A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING PROPERTIES OF TIRE TREAD COMPOUNDS

PUCHONG THAPTONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
(POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY)
FACULTY OF GRADUATE STUDIES
MAHIDOL UNIVERSITY
2016

Copyright by Mahidol University

COPYRIGHT OF MAHIDOL UNIVERSITY

A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING PROPERTIES OF TIRE TREAD COMPOUNDS

PUCHONG THAPTONG 5537490 SCPO/D

Ph.D. (POLYMER SCIENCE AND TECHNOLOGY)

THESIS ADVISORY COMMITTEE: CHAKRIT SIRISINHA, Ph.D, PONGDHORN SAE-OUI, Ph.D., PAIROTE JITTHAM, Ph.D.

ABSTRACT

In this study, passenger car radial (PCR) tire tread compounds based on styrene butadiene rubber (SBR) were prepared. Two types of SBR, i.e., solution SBR (SSBR) and emulsion SBR (ESBR), and two types of silica, i.e., highly dispersible silica (HDSi) and conventional precipitated silica (CSi), were compared. Influences of silanization temperature, silane coupling agent (TESPT) content, silica/carbon black (CB) hybrid ratio, filler and processing oil loadings, as well as sulfur vulcanization system and crosslink density on properties of PCR tire tread compounds were investigated. Results showed that although the increase in silanization temperature resulted in the improvement in vulcanizate properties such as modulus, heat build-up (HBU), dynamic set, as well as tire performance, e.g., wet grip (WG), fuel saving efficiency (FSE), and abrasion resistance, great care must be taken to avoid the scorch phenomenon during the mixing at high temperature. It was also found that TESPT content of 10 wt% of silica offers the balanced compound and vulcanizate properties, including tire performance. In silica/CB hybrid filler system, the increase of CB ratio not only deteriorated the HBU and dynamic set, but also impaired the WG and FSE. On the other hand, the abrasion resistance was improved with increasing CB ratio up to 60-80 wt%. As SSBR gave greater degrees of rubber-filler interaction, crosslink density and T_g due to its higher vinyl and bound styrene contents, SSBR provides significantly better WG and abrasion resistance than ESBR. Despite the fact that the simultaneous increases of total filler and oil loadings, in order to keep hardness of the vulcanizate constant, are capable of reducing the material cost, the vulcanizate properties, e.g., tensile strength (TS), elongation at break (EB), HBU, dynamic set, and tire performance, are sacrificed. As expected, the increased curative content not only accelerated the vulcanization process, but also enhanced the crosslink density of the vulcanizates. Although there was an improvement in tire performance, HBU, and dynamic set were found when the crosslink density increased, the TS, EB, including thermal ageing resistance were impaired. Results also revealed that conventional vulcanization (CV) system provides better HBU, dynamic set, WG and FSE than semi-efficient vulcanization (semi-EV) system, attributed mainly to the greater crosslink density of the CV system. However, the semi-EV system imparts superior thermal ageing resistance, compared to the CV system, possibly due to the higher proportion of mono- and di-sulfidic linkages. Surprisingly, silica type played a little role in WG, FSE, and degree of filler dispersion in this study despite the fact that HDSi is claimed to offer greater dispersability. Results suggest that the HDSi could be replaced by the CSi when a sufficiently long mixing time is used. Compared to commercial PCR tires, the best compound formulation developed in this study demonstrates better WG and FSE, suggesting the potential for further development into commercially viable products.

KEY WORDS: STYRENE BUTADIENE RUBBER / SILANE COUPLING AGENT / SILICA-CARBON BLACK HYBRID FILLER / MECHANICAL AND DYNAMIC PROPERTIES / TIRE PERFORMANCE / TREAD

296 pages

การศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์ที่ใช้ในการผลิตดอกยางล้อ

A STUDY OF PARAMETERS AFFECTING PROPERTIES OF TIRE TREAD COMPOUNDS

ภุชงค์ ทับทอง 5537490 SCPO/D

ปร.ด. (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์)

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ชาคริต สิริสิงห, Ph.D., พงษ์ธร แซ่อุย, Ph.D., ไพโรจน์ จิตรธรรม, Ph.D.

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการเตรียมยางคอมพาวด์ที่จะนำไปใช้ผลิตเป็นดอกยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลจากยางสไตรีนบิวทาไดอีน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างยางสไตรีนบิวทาไดอีน 2 ชนิด (ยางโซลูชั่นสไตรีนบิวทาไดอีน (SSBR) และยางอีมัลชั่นสไตรีนบิวทาไดอีน (ESBR)) และซิลิกา 2 ชนิด (ซิลิกาชนิดที่สามารถแตกตัวได้ดี (HDSi) และซิลิกาชนิดทั่วไป (CSi)) นอกจากนี้ ยังได้ทำการศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อสมบัติของยางคอมพาวด์อีกด้วย ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิในขั้นตอนการทำไซลาไนเซชั่น ปริมาณสารคู่ควบไซเลน (TESPT) สัดส่วนสารตัวเติมผสมระหว่างซิลิกาและเขม่าดำ ปริมาณสารตัวเติมและน้ำมัน รวมทั้งระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันและระดับความหนาแน่นของการเชื่อมโยง จากการทดลองพบว่า แม้ว่าการเพิ่มอุณหภูมิในขั้นตอนการทำไซลาไนเซชั่นจะช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของยางวัลคาไนซ์ (เช่น มอดูลัส ความร้อนสะสม การเสียรูปถาวรหลังการกดอัดเชิงพลวัต) อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมรรถนะของดอกยางล้อ (เช่น สมบัติการยึดเกาะบนถนนเปียก การประหยัดเชื้อเพลิง และความทนทานต่อการสึกหรอ) อย่างไรก็ดี การใช้อุณหภูมิในขั้นตอนการทำไซลาไนเซชั่นที่สูงเกินไปอาจก่อให้เกิดปัญหายางตาย (สกอร์ช) ในระหว่างการผสมได้ ยังพบอีกว่าการใช้ TESPT ในปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของซิลิกา ส่งผลให้สมบัติของยางคอมพาวด์และยางวัลคาไนซ์ รวมถึงสมรรถนะของดอกยางล้ออยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาผลของระบบสารตัวเติมผสมระหว่างซิลิกาและเขม่าดำ พบว่าการเพิ่มสัดส่วนของเขม่าดำไม่เพียงแต่จะส่งผลเสียต่อความร้อนสะสมและการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดเชิงพลวัต แต่ยังทำให้สมบัติการยึดเกาะบนถนนเปียกและการประหยัดเชื้อเพลิงมีแนวโน้มแย่ลงอีกด้วย ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่าความทนทานต่อการสึกหรอของยางมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มสัดส่วนของเขม่าดำจนถึงร้อยละ 60-80 โดยน้ำหนัก จากการที่ยาง SSBR มีปริมาณไวนิลและบาวด์สไตรีนที่สูงกว่า ส่งผลทำให้ยางมีอันตรกิริยากับสารตัวเติม ความหนาแน่นของการเชื่อมโยง และอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่สูงกว่าตามไปด้วย จึงทำให้ยาง SSBR มีสมบัติการยึดเกาะบนถนนเปียกและความทนทานต่อการสึกหรอที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับยาง ESBR แม้ว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมไปพร้อมๆกับการเพิ่มปริมาณน้ำมัน (เพื่อที่จะรักษาความแข็งของยางให้คงที่) จะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบลดลง แต่ก็ส่งผลทำให้ยางมีสมบัติบางประการที่แย่ลง (เช่น ความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด ความร้อนสะสม การเสียรูปถาวรหลังการกดอัดเชิงพลวัต) นอกจากนี้ยังส่งผลเสียต่อสมรรถนะของดอกยางล้ออีกด้วย ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ไม่เพียงแต่จะช่วยทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น แต่ยังเพิ่มความหนาแน่นของการเชื่อมโยงให้สูงขึ้นอีกด้วย ซึ่งช่วยปรับปรุงสมรรถนะของดอกยางล้อ ความร้อนสะสม และการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดเชิงพลวัตของยางให้ดีขึ้น อย่างไรก็ดี การเพิ่มความหนาแน่นของการเชื่อมโยงดังกล่าวก็ส่งผลเสียต่อความทนทานต่อแรงดึง การยืดตัว ณ จุดขาด และความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนของยาง เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างระบบการวัลคาไนซ์แบบดั้งเดิม (CV system) และระบบการวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพ (semi-EV system) พบว่าระบบการวัลคาไนซ์แบบดั้งเดิมจะทำให้ได้ยางที่มีค่าความร้อนสะสมและการเสียรูปถาวรหลังการกดอัดเชิงพลวัตต่ำกว่า อีกทั้งยังทำให้ยางสามารถยึดเกาะบนถนนเปียกและประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีกว่าอีกด้วย ซึ่งคาดว่าเกิดจากการที่ยางมีความหนาแน่นของการเชื่อมโยงที่สูงกว่านั่นเอง ในทางตรงกันข้าม ระบบการวัลคาไนซ์แบบกึ่งประสิทธิภาพจะทำให้ยางมีความทนทานต่อการเสื่อมสภาพจากความร้อนที่สูงกว่า ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการมีสัดส่วนของพันธะเชื่อมโยงกำมะถันอะตอมเดี่ยว (monosulfidic linkages) และกำมะถันอะตอมคู่ (disulfidic linkages) ที่สูงกว่า เป็นที่น่าประหลาดใจที่ผลการทดลองบ่งชี้ว่าชนิดของซิลิกาส่งผลน้อยมากต่อสมบัติการยึดเกาะบนถนนเปียก การประหยัดเชื้อเพลิง และระดับการแตกตัวของสารตัวเติมในยางทั้งๆ ที่มีการอ้างว่า HDSi สามารถแตกตัวได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ CSi ผลการทดลองเผยให้เห็นว่าสามารถใช้ CSi แทนที่ HDSi ถ้าใช้ระยะเวลาในการผสมที่นานเพียงพอ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับดอกยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่จำหน่ายเชิงพาณิชย์ พบว่าสูตรดอกยางล้อรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ดีที่สุดในงานวิจัยนี้จะให้สมบัติการยึดเกาะบนถนนเปียกและการประหยัดเชื้อเพลิงที่ดีกว่า แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่จะนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับการจำหน่ายเชิงพาณิชย์ต่อไป

Copyright by Mahidol University