

بهبود مقاومت سایشی ترکیبات تایر «سبز»

سیروس بیگ زاده^۱ و صونا خدابندهلو^{۲*}

۱- رئیس ساخت تایر، مجتمع صنعتی آرتاویل تایر؛ کارشناس مهندسی عمران

۲- کارشناس ساخت تایر، مجتمع صنعتی آرتاویل تایر؛ دکترای شیمی آلی

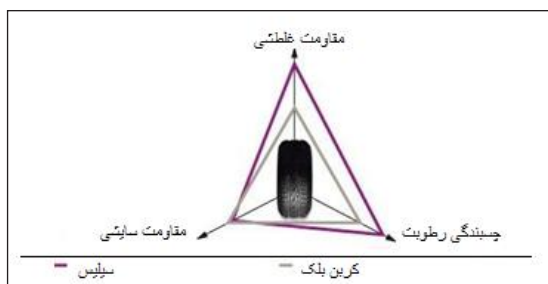
khodabande_s@yahoo.com

چکیده: از زمان معرفی «لاستیک‌های سبز» در اوایل دهه ۹۰، استفاده از سیلیس به‌عنوان یک پرکننده و تقویت‌کننده، همراه با یک عامل اتصال سیلان، در سراسر جهان گسترش یافته و رشد کرده است. بزرگ‌ترین مزیت استفاده از سیلیس نسبت به کربن سیاه به‌عنوان پرکننده و تقویت‌کننده در ترکیب آج لاستیک این است که مقاومت غلطشی کمتری دارند. در این کار، باهدف بهبود مقاومت در برابر سایش، اثر ترکیب BR (لاستیک بوتادی‌ان) در یک ترکیب ENR (لاستیک طبیعی اپوکسی شده) پر از سیلیس مورد مطالعه قرار گرفت. خواص رئولوژیکی ترکیبات با استفاده از ویسکومتر مونی و رئومتر دیسک نوسانی اندازه‌گیری شد. سختی، مقاومت کششی و مقاومت در برابر سایش نیز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که خواص ترکیب ENR/سیلیس، مانند استحکام کششی و سختی نسبت به ترکیبات معمولی خوب است. با این حال، مهم‌ترین یافته این بود که مقاومت به سایش با محتوای BR به میزان قابل توجهی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: مقاومت سایشی، استایرن-بوتادی‌ان، سیلیس

مقدمه

مزایای اصلی ترکیب تایر سبز داشتن مقاومت غلطشی پایین، بهبود چسبندگی رطوبت و افزایش هندلینگ است [۱]. کاهش ۵ درصدی مقاومت غلطشی معادل ۱ درصد صرفه‌جویی در سوخت است، بنابراین تایرهای سبز مزیت اقتصادی و رضایت مصرف‌کننده را به همراه دارد. این ویژگی‌های تایر سبز را می‌توان با استفاده از سیلیس به‌عنوان پرکننده اصلی در ترکیب آج تایر به‌دست آورد. نخستین تایر بادوام پر از سیلیس توسط میشلن معرفی شد و به‌عنوان تایر سبز نیز شناخته شد [۲]. مطالعات قبلی نشان داده است که سیلیس در مقایسه با پرکننده‌های کربن دارای تعامل و پراکندگی ضعیفی به‌ویژه در لاستیک‌های تایر غیرقطبی است [۳] برخلاف کربن سیاه، سطح سیلیس رسوب شده به‌دلیل وجود سیلیکا بسیار قطبی و آب‌دوست است. گروه‌های متعدد سیلانول در نتیجه پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی قوی بین گروه‌های هیدروکسیل و سطح نسبتاً زیاد، تجمع در طول ذخیره‌سازی و فرایند ولکانیزاسیون تمایل دارد [۴]. به‌منظور بهبود سازگاری سیلیس با لاستیک غیر قطبی و اطمینان از اتصال خوب آن به ماتریس پلیمری، افزودن عوامل اتصال ضروری است [۵]. سیلیکا با عوامل جفت‌کننده سیلان به تولیدکنندگان تایر این امکان را می‌دهد تا «مثلث جادویی خواص لاستیک» را برآورده کنند [۶] که در آن مقاومت غلطشی کم تایر برای صرفه‌جویی در مصرف سوخت و افزایش چسبندگی رطوبت برای جابه‌جایی آسان با حفظ مقاومت در برابر سایش تایر به‌دست‌آمده است (شکل ۱). به‌عنوان یک جایگزین اقتصادی‌تر برای استفاده از عوامل جفت‌کننده، ممکن است بتوان از یک‌شکل اصلاح‌شده از لاستیک طبیعی (ENR لاستیک طبیعی اپوکسی شده)، که سازگاری بهتری با سیلیس دارد، و تقویت بیشتر برای ترکیبات سیلیس در مقایسه با لاستیک طبیعی دارد، استفاده کرد. تغییرات شیمیایی در ENR (گروه‌های اپوکسید) می‌تواند با گروه سیلانول سیلیس واکنش دهد، به‌طوری‌که استفاده از عوامل اتصال مانند سیلان حذف یا تا حد زیادی کاهش می‌یابد [۷]. امروزه افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی، تغییرات در عوامل اقتصادی و پیشرفت‌های فنی اخیر، استفاده از ترکیبات ENR پر شده با سیلیس برای تولید تایر را به‌عنوان گزینه‌ای مناسب، به‌ویژه برای بازاریابی به‌عنوان محصول تایر سبز، تبدیل کرده است. کار گزارش‌شده در این مقاله باهدف حل مسأله مقاومت نسبتاً ضعیف ترکیب سیلیس ENR و تعیین مقدار مطلوب BR برای افزودن به‌طور قابل توجهی برای بهبود خواص سایش انجام شده است.



شکل ۱- مثلث جادویی خواص لاستیک

بخش تجربی

۱- مواد

پلیمرهای زیر برای این مطالعه استفاده شده است:

لاستیک طبیعی ۲۵ درصد اپوکسی شده (EKOPRENA-25) و لاستیک استاندارد مالزی (SMR 10) که توسط لاستیک مالزی تهیه می‌شود. پرکننده‌های مورد استفاده برای این مطالعه عبارت‌اند از: پرکننده معمولی رسوبی سیلیس و کربن N330 و عامل اتصال سیلان X50S است. مواد شیمیایی دیگر مانند اکسید روی، اسید استئاریک، آنتی‌اکسیدان و شتاب‌دهنده‌های لاستیکی از مواد شیمیایی لاستیکی درجه تجاری بودند. فرمول‌های ترکیبی برای ارزیابی تأثیر بارگذاری لاستیک بوتادی‌ان بر خواص مخلوط‌های ENR/BR سیلیس پر شده استفاده شد.

۲- میکس کردن

در این کار، تمام اختلاط ترکیبات در سه مرحله در بنوری با حجم محفظه 270 cm^3 انجام شد. سیلیکا و کربن سیاه در ۲ قسمت به‌منظور بهبود ترکیب اضافه شده است. سیلیس به ۲/۳ و ۱/۳ قسمت تقسیم شد. X50S هم‌چنین به ۲/۳ و ۱/۳ قسمت تقسیم شد و قبل از مخلوط شدن به‌ترتیب با ۲/۳ سیلیس و ۱/۳ پرکننده سیلیس مخلوط شد. در مرحله اول اختلاط ۰.۶ ضریب پر شدن، ۷۰ دور در دقیقه دور روتور و راه‌اندازی درجه حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. زمان تخلیه پس از رسیدن دمای نشان داده شده به ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ دقیقه تنظیم شد. بعداً، مسترچ‌ها بر روی یک آسیاب گرم دو رول با حداقل پاس ارسال شدند. در مرحله دوم، مسترچ‌ها در همان مخلوط‌کن به مدت ۳ دقیقه با سرعت روتور ۸۰ دور در دقیقه و دمای شروع

ویژگی‌های پخت

ویژگی‌های پخت ترکیبات ENR/BR و ENR/silica در جدول ۲ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که ترکیب ENR/silica که حاوی عامل اتصال سیلان است، مقدار Δ گشتاور بیشتری (MH-ML) نسبت به ترکیبات کنترل ENR نشان می‌دهد. این ممکن است قابل پیش‌بینی باشد زیرا عامل اتصال‌دهنده واکنش داده شده به پیوندهای عرضی در ترکیب پخت کمک می‌کند. مخلوط ۲ همچنین ML کمتری نسبت به مخلوط ۱ دارد که مطابق با نتایج قبلی است که نشان می‌دهد مخلوط ۲ دارای کمترین ویسکوزیته مونی است. این می‌تواند به این دلیل باشد که عامل جفت کننده با کاهش برهم‌کنش‌های سیلیس به کاهش ویسکوزیته کمک می‌کند.

جدول ۲- رنومتر ترکیبات ENR/BR و ENR/silica

شماره مخلوط	M _L (dNm)	M _H (dNm)	Ts1 (min: sec)	Ts2 (min: sec)	T90 (min: sec)	T95 (min: sec)	M _H -M _L (dNm)
۱	۲۳.۱۹	۶۶.۴۶	۹:۱۳	۱۴:۳۸	۲۵:۱۵	۲۵:۳۶	۴۳:۲۷
۲	۱۹.۹۷	۶۷.۹۲	۸:۰۸	۱۱:۰۷	۲۳:۲۵	۲۳:۴۸	۴۷:۹۵
۳	۲۲.۵۸	۷۱.۹۰	۷:۲۶	۱۰:۲۴	۲۳:۰۷	۲۴:۴۸	۴۹:۳۲
۴	۲۷.۶۰	۷۷.۶۲	۷:۵۶	۱۰:۴۰	۲۳:۱۴	۲۵:۰۳	۵۰:۰۲
۵	۳۰.۵۱	۸۰.۳۴	۶:۴۹	۹:۴۸	۲۴:۲۶	۲۶:۰۱	۴۹:۸۴
۶	۱۶.۶۰	۸۳.۳۲	۷:۱۲	۸:۰۴	۱۷:۳۷	۱۹:۴۱	۶۶:۷۲

نتیجه‌گیری

برای ویژگی‌های پردازش و پخت، گرانیروی مونی و حداکثر گشتاور با افزایش محتوای BR در ترکیبات ENR پر از سیلیس افزایش یافت. ترکیبات ENR/BR با سیلیکا با عامل اتصال سیلان نیز در مقایسه با ترکیب NR/BR پر شده با کربن سیاه (ترکیب آج معمولی لاستیک) ویژگی‌های سختی و مقاومت کششی خوبی از خود نشان می‌دهند. نتایج نشان داده است که مقاومت به سایش با محتوای BR افزایش می‌یابد و از مقاومت سایشی ترکیب NR/BR معمولی با کربن سیاه در نسبت مخلوط ENR80: BR20 پیشی گرفته است. بنابراین، افزودن حتی مقدار نسبتاً کمی BR به ترکیب ENR/silica باعث می‌شود که مقاومت در برابر سایش با مقاومت معمولی NR/BR مطابقت داشته باشد.

۸۰ درجه سانتی‌گراد مجدداً مخلوط شدند. سپس مستریچ‌ها روی آسیاب گرم دو رول با حداقل پاس ارسال شدند. سرانجام، مخلوط شدن در ۲ دقیقه مخلوط شدن با افزودن عوامل درمانی با درجه حرارت مخلوط‌کن و سرعت روتور به ترتیب ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۵۰ دور در دقیقه به پایان رسید. سپس ترکیبات بر روی یک آسیاب گرم دو رول با حداقل گذر ورق می‌شوند.

۳- ویسکوزیته مونی

اندازه‌گیری ویسکوزیته مونی با استفاده از ویسکومتر Alpha Technologies در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد. وزن نمونه در محدوده ۲۲ گرم بود. ویسکوزیته مونی برای ترکیبات در مرحله مستریچ، remill و مرحله نهایی ثبت شد.

۴- خصوصیات پخت

خواص پخت نمونه‌های ترکیبی در دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و ۵ دقیقه با استفاده از رنومتر ODR 2000 Alpha Technologies ارزیابی شد.

نتیجه‌ها و بحث

مونی ویسکوزیته

مونی ویسکوزیته مستریچ‌ها و ترکیبات نهایی ENR/silica و ENR/BR براساس ترکیبات آج لاستیک با افزودن عوامل اتصال در جدول ۱ نشان داده شده است. می‌توان گفت که وجود عامل جفت کننده در هنگام اختلاط ENR/silica با کاهش ویسکوزیته و انرژی کشسانی خواص فرایند پذیری و جریان آن‌ها را بهبود بخشید. مشاهده می‌شود که مونی ویسکوزیته مخلوط‌های ENR/BR با افزایش درصد در BR در ENR افزایش یافته است. این به این دلیل است که ویسکوزیته لاستیک بوتادی‌ان در حین اختلاط نسبتاً ثابت می‌ماند، زیرا نسبت به ENR که در ویسکوزیته در حین مخلوط شدن کاهش می‌یابد، تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

جدول ۱- مونی ویسکوزیته ENR/silica و ENR/BR

مونی ویسکوزیته	مخلوط ۱	مخلوط ۲	مخلوط ۳	مخلوط ۴	مخلوط ۵	مخلوط ۶
ENR	ENR 100-BR0	ENR90-BR10	ENR80-BR20	ENR70-BR30	NR70-BR30	
مستریچ	۱۴۴	۱۱۱	۱۱۶	۱۳۸	۱۵۷	۹۰
ترکیب نهایی	۸۰	۶۹	۷۶	۹۰	۹۷	۶۳

مراجع

- [1] Ita, P. A. 2005. "Filler Requirements in the Tire Industry: Carbon Black & Precipitated Silica." Tire Technology Expo & Conference, Koln Messe, Cologne, Germany.
- [2] Dinkel, J. 1995. "Where the Silica Meets the Road." Discover. [Online]. Available: <http://discovermagazine.com/1995/apr/wherethesilicame497>.
- [3] Wang, M. J. 2008. "Billerica, Effect of Filler-Elastomer Interaction on Tire Tread Performance Part II." Raw Materials and Applications, 33-42.
- [4] Kaewsakul, W., Sahakaro, K., Dierkes, W. K., and Noordermeer, J. W. M. 2014. "Flocculation Kinetics and Filler-Rubber Interaction in Silica-Reinforced NR Compounds." 186th Technical Meeting of Rubber Division, ACS, Nashville, TN, October 2014.
- [5] Gerster, M., Fagouri, C., and Peregi, E. 2010. "Novel Coupling Agents for Silica-Filled Rubbers with Superior Processing Safety and Improved Hysteresis of the Vulcanizates." Tire Science and Technology 38 (1): 80-98.
- [6] The "Magic triangle" of Car Tires. [Online]. Available: <http://www.rubber-silanes.com/product/rubber-silanes/en/effects/magic-triangle/pages/default.aspx>.
- [7] Cataldo, F. 2002. "Preparation of Silica-Based Rubber Compounds without the Use of a Silane Coupling Agent through the Use of Epoxidized Natural Rubber." Macromolecular Materials and Engineering 287 (5): 348-52.