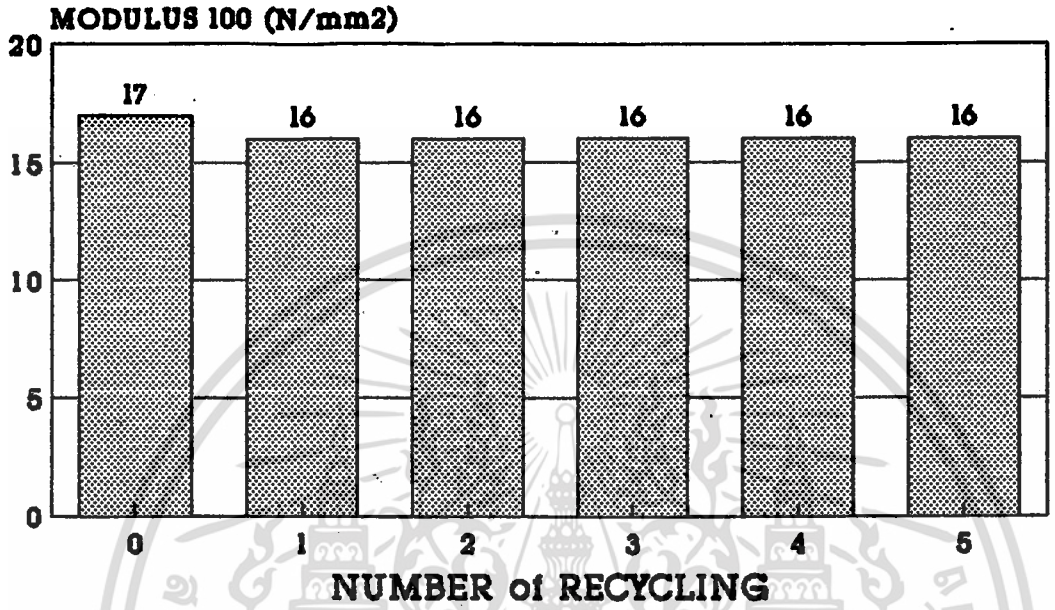
จากรูปที่ 4.31 - 4.34 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนของค่ามอดูลัส 100 ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด เมื่อใช้สารเชื่อมโยงเรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เทียบกับเมื่อใช้สารเชื่อมโยงชนิดอื่น ๆ หรือไม่ใช้สารเชื่อมโยงเลย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของพอลิโพรพิลีนมากๆ คือ มากกว่า 60 เปอร์เซนต์ขึ้นไป เนื่องจากสารเชื่อมโยงเรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงในวัฏภาคยางและยังช่วยเสริมประสิทธิภาพในการยึดเกาะกันระหว่างวัฏภาคยางกับวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนด้วย แต่เมื่อปริมาณของยางธรรมชาติในพอลิเมอร์ผสมมากขึ้น คือ ตั้งแต่ 50 เปอร์เซนต์ขึ้นไป จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง

จากรูปที่ 4.35 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นในระดับใกล้เคียงกันเมื่อใช้สารเชื่อมโยงต่างชนิดกัน หรือไม่ใช้สารเชื่อมโยง เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น

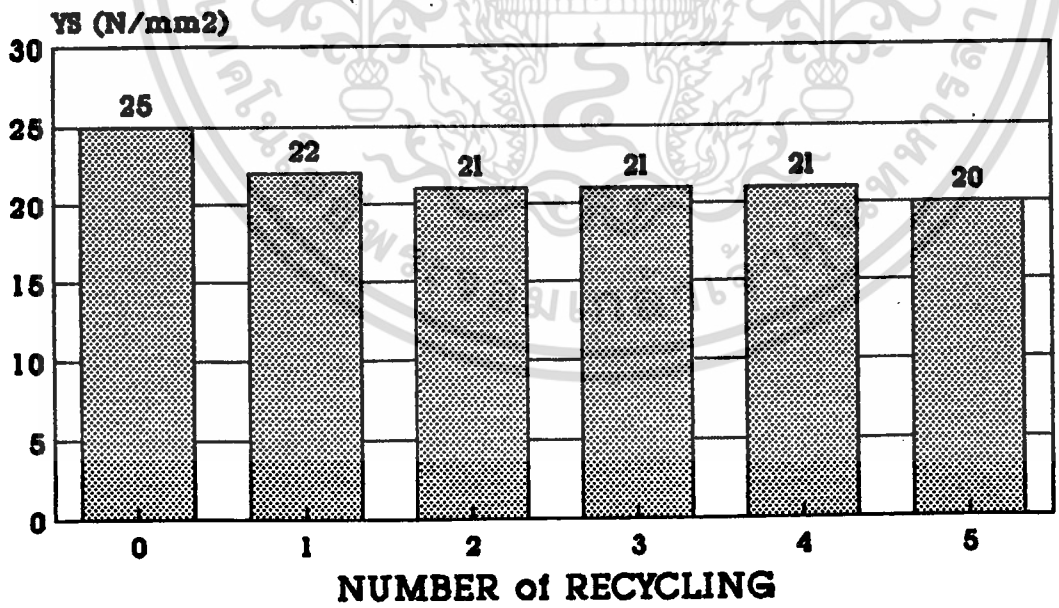
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. <u>คุณสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่</u>

PP:NR = 90:10

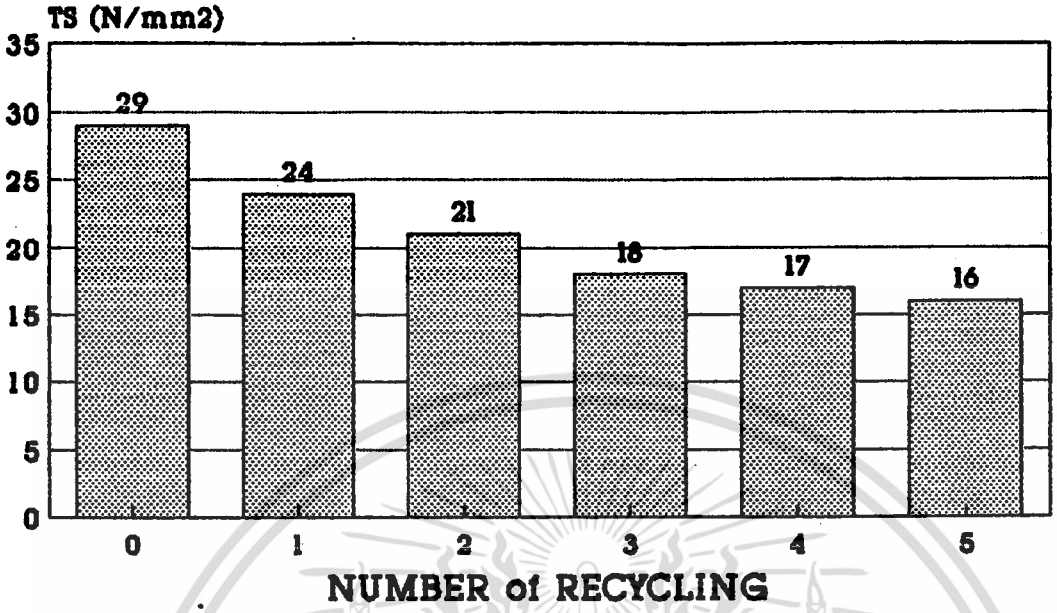


รูปที่ 4.36 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 90:10 ในการนำกลับไปใช้ใหม่

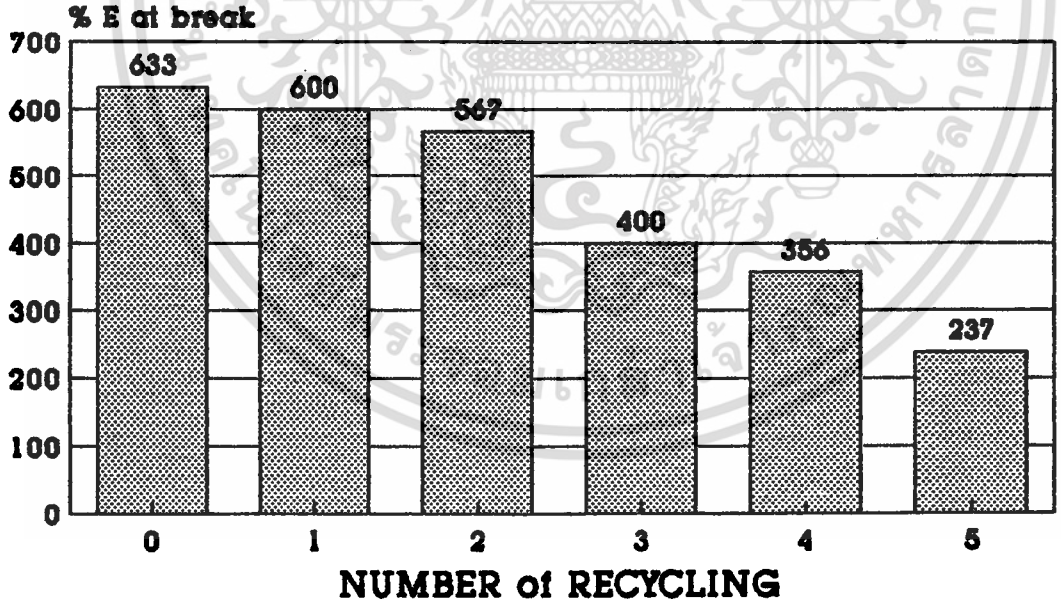


รูปที่ 4.37 แสดงถึงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมเมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 90:10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



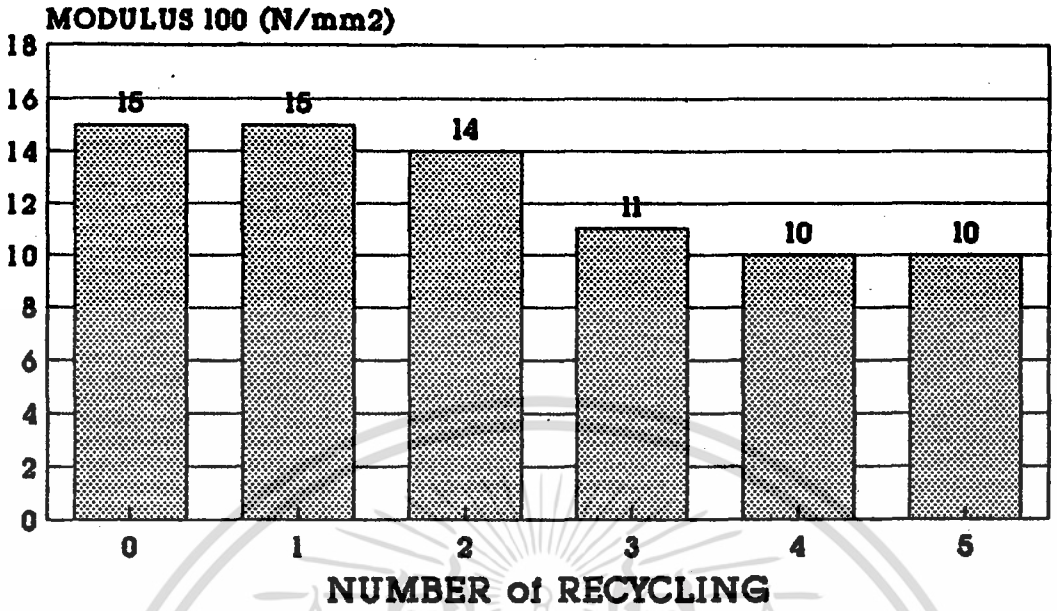
รูปที่ 4.38 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของโพลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 90 : 10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่



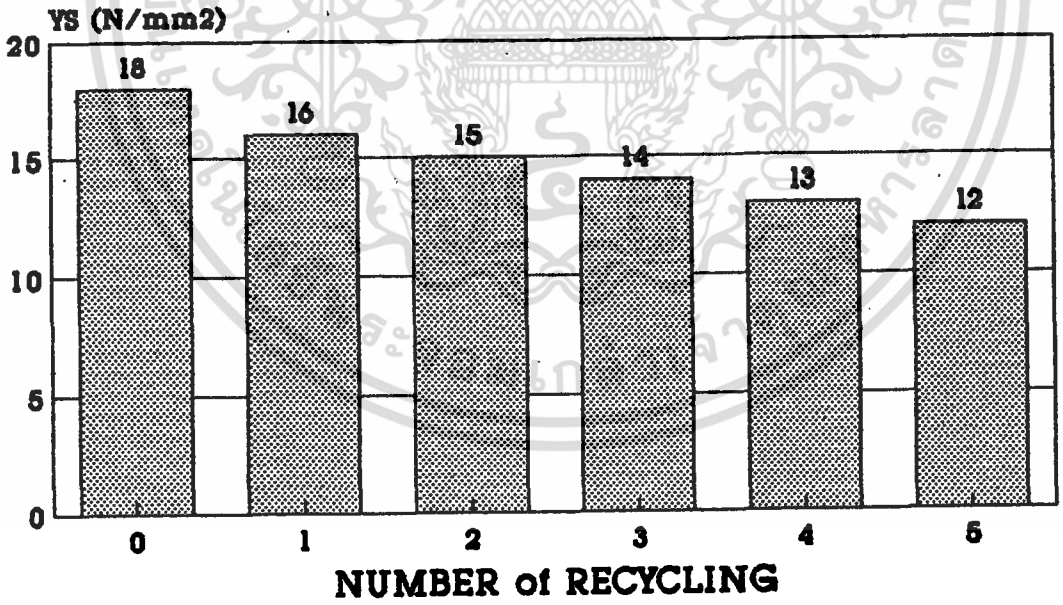
รูปที่ 4.39 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดของโพลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 90 : 10 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PP:NR = 80:20

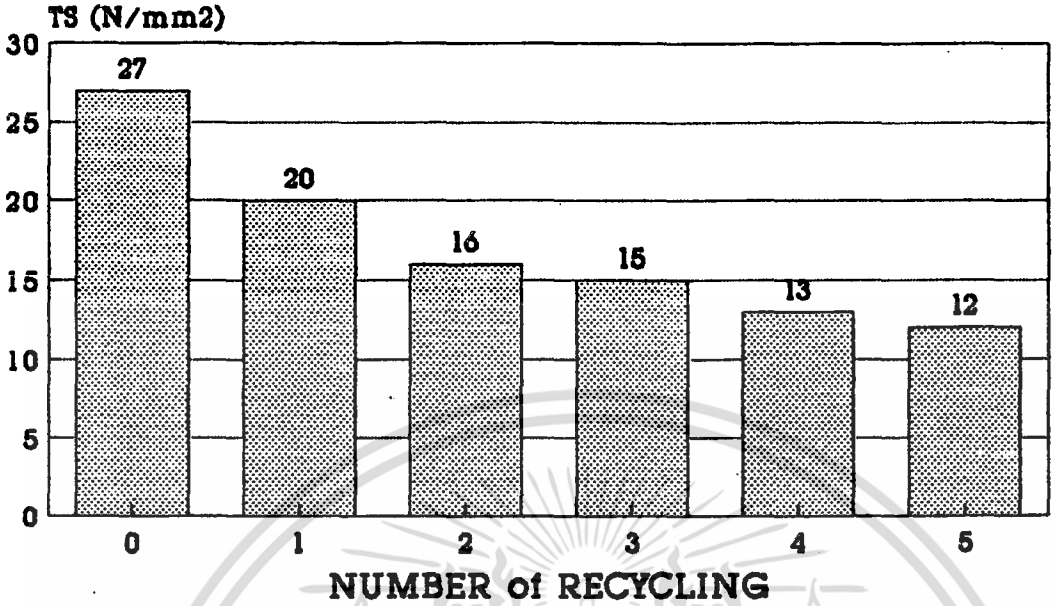


รูปที่ 4.40 แสดงค่ามอดูลัส 100 ของพอลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

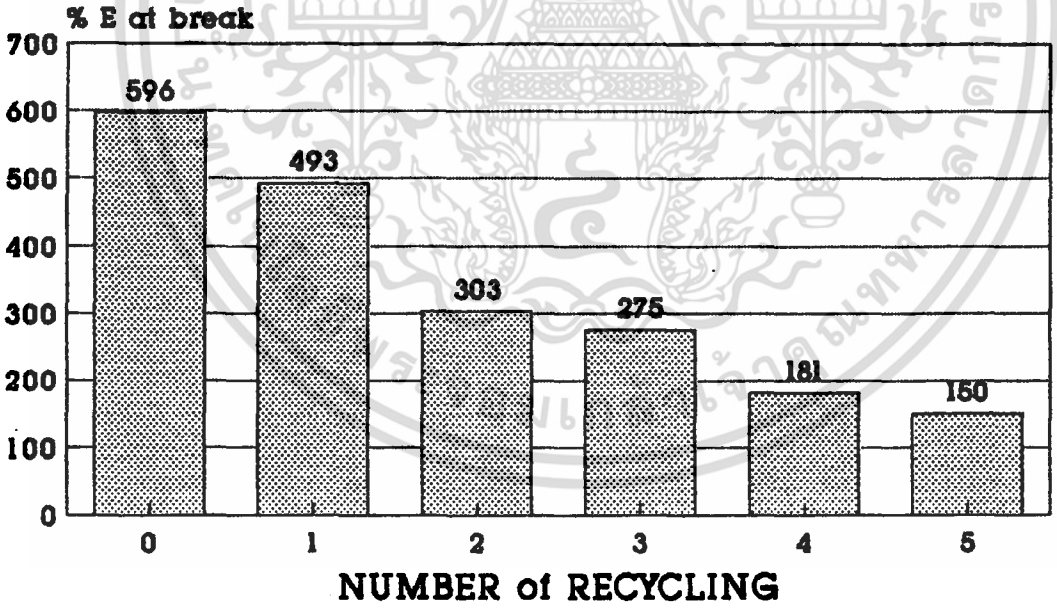


รูปที่ 4.41 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

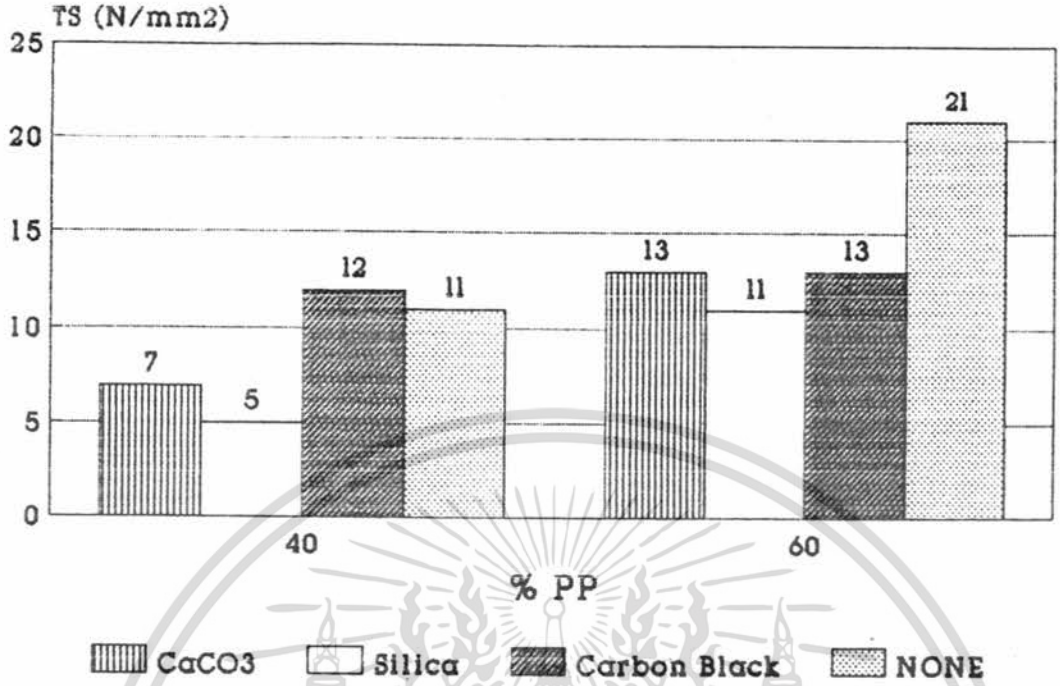


รูปที่ 4.42 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

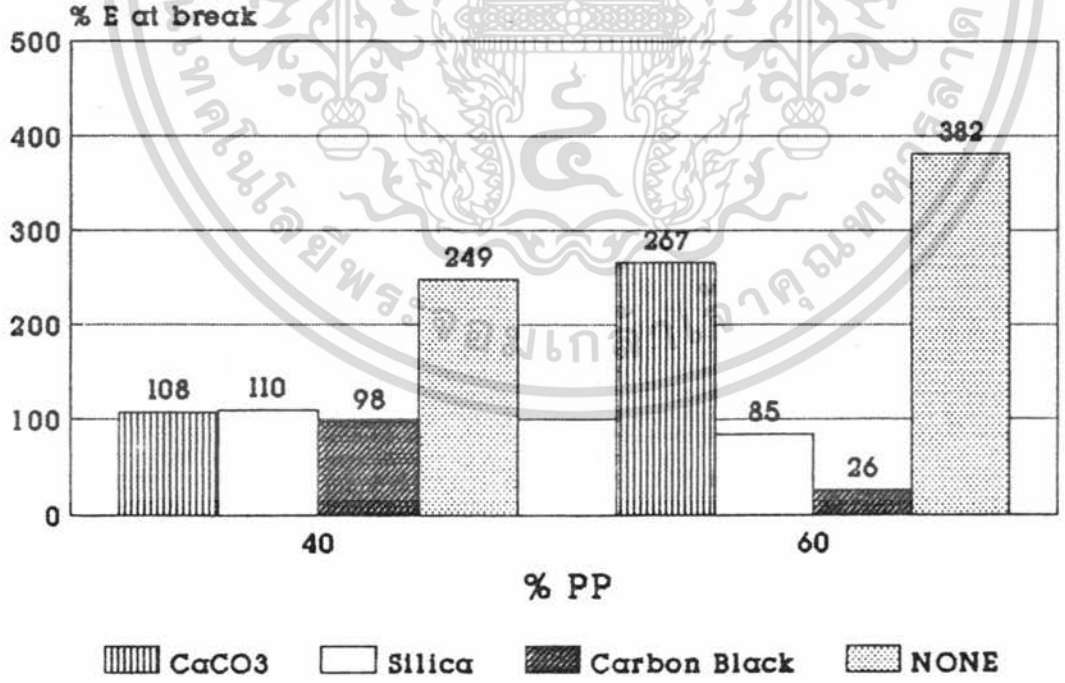


รูปที่ 4.43 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสม เมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 80:20 ในการนำกลับมาใช้ใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 แสดงค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติ ในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ



รูปที่ 4.45 แสดงค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติ ในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.36 - 4.39 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยของค่ามอดูลัส 100 และความแข็งแรงดึง ณ จุดครากของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติในอัตราส่วน 90:10 เมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างมาก เมื่อนำพอลิเมอร์ผสมกลับมาใช้ใหม่มากกว่า 2 ครั้ง เนื่องจากการสลายตัวของวัฏภาคยางเมื่อได้รับความร้อนจากการนำไปขึ้นรูปใหม่

จากรูปที่ 4.40 - 4.43 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนไปเพียงเล็กน้อยของค่ามอดูลัส 100 และความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก ของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติในอัตราส่วน 80:20 เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 2 ครั้ง ค่ามอดูลัส 100 และความแข็งแรงดึง ณ จุดครากมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างมาก สำหรับค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดและเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด มีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อจำนวนครั้งของการนำกลับมาใช้ใหม่เพิ่มขึ้น ดังนั้นสมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อยเมื่อนำกลับมาใช้ใหม่เพียง 1 ครั้ง เนื่องจากในพอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของยางเพิ่มขึ้น จะมีส่วนที่เป็นวัฏภาคยางที่สามารถสลายตัวมากขึ้น

9. <u>การศึกษาการใช้สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ</u>

จากรูปที่ 4.44 - 4.45 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น และพบว่าเมื่อใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ จะให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด และเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดต่ำกว่าเมื่อไม่ใส่สารตัวเติม เนื่องจากปริมาณของสารตัวเติมที่ใส่ในพอลิเมอร์ผสมมีปริมาณมากถึง 50 ส่วนใน 100 ส่วนของพอลิเมอร์ผสม และสารตัวเติมจะแทรกตัวอยู่ในวัฏภาคของยางได้ในจำนวนจำกัด จึงเกาะกันเป็นกลุ่มอยู่ที่บริเวณผิวของยางธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน

เมื่อใช้สารตัวเติมเขม่าดำ จะให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดสูงกว่าเมื่อใช้แคลเซียมคาร์บอเนตชนิดตะกอนเบาและซิลิกาเป็นสารตัวเติม เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงในวัฏภาคของยางที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เมื่อใช้สารตัวเติมเขม่าดำในปริมาณที่เท่ากัน ในพอลิเมอร์ผสมของพอลิโพรพิลีนและยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 จะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

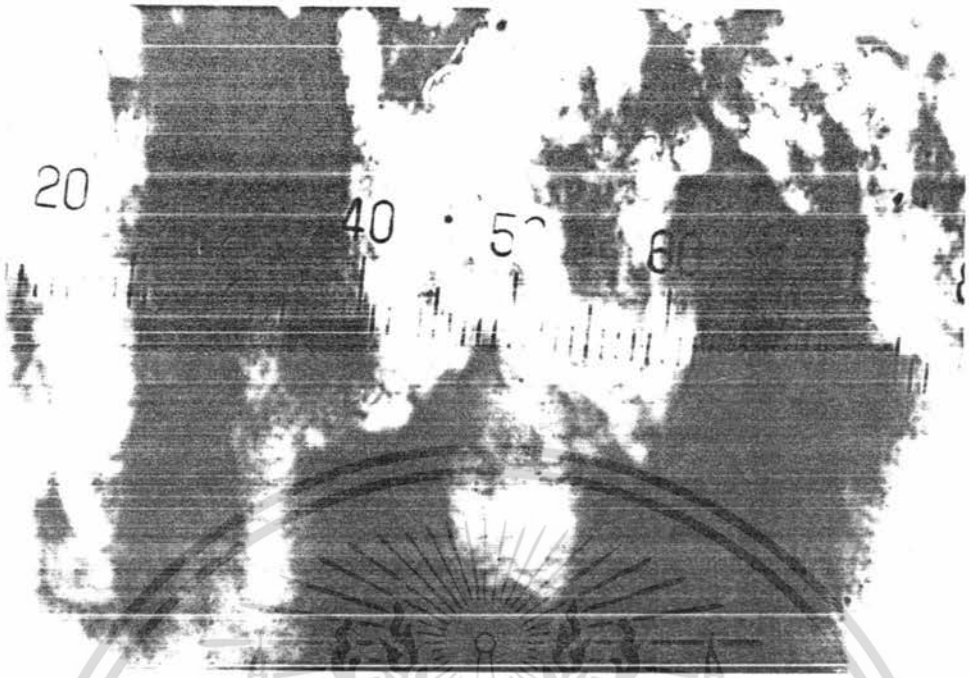
ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดมากกว่าในอัตราส่วน 40:60 เนื่องจากพอลิโพรพิลีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกค่อนข้างสูง ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดของพอลิเมอร์ผสมที่ใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติมจะมีค่ามากกว่าพอลิเมอร์ผสมที่ไม่ใช้สารตัวเติมเมื่ออัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 40:60 เนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่มีประสิทธิภาพในยาง

เมื่อใช้สารตัวเติมซิลิกาจะให้ความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดต่ำที่สุด ในขณะที่ซิลิกาควรจะให้ค่าสูงกว่าเมื่อใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต เพราะซิลิกาเป็นสารตัวเติมประเภทเสริมแรง ส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารตัวเติมที่ใช้เพื่อลดต้นทุนเท่านั้น แต่เมื่อใช้ซิลิกาแล้วกลับทำให้ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการผสมพอลิเมอร์ค่อนข้างสูงและซิลิกามีขนาดเล็กพื้นที่ผิวมาก ดังนั้นในขณะที่ผสมจะทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้นอีก ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ยางเกิดการสุกตัวเกินไป และนอกจากนี้ซิลิกายังมีลักษณะเป็นผงสีขาว เบา และปริมาตรมาก ทำให้การผสมทำได้ยากขึ้น ดังนั้นในเวลาที่เท่ากันจึงทำให้ไม่สามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

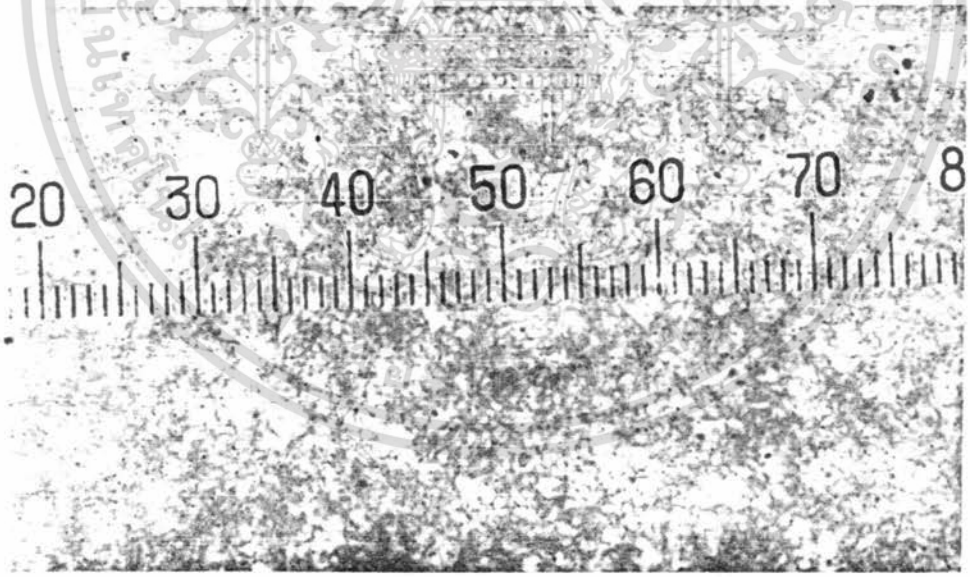
จากรูปที่ 4.45 พบว่าเมื่อใช้สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดจะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากสมบัติของพอลิโพรพิลีน

แต่เมื่อใช้สารตัวเติมซิลิกาและเขม่าดำ พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีค่าเปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาดต่ำลงเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้น เนื่องจากซิลิกาและเขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงในยาง แต่ในอัตราส่วนผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 60:40 จะทำการใส่สารตัวเติมเป็นปริมาณมากถึง 50 ส่วนใน 100 ส่วน ของพอลิเมอร์ทั้งหมด ทำให้สารตัวเติมมีปริมาณมากกว่ายาง จึงไม่สามารถแทรกตัวอยู่ในวัฏภาคยางได้ทั้งหมด สารตัวเติมที่เหลือจะล้นออกมาอยู่ที่บริเวณรอยต่อของอนุภาคยางที่แทรกในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีน ทำให้เปอร์เซนต์การยืดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.46 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใช้เขม่าดำเป็นสารตัวเติม กำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

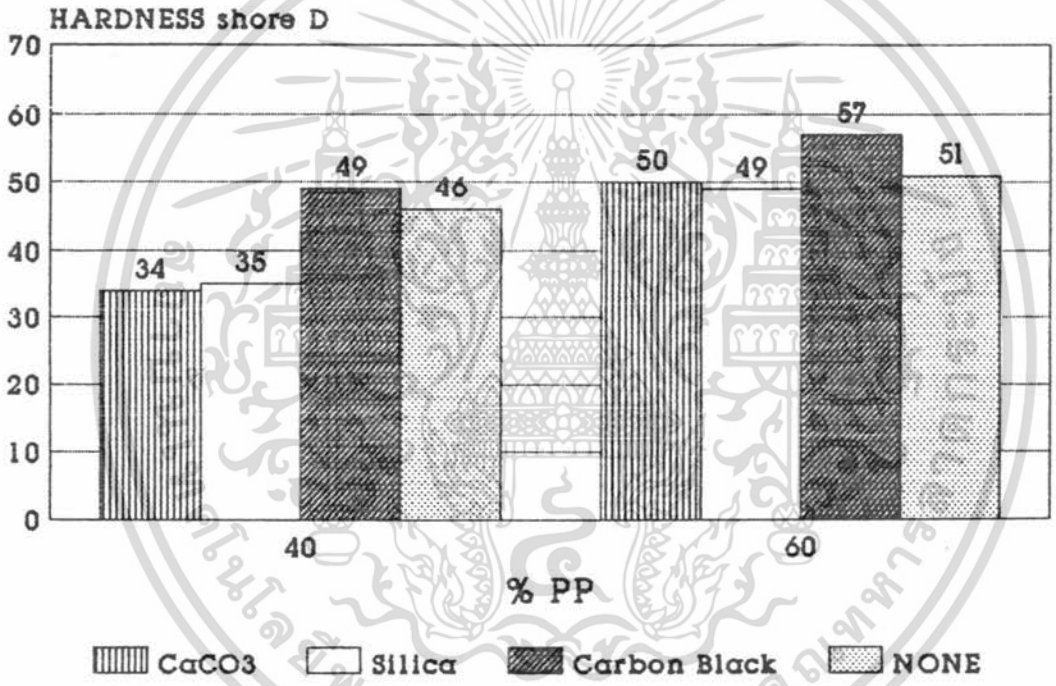


รูปที่ 4.47 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 เมื่อใช้ $CaCO_3$ เป็นสารตัวเติม กำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.48 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าสารตัวเติมเขม่าดำจะอยู่ในวัฏภาคยางเท่านั้น แม้จะมีการเติมในปริมาณมาก เนื่องจากเขม่าดำมีความสามารถในการเข้ากันได้ (compatibility) ในยางได้ดีกว่าพอลิโพรพิลีน

สำหรับสารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนตนั้น พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิโพรพิลีนจะมีเปอร์เซนต์การยึด ณ จุดขาดสูงขึ้น เนื่องจากแคลเซียมคาร์บอเนตสามารถกระจายตัวได้ทั้งในวัฏภาคของยางและพลาสติกดังในรูปที่ 4.47 ดังนั้นเมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนเพิ่มขึ้นจึงไม่เป็นอุปสรรคต่อการยึดติดระหว่างวัฏภาคของยางกับพอลิโพรพิลีน

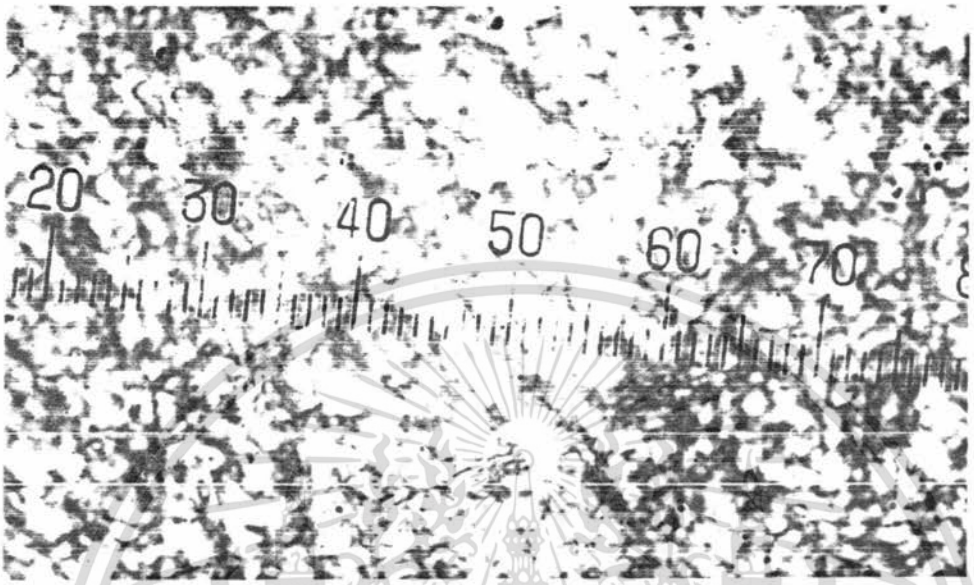


รูปที่ 4.48 แสดงค่าความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติในอัตราส่วน 40:60 และ 60:40 เมื่อใช้สารตัวเติมชนิดต่างๆ

จากรูปที่ 4.48 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของพอลิโพรพิลีน จะทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารตัวเติมในปริมาณที่เท่ากัน และเมื่อใช้สารตัวเติมเขม่าดำจะให้ค่าความแข็งที่มากที่สุดเนื่องจากเขม่าดำเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ดีที่สุด สามารถแทรกตัวอยู่ในวัฏภาคยางได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

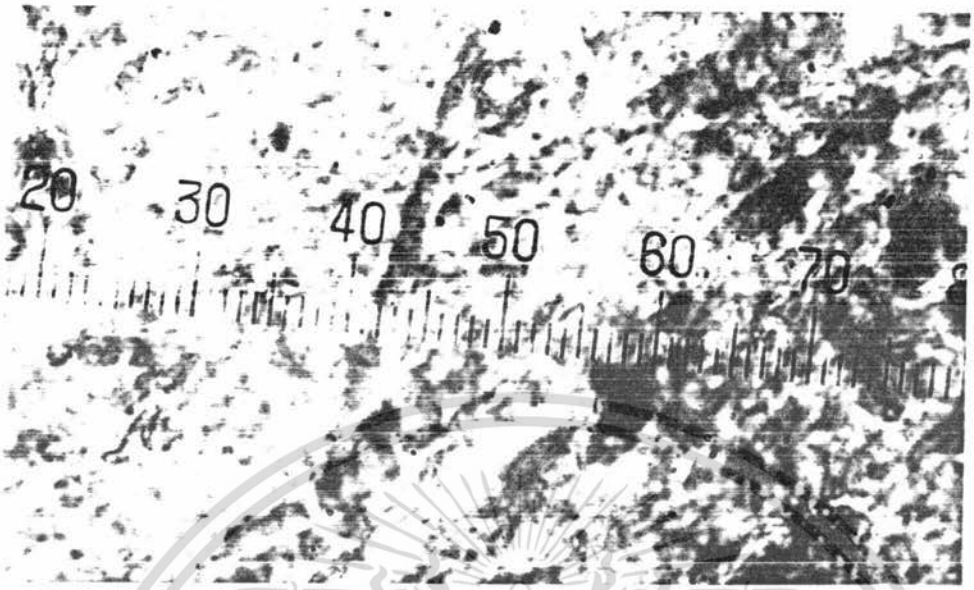
การศึกษาการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน (Dispersibility) ของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนต่างๆ



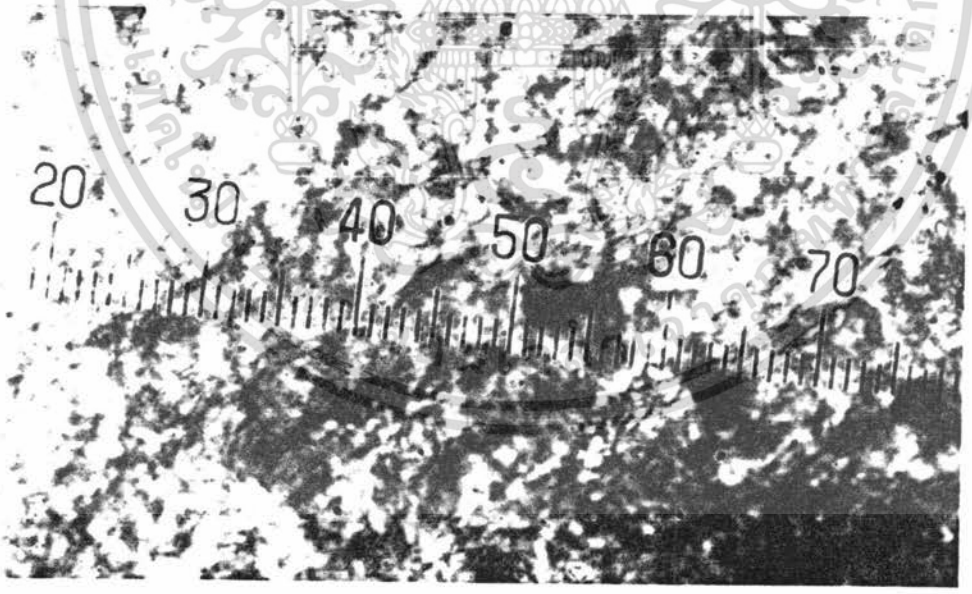
รูปที่ 4.49 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 90:10 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

รูปที่ 4.50 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 80:20 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

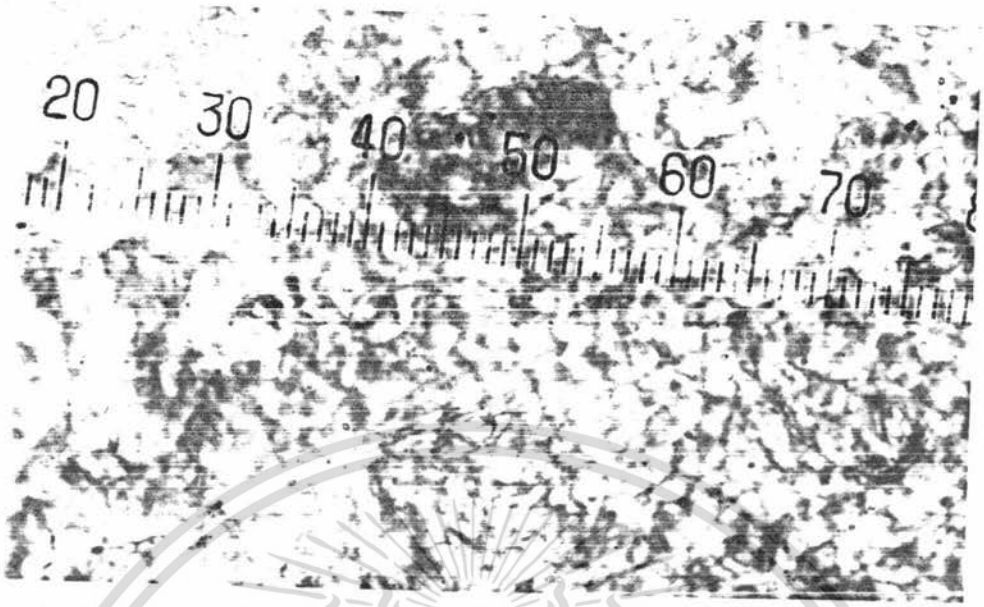


รูปที่ 4.51 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 70:30 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

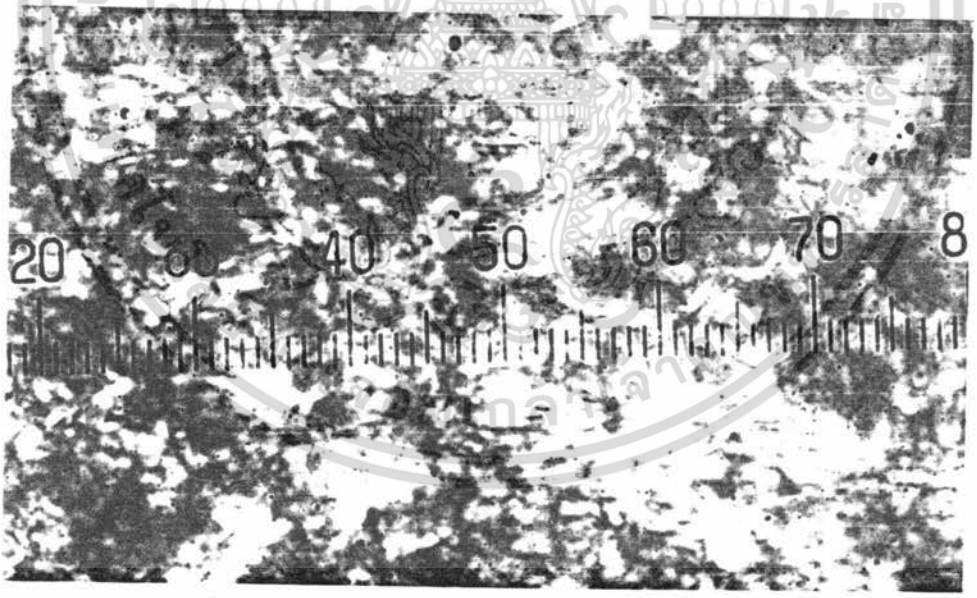


รูปที่ 4.52 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 60:40 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.53 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 50:50 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา



รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายจากเครื่องโพลาไรซ์ไมโครสโคปของพอลิเมอร์ผสมในอัตราส่วนระหว่างพอลิโพรพิลีนต่อยางธรรมชาติเป็น 40:60 เมื่อใช้ S/TMTM เป็นสารเชื่อมโยงกำลังขยาย 400 เท่า มุม analyzer 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.49 ถึง 4.54 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณของยางเพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคยางกระจายตัวในวัฏภาคของพอลิโพรพิลีนได้น้อยลง และอนุภาคยางจะมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ความทนทานต่อแรงดึงของพอลิเมอร์ผสมน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการผสมกันระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน โดยใช้สารเชื่อมโยงชนิดต่าง ๆ และศึกษาสภาวะที่ใช้ในการผสมสูตร สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

1.การเตรียมพอลิเมอร์ผสมโดยการทำเป็นยางผสมสูตรก่อน และการผสมโดยวิธีผสมตามลำดับขั้นตอน พอลิเมอร์ผสมที่ได้จะมีสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน

2.เมื่อปริมาณของพอลิโพรพิลีนในพอลิเมอร์ผสมเพิ่มขึ้น จะทำให้สมบัติความแข็ง เปอร์เซนต์การยืด ณ จุดขาด ความแข็งแรงดึงสูงขึ้น

3.สารเชื่อมโยงที่เหมาะกับการใช้งาน

พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของพอลิโพรพิลีนมาก คือ ตั้งแต่ 60 เปอร์เซนต์ขึ้นไป เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์จะเป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองสดใส

พอลิเมอร์ผสมที่มีอัตราส่วนของยางธรรมชาติมากขึ้น คือ ตั้งแต่ 50 เปอร์เซนต์ขึ้นไป DCP จะเป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีขาว ใส เป็นมัน แต่จะมีกลิ่นฉุนเล็กน้อย

พอลิเมอร์ผสมที่ใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยงกับสารตัวเร่งนั้น MBTS เป็นสารตัวเร่งที่เหมาะสมที่สุด โดยมีสมบัติต่าง ๆ ใกล้เคียงกับเมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง และกำมะถันยังมีราคาถูกกว่า จึงเป็นการลดต้นทุนด้วย

4.พอลิเมอร์ผสมที่มีปริมาณของพอลิโพรพิลีนมาก จะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลายครั้งโดยสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

5.เมื่อเติมสารตัวเติมเขม่าดำ ซิลิกา หรือแคลเซียมคาร์บอเนต ในปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 เปอร์เซนต์ของพอลิเมอร์ทั้งหมด จะทำให้สมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมลดลงอย่างมาก แต่จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะ แนวทางการค้นคว้าวิจัยในอนาคต

การพัฒนาเทอร์โมพลาสาติกอีลาสโตเมอร์ ได้มีการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันมีปริมาณความต้องการใช้เทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการพัฒนาเทอร์โมพลาสาติกอีลาสโตเมอร์ขึ้นมาหลายชนิด สำหรับประเทศไทยซึ่งสามารถผลิตยางธรรมชาติได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงควรหาแนวทางที่จะพัฒนายางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติกให้มากขึ้น โดยควรจะทำการศึกษาต่อไป ดังนี้

1.ศึกษาความทนทานต่อแรงกระแทกของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก ระหว่าง PP:NR โดยใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์ หรือกำมะถันกับสารตัวเร่ง MBTS เป็นสารเชื่อมโยง

2.ศึกษาค่าดัชนีการไหลของพอลิเมอร์ผสมแต่ละสูตร ว่าสามารถนำพอลิเมอร์ผสมไปขึ้นรูปได้โดยวิธีใด

3.ศึกษาการใช้สารตัวเติมในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติต่าง ๆ ดีขึ้น และมีต้นทุนในการผลิตลดลง

4.ศึกษาอายุการใช้งานของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก

5.ศึกษาหาสูตรใหม่ ๆ ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก เพื่อให้มีสมบัติที่ดีและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยที่สมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของตัวย่อต่าง ๆ ที่ใช้

M 100	คือ ค่ามอดูลัส 100 มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
YS	คือ ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
TS	คือ ค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาด มีหน่วยเป็น นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร
% E_B	คือ ค่าเปอร์เซ็นการยืด ณ จุดขาด
PP	คือ พอลิโพรพิลีน
NR	คือ ยางธรรมชาติ
ODR	คือ Oscillating Disk Rheometer
S/MXK	คือ ระบบเชื่อมโยงที่มีกำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และMXK เป็นสารตัวเร่ง
S/TMTM	คือ ระบบเชื่อมโยงที่มีกำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ TMTM เป็นสารตัวเร่ง
S/MBTS	คือ ระบบเชื่อมโยงที่มีกำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MBTS เป็นสารตัวเร่ง
DCP	คือ สารเชื่อมโยงไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์
SP/ZnO	คือ สารเชื่อมโยงเรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์
$CaCO_3$	คือ สารตัวเติมแคลเซียมคาร์บอเนต
Str.a.	คือ กรดสเตียริก
Acc.	คือ สารตัวเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.1</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MXK เป็นสารตัวเร่งโดยทำการผสมเป็นยางผสมสูตรก่อน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	17	25	33	731	56
S.D.	0.04	0.03	0.08	28.18	0.02
80:20	16	18	27	569	53
S.D.	0.05	0.03	0.13	9.99	0.03
70:30	14	14	23	480	49
S.D.	0.08	0.06	0.14	39.84	0.03
60:40	11	–	16	340	44
S.D.	0.05	–	0.12	20.17	0.02
50:50	9	–	16	346	39
S.D.	0.03	–	0.11	20.60	0.02
40:60	7	–	11	288	33
S.D.	0.04	–	0.07	13.84	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	17	25	29	633	60
S.D.	0.04	0.03	0.23	26.56	0.01
80:20	15	18	27	596	58
S.D.	0.09	0.09	0.15	24.65	0.02
70:30	14	14	24	492	55
S.D.	0.07	0.07	0.13	29.88	0.05
60:40	12	-	21	398	50
S.D.	2.34	-	0.07	15.45	0.04
50:50	8	-	18	413	43
S.D.	0.03	-	0.07	13.81	0.03
40:60	6	-	11	297	34
S.D.	0.02	-	0.04	19.98	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.3</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ TMTM เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	17	24	29	631	61
S.D.	0.03	0.05	0.27	33.66	0.03
80:20	17	18	25	526	57
S.D.	0.07	0.11	0.33	43.82	0.04
70:30	13	14	23	435	52
S.D.	0.01	0.05	0.14	30.55	0.03
60:40	11	-	16	350	48
S.D.	0.04	-	0.10	31.18	0.02
50:50	10	-	16	373	40
S.D.	0.33	-	0.13	24.91	0.04
40:60	7	-	9	190	34
S.D.	0.03	-	0.07	21.95	0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.4</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MBTS เป็นสารตัวเร่ง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	18	26	30	671	58
S.D.	0.07	0.07	0.46	42.71	0.02
80:20	16	18	30	680	55
S.D.	0.06	0.08	0.21	42.37	0.04
70:30	15	15	29	571	53
S.D.	0.05	0.06	0.28	60.52	0.03
60:40	12	-	23	405	44
S.D.	0.07	-	0.08	11.90	0.05
50:50	9	-	14	288	41
S.D.	0.11	-	0.26	22.17	0.05
40:60	6	-	10	310	41
S.D.	0.03	-	0.21	44.70	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.5</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้ไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	17	22	17	150	56
S.D.	0.06	0.06	0.07	39.96	0.04
80:20	15	18	16	198	55
S.D.	0.05	0.04	0.05	58.59	0.03
70:30	13	14	20	401	48
S.D.	0.06	0.05	0.16	26.02	0.04
60:40	11	-	21	391	44
S.D.	0.04	-	0.14	38.51	0.05
50:50	10	-	18	406	38
S.D.	0.05	-	0.20	20.29	0.04
40:60	8	-	15	323	34
S.D.	0.02	-	0.08	27.15	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.6 แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อใช้เรซินฟีนอลิกและซิงค์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยงโดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	18	26	34	685	58
S.D.	0.05	0.03	0.10	17.56	0.03
80:20	17	20	31	646	56
S.D.	0.07	0.06	0.14	19.98	0.03
70:30	14	15	27	563	50
S.D.	0.04	0.04	0.11	13.52	0.04
60:40	12	-	22	504	44
S.D.	0.03	-	0.12	7.95	0.04
50:50	8	-	14	410	36
S.D.	0.04	-	0.17	35.99	0.05
40:60	6	-	11	348	27
S.D.	0.04	-	0.07	13.01	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง โดยวิธีการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	M 100	YS	TS	$\%E_B$	Hardness(SHORE D)
90:10	17	25	22	668	60
S.D.	0.06	0.05	0.16	39.28	0.04
80:20	16	21	24	644	56
S.D.	0.04	0.05	0.20	31.43	0.04
70:30	12	16	17	571	53
S.D.	0.04	0.04	0.08	13.81	0.05
60:40	10	12	11	306	43
S.D.	0.03	0.05	0.07	67.13	0.06
50:50	10	-	10	127	40
S.D.	0.07	-	0.09	27.15	0.07
40:60	6	-	6	116	31
S.D.	0.08	-	0.08	11.78	0.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.8</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลและความแข็งของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติในอัตราส่วน 60:40 และ 40:60 เมื่อใส่สารตัวเติมชนิดต่าง ๆ

PP:NR	ตัวเติม	TS	%E_B	Hardness (SHORE D)
60:40	$CaCO_3$	13	267	50
S.D.		0.06	31.18	0.05
40:60		7	108	34
S.D.		0.07	11.95	0.10
60:40	Silica	11	85	49
S.D.		0.08	33.58	0.72
40:60		5	110	35
S.D.		0.04	26.95	0.04
60:40	carbon	13	26	57
S.D.	black	0.02	4.62	0.15
40:60		12	98	49
S.D.		0.29	10.54	0.07
60:40	-	21	382	51
S.D.		0.04	10.71	0.09
40:60		10	249	46
S.D.		0.07	13.62	0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.9</u> แสดงผลบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ ในอัตราส่วน 90:10 เมื่อใช้กำมะถันเป็นสารเชื่อมโยง และ MXK เป็นสารตัวเร่ง โดยการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	Number of Recycling	M_{100}	YS	TS	$\%E_B$
90:10	0	17	25	29	633
	S.D.	0.04	0.03	0.23	26.56
	1	16	22	24	600
	S.D.	0.02	0.03	0.34	37.98
	2	16	21	21	567
	S.D.	0.01	0.02	0.31	67.57
	3	16	21	18	400
	S.D.	0.03	0.02	0.30	32.28
	4	16	21	17	356
	S.D.	0.02	0.06	0.05	16.02
	5	16	20	16	237
	S.D.	0.01	0.04	0.06	96.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ตารางที่ 6.10</u> แสดงผลสมบัติเชิงกลของพอลิเมอร์ผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ เมื่อนำกลับมาใช้ใหม่ อัตราส่วน 80:20 เมื่อใช้กำมะถัน เป็นสารเชื่อมโยงและ MXK เป็นตัวเร่ง โดยการผสมตามลำดับขั้นตอน

PP:NR	Number of Recycling	M 100	YS	TS	%E
80:20	0	15	18	27	596
	S.D.	0.09	0.09	0.15	24.65
	1	15	16	20	493
	S.D.	0.03	0.02	0.32	68.19
	2	14	15	16	303
	S.D.	0.04	0.20	0.20	67.15
	3	11	14	15	275
	S.D.	0.08	0.11	0.14	80.20
	4	10	13	13	181
	S.D.	0.05	0.05	0.04	11.35
	5	10	12	12	150
	S.D.	0.04	0.06	0.04	36.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ธารา เชิญชัยวชิรากุล และพิทยากร ศรีธนาธร "การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางธรรมชาติเทอร์โมพลาสติก" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี , ภาควิชาเคมี , คณะวิทยาศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2532

2. พรพรรณ นิธิอุทัย <u>สารเคมีสำหรับยาง</u> หน้า 14-69 มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

3. สราวุธ ศรีเพชรพันธ์ "ยางธรรมชาติคงรูปต้นทุนต่ำ" วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี , ภาควิชาเคมี , คณะวิทยาศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2532

4. Charles D. Shedd in <u>Thermoplastic Polyolefin Elastomers</u> , Handbook of Thermoplastics Elastomers (Benjamin M. Walker,Ed.) pp. 46-58 , Van Nostrand Reinhold Co.,1979.

5. Chuan Qin , Jinghua Yin , and Baotong Huang "Mechanical Properties,Structure,and Morphology of NR/LDPE Blends Prepares by Different Processing Methods" <u>Rubber Chemistry and Technology</u> , 63(1989):77-91.

6. Elliott,D.J. and Tinker,A.J. <u>Blends of natural rubber with thermoplastics, in Natural Rubber Science and Technology</u> (Roberts ,A.D.eds.) pp.327-357. Oxford University Press,New York,1988.

7. Elliott,D.J. "Industrial Prospects for TPNR Blends" <u>Powdered, Liquid and Thermoplastic Natural Rubber.,Proceeding of a Symposium sponsored by the United Nations Industrial Development Organisation in association with The International</u>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rubber Research and Development Board : pp.41-49,May 1981.

8. Elliott,D.J. "Thermoplastic Natural Rubber Blends" Powdered, Liquid and Thermoplastic Natural Rubber.,Proceeding of a Symposium sponsored by the United Nations Industrial Development Organisation in association with The International Rubber Research and Development Board : pp.23-39,May 1981.

9. Jang,B.Z., "The Rubber Particle Size Dependence of Crazing in Polypropylene" , Polymer Engineering and Science , 25(10) (1985):643-651.

10.Joy Jacob,Mathew, N.M. and Kuriakose,B. "The effect of PFresin-zinc oxide system as curative for soft thermoplastic NR:PP blends" Rubber World , 202(5).(1990):27-31.

11.Walker,B.M. , Handbook of thermoplastic elastomer , 2 nd ed. , Van Nostrand Reinhold : New York , 1979.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้