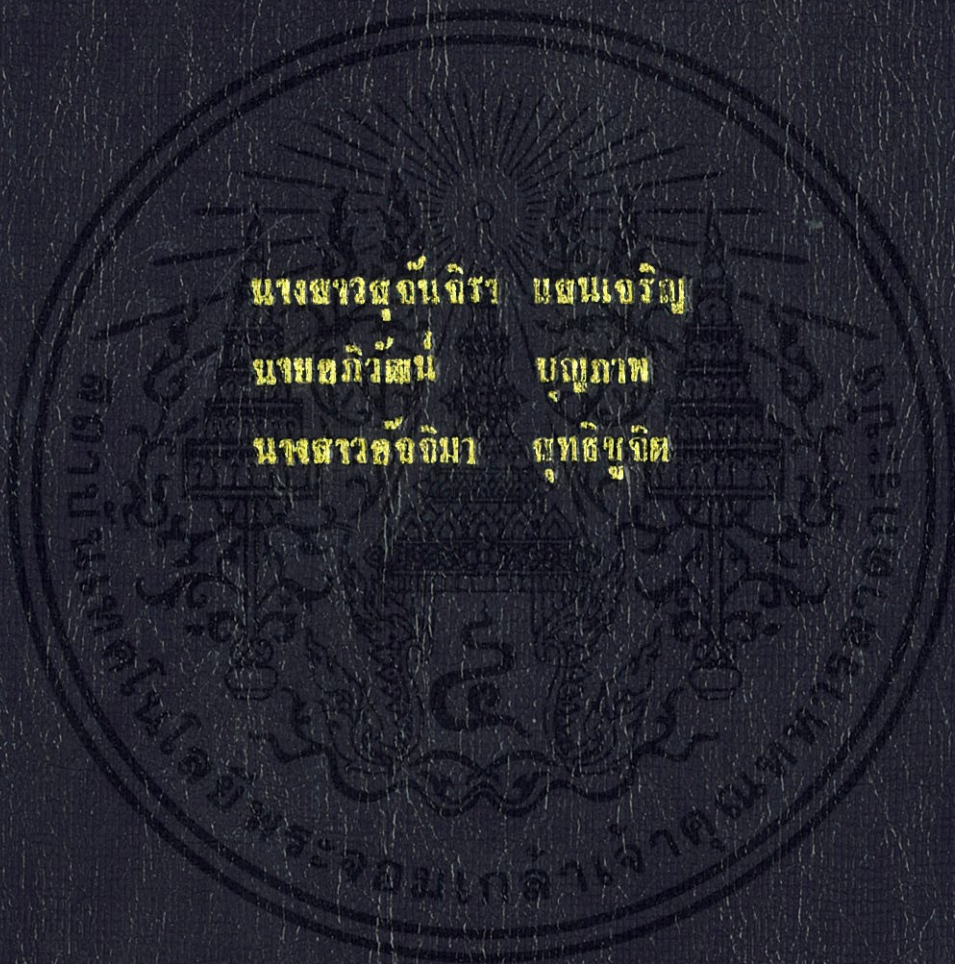


ผลของการเพิ่มการยึดติดที่มีต่อสมบัติของยางวัลคาไนซ์

EFFECTS OF TACKIFIERS ON RUBBER
VULCANIZATE PROPERTIES



นางสาวสุจินจิรา บดินทร์

นายชกวัฒน์ บุญภาพ

นายสารศัจจิมาน สุทธิบุญจิต

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการพัฒนาหลักสูตรวิชาเทคโนโลยี
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พัฒนาเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปีการศึกษา 2556

ผลของสารเพิ่มการยึดติดที่มีต่อสมบัติของยางเชื่อมโยง

EFFECTS OF TACKIFIERS ON RUBBER
VULCANIZATE PROPERTIES



นางสาวสุฉันทิรา

นายอภิวัฒน์

นางสาวอัจฉิมา

แสนเจริญ

บุญภาพ

สุทธิชูจิต

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

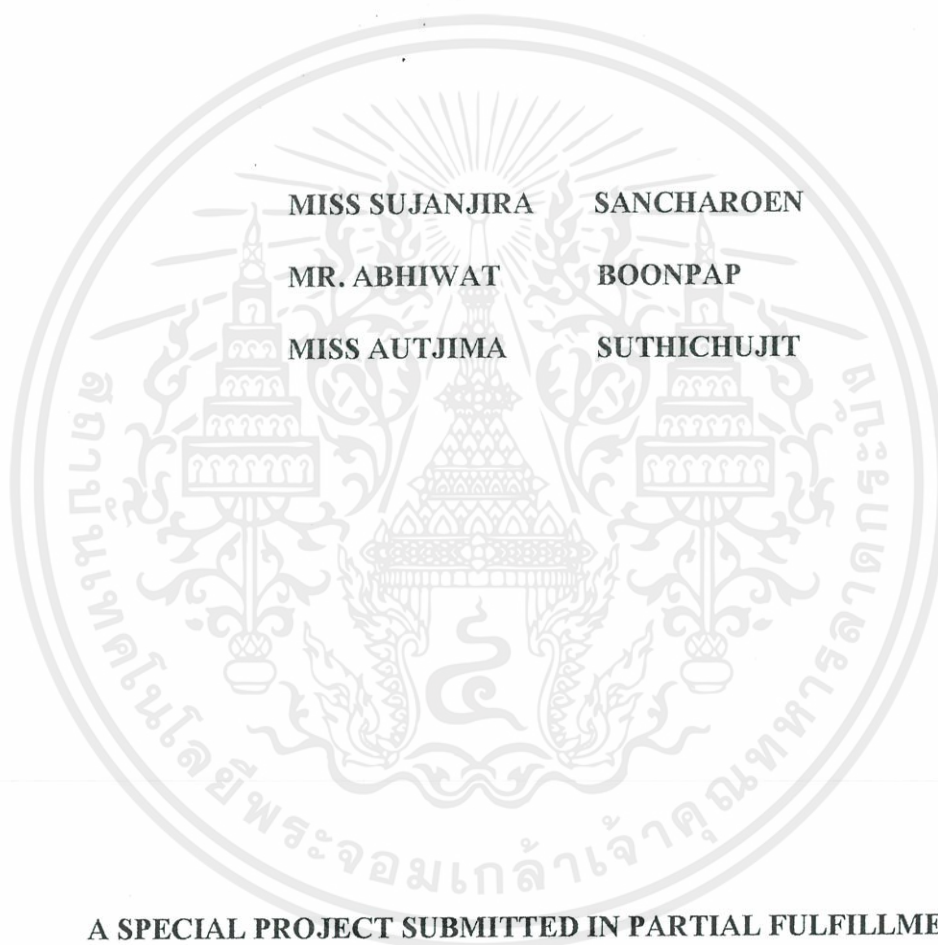
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ **ปีการศึกษา 2556** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EFFECTS OF TACKIFIERS ON RUBBER

VULCANIZATE PROPERTIES



MISS SUJANJIRA SANCHAROEN

MR. ABHIWAT BOONPAP

MISS AUTJIMA SUTHICHUJIT

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2013

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ผลของสารเพิ่มการยึดติดที่มีต่อสมบัติของยางเชื่อม โยง
(Effects of Tackifiers on Rubber Vulcanizate Properties)

ชื่อนักศึกษา นางสาวสุจันจิรา แสนเจริญ 53051279
นายอภิวัฒน์ บุญภาพ 53050391
นางสาวอัจฉิมา สุทธิชูจิต 53050395

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ	
ผศ.ดร.ภัทรารุช มนต์วิเศษ	
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	ผลของสารเพิ่มการยึดติดที่มีต่อสมบัติของยางเชื่อม โยง	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุจันจิรา	แสนเจริญ
	นายอภิวัฒน์	บุญภาพ
	นางสาวอัจฉิมา	สุทธิชูจิต
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อิทธิพล	แจ้งชัด

บทคัดย่อ

สารเพิ่มการยึดติด (Tackifier) เป็นสารที่เติมลงไป ในยางเพื่อปรับปรุงสมบัติการยึดติด (Tackiness) ระหว่างยางกับวัสดุอื่นหรือระหว่างยางด้วยกันเอง จัดเป็นสารเติมแต่งที่มีความสำคัญ ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติดทางการค้าที่ ส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของยาง สารเพิ่มการยึดติดที่ทำการศึกษา ได้แก่ Coumaron resin G90, Hikorez R-1100S, Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 และ Struktol TH 110 นอกจากนี้ยังศึกษาผล ของปริมาณสารเพิ่มการยึดติด (0-7 phr) รวมทั้งการบ่มเร่ง (Aging) ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 0-408 ชั่วโมง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดที่ส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของยาง เช่น ลักษณะการเชื่อม โยง สมบัติเชิงกล ความแข็งแรงยึดติดกับวัสดุอื่นในยางรถยนต์ ได้แก่ ลวดทองเหลืองเส้นใหญ่ทำปัด (Bead) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.20 mm ลวดทองเหลืองเส้น เล็กทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.65 mm และเส้นใยพลาซ (Ply) ทำจาก ไนลอน (Nylon fiber) เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 0.57 mm จากการวิเคราะห์สารพบว่า สารเพิ่มการ ยึดติดทั้ง 6 ชนิดมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนเรซิน ฟีนอลิกเรซิน และคูมาโรน-อินดีนเรซิน จาก การทดสอบการยึดติดกับวัสดุพบว่า ฟีนอลิกเรซินและคูมาโรน-อินดีนเรซิน มีประสิทธิภาพในการ ยึดติดดีกว่าไฮโดรคาร์บอนเรซิน นอกจากนี้เมื่อปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ ประสิทธิภาพ ในการยึดติดเพิ่มขึ้น และในการศึกษาประสิทธิภาพการยึดติดภายหลังการบ่มเร่งที่ 70°C นาน 408 ชั่วโมงพบว่า การใส่สารเพิ่มการยึดติดทั้งที่ปริมาณ 3 phr และ 7 phr นั้น ภายหลัง จากการบ่มเร่งแล้ว ไม่พบว่าประสิทธิภาพการยึดติดมีการเปลี่ยนแปลง

คำสำคัญ : สารเพิ่มการยึดติด, ฟีนอลิกเรซิน, ยางเชื่อมโยง, ลวดปัด, การบ่มเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Effects of Tackifiers on Rubber Vulcanizate Properties	
Students	Miss Sujanjira	Sancharoen
	Mr. Abhiwat	Boonpap
	Miss Autjima	Suthichujit
Degree	Bachelor of Science	
Major Program	Industrial Chemistry	
Academic Year	2013	
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Ittipol	Jangchud

ABSTRACT

Tackifiers are additives for rubber in order to improve adhesion between rubber and other materials or within rubber themselves. They are important additives especially for tire industry. This research was focused on studying some commercial tackifiers, i.e., Coumaron resin G90, Hikorez R-1100S, Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 and Struktol TH 110. Effects of tackifier loading (1, 3, 5 and 7 phr) were studied. In addition, effects of heat aging at 70°C for 0-408 hr were also studied. Rubber properties were tested for evaluating tackifier efficiency including cure characteristics, mechanical properties, and adhesion strength by fiber pull-out tests. For adhesion tests, big bead brass wire (1.20 mm in diameter), small belt brass wire (0.65 mm in diameter) and Nylon ply (0.57 mm in diameter) were embedded in rubber compounds and pulled out to test for adhesion. From chemical analysis, the studied tackifiers were hydrocarbon resin, phenolic resin and coumarone-indene resin. It was found that phenolic resins and coumarone-indene resin showed better adhesion than hydrocarbon resin. As the tackifier loading was increased (0-7 phr), adhesion with other materials were also increased. From aging tests at 70°C for 408 hr, it was found that adhesion was unchanged at 3 and 7 phr tackifier loading.

Keywords : Tackifier, Phenolic resin, Rubber vulcanizate, Bead, Aging test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ที่โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ต้องขอขอบคุณความกรุณาจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มจัต ที่อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา พร้อมทั้งช่วยเหลือและดูแลเอาใจใส่อย่างดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ผศ.ดร.ชลลดา ฤทธิวิรุฬห์ และ ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธิ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบ โครงการพิเศษ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา แก่ไข โครงการพิเศษเล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บริษัทพีเอเอสเอฟ (ไทย) จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์สารเคมีสำหรับใช้ใน งานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัทโยโกฮามา ไทร์เชลส์ (ประเทศไทย) จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์วัสดุที่เป็น องค์ประกอบสำคัญในยางรถยนต์ไว้สำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณ คุณชุตินันท์ บุญญาปฏิภา วิศวกรแผนกเทคนิคอล บริษัทไทย จีซีไอ เเรซที่อป จำกัด ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ

ขอขอบคุณ คุณขวัญใจ พูลสวัสดิ์ ที่เป็นผู้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ ขอขอบคุณ คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ คุณสุคดี สอนสะอาด คุณปราณี บุญวัฒน์ รวมทั้ง เจ้าหน้าที่ท่านอื่นๆ ในภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ช่วยอำนวยความสะดวก ให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือต่างๆอย่างถูกต้อง รวมถึง เป็นธุระจัดหาสารเคมีที่จำเป็นสำหรับงานวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ภาควิชาเคมีทุกคนสำหรับความช่วยเหลือ และคำปรึกษา รวมถึงให้กำลังใจ

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ น้อง ที่เป็นกำลังใจอันยิ่งใหญ่ คอยช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และให้การสนับสนุนในทุกๆด้านจนทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สุจินจิรา แสนเจริญ

อภิวัฒน์ บุญภาพ

อััจจิม่า สุทธิชูจิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	X
สารบัญรูป	XI
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง	4
2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR)	4
2.1.1.1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ	4
2.1.1.2 สมบัติโดยทั่วไปของยางธรรมชาติ	5
2.1.2 ยางสังเคราะห์	5
2.1.2.1 ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR)	5
2.1.2.2 ยางบิวทาไดอีน (Butadiene Rubber; BR)	6
2.2 สารเติมแต่ง (Additive)	6
2.2.1 สารตัวเติม (Filler)	6
2.2.1.1 เขม่าดำ (Carbon Black; CB)	7
2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator)	10
2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators)	11
2.2.4 สารแอนติออกซิแดนต์ (Antioxidant)	11
2.2.5 สารแอนติโอโซนแนนต์ (Antiozonant)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agent หรือ Curing Agent)	13
2.3 กระบวนการแปรรูปยาง	14
2.3.1 การออกสูตรเคมียาง (Compounding Formulation)	14
2.3.2 การผสมยาง (Mixing)	14
2.3.3 การขึ้นรูปยาง (Forming)	15
2.3.3.1 การขึ้นรูปยางด้วยแม่พิมพ์ (Molding)	15
2.3.3.2 การขึ้นรูปยางด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion)	15
2.3.3.3 การขึ้นรูปยางด้วยเครื่องคาลนเดอร์ (Calender)	15
2.3.4 การเชื่อมโยงยาง (Vulcanization)	16
2.3.5 การตกแต่งผลิตภัณฑ์ (Finishing)	17
2.4 การผลิตยางรถยนต์ (Tire Manufacturing)	17
2.4.1 องค์ประกอบของยางรถยนต์	17
2.4.2 กระบวนการผลิตยางรถยนต์	18
2.5 สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers)	19
2.5.1 เรซินธรรมชาติ (Rosin Resin)	20
2.5.2 เรซินไฮโดรคาร์บอนหรือปิโตรเลียมเรซิน (Hydrocarbon Resins or Petroleum Resin)	23
2.5.3 เรซินเทอร์พีน (Terpene Resins)	27
2.5.4 ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin)	28
2.5.4.1 ฟีนอลิกเรซินชนิดไม่ว่องไวในปฏิกิริยา (Non-Active) หรือ โนโวแลกเรซิน (Novolac Resin)	28
2.5.4.2 ฟีนอลิกเรซินชนิดว่องไวในปฏิกิริยา (Active) หรือ รีโซลเรซิน (Resole Resin)	29
2.6 กลไกการยึดติด (Mechanisms of Adhesion)	31
2.6.1 การเกาะและการเปียก (Adsorption and Wetting)	31
2.6.2 โมเลกุลเกี่ยวพัน (Interdiffusion)	31
2.6.3 แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)	32
2.6.5 การล็อกเชิงกล (Mechanical Interlocking or Keying)	33
2.7 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)	33
2.7.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโทรโฟโตเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR)	33
2.7.2 การวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค (Gel Permeation Chromatography; GPC)	34
2.7.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัย สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)	34
2.7.3.1 ความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง TGA	35
2.7.3.2 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA	35
2.7.4 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)	36
2.7.4.1 ความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	36
2.7.4.2 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	37
2.7.4.3 ประเภทของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	38
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	42
3.1 สารเคมีที่ใช้ทดลอง	42
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	44
3.3 วิธีการทดลอง	46
3.3.1 การเตรียมยางเชื่อมโยง	46
3.3.1.1 ศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อ สมบัติเชิงกลและสมบัติการยึดติดของยางเชื่อมโยง	46
3.3.1.2 ศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อ สมบัติเชิงกลและสมบัติการยึดติดของยางเชื่อมโยง	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้ศึกษาแล้วให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มการยึดติด	49
3.4.1	สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อม โยงกับลวดทองเหลือง ขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm	49
3.4.2	สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อม โยงกับลวดทองเหลือง ขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ± 0.06 mm	50
3.4.3	สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อม โยงกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำ ชั้นหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ± 0.08 mm	51
3.5	ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มการยึดติด โดยทำการบ่มเร่ง (Aging)	52
3.6	การทดสอบยางเชื่อมโยง	52
3.6.1	การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)	52
3.6.2	การหาเวลาเชื่อมโยงยางผสมสูตร (Cure Time)	53
3.6.3	ทดสอบสมบัติเชิงกล	54
3.6.3.1	การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	54
3.6.3.2	การทดสอบความแข็งกด (Hardness Test)	55
3.7	การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)	56
3.7.1	การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเพิ่มการยึดติด โดยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	56
3.7.2	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัย สมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)	56
3.7.3	การวิเคราะห์ด้วยยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)	57
3.7.4	การหาจุดหลอมเหลว (Melting Point)	57
3.7.5	การทดสอบการไหล (Flow)	58
3.7.6	การหาเวลาในการเกิดเจล (Gelation Time)	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7.7 การหาปริมาณของ Hexamethylenetetramine; HMTA	59
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	62
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)	62
4.1.1 การวิเคราะห์น้ำหนักฟังก์ชันของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตเมทรี (Infrared Spectrophotometry)	63
4.1.2 การวิเคราะห์สารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิคอัลตราไวโอเล็ตสเปกโตรโฟโตเมทรี (Ultraviolet Spectrophotometry)	64
4.1.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)	65
4.1.4 การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC)	65
4.2 การศึกษาผลจากชนิดของสารเพิ่มการยึดติด	67
4.3 การศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติด	73
4.4 ศึกษาการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติดโดยการบ่มเร่ง	80
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	82
5.1 ผลจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifier)	82
5.2 ผลจากการศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติด	83
5.3 ผลจากการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด	83
5.4 ผลจากการศึกษาการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติดโดยการบ่มเร่ง	83
5.5 ข้อเสนอแนะ	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	85
ภาคผนวก ก	89
ภาคผนวก ข	90
ภาคผนวก ค	96
ภาคผนวก ง	102



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของอะลิวติคเรซิน (C5)	24
2.2 สมบัติของไฮโดรจินेट อะลิวติคเรซิน	24
2.3 สมบัติของอะโรมาติคเรซิน	26
2.4 สมบัติของไฮโดรจินेट อะโรมาติคเรซิน	27
2.5 สมบัติของอะลิวติคและอะโรมาติคเรซิน	27
3.1 สูตรที่ใช้ในการศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติด	46
3.2 ลำดับและเวลาที่ใช้ในการผสมยาง	47
3.3 ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงในยางผสมสูตร	48
4.1 ค่าการดูดกลืนแสง UV ของสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ	64
4.2 ผลจากการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)	65
4.3 น้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC)	66
4.4 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของสารเพิ่มการยึดติดตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standards (JIS) K 6909-1977	66
4.5 ค่าความหนืดมูนี้และลักษณะการเชื่อมโยง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 สูตร โครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (Cis-1,4-Polyisoprene)	4
2.2 สูตร โครงสร้างทางเคมีของยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR)	5
2.3 สูตร โครงสร้างทางเคมีของยางบิวทาไดอิน (Butadiene Rubber; BR)	6
2.4 โครงสร้างเขม่าดำ	8
2.5 ภาพวาด โครงสร้างของเขม่าดำแบบยาว และแบบออกคลูด	9
รวมเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcing Entity)	
2.6 โครงสร้าง TBBS	10
2.7 โครงสร้าง TMTD	10
2.8 โครงสร้างของ Wingstay L	12
2.9 โครงสร้างของ TMQ	12
2.10 โครงสร้างของ 6PPD	13
2.11 โครงสร้างของกำมะถันชนิดละลาย (Soluble Sulfur)	13
2.12 การเชื่อมโยงใน โมเลกุลของยาง	16
2.13 องค์ประกอบยางรถยนต์	18
2.14 ชั้นสน	19
2.15 เทอร์พีนเรซิน	19
2.16 บีโตรีเลียมเรซิน	19
2.17 ฟีนอลิกเรซิน	19
2.18 ประเภทของเรซินธรรมชาติที่ได้มาจากส่วนต่างๆของพืช	20
2.19 ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันในการผลิต โรซินเอสเทอร์	21
2.20 การเพิ่มเสถียรภาพของ โมเลกุล โรซิน โดยการทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน	21
2.21 การเกิดไคเมอไรเซชันของโรซิน	22
2.22 การปรับเปลี่ยน โรซิน โดยใช้กรดมาลิก	22
2.23 ต้นกำเนิดของ อะลิฟาติก (C5) อะโรมาติก (C9) และเรซินไฮโดรคาร์บอน	23
2.24 อะลิฟาติก (C5) เรซินที่เป็นวัตถุดิบพื้นฐานสำหรับสารเพิ่มการยึดติด	23

สารบัญรูปลูกภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 พอลิเมอไรเซชันของอะลิฟาติกเรซิน (C5)	24
2.26 อะโรมาติกเรซิน	25
2.27 การพอลิเมอไรเซชันของอะโรมาติกเรซิน	25
2.28 การทำปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation)	26
2.29 โนโวแลกเรซิน	29
2.30 รีโซลเรซิน	29
2.31 น้ำหนักโมเลกุลและความมีขั้วต่อความเข้ากันได้ของเรซินกับวัสดุอื่น	30
2.32 ผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติการยึดติด	30
2.33 ลักษณะการเกาะและการเปื่อย	31
2.34 ลักษณะการเกิดโมเลกุลเกี่ยวพัน	31
2.35 แรงดึงคูดทางไฟฟ้าสถิต	32
2.36 ลักษณะการเกิดพันธะเคมี	32
2.37 การลีดเชิงกล	33
2.38 การเคลื่อนที่ผ่านคอแลกซ์ที่มีรูพรุนของโมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีขนาดต่างๆ	34
2.39 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA	35
2.40 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer	36
3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับลวดเส้นใหญ่ ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm	49
3.2 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับลวดเส้นเล็กที่ใช้ ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.650 ± 0.060 mm	50
3.3 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 mm	51
3.4 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)	52
3.5 กราฟแสดงลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic) ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์	53
3.6 เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้งานหมุน (Moving Die Rheometer)	54

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 เครื่องทดสอบเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM)	55
3.8 เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักรุ่น Shore A	55
3.9 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR)	56
3.10 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)	57
3.11 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)	57
3.12 การหาจุดหลอมเหลว (Melting Point)	58
3.13 การทดสอบการไหล (Flow)	58
3.14 การหาเวลาในการเกิดเจล (Gelation Time)	59
3.15 การหาปริมาณของ Hexamethylenetetramine; HMTA	60
4.1 อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared Spectra) ของสารเพิ่มการยึดติด	63
4.2 กราฟลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Curve) ของยางผสมสูตรที่ใส่ สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	68
4.3 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งกด (Hardness Shore A) ของยางผสมสูตรที่ใส่ สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	69
4.4 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงยึด (Tensile Strength) ของยางผสมสูตรที่ใส่ สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	70
4.5 กราฟการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ 300% (M_{300}) ของยางผสมสูตรที่ใส่ สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	70
4.6 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	71
4.7 การทดสอบ Single Fiber Pull-Out	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 กราฟการเปรียบเทียบการยืดติระหว่างยางผสมสูตรกับลวดทองเหลืองขนาดเล็ก (Belt) และขนาดใหญ่ (Beads) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	72
4.9 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยึดติระหว่างยางผสมสูตรกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr	72
4.10 กราฟค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	74
4.11 กราฟค่าทอร์กสูงสุด (M_H) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	74
4.12 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ Coumaron Resin G90 ในปริมาณต่างๆ	75
4.13 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ Koresin ในปริมาณต่างๆ	75
4.14 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ SL1801 ในปริมาณต่างๆ	76
4.15 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ Struktol TH110 ในปริมาณต่างๆ	76
4.16 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งกด (Hardness Shore A) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	77
4.17 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงยึด (Tensile Strength) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	77
4.18 กราฟการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ 300% (M_{300}) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	78
4.19 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.20 กราฟการเปรียบเทียบการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับ ลวดทองเหลืองเส้นใหญ่ (Bead) ที่ได้สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	79
4.21 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยึดติดระหว่าง ยางผสมสูตรกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ที่ได้สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ	79
4.22 กราฟสถานะการบ่มเร่งของยางผสมสูตรที่ได้สารเพิ่มการยึดติดปริมาณ 3 phr	80
4.23 กราฟสถานะการบ่มเร่งของยางผสมสูตรที่ได้สารเพิ่มการยึดติดปริมาณ 7 phr	81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีอัตราผู้ใช้รถยนต์เพิ่มขึ้นอย่างมากจึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์เติบโตอย่างรวดเร็ว และส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งของรถยนต์นั้นก็คือน้ำมันหล่อลื่น ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์เติบโตควบคู่ไปด้วยเช่นกัน

เนื่องจากความต้องการของตลาดในการใช้ยางรถยนต์มีปริมาณมาก จึงทำให้อุตสาหกรรมนี้มีการแข่งขันทางการค้ามากมาย ดังนั้นแต่ละบริษัทจึงมุ่งเน้นไปที่การวิจัยและพัฒนาของยางรถยนต์ให้มีความแข็งแรงขึ้นเพื่อการแข่งขันทางการค้า โดยในการผลิตยางรถยนต์หนึ่งเส้นนั้นต้องผ่านหลายขั้นตอน เพราะยางรถยนต์แต่ละเส้นประกอบไปด้วยหลายส่วนที่ล้วนแล้วแต่มีความสำคัญ เช่น หน้ายาง (Tread) แก้มยาง (Side Walls) เข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) เป็นต้น ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นไม่ได้มีส่วนประกอบแค่เนื้อยางเพียงอย่างเดียว ยังประกอบไปด้วยวัสดุอื่นๆที่ใส่ลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน เช่น ส่วนของเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) โดยใช้เส้นลวดโลหะฉาบด้วยยางผสมสูตร เหตุที่ต้องมีเส้นลวดโลหะก็เพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ยางชำรุดเสียหายจากสิ่งอันตรายต่างๆบนพื้นถนน [1] หรือส่วนของโครงยาง (Carcass) ที่ประกอบด้วยเส้นใยในลอนทำหน้าที่รักษารูปร่าง และเสริมความแข็งแรงให้ยางรถยนต์ จากทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องเลือกใช้อย่างที่จะนำมาทำยางรถยนต์ที่มีสมบัติด้านการยึดติดที่ดี เพื่อให้ยางนั้นสามารถยึดติดกับวัสดุอื่นๆ และสามารถยึดติดกับยางส่วนอื่นๆ ที่นำมาประกอบขึ้นเป็นยางรถยนต์ได้ดียิ่งขึ้นก่อนนำไปทำการให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการเชื่อมโยง

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นนี้ จึงได้มีการวิจัยและผลิตสารซึ่งสามารถนำมาใส่ในยางเพื่อทำให้ยางมีความสามารถในการยึดติดกับวัสดุอื่นหรือยึดติดกับยางด้วยกันเองได้ดียิ่งขึ้น สารเหล่านี้เรียกว่า “สารเพิ่มการยึดติด (Tackifier)” ซึ่งจะใส่ลงไปในช่วงขั้นตอนการผสมยาง นิยมใส่ในช่วง 1-10 phr ขึ้นกับชนิดของสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้และความสามารถในการยึดติดที่ต้องการ โดยสารเพิ่มการยึดติดนั้นมีทั้งที่ได้มาจากธรรมชาติ เช่น ยาง ไม้ ชันสน ผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม หรือผลิตมาจากวัตถุดิบประเภทเทอร์พีน ที่ได้มาจากไม้และผลไม้อื่นๆ ซึ่งสารเพิ่มการยึดติดสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท เช่น เรซินธรรมชาติ (Rosin Resin) เรซินไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Resins) เรซินเทอร์พีน (Terpene Resins) และฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) ซึ่งสารเพิ่มการยึดติดแต่ละประเภทยังจะมีประสิทธิภาพในการยึดติดแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ทำให้ยางสามารถยึดติดกับวัสดุต่างๆ ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางเมื่อทำการใส่สารเพิ่มการยึดติดเทียบกับยางที่ไม่มีการใส่ และศึกษาการเสื่อมประสิทธิภาพของสารเพิ่มการยึดติดหลังจากสภาวะบ่มเร่ง (Aging)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization) และศึกษาผลของสารเพิ่มการยึดติดในยางเชื่อมโยง โดยพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการยึดติด ได้แก่ ผลจากชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด และประสิทธิภาพในการยึดติดภายหลังการบ่มเร่ง (Aging)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization) ของสารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน (Functional Group) น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) จุดหลอมเหลว (Melting Point) เวลาในการเกิดเจล (Gelation Time) และการทดสอบการไหล (Flow)

2. ศึกษาชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ ที่ 1, 3, 5 และ 7 phr ที่ทำให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดดีที่สุด โดยสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ทดสอบ ได้แก่

- Coumaron Resin G90
- Hikorez R-1100S
- Koresin
- Sirfen BL302
- SL 1801
- Structol TH110

3. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของยาง ได้แก่

- ลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristics) ได้แก่ เวลาสกอร์ช (Scorch Time; t_{90}) เวลาเชื่อมโยง (Cure Time; t_{90}) และดัชนีความเร็วเชื่อมโยง (Cure Rate Index; CRI)

- สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties) ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) มอดุลัสของยาง (Rubber Modulus; M300) และความแข็งกด (Hardness)

- สมบัติการยึดติดกับวัสดุ (Tack) โดยทดสอบการดึง (Pull Out) ใน 2 สภาวะ คือ สภาวะอุณหภูมิห้องและสภาวะภายหลังจากการบ่มเร่ง (Aging) ณ อุณหภูมิ 70°C ซึ่งวัสดุที่ใช้ ไม่ว่าจะชนิดใดก็ตาม ล้วนมีให้คำปรึกษาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ทดสอบ ได้แก่

1. ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm
2. ลวดทองเหลืองขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ± 0.06 mm
3. เส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ± 0.08 mm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ
2. สามารถพิสูจน์หาชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดสูงที่สุด
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาความรู้เกี่ยวกับผลของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติต่างๆของยางเชื่อมโยง
4. สามารถนำไปปรับใช้ได้ในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

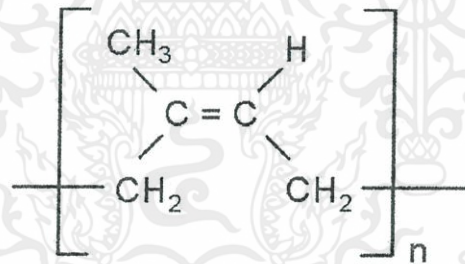
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยาง

2.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) [3]

2.1.1.1 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วง 100,000 ถึง 1,000,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก โดยมีหน่วยย่อยเป็นไอโซพรีนมอนอเมอร์ (Isoprene Monomer) ที่มาต่อกันอย่างเป็นระเบียบซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ Cis-1,4-Polyisoprene (C_5H_8) หน่วยไอโซพรีนที่พบในยางธรรมชาติจะอยู่ในลักษณะโครงสร้างแบบซิส (Cis-Configuration) ยางธรรมชาติได้จากต้นยางพาราที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือฮีเวีย บราซิลเลียนซิส (Hevea Braziliensis) เนื่องจากยางธรรมชาติมีสมบัติดีและราคาถูกจึงทำให้มีการใช้งานอย่างกว้างขวาง



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ (Cis-1,4-Polyisoprene) [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

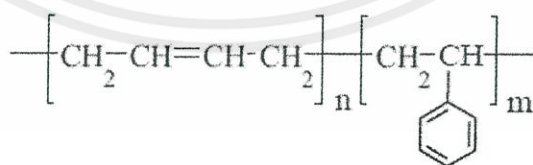
2.1.1.2 สมบัติโดยทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติโดดเด่นหลายประการที่ดีกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เช่น ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) ความเหนียวติดกัน (Tack) และสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties) เป็นต้น ทำให้ยางธรรมชาติเหมาะกับการใช้งานที่ต้องรับแรงสูง แต่ยางธรรมชาติก็ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น มีสีเข้มกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ทำให้ไม่เหมาะนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่มีสีอ่อน และโปรตีนในยางธรรมชาติอาจก่อให้เกิดอาการแพ้จึงไม่เหมาะกับการผลิตผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เป็นต้น

2.1.2 ยางสังเคราะห์

2.1.2.1 ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR) [5]

ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR) เป็นยางสังเคราะห์ที่สำคัญและใช้มากในอุตสาหกรรม ยางเอสบีอาร์เป็น โคลอพลิเมอร์ที่เตรียมจากสไตรีนมอนอเมอร์ (Styrene Monomer) และบิวทาไดอีนมอนอเมอร์ (Butadiene Monomer) ซึ่งมีหลายเกรดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์ ยางเอสบีอาร์เมื่อเปรียบเทียบกับยางธรรมชาติจะมีคุณภาพสม่ำเสมอกว่ายางธรรมชาติ มีสิ่งเจือปนน้อยกว่า และที่สำคัญคือไม่ต้องบดยางให้ نرم ก่อนทำการผสมสารเคมียาง เนื่องจากยางชนิดนี้ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา ให้มีน้ำหนักโมเลกุลที่ไม่สูงมากนัก จึงมีความหนืดที่เหมาะสมทำให้สารเคมีกระจายตัวได้ดี ไหลได้ง่ายในระหว่างการขึ้นรูป ส่วนของบิวทาไดอีนนั้นมีพันธะคู่ซึ่งว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา แต่ว่องไวน้อยกว่าพันธะคู่ในยางธรรมชาติ ทำให้ยางเอสบีอาร์เชื่อมโยงด้วยกัมมะถันได้ช้ากว่ายางธรรมชาติ จึงต้องใส่สารเร่งการเชื่อมโยงมากกว่ายางธรรมชาติ และยางเอสบีอาร์เป็นสารประเภทไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกับยางธรรมชาติ จึงทำให้มีสมบัติในการละลายคล้ายกับยางธรรมชาติ



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารตัวเติมชนิดเสริมแรง (Reinforcing Filler) มีหน้าที่หลักคือเพิ่มปริมาณ และอีกหน้าที่หนึ่งคือช่วยเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง ได้แก่ เขม่าดำ (Carbon Black; CB) ซิลิกา (Silica) เป็นต้น

2. สารตัวเติมชนิดไม่เสริมแรง (Non reinforcing filler) มีหน้าที่เพียงแค่เพิ่มปริมาณเพียงอย่างเดียว ได้แก่ แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ดินขาว (Kaolin; Clay) เป็นต้น

2.2.1.1 เขม่าดำ (Carbon black; CB)

เขม่าดำได้จากการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปิโตรเลียม มีสีดำและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร นิยมใช้เป็นสารเสริมแรงในอุตสาหกรรมยางเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และความทนทานต่อการสึกหรอให้แก่ยาง เขม่าดำเป็นสารตัวเติมที่สำคัญที่สุดและมีการใช้งานมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากเขม่าดำมีราคาถูก สามารถใส่ได้ในปริมาณมาก (มากกว่า 50 phr) สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับยาง และทำให้การขึ้นรูปง่ายขึ้น (Processability) แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือ ผลิตภัณฑ์ยางที่ใส่เขม่าดำจะมีสีดำ เช่น ยางรถยนต์ และสายพาน เป็นต้น [8]

เขม่าดำมีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนกลมติดกันอย่างไม่เป็นระเบียบ รูปร่างคล้ายพวงองุ่น (Grape-Like Structure) กลุ่มก้อนที่ติดกันเรียกว่าแอกกรีเกต (Aggregate) เกิดจากการหลอมติดของอนุภาคเล็กๆ เรียกว่าโนดูล (Nodule) โดยแต่ละโนดูลจะเรียงตัวเป็นชั้นๆ ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของแผ่นแกรไฟต์ (Graphitic Layer Planes) มีลักษณะโครงสร้างเป็นผลึกจัดเรียงเป็นวงตามแนวรัศมี ซึ่งโครงสร้างผลึกจะไม่เป็นระเบียบเหมือนแกรไฟต์เช่น มีอะตอมที่หายไป (Missing Atoms) มีระยะห่างระหว่างชั้นมากกว่าแกรไฟต์ (ประมาณ 3.5 \AA) และอาจมีหมู่ฟังก์ชันหรืออะตอมของธาตุอื่นปนอยู่ในโครงสร้าง เป็นต้น

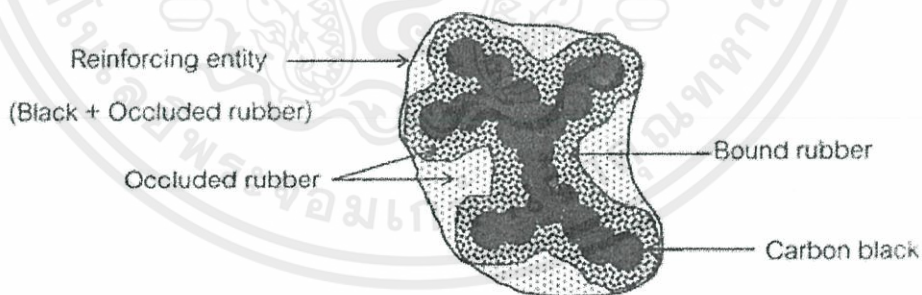
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยางบาวด์ (Bound Rubber)

ยางบาวด์ (Bound Rubber) เป็นส่วนของยางที่ติดอยู่ในโครงสร้างของเขม่าดำ โดยจะยึดติดกันอย่างแข็งแรงมาก ไม่สามารถที่จะหลุดออกจากกันได้แม้จะสัคคยางผสมเขม่าดำด้วยตัวทำละลายที่ดี (Good Solvent) ก็ตามการเกิดยางบาวด์เป็นสิ่งที่บอกว่ายางเกิดอันตรกิริยา (Interaction) กับเขม่าดำ เช่น เกิดการยึดเกาะทางกายภาพ (Physical Adsorption) เกิดพันธะเคมี (Chemical-Bonding) เกิดการยึดเกาะทางเคมี (Chemisorption) เป็นต้น สามารถทำให้ยางเกิดการยึดเกาะที่ตีบนพื้นผิวหรือภายในช่องว่างของโครงสร้างเขม่าดำ ปริมาณของยางบาวด์ในยางผสมเขม่าดำสัมพันธ์กับลักษณะโครงสร้างของเขม่าดำด้วย โดยเขม่าดำที่มีโครงสร้างมาก (High Structure) และมีขนาดเล็กลงหรือพื้นที่ผิวสูง (Large Surface Area) จะเกิดยางบาวด์ในปริมาณมากทำให้เกิดการเสริมแรง (Reinforcement) ของเขม่าดำมากขึ้น

ยางออกคลูด (Occluded Rubber)

ยางออกคลูด (Occluded Rubber) เป็นยางส่วนที่แทรกอยู่ในช่องว่าง (Voids) ในโครงสร้างแอกกรีเกต (Aggregate) ของเขม่าดำ ยางออกคลูดยังเป็นส่วนที่ครอบคลุมส่วนของยางบาวด์ (Bound Rubber) เป็นยางที่อยู่ในช่องว่างของเขม่าดำที่ไม่เกิดอันตรกิริยาใดๆร่วมกับยางที่เกิดอันตรกิริยา (ยางบาวด์) ข้อดีของยางออกคลูด คือ เมื่อมียางออกคลูดแทรกตัวในช่องว่างของเขม่าดำมาก เปรียบเสมือนเพิ่มอัตราส่วน โดยปริมาตรเขม่าดำ (Effective Volume Fraction of Carbon Black) ทำให้ยางผสมเขม่าดำมีความแข็งแรงมากขึ้น



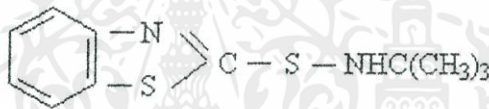
รูปที่ 2.5 ภาพวาดโครงสร้างของเขม่าดำยางบาวด์ และยางออกคลูด รวมเป็นส่วนเสริมแรง (Reinforcing Entity) [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator)

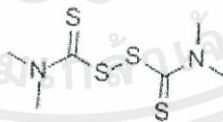
สารเร่งปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Accelerator) คือสารเคมีที่เติมเข้าไปในยางเพื่อเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง ลดเวลาในการเชื่อมโยง เพิ่มประสิทธิภาพในการเชื่อมโยงให้ดีขึ้น และใช้กัมมะถันในปริมาณน้อยลง โดยมักใช้สารเร่งมากกว่าหนึ่งชนิดร่วมกัน ซึ่งสารเร่งที่ได้ในปริมาณมากกว่าจะเป็นสารเร่งหลักหรือ สารเร่งปฐมภูมิ (Primary Accelerators) ส่วนสารเร่งที่ใช้ในปริมาณน้อยกว่าจะเป็น สารเร่งทุติยภูมิ (Secondary Accelerators) โดยสารทั้งสองสามารถทำหน้าที่เสริมกันเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ซินเนยจิสติก (Synergistic Effect) ทำให้อัตราการเชื่อมโยงเกิดได้ดีกว่าการสารใส่สารเร่งเพียงชนิดเดียว

1. **TBBS (N-tert-Butyl-2-Benzothiazolesulfenamide)** เป็นสารเร่งในกลุ่มซัลเฟนาไมด์ (Sulfenamides) สารเร่งชนิดนี้ทำให้การเริ่มเกิดการเชื่อมโยง (Scorch) ช้าลง นิยมใช้กับยางที่ต้องการเวลาผสมหรือการขึ้นรูปนาน เนื่องจากมีหมู่ที่สามารถให้โปรตอนถึงหน่วยการเชื่อมโยงได้



รูปที่ 2.6 โครงสร้าง TBBS [11]

2. **TMTD (Tetramethylthiuramdisulfide)** เป็นสารเร่งในกลุ่มไทยูแรม โมโน และไดซัลไฟด์ (Thiuram Mono- and Disulfides) ซึ่งสารเร่งชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาแล้วสามารถให้อะตอมของกำมะถันอะตอมเดียวเพื่อเกิดการเชื่อมโยงแบบ โมโนซัลไฟด์ิก (Monosulfidic Linkage) นิยมใช้เป็นสารเร่งทุติยภูมิร่วมกับสารเร่งในกลุ่มซัลเฟนาไมด์และไทเอโซล นอกจากนี้สารเร่งชนิดนี้ไม่ละอะสีจึงใช้กับยางที่มีสีขาวได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยน



รูปที่ 2.7 โครงสร้าง TMTD [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators)

สารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยง (Activators) คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง เนื่องจากสารเคมีในกลุ่มนี้จะเข้าไปกระตุ้นสารตัวเร่งปฏิกิริยา ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้นและยังช่วยให้สมบัติของยางที่ผ่านการเชื่อมโยงดีขึ้นอีกด้วย โดยทั่วไปสารกระตุ้นปฏิกิริยาเชื่อมโยงสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ สารอนินทรีย์ สารอินทรีย์ และสารที่มีฤทธิ์เป็นค่าง [10]

1. **ซิงค์ออกไซด์ (ZnO)** จัดเป็นสารกระตุ้นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม ปริมาณการใช้อยู่ในช่วง 3-5 phr ทั้งนี้เนื่องจากได้มีการศึกษาและพบว่าการเติมซิงค์ออกไซด์ลงไป ในปริมาณที่สูงกว่า 4 phr แทบจะไม่มีผลหรืออาจมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้นต่อประสิทธิภาพการ กระตุ้น

2. **กรดสเตียริก (Stearic Acid)** เป็นสารที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรม ซึ่งกรด สเตียริกนอกจากจะทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นแล้ว ยังสามารถทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ทำให้ยางมีความเหนียวลดลงและสามารถผสมได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

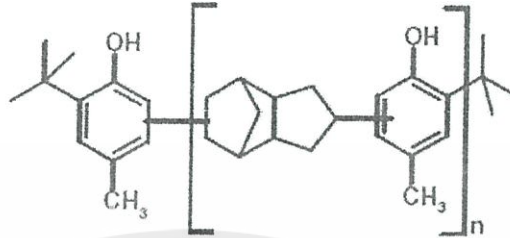
แม้ว่าการใช้ซิงค์ออกไซด์หรือกรดสเตียริกเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งจะสามารถเพิ่ม อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยงได้ แต่ในระดับอุตสาหกรรมนิยมใช้สาร สองตัวนี้เป็นสาร กระตุ้นปฏิกิริยาร่วมกันเพราะจะทำให้ประสิทธิภาพในการกระตุ้นสูงมากขึ้น โดยซิงค์ออกไซด์จะ เกิดปฏิกิริยากับกรดสเตียริกได้เป็นซิงค์สเตียเรต (Zinc Stearate) หรือเกลือของซิงค์ที่สามารถ ละลายได้ในยาง [1]

2.2.4 สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) [1]

สารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำให้ยางมีอายุการใช้งานได้ยาวนานขึ้น โดยทั่วไปสาร แอนติออกซิแดนซ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ สารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดไม่เป็อนสี และ สารแอนติออกซิแดนซ์ชนิดเป็อนสี

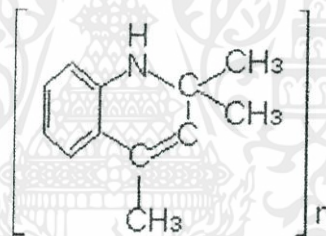
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Wingstay L เป็นสารแอนติออกซิแดนต์ชนิดไม่เป็อนสี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต มีอัตราการระเหยต่ำ และสามารถกระจายตัวได้ดีในของเหลว นิยมใช้กับยางธรรมชาติและน้ำยาง



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของ Wingstay L [13]

2. TMQ (2,2,4-Trimethyl-1,2-Dihydroquinoline) เป็นสารที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีนและอะซิโตน แต่ไม่ละลายในน้ำ และสามารถละลายได้เพียงเล็กน้อยในปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอน นิยมใช้เป็นสารเติมแต่งในยาง โดยเฉพาะอุตสาหกรรมยางรถยนต์



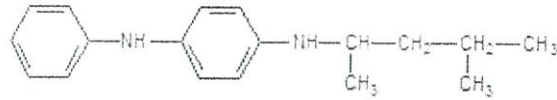
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ TMQ [14]

2.2.5 สารแอนติโอโซนแนนต์ (Antiozonant)

สารแอนติโอโซนแนนต์ (Antiozonant) คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อป้องกันหรือลดการเกิดรอยแตกของยางจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับยางหรือเรียกว่า ปฏิกิริยาโอโซนชัน (Ozonation) สารแอนติโอโซนแนนต์ที่นิยมใช้ ได้แก่ สารประกอบพารา-ฟีนิลีนไดเอมีน (Para-Phenylenediamines; PPDs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6PPD (N-(1,3-Dimethylbutyl)-N'-Phenyl-p-Phenylenediamine) เป็นสารแอนติโอโซแนนต์ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นแอนติออกซิแดนต์ควบคู่ไปด้วย นิยมใช้กับทั้งยางสังเคราะห์และยางธรรมชาติ สามารถช่วยป้องกันการเสียหายจากการล้า (Fatigue)

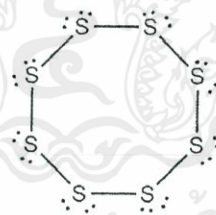


รูปที่ 2.10 โครงสร้างของ 6PPD [15]

2.2.6 สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agent หรือ Curing Agent) [1]

สารเชื่อมโยง (Vulcanizing Agent หรือ Curing Agent) สารที่เติมลงไปในยางเพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนโครงสร้างของยางจากสายโซ่ตรงเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-D Network) ทำให้ยางที่ผ่านการเชื่อมโยงเปลี่ยนจากวัสดุที่อ่อนนุ่ม ยืดหยุ่นต่ำ ไม่แข็งแรงและเหนียวติด (Sticky) เป็นวัสดุที่แข็งแรง ยืดหยุ่นสูง ไม่เหนียวติดและทนต่ออุณหภูมิสูง สารเชื่อมโยงที่นิยมใช้ ได้แก่ กำมะถัน (Sulfur) เปอร็อกไซด์ (Peroxide) หรือสารประกอบออกไซด์ของโลหะบางชนิด ซึ่งการเลือกชนิดและปริมาณของสารเชื่อมโยงจะขึ้นกับชนิดของยางและสมบัติของยางเชื่อมโยงที่ต้องการ

กำมะถัน จัดเป็นสารเชื่อมโยงที่นิยมที่สุดสำหรับใช้เชื่อมโยงยางที่ไม่อิมคว เนื่องจากกำมะถันมีราคาถูก และละลายได้ดีในยาง กำมะถันแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ กำมะถันชนิดละลาย (Soluble Sulfur) และกำมะถันชนิดไม่ละลาย (Insoluble Sulfur)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของกำมะถันชนิดละลาย (Soluble Sulfur) [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กระบวนการแปรรูปยาง [16]

ยางดิบมีสมบัติไม่เหมาะสมนำไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้โดยตรงจำเป็นต้องมีการผสมยางดิบกับสารเคมีต่างๆเพื่อปรับปรุงสมบัติของยางให้ได้ตามความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ การเชื่อมโยงยางผสมสูตร (Vulcanization) ทำให้ยางมีโครงสร้างโมเลกุลแบบตาข่าย 3 มิติ (3-D Network) หรือที่เรียกว่าเกิดการเชื่อม โยง (Crosslink) ระหว่างสายโซ่ของยาง โดยทั่วไป กระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ยางสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การออกสูตรเคมียาง (Compounding Formulation)
2. การผสมยาง (Mixing)
3. การขึ้นรูปยาง (Forming)
4. การเชื่อมโยงยาง (Vulcanization)
5. การตกแต่งผลิตภัณฑ์ (Finishing)

2.3.1 การออกสูตรเคมียาง (Compounding Formulation)

การออกสูตรยางเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อสมบัติหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์ยาง อีกทั้งยังส่งผลอย่างมากต่อต้นทุนการผลิตอีกด้วย การออกสูตรยางจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของยางหน้าที่และความจำเป็นในการใช้สารเคมีผสมยางรวมทั้งต้องพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่จะใช้ว่าเหมาะสมหรือคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่เพราะต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยหลักในการผลิตในระดับอุตสาหกรรม

2.3.2 การผสมยาง (Mixing)

การผสมยาง (Mixing) เป็นขั้นตอนที่นำยางและสารเคมีชนิดต่างๆ ที่อยู่ในสูตรมาผสมรวมเข้าด้วยกันโดยใช้เครื่องผสมซึ่งอาจจะเป็นเครื่องผสมระบบเปิด เช่น เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) หรือเครื่องผสมระบบปิด เช่น เครื่องนวด (Kneader) หรือเครื่องผสมแบบแบนบูรี่ (Banbury Internal Mixer) ยางที่ผ่านการผสมสารเคมีเรียบร้อยแล้วมีชื่อทางเทคนิคว่า “ยางผสมสูตร (Rubber Compound)” ขั้นตอนการผสมยางมีความสำคัญอย่างมากต่อสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หากสารตัวเติมเสริมแรงที่เติมลงไปเกิดการแตกตัว (Dispersion) ไม่ดี จะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติของทั้งยางผสมสูตรและการคงรูปของยาง เป็นต้น [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การขึ้นรูปยาง (Forming) [17]

การขึ้นรูปยางผสมสูตรให้เป็นผลิตภัณฑ์นั้นแบ่งออกได้เป็น 3 เทคนิคใหญ่ๆ คือ

2.3.3.1 การขึ้นรูปยางด้วยแม่พิมพ์ (Molding)

การใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปยางพร้อมกับการคงรูป (Vulcanization) โดยอาศัยความร้อนและแรงอัด เป็นวิธีการที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบัน การขึ้นรูปด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ก่อนที่จะนำยางใส่เข้าไปในเบ้าพิมพ์ ความร้อนของแม่พิมพ์จะทำให้ความหนืดของยางต่ำลง ยางจึงไหลเต็มแม่พิมพ์ได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ เช่น ยาง โอริงประเก็น ยางรองแท่นเครื่อง และยางรถยนต์ เป็นต้น แม่พิมพ์ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายแบบ ได้แก่ แม่พิมพ์แบบกดอัด (Compression Mold) แม่พิมพ์แบบกึ่งฉีด (Transfer Mold) และแม่พิมพ์แบบฉีด (Injection Mold) เป็นต้น

2.3.3.2 การขึ้นรูปยางด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion)

การขึ้นรูปและคงรูปยางด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion) เป็นการอัดยางผ่านตาย (Die) ที่มีรูปร่างต่างๆตามลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องอัดรีดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่อาศัยแรงอัดจากแรม (Ram) และชนิดที่อาศัยแรงอัดจากการหมุนของสกรู (Screw) โดยที่ชนิดหลังเป็นชนิดที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้ได้แก่ท่อยางยางหุ้มสายเคเบิลและยางรัดของ เป็นต้นยางที่ได้จากการขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะต้องผ่านการอบให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ในหม้ออบน้ำไอน้ำหลังจากอัดรีดยางแล้ว

2.3.3.3 การขึ้นรูปยางด้วยเครื่องกลั่นเคอร์ (Calender)

การขึ้นรูปและคงรูปยางด้วยเครื่องกลั่นเคอร์ (Calender) ประกอบด้วยชุดของลูกกลิ้งจำนวน 2 ถึง 4 ลูกเรียงตัวกันในแบบต่างๆ ลูกกลิ้งแต่ละลูกจะทำจากเหล็กหล่ออย่างดี ผิวหน้าขัดเรียบ ด้านในของลูกกลิ้งจะมีการเจาะรูให้เป็นโพรงเพื่อติดตั้งระบบทำความร้อน และทำความเย็นเช่นเดียวกับลูกกลิ้งที่ใช้ผสมยาง ช่องว่างมีความหนาและความกว้างสม่ำเสมอหรือเพื่อการฉาบยางบางๆ ลงบนผ้าหรือแผ่นใยลวด (Coating) ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ ได้แก่ สายพานลำเลียงผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเทคนิคนี้จะต้องผ่านกระบวนการอบเพื่อทำการวัลคาไนซ์ ก่อนนำไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 การเชื่อมโยงยาง (Vulcanization) [1]

การเชื่อมโยงยาง (Vulcanization) เป็นกระบวนการเปลี่ยนยางที่อยู่ในสภาพไม่คงตัวให้เป็นยางที่รักษารูปทรงได้ในลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็งโดยใช้สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลที่เรียกว่าเกิดการเชื่อมโยง (Crosslink) ตรงจุดที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์อย่างธรรมชาติโดยทั่วไปจะนิยมใช้กำมะถัน (Sulphur) และเปอร์ออกไซด์ (Peroxide) โดยระบบการวัลคาไนซ์ที่สำคัญที่สุดสำหรับยางธรรมชาติคือระบบกำมะถัน เมื่อใส่กำมะถันเข้าไปในยางแล้วนำยางนั้นมาให้ความร้อนจะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น ซึ่งทำให้ยางมีสมบัติคือเมื่อร้อนไม่เหลวเมื่อเย็นไม่แข็งไม่มีกลิ่นและไม่เหนียว เป็นต้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะกำมะถันสามารถทำให้โครงสร้างยางจากสายโซ่ตรงเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ (3-Dimensional Network) ทำให้มีเสถียรภาพของรูปร่าง และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น



รูปที่ 2.12 การเชื่อมโยงในโมเลกุลของยาง [18]

การเชื่อมโยงยางทำให้สมบัติที่เปลี่ยนไปคือ

- มีค่าความแข็งแรง (Strength) เพิ่มขึ้น
- มีมอดุลัส (Modulus) เพิ่มขึ้น
- มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ดีขึ้น
- มีฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ลดลง
- มีเซต (Set) หรือการเปลี่ยนขนาดถาวรเมื่อได้รับแรงกดลดลง หรือมีรูปร่างของเสถียรภาพเพิ่มขึ้น
- เหนียวติด (Sticky) น้อยลง
- เปลี่ยนเป็นเทอร์โมเซต ไม่ละลายในตัวทำละลายใดๆ ทนต่อความร้อน แสง และการใช้งานนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การตกแต่งผลิตภัณฑ์ (Finishing)

หลังจากการวัลคาไนซ์ย่างแล้วผลิตภัณฑ์ยางจะถูกส่งไปตัดแต่งเอาส่วนที่เป็นเศษออกไป (Flash) หรือตัดผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพออกไปก่อนบรรจุหีบห่อเพื่อจัดจำหน่ายต่อไป

2.4 การผลิตยางรถยนต์ (Tire Manufacturing) [1,19]

2.4.1 องค์ประกอบของยางรถยนต์

1. **หน้ายาง (Tread)** อาจเรียกว่าดอกยาง เป็นชั้นนอกสุดที่สัมผัสกับพื้นถนน ทำหน้าที่ยึดเกาะถนน ป้องกันการชำรุดและสึกหรอของยางรถยนต์ หน้ายางควรมีสมบัติทนทานต่อแรงเสียดทานสูง (Wear Resistance) ยึดเกาะถนนได้ดีขณะฝนตกถนนเปียก (Wet Skid Resistance) เกิดเสียงน้อย และเกิดความร้อนสะสม (Heat Build-Up) ต่ำ นิยมใช้ยางผสมระหว่างยางเอสบีอาร์ (SBR) ยางธรรมชาติ (NR) และยางบีอาร์ (BR)

2. **ยางด้านข้างหรือแก้มยาง (Side Walls)** เป็นชั้นของยางที่อยู่ด้านข้างซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับถนนขณะรถวิ่งอยู่ และเป็นส่วนที่ยืดหยุ่นมากที่สุดของยาง เพื่อความนุ่มสบายในการขับขี่ นอกจากนี้ยังช่วยปกป้อง โครงสร้างผ้าใบ (Ply)

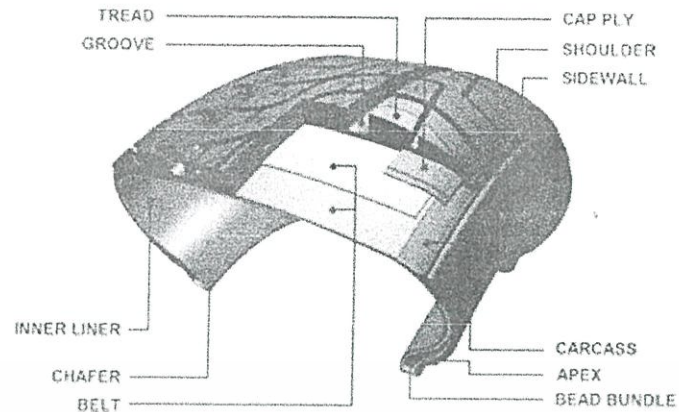
3. **ชั้นผ้าใบหรือพลาย (Carcass หรือ Ply)** อาจเรียกว่าโครงยาง เป็นชั้นผ้าใบหรือเส้นใยทอเป็นผืนฉาบด้วยยางผสมสูตร เป็นโครงสร้างหลักเชื่อมจากขอบยาง (Beads) ทั้งสองด้าน พลายทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่ให้ความแข็งแรงเป็นรูปร่าง โครงยางและยึดส่วนต่าง ๆ ของยางรถยนต์ไว้ด้วยกัน นิยมใช้เส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยไนลอน-6 (Nylon-6) และเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)

4. **เข็มขัดรัดยาง (Belt)** เป็นลวดโลหะหรือเส้นใยสังเคราะห์อยู่บริเวณใต้หน้ายาง (Tread) เช่น ลวดเหล็กทองเหลือง (Brass) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) มีหน้าที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับหน้ายางและป้องกันอันตรายบนพื้นถนน (Road Hazards) เช่น ตะปูหรือของมีคมที่มทะลุผ่านหน้ายาง (Tread) ทำให้ยางแบนเนื่องจากลมรั่วออก

5. **วงขอบล้อ (Beads)** อาจเรียกแกนใส่ขอบยาง เป็นลวดโลหะแข็งมีวงพันเป็นวงแล้วฉาบด้วยยางผสมสูตร อยู่บริเวณริมขอบยางรถยนต์ติดกับกระทะล้อ ทำหน้าที่ยึดยางรถยนต์ให้ติดแน่นอยู่ในขอบกระทะล้อ และยึด โครงสร้างชั้นผ้าใบ

6. **ยางชั้นใน (Inner Liner)** เป็นยางชั้นในติดกับชั้นผ้าใบ ทำหน้าที่กักเก็บอากาศไม่ให้รั่วออก ต้องมีสมบัติต้านทานการซึมผ่านของก๊าซต่ำ ได้แก่ ยางบิวทิล (Butyl Rubber; IIR) หรือยางฮาโลบิวทิล (Halobutyl Rubber; CIIR หรือ BIIR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบยางรถยนต์ [20]

2.4.2 กระบวนการผลิตยางรถยนต์ [1]

1. การผสมวัตถุดิบ (Rubber Compounding) เริ่มจากการออกสูตรยาง (Rubber-Formulation) สำหรับส่วนต่างๆ เช่น หน้ายาง (Tread) ยางชั้นใน (Inner Liner) เป็นต้น ซึ่งยางแต่ละสูตรจะแตกต่างกันตามสมบัติการใช้งาน ต้องทำการผสมแยกกัน โดยใช้เครื่องผสมแบบปิด (Internal Mixer) และเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

2. การทำบีต (Beads) วงขอบล้อของยางรถยนต์ นำเส้นลวดโลหะแข็งหลายเส้นมาพันเป็นขอบยางรถยนต์หรือบีต (Beads) โดยดึงเส้นลวดจากม้วนมาในสายการผลิต แล้วฉาบยางด้วยเทคนิคการอัดรีด (Extrusion) ด้วยเครื่องอัดรีดสำหรับบีต (Beads Extruder) จะได้เส้นลวดโลหะที่มียางผสมสูตรหุ้ม

3. การทำพลาซหรือชั้นผ้าใบและการฉาบยางกับผ้าใบ ชั้นผ้าใบทำได้โดยการถักผืน (Weaving) เส้นใยพลาซให้ได้ผ้าใบ แล้วดึงผ่านลูกกลิ้ง (Calender) เพื่อฉาบยางผสมสูตรให้ติดกับผ้าใบ แผ่นยางที่ฉาบผ้าใบแล้วนำไปตัดตามทิศทางการเรียงตัวของเส้นใย

4. การทำเข็มขัดรัดยางและการฉาบยางติดเข็มขัดรัดยาง สามารถทำได้ตามขั้นตอนการทำพลาซ แต่เปลี่ยนเป็นใช้ลวดโลหะเรียงเป็นผืน แล้วดึงผ่านลูกกลิ้งรีด (Calender) จำนวน 3-4 ลูก เพื่อฉาบยางผสมสูตรให้ติดกับเส้นลวดโลหะ

5. การอัดรีดหน้ายาง และแก้มยาง สามารถเตรียมได้จากกระบวนการอัดรีด (Extrusion) โดยใช้เครื่องอัดรีด (Extruder) มีคายเป็นที่เคลือบผืนผ้า อัดยางผสมสูตรให้เป็นแผ่นยางยาว จากนั้นตัดให้มีความยาวเท่ากับเส้นรอบวงของยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การประกอบโครงยาง ยางแต่ละส่วนที่ขึ้นรูปเสร็จจะถูกส่งมารวมกันที่เครื่องประกอบหน้ายางรถยนต์ (Tire Building Machine) ซึ่งเป็นส่วนที่นำส่วนแต่ละส่วนมาติดกันเป็นล้อยางรถยนต์ ขั้นตอนนี้เมื่อประกอบเสร็จจะได้โครงยางรถยนต์ดิบ (Green Tire) ที่ยังไม่เชื่อมโยง

7. การอบเชื่อมโยงยาง โครงยางรถยนต์ดิบ จะถูกนำไปใส่เครื่องอบเชื่อมโยงยาง (Curing Press) เพื่อให้ความร้อน และความดันสูง ทำให้ยางเชื่อม โยง (Crosslink) เครื่องเชื่อม โยงยางทำหน้าที่อัดลายดอกยางลงบนหน้ายาง (Tread) มีลักษณะเป็นฝาครอบเปิดปิด ได้

8. ตัดตกแต่งยางส่วนเกิน (Trimming) จะมียางส่วนเกินที่ถูกดันออกนอกแม่แบบ และช่องว่างบนตลยแม่แบบของลายดอกยาง ทำให้ยางรถยนต์มี “ขนยาง” ที่ผิวนอก ต้องทำการตัดตกแต่งยางส่วนนี้ออกเพื่อความสวยงาม

9. ตรวจสอบคุณภาพ ทำการตรวจสอบคุณภาพก่อนการส่งจำหน่าย

2.5 สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) [2]

สารเพิ่มการยึดติดเป็นสารที่ใส่ลงในยางเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติด (Tack) ระหว่างยางกับวัสดุอื่น หรือระหว่างยางด้วยกันเอง นิยมใส่ในช่วง 1-10 phr ขึ้นกับชนิดของสารเพิ่มการยึดติดที่เลือกใช้และความสามารถในการยึดติดที่ต้องการ มักเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (500-2,000 g/mol) มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง (Broad MWD) มีจุดอ่อนตัว (Softening Point) อยู่ในช่วง 50-150°C ตัวอย่างของสารเพิ่มการยึดติดได้แก่ ชันสน (Rosins) กูมาโรนอินดินเรซิน (Coumarone Resins) พีโตรเลียมเรซิน (Aliphatic Petroleum Resins) เทอร์พีน (Terpene Resin) และฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resins)



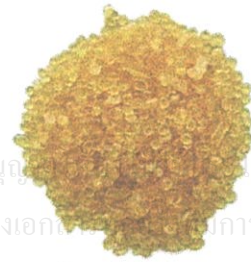
รูปที่ 2.14 ชันสน [21]



รูปที่ 2.15 เทอร์พีนเรซิน [21]



รูปที่ 2.16 พีโตรเลียมเรซิน [21]



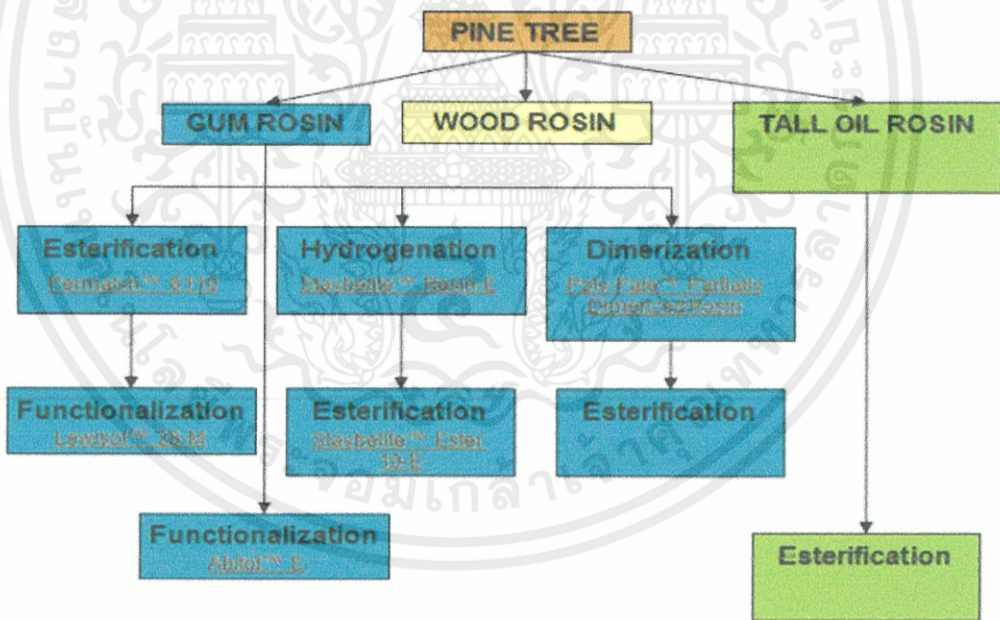
รูปที่ 2.17 ฟีนอลิกเรซิน [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตจากฝ่ายวิชาการ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามใช้ในเชิงพาณิชย์ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารก่อนนำไปใช้

สารเพิ่มการยึดติดแบ่งออกได้หลายประเภท ดังนี้

2.5.1 เรซินธรรมชาติ (Rosin Resin) [22]

เรซินธรรมชาติโดยปกติจะมีเสถียรภาพต่ำอันเนื่องมาจากความไม่อิ่มตัว (Unsaturation) แต่สามารถปรับปรุงเสถียรภาพของโครงสร้างโดยการใช้สารเคมีที่หลากหลาย รวมถึงการทำปฏิกิริยา เอสเทอริฟิเคชัน (Esterification) ไฮโดรจีเนชัน (Hydrogenation) และไดเมอร์ไรเซชัน (Dimerization) โดยทั่วไปแล้วเรซินธรรมชาติจะเป็นสารเพิ่มการยึดติดที่ได้จากส่วนต่างๆ ของต้นไม้ เช่น หน่อไม้สูงอายุ เรียกว่า ไม้เรซิน (Wood Rosin) น้ำหล่อเลี้ยงในเนื้อเยื่อของต้นไม้ เรียกว่า กัมโรซิน (Gum Rosin) หรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ เรียกว่า ทอลอยโรซิน (Tall Oil Rosin) สารเพิ่มการยึดติดเหล่านี้มีสมบัติการยึดติดที่ดีกับพอลิเมอร์เกือบทุกชนิด เช่น ยางธรรมชาติ (NR) เอทิลีนไวนิลอะซีเตต (EVA) ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (SBR) และอะคริลิก (Acrylics)

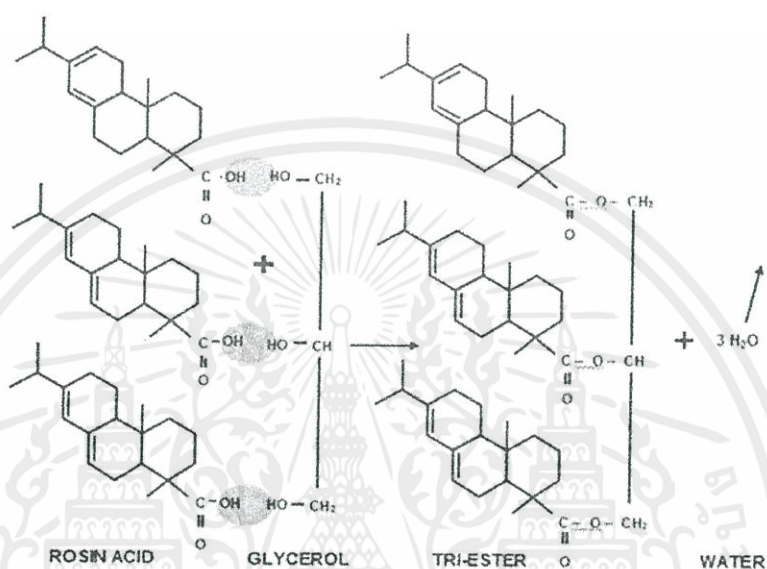


รูปที่ 2.18 ประเภทของเรซินธรรมชาติที่ได้มาจากส่วนต่างๆ ของพืช [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

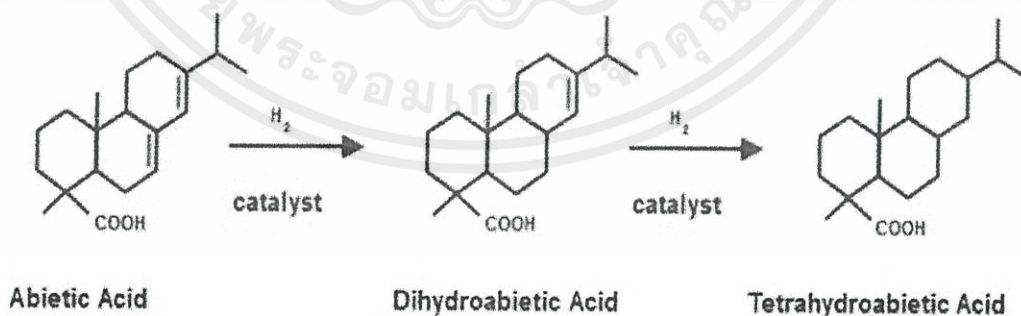
ตัวอย่างของเรซินธรรมชาติ

โรซินเอสเทอร์ (Rosin Esters) ผลิตได้จากปฏิกิริยาระหว่างโรซินแอซิด (Rosin Acids) และแอลกอฮอล์ ผลิตภัณฑ์ในเชิงพาณิชย์โดยทั่วไป ได้แก่ เมทิล (Methyl) ไตรเอทิลีนไกลคอล (Triethylene Glycol) กลีเซอรอล (Glycerol) และ เพนตะอริทริทอลเอสเทอร์ (Pentaerythritol Esters)



รูปที่ 2.19 ปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันในการผลิต โรซินเอสเทอร์ [22]

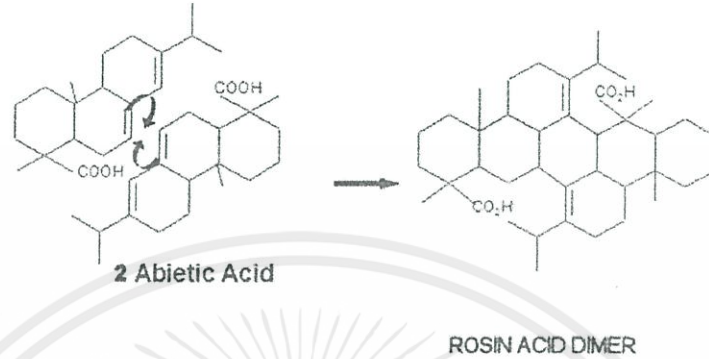
ไฮโดรจิเนตโรซินเรซิน (Hydrogenated Rosin Resins) เป็นเรซินที่ผ่านการปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อนและสีให้อ่อนจางลงเพื่อประโยชน์ในการนำไปใช้งาน จากการทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) ของโรซินแอซิด



รูปที่ 2.20 การเพิ่มเสถียรภาพของโมเลกุลโรซิน โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน [22]

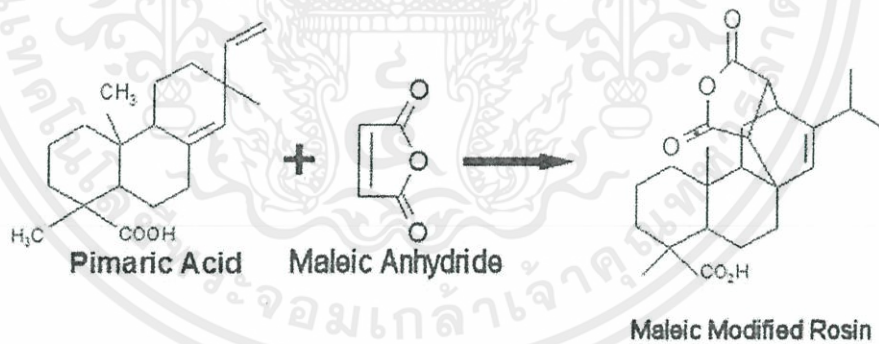
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดเมอไรซ์โรซินเรซิน (Dimerized Rosin Resins) ได้จากการเกิดไดเมอร์ (Dimerized) ของโรซินแอซิด โดยที่กระบวนการนี้เป็นการเพิ่มน้ำหนักโมเลกุลจุดอ่อนตัว (Softening Point) และเสถียรภาพทางความร้อนของโรซินแอซิด



รูปที่ 2.21 การเกิดไดเมอร์เรซินของโรซิน [22]

โมดิไฟด์โรซินเรซิน (Modified Rosin Resin) จัดอยู่ในกลุ่มของเรซินที่พบในธรรมชาติโดยมีการปรับเปลี่ยนนอกเหนือจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชัน (Esterification) ไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) และ ไดเมอไรเซชัน (Dimerization) เรซินประเภทนี้จะถูกทำการปรับเปลี่ยนโดยปฏิกิริยาที่เกิดจากไดแอซิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated Di-Acid) เช่น กรดมาเลอิก (Maleic Acid) กรดฟูมาริก (Fumaric Acid) และ โรซินเอสเทอร์

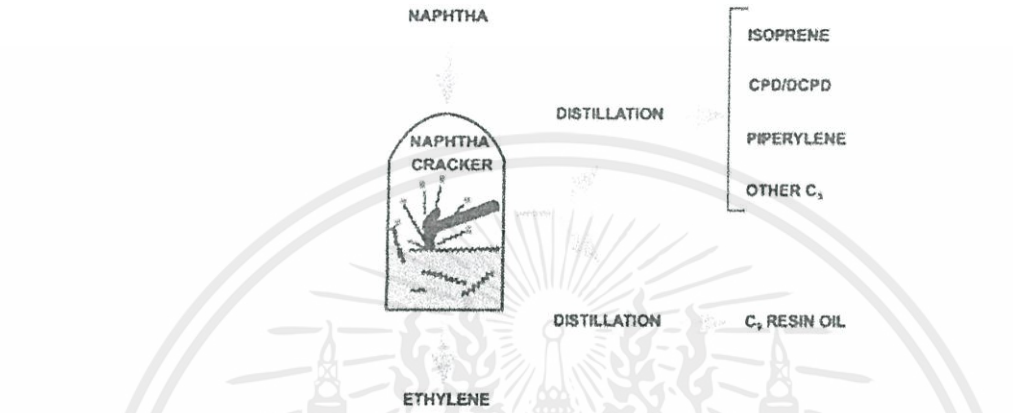


รูปที่ 2.22 การปรับเปลี่ยนโรซินโดยใช้กรดมาเลอิก [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 เรซินไฮโดรคาร์บอนหรือปิโตรเลียมเรซิน (Hydrocarbon Resins or Petroleum Resin) [22]

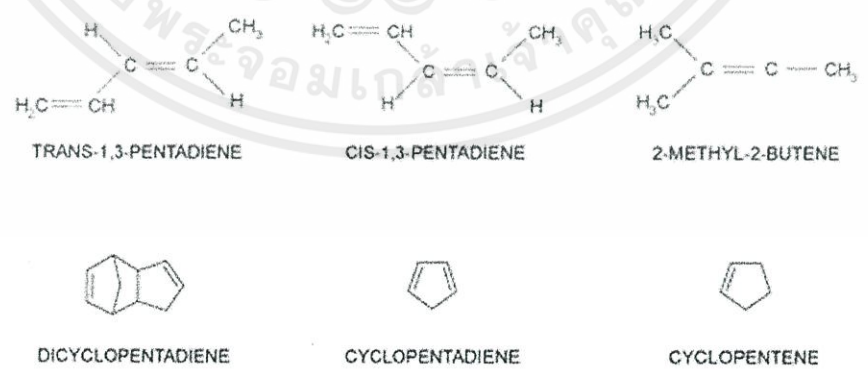
เรซินไฮโดรคาร์บอนหรือปิโตรเลียมเรซินผลิตจากวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม เช่น อะลิฟาติก (C5) อะโรมาติก (C9) ไดไซโคลเพนตะไดอิน (Dicyclopentadiene; DCPD) หรือของผสมของวัตถุดิบข้างต้น



รูปที่ 2.23 ต้นกำเนิดของ อะลิฟาติก (C5) อะโรมาติก (C9) และเรซินไฮโดรคาร์บอน [22]

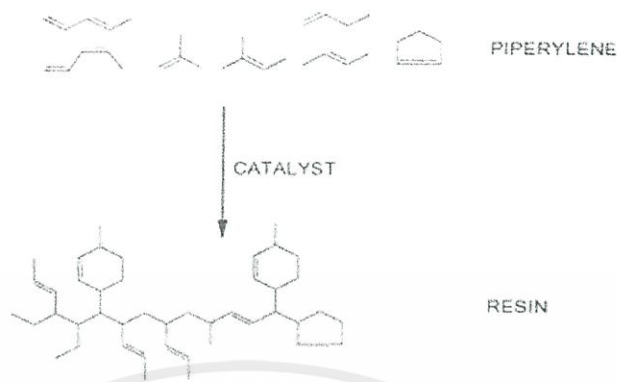
ตัวอย่างของเรซินไฮโดรคาร์บอน

อะลิฟาติกเรซิน (Aliphatic Resins; C5) เป็นพอลิเมอร์ที่มีมอนอเมอร์ประกอบไปด้วยคาร์บอน 5 อะตอม ในการใช้งานโดยส่วนใหญ่นิยมใช้เพื่อยึดติด พอลิเมอร์อะลิฟาติก (Aliphatic Polymer) โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เอทิลีนไวน์ิลอะซีเตต (Ethylene Vinyl Acetate or EVA) SIS และ APO



รูปที่ 2.24 อะลิฟาติก (C5) เรซินที่เป็นวัตถุดิบพื้นฐานสำหรับสารเพิ่มการยึดติด [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การพอลิเมอไรเซชันของอะลิฟาติกเรซิน (C5) [22]

ตารางที่ 2.1 สมบัติของอะลิฟาติกเรซิน (C5) [22]

Properties	Range
Ring and Ball Softening Point, °C	6–112
Gardner Color (50% in Toluene)	2–3
Glass Transition Temperature, °C	43–58

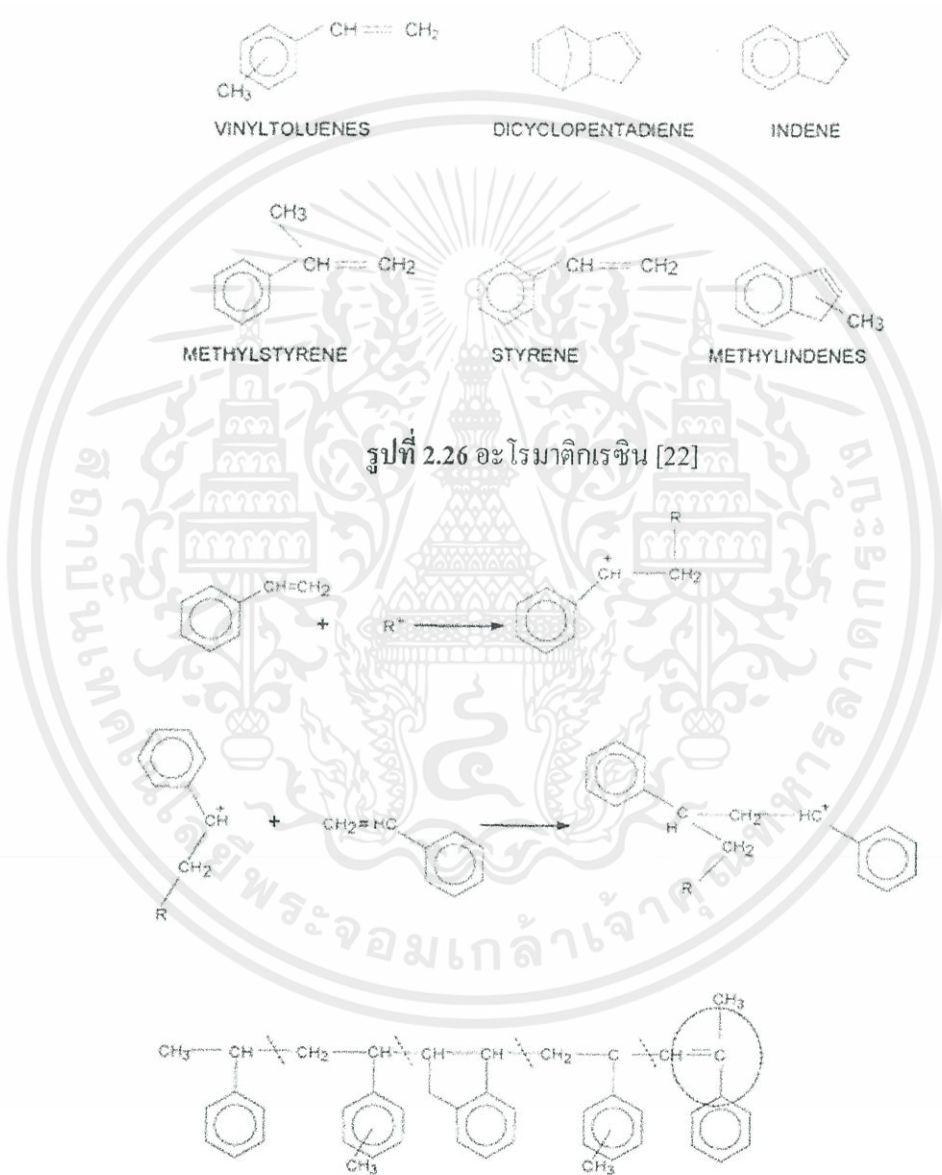
ไฮโดรจิเนตอะลิฟาติกเรซิน (Hydrogenated C5; Aliphatic Resins) การทำไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) ภายหลังจากการทำพอลิเมอไรเซชันเพื่อเป็นการลดสีให้อ่อนลง และปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน ความทนทานต่อออกซิเจนและแสงอัลตราไวโอเล็ต เมื่อทำการไฮโดรจิเนชันจะทำให้ราคาของเรซินเพิ่มสูงขึ้นตามคุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะสำหรับการใช้งานบางประเภทที่ต้องการคุณสมบัติที่สูงและสีของสารเพิ่มการยึดติดมีความสำคัญ

ตารางที่ 2.2 สมบัติของไฮโดรจิเนต อะลิฟาติกเรซิน [22]

Properties	Range
Ring and Ball Softening Point, °C	100-142
Glass Transition Temperature, °C	44-88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะโรมาติกเรซิน (Aromatic Resins; C9) เป็นพอลิเมอร์ที่มีโมโนเมอร์ประกอบไปด้วยคาร์บอนจำนวน 9 อะตอมอยู่ในลักษณะที่เป็นวงอะโรมาติก โดยเรซินในกลุ่มนี้จะได้รับการกลั่นเล็กน้อยก่อนจะนำไปทำการพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) ส่วนใหญ่มักจะมีสีเข้ม และนิยมใช้มากในกาวอีวีเอ (EVA-Based Adhesives) ใช้เป็นกาวสำหรับติดพื้นรองเท้าหุ้มกิมพ์วัสดุกันการรั่วซึม (Sealant) และสี นอกจากนี้อะโรมาติกเรซินชนิดที่เป็นของเหลวยังมีประโยชน์อย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นกาวสำหรับงานพื้น



รูปที่ 2.27 การพอลิเมอไรเซชันของอะโรมาติกเรซิน [22]

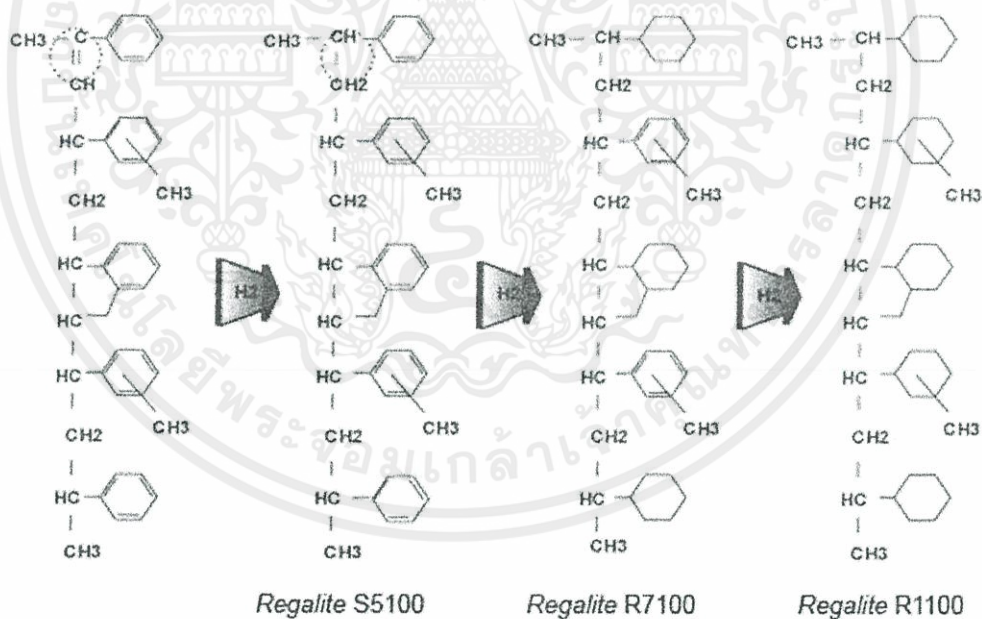
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สมบัติของอะโรมาติกเรซิน [22]

Properties	Range
Ring and Ball Softening Point, °C	100–142
Gardner Color (50% in Toluene)	6–12
Glass Transition Temperature, °C	40–85

เพียวมอนอเมอร์อะโรมาติกเรซิน (Pure Monomer C9; Aromatic Resins) เรซินในกลุ่มนี้จะมีการกำจัดการปนเปื้อนอย่างละเอียดทำให้มีความบริสุทธิ์สูง ปราศจากการปนเปื้อนที่ทำให้เกิดสี ตัวเรซินจึงมีสีที่อ่อนมาก แต่ความสามารถในการละลายและความเข้ากัน ได้กับวัสดุอื่นๆเหมือนกับอะโรมาติกเรซินเลือกใช้ได้ตามแต่การใช้งาน

ไฮโดรจิเนตอะโรมาติกเรซิน (Hydrogenated C9; Aromatic Resins) เนื่องจากอะโรมาติกเรซิน มีพันธะคู่ในโครงสร้างมาก วิธีการเพิ่มเสถียรภาพให้กับเรซินในกลุ่มนี้นั้นคือการทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation)



รูปที่ 2.28 การทำปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation) [22]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 สมบัติของไฮโดรจิเนต อะโรมาติกเรซิน [22]

Properties	Range
Ring and Ball Softening Point, °C	10–125
Gardner Color (50% in Toluene)	<1
Glass Transition Temperature, °C	<0–60

อะลิฟาติกและอะโรมาติกเรซิน (Aliphatic/Aromatic Resins; C5/C9) เป็นเรซินที่เป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่าง C5 กับอะโรมาติกมอนอเมอร์เรซินในกลุ่มนี้เป็นสารเพิ่มการยึดติดที่มีคุณสมบัติดีเยี่ยม นิยมใช้กับเอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate; EVA) สไตรีนบิวทาได-อินส์ไตรีน (SBS) ยางธรรมชาติ และยังสามารถใช้กับกาว SIS ที่เป็นกาวแบบหลอมร้อนที่มีความไวต่อแรงกด (Hot-Melt Pressure Sensitive Adhesive; HMPSA) เพื่อให้กาวมีความหนืดต่ำและมีความสมดุลระหว่างการเชื่อมแน่น (Cohesion) และการยึดติด (Adhesion) นอกจากนี้เรซินในกลุ่มนี้ยังมีสีเข้มและมีราคาถูกจึงนิยมใช้ในงานบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 2.5 สมบัติของอะลิฟาติกและอะโรมาติกเรซิน [22]

Properties	Range
Ring and Ball Softening Point, °C	50–105
Gardner Color (50% in Toluene)	2–3
Glass Transition Temperature, °C	7–52

2.5.3 เรซินเทอร์พีน (Terpene Resins) [22]

เรซินเทอร์พีนเป็นเรซินที่ผลิตมาจากวัตถุดิบประเภทเทอร์พีน ที่ได้มาจากไม้และผลไม้อะคริลิก เรซินในกลุ่มนี้มีสมบัติที่ดีเยี่ยม สามารถยึดติดได้กับพอลิเมอร์เกือบทุกชนิด รวมทั้งยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เอทิลีน ไวนิลอะซิเตต (Ethylene Vinyl Acetate; EVA) พอลิโอฟีนอสถาบัน (Amorphous Poly-Olefin) พอลิเอทิลีน (Polyethylene; PE) ยางสไตรีนบิวทาไดอิน (SBR) และอะคริลิก (Acrylics) เนื่องจากมีความสามารถในการเข้ากันได้ดีกับวัตถุหลายชนิด บางครั้งจึงเรียกเรซินในกลุ่มนี้ว่า “ยูนิเวอร์แซลแทคติไฟเออร์ (Universal Tackifiers)” อย่างไรก็ตาม ในด้านการใช้งานเรซินเทอร์พีนยังมีข้อจำกัดอยู่ที่หาได้ยากและมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา

2.5.4 ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) [35]

ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) หรือฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์เรซิน (Phenol Formaldehyde Resin) สังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation Reaction) ระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้กรดหรือเบสเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นเรซินที่นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมยาง สมบัติจะแตกต่างกันไปตามโครงสร้าง

ฟีนอลิกเรซินแบ่งได้ดังนี้

2.5.4.1 ฟีนอลิกเรซินชนิดไม่ว่องไวในปฏิกิริยา (Non-Active) หรือโนโวแลกเรซิน (Novolac Resin)

เรซินชนิดนี้นิยมใช้งานเป็นสารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ในอุตสาหกรรมยาง นอกจากนี้ยังช่วยปรับปรุงสมบัติในกระบวนการผลิต เช่น ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เพื่อเพิ่มความนิ่มของยาง ทำให้สารตัวเติมผสมเข้ากับยางได้ดีขึ้น โนวอลแลกเรซินเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างฟีนอล (Phenol) และฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ภายใต้สภาวะที่มีการใช้ฟีนอลในปริมาณที่สูงกว่าฟอร์มัลดีไฮด์ และใช้กรดเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยา (กรดที่นิยมใช้ เช่น กรดซัลฟิวริก กรดซัลโฟนิก กรดออกซาลิก และกรดฟอสฟอริก) โดยทั่วไปแล้วการเตรียมโนโวแลกเรซินจะใช้สัดส่วนฟีนอลต่อฟอร์มัลดีไฮด์ตั้งแต่ 1 : 0.5 ถึง 1 : 0.8 โดยโมล

โนโวแลกเรซินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่

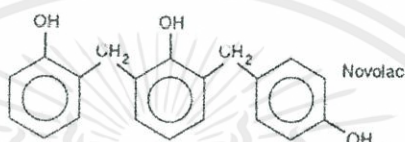
1. โนวอลแลกเรซินที่มีโครงสร้างเชื่อมโยง (Crosslinked Novolac)

อาจเรียกว่าเรซินชนิดเสริมแรง (Reinforcing Resin) โดยทั่วไปโมเลกุลของโนโวแลกเรซินสามารถเกิดการเชื่อมโยงเป็นร่างแหตาข่าย 3 มิติได้ด้วยการเติมสารวัลคาไนซ์ที่สามารถให้หมู่เมทิลีน (Methylene Donor) เช่น เฮกซะเมทิลีนเททระมีน (Hexamethylenetetramine; HMTA) หรือเฮกซะ(เมทอกซีเมทิล) เมลามีน (Hexa (Methoxymethyl) Melamine; HMMM) ปริมาณของสารวัลคาไนซ์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับระดับความแข็งของยางที่ต้องการ โดยทั่วไปนิยมใช้สารวัลคาไนซ์ในปริมาณร้อยละ 8-15 โดยน้ำหนักของโนโวแลก เมื่อเทียบประสิทธิภาพของสารวัลคาไนซ์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า HMTA มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความแข็งสูงกว่า HMMM เล็กน้อย การเติมโนโวแลกเรซินร่วมกับสารวัลคาไนซ์นอกจะทำให้ยางมีความแข็งสูงขึ้นแล้ว ยังช่วยปรับปรุงความแข็งแรงของการยึดติดระหว่างยางและโลหะอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โนโวแลกเรซินที่ไม่มีโครงสร้างเชื่อมโยง (Uncrosslinked Novolac)

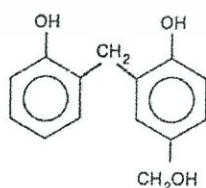
เรซินชนิดนี้ใช้เป็นสารช่วยเพิ่มความยึดติด (Tackifiers) โครงสร้างทางเคมีของโนโวแลกที่สังเคราะห์ที่ได้อาจมีหลายแบบเช่น 2,2-Methylene-Linked Bisphenol และ 2,4-Methylene-Linked Bisphenol และ 4,4-Methylene-Linked Bisphenol ซึ่งโครงสร้างที่เกิดขึ้นเป็นแบบใดนั้นขึ้นกับชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) โนโวแลกเรซินที่ใช้ฟีนอลที่มีหมู่แทนที่ที่ตำแหน่งพารา (p-Substituted Phenol) เมื่อทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะกรด จะได้โนโวแลกเรซินที่มีโครงสร้างแบบเชิงเส้น (Linear Structure) นิยมนำไปใช้เป็นสารทำให้ยางเหนียวติดในยางสไตรีนบิวทาไดอีน ยางบิวไทล์ ยางเอทิลีนโพรพิลีนไดอีน และยางธรรมชาติ



รูปที่ 2.29 โนโวแลกเรซิน [31]

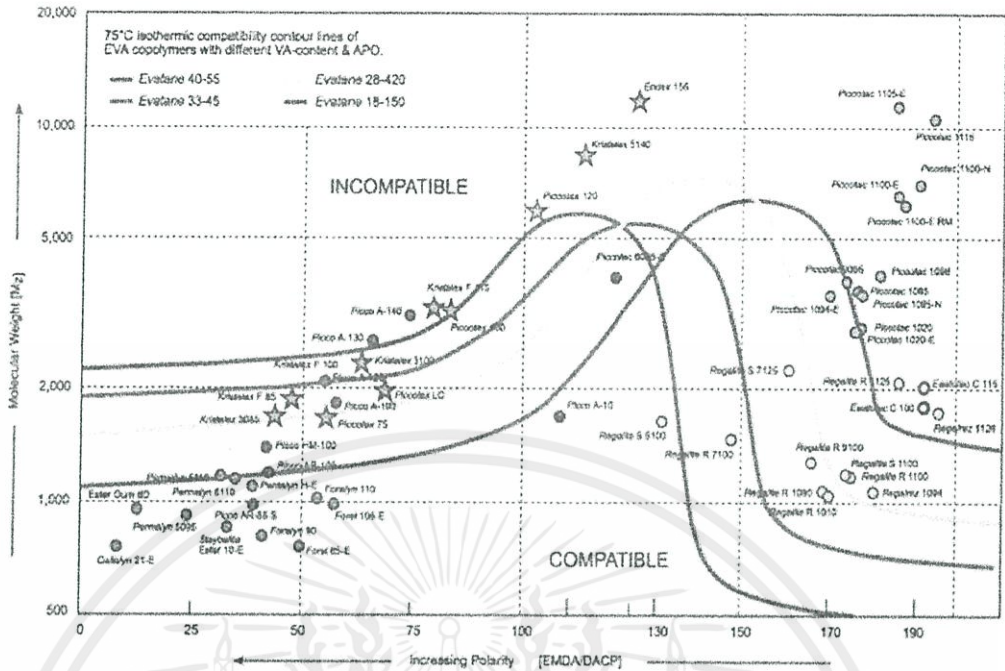
2.5.4.2 ฟีนอลิกเรซินชนิดว่องไวในปฏิกิริยา (Active) หรือรีโซลเรซิน (Resole Resin)

เรซินชนิดนี้นิยมใช้งานเป็นสารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) โดยการวัลคาไนซ์ด้วยเรซินชนิดนี้จะไม่มีผลกระทบต่อสมบัติของยาง รีโซลเป็นเรซินที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ภายใต้สภาวะที่มีการใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณที่สูงกว่าฟีนอล และใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยทั่วไปแล้วจะมีสัดส่วนของฟอร์มัลดีไฮด์ต่อฟีนอลตั้งแต่ 1.2:1 ถึง 3:1 โดยโมล รีโซลเรซินเป็นเรซินที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาและความร้อนสูง จึงนิยมนำมาใช้เป็นสารวัลคาไนซ์สำหรับยางบิลทิล (HR) หรือยางชนิดอื่นที่มีปริมาณพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลต่ำ แม้ว่าเรซินชนิดนี้สามารถวัลคาไนซ์ยางได้แต่ประสิทธิภาพในการวัลคาไนซ์อาจยังไม่สูงเพียงพอ



รูปที่ 2.30 รีโซลเรซิน [31]

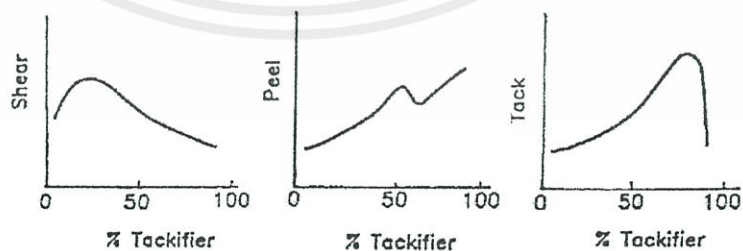
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 น้ำหนักโมเลกุลและความมีขั้วต่อความเข้ากันได้ของเรซินกับวัสดุอื่น [22]

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกใช้สารเพิ่มการยึดติด [2]

1. ความสามารถในการเข้ากันได้ของเรซินกับยาง (Compatibility)
2. โครงสร้าง (Structure) และความมีขั้ว (Polarity)
3. น้ำหนักโมเลกุล (MW) และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (MWD)
4. สถานะ ความหนืด สี กลิ่น ฯลฯ
5. จุดหลอมเหลว (T_m) ณ อุณหภูมิที่ผสม
6. ความยากง่ายในการผสม
7. การยึดติดที่ต้องการยึดติดช่วงต้น (Initial Tack) และการยึดติดขณะใช้งาน (Final Tack)



รูปที่ 2.32 ผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติการยึดติด [22]

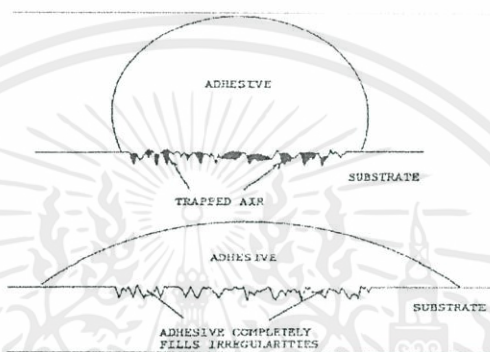
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบโดยบริษัทผู้ผลิตสารเพิ่มการยึดติด ซึ่งผู้ผลิตแต่ละรายมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันไป ไม่ว่าจะเป็นครีมีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 กลไกการยึดติด (Mechanisms of Adhesion) [23,24]

กลไกการยึดติดประกอบด้วยทฤษฎีต่างๆดังนี้

2.6.1 การเกาะและการเปียก (Adsorption and Wetting)

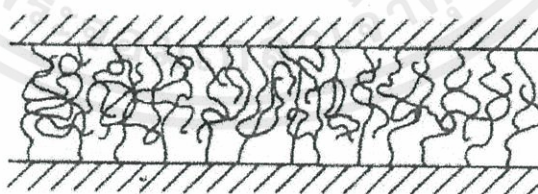
การเกาะและการเปียก (Adsorption and Wetting) เป็นการยึดติดที่เกิดจากการเปียกตัวของของเหลวไปบนพื้นผิวของของแข็ง และเมื่อนำวัสดุมายึดติดกันจะเกิดเป็นแรงอ่อนๆ ซึ่งเป็นแรงทางกายภาพ ทำให้พื้นผิวของวัสดุทั้งสองสามารถยึดติดกันได้



รูปที่ 2.33 ลักษณะการเกาะและการเปียก [24]

2.6.2 โมเลกุลเกี่ยวพัน (Interdiffusion)

โมเลกุลเกี่ยวพัน (Interdiffusion) เป็นการยึดติดระหว่างพื้นผิวที่มีโมเลกุลของสายโซ่ที่ยังสามารถเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นโมเลกุลจึงสามารถเคลื่อนที่เข้าหาแล้วเกิดการพันกัน (Entanglement) ซึ่งความแข็งแรงของการยึดเกาะที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณโมเลกุลที่พันกัน ความแข็งแรงของสายโซ่ และระดับการพันกัน โดยการเกิดโมเลกุลพันกันนี้สามารถเพิ่มได้โดยเพิ่มปริมาณพลาสติกไซเซอร์ และเคลือบพื้นผิวด้วยพอลิเมอร์

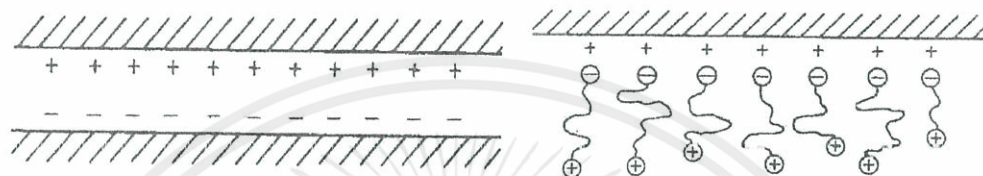


รูปที่ 2.34 ลักษณะการเกิดโมเลกุลเกี่ยวพัน [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction)

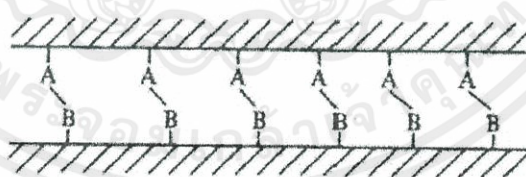
แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Attraction) เป็นการยึดติดด้วยแรงทางประจุไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกันบริเวณผิวสัมผัสระหว่างวัสดุ ความแข็งแรงของการยึดเกาะขึ้นกับความหนาแน่นของประจุ เช่น การเกิด ไคโพล โมเมนต์ระหว่าง โมเลกุลที่มีประจุต่างกัน การยึดติดของพอลิเมอร์กับโลหะ โดยอิเล็กตรอนจากโลหะจะเคลื่อนย้ายไปยังพอลิเมอร์เนื่องจากประจุไฟฟ้าที่ต่างกันและเกิดการยึดติดกันขึ้น



รูปที่ 2.35 แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต [24]

2.6.4 พันธะเคมี (Chemical Bonding)

พันธะเคมี (Chemical Bonding) เป็นการยึดติดที่เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีแตกต่างกัน จนสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดเป็นพันธะใหม่ยึดติดระหว่างสองพื้นผิว ความแข็งแรงของการยึดเกาะนี้ขึ้นกับจำนวนและชนิดของพันธะที่เกิดขึ้น พันธะเคมีที่มีความแข็งแรงสูงจะทำให้เกิดการยึดเกาะที่แข็งแรง เช่น พันธะ โควาเลนต์

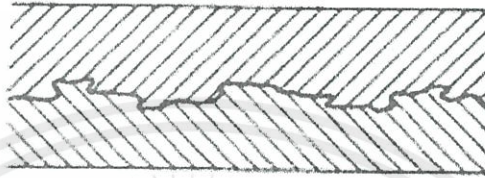


รูปที่ 2.36 ลักษณะการเกิดพันธะเคมี [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.5 การล็อกเชิงกล (Mechanical Interlocking or Keying)

การล็อกเชิงกล (Mechanical Interlocking or Keying) เป็นแรงยึดติดเชิงกลที่เกิดจากของเหลวไหลเข้าไปในช่องว่างบนพื้นผิวที่ขรุขระ แล้วเกิดการแข็งตัว (จากการเชื่อมโยงหรือแห้ง) ซึ่งความแข็งแรงของการยึดติดชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความขรุขระของพื้นผิว ถ้าพื้นผิวที่มีความขรุขระมากกว่าก็จะสามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของพื้นที่ผิวได้มากทำให้เกิดการยึดติดที่ดีขึ้น



รูปที่ 2.37 การล็อกเชิงกล [24]

2.7 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)

2.7.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR) [33]

รังสีอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นยาวกว่าคลื่นแสงวิสิเบิล รังสีอินฟราเรดแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ อินฟราเรดย่านใกล้ (Near IR) แถบการดูดกลืนแสงของโมเลกุลในโมเลกุลในย่านนี้ส่วนใหญ่เกิดจากโอเวอร์ โทน เริ่มตั้งแต่ $12,500-4,000\text{ cm}^{-1}$ อินฟราเรดย่านกลาง (Middle IR) อยู่ในช่วง $4,000-200\text{ cm}^{-1}$ ช่วงนี้ใช้ศึกษาคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ และอินฟราเรดย่านไกล (Far IR) $200-10\text{ cm}^{-1}$ ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการหมุนของโมเลกุล

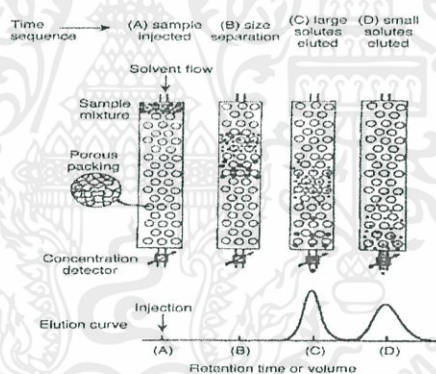
เมื่อพิจารณาโมเลกุลของสาร โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอะตอมที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะเคมี เมื่อโมเลกุลได้รับรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับการสั่นของโมเลกุลแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพล โมเมนต์ โมเลกุลนั้นสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้เรียกว่า IR Active ถ้าการสั่นไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพล โมเมนต์จะไม่เกิดการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเรียกว่า IR Inactive การสั่นของโมเลกุลแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การยืด (Stretching) และการงอ (Bending) โมเลกุลที่มีอะตอมเหมือนกันจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไดโพล โมเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค Gel permeation Chromatography (GPC) [34]

Gel Permeation Chromatography (GPC) หรือ Size Exclusion Chromatography (SEC) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์น้ำหนักของพอลิเมอร์โดยอาศัยหลักการพื้นฐานว่า พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่างกันเมื่ออยู่ในสารละลายจะเกิดการพองตัวของ Random Coil ที่ให้ขนาดต่างกัน โดยมีสมมติฐานว่า Hydrodynamic Volume ที่เกิดจากการพองตัวของพอลิเมอร์จะแปรผันตามน้ำหนักโมเลกุล และเมื่อทำการฉีดสารละลายพอลิเมอร์ผ่านคอลัมน์ที่อยู่ในบรรจุสารที่มีลักษณะเป็นรูพรุน เช่น เม็ดอนุภาคโครอสติงค์พอลิไดรีนที่มีรูพรุน จะพบว่าพอลิเมอร์ที่มีขนาดของ Random Coil หรือ Hydrodynamic Volume ต่างกันจะใช้เวลาในการเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์และไหลออกจากคอลัมน์ในเวลาที่ไม่เท่ากัน

โดยพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่จะออกมาได้เร็วกว่าเนื่องจากไม่สามารถแทรกเข้าไปตามรูพรุนของสารที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ได้ ในขณะที่พอลิเมอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าจะไหลผ่านออกจากคอลัมน์ได้ช้ากว่าเนื่องจาก โมเลกุลมีขนาดเล็กพอที่จะแทรกเข้าไปในรูพรุนจึงเสียเวลาในการเดินทางมากขึ้น



รูปที่ 2.38 การเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์ที่มีรูพรุนของ โมเลกุลพอลิเมอร์ที่มีขนาดต่าง [34]

2.7.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) [36]

เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis) หรือ TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ โดยเฉพาะพอลิเมอร์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวและความละเอียดสูง ในสภาวะแวดล้อมที่ผู้ทดลองสามารถกำหนดได้

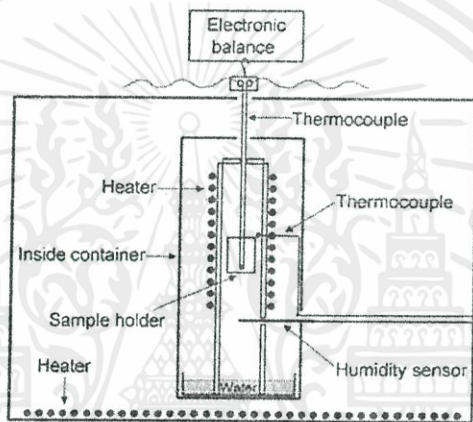
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.1 ความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง TGA

- วิเคราะห์หาองค์ประกอบของสาร (Composition)
- เสถียรภาพทางความร้อน (Thermal Stability)
- เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative Stability)
- จลพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยา (Kinetics of Reactions)
- การระเหย (Evaporation)
- ปริมาณสารสัมพันธ์ที่เกิดปฏิกิริยา (Stoichiometry of Reaction)

2.7.3.2 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA



รูปที่ 2.39 ส่วนประกอบของเครื่อง TGA [36]

1. เครื่องชั่ง (Electronic Balance) จะใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักในแต่ละช่วงอุณหภูมิ โดยเครื่องชั่งที่ใช้จะมีความไวและความละเอียดสูงกว่าเครื่องชั่งทั่วไป
2. เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) ใช้วัดและควบคุมอุณหภูมิของเครื่องระหว่างการทดสอบ
3. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater) ให้ความร้อนแก่วัสดุทดสอบ
4. ที่ใส่ตัวอย่าง (Sample Holder) หรือเรียกอีกอย่างว่าแพน (Pan) จะมีลักษณะเป็นถ้วยไม่มีฝาปิด ถูกแขวนไว้กับเครื่องชั่ง (Electronic Balance) ด้วยลวดแพลตตินัม (Platinum; Pt) แพนนิยมทำจากแพลตตินัม เนื่องจากต้องการความสามารถในการทนความร้อนสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) [37]

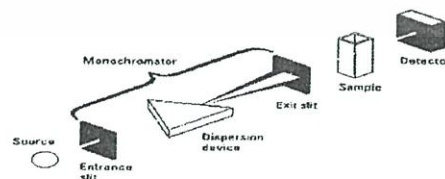
ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาการดูดกลืนแสงของวัสดุในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet; UV) และช่วงแสงที่มองเห็นได้หรือแสงขาว (Visible) ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยวัสดุที่ทำการทดสอบ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้วิเคราะห์สารที่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

สมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนแสงก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสาร

ในปัจจุบัน UV-VIS Spectrophotometer เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เพราะให้ความถูกต้องแม่นยำและมีความไวสูง ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) เรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum)

2.7.4.1 ความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

- ร้อยละของการทะลุผ่านของแสง (% Transmittance)
- ร้อยละของการสะท้อนของแสง (% Reflectance)
- ร้อยละของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแสง (Diffuse %T)
- ร้อยละของสัมประสิทธิ์การสะท้อนของแสง (Diffuse %R)
- ร้อยละของ Variable Angle (%T)
- ร้อยละของค่าการสะท้อนแสงของสเปกคิวลาร์ (Specular %R)
- ร้อยละของการสะท้อนแสงรวม (Total %R)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.40 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer [37]
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.2 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light Source)

แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลา หลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของสารที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงตัวอย่าง หลอดกำเนิดแสง เช่น สำหรับความยาวคลื่นในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) นิยมใช้หลอดดีวเทอเรียม (Deuterium Lamp) ซึ่งให้แสงในช่วง 185-375 nm ส่วนหลอดทังสเตน (Tungsten Filament Lamp) จะให้ความยาวคลื่นครอบคลุมช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Vis) คือตั้งแต่ 320-2500 nm

2. โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator)

โมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) เป็นส่วนที่ใช้แยกความยาวคลื่นที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งเป็นแสงที่มีหลายๆ ความยาวคลื่น (Polychromatic Wavelength) ให้เป็นแถบแสงในช่วงแคบๆ หรือ เป็นความยาวคลื่นเดี่ยว (Monochromatic Wavelength) โดยใช้ฟิลเตอร์ (Filter) ซึ่งทำมาจากกระจกสีต่างๆปริซึม (Prism) แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ แบบเกรตติง (Grating) ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องเล็กๆ ขนานกันจำนวนมากแสงจากแหล่งกำเนิดแสงจะตกกระทบลงบนผิวหน้าของร่อง แล้วสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เฉพาะความยาวคลื่นที่เราเลือกเท่านั้นจึงจะผ่านช่องแสงออก (Exit Slit) ไปสู่สารตัวอย่าง

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง (Cell Sample)

เซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Cell Sample) หรือที่เรียกว่า คิวเวตต์ (Cuvettes) มีหลายแบบหลายขนาดด้วยกันขึ้นกับการใช้งาน หลักสำคัญในการเลือกใช้ก็คือ เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Vis) เพราะเนื้อแก้วธรรมดาสามารถดูดกลืนแสงในช่วงยูวี (UV) ได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกา (Silica) หรือควอตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวี (UV) และช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Vis)

4. ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector)

ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของแสงที่ถูกดูดกลืน โดยการแปลงพลังงานคลื่นแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า เครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ ปัจจุบันเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ส่วนใหญ่ นิยมใช้ตัวตรวจจับสัญญาณ 2 ชนิด คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube; PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (Silicon Diode Detector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4.3 ประเภทของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer

เครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. ชนิดลำแสงเดี่ยว (Single-Beam Spectrophotometer)

เมื่อลำแสงออกจากแหล่งกำเนิดจะผ่านเลนส์ โมโนโครเมเตอร์ ผ่านสารตัวอย่าง แล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจรับสัญญาณ เนื่องจากสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำแสงเพียงลำเดียวตลอดเส้นทาง การวัดแต่ละครั้งจึงต้องใช้เซลล์ 2 เซลล์ให้ลำรังสีผ่านสลับกัน โดยทำการวัด 2 ครั้ง

2. ชนิดลำแสงคู่ (Double-Beam Spectrophotometer)

ลำแสงจะผ่าน โมโนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำแสงความยาวคลื่นเดี่ยวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจากช่องแสงออก (Exit Slit) แล้ว ลำแสงจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำแสง (Beam Chopper) ซึ่งจะทำหน้าที่สะท้อนลำแสงไปผ่านสารตัวอย่าง (Sample) ในขณะที่เดียวกันก็จะสะท้อนลำแสงไปผ่านสารอ้างอิง (Reference) โดยที่ลำแสงจะถูกแยกออกเป็นลำแสงสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลาก่อนที่จะผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิง เมื่อลำแสงทั้งสองนี้ไปตกกระทบบนตัวตรวจรับสัญญาณ ความแตกต่างของความเข้มแสงหลังจากผ่านสารตัวอย่างหรือสารอ้างอิงจะกลายเป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

G.C. Basak และคณะ [25] ศึกษาผลของความแข็งแรงดึงลอก (Peel Strength) จากการใช้สารเพิ่มการยึดติด และความเข้ากันได้ของสารเพิ่มการยึดติดกับยาง โดยจากการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลของสารเพิ่มการยึดติด 2 ชนิดด้วยกันได้แก่ Coumarone Indene Resin หรือ CI และ Hydrocarbon Resin หรือ HC โดยทำการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดตั้งแต่ 2-32% เพื่อศึกษาหาปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ให้ผลดีที่สุด หลังจากนั้นนำไปทำการทดสอบหาค่า T_g ด้วยเครื่องวิเคราะห์สมบัติเชิงกลพลวัต (Dynamic Mechanical Analysis; DMA) พบว่าค่า T_g ของยางที่ใช้ HC เป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่าน้อยกว่ายางที่ใช้ CI เป็นสารเพิ่มการยึดติด ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าโครงสร้างของสารเพิ่มการยึดติด CI มีโครงสร้างที่แข็งแรงกว่า HC ที่เป็นสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน ทำการศึกษาความเข้ากันได้ของสารเพิ่มการยึดติดกับยาง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และ Atomic Force Microscope (AFM) ได้ผลว่ายางที่ใช้ CI เป็นสารเพิ่มการยึดติดนั้นจะสังเกตเห็นอนุภาครวมกลุ่มกันอย่างชัดเจนแสดงถึงความเข้ากันได้กับยางที่ไม่ดี ในขณะที่ยางที่ใช้ HC เป็นสารเพิ่มการยึดติดนั้นอนุภาคจะกระจายตัวออกจากกันแสดงถึงความเข้ากันได้กับยางที่ดี จากนั้นทำการทดสอบหาค่าความแข็งแรงดึงลอก โดยนำแผ่นยาง EPDM ที่ทำการ

เชื่อม โยง เรียบร้อยแล้วประกบเข้ากับยาง EPDM ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดลงไป โดยยังไม่ได้ทำการเชื่อม โยง และนำแผ่นอูมิเนี่ยมมาทับด้านบนของยางทั้งสองแผ่นเพื่อป้องกันการประกบติดกันในส่วนบนที่ต้องการใช้เป็นที่จับสำหรับทำการทดสอบการดึงลอก โดยนำยางทั้งสองแผ่นใส่และทำการเข้าเครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression Molding) แล้วนำมาทำการทดสอบ ได้ผลว่ายางมีการยึดติดกันแบบโมเลกุลพันกันและยางที่ใช้ HC และ CI เป็นสารเพิ่มการยึดติดจะมีค่าความแข็งแรงยึดติดเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีของ CI เมื่อใช้เกิน 8% โดยน้ำหนักค่าความแข็งแรงจะลดลงอันเนื่องมาจากความเข้ากันได้ไม่ดีกับยาง และค่าความแข็งแรงยึดติดสูงสุดของยางที่ใช้ HC เป็นสารเพิ่มการยึดติดมีค่ามากกว่าการใช้ CI เป็นสารเพิ่มการยึดติด

P.R. Raja และคณะ [26] ได้ศึกษาสมบัติการยึดติดระหว่างน้ำยางธรรมชาติที่ผสมสารเพิ่มการยึด (Tackifiers) ในสัดส่วนต่างๆกับแผ่นไมลาร์ (Mylar) ซึ่งเป็นฟิล์มพอลิเอสเตอร์ชนิดหนึ่ง โดยแผ่นไมลาร์ที่ใช้มีความหนา 0.06 mm ทำการผสมน้ำยางธรรมชาติกับสารเพิ่มการยึดติดชนิดอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (Aliphatic Hydrocarbon) ประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอมทำการผสมที่สัดส่วนต่างๆโดยปั่นกวนให้เข้ากันจากนั้นจึงทำการเทเคลือบบนแผ่นไมลาร์ แล้วอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 1 นาที เพื่อทำให้แห้ง ซึ่งชั้นยางผสมที่เคลือบอยู่บนแผ่นไมลาร์มีความหนา 0.026 – 0.028 mm จากนั้นทำการทดสอบความแข็งแรงดึงลอก (Peel Strength) พบว่า การทดสอบที่อุณหภูมิต่ำใช้แรงในการดึงลอกสูงกว่าการทดสอบที่อุณหภูมิสูง และเมื่อทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนการผสมที่ 2 อัตราส่วน ระหว่างน้ำยางธรรมชาติต่อสารเพิ่มการยึดติดที่ 75:25 และ 50:50 พบว่า ที่อัตราส่วนการผสม 50:50 มีการยึดติดที่แข็งแรงกว่า เนื่องจาก การผสมสารเพิ่มการยึดติด 25% นั้นเป็นปริมาณที่น้อยเกินไป การกระจายตัวเกิดได้ไม่ทั่วถึง การยึดติดจึงเกิดได้ไม่ดีเท่ากับผสมสารเพิ่มการยึดติด 50% และเมื่อทำการเปลี่ยนสารเพิ่มการยึดติดโดยใช้อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เช่น เดิมแต่มีอุณหภูมิลดลง (Softening Point) ที่แตกต่างกันมาผสมกับน้ำยางที่อัตราส่วน 50:50 เมื่อนำไปทดสอบความสามารถในการยึดติดพบว่า ต้องใช้แรงดึงสูงขึ้นเมื่อใช้อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีจุดอ่อนตัวสูงขึ้น

W. Thaijaroen [27] ศึกษาผลของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล (Mechanical properties) และสมบัติทางพลวัต (Dynamic Properties) ของยางธรรมชาติที่ใส่เขม่าดำเป็นสารตัวเติม โดยจากงานวิจัยได้ศึกษาเปรียบเทียบสารเพิ่มการยึดติด 3 ชนิด ได้แก่ ปีโตรเลียมเรซิน (Petroleum Resin) ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) และกัมโรซิน (Gum Rosin) โดยพบว่าสารเติมสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 3 ชนิดลงไป ในยางผสมสูตรนั้นไม่ส่งผลหน่วงเวลาที่เริ่มเชื่อม โยง การเชื่อม โยง แต่จะทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อม โยง ของยางลดลงเมื่อเทียบกับยางที่ไม่เติมสารเพิ่มการยึดติด เนื่องจากสารเร่งและสารกระตุ้นปฏิกิริยาการเชื่อม โยง ที่เติมลงไป ในยางถูกดูดซับโดยหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วบนพื้นผิวของสารเพิ่มการยึดติดจึงทำให้ความหนาแน่นในการเชื่อม โยง ต่ำลง

นอกจากนี้ยังได้มีการปรับเปลี่ยนปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงไปอย่างผสมสูตร พบว่ายิ่งเติมสารเพิ่มการยึดติดมากขึ้นความหนาแน่นในการเชื่อมโยงยิ่งลดต่ำลง โดยกัมโรซินทำให้เกิดความแตกต่างของความหนาแน่นในการเชื่อมโยงมากที่สุด และเมื่อเติมสารเพิ่มการยึดติดทั้งสามชนิดในปริมาณเท่ากันพบว่ายางที่เติมกัมโรซินมีความหนาแน่นในการเชื่อมโยงต่ำที่สุด แสดงว่าบริเวณพื้นผิวของกัมโรซินมีหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วอยู่มากกว่า และเมื่อความหนาแน่นในการเชื่อมโยงต่ำลงจึงส่งผลทำให้สมบัติเชิงกล ไม่ว่าจะเป็น ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance) หรือความแข็งแรงกด (Hardness) ของยางที่ใช้สารเพิ่มการยึดติดมีค่าลดลงด้วย เมื่อนำยางผสมสูตรที่มีการเติมสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ ไปวัดค่า $Tan \delta$ พบว่ามีค่า $Tan \delta$ ที่วัดได้สูงขึ้น แสดงว่าค่า T_g ของยางเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากอนุภาคของสารเพิ่มการยึดติดจะเข้าไปแทรกตัวในบริเวณปริมาตรอิสระในสายโซ่โมเลกุลของยาง แต่เมื่อพิจารณาต่อมอดูลัสสะสม (Storage Modulus) พบว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้นค่ามอดูลัสสะสมจะลดต่ำลง เนื่องจากเมื่อให้อุณหภูมิแก่ยางมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดอ่อนตัว (Softening Point) สารเพิ่มการยึดติดจะเริ่มเกิดการสลายตัวทำให้มีน้ำหนักรีดออกต่ำลงและทำหน้าที่คล้ายเป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) แทน

Y.C. Leong และคณะ [28] ศึกษาการยึดติดของยางธรรมชาติเมื่อใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกเรซิน โดยใช้กับเทปกาว Pressure Sensitive Adhesive งานวิจัยนี้ศึกษาถึงความแข็งแรงเฉือน (Shear Strength) และความแข็งแรงดึงลอก (Peel Strength) สารยึดติดชนิดอะคริลิกทำการสังเคราะห์จากมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ 2-Ethylhexyl Acrylate และ Methyl Methacrylate ยางธรรมชาติใช้ยาง SMR 5 โดยนำยางธรรมชาติผสมกับสารยึดติดในเครื่อง Two-Roll Mill ขนาดช่องว่างของลูกกลิ้ง 0.2-0.4 มิลลิเมตร ทำการเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ ในปริมาณ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100% และเคลือบบน Backing ที่เป็นกระดาษและพลาสติกหนา 100 ไมโครเมตร จากการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของสารยึดติดเพิ่มขึ้น ทำให้สมบัติการยึดติด (Tack) มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึง 40% มีการยึดติดที่ดีที่สุด หลังจากนั้นการยึดติดจะเกิดได้น้อยลงและความแข็งแรงเฉือนก็มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับความแข็งแรงดึงลอก เมื่อเพิ่มปริมาณของสารยึดติด ความแข็งแรงเฉือนก็มีค่ามากขึ้นไปด้วยจนถึง 40% จากนั้นความแข็งแรงเฉือนจะลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่มากขึ้นทำให้การผสมเข้ากับยางธรรมชาติได้ยาก

พิมาน จันทน์รุ่งโรจน์ [29] ศึกษาการแปรรูปน้ำยางธรรมชาติให้เป็นผลิตภัณฑ์ประเภทเทปกาวเพื่อศึกษาปริมาณสารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ที่มีผลต่อคุณสมบัติการยึดติด (Tack) และการลอกออก (Peel) ของเทปกาว Pressure Sensitive Adhesive โดยการเปลี่ยนปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเป็น 0, 50, 100, 150 และ 200 ส่วนในน้ำยางธรรมชาติ โดยการนำไปเคลือบบน Backing ที่เป็นกระดาษและฟิล์มพลาสติกจากการศึกษาพบว่า เมื่อเติมสารเพิ่มความยึดติดในน้ำยางธรรมชาติ ทำให้คุณสมบัติการยึดติดเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดเมื่อเติมสารเพิ่มการยึดติด 150 ส่วนในน้ำยางร้อยละ

เมื่อเติมสารยึดติดจนถึง 200 ส่วนในน้ำยางร้อยละ 10 จะทำให้สมบัติการยึดติดลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการแยกเฟสกันระหว่างน้ำยางธรรมชาติกับสารเพิ่มการยึดติด สำหรับสมบัติการลอกออกของเทปกาวนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณสารยึดติด ทำให้คุณสมบัติของการลอกออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเป็นเส้นตรง

W.S. Kong และคณะ [30] ทำการสังเคราะห์และวิเคราะห์ลักษณะของสารเพิ่มการยึดติดตัวใหม่ เพื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแทนเรซินไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Resins) เนื่องจากเรซินไฮโดรคาร์บอนนั้นไม่มีขั้ว จึงสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์และยางที่ไม่มีขั้ว แต่จะเข้ากันได้ไม่ดีกับพอลิเมอร์ที่มีขั้ว เช่น อะคริลิก (Acrylic) พอลิยูรีเทน (Polyurethanes) และ พอลิเอไมด์ (Polyamides) นอกจากนี้เรซินไฮโดรคาร์บอนยังผลิตจากวัตถุดิบที่ใช้แล้วหมดไป เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ จึงได้มีการสังเคราะห์สารเพิ่มการยึดติดตัวใหม่จากปฏิกิริยาดีลส์แอลเดอร์ (Diels-Alder Reaction) ระหว่าง มอนอเมอร์ของไดไซโคลเพนทาไดอีน (Dicyclopentadiene) และ กรดซอร์บิก (Sorbic Acid) ซึ่งเป็นกรดที่พบในผลไม้ประเภทบลูเบอร์รี่ จัดเป็นทรัพยากรที่สามารถสร้างขึ้นทดแทนใหม่ได้ (Renewable Resources) โดยจากการสังเคราะห์พบว่า จะได้สารเพิ่มการยึดติดที่มีขั้วสูง มีความเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ที่มีขั้ว เช่น อะคริลิก (Acrylic) ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมกาว และเมื่อเพิ่มปริมาณของ กรดซอร์บิก (Sorbic Acid) มากขึ้น สารเพิ่มการยึดติดจะมีจุดอ่อนตัว (Softening Point) เพิ่มขึ้น และมีความสามารถในการยึดติด (Tack) เพิ่มขึ้นด้วย

I. Poljanšek และคณะ [32] ศึกษาการสังเคราะห์พีนอลิกเรซินชนิดรีโซลเรซินจากการทำปฏิกิริยาระหว่างพีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์ โดยใช้ฟอร์มัลดีไฮด์ในปริมาณที่สูงกว่าพีนอลและใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา งานวิจัยนี้ใช้อัตราส่วนพีนอลต่อฟอร์มัลดีไฮด์ตั้งแต่ 1:1.6 ถึง 1:2 และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อสังเคราะห์เสร็จนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคอินฟราเรด สเปกโตรสโคปีผลการทดลองพบว่า รีโซลเรซินที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยอัตราส่วนที่ต่างกันของพีนอลและฟอร์มัลดีไฮด์มีโครงสร้างที่ใกล้เคียงกัน พีนอลจะทำปฏิกิริยากับฟอร์มัลดีไฮด์เกิดเป็นหมู่เมทิลอล (Methylol: CH_2OH) หลังจากนั้นเมทิลอลพีนอลจะเกิดการควบแน่นต่อกัน ทำให้พีนอลเกิดการเชื่อมโยงผ่านหมู่เมทิลีน (Methylene Bridge) และมีบางกรณีอาจเกิดแบบพันธะอีเทอร์ (Ether Linkage) ในอินฟราเรดสเปกตรัมของรีโซลเรซินที่สังเคราะห์ได้จะพบพีคที่ $1633, 1778, 1116 \text{ cm}^{-1}$ สำหรับ C=C Aromatic Ring, C-H Methylene Bridge และ C-O-C Methylene Ether Bridge ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลจากชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดในยางเชื่อมโยงระหว่าง ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber) ยางบีอาร์ (Butadiene Rubber) และสารตัวเติมต่างๆ โดยศึกษาสมบัติเชิงกล และสมบัติการยึดติดกับวัสดุได้แก่

- ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm

- ลวดทองเหลืองขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ± 0.06 mm

- เส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ± 0.08 mm

3.1 สารเคมีที่ใช้ทดลอง

1. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) เกรดยางแท่ง (STR 5L) บริษัท เอ็ม.บี.เจ. เอ็นเตอร์ไพร์ส จำกัด
2. ยางเอสบีอาร์ (Styrene Butadiene Rubber; SBR) เกรด 1712 บริษัท บีเอสที อีลาสโตเมอร์ จำกัด เกรด 1712
3. ยางบีอาร์ (Butadiene Rubber; BR) เกรดการค้า 268 บริษัท เอ็กซ์ซอล โมบิลเคมีคอล จำกัด
4. เขม่าดำ (Carbon Black) เกรด N330 บริษัท ไทยคาร์บอน จำกัด
5. เขม่าดำ (Carbon Black) เกรด N220 บริษัท ไทยคาร์บอนแบล็คพับลิค จำกัด (มหาชน)
6. ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide) บริษัท ยูนิตี้ อินเทอร์เน็ตบิสซิเนส จำกัด
7. กรดสเตียริก (Stearic Acid) บริษัท ยูนิตี้ อินเทอร์เน็ตบิสซิเนส จำกัด
8. TMQ บริษัท บีเอ็ม เบนเมเยอร์ จำกัด
9. 6PPD บริษัท บีเอ็ม เบนเมเยอร์ จำกัด
10. Wingstay L บริษัท บีเอ็ม เบนเมเยอร์ จำกัด
11. สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ชนิดต่างๆ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.1 Coumaron Resin G90 บริษัท ออเรนทอล สยาม จำกัด (มหาชน)

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดสีเหลืองถึงน้ำตาล
จุดนิ่มตัว (Softening Point), DIN 52011 (°C)	90
ความถ่วงจำเพาะ (g/cm ³)	1.10
ประเภท	ไฮโดรคาร์บอนเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

11.2 Hikorez R-1100S บริษัท ซีพี แอนด์ เค (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดสีเหลือง
จุดนิ่มตัว (Softening Point), Ring&Ball (°C)	94-102
ความถ่วงจำเพาะ 20/20 °C (g/cm ³)	0.98
ประเภท	ไฮโดรคาร์บอนเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

11.3 Koresin บริษัท บีเอสเอฟไทย จำกัด

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดหรือผงสีเหลืองถึงน้ำตาล
จุดนิ่มตัว (Softening Point), DIN 52011 (°C)	135-150
ความหนาแน่น (20°C) (g/cm ³)	1.02-1.04
ประเภท	ฟีนอลิกเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

11.4 Sirfen BL302 บริษัท โคซาน (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน)

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีเหลือง
จุดนิ่มตัว (Softening Point)	N/A
ความหนาแน่น (20°C) (g/cm ³)	N/A
ประเภท	ฟีนอลิกเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการนำข้อมูลไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.5 SL 1801 บริษัท ชั่วบา จำกัด

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดสีส้มถึงน้ำตาล
จุดนิ่มตัว (Softening Point), Ring&Ball (°C)	85-105
ความหนาแน่น (20°C) (g/cm ³)	N/A
ประเภท	ฟีนอลิกเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

11.6 Stucktol TH110 บริษัท ซิลไซเลอร์ จำกัด (มหาชน)

สมบัติ	ค่าที่ได้
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นเม็ดสีส้มถึงน้ำตาล
จุดนิ่มตัว (Softening Point) (°C)	105
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.20
ประเภท	ฟีนอลิกเรซิน

หมายเหตุ ข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิต

12. TBBS บริษัท กิจไพบูรณ์เคมิกอล จำกัด
13. TMTD บริษัท กิจไพบูรณ์เคมิกอล จำกัด
14. กำมะถันเกรดการค้า บริษัท สหไพศาลอินดัสทรี จำกัด
15. บอมฟีนอลบลู (ส่งทดสอบ ไม่ทราบเกรด)
16. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ส่งทดสอบ ไม่ทราบเกรด)
17. สารมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (ส่งทดสอบ ไม่ทราบเกรด)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) รุ่น LRM 200 บริษัท แล็บเทค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
2. เครื่องกดอัดขึ้นรูป (Compression Molding Machine) รุ่น For LP-2020 บริษัท แล็บเทค เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด
3. เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Moonney Viscometer) รุ่น SMV-201 บริษัท ซิมัดซี จำกัด
4. เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้งานหมุน (Moving Die Rheometer; MDR) รุ่น II F150 บริษัท นิชิโก ไชวจิ จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM) รุ่น LR 5 K บริษัท ลอยด์อินสตรูเมนต์ จำกัด
6. เครื่องวัดความแข็งแบบคูโรมิเตอร์ (Durometer Hardness Tester) รุ่น SE-104DC บริษัท เอทีเอสพาร์เอส พี เอ จำกัด
7. ตู้อบ (Oven) รุ่น BD 53 บริษัท บินเคอร์ จำกัด
8. แม่แบบ (Mold) ขนาด $12 \times 12 \text{ cm}^2$ หนา 2 mm
9. เครื่องอัดแรงลม บริษัท CEAST
10. แม่แบบตัดรูได้มเบล
11. ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ (Brass) ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1.20 \pm 0.02 \text{ mm}$ บริษัท โยโกฮามา ไทร์เชลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
12. ลวดทองเหลืองขนาดเล็ก (Brass) ที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.65 \pm 0.06 \text{ mm}$ บริษัท โยโกฮามา ไทร์เชลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
13. เส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $0.57 \pm 0.08 \text{ mm}$ บริษัท โยโกฮามา ไทร์เชลล์ (ประเทศไทย) จำกัด
14. เครื่องอัดเม็ด KBr
15. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR) รุ่น Spectrum GX บริษัท Perkin Elmer จำกัด
16. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer) รุ่น UV-160 บริษัท Shimadzu จำกัด
17. เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer; TGA) รุ่น Pyris 1 บริษัท Perkin Elmer จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมยางเชื่อมโยง

3.3.1.1 ศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการยึดติดของยางเชื่อมโยง

ตารางที่ 3.1 สูตรที่ใช้ในการศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติด

ลำดับ	ส่วนประกอบ	phr (Part per Hundred of Rubber)
1	STR 5L	20
2	SBR1712	82.5
3	BR01	20
4	Carbon Black N330	60
5	ZnO	3
6	Stearic Acid	2
7	TMQ	1
8	6PPD	2.5
9	Wingstay L	1
10	Tackifiers*	0,3
11	TBBS	1
12	TMTD	0.34
13	S	1.8

Tackifiers*1.Koresin 2.Coumaron Resin G90 3.Sirfen BL302 4.Hikorez R-1100S 5.SL 1801
6.Stuctol TH110

1. ซึ่งยางธรรมชาติและสารเคมี ตามตารางที่ 3.1

2. ผสมยางโดยใช้เครื่องผสมชนิดสองลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ที่อุณหภูมิห้อง ทำ

การกรีดและพับยาง (Cut-and-Fold) อย่างต่อเนื่องเพื่อให้สารกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกับยางลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การผสมตามตารางที่ 3.2

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ลำดับและเวลาที่ใช้ในการผสมยาง

ลำดับ	ส่วนประกอบ	เวลา(นาที)
1	STR 5L	1
2	SBR1712	2
3	BR01	2
4	Carbon Black N330	15
5	ZnO	
6	Stearic Acid	
7	TMQ	
8	6PPD	
9	Wingstay L	
10	Tackifiers*	
11	TBBS	5
12	TMTD	
13	S	

3. ตัดแผ่นยางที่ทำการผสมสารถึงลำดับที่ 10 เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $50 \times 50 \text{ mm}^2$ จำนวน 2 แผ่น เพื่อนำไปวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) โดยเครื่องมูนนี่วิสโคมิเตอร์ (Mooney Viscometer) ที่อุณหภูมิ 100°C เวลาในการทดสอบ 4 นาที [ML 1+4(100°C)]

4. ใส่ส่วนผสมลำดับที่ 11 ถึง 13 คือตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อม โยง (Accelerator) และสารเชื่อม โยง (Curing Agent) โดยใช้เวลาผสม 5 นาที จากนั้นรีดยางออกมาเป็นแผ่น

5. ตัดแผ่นยางผสมสูตรที่ได้เป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดประมาณ $50 \times 50 \text{ mm}^2$ จากนั้นนำไปทดสอบลักษณะการเชื่อม โยง (Cure Characteristic) ด้วยเครื่องวัดการเชื่อม โยงแบบไร้งานหมุน (Moving Die Rheometer) ที่อุณหภูมิ 150°C ทอร์ก 100 kgf.cm เพื่อหาเวลาก่อนการเชื่อม โยง (Scorch Time; t_{s2}) เวลาเชื่อม โยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) และดัชนีการเชื่อม โยง (Cure Rate Index; CRI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 ศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการยึดติดของยางเชื่อมโยง

ทำการผสมเช่นเดียวกับตอนที่ 3.3.1.1 แต่ปรับเปลี่ยนปริมาณสารเพิ่มการยึดติดเป็น 1, 3, 5 และ 7 phr ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงในยางผสมสูตร

ลำดับ	ส่วนประกอบ	phr (Part per Hundred of Rubber)
1	STR 5L	20
2	SBR1712	82.5
3	BR01	20
4	Carbon Black N330	60
5	ZnO	3
6	Stearic Acid	2
7	TMQ	1
8	6PPD	2.5
9	Wingstay L	1
10	Tackifiers*	0,1,3,5,7
11	TBBS	1
12	TMTD	0.34
13	S	1.8

Tackifiers*1.Koresin 2.SL 1801 3.Strucktol TH110 4.Coumaron Resin G90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

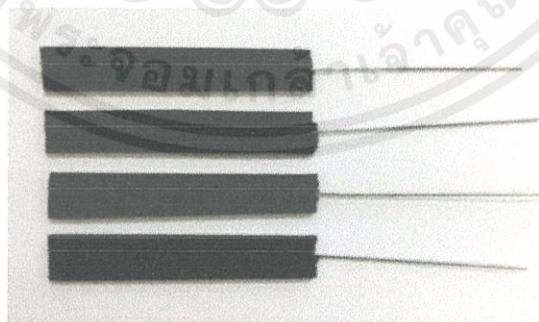
3.4 ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มการยึดติด

3.4.1 สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อมโยงกับลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3379 (Single Fiber Pull Out Test)

1. ตัดยางผสมสูตร ขนาด 12×12 cm²หนา 2 mm จำนวน 2 แผ่น
2. ตัดเส้นลวดยาว 12 cm
3. ประกอบยางสองแผ่นเข้าด้วยกัน วางลวดไว้ระหว่างยางทั้งสองแผ่นจำนวน 4 เส้น โดยระยะฝั่งของลวดจากขอบแผ่นยางด้านบนคือ 3 cm ระยะห่างจากขอบแผ่นยางด้านข้างทั้งสองด้านคือ 1.5 cm และระยะห่างระหว่างเส้นลวดคือ 2.5 cm
4. ทำการอัดขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัดขึ้นรูปวางยางที่เตรียมในข้อที่ 3 ลงในแม่พิมพ์ขนาด 12×12 cm²หนา 2 mm ซ้อนกัน 2 แผ่น จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C ตั้งเวลาภายใต้ฟองอากาศ ที่ 3 หน่วยโดยระยะเวลาตามเวลาเชื่อม โยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) ของยางแต่ละสูตร คำนวณได้จากกราฟที่ได้จากเครื่องวัดการเชื่อม โยงแบบไร้จานหมุน
5. นำชิ้นงานที่ได้มาตัดให้มีขนาดความกว้าง 2.5 cm โดยเส้นลวดอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นวัดสมบัติการยึดติด โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ

โหลดเซลล์ (Load Cell)	5 kN
ความเร็ว (Speed)	50 mm/min
ระยะทดสอบ (Gauge Length)	50 mm



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อมโยงกับลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20 ± 0.02 mm

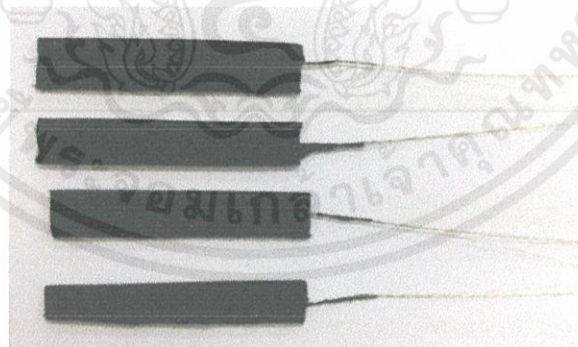
เอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อมโยงกับลวดทองเหลืองขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ± 0.06 mm

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3379 (Single Fiber Pull Out Test)

1. ตัดยางผสมสูตร ขนาด 12×12 cm²หนา 2 mm จำนวน 2 แผ่น
2. ตัดเส้นลวดยาว 30 cm
3. ประกบยางสองแผ่นเข้าด้วยกัน วางลวดไว้ระหว่างยางทั้งสองแผ่นจำนวน 4 เส้นโดยระยะฝั่งของลวดจากขอบแผ่นยางด้านบนคือ 6 cm ระยะห่างจากขอบแผ่นยางด้านข้างทั้งสองด้านคือ 1.5 cm และระยะห่างระหว่างเส้นลวดคือ 2.5 cm
4. ทำการอัดขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัดขึ้นรูปวางยางที่เตรียมในข้อที่ 3 ลงในแม่พิมพ์ขนาด 12×12 cm² หนา 2 mm ซ้อนกัน 2 แผ่น จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C ตั้งเวลากดได้ฟองอากาศ ที่ 3 หน่วยโดยระยะเวลาตามเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) ของยางแต่ละสูตรคำนวณได้จากกราฟที่ได้จากเครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบไร้งานหมุน
5. นำชิ้นงานที่ได้มาตัดให้มีขนาดความกว้าง 2.5 cm โดยเส้นลวดอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นวัดสมบัติการยึดติดโดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ

โหลดเซลล์ (Load Cell)	5 kN
ความเร็ว (Speed)	50 mm/min
ระยะทดสอบ (Gauge Length)	200 mm



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับลวดทองเหลืองขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) ของยางรถยนต์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ± 0.06 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 สมบัติการยึดติดระหว่างยางเชื่อมโยงกับเส้นใยไนลอน (Nylon fiber) ใช้ทำชั้นหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ± 0.08 mm

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D3379 (Single Fiber Pull Out Test)

1. ตัดยางผสมสูตร ขนาด 12×12 cm²หนา 2 mm จำนวน 2 แผ่น
2. ตัดเส้นใยไนลอนยาว 30 cm
3. ประกอบยางสองแผ่นเข้าด้วยกัน วางเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) พาดตลอดความยาวของแผ่นยางทั้ง 2 แผ่น โดยระยะห่างจากขอบแผ่นยางด้านข้างทั้งสองด้านคือ 1.5 cm และระยะห่างระหว่างเส้นใยไนลอนคือ 2.5 cm
4. ทำการอัดขึ้นรูปโดยเครื่องกดอัดขึ้นรูป วางยางที่เตรียมในข้อที่ 3 ลงในแม่พิมพ์ขนาด 12×12 cm²หนา 2 mm ซ้อนกัน 2 แผ่น จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 150°C ตั้งเวลาคูลไถ่ฟองอากาศ ที่ 3 หน่วยโดยระยะเวลาตามเวลาเชื่อมโยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) ของยางแต่ละสูตรคำนวณได้จากกราฟที่ได้จากเครื่องวัดการเชื่อม โยงแบบไร้งานหมุน
5. นำชิ้นงานที่ได้มาตัดให้มีขนาดความกว้าง 2.5 cm โดยเส้นใยไนลอนอยู่กึ่งกลางชิ้นงาน และทำการเจาะรูที่ระยะห่างจากขอบด้านบน 1 cm ดังรูปที่ 3.3 จากนั้นวัดสมบัติการยึด ติด โดยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ สภาวะที่ทำการทดสอบ คือ

โหลดเซลล์ (Load Cell)	5 kN
ความเร็ว (Speed)	50 mm/min
ระยะทดสอบ (Gauge Length)	50 mm



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบสมบัติการยึดติดระหว่างยางกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.57 ± 0.08 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ศึกษาอิทธิพลของสารเพิ่มการยึดติดโดยทำการบ่มเร่ง (Aging)

1. นำตัวอย่างยางที่ประกบติดกับลวดทองเหลืองและเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ในข้อ 3.4.1 มาทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C
 2. หลังจากนั้นทุก 3, 6, 9, 24, 144, 288 และ 408 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบออกจากตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปวัดสมบัติการยึดติดโดยเครื่องทดสอบ อเนกประสงค์ โดยใช้สภาวะในการทดสอบเช่นเดียวกับในข้อ 3.4.1

3.6 การทดสอบยางเชื่อมโยง

3.6.1 การทดสอบความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D1646

การหาค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ทำโดยตั้งอุณหภูมิของเครื่อง Mooney Viscometer ที่ 100°C ใช้จานหมุนขนาดใหญ่ (L Size) เวลาในการอุ่นยาง 1 นาทีและเวลาในการทดสอบ 4 นาที [ML1+4(100°C)] โดยความหนาของยางคือ 10 mm เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm ทำการหุ้มยางด้วยพลาสติกก่อนนำเข้าทดสอบ



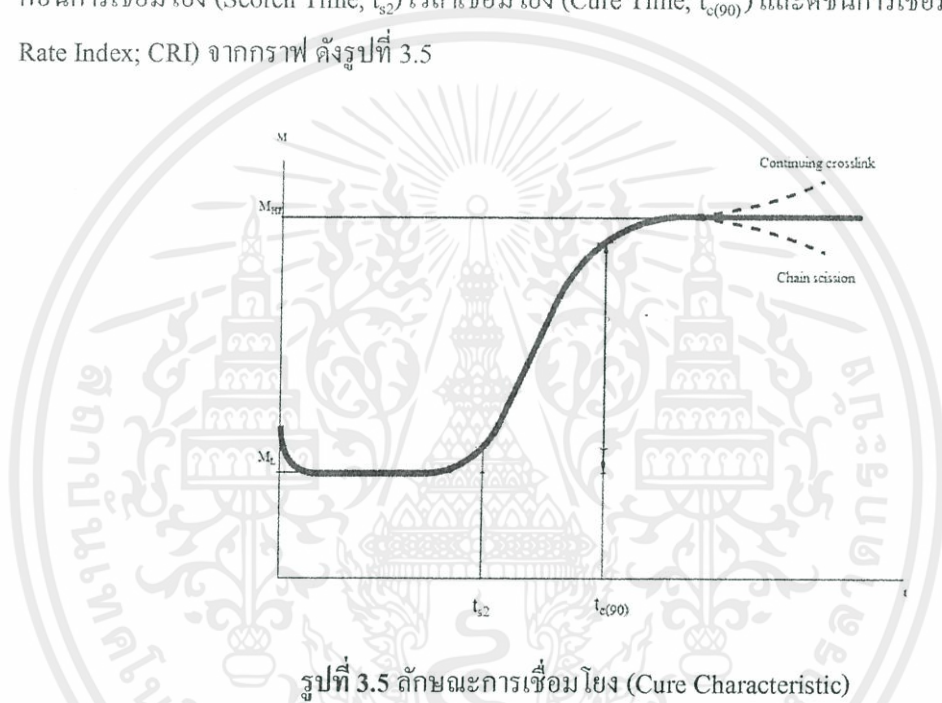
รูปที่ 3.4 เครื่องวัดความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การหาเวลาเชื่อมโยงยางผสมสูตร (Cure Time)

การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D2084

โดยใช้เครื่องวัดการเชื่อมโยงแบบโร้จันหมุน (Moving Die Rheometer) วิธีการทดสอบคือตัดยางผสมสูตรเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดประมาณ $50 \times 50 \text{ mm}^2$ วางบนโรเตอร์ ทดสอบที่อุณหภูมิ 150°C ทอร์ก 100 kgf.cm ปิดแผ่นอัดลงจากนั้นเปิดเครื่องให้โรเตอร์หมุนบิดไป-มาทำมุม 1 องศาเครื่องจะบันทึกค่าทอร์กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาการทดสอบซึ่งสามารถบันทึกและคำนวณค่าต่างๆ ได้แก่ค่าแรงบิดต่ำสุด (Minimum Torque; M_L) แรงบิดสูงสุด (Maximum Torque; M_H) เวลาก่อนการเชื่อมโยง (Scorch Time; t_{s2}) เวลาเชื่อมโยง (Cure Time; $t_{c(90)}$) และดัชนีการเชื่อมโยง (Cure Rate Index; CRI) จากกราฟ ดังรูปที่ 3.5



- โดย t_{s2} คือ เวลาเป็นนาทีที่แรงบิดเพิ่มขึ้น 2 หน่วยจากค่าแรงบิดต่ำสุด
 $t_{c(90)}$ คือ เวลาเป็นนาทีที่แรงบิดเพิ่มขึ้น 90% ของค่าแรงบิดที่เพิ่มขึ้น ($M_H - M_L$)
- โดย $t_{c(90)}$ คำนวณจาก

$$t_{c(90)} = ML + [90(M_H - M_L)/100]$$
 CRI คือ ดัชนีการเชื่อมโยง คำนวณจาก

$$CRI = 100/(t_{c(90)} - t_{s2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดการเชื่อม โยงแบบ ไร่จานหมุน (Moving Die Rheometer)

3.6.3 ทดสอบสมบัติเชิงกล

3.6.3.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D412

เครื่องที่ใช้ทดสอบคือเครื่องทดสอบอเนกประสงค์โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ (Dumbbell Shape) โดยกำหนดสภาวะทดสอบดังนี้

ความเร็วที่ใช้ดึง	500 mm/min
ระยะทดสอบ (Gauge Length)	35 mm
โหลดเซลล์ (Load Cell)	5 kN
จำนวนตัวอย่างทดสอบ	6 ชิ้น

- ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) หรือค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง คำนวณจาก

$$\text{Tensile Strength (MPa)} = F/A$$

เมื่อ F คือ แรงดึงสูงสุด ณ จุดขาด (N)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (mm^2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) คำนวณจากสมการ

$$\text{Elongation at Break (\%)} = 100 \times [(L-L_0)/L_0]$$

เมื่อ L คือ ความยาวสุดท้าย ณ จุดขาด (mm)

L₀ คือ ความยาวเริ่มต้น (mm)

- ค่ามอดุลัสของยาง (Rubber Modulus) คือ ค่าความเค้น (Stress) ที่เปอร์เซ็นต์ความเครียดหนึ่งๆ



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM)

3.6.3.2 การทดสอบความแข็งกด (Hardness test)

ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240

ทดสอบโดยเครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ (Dead Load Hardness Tester) ชนิด Shore A ตัวอย่างทดสอบมีความหนาไม่ต่ำกว่า 6 mm กดตัวอย่างค้างไว้เป็นเวลา 3 วินาที โดยทำการกดชิ้นงานทดสอบ 5 จุดต่อ 1 ชิ้นงานทดสอบ



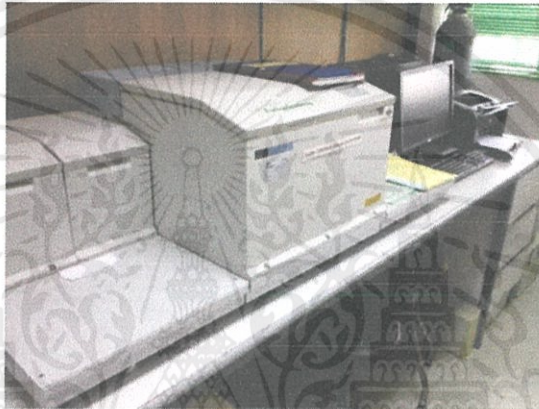
รูปที่ 3.8 เครื่องทดสอบความแข็งกดแบบน้ำหนักคงที่ชนิด Shore A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหานี้ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)

3.7.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเพิ่มการยึดติดโดยวิธี Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

ศึกษาเอกลักษณ์ของสารตัวอย่างเชิงคุณภาพ ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อทำให้ทราบหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของสารเพิ่มการยึดติด โดยนำสารเพิ่มการยึดติดมาบดกับ KBr อัดสารตัวอย่างให้เป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้แสงผ่านได้ จากนั้นนำไปใส่ใน Sample Holder แล้วทำการตรวจวัด โดยศึกษาในช่วงความยาวคลื่น $400-4,000\text{ cm}^{-1}$



รูปที่ 3.9 เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer; FTIR)

3.7.2 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) เตรียมตัวอย่างโดยการบดสารเพิ่มการยึดติดให้เป็นผงละเอียด จากนั้นตักใส่ในแพน (Pan) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องซึ่งที่มีความไวและความละเอียดสูง เริ่มการวิเคราะห์โดยทำการให้ความร้อนตั้งแต่ 50°C จนถึง 900°C ใช้อัตราการให้ความร้อน 20°C ต่อนาที ในสถานะไนโตรเจน

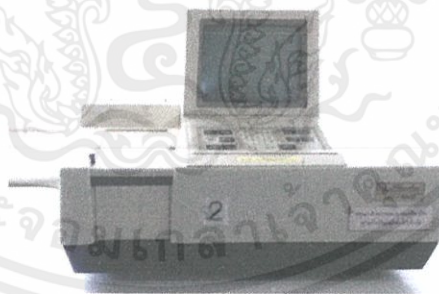
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เครื่องวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analyzer; TGA)

3.7.3 การวิเคราะห์ด้วยยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

ในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer เตรียมตัวอย่างโดยการบดสารเพิ่มการยี่ดัดให้เป็นผงละเอียด จากนั้นชั่งสารประมาณ 0.1 กรัม นำไปละลายด้วยตัวทำละลาย Dimethylformamide (DMF) ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ผูดสารละลายมา 0.1 มิลลิลิตร ละลายด้วยตัวทำละลาย Dimethylformamide (DMF) 25 มิลลิลิตรอีกรอบหนึ่ง แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง



รูปที่ 3.11 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

3.7.4 การหาจุดหลอมเหลว (Melting point)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS K 6909-1977

บรรจุสารตัวอย่างลงในหลอดแคปิลลารี (Capillary Tube) เคาะสารให้ลงไปก้นหลอด ทำซ้ำจนสารตัวอย่างหนา 2-3 มิลลิเมตร จากนั้นเสียบเทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) เข้ากับจุกคอร์กยาง ยึดขวดก้นกลม หลอดแคปิลลารีและเทอร์โมมิเตอร์เข้ากับที่จับ โดยทำการใส่น้ำมันพาราฟินลงในขวดก้นกลมปริมาณ $\frac{1}{4}$ ของขวด จากนั้นเริ่มให้ความร้อนในอัตรา 10°C ต่อนาที เมื่อ

เข้าใกล้อุณหภูมิหลอมเหลวให้ปรับลดอัตราการให้ความร้อนเป็น 1°C ต่อนาที แล้วบันทึกอุณหภูมิที่สารตัวอย่างเริ่มหลอมและหลอมจนหมด



รูปที่ 3.12 การหาจุดหลอมเหลว (Melting Point)

3.7.5 การทดสอบการไหล (Flow)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS K 6909-1977

ชั่งสารตัวอย่างปริมาณ 1.0 กรัม ใส่ลงในแม่พิมพ์อัดสารเป็นเม็ดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สูง 13 มิลลิเมตร จากนั้นนำกระบอกใส่ที่เตรียมไว้วางในตู้อบ ให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 125°C จากนั้นวางชิ้นตัวอย่างลงไปบนแผ่นกระบอกเมื่อเวลาผ่านไป 3 นาทีจัดการเอียงกระบอกทำมุม 30° แล้วให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 20 นาที เสร็จการทดลองทำการวัดระยะของสารตัวอย่างที่ไหล และบันทึกค่าการไหลโดยคำนวณจากสูตร

การไหล (มิลลิเมตร) = ระยะทางที่สารไหล (มิลลิเมตร) - 10 (มิลลิเมตร)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 การทดสอบการไหล (Flow)

3.7.6 การหาเวลาในการเกิดเจล (Gelation Time)

ทดสอบตามมาตรฐาน JIS K 6909-1977

ให้ความร้อนกับแผ่นเหล็กให้ความร้อน (Thermostatic Steel Plate) จนอุณหภูมิคงที่ที่ 150°C จากนั้นนำปลายสเปคทูลา (Spatula) กดแช่ลงบนแผ่นเหล็กเป็นเวลา 20 วินาทีซึ่งสารตัวอย่าง 0.5 กรัม ไล่ลงบนแผ่นเหล็กและเริ่มจับเวลา ใช้สเปคทูลาแผ่สารตัวอย่างออกในลักษณะเป็นวงกลม ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3 เซนติเมตร นวดไปนวดมาจนสารตัวอย่างกลายเป็นเจลทั้งหมดแล้วหยุดเวลา



รูปที่ 3.14 การหาเวลาในการเกิดเจล (Gelation Time)

3.7.7 การหาปริมาณของ Hexamethylenetetramine; HMTA

ปริมาณของ HMTA จะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเรซินทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟิวริกที่ทราบปริมาณ ดังสมการ



ปริมาณกรดที่มากเกินไปจะทำการไทเทรตย้อนกลับ (Back Titration) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้บอมฟินอลบลู (Bromphenol-Blue) เป็นอินดิเคเตอร์ ทำการทดลองโดยการชั่งน้ำหนักสารตัวอย่าง 1.0 กรัมใส่ในขวดรูปชมพู่ จากนั้นเติมสารมาตรฐานกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N H₂SO₄) จำนวน 40 มิลลิลิตร โดยทำการหมุนขวดอย่างต่อเนื่องระหว่างที่เติมกรดนำขวดให้ความร้อน โดยทำการหมุนอย่างต่อเนื่องหลังจากให้ความร้อน 5 นาที เรซินจะแข็งตัวจึงหยุดหมุนขวดทำการให้ความร้อนต่อไปอีกโดยใช้ไฟอ่อนเป็นเวลา 10 นาทีจากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เมื่อเย็นลงแล้วทำการล้างคอและขอบขวดอย่างระมัดระวังด้วยน้ำกลั่นหยดสารละลายบอมฟินอลบลูอินดิเคเตอร์ 7 หยด ใส่แม่เหล็กปั่นกวน จากนั้นทำการไทเทรต

ด้วยสารมาตรฐาน โซเดียม ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอล (0.1 N NaOH) ที่จุดยุติอินดิเคเตอร์จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีฟ้า บันทึกปริมาณเบสที่ใช้แล้วคำนวณหา HMTA จากสมการ

$$\%HMTA = \frac{(VaNa - VbNb) \times 0.03506 \times 100}{W}$$



รูปที่ 3.15 การหาปริมาณของ Hexamethylenetetramine; HMTA

3.7.8 การหาน้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิค Gel permeation chromatography (GPC)

สภาวะการทดสอบ คือ

- ตัวทำละลายคือเตตระไฮโดรฟูแรน (Tetrahydrofuran; THF)
- อัตราการไหล 0.8 มิลลิลิตรต่อนาที
- อุณหภูมิทดสอบ 40°C
- ความดันป้อน 40-45 kgf/cm²

3.7.9 การตรวจสอบปริมาณฟีนอลอิสระ (Free Phenol) ในสารเพิ่มการยึดติด

ชั่งสารเพิ่มการยึดติด 1.0 กรัม และ โดเดเคน (N-Dodecane) 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมตัวทำละลายเมทานอล 20 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ทำการเขย่าให้สารละลายเข้ากัน ทำการฉีดสารละลายตัวอย่างด้วย กระบอกฉีด (Syringe) ปริมาณ 1.00 ไมโครลิตร เข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC)

สภาวะทดสอบ ดังนี้

- คอลัมน์ (Column): Silicone DC-550 15% Celite 545 SK
- อุณหภูมิคอลัมน์: 150°C
- Inlet Temperature: 200°C
- ตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) : FID Temperator 250°C

- แก๊สตัวพา (Carrier Gas) N_2 : 5 บาร์
- ความดันแก๊สไฮโดรเจน : 5 บาร์
- ความดันอากาศ : 5 บาร์
- ปริมาตรที่ใช้ฉีด : 1 ไมโครลิตร
- อัตราการไหล : 80 มิลลิลิตรต่อนาที
- เวลาในการทดสอบ : 20 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

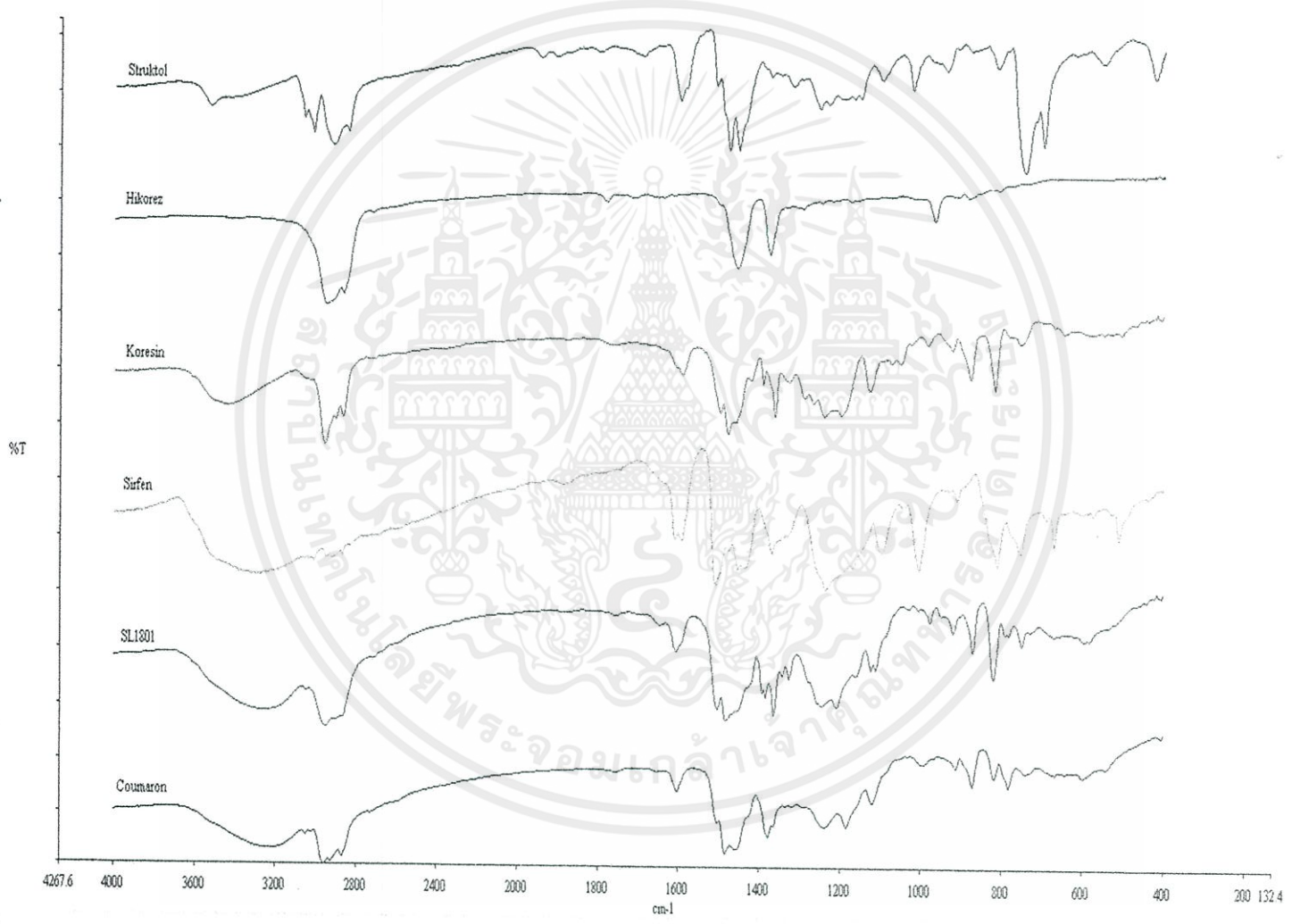
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)

สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) เป็นสารที่ใส่ลงในยางเพื่อเพิ่มความสามารถในการยึดติดระหว่างยางกับวัสดุอื่นหรือระหว่างยางด้วยกันเอง โดยทั่วไปแล้วสารเพิ่มการยึดติดมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 500-2,000 g/mol มีการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้าง และมีจุดอ่อนตัวอยู่ในช่วง 50-150°C มักใช้เป็นตัวเติมหลักในอุตสาหกรรมกาวและเป็นสารเติมแต่ง (Additive) ในอุตสาหกรรมการผลิตยางรถยนต์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติด โดยในงานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารเพิ่มการยึดติด ได้แก่ Coumaron Resin G90, Hikorez R-1100S, Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 และ Struktol TH110 ซึ่งทั่วไปแล้วสารเพิ่มการยึดติดสามารถจำแนกออกได้หลายประเภท เช่น เรซินธรรมชาติ (Rosin Resin) เรซินไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Resin) เรซินเทอร์พีน (Terpene Resin) หรือฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) ดังนั้นในส่วนแรกจึงเป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติดเพื่อจำแนกประเภท วิเคราะห์โครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันที่มีผลต่อความสามารถในการยึดติด โดยเทคนิคการวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopy) การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน และเทคนิคเฉพาะที่ใช้ในการทดสอบสารประกอบประเภทฟีนอลิกเรซินตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standards (JIS) K 6909-1977 โดยผลการตรวจวิเคราะห์นี้แสดงได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเพิ่มการยึดติด โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรี (Infrared Spectrophotometry)



รูปที่ 4.1 อินฟราเรดสเปกโทรกรา (Infrared Spectra) ของสารเพิ่มการยึดติด

จากรูปที่ 4.1 พบว่า Coumaron Resin G90, Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 และ Struktol TH110 พบแถบการดูดกลืนรังสีในช่วงความถี่ใกล้เคียงกัน ดังนี้

3,200 – 3,500 cm^{-1} แถบการยืดของหมู่ไฮดรอกซี (-OH Stretching)

2,800 – 2,950 cm^{-1} แถบการยืดของไฮโดรคาร์บอน (-CH₂, -CH₃ Stretching)

1,660 – 2,000 cm^{-1} แถบโอเวอร์ โทน (Overtone) ของวงอะโรมาติก

1,450 – 1,600 cm^{-1} แถบการยืดของวงอะโรมาติก (C=C Stretching)

โดยแถบการดูดกลืนรังสีในช่วงความถี่ต่างๆที่วัดได้ ตรงกับเอกสารข้อมูลของสารเคมี (Data Sheet) ที่ระบุไว้ว่าเป็นสารต่างๆ เหล่านี้เป็นสารเพิ่มการยึดติดประเภทฟีนอลิกเรซิน และในกรณีของ Coumaron Resin G90 หลังจากการวิเคราะห์ที่หมู่ฟังก์ชันโดยเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะไม่แตกต่างจากสารเพิ่มการยึดติดประเภทฟีนอลิกเรซิน

ส่วน Hikorez R-1100S นั้น อินฟราเรดสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างจากสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ โดยพบเพียงแถบการดูดกลืนรังสีในช่วง 2,800 – 2,950 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการยืดของไฮโดรคาร์บอน (-CH₂, -CH₃ Stretching) จึงระบุได้ว่า Hikorez R-1100S เป็นสารเพิ่มการยึดติดประเภทไฮโดรคาร์บอนเรซิน

4.1.2 การวิเคราะห์สารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิคอัลตราไวโอเลตสเปกโตรโฟโตเมทรี (Ultraviolet Spectrophotometry)

เนื่องจากอินฟราเรดสเปกตรัมที่ตรวจวัดได้พบแถบการยืดของวงอะโรมาติก ดังนั้นจึงทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) เพื่อวิเคราะห์และเปรียบเทียบว่าสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดมีโครงสร้างที่เป็นส่วนของวงอะโรมาติกหรือส่วนที่เกิดการคอนจูเกชัน (Conjugation) มากน้อยแตกต่างกันอย่างไร โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) ทำการทดลองในช่วงความยาวคลื่น 200 – 400 nm ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสง UV ของสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ

สารเพิ่มการยึดติด	ความยาวคลื่น (nm)	ค่าการดูดกลืนแสง
Coumaron Resin G90	274.2	1.029
Hikorez R-1100S	289.2	0.420
Koresin	285.4	0.815
Sirfen BL302	282.6	1.201
SL 1801	288.6	0.719
Struktol TH110	289.4	0.784

จากตารางที่ 4.1 พบว่าสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้น Hikorez R-1100S ที่มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุดคือ 0.420 ซึ่งจากอินฟราเรดสเปกตรัมไม่พบแถบการยึดของวงอะโรมาติก

4.1.3 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) เพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสลายตัวของสารเพิ่มการยึดติด ที่อุณหภูมิทดสอบคือ 50 – 900°C ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจน แสดงผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA)

สารเพิ่มการยึดติด	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก (°C)	เปอร์เซ็นต์การสลายตัวที่ 900°C
Coumaron Resin G90	301	97.8%
Hikorez R-1100S	324	99.9%
Koresin	244	63.0%
Sirfen BL302	432	98.3%
SL 1801	316	98.8%
Struktol TH110	343	80.4%

จากตารางที่ 4.2 พบว่า Koresin เกิดการสลายตัวไปน้อยที่สุดคือ 63.0% และ Struktol TH110 สลายตัวไป 80.4% ในขณะที่สารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆสลายตัวไปมากกว่า 90% ทั้งนี้เนื่องจากสารเพิ่มการยึดติดทั้งสองชนิดมีองค์ประกอบที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์รวมอยู่ด้วย

4.1.4 การหาน้ำหนักโมเลกุลโดยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC)

เทคนิค GPC เป็นวิธีการที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาน้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) และการกระจายน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity Index; PDI) ของสารเพิ่มการยึดติด จากโครมาโทแกรม (Chromatogram) สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆมีช่วงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลกว้างและสามารถตรวจพบน้ำหนักโมเลกุลได้หลายค่า โดยน้ำหนักโมเลกุลที่ตรวจพบได้มาก แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักโมเลกุล โดยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC)

สารเพิ่มการยึดติด	น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย โดยจำนวน (M_n) (g/mol)	การกระจายน้ำหนักโมเลกุล (Polydispersity Index; PDI)
Coumaron Resin G90	193 / 557	1.54
Hikorez R-1100S	719 / 2,499 / 4,376	2.17
Koresin	1,973 / 3,835	1.71
Sirfen BL302	4,487 / 9,506	3.37
SL 1801	927 / 1,212 / 3,005	1.79
Struktol TH110	2,186 / 3,762	1.41

จากตารางที่ 4.3 พบว่า Sirfen BL302 มีค่า M_n และค่า PDI สูงที่สุด และ Coumaron Resin G90 มีค่า M_n ต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ

สำหรับวิธีการทดสอบสารประเภทฟีนอลิกเรซิน ทดสอบตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standards (JIS) K 6909-1977 โดยผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของสารเพิ่มการยึดติด ตามมาตรฐาน Japanese Industrial Standards (JIS) K 6909-1977

สารเพิ่มการยึดติด	ผลการทดลอง				
	ระยะเวลา ไหล (mm)	HMTA	เวลาในการ เกิดเจล (s)	ปริมาณ ฟีนอล อิสระ	อุณหภูมิ หลอมเหลว (°C)
Coumaron Resin G90	ไหลเกิน กระจก	0.32%	ไม่เป็นเจล	0.13%	62
Hikorez R-1100S	94	0.40%	ไม่เป็นเจล	0%	64
Koresin	ไม่ไหล	0.31%	ไม่เป็นเจล	0.17%	64
Sirfen BL302	35	8.89%	70	0.16%	60
SL 1801	ไหลเกิน กระจก	0.33%	ไม่เป็นเจล	0%	69
Struktol TH110	98	0.35%	ไม่เป็นเจล	0%	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสอบเทียบเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 พบว่า

- การวัดระยะเวลาการไหล Coumaron Resin G90, SL 1801, Struktol TH110 และ Hikorez R-1100S เกิดการไหลได้ดี ในขณะที่ Sirfen BL302 เกิดการไหลได้น้อยเมื่อเทียบกับสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่น และ Koresin ไม่เกิดการไหล

- การหาปริมาณ HMTA พบว่า สารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดมีปริมาณ HMTA น้อยมาก ในขณะที่ Sirfen BL302 มีปริมาณมากที่สุด คือ 8.89% ซึ่ง HMTA เป็นสารเชื่อม โยง ดังนั้นเมื่อ Sirfen BL302 ได้รับความร้อนจากการทดสอบ จะเกิดการไหลได้เพียงระยะหนึ่งเท่านั้น จากนั้นจะเกิดการเชื่อมโยงและกลายเป็นเจล

- จากการทดสอบหาเวลาในการเกิดเจล สอดคล้องกับผลการทดสอบวัดระยะเวลาการไหล และการหาปริมาณ HMTA คือ Sirfen BL302 เป็นสารเพิ่มการยึดติดเพียงชนิดเดียวที่สามารถเกิดเป็นเจลได้ ในขณะที่สารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ ไม่เกิดเป็นเจล

- ปริมาณฟีนอลอิสระที่เหลือจากการสังเคราะห์สารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณน้อยมาก แสดงว่าฟีนอลิกเรซินที่สังเคราะห์จากปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลกับฟอร์มัลดีไฮด์เกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- อุณหภูมิหลอมเหลวของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิด มีช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน คือ ระหว่าง 60-69°C

4.2 การศึกษาผลจากชนิดของสารเพิ่มการยึดติด

จากการศึกษาในตอนต้นที่ 4.1 พบว่าสารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic Resin) ไฮโดรคาร์บอนเรซิน (Hydrocarbon Resin) และคูมาโรน-อินดีนเรซิน (Coumarone-Indene Resin) ดังนั้นตอนที่ 4.2 นี้ จึงทำการศึกษาสารเพิ่มการยึดทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ Coumaron Resin G90, Hikorez R-1100S, Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 และ Struktol TH110 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านการยึดติด โดยควบคุมปริมาณที่ใช้ทดสอบเท่ากันคือ 3 phr ซึ่งเป็นปริมาณมาตรฐานที่ใช้ในอุตสาหกรรมยางรถยนต์ โดยนอกจากการศึกษาสมบัติการยึดติด (Tack) แล้ว ยังทำการศึกษาสมบัติต่างๆ ของยางภายหลังจากการเติมสารเพิ่มการยึดติดลงไป เช่น ความหนืดมูนี (Mooney Viscosity) ลักษณะการเชื่อม โยง (Cure Characteristic) และสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

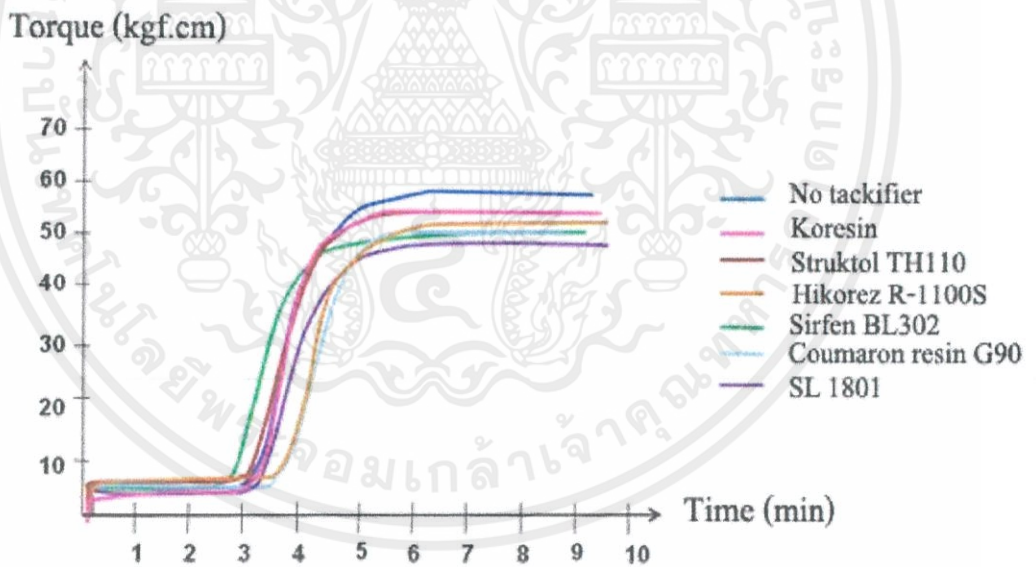
สารเพิ่มการยึดติดที่ดีเมื่อผสมเข้าไปในยางไม่ควรส่งผลต่อลักษณะการเชื่อม โยงหรือสมบัติอื่นๆ ของยาง เพราะอาจทำให้เกิดความผิดพลาดในกระบวนการผลิต ซึ่งจากการทดลองพบว่าสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด ส่งผลต่อความหนืดมูนีและลักษณะการเชื่อม โยง ดังตารางที่

4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนืดมูนนี่และลักษณะการเชื่อมโยง

สารเพิ่มการยึดติด	Mooney ML 1+4 (100 °C)	Torque (kgf.cm)		Scorch Time t_{s2} (min.sec)	Cure Time t_{c90} (min.sec)	Cure Rate Index CRI (min^{-1})
		M_L	M_H			
No Tackifier	52.5	6.0	60.0	2.48	4.12	71.42
Coumaron Resin G90	45.5	6.0	52.0	3.18	4.30	83.33
Hikorez R-1100S	40.2	6.0	53.0	3.30	5.06	62.50
Koresin	43.1	5.0	54.0	2.54	4.00	90.91
Sirfen BL302	49.0	6.0	52.0	2.30	3.48	76.92
SL 1801	50.5	5.0	49.0	2.54	4.12	76.92
Struktol TH110	41.2	6.0	54.0	2.48	4.00	83.33

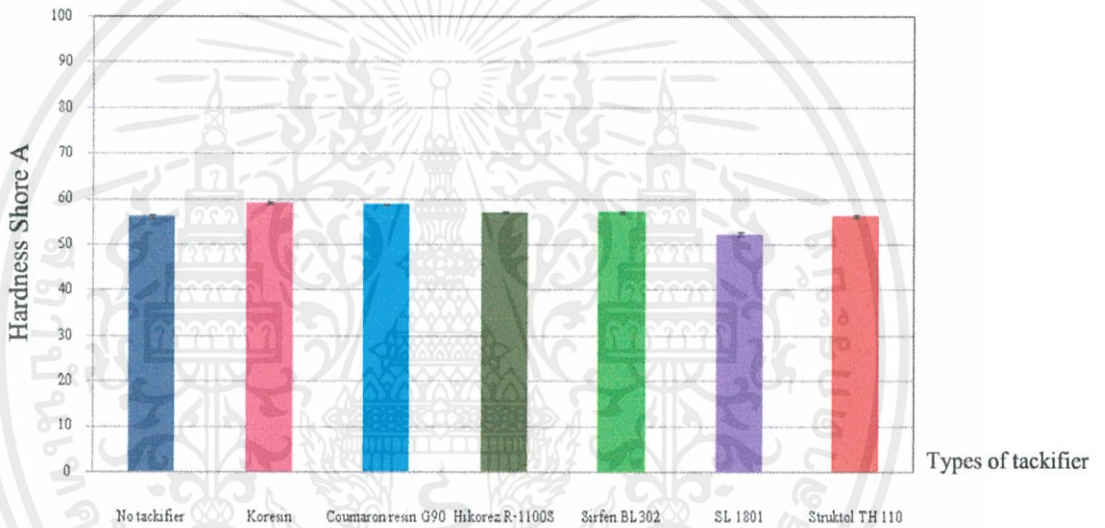


รูปที่ 4.2 กราฟลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Curve) ของยางผสมสูตรที่ได้สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

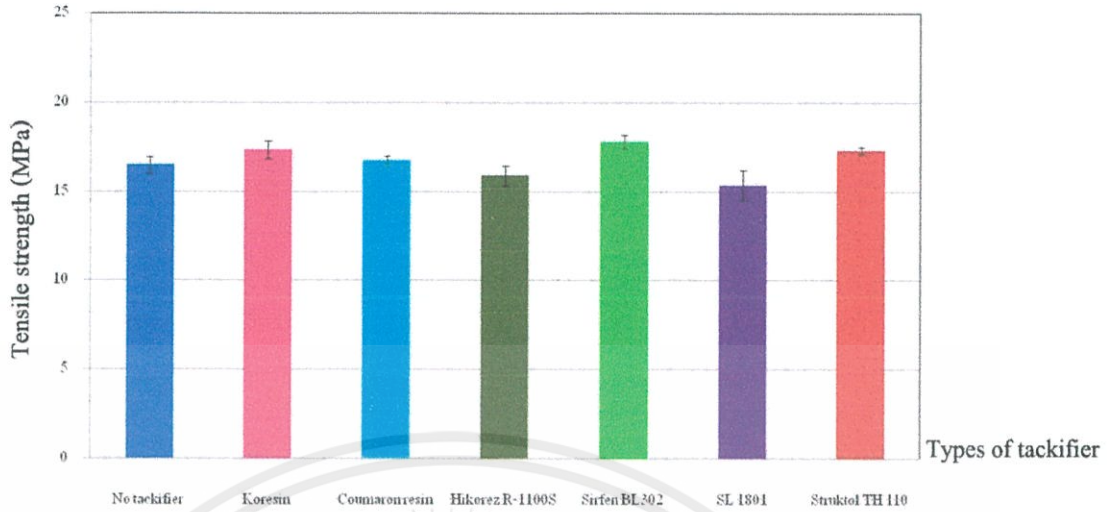
จากตารางที่ 4.5 พบว่า ยางที่มีการเติมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าความหนืดมูนนี้ต่ำลง เนื่องจากสารเพิ่มการยึดติดสามารถทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เข้าแทรกตัวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ปริมาตรอิสระ (Free Volume) มากขึ้น ความหนืดจึงต่ำลง นอกจากนี้ค่าทอร์กสูงสุด (M_H) ของยางที่เติมสารเพิ่มการยึดติดมีค่าต่ำกว่ายางที่ไม่ได้เติม เนื่องจากวงอะโรมาติกและหมู่ฟังก์ชันที่ไม่อิ่มตัวในโครงสร้างของสารเพิ่มการยึดติด สามารถเข้าจับกับอนุมูลอิสระเริ่มแรกที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของกัมมะถันเมื่อได้รับความร้อนระหว่างการเชื่อมโยง จึงทำให้การเชื่อมโยงเกิดได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าทอร์กสูงสุดต่ำลง

สารเพิ่มการยึดติดนอกจากจะทำให้ลักษณะการเชื่อมโยงของยางเกิดการเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของยาง ดังรูปที่ 4.3 – 4.6

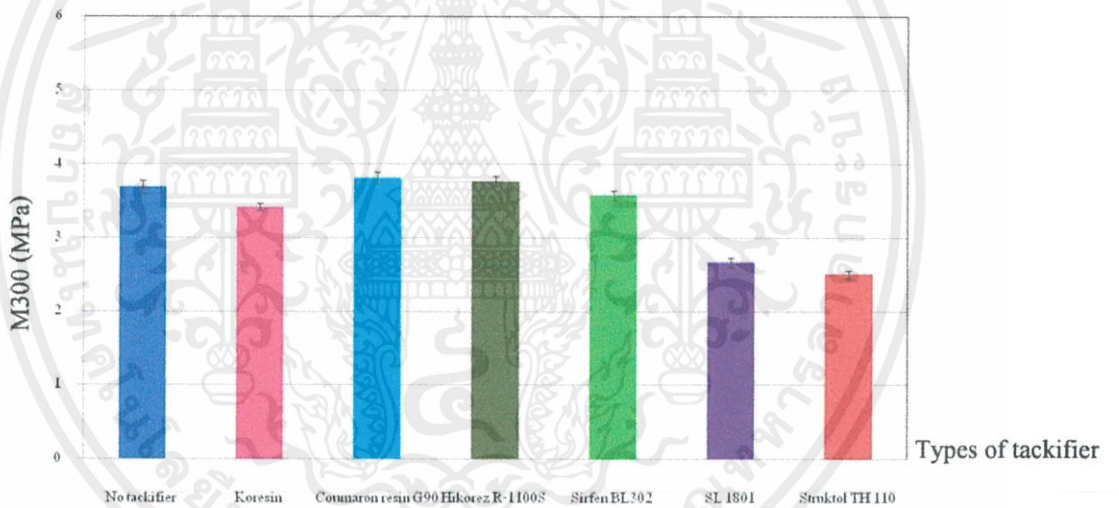


รูปที่ 4.3 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งกด (Hardness Shore A) ของยางผสมสูตรที่ได้สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

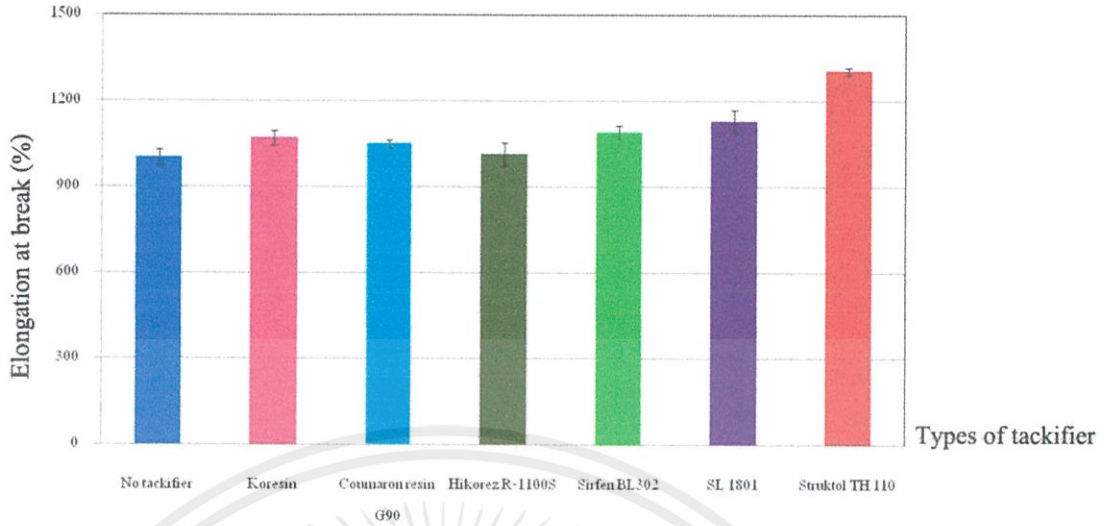


รูปที่ 4.4 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงยึด (Tensile Strength) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr



รูปที่ 4.5 กราฟการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ 300% (M_{300}) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

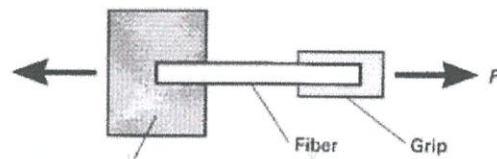


รูปที่ 4.6 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด ไม่ทำให้ค่าความแข็งกด (Hardness Shore A) และค่าความแข็งแรงดึงยึด (Tensile Strength) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และจากรูปที่ 4.5 พบว่า Koresin, SL1801 และ Struktol TH110 มีค่ามอดูลัสที่ 300% (M_{300}) ลดลงเมื่อเทียบกับยางที่ไม่ได้เติมสารเพิ่มการยึดติด สอดคล้องกับรูปที่ 4.6 พบว่า Koresin, SL1801 และ Struktol TH110 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงกว่ายางที่ไม่ได้เติม

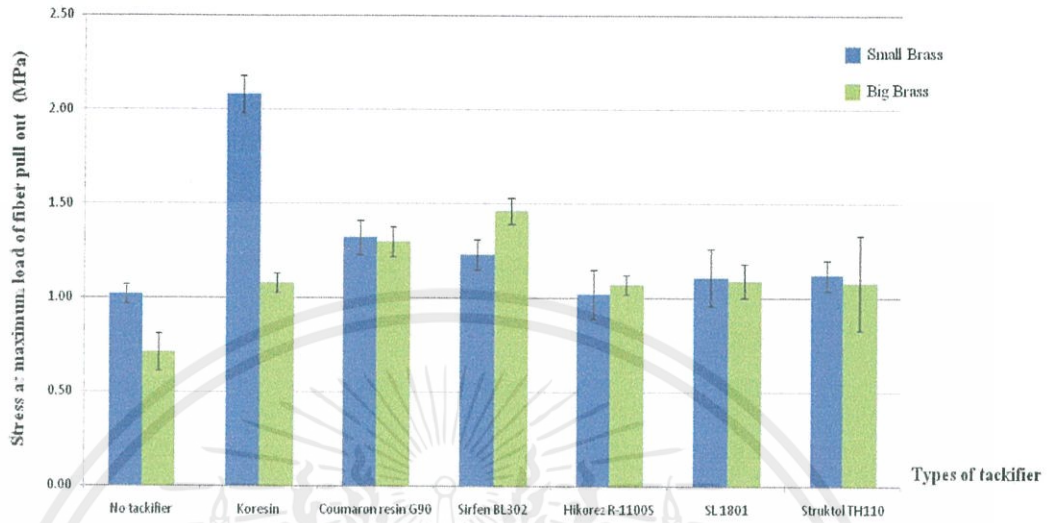
สำหรับการทดสอบสมบัติการยึดติด ทดสอบระหว่างยางและวัสดุที่เป็นองค์ประกอบในยางรถยนต์ ได้แก่ ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่ที่ใช้ทำวงขอบล้อ (Beads) ลวดทองเหลืองขนาดเล็กที่ใช้ทำเข็มขัดรัดหน้ายาง (Belt) และเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ที่ใช้ทำชั้นรองหน้ายางหรือชั้นผ้าใบ (Ply) ในยางรถยนต์ ดังนั้นคุณสมบัติการยึดติดกับวัสดุต่างๆ เหล่านี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึง เพราะส่งผลโดยตรงต่อการใช้งาน

โดยวิธีการทดสอบการยึดติดระหว่างยางกับวัสดุต่างๆ ที่ได้กล่าวมา อ้างอิงมาจากวิธีการทดสอบ Single Fiber Pull-Out ของวัสดุคอมโพสิต (Composite) ตามมาตรฐาน ASTM D3379 โดยความแข็งแรงการยึดติดที่วัดได้คำนวณมาจากแรงที่ใช้ในการดึง (F) ต่อพื้นที่ผิวสัมผัส (A) ระหว่างวัสดุทั้ง 2 ชนิด

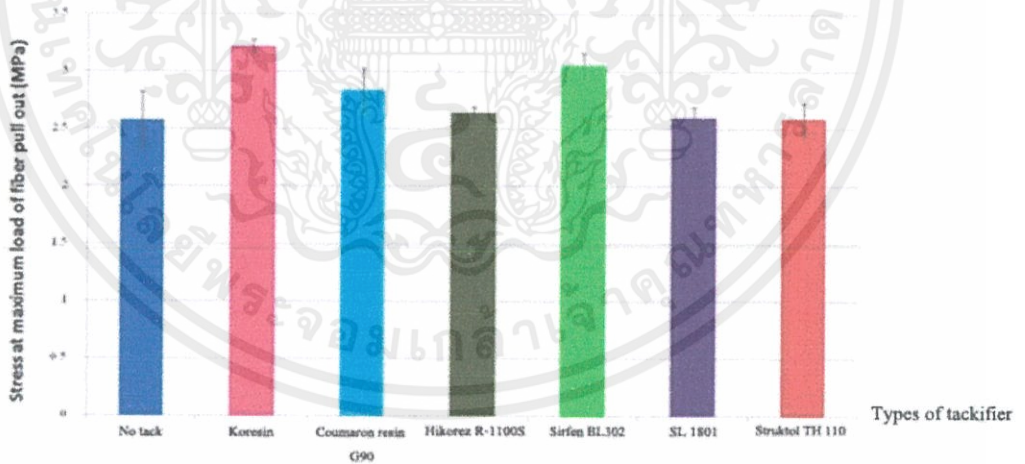


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก **รูปที่ 4.7** การทดสอบ Single Fiber Pull-Out ารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจากการทดสอบตามรูปที่ 4.7 นั้นพบว่า ให้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.8 และ 4.9



รูปที่ 4.8 กราฟการเปรียบเทียบการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับลวดทองเหลืองขนาดเล็ก (Belt) และขนาดใหญ่ (Beads) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr



รูปที่ 4.9 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ 3 phr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 พบว่าประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างยางกับลวดทองเหลืองทั้งสองขนาดดีขึ้น เมื่อมีการเติมสารเพิ่มการยึดติด โดย Koresin ให้ประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างยางกับลวดทองเหลืองขนาดเล็กมากกว่าเป็นสองเท่าเมื่อเทียบกับยางที่ไม่ได้เติม

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างยางกับเส้นใยไนลอนดีขึ้น เมื่อมีการเติมสารเพิ่มการยึดติด

โดยกลไกการยึดติดระหว่างยางที่เติมสารเพิ่มการยึดติดกับวัสดุทดสอบเกิดได้ 3 กลไก ดังนี้

1. แรงดึงดูดระหว่างขั้ว (Dipole Dipole Interaction) เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่มีขั้ว 2 โมเลกุล ในที่นี้คือขั้วในโครงสร้างของสารเพิ่มการยึดติด และขั้วบนพื้นผิวของลวดทองเหลืองและเส้นใยไนลอนเกิดการดึงดูดกัน

2. การล็อกเชิงกล (Mechanical Interlocking or Keying) เป็นแรงยึดติดเชิงกลที่เกิดจากของเหลวไหลเข้าไปในช่องว่างบนพื้นผิวที่ขรุขระ แล้วเกิดการแข็งตัว (จากการเชื่อมโยงหรือแห้ง) ซึ่งในกรณีนี้ เมื่อให้ความร้อนแก่ยางขณะเชื่อม โยง สารเพิ่มการยึดติดจะเกิดการหลอมและไหลแทรกตัวไปตามช่องว่างระหว่างยางกับพื้นผิวของวัสดุทดสอบ เมื่อแข็งตัวจึงเกิดการยึดติดขึ้น

3. พันธะเคมี (Chemical Bonding) เป็นการยึดติดที่เกิดระหว่างสองพื้นผิวที่มีหมู่ฟังก์ชันทางเคมีแตกต่างกัน สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีและเกิดเป็นพันธะใหม่ยึดติดระหว่างสองพื้นผิว โดย

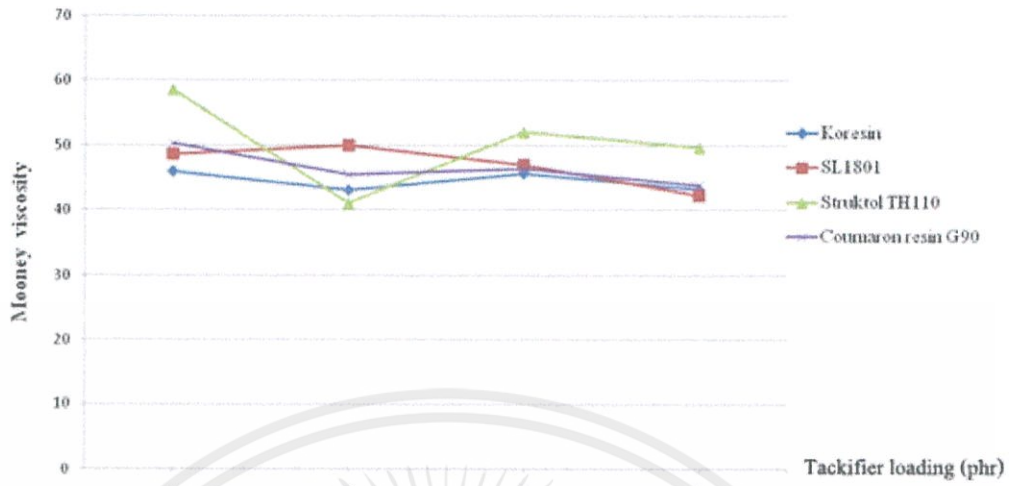
- ลวดทองเหลืองบริเวณพื้นผิวเกิดการออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศกลายเป็นโลหะออกไซด์ ทำปฏิกิริยากับซิงค์สเตียเรต ในยางเกิดเป็นพันธะเคมีขึ้น

- เส้นใยไนลอนสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับสารเพิ่มการยึดติดได้ เนื่องจากอินฟราเรดสเปกตรัมจากการทดลองในตอน 4.1 พบหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลในโครงสร้างสารเพิ่มการยึดติด

4.3 การศึกษาผลของปริมาณสารเพิ่มการยึดติด

จากการทดลองตอนที่ 4.2 พบว่าการเติมสารเพิ่มการยึดติดทำให้ประสิทธิภาพในการยึดติดระหว่างยางกับลวดทองเหลืองและเส้นใยไนลอนเกิดได้ดีขึ้น และจากการสำรวจการใช้สารเพิ่มการยึดติดในอุตสาหกรรมยางรถยนต์พบว่า Coumaron Resin G90, Koresin, SL 1801 และ Struktol TH110 เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงเลือกสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 4 ชนิดนี้มาทำการทดลอง โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณที่ส่งผลต่อความสามารถในการยึดติด ที่ 1, 3, 5 และ 7 phr เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเชื่อมโยง สมบัติเชิงกล และสมบัติการยึดติด

ลักษณะการเชื่อมโยงเมื่อเติมสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 - การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ 4.13 อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

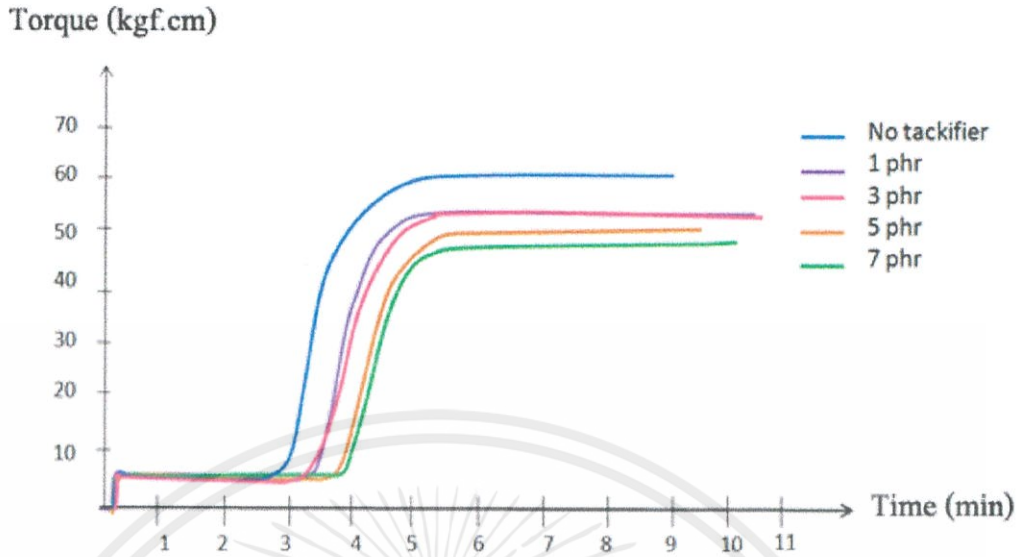


รูปที่ 4.10 กราฟค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

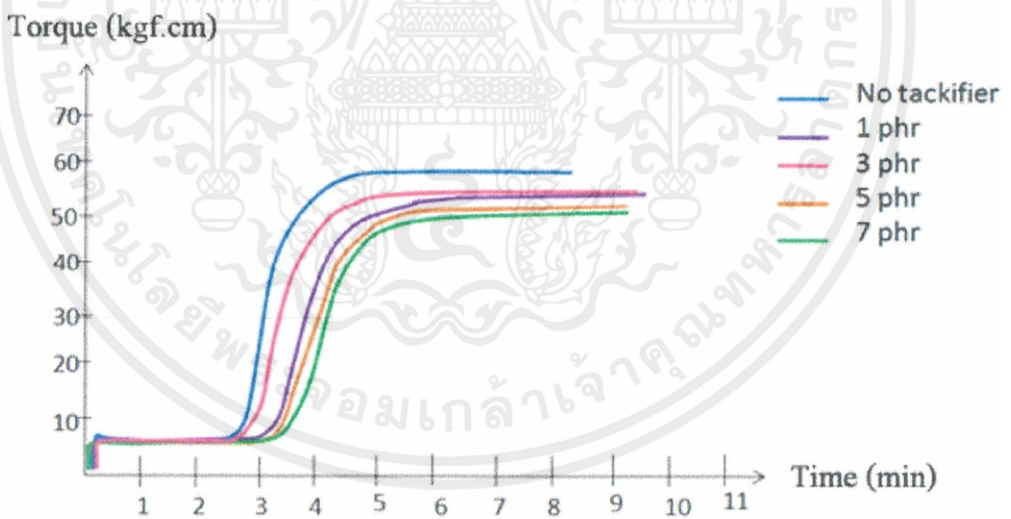


รูปที่ 4.11 กราฟค่าทอร์กสูงสุด (M_H) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

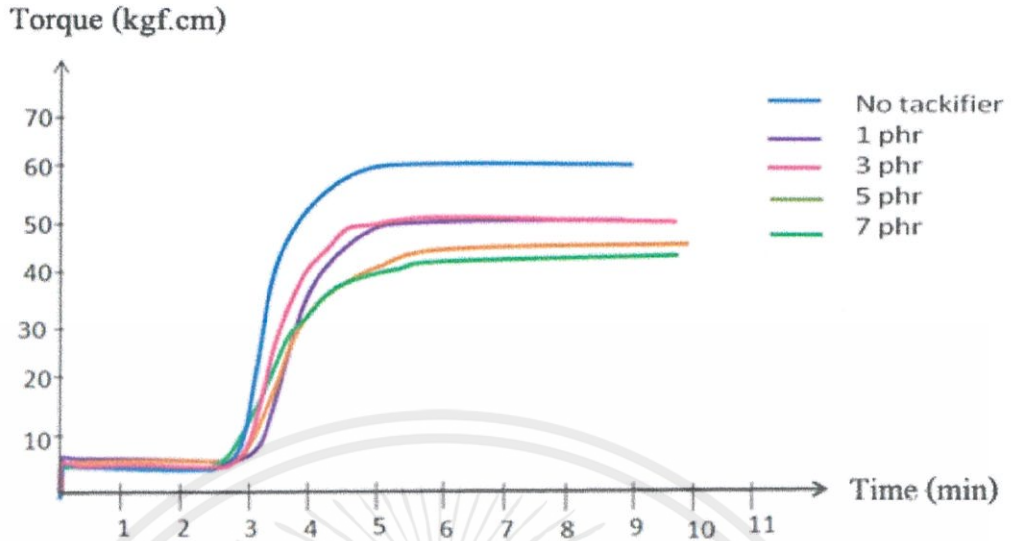


รูปที่ 4.12 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ได้ Coumaron Resin G90 ในปริมาณต่างๆ

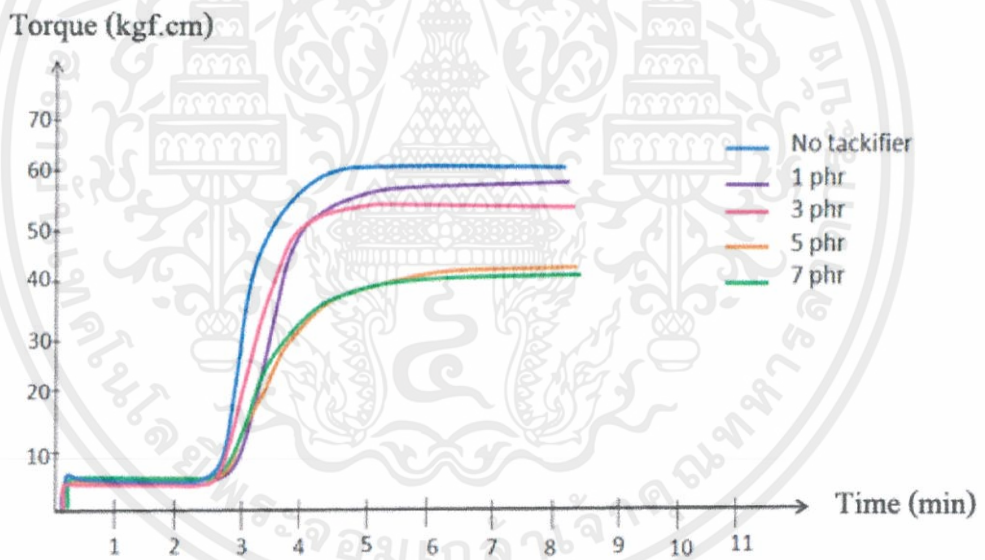


รูปที่ 4.13 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ได้ Koresin ในปริมาณต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ SL1801 ในปริมาณต่างๆ



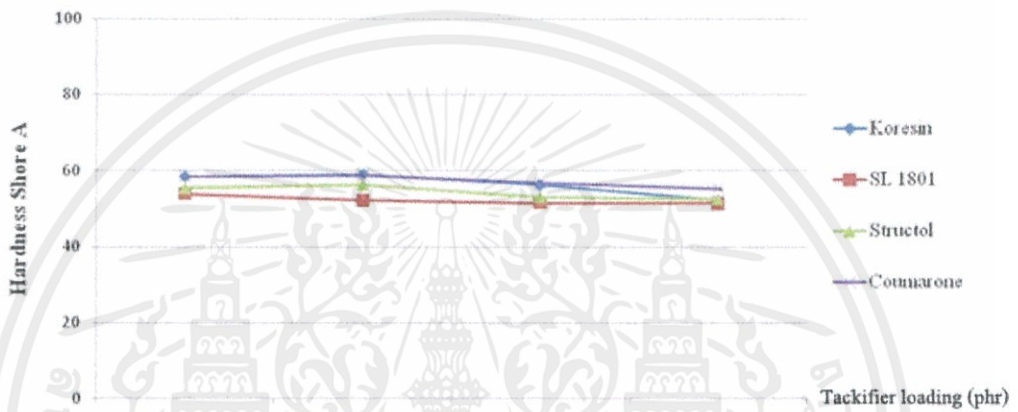
รูปที่ 4.15 กราฟลักษณะการเชื่อมโยงของยางผสมสูตรที่ใส่ Struktol TH110 ในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ยางที่มีการเติมสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณมากขึ้น ทำให้ค่าความหนืดมูนนี้ต่ำลง เนื่องจากสารเพิ่มการยึดติดสามารถทำหน้าที่คล้ายพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) เข้าแทรกตัวระหว่างสายโซ่โมเลกุลของยาง ทำให้ปริมาตรอิสระมากขึ้นความหนืดจึงต่ำลง และจากรูปที่ 4.11 พบว่าค่าทอร์กสูงสุด (M_H) ต่ำลง เนื่องจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีวงอะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

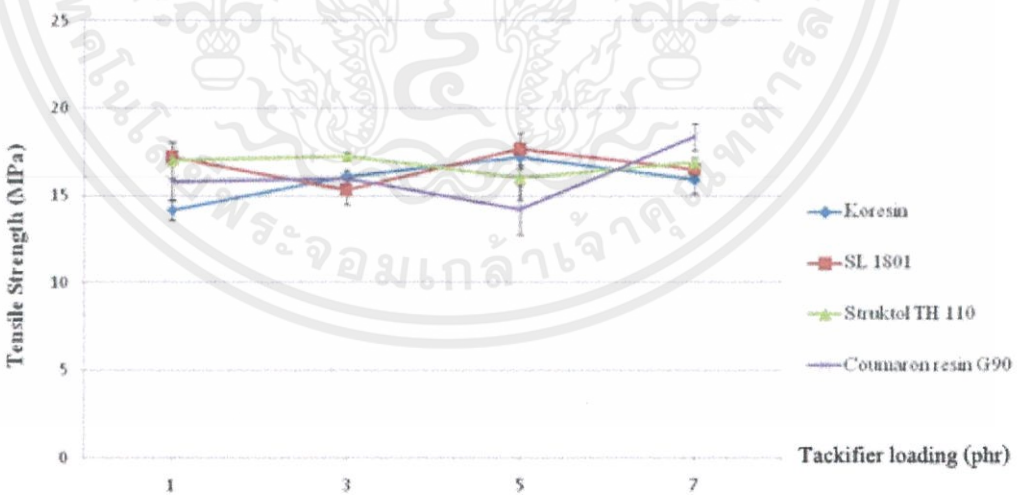
โรมาติกและหมู่ฟังก์ชันที่ไม่อิ่มตัวเข้าจับกับอนุมูลอิสระเริ่มแรกจากการแตกตัวของกำมะถันมากขึ้น จึงทำให้การเชื่อมโยงเกิดได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าทอร์คสูงสุดต่ำลง

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าเวลาเริ่มต้นเชื่อมโยงของ Coumaron Resin G90 และ Koresin ช้าลงเมื่อปริมาณสารเพิ่มการยึดติดมากขึ้น ในขณะที่ SL1801 และ Struktol TH110 จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

จากลักษณะการเชื่อมโยงของยางที่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อสมบัติเชิงกลดังรูปที่ 4.16 – 4.19

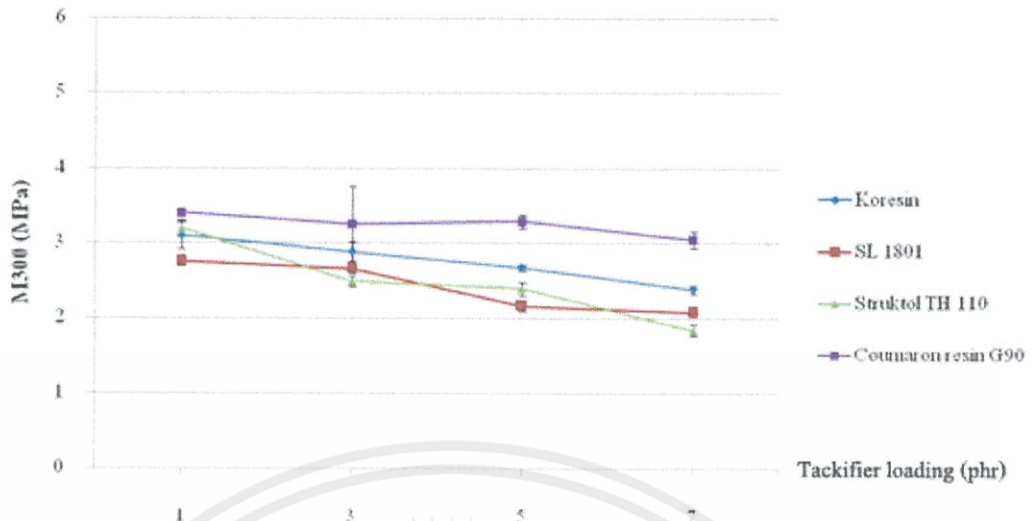


รูปที่ 4.16 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งกด (Hardness Shore A) ของยางผสมสูตรที่ได้สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

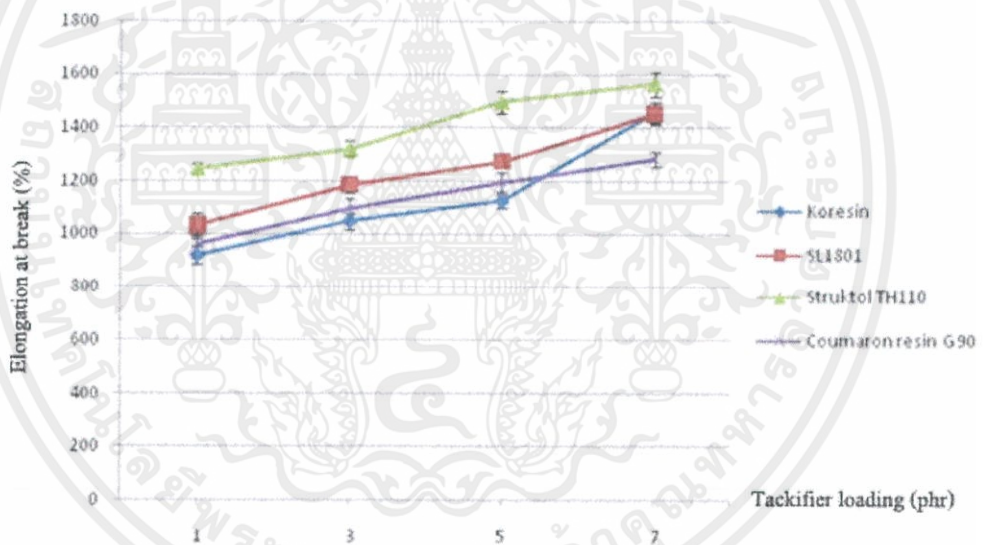


รูปที่ 4.17 กราฟการเปรียบเทียบความแข็งแรงดึงยึด (Tensile Strength) ของยางผสมสูตรที่ได้สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ 300% (M_{300}) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

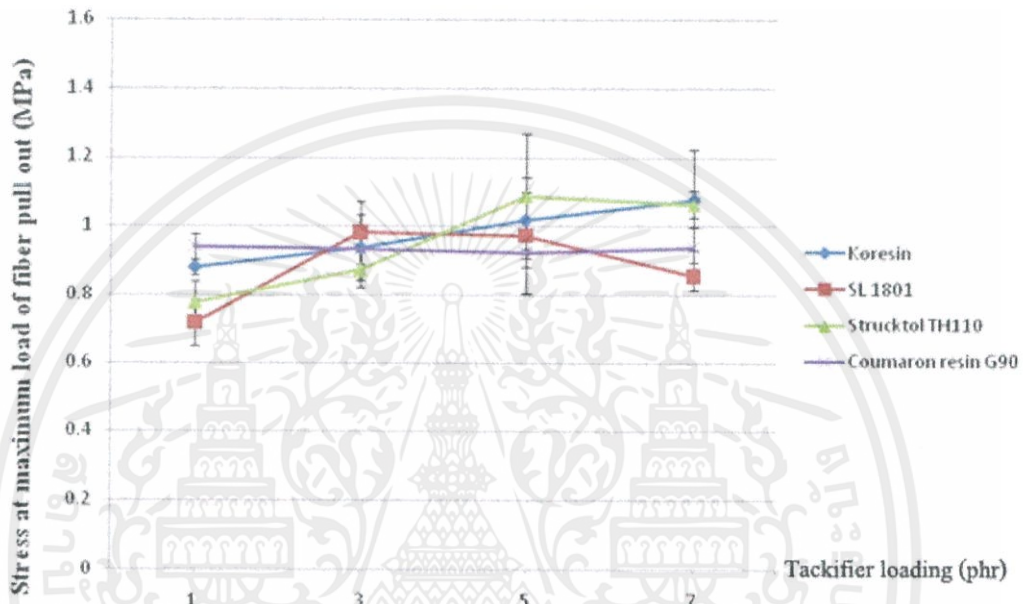


รูปที่ 4.19 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.16 พบว่าสารเพิ่มการยึดติดในปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งกมมีแนวโน้มลดลง และรูปที่ 4.17 พบว่าความแข็งแรงดึงยึดไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงแม้สารเพิ่มการยึดติดจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยจากรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่าค่า M_{300} มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่า

เปอร์เซ็นต์ดึงยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นจากปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่มมากขึ้น โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้สมบัติการยึดติดกับวัสดุต่างๆที่เป็นองค์ประกอบภายในยางรถยนต์นั้นเป็นประเด็นสำคัญที่ควรพิจารณาเช่นกัน เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณที่เหมาะสมที่จะทำให้ยางเกิดการยึดติดกับวัสดุที่เป็นองค์ประกอบในยางรถยนต์ได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากข้อจำกัดของการได้มาของลวดทองเหลืองขนาดเล็กซึ่งไม่เพียงพอต่อการทดลอง ดังนั้นในการทดสอบสมบัติการยึดติดกับวัสดุที่เป็นโลหะจึงใช้ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่เป็นวัสดุตัวแทน โดยการสอบการยึดติดแสดงดังรูป 4.20 และ 4.21



รูปที่ 4.20 กราฟการเปรียบเทียบการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับลวดทองเหลืองเส้นใหญ่ (Bead) ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ



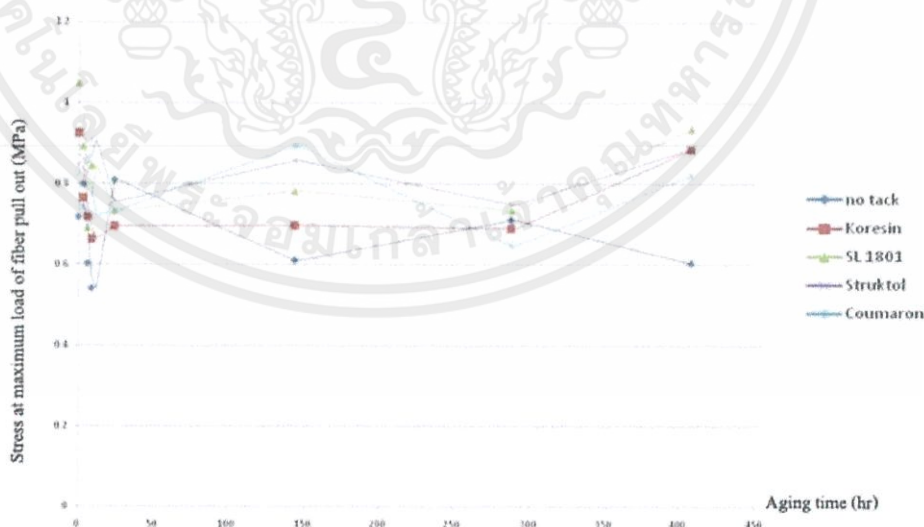
รูปที่ 4.21 กราฟการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยึดติดระหว่างยางผสมสูตรกับเส้นใยไนลอน (Nylon Fiber) ที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดในปริมาณต่างๆ

จากรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เพิ่ม ทำให้ยางเกิดการยึดติดกับ ลวดทองเหลืองและเส้นใยไนลอนเพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณ 3 phr Koresin ทำให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดกับเส้นใยไนลอนสูงที่สุด

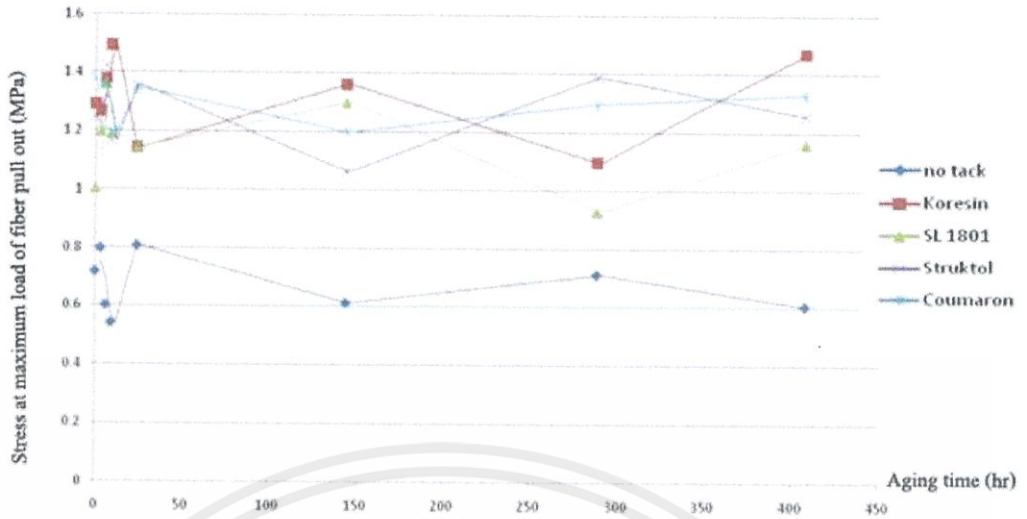
4.4 ศึกษาการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติดโดยการบ่มเร่ง

จากการทดลองทั้ง 3 ตอนที่ผ่านมาได้ศึกษาทั้ง โครงสร้าง ชนิด และปริมาณที่ส่งผลต่อการสมบัติการยึดติด สำหรับการทดลองในครั้งนี้เป็นการทดสอบการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติด โดยปกติแล้วยางรถยนต์ต้องสัมผัสกับสภาพอากาศและเกิดมอดูลัสสูญเสีย (Loss Modulus) ขณะล้อยหมุนไปบนพื้นถนนทำให้เกิดความร้อนสะสม และนอกจากนี้แรงเสียดทานระหว่างหน้ายางกับพื้นถนนก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งด้วย ดังนั้นอุณหภูมิจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติด ซึ่งการศึกษาการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติดทำได้โดยการบ่มเร่ง (Aging) ที่อุณหภูมิ 70°C และสารเพิ่มการยึดติดที่นำมาทดสอบเช่นเดียวกับในตอนที่ 4.3 ได้แก่ Coumaron Resin G90, Koresin, SL 1801 และ Struktol TH110

การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เปรียบเทียบสมบัติการยึดติดภายหลังจากสภาวะบ่มเร่ง โดยกำหนดปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่ใช้ทดสอบ คือ 3 phr ซึ่งเป็นปริมาณที่นิยมใช้โดยทั่วไป ในอุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ และ 7 phr เพื่อเปรียบเทียบว่าปริมาณที่มากกว่า 2 เท่าของการใช้ในอุตสาหกรรมจริงจะเกิดผลแตกต่างกันอย่างไรภายหลังจากสภาวะบ่มเร่ง โดยใช้ลวดทองเหลืองขนาดใหญ่เป็นวัสดุทดสอบ ผลการทดสอบที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.22 และ 4.23



รูปที่ 4.22 กราฟสภาวะการบ่มเร่งของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดปริมาณ 3 phr ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทผู้ผลิตยางรถยนต์และอาจมีการเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟสถานะการบ่มแรงของยางผสมสูตรที่ใส่สารเพิ่มการยึดติดปริมาณ 7 phr

จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 การใส่สารเพิ่มการยึดติดที่ปริมาณ 3 phr และ 7 phr ภายหลังจากบ่มแรงที่อุณหภูมิ 70°C ช่วงเวลาตั้งแต่ 0 – 408 ชั่วโมง ไม่พบประสิทธิภาพการยึดติดที่เปลี่ยนแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers) ที่มีต่อสมบัติต่างๆ ของยางเชื่อมโยง โดยเริ่มจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ วิเคราะห์ลักษณะ โครงสร้าง หมู่ฟังก์ชันและสมบัติที่สำคัญ เพื่อจำแนกประเภทของสารเพิ่มการยึดติด จากนั้นทำการศึกษาเปรียบเทียบทั้งในแง่ของชนิดและปริมาณของสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดดีที่สุด และทดสอบการเสื่อมสภาพโดยทำการบ่มเร่ง (Aging) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการยึดติดว่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1 ผลจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารเพิ่มการยึดติด (Characterization of Tackifiers)

จากการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตเมทรีทำให้สามารถจำแนกสารเพิ่มการยึดติดได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. สารเพิ่มการยึดติดประเภทฟีนอลิกเรซิน ได้แก่ Koresin, Sirfen BL302, SL 1801 และ Struktol TH110
2. สารเพิ่มการยึดติดประเภทไฮโดรคาร์บอนเรซิน ได้แก่ Hikorez R-1100S
3. สารเพิ่มการยึดติดประเภทคูมาโรน-อินดีนเรซิน ได้แก่ Coumaron Resin G90

นอกจากนี้ยังทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดมีค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกัน ยกเว้น Hikorez R-1100S ที่มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำที่สุด

วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสาร โดยอาศัยสมบัติทางความร้อน โดยเครื่อง Thermogravimetric Analysis (TGA) พบว่า Koresin และ Struktol TH110 เกิดการสลายตัวไปน้อยเมื่อเทียบกับสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ ที่สลายตัวไปมากกว่า 90%

หาน้ำหนักโมเลกุล โดยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) พบว่า Sirfen BL302 มีค่า M_n และค่า PDI สูงที่สุด ส่วน Coumaron Resin G90 มีค่า M_n ต่ำที่สุด

การทดสอบสมบัติพื้นฐานของสารเพิ่มการยึดติด ตามมาตรฐาน JIS K 6909-1977 พบว่า

- การวัดระยะเวลาไหล Coumaron Resin G90, SL 1801, Struktol TH110 และ Hikorez R-1100S เกิดการไหลได้ดี ในขณะที่ Sirfen BL302 เกิดการไหลได้น้อยเมื่อเทียบกับสารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่น และ Koresin ไม่เกิดการไหล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การหาปริมาณ HMTA พบว่า สารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิดมีปริมาณ HMTA น้อยมาก ในขณะที่ Sirfen BL302 มีปริมาณมากที่สุด
- จากการทดสอบหาเวลาในการเกิดเจล Sirfen BL302 เป็นสารเพิ่มการยึดติดเพียงชนิดเดียวที่สามารถเกิดเป็นเจลได้ ในขณะที่สารเพิ่มการยึดติดชนิดอื่นๆ ไม่เกิดเป็นเจล
- ปริมาณฟีนอลอิสระที่เหลือจากการสังเคราะห์สารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด มีปริมาณน้อยมาก
- อุณหภูมิหลอมเหลวของสารเพิ่มการยึดติดแต่ละชนิด มีช่วงอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน คือระหว่าง 60-69°C

5.2 ผลจากการศึกษาชนิดของสารเพิ่มการยึดติด

การเติมสารเพิ่มการยึดติดลงในยาง ส่งผลต่อลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล คือค่าความหนืดมูนี ค่าทอร์คสูงสุด และค่า M_{300} ลดต่ำลง ค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ถ จุดขาดสูงขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงและค่าความแข็งแรงดึงยึดไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับสมบัติการยึดติดกับลวดทองเหลืองและเส้นใยในลอนพบว่า สารเพิ่มการยึดติดทำให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดดีขึ้น โดยสารเพิ่มการยึดติดประเภทฟีนอลิกรีซินและควาโรน-อินดินเรซินให้ประสิทธิภาพในการยึดติดดีกว่าไฮโดรคาร์บอนเรซิน

5.3 ผลจากการศึกษาปริมาณของสารเพิ่มการยึดติด

จากการปรับเปลี่ยนปริมาณสารเพิ่มการยึดติดที่เติมลงในยางที่ 1, 3, 5 และ 7 phr พบว่า เมื่อสารเพิ่มการยึดติดมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลโดยตรงต่อลักษณะการเชื่อมโยงและสมบัติเชิงกล คือค่าความหนืดมูนี ค่าทอร์คสูงสุด ค่า M_{300} และค่าความแข็งแรงมีแนวโน้มลดต่ำลง ค่าความแข็งแรงดึงยึด ถ จุดขาดมีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนค่าความแข็งแรงดึงยึดไม่เปลี่ยนแปลง

สำหรับสมบัติการยึดติดกับลวดทองเหลืองและเส้นใยในลอนพบว่า เมื่อปริมาณสารเพิ่มการยึดติดมากขึ้น ทำให้ยางมีประสิทธิภาพในการยึดติดดีขึ้น

5.4 ผลจากศึกษาการเสื่อมสภาพของสารเพิ่มการยึดติดโดยการบ่มเร่ง

ภายหลังจากทดสอบการบ่มเร่งที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 408 ชั่วโมง พบว่าการใส่สารเพิ่มการยึดติดที่ปริมาณ 3 phr และ 7 phr ไม่พบประสิทธิภาพการยึดติดที่เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยเป็นการศึกษาสารเพิ่มการยึดติดที่ส่งผลต่อสมบัติต่างๆ ของยางเชื่อมโยง สามารถสรุปข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อไปดังนี้

- ทดสอบการยึดติดรูปแบบอื่นเพื่อให้สามารถเห็นผลได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เช่น การทดสอบการยึดติดกับแถบโลหะ แถบเส้นใยไนลอน หรือยางชนิดอื่นๆ เป็นต้น
- เพิ่มปริมาณกำมะถันที่เพื่อพิสูจน์ว่าโครงสร้างที่เป็นวงอะโรมาติกของสารเพิ่มการยึดติดสามารถจับอนุมูลอิสระที่เริ่มแตกตัวจากกำมะถัน
- ทดสอบหาโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันในสารเพิ่มการยึดติดให้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโคปีอื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] อธิพิพล แจ่มชัด. เทคโนโลยีการยาง. กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [2] อธิพิพล แจ่มชัด. สารเพิ่มการยึดติด (Tackifiers). กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคโนโลยียาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [3] Kothandaraman, B. **Rubber Materials**. 1sted. New Delhi: Ane books India, 2008.
- [4] Science news. “Natural rubber” [Online]. Available: <http://www.neutron.rmutphysics.com/science-news>, 2013.
- [5] อับดุลฮากิม มะสะ. “การเตรียมยางคอมปาวด์สำหรับทำความสะอาดเข้าพิมพ์.” วิทยานิพนธ์หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2553.
- [6] พงษ์ธร แซ่อู๋. ยาง : ชนิด สมบัติ และการใช้งาน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2541.
- [7] Polymer science learning center. “Rubber” [Online]. Available: <http://pslc.ws/macrog/kidsmac/rubber.htm>, 2013.
- [8] Morton, M. **Rubber Technology**. 2nded. New York: Van Nostrand Reinhold, 1973.
- [9] Asahi carbon. “Carbon black properties” [Online]. Available: http://www.asahicarbon.co.jp/global_site/product/cb/characteristic.html, 2013.
- [10] พงษ์ธร แซ่อู๋. สารเคมียาง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548.
- [11] Rongcheng Chemical General Factory. “TBBS (NS)” [Online]. Available: <http://www.rchchem.com/pages/p8.html>, 2013.
- [12] Chemical book. “TBBS” [Online]. Available: http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_CB921879.html, 2013.
- [13] North Wanxing Chemical. “Antioxidant PL / Wingstay L” [Online]. Available: <http://www.wanchem.com.cn/products/wingstay-L.html>, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] Shanghai Yancui. “Antioxidant RD (TMQ)” [Online]. Available: http://yancui.en.alibaba.com/product/934701150224211/Antioxidant_RD_TMQ_.html, 2013.
- [15] Vlaams Instituut Voor De Zee. “Definition of 4-(dimethylbutylamino) diphenylamine (6PPD)” [Online]. Available: [http://www.vliz.be/wiki/4-\(dimethylbutylamino\)diphenylamin](http://www.vliz.be/wiki/4-(dimethylbutylamino)diphenylamin), 2013.
- [16] จิตต์ลัดดา ศักดาพิพานิชย์. เทคโนโลยียางธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: เทคโนโลยีคอมมิวนิเคชันส์, 2553.
- [17] พงษ์ธร แซ่อู๋ และชาคริต สิริสิงห. ยาง กระบวนการผลิตและการทดสอบ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2548.
- [18] The history of rubber. “Crosslinking” [Online]. Available: <http://http://pslc.ws/macrog/exp/rubber/sepisode/ent.htm>, 2014.
- [19] M.H. Johannig and L.T. Hammond. *Tires and Tracks*. 5th ed. Illinois: John deere service, 1980.
- [20] Checkthatcar. “Tyres structure” [Online]. Available: <http://www.checkthatcar.com/tyre%20anatomy.asp>, 2013.
- [21] Shining Tech (Xuzhou). “Resin” [Online]. Available: <http://www.shiningtech.cn/en/products.asp>, 2013.
- [22] Eastman™ Tackifier Center. “Tackifier” [Online]. Available: http://www.eastman.com/Market/Tackifier_Center/Pages/introduction.aspx, 2013.
- [23] วรวิมล ไทวิรัตน์, สุภานันท์พงษ์วุฒิประพันธ์ และสุภาภรณ์ จำนงวุฒิโรจน์. “การยึดติดของแผ่นไม้ยางพาราบนผิวไม้พลาสติก WPC.” โครงการพิเศษหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [24] อธิธิพล แจ่มชัด. กลไกการยึดติด (Mechanisms of Adhesion). กรุงเทพฯ. เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยียาง ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2556.
- [25] G.C. Basak, A. Bandyopadhyay and A.K. Bhowmick. “Effect of tackifier compatibility and blend viscoelasticity on peel strength behavior of vulcanized EPDM rubber co-cured with

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- unvulcanized rubber.” *International Journal of Adhesion and Adhesive*. 30 (2010) 489-499.
- [26] P.R. Raja, A.G. Hagood, M.A. Peters and S.G. Croll. “Evaluation of natural rubber latex based PSAs containing aliphatic hydrocarbon tackifier dispersions with different softening points-Adhesive properties at different conditions.” *International Journal of Adhesion and Adhesive*. 41 (2013) 160-170.
- [27] W. Thajaroen. “Effect of Tackifiers on Mechanical and Dynamic Properties of Carbon-Black-Filled NR Vulcanizates.” *Polymer Engineering and Science*. 51 (2011) 2465-2472.
- [28] Y.C. Leong, L.M. Swee Lee and S.N. Gan. “The Viscoelastic Properties of Natural Rubber Pressure-Sensitive Adhesive Using Acrylic Resin as a Tackifier.” *Journal of Applied Polymer Science*. 88 (2003) 2118-2123.
- [29] พิมาน จันทร์รุ่งโรจน์. “Development of pressure sensitive adhesive from natural rubber latex.” วิทยานิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิทยาการและวิศวกรรมวัสดุบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2548.
- [30] K. Won-Suk, J. Tae-Jun, P. Jun-Hyo, J. Sung-Rak, Y. Ho-Gyu and L. Jae-Wook. “Synthesis and characterization of hydrogenated sorbic acid grafted dicyclopentadiene tackifier.” *International Journal of Adhesion & Adhesives*. 38 (2012) 38-44.
- [31] B.K. Kakati and D. Deka. “Differences in physico-mechanical behaviors of resol(e) and novolac type phenolic resin based composite bipolar plate for proton exchange membrane (PEM) fuel cell.” *Electrochimica Acta*. 52 (2007) 7330-7336.
- [32] I. Poljanšek and M. Krajnc. “Characterization of Phenol-Formaldehyde prepolymer resins by in line FT-IR Spectroscopy.” *Acta Chimica Slovenica*. 52 (2005) 238-244.
- [33] E-book.ram.edu. “Infrared Spectroscopy” [Online]. Available: <http://ebook.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf>, 2014.
- [34] จตุพร วุฒิกนกกาญจน์. *Polymer Characterization and Analysis*. กรุงเทพฯ. เอกสาร ประกอบวิชา Polymer Characterization and Analysis คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.
- [35] คารณี เจริญสุข, *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. ปีที่ 6. กรุงเทพฯ: 2555, 27-39.
- [36] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (Nonotec). “Thermogravimetric Analysis (TGA)” [Online]. Available: http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569, 2556.

- [37] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ (Nonotec). “UV/VIS Spectroscopy” [Online]. Available: http://www.nanotec.or.th/th/?page_id=569,2556.



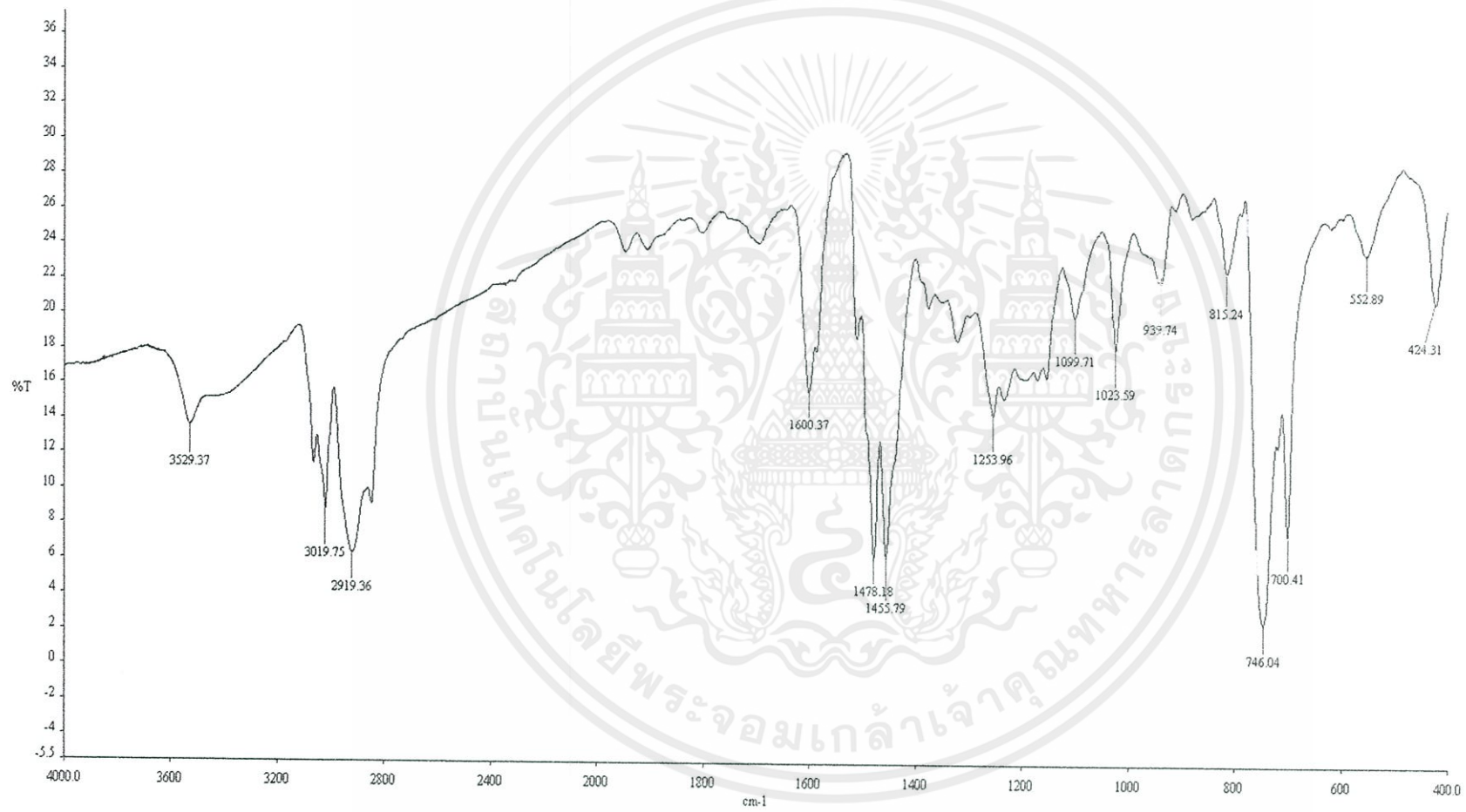
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางค่าความหนืดมูนนี่ (Mooney Viscosity) และลักษณะการเชื่อมโยง (Cure Characteristic) ของยางเมื่อเติมสารเพิ่มการยึดติดได้แก่ Coumaron Resin G90, Koresin, SL 1801 และ Struktol TH110 ที่ปริมาณต่างๆ คือ 1, 3, 5 และ 7 phr

No.	Type of Tackifier	phr	Mooney ML 1+4 (100°C)	Torque (kgf.cm)		Scorch Time	Cure Time	Cure Rate Index
				M _L	M _H	t _{s2} (min.sec)	t ₉₀ (min.sec)	CRI (min ⁻¹)
1	No Tackifier	-	52.5	6.0	60.0	2.48	4.12	71.42
2	Koresin	1	46.0	6.0	50.5	3.30	5.88	38.75
		3	43.1	5.0	54.0	2.54	4.00	90.91
		5	45.7	5.0	50.0	3.25	4.60	44.05
		7	43.2	6.0	45.0	3.45	5.88	41.15
3	SL 1801	1	48.6	6.0	50.0	3.20	5.58	42.02
		3	50.0	5.0	49.0	2.54	4.12	76.92
		5	47.0	5.0	43.0	2.80	6.36	40.00
		7	42.4	5.0	42.5	2.40	5.52	45.45
4	Struktol TH110	1	58.6	6.0	56.0	3.00	6.00	33.33
		3	41.2	6.0	54.0	2.48	4.00	83.33
		5	52.1	5.0	40.5	3.10	6.24	31.84
		7	49.7	5.0	40.0	3.00	6.12	32.05
5	Coumaron resin G90	1	50.3	6.0	52.0	3.20	5.58	65.58
		3	45.5	6.0	52.0	3.18	4.30	83.33
		5	46.4	6.0	48.0	3.10	4.12	57.92
		7	43.9	6.0	46.0	2.80	4.00	46.45

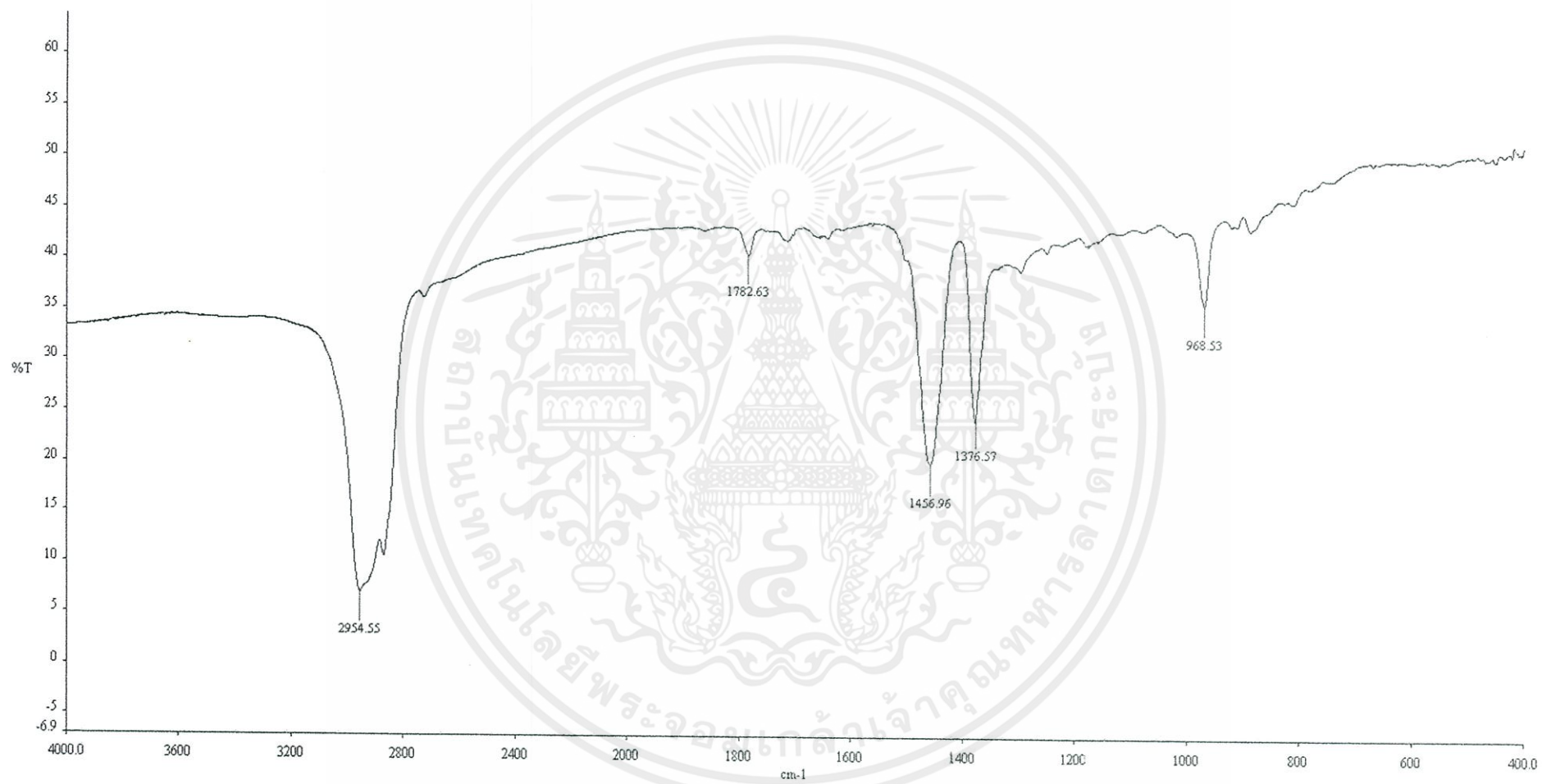
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



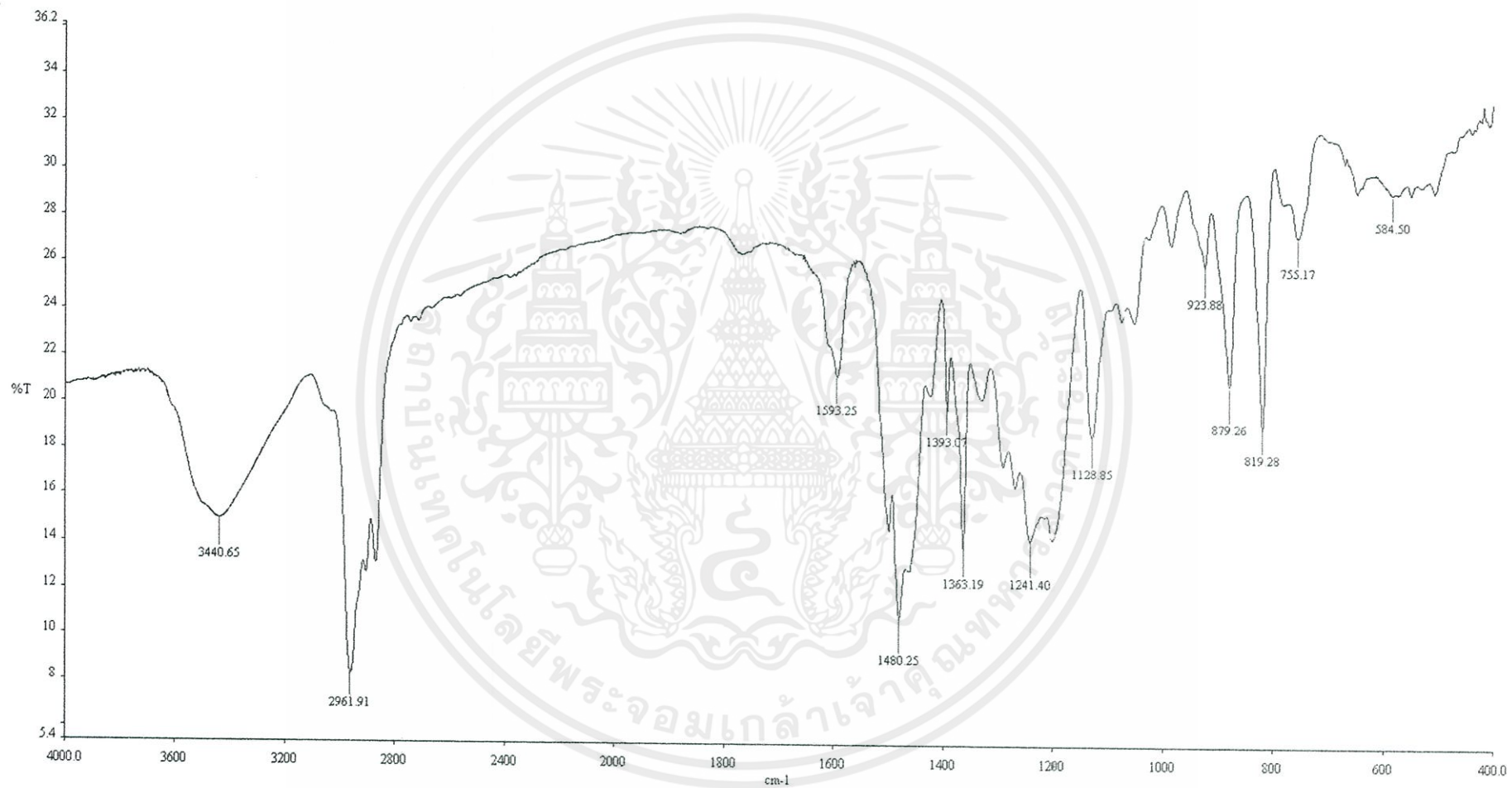
รูปที่ ข -1 Coumaron resin G90

สเปกตรัมอินฟราเรดของเรซินคอปอลิเมอร์ (Infrared Spectra) ของเรซินคอปอลิเมอร์

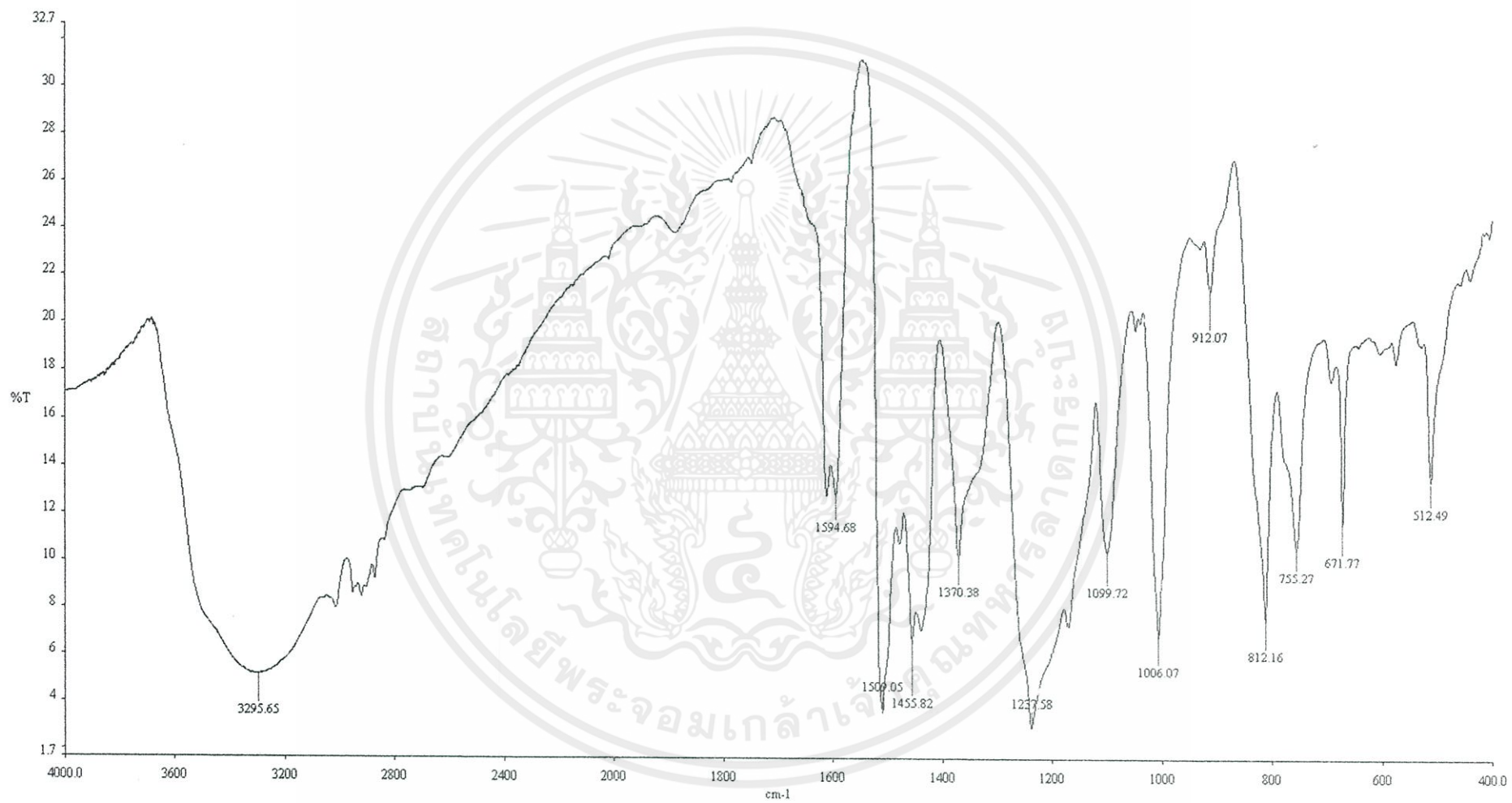
น.บ.ค.พ.บ.



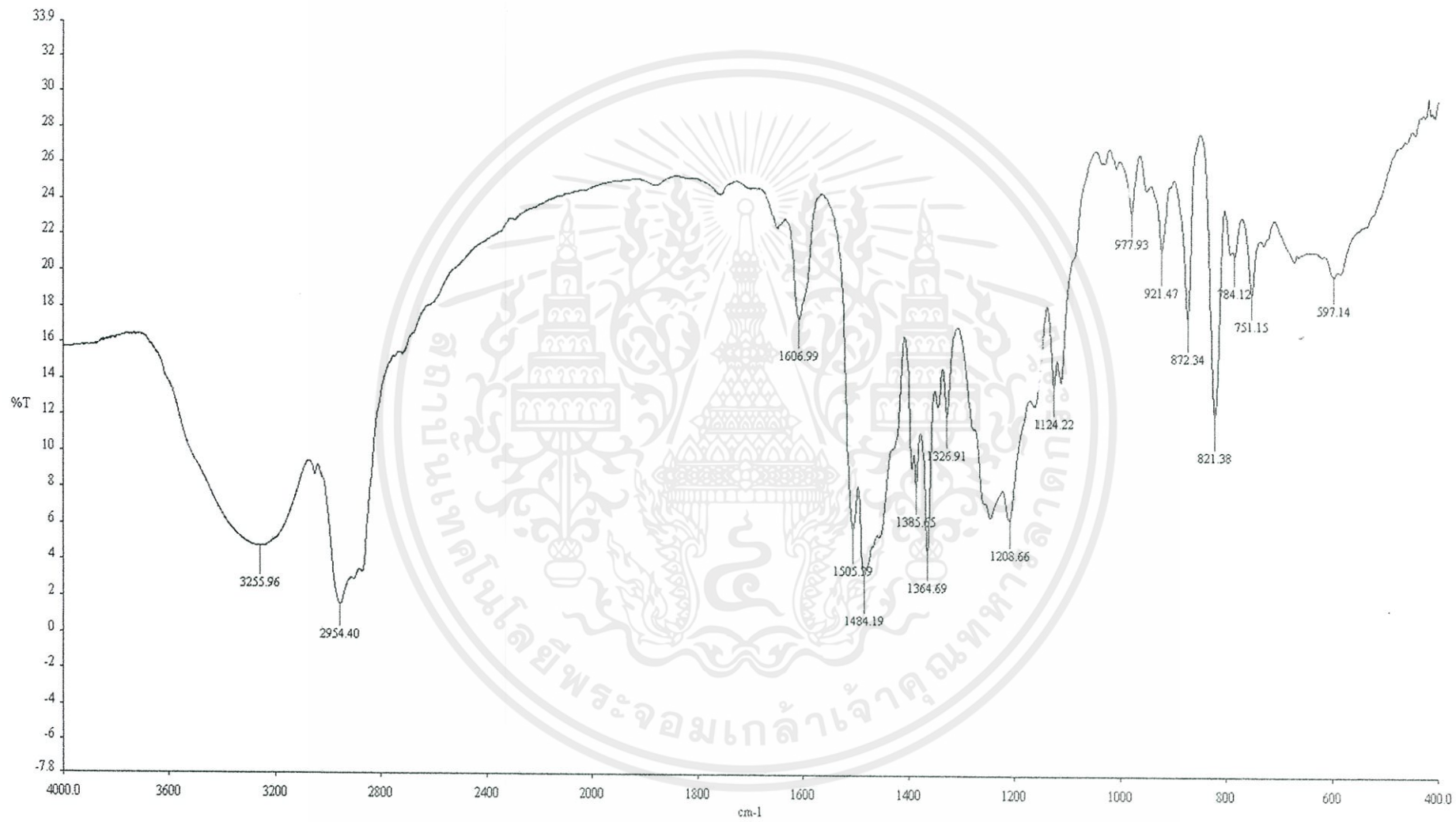
รูปที่ ข-2 Hikorez R-1100S



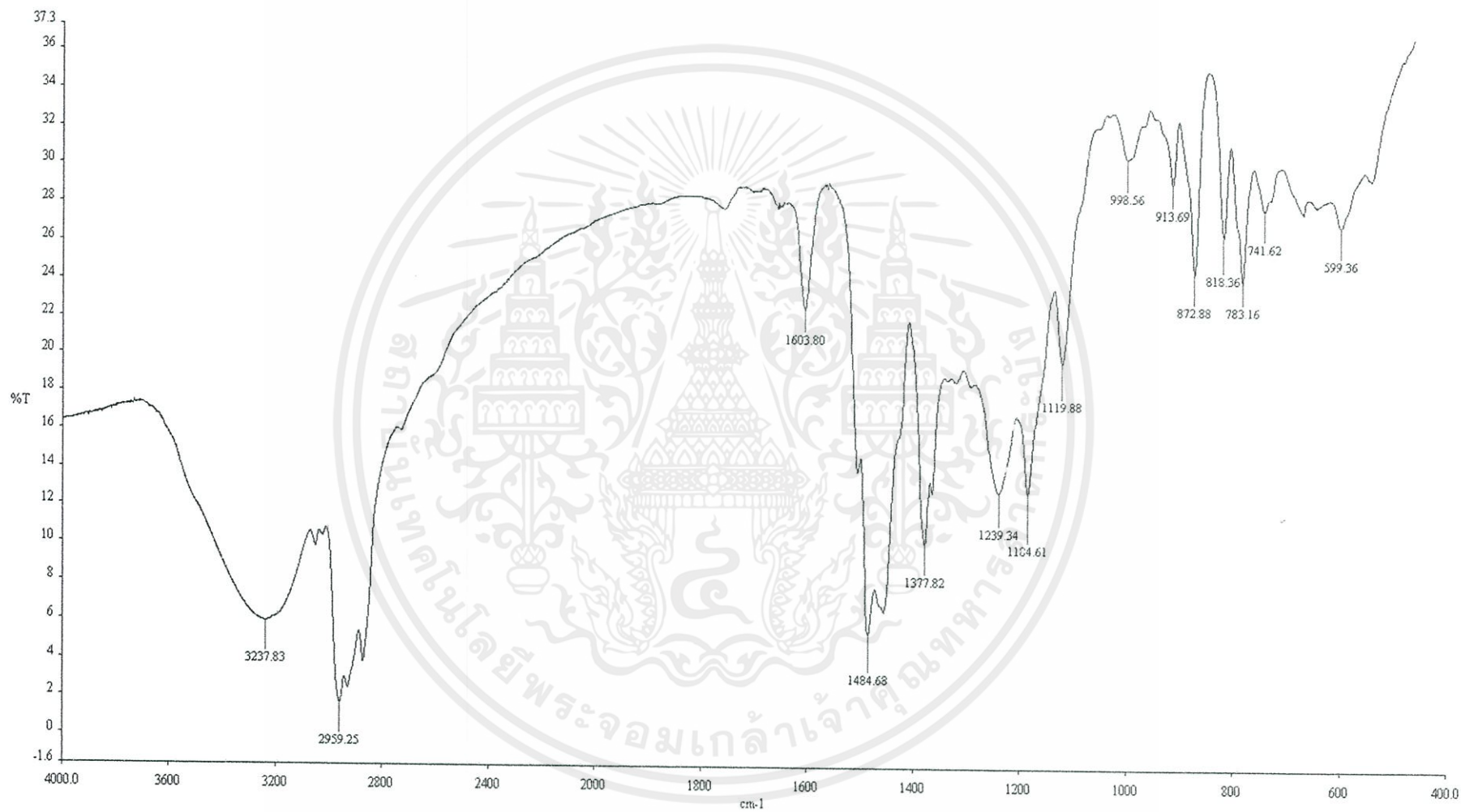
รูปที่ ข-3 Koresin Sirfen BL302



รูปที่ ข -4 Sirfen BL302



รูปที่ ข-5 SL 1801



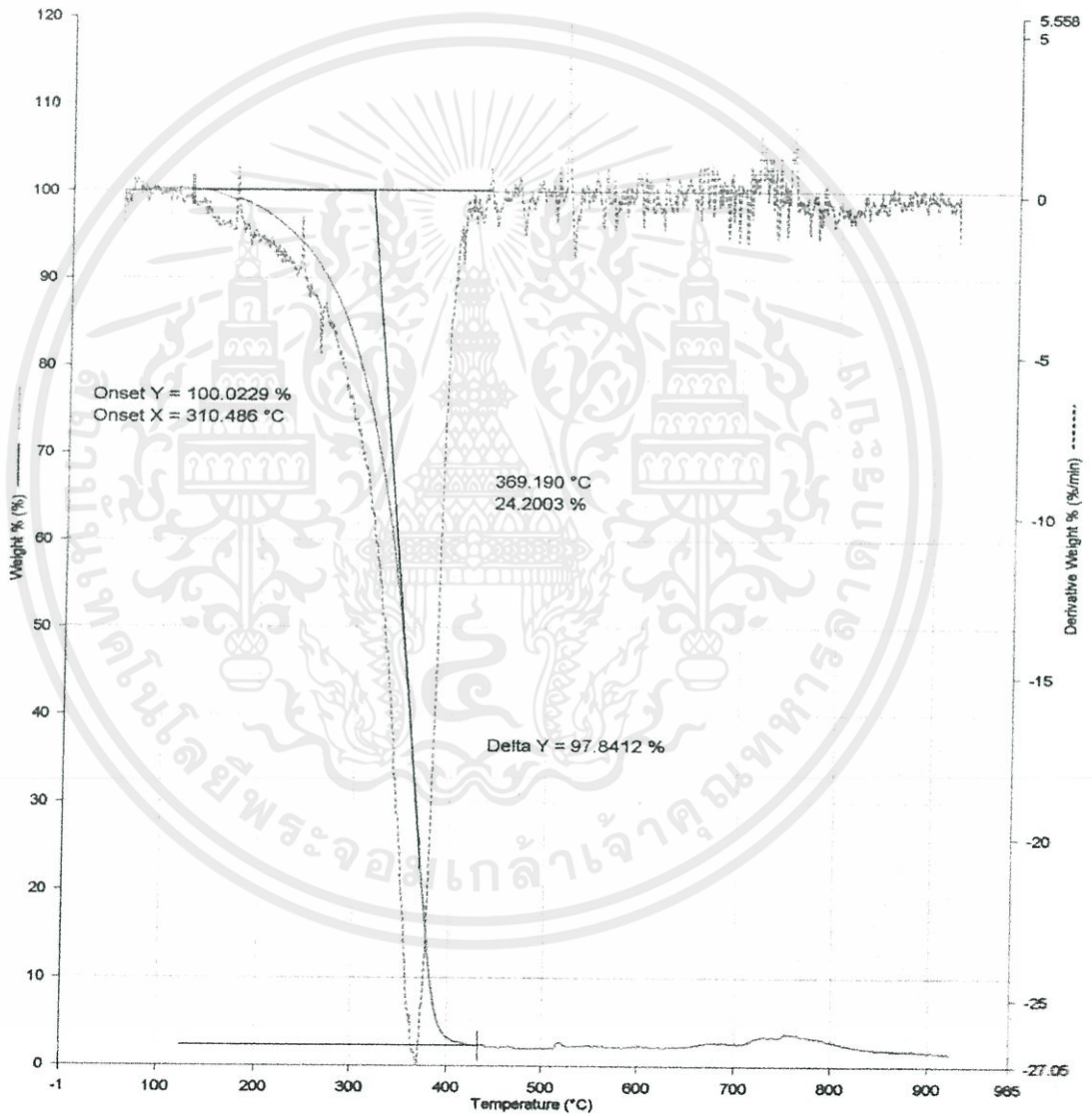
รูปที่ ข -6 Struktol TH110

ภาคผนวก ค

กราฟผลการทดสอบเสถียรภาพทางความร้อนของสารเพิ่มการยึดติดโดยเทคนิค

Thermogravimetric Analysis (TGA)

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Dat...\Coumaron.th1d	2014/1/27: Coumaron
Data Collected:	1/27/2014 2:57:25 PM	Unsubtracted Weight % (%): Step: 1
Operator ID:	Sujanjira	2014/1/27: Coumaron
Sample ID:	2014/1/27	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min): Step: 1
Sample Weight:	5.263 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	Coumaron	



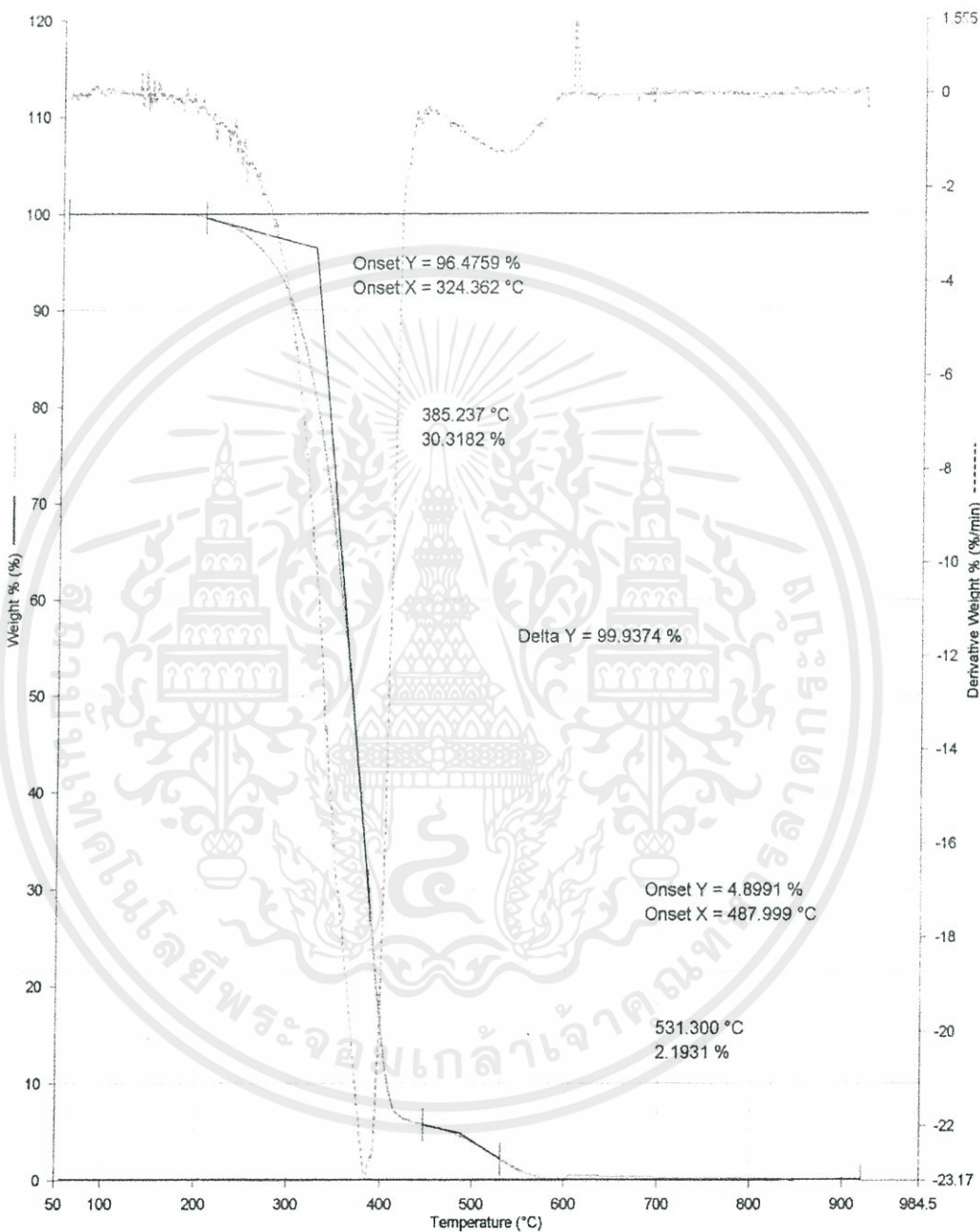
1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

1/27/2014 3:00:52 PM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ของเอกสารดังข้างต้นของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ค-1 Coumaron Resin G90

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data \Hikorez.th1d	2014/1/27: Hikorez
Data Collected:	1/27/2014 10:53:54 AM	Unsubtracted Weight % (%): Step: 1
Operator ID:	Sujanjira	2014/1/27: Hikorez
Sample ID:	2014/1/27	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min): Step: 1
Sample Weight:	20.084 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	Hikorez	



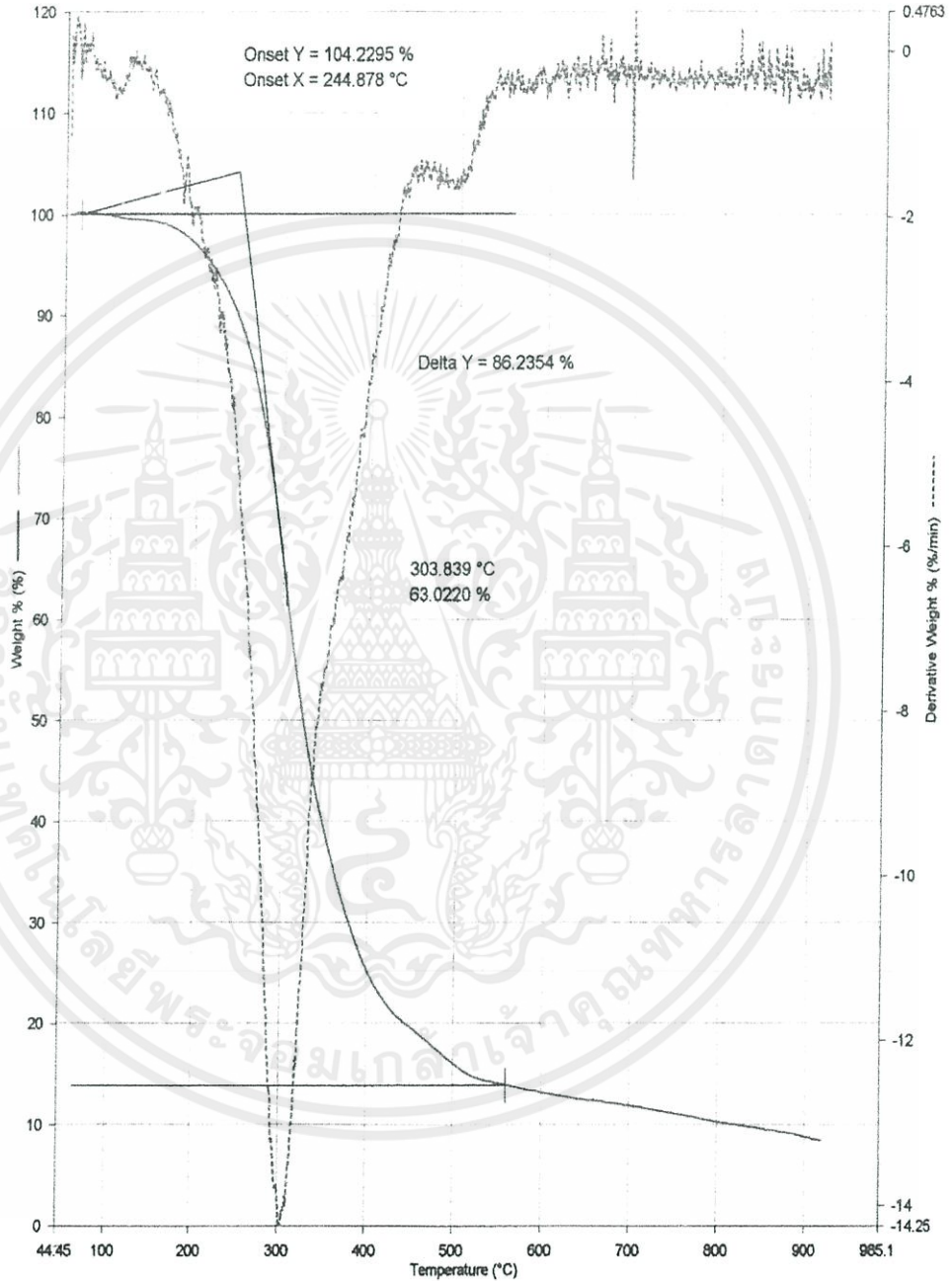
1/27/2014 11:12:48 AM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

รูปที่ ค-2 Hikorez R-1100S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Dat...\Koresin2.th1d	10/02/2557: Koresin2
Data Collected:	2/10/2014 12:22:32 PM	Unsubtracted Weight % (%): Step: 1
Operator ID:	Aurjima	10/02/2557: Koresin2
Sample ID:	10/02/2557	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min): Step: 1
Sample Weight:	8.829 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	Koresin2	

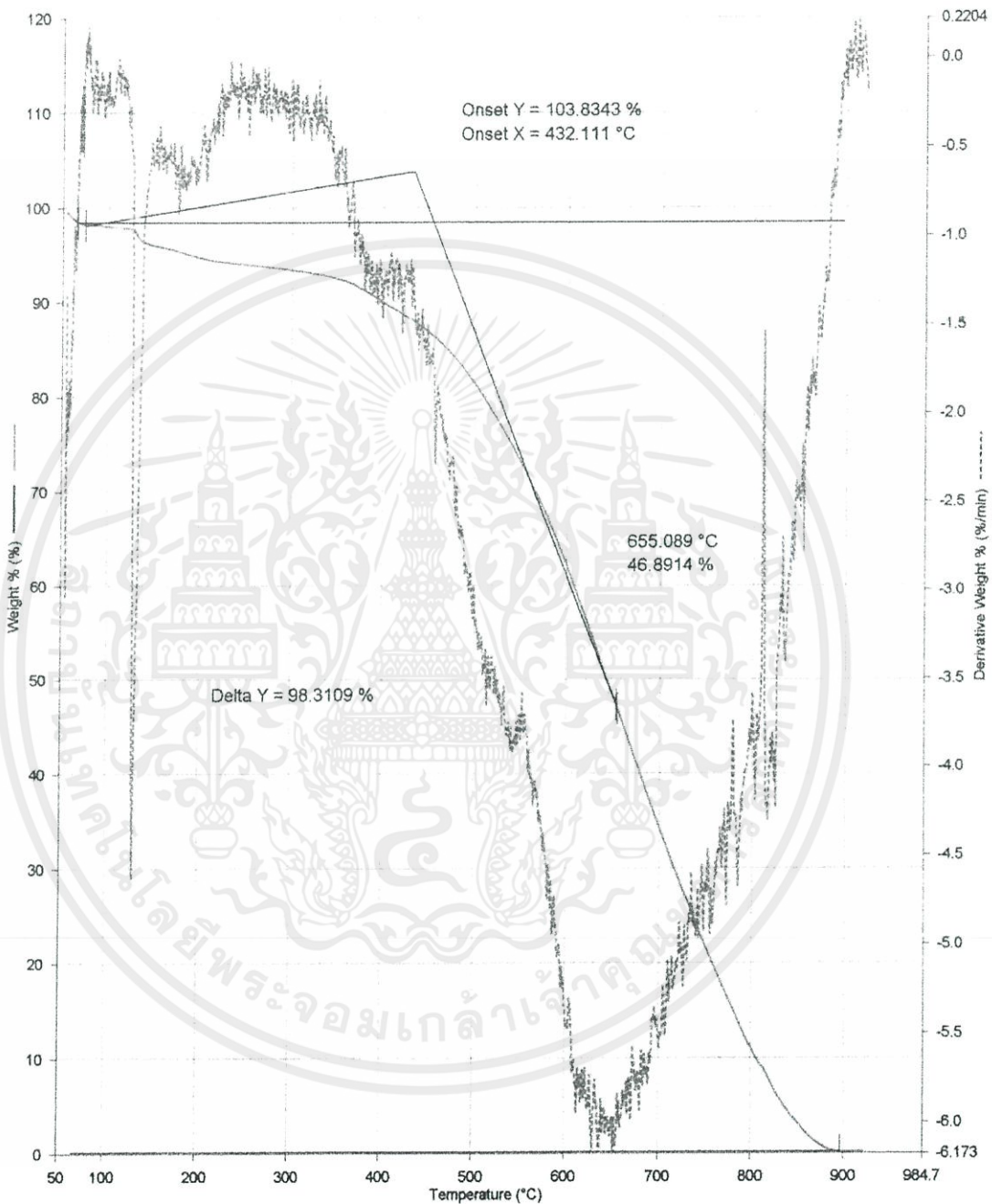


2/10/2014 12:25:02 PM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **รูปที่ ค-3 Koresin** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data.\Sirfen2.th1d	10/02/2557: Sirfen2
Data Collected:	2/10/2014 10:19:43 AM	Unsubtracted Weight % (%): Step: 1
Operator ID:	Auljima	10/02/2557: Sirfen2
Sample ID:	10/02/2557	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min): Step: 1
Sample Weight:	8.317 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	Sirfen	

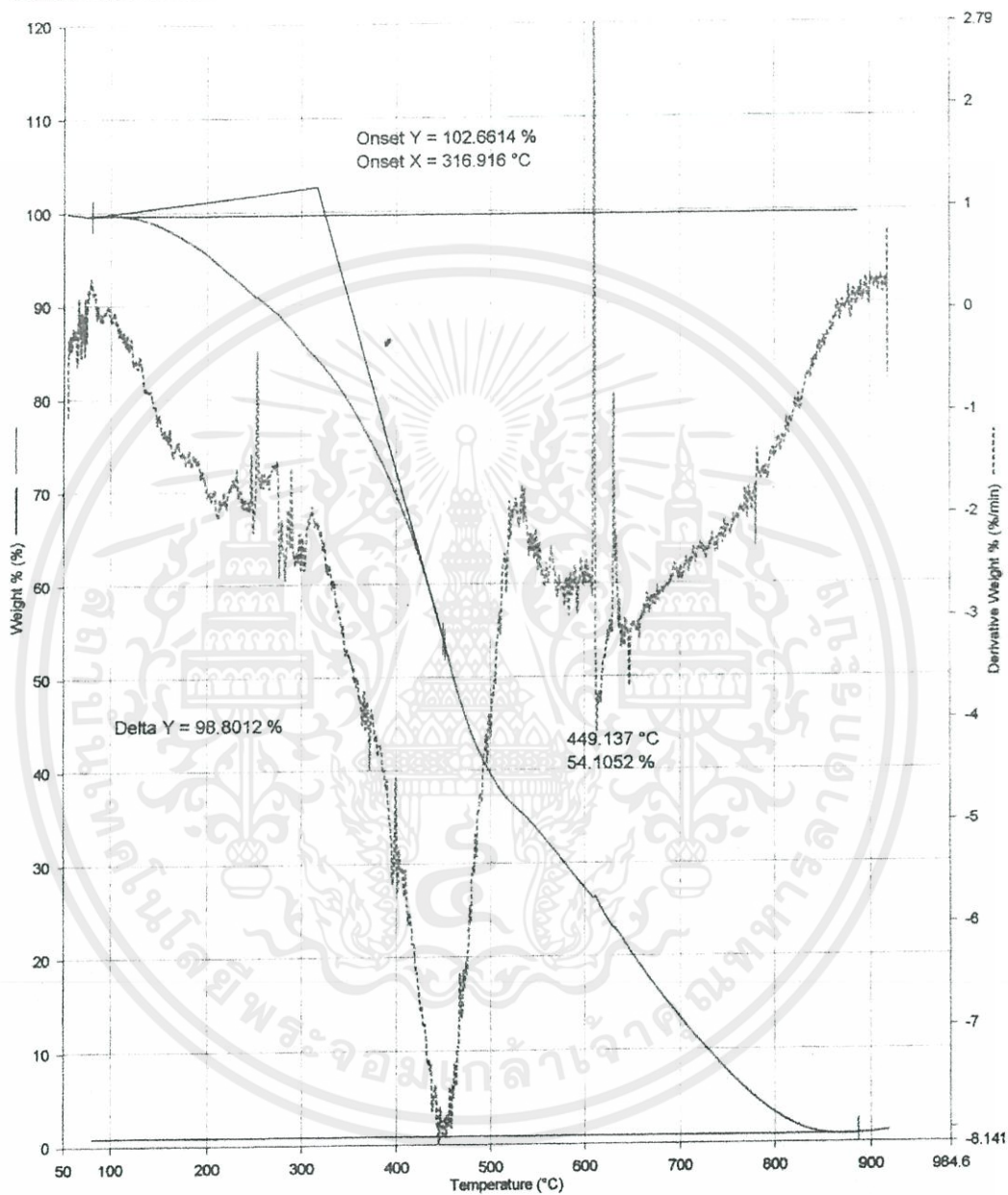


2/10/2014 10:22:31 AM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ ก-4 Sirfen BL302 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\SL1801.th1d	3/02/2557: SL1801
Data Collected:	2/3/2014 10:20:40 AM	Unsubtracted Weight % (%): Step: 1
Operator ID:	Autjima	3/02/2557: SL1801
Sample ID:	3/02/2557	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min): Step: 1
Sample Weight:	11.955 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	SL1801	

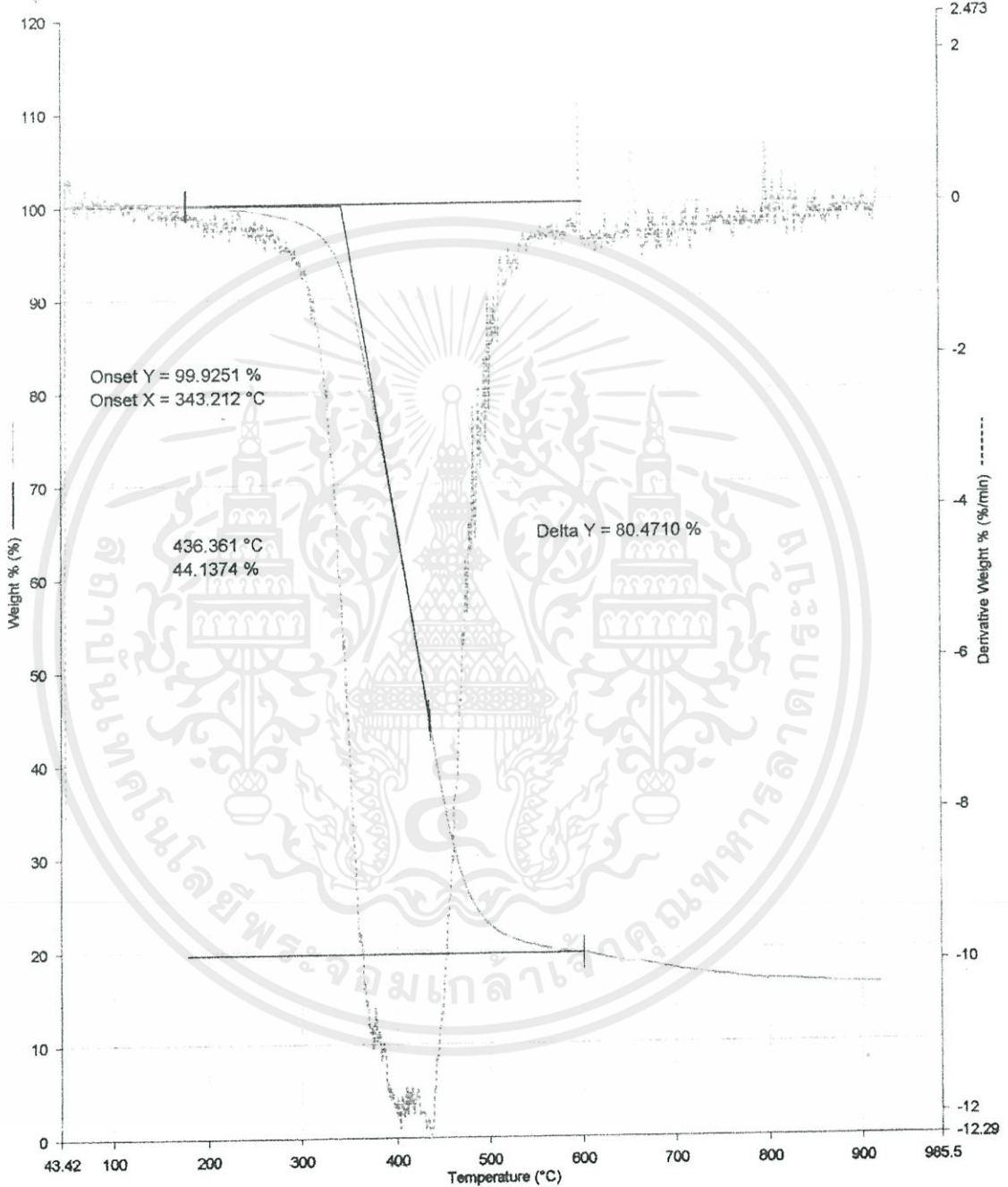


2/10/2014 10:39:15 AM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ ค-5 SL 1801
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์สิ่งใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Filename:	C:\Program Files\Pyris\Data\Struktol th1d	3/02/2557: Struktol
Data Collected:	2/3/2014 12:24:19 PM	Unsubtracted Weight % (%) : Step: 1
Operator ID:	Autjima	3/02/2557: Struktol
Sample ID:	3/02/2557	Derivative Unsubtracted Weight % (%/min) : Step: 1
Sample Weight:	8.780 mg	
Total Points in Run:	2551	
Initial Purge Gas:	Nitrogen	
Comment:	Struktol	



2/3/2014 12:26:19 PM

1) Heat from 50.00°C to 900.00°C at 20.00°C/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานรูปที่ ค-6 Struktol TH110 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

โครมาโทแกรม (Chromatogram) น้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มการยึดติดชนิดต่างๆ โดย
เทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC)

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 14-Mar-14 1:56:48 PM

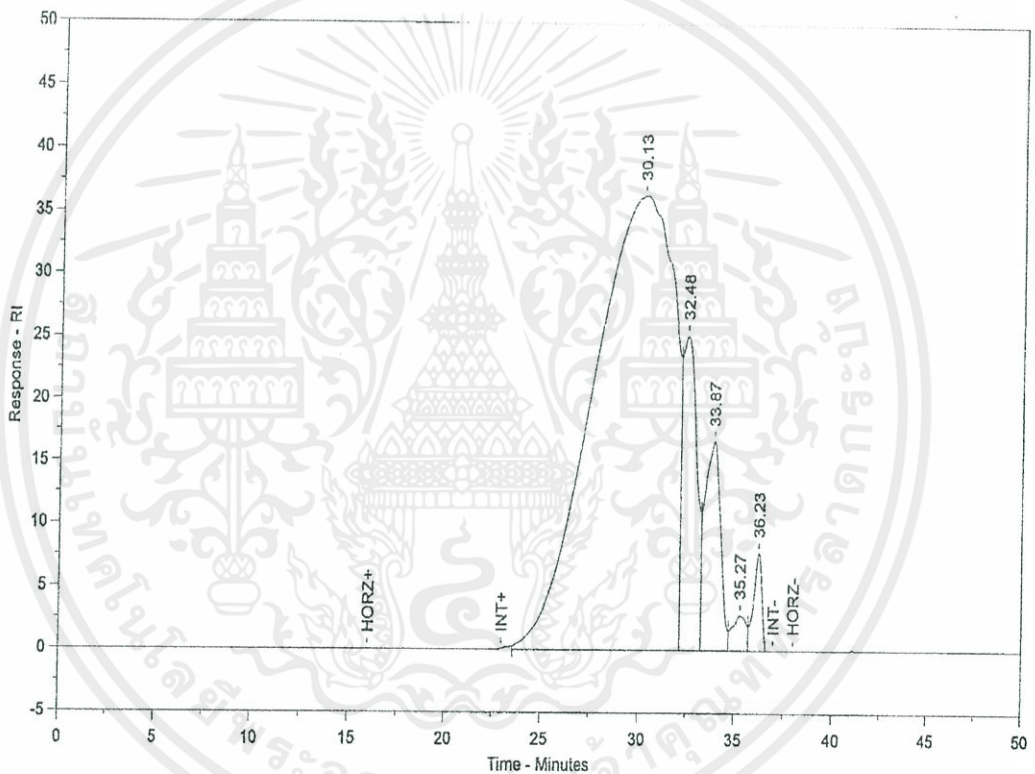
Sample name : COUMARON

Lot. No. : -

File = d:\GPC\COUMARON(HARUYAMA).0001.R

Sample Source : HARUYAMA

Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	30.13	10453882	79.94	557	778	1145	1630	1.39650
2	32.48	1314370	89.99	193	196	200	202	1.01614
3	33.87	942827	97.20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	35.27	136997	98.25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	36.23	229173	100.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)
200000	30	471	724	1138	1695	724	1.53832

รูปที่ ง-1 Coumaron Resin G90

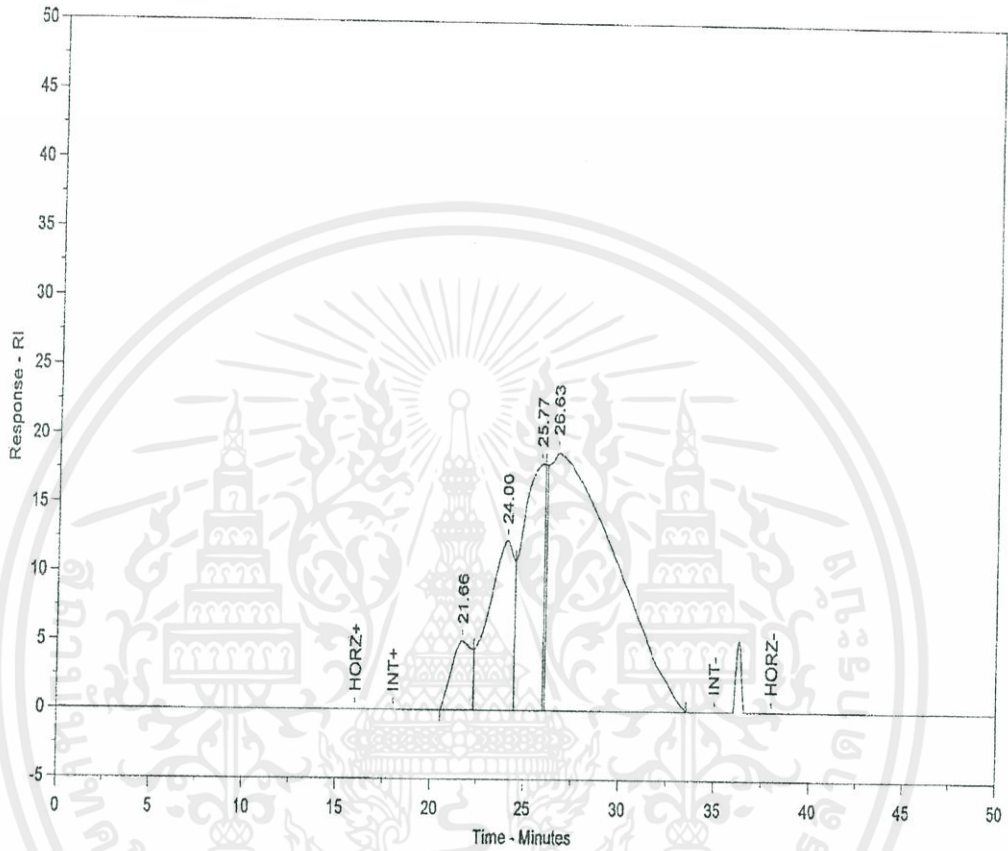
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 14-Mar-14 12:47:21 PM
 Sample name : HIKORES
 Lot. No. : -

File = D:\GPC\HIKORES(HARUYAMA),0001.RAW
 Sample Source : HARUYAMA
 Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	21.66	364751	4.82	9763	10289	10916	11632	1.05394
2	24.00	1161046	20.18	4376	4553	4752	4966	1.04046
3	25.77	1409131	38.81	2499	2548	2599	2650	1.01970
4	26.63	4627140	100.00	719	976	1200	1364	1.35813
Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)	
200000	30	1044	2267	4682	7801	2267	2.17060	

รูปที่ ง-2 Hikorez R-1100S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 14-Mar-14 4:09:27 PM

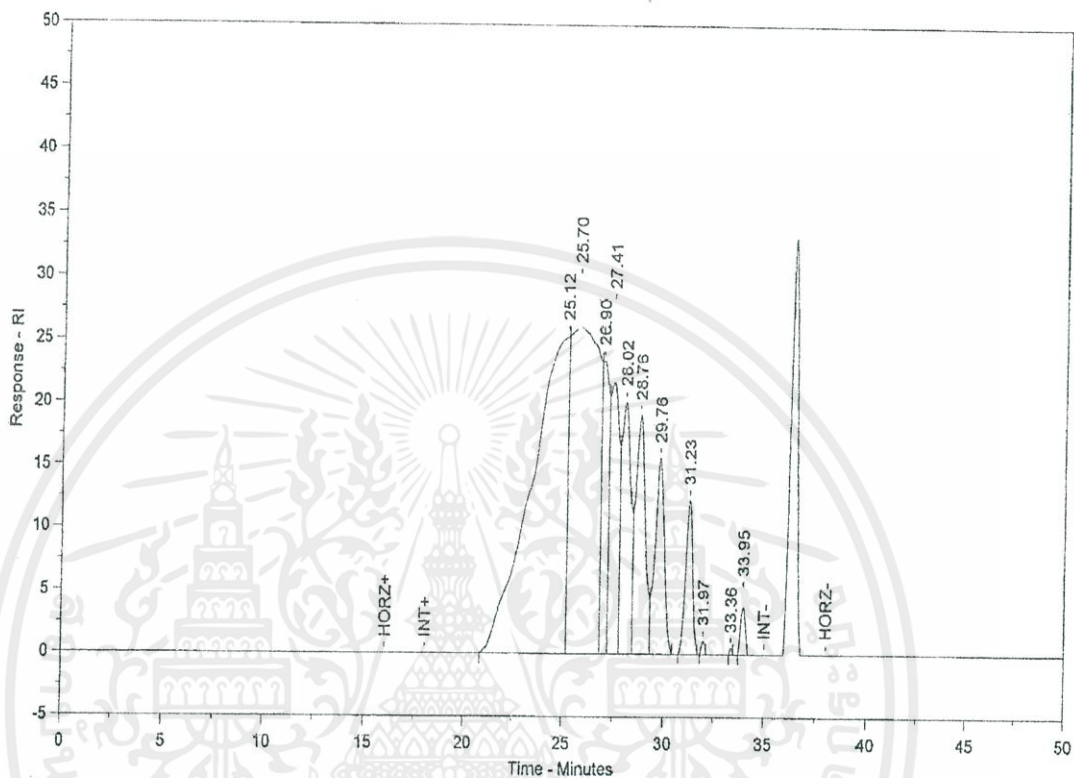
Sample name : KORESIN

Lot. No. : -

File = D:\GPC\KORESIN.0001.RAW

Sample Source : SH (Tackifier resin)

Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	25.12	3143958	34.79	3835	4280	4948	5876	1.11600
2	25.70	2483615	62.27	1973	2023	2073	2122	1.02534
3	26.90	560861	68.48	1405	1407	1410	1412	1.00170
4	27.41	658935	75.77	1192	1196	1199	1203	1.00287
5	28.02	654149	83.01	976	979	983	986	1.00362
6	28.76	655752	90.26	767	771	775	778	1.00479
7	29.76	504108	95.84	565	568	571	573	1.00467
8	31.23	298859	99.15	347	348	349	350	1.00325
9	31.97	13260	99.30	259	259	259	259	1.00098
10	33.36	4523	99.35	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
11	33.95	59039	100.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)
200000	30	1410	2406	3717	5198	2406	1.70620

รูปที่ 3-3 Koresin

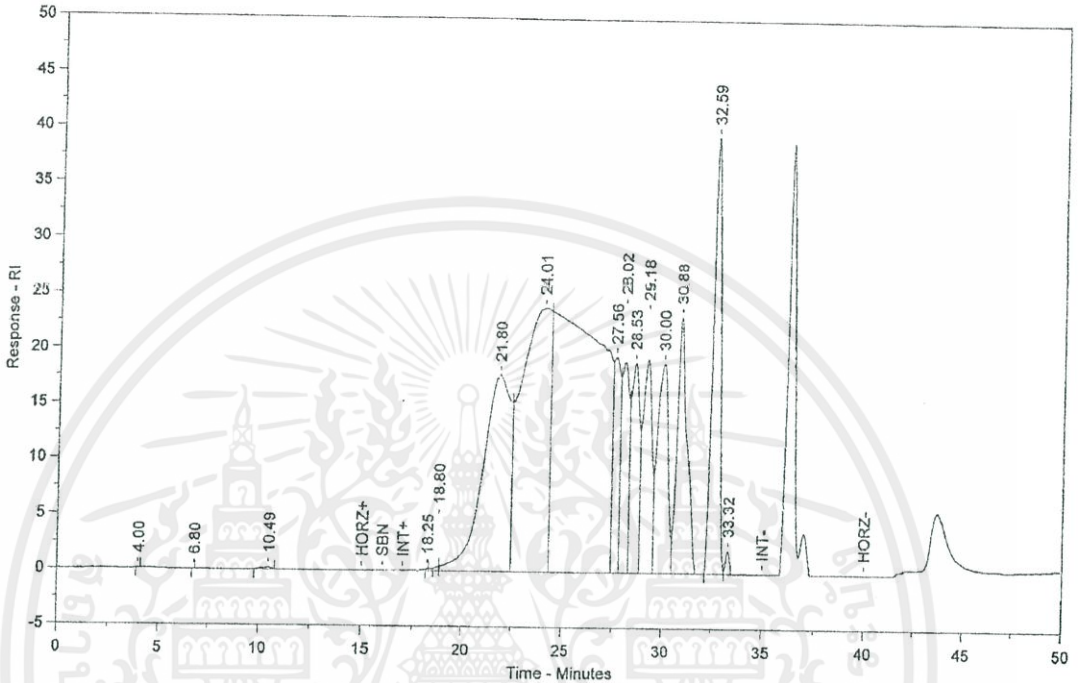
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 25-Feb-14 2:28:04 PM
 Sample name : Srifen
 Lot No. : -

File = D:\GPC\Sirfen (TC).0001.RAW
 Sample Source : Customer
 Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	4.00	412	0.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	6.80	290	0.01	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	10.49	7216	0.09	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	18.25	1851	0.11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	18.80	5786	0.18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6	21.80	1690357	19.56	9506	10356	11540	13128	1.08941
7	24.01	2320677	46.17	4487	4635	4794	4956	1.03313
8	27.56	448479	51.31	1141	1143	1144	1146	1.00151
9	28.02	518535	57.26	984	986	988	990	1.00216
10	28.53	553680	63.60	828	830	833	835	1.00257
11	29.18	626837	70.79	678	680	682	684	1.00340
12	30.00	723134	79.08	527	530	532	534	1.00464
13	30.88	811156	88.38	375	377	380	382	1.00664
14	32.59	985139	99.68	189	191	192	193	1.00646
15	33.32	28109	100.00	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)	
200000	30	908	3060	6728	10513	3060	3.37061	

รูปที่ 4- Sirfen BL302

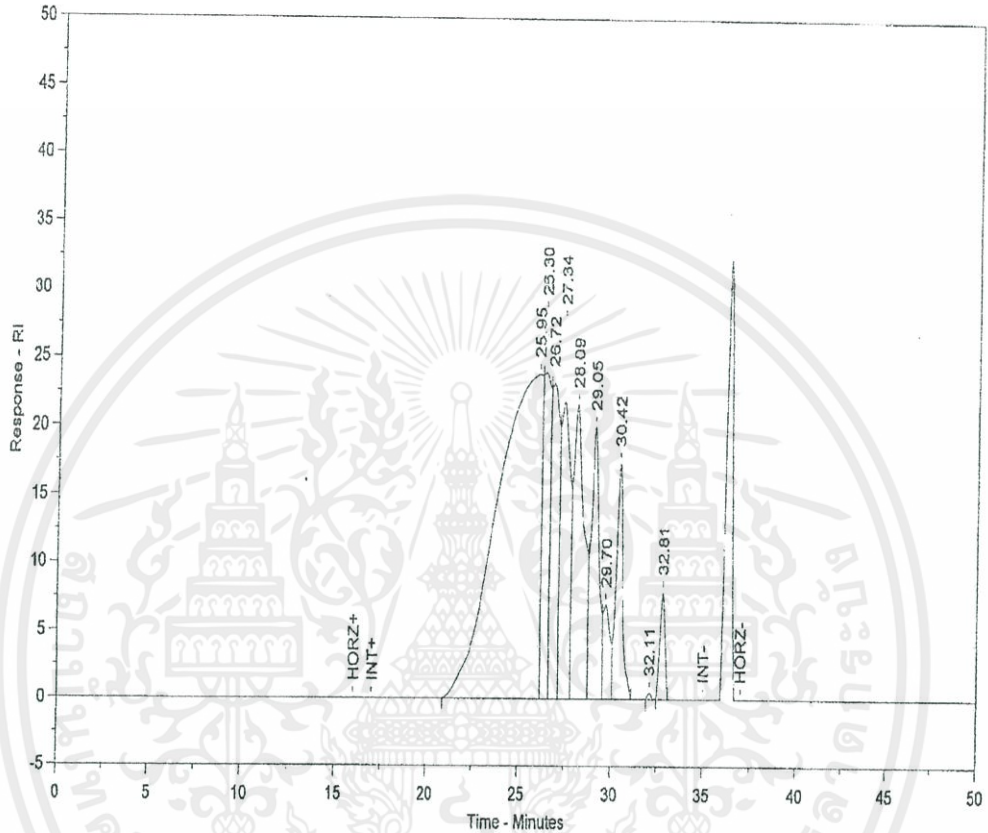
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 14-Mar-14 10:38:01 AM
 Sample name : SL-1801
 Lot. No. :-

File = D:\GPC\SL-1801(HARUYAMA).0001.RAW
 Sample Source : HARUYAMA
 Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	25.95	3863434	46.65	3005	3426	4055	4945	1.14042
2	26.30	650886	54.51	1752	1756	1759	1763	1.00206
3	26.72	680115	62.72	1472	1476	1480	1484	1.00256
4	27.34	778042	72.11	1207	1212	1217	1222	1.00411
5	28.09	897091	82.94	927	934	941	948	1.00743
6	29.05	619971	90.43	697	700	703	705	1.00413
7	29.70	183643	92.65	561	562	563	564	1.00215
8	30.42	440823	97.97	452	454	456	457	1.00390
9	32.11	6365	98.05	243	243	244	244	1.00117
10	32.81	161745	100.00	170	171	172	172	1.00449

Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)
200000	30	1209	2165	3317	4589	2165	1.78981

รูปที่ ง-5 SL 1801

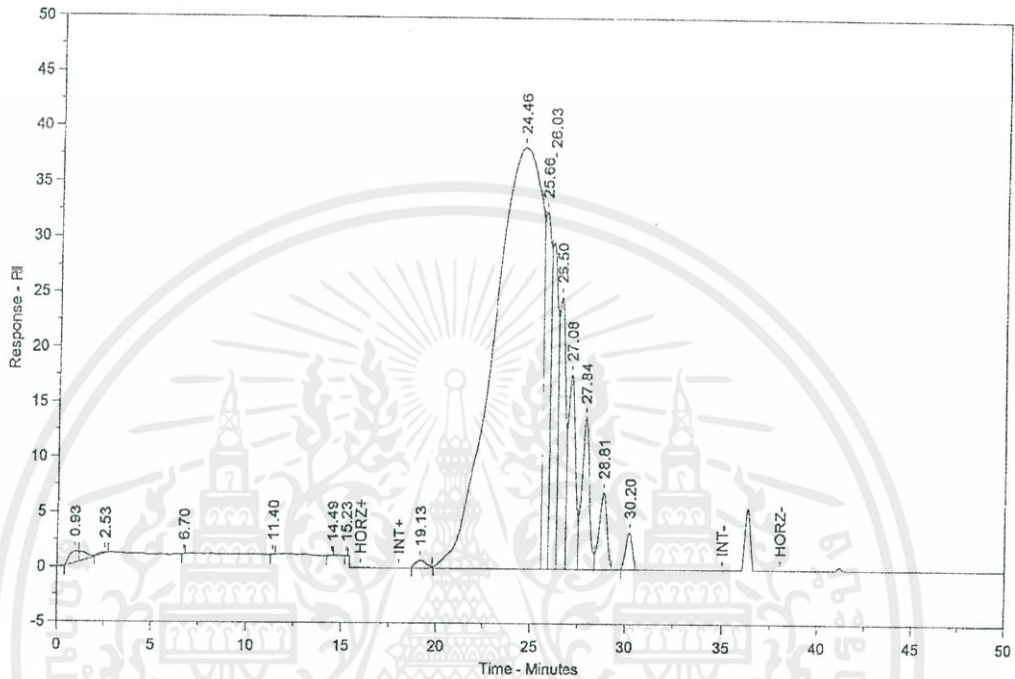
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chrom Perfect Chromatogram Report

Thai GCI Resitop Co.,Ltd.

Analysis date = 14-Mar-14 2:58:12 PM
 Sample name : STRUCTOL
 Lot No. : -

File = d:\GPC\STRUCTOL(HARUYAMA).0001.RA
 Sample Source : HARUYAMA
 Analysis by : QC



Peak#	RT	Area	Area Cum	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mw/Mn(PI)
1	0.93	37884	0.39	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
2	2.53	5658	0.45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
3	6.70	329	0.45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
4	11.40	461	0.45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
5	14.49	900	0.46	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
6	15.23	264	0.47	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
7	19.13	26998	0.74	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
8	24.46	6561445	67.83	3762	4399	5588	7906	1.16924
9	25.66	724537	75.24	2168	2171	2174	2177	1.00140
10	26.03	660083	81.99	1901	1904	1906	1909	1.00156
11	26.50	619120	88.32	1636	1639	1643	1647	1.00227
12	27.08	486123	93.29	1350	1354	1359	1363	1.00312
13	27.84	385870	97.24	1050	1054	1058	1062	1.00380
14	28.81	190932	99.19	771	773	776	778	1.00309
15	30.20	79392	100.00	493	494	495	496	1.00182
Start Mw	Stop Mw	Mn	Mw	Mz	Mz+1	Mv	Mw/Mn(PI)	
200000	30	2485	3507	5016	7589	3507	1.41138	

รูปที่ ง-6 Struktol TH110

แหล่งที่มา: โครมาโทแกรมแสดงการกระจายน้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มการยึดติดทั้ง 6 ชนิด

ตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Gel Permeation Chromatography (GPC) โดย บริษัท ไทยจีซีไอเรซิทอป จำกัด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในบริษัทฯ เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ก็ตาม ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้