ภาคผนวก

1. การประชุมเสนอผลงานงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 3 (The 3rd PSU Symposium on Graduate Research)
2. นิพนธ์ต้นฉบับ (Manuscript)

ผลงานการประชุมเสนอผลงานงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 3

ความเข้ากันได้และสมบัติเชิงกลของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็ม

Compatibility and Mechanical Properties of NR/BR/EPDM Blends

อิรฟัน มะแซสาอิ, เจริญ นาคะสรรค์*, อาซีซัน แกสมาน และ กรรณิการ์ สหกะโร

Irfun Masaesa-i, Charoen Nakason, Azizon Kaesaman and Kannika Sahakaro

Department of Rubber Technology and Polymer Science, Faculty of Science and Technology, Prince of Songkla University, Pattani, 94000.

บทคัดย่อ :

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้ากันได้ของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการวัลคาไนซ์ร่วมกันของยางทั้งสาม โดยวิธีการ precuring ยางอีพีดีเอ็ม เพื่อให้เกิดการวัลคาไนซ์บางส่วน ก่อนทำการเบลนด์กับยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนที่อัตราส่วนต่างๆ จากนั้นจึงทำการทดสอบสมบัติเชิงกล เปรียบเทียบกับยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็มที่ไม่ผ่านการ precuring จากการทดสอบสมบัติทางรีโอโลยี พบว่า ค่าความเค้นเฉือนของยางเบลนด์ที่ทุกอัตราส่วนการเบลนด์มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราเฉือน ในขณะที่ค่าความหนืดเฉือนมีค่าลดลง

Abstract

Covulcanization of elastomer blends of natural rubber (NR), butadiene (BR) and ethylene-propylene-diene (monomer) rubber (EPDM) was investigated. This lead to improvememnt of vulcanization characteristic of the rubber vulcanizate. Precuring method by dynamic and static method was studied. Therefore partial vulcanization took place before blending EPDM with NR and BR at various blend compositions. Mechanical properties of NR/BR/EPDM and NR/BR/procuring EPDM were compared. Rheological properties of the blends were also investigated using a capillary rheometer. It was found shear stress of the blends increased while shear viscosity decrease with increasing shear rate.

Keywords : elastomer blends, covulcanization, precuring, compatibility, ethylene-propylene-diene rubber (EPDM)

นิพนธ์ต้นฉบับ

ความเข้ากันได้และสมบัติเชิงกลของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็ม

Compatibility and Mechanical Properties of NR/BR/EPDM Blends

อิรฟีน มะแซสาอิ เจริญ นาคะสรรค์ อาซีซัน แกสมาน กรรณิการ์ สหกะโร
ภาควิชาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเข้ากันได้ของยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็ม เพื่อปรับปรุงความสามารถในการวัลคาไนซ์ร่วมกันของยางทั้งสาม โดยวิธีการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนก่อนทำการเบลนด์กับยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนที่อัตราส่วนต่างๆ การวัลคาไนซ์บางส่วนของยางอีพีดีเอ็มทำโดยเทคนิคการวัลคาไนซ์แบบสแตติกและไดนามิกส์โดยการใช้ตู้อบอากาศร้อนและเครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์ ตามลำดับ พบว่าการวัลคาไนซ์แบบสแตติกที่เหมาะสม คือ การนำยางอีพีดีเอ็มมาอบด้วยอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำมาเบลนด์ร่วมกับยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน จึงจะให้สมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนเทคนิคการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ พบว่าจะต้องนำยางอีพีดีเอ็มมาทำการวัลคาไนซ์บางส่วนที่ระดับการวัลคาไนซ์ 20 เปอร์เซ็นต์ของค่าทอร์กสูงสุดของเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ที่อุณหภูมิ 100°C แล้วนำมาเบลนด์ร่วมกับยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน เมื่อเปรียบเทียบการทำวัลคาไนซ์บางส่วนแบบสแตติกกับไดนามิกส์ และแบบปกติ พบว่าการทำวัลคาไนซ์บางส่วนแบบไดนามิกส์ ให้สมบัติเชิงกลและสมบัติวัลคาไนซ์ที่ดีกว่าแบบสแตติก และแบบปกติ ตามลำดับ

คำสำคัญ : ความเข้ากันได้, การวัลคาไนเซชันร่วม, ยางเบลนด์

Abstract

Covulcanization of elastomer blends of natural rubber (NR), butadiene (BR) and ethylene-propylene-diene monomer (EPDM) rubber was investigated. It was aimed to improve the vulcanization characteristic of the rubber blend. Precuring by static and dynamic techniques was performed on EPDM compound before blending with NR/BR. Therefore, partial vulcanization took place before blending EPDM with NR/BR at various blend compositions. Static and dynamic precuring of EPDM were performed using a hot air oven and Brabender Plasticorder, respectively. In static precuring technique, it was found that treating EPDM compounds at 100°C for 5 hr provided the best mechanical properties of the blend vulcanizate. The EPDM compounds were partially vulcanized in a Brabender Plasticorder at various mixing conditions. In dynamic precuring technique, it was found that the partially vulcanized EPDM prepared using 20% of a maximum torque at 100°C gave the superior curing and mechanical properties. Furthermore, the vulcanizates of the blends from dynamic precuring technique is superior than that of static precuring and conventional techniques, respectively.

Keywords : compatibility, covulcanization, rubber blend

1. บทนำ

อุตสาหกรรมยางรถยนต์ของประเทศไทยมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว เนื่องจากประเทศไทยเป็นฐานการผลิตรถยนต์ที่สำคัญของบริษัทชั้นนำของโลก เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบ คือยางธรรมชาติเป็นจำนวนมาก ดังนั้นอุตสาหกรรมนี้จึงมีการแข่งขันกันสูง ทำให้จำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สูงตามไปด้วย แก้มยางเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของยางล้อ ซึ่งโดยทั่วไปจะผลิตจากยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติกับยางบิวทาไดอีน [1] โดยมีสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ (antioxidant) ประเภทสารประกอบเอมีนทำหน้าที่ป้องกันการเสื่อมจากสภาวะแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากออกซิเจน และโอโซน เนื่องจากแก้มยางเป็นส่วนประกอบที่มีการยืดหยุ่นสูง จึงมีโอกาสที่ออกซิเจนและโอโซนเข้าสู่ระบบยางได้ง่าย ทำให้ต้องมีการใช้สารแอนติออกซิแดนซ์ในปริมาณที่ค่อนข้างสูง พบว่าเมื่อใช้งานยางไประยะหนึ่งจะเกิดการเคลื่อนย้าย (migration) ของสารแอนตี้ออกซิแดนซ์มายังบริเวณผิวของยาง [2] ซึ่งสามารถถูกชะล้างออกได้ เมื่อมีฝนหรือแรงเสียดสีทางกลทำให้ปริมาณสารแอนตี้ออกซิแดนซ์ในยางน้อยลง ส่งผลให้ยางเกิดการเสื่อมได้ง่ายขึ้น แนวทางเลือกหนึ่งที่สามารถปรับปรุงสมบัติด้านการทนทานต่อสภาพแวดล้อมของแก้มยาง คือการใช้ยางอีพีดีเอ็ม ซึ่งเป็นยางที่ทนทานต่อความร้อน สภาพอากาศ และโอโซนได้ดี เบลนด์กับยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีน ทำให้ได้แก้มยางที่มีสมบัติความต้านทานต่อสภาวะแวดล้อมดีขึ้น คาดว่าจะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้แอนติออกซิแดนซ์ลง อย่างไรก็ตามเป็นที่ทราบกันดีว่ายางแต่ละชนิดมีลักษณะการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกันโดยยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนมีอัตราการวัลคาไนซ์เร็ว ในขณะที่ยางอีพีดีเอ็มมีอัตราการวัลคาไนซ์ที่ช้า ทำให้ยางเบลนด์ที่ได้มีระดับการวัลคาไนซ์ที่แตกต่างกัน [3-5] จึงประสบปัญหาความไม่เข้ากันของอัตราการวัลคาไนซ์ของยาง และมีปัญหาการกระจายตัวของสารเคมี โดยเฉพาะสารตัวเติมซึ่งใช้ในปริมาณมากจะกระจายตัวในยางแต่ละเฟสไม่เท่ากัน [6] ส่งผลให้ไม่สามารถควบคุมคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางได้ตามต้องการ

งานวิจัยนี้เป็นการเตรียมยางเบลนด์ระหว่างยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน/ยางอีพีดีเอ็ม โดยทำการปรับปรุงสมบัติความเข้ากันได้ของยางเบลนด์โดยใช้ยางอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนแบบสแตติก และแบบไดนามิกส์ ก่อนทำการเบลนด์กับยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีน จากนั้นทดสอบสมบัติเชิงกลยางเบลนด์ที่ได้

2. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวัลคาไนซ์แบบปกติ (Conventional vulcanization technique)

เตรียมคอมปาวด์ของยางเบลนด์ เพื่อศึกษาลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์ โดยการบดผสมยางธรรมชาติก่อนเป็นเวลา 4 นาที จากนั้นจึงใส่ยางบิวทาไดอีน บดต่อจนเป็นเป็นเนื้อเดียวกัน ประมาณ 2 นาที และใส่ยางอีพีดีเอ็ม บดต่ออีก 2 นาที เติมสารเคมีชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดการผสมยางกับสารเคมีแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สูตรที่ใช้ในการเตรียมคอมปาวด์

Ingredients	Quantity (phr)					
	1	2	3	4	5	6
ADS	50	47.5	45	40	35	30
BR (BR 01)	50	47.5	45	40	35	30
EPDM	-	5	10	20	30	40
ZnO	4	4	4	4	4	4
N-330	50	50	50	50	50	50
Naphthenic oil	6	6	6	6	6	6
Stearic acid	1	1	1	1	1	1
6PPD	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
TMQ	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Paraffin wax	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
CBS	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Sulfur	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

นำคอมปาวด์มาทำการวัลคาไนซ์ที่อุณหภูมิ 150 °C โดยใช้เวลาในการวัลคาไนซ์จากการทดสอบด้วยเครื่อง ODR 2000 จากนั้นนำยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้มาทดสอบสมบัติสมบัติด้านการดึงตามมาตรฐาน ASTM D412-98a.

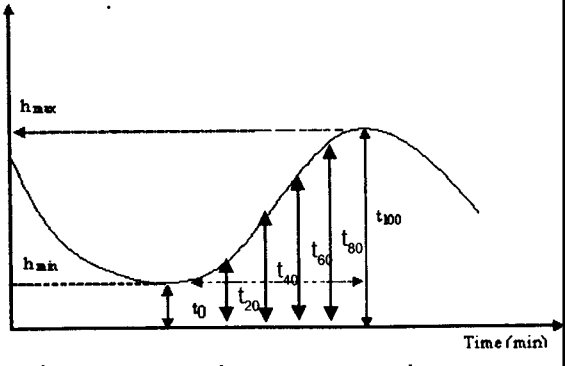
2. การวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วน

2.1 การวัลคาไนซ์บางส่วนแบบสแตติก (Static precuring technique)

เตรียมคอมปาวด์ของยางอีพีดีเอ็ม ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้งโดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำคอมปาวด์ของยางอีพีดีเอ็มรีดเป็นแผ่นหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วนำมาทำการวัลคาไนซ์บางส่วนโดยการอบในตู้อบอากาศร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 100 °C แปรเวลาการอบที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ จากนั้นนำยางอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์แล้วบางส่วนมาเบลนด์กับยางธรรมชาติ ที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการให้ความร้อนยางอีพีดีเอ็มก่อนทำการเบลนด์ เมื่อทราบเวลาในการทำการวัลคาไนซ์บางส่วนของยางอีพีดีเอ็มที่เหมาะสมแล้ว จึงนำยาง อีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนที่เวลาการอบที่เหมาะสมมาทำการเบลนด์กับคอมปาวด์ของยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีนที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก โดยแปรอัตราส่วนของยางอีพีดีเอ็ม เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ

2.2 การวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบไดนามิกส์ (Dynamic precuring technique)

เตรียมคอมปาวด์ของยางอีพีดีเอ็มที่อัตราส่วนต่างๆ บนเครื่องบดผสมยางสองลูกกลิ้ง โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 หลังจากนั้นนำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้มาทำการวัลคาไนซ์บางส่วนโดยให้ความร้อนในเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ (Brabender Plasticorder) ที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็ว โรเตอร์ 60 รอบต่อนาที และ Fill factor เท่ากับ 0.8 โดยแปรระดับของค่าทอร์ก โดยสังเกตจากค่าทอร์กของเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ ที่ระดับ 20, 40, 60 และ 80 % ของค่าทอร์กสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อ t_0, t_{20}, t_{40}, t_{60} และ t_{80} คือ ค่าทอร์กที่ต่ำสุด ค่าทอร์กที่ 0, 20, 40, 60 และ 80% ของค่าทอร์กสูงสุด (t_{100}) ตามลำดับ



รูปที่ 1 แผนภาพค่าทอร์กที่วัดจากห้องผสมของเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์

จากนั้นนำยางคอมปาวด์ของอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนที่ระดับของค่าทอร์ก เท่ากับ 0, 20, 40, 60 และ 80 % ของค่าทอร์กสูงสุด มาเบลนด์กับคอมปาวด์ของยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีนที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก โดยแปรปริมาณของคอมปาวด์ยางอีพีดีเอ็ม เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ

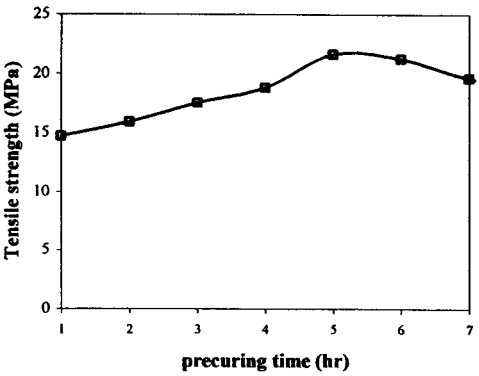
นำยางอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนที่ระดับของค่าทอร์กที่เหมาะสมมาเบลนด์กับคอมปาวด์ของยางธรรมชาติ/ยางบิวทาไดอีนที่อัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก โดยแปรอัตราส่วนของยางอีพีดีเอ็ม เท่ากับ 5, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

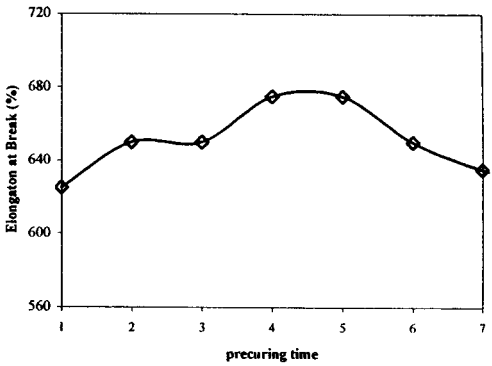
3.1 ศึกษาอิทธิพลของการทำการวัลคาไนซ์บางส่วน (Precuring) ต่อสมบัติของยางเบลนด์

3.1.1 การวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติก (Static precuring technique)

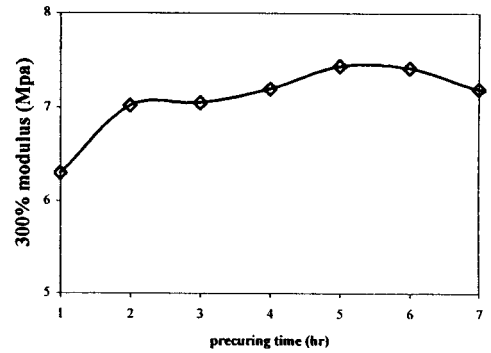
นำยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมแบบวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติกที่เตรียมได้จากหัวข้อที่ 2.1 มาทดสอบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 ถึง 4



รูปที่ 2 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์ระหว่าง NR/EPDM แบบสแตติก



รูปที่ 3 ค่าระยะยืดของยางเบลนด์ระหว่าง NR/EPDM แบบสแตติก

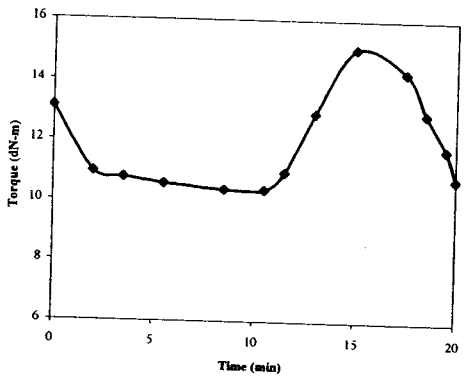


รูปที่ 4 ค่า 300% มอดูลัสของยางเบลนด์ระหว่าง NR/EPDM แบบสแตติก

จากรูปที่ 2 ถึง 4 พบว่า ค่าความต้านทานต่อแรงดึง ค่าความสามารถในการยืดจนขาด และมอดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางเบลนด์ NR/EPDM มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาในการอบ และจะมีค่าสูงสุดที่เวลาในการอบ 5 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากขณะอบยางนั้นยางอีพีดีเอ็มจะเกิดการวัลคาไนซ์ไปบางส่วน ทำให้ยางเบลนด์มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเฟสยางอีพีดีเอ็มและที่บริเวณผิวสัมผัส (interface) ของยางมีค่าใกล้เคียงกัน [5] ดังนั้น การอบยางอีพีดีเอ็มที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จึงมีความเหมาะสม ก่อนนำยางอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนมาเบลนด์กับยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีน

3.1.2 การเบลนด์โดยใช้เทคนิคการวัลคาไนซ์บางส่วนแบบไดนามิกส์ (Dynamic precuring technique)

เมื่อให้ความร้อนแก่ยางอีพีดีเอ็มคอมปาวด์ด้วยเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ ได้ค่าทอร์กดังแสดงในรูปที่ 5



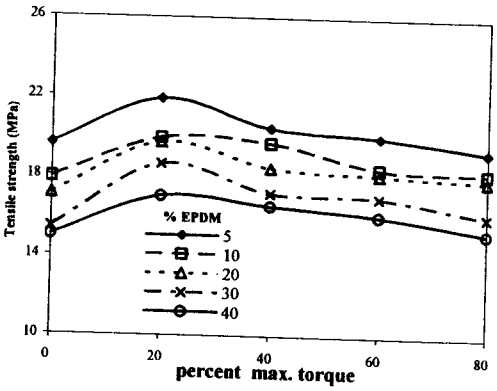
รูปที่ 5 ค่าทอร์กจากเครื่องบราเบนเดอร์ พลาสติคอร์เดอร์

จากรูปที่ 5 นำมาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การวัลคาไนซ์ของยางอีพีดีเอ็มที่ระดับ 0, 20, 40, 60 และ 80% ได้เวลาในการทำการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ของค่าทอร์กสูงสุดที่เวลาต่างๆ

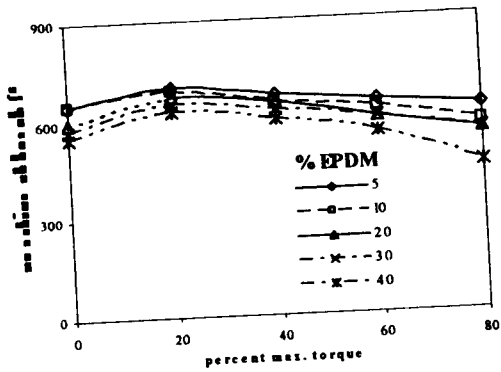
เปอร์เซ็นต์ของค่าทอร์กสูงสุด	เวลา (นาที)
20	11.4
40	12.3
60	13.2
80	14.1

จากนั้นนำคอมปาวด์ยางอีพีดีเอ็มมาทำการวัลคาไนซ์บางส่วนโดยการแปรเวลาในการให้ความร้อนเป็น 0, 20, 40, 60, 80% ของค่าทอร์กสูงสุดมาเบลนด์กับยางคอมปาวด์ของยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีน ที่อัตราส่วนการเบลนด์ เท่ากับ 1 : 1 โดยแปรปริมาณของยางอีพีดีเอ็มเป็น 5, 10, 20, 30 และ 40% ตามลำดับ จากนั้นนำยางวัลคาไนซ์ไปทดสอบสมบัติด้านการดึง ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 6 ถึง 8



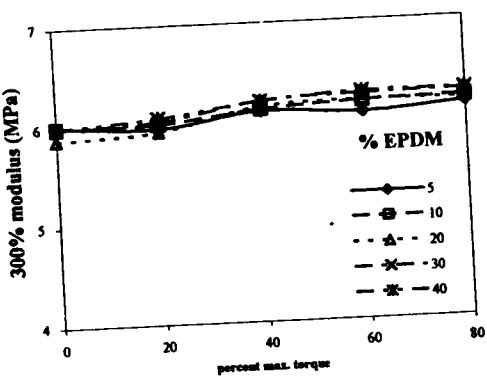
รูปที่ 6 ความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์เมื่อทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์

จากรูปที่ 6 พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของยางอีพีดีเอ็ม ทั้งนี้อาจมีผลมาจากการเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มส่งผลทำให้ปริมาณของพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์ลดลง [5] การมีปริมาณของพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์น้อยทำให้ยางเบลนด์มีความแข็งแรงต่ำ เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลต่ำ ยางเบลนด์จึงมีความต้านทานต่อแรงดึงลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการให้ความร้อนต่อยางอีพีดีเอ็ม ค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง โดยที่ระดับการวัลคาไนซ์ 20% ของค่าทอร์กสูงสุดจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเฟสยางอีพีดีเอ็ม และที่บริเวณผิวสัมผัส (interface) ของยางมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น [5]



รูปที่ 7 ความสามารถในการยืดของยางเบลนด์เมื่อทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์

จากรูปที่ 7 พบว่า ความสามารถในการยืดจนขาดของยางเบลนด์มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณของยางอีพีดีเอ็ม ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มส่งผลทำให้ปริมาณของพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์น้อยลง [5] ซึ่งสามารถอธิบายโดยใช้เหตุผลในทำนองเดียวกับสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง (รูปที่ 6)



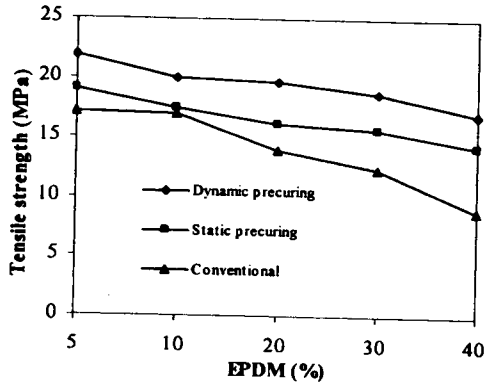
รูปที่ 8 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300%ของยางเบลนด์แบบไดนามิกส์

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางเบลนด์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มระดับของการวัลคาไนซ์บางส่วน ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการให้ความร้อนต่อยางอีพีดีเอ็มเป็นเวลานานอาจทำให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์เพิ่มขึ้น เมื่อได้รับแรงดึงทำให้โมเลกุลยางเคลื่อนที่ได้น้อย ส่งผลทำให้ต้องใช้แรงในการดึงมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาที่ระดับการวัลคาไนซ์เดียวกัน พบว่า การเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มนั้นส่งผลให้ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% เพิ่มขึ้น ซึ่งใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Suma *et al.*, (1993) โดยพบว่าเมื่อปริมาณยางอีพีดีเอ็มเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ยางเบลนด์มีค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่งหลังจากนั้นยางเบลนด์จะมีค่ามอดูลัสลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอัตราส่วนยางอีพีดีเอ็มที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์ลดลง

จากรูปที่ 6 ถึง 8 พบว่า สมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มด้วยบางส่วนด้วยเครื่องบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์มีค่าลดลงตามปริมาณของยางอีพีดีเอ็มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มส่งผลทำให้ปริมาณของพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์ลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการให้ความร้อนต่อยางอีพีดีเอ็มค่าความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลง โดยที่ระดับการวัลคาไนซ์ 20% ของค่าทอร์กสูงสุดจะให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณพันธะเชื่อมโยงของยางเบลนด์ใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกการวัลคาไนซ์ที่ 20% มาศึกษาสมบัติสมบัติเชิงกลต่างๆ

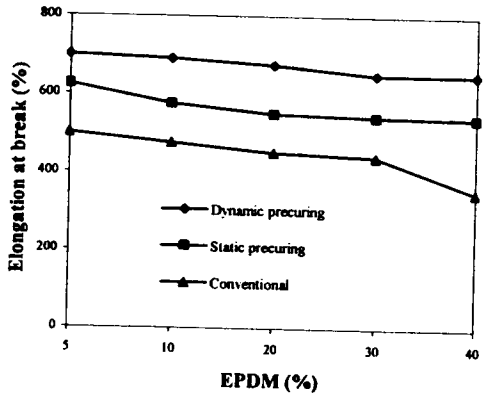
4. เปรียบเทียบอิทธิพลของเทคนิคการเบลนด์แบบต่างๆ ต่อสมบัติความต้านทานต่อแรงดึง

จากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์ที่ได้จากการเบลนด์ที่ใช้ยางอีพีดีเอ็มแบบไม่วัลคาไนซ์บางส่วนกับการเบลนด์ที่วัลคาไนซ์อีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติก และแบบไดนามิกส์ ได้ผลดังรูปที่ 9



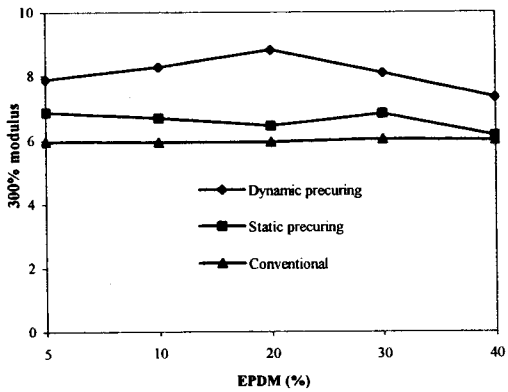
รูปที่ 9 ค่าความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์ NR/BR/EPDM

จากรูปที่ 9 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบสมบัติความต้านทานต่อแรงดึงของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์ที่ทำการ เบลนด์แบบปกติ ยางเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงของยางเบลนด์มีแนวโน้มลดลงตามปริมาณของยางอีพีดีเอ็มที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มในยางเบลนด์ส่งผลทำให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงในยางเบลนด์ลดลง นอกจากนี้การเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบไดนามิกส์มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าการเบลนด์แบบสแตติกและแบบปกติ ตามลำดับ เนื่องจากการเบลนด์โดยการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนทั้งแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ร่วม (covulcanization) ส่งผลให้ยางเบลนด์มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเฟสยางอีพีดีเอ็มและที่บริเวณผิวสัมผัส (interface) ของยางมีค่าใกล้เคียงกัน [5] ส่วนการเบลนด์แบบปกติให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงต่ำที่สุด เนื่องมาจากสารวัลคาไนซ์แพร่ไปยังเฟสของยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนมากกว่าในระหว่างการบดผสมและการวัลคาไนซ์ ทำให้เฟสยางอีพีดีเอ็มเกิดการวัลคาไนซ์ไม่เต็มที่ (undercure) ทำให้ยางไม่เกิดการวัลคาไนซ์ร่วม (covulcanization) ยางเบลนด์แบบปกติจึงมีความต้านทานต่อแรงดึงที่ต่ำกว่า [5]



รูปที่ 10 ความสามารถในการยืดของยางเบลนด์ NR/BR/EPDM

จากรูปที่ 10 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการยืดจนขาดของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์แบบปกติ ยางเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ พบว่า ความสามารถในการยืดจนขาดของยางเบลนด์มีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มปริมาณของยางอีพีดีเอ็ม เนื่องจากการเพิ่มปริมาณยางอีพีดีเอ็มทำให้ปริมาณพันธะเชื่อมโยงลดลง เมื่อปริมาณพันธะเชื่อมโยงลดลงความแข็งแรงของยางลดลงตามไปด้วย นอกจากนี้การ เบลนด์แบบปกติมีค่าความสามารถในการยืดจนขาดต่ำที่สุด เนื่องจากการเบลนด์แบบปกติสารวัลคาไนซ์จะแพร่ไปยังเฟสยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนมากกว่า เป็นผลให้เฟสยางทั้งสองสุกเกินไป (over cure) [5] ส่วนเฟสยางอีพีดีเอ็มเกิดการวัลคาไนซ์ไม่เต็มที่ (under cure) ทำให้ยางเบลนด์มีระดับการวัลคาไนซ์แตกต่างกันยางจึงมีสมบัติด้านการยืดลดลง



รูปที่ 11 ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางเบลนด์ NR/BR/EPDM

จากรูปที่ 11 พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบมอดูลัสที่ระยะยืด 300% ของยางวัลคาไนซ์จากการเบลนด์แบบปกติ ยางเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ พบว่า ค่ามอดูลัสที่ระยะยืด 300% ยางเบลนด์ที่ใช้ยางอีพีดีเอ็มที่วัลคาไนซ์บางส่วนแบบไดนามิกส์สูงกว่ายางเบลนด์แบบสแตติกและแบบปกติ ตามลำดับ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนก่อนทำการเบลนด์กับยางธรรมชาติ และยางบิวทาไดอีนส่งผลทำให้ยางเบลนด์เกิดวัลคาไนซ์ร่วม (covulcanization) ทำให้ยางเบลนด์มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเฟสยางอีพีดีเอ็มและบริเวณผิวสัมผัสกับยางธรรมชาติและยางบิวทาไดอีนมีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น ทำให้ยางมีมอดูลัสที่ระยะยืด 300% สูงขึ้น

5. สรุป

ยางเบลนด์ที่ทำการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ มีสมบัติเชิงกลดีกว่ายางเบลนด์แบบปกติ เนื่องจากการเบลนด์โดยการวัลคาไนซ์ยางอีพีดีเอ็มบางส่วนทั้งแบบสแตติกและแบบไดนามิกส์ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ร่วม (covulcanization) ส่งผลให้ยางเบลนด์มีปริมาณพันธะเชื่อมโยงในเฟสยางอีพีดีเอ็มและที่บริเวณผิวสัมผัส (interface) ของยางมีค่าใกล้เคียงกัน ยางเบลนด์จึงมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Waddell W.H. "Tire Black Sidewall Surface Discoloration and Non-Staining Technology : A Review." **Rubber Chem. Technol**, Vol. 71, 1998,pp. 590-618.

[2] Gardiner J.B. "Curative Diffusion between Dissimilar Elastomers and its Influence on Adhesion." **Rubber Chem. Technol**, Vol.41, 1968, pp. 1312-1328.

[3] Van P.M. and Noordermeer J.W.M. "Design of EPDM for Blend with NR/BR for Tire Sidewalls: Influence of Molecular Structure and Carbon Black Distribution on Properties." **Rubber World**, Vol. 222, 2000, pp. 55-60.

[4] Coran A.Y. "Blend of Dissimilar Rubber-Cure-Rate Incompatibility." **Rubber Chem. Technol.** Vol. 64, 1988, pp. 801-812.

[5] Suma N.; Joseph R. and George, K.E. "Improved Mechanical Properties of NR/EPDM and NR/Butyl Blends by Precuring EPDM and Butyl." **J. Appl. Polym. Sci.** Vol.49, 1993, pp. 549-557.

[6] Callan, J.E.; Hess, W.M. and Scott, C.E. "Carbon Black Distribution in Elastomer Blends." **Rubber Chem. Technol.** Vol. 40, 1967, pp. 371-384.