

EPDM 컴파운드의 전기적 특성에 미치는 카본블랙의 영향

이철호, 조용석, 전영준, 김상욱
 화인폴리머(주), 서울시립대 화학공학과

Effects of carbon blacks on the electrical properties of EPDM compounds

Chul Ho Lee, Yong Suk Cho, Young Jun Jeon, Sang Wook Kim
 Finepolymer Co., Dept. of Chem. Eng. The Univ. of Seoul

Abstract - Effects of carbon black species and concentration on the mechanical and electrical properties of alumina trihydrate filled EPDM compounds were investigated. Mechanical properties improved with increasing carbon black concentration, and these effects were prominent in carbon blacks having large specific area. In the case of non-conductive carbon black, tracking resistance improved when a small amount of carbon black was added to EPDM. Conductive carbon black showed detrimental effect to dielectric losses, volume resistivity and tracking resistance of EPDM compound.

조하였다. 시료는 8 inch two-roll mill을 사용하여 ASTM D 3568에 준하여 혼련하였으며 hot press로 170°C에서 10분간 경화하여 기계적 특성 시료는 2 mm, 유전특성 및 체적저항 시료는 1 mm, 트래킹 시료는 6 mm 두께의 판상 시편을 제조하였다.

Table 1. Characteristics of carbon black (data from manufacture)

Type	Manufactured by	N ₂ surface ^a area(m ² /g)	DBPA ^b (cm ³ /100g)
ISAF(N220)	LG화학(주)	128	111
XCF(N472)	Cabot	180	178
FEF(N550)	금호화학(주)	42	117
SRF(N774)	LG화학(주)	27	72
MT(N990)	Cancarb	8	36

a: 입자표면에 N₂가스를 흡착시켜 표면적 측정
 b: Dibutyl Phthalate Absorption(구조 발달 상태 측정)

1. 서 론

EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) 고무는 불포화도가 낮고 비극성인 구조적 특징으로 인하여 내열성, 내후성, 내오존성 및 내전압, 유전손, 코로나 방전 등의 전기적 특성의 우수함과 낮은 밀도로 인한 무기필러의 고충진 능력과 부합되어 절연특성 및 내트래킹성이 우수하므로 케이בל 절연체, 접속재, 폴리머 애자 등의 절연재료로서 경쟁력을 갖게 해준다 [1]. 이러한 특성들이 장기적인 실사용에 있어서 신뢰성을 유지하기 위해서는 배합제의 선택 및 함량이 큰 영향을 미친다. 카본블랙은 고무의 기계적 강도를 향상시키기 위한 목적으로 사용되는 대표적인 보강성 충전제이다 [2]. 카본블랙은 구조적 형태와 입자가 갖고 있는 표면의 특성에 의해서 고무 컴파운드에 대한 기계적 특성 부여 및 내후성 향상 목적으로서 잘 알려져 있으나 절연재료와는 상반되는 도전성 증가에도 상당한 영향을 미친다 [1, 3].

본 연구에서는 ATH (alumina trihydrate)를 주 첨가제로 사용하고 입자크기 및 기타 특성들이 다양한 카본블랙을 병용함으로써 기계적 물성에 미치는 영향을 이해하고 절연재료로서의 중요한 인자인 내트래킹성 및 전기적 특성에 대한 상관관계 등을 고찰하여 절연재료의 설계에 응용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험

2.1.1 시료의 준비

EPDM은 DuPont Dow사의 Nordel 1040을 사용하였고 주 첨가제로는 ATH 100 phr 및 기타 소량의 가소제와 산화방지제를 사용하여 배합하였으며 경화 시스템은 DCP(dicumyl peroxide)-40%에 의한 과산화물 경화 방법을 채택하였다.

카본블랙은 보강성 필러로 알려진 SRF, FEF와 ISAF 및 도전성 카본블랙인 XC-72과 thermal black인 MT 카본을 사용하였다 (Table 1). 카본블랙 종류 별로 각각 5, 10, 15, 20 phr을 첨가하여 시료를 제

2.1.2 기계적, 전기적 특성

인장강도와 신장율 및 인열강도는 Instron model 4302를 사용하여 ASTM D 638에 준하여 측정하였으며 내트래킹성은 ASTM D 2303 (Initial tracking voltage test method) 방법에 준하여 1시간씩 단계적으로 전압을 상승시키면서 시험하였다. 트래킹 시험에 사용한 오손액은 NH₄Cl 0.1%와 Triton X-100 0.02%를 사용하여 제조하였다 (3.95±0.05 Ω·cm).

2.2 결과 및 검토

카본블랙의 입자크기, 비표면적, 구조적 특징 및 표면 특성은 카본블랙의 제조 공정상의 원료와 반응온도, 반응압력, 흐름성 양상, 농도 같은 여러 작용에 의해 다양해 질 수 있다 [4].

2.2.1 기계적 특성

카본블랙의 종류 및 함량별 기계적 특성을 Fig. 1-3에 나타내었는데 ISAF 및 XC-72 같이 카본블랙의 표면적이 큰 경우 인장강도와 인열강도는 증가하고 신장율은 감소하는 변화폭이 크게 나타났으며, 반면에 표면적이 작은 MT 카본의 경우는 변화폭이 상대적으로 작거나 변화가 거의 없었다. SRF 및 FEF도 보강성 특성에서는 MT 카본 블랙과 비교하여 변화폭이 크게 나타남으로 카본블랙의 표면적 및 구조적 특성 모두 고무 컴파운드의 기계적 특성에 영향을 주는 요소임을 알 수 있었다.

2.2.2 내트래킹성

일반적으로 카본블랙은 도전성을 갖고 있고 트래킹에 부정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 따라서 트래킹 특성과 관련된 구체적인 연구는 아직까지 미흡하다. 카본블랙의 전도성과 트래킹 발생 정도를 파악하기

위해서 카본블랙 함량을 5 phr씩 증가시킨 각 시료에 대해 초기 2.5 kV에서 단계적으로 0.5 kV씩 전압을 증가시켜 트래킹의 발생 여부를 측정하여 Table 2에 나타내었다.

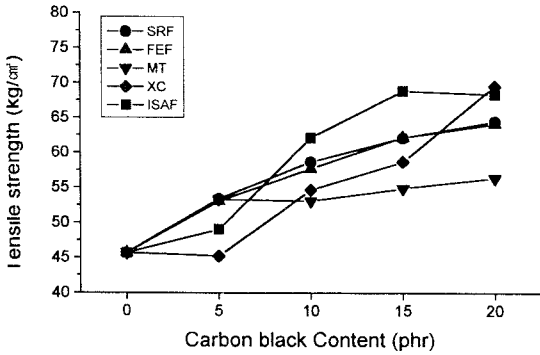


Fig. 1. Effects of carbon black on tensile strength

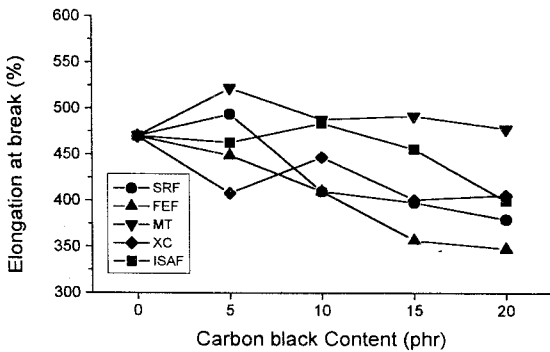


Fig. 2. Effects of carbon black on elongation

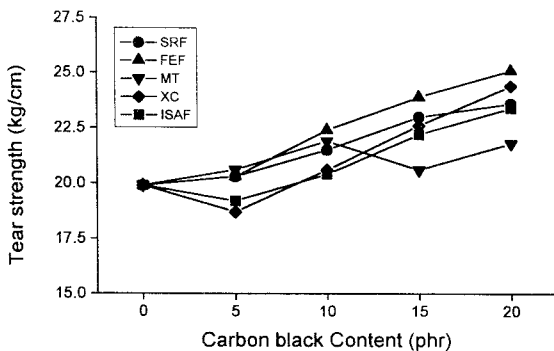


Fig. 3. Effects of carbon black on tear strength

ISAF를 사용한 시료의 내트래킹성이 가장 저하되었으며, 특이한 결과로는 ISAF와 XC-72는 트래킹 발생현상이 erosion 경향성을 나타내기보다는 탄화도전로 형성에 의한 트래킹 발생 현상을 나타내고 있으며, FEF와 SRF의 경우는 탄화도전로와 erosion의 복합적인 형태로 발생되었으며, MT 카본블랙에 있어서는 erosion에 의한 트래킹 발생현상을 나타내고 있다 (Fig. 4-8). 또한 ISAF

와 XC-72를 제외한 다른 시료들에 있어서 카본블

Table 2. Time-to-tracking voltage

종류 \ 함량	0 phr	5 phr	10 phr	15 phr	20 phr
ISAF		2.5 kV (60 min)	2.5 kV (20 min)	2.5 kV (10 min)	2.5 kV (4 min)
XC-72		3.0 kV (60 min)	2.5 kV (24 min)	2.5 kV (6 min)	2.5 kV (8 min)
FEF		4.5 kV (>60 min)	2.5 kV (34 min)	2.5 kV (31 min)	2.5 kV (30 min)
SRF		450 kV (10 min)	2.5 kV (60 min)	2.5 kV (20 min)	2.5 kV (15 min)
MT		4.5 kV (>60 min)	4.5 kV (>60 min)	3.5 kV (17 min)	3.0 kV (15 min)

랙 함량이 5 phr 추가됨으로서 내트래킹성 향상에 효과를 보았다. 그러나 추가로 첨가되는 카본블랙에 대해서는 내트래킹성이 감소하는 경향성을 나타내고 있다. FEF 및 SRF에 있어서는 5 phr 이후 급격한 저하를 나타내고 있으며 MT 카본블랙에 있어서는 상대적으로 우수한 내트래킹성을 보였다. 5 phr 첨가에 의한 내트래킹 능력이 향상되는 것은 절연재료 표면의 국부적인 전기적 스트레스를 카본블랙의 전도성 효과에 의해서 전계 집중을 완화시켜 준다는 보고 자료가 발표되어 있다 [1].

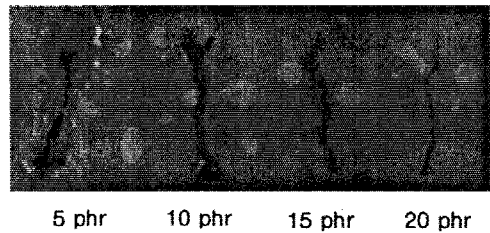


Fig. 4. Tracking phenomena on ISAF sample

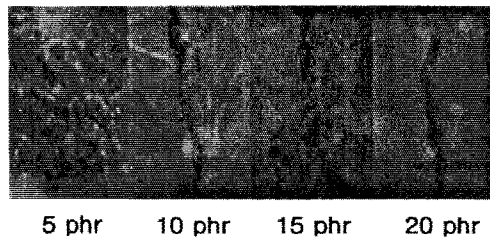


Fig. 5. Tracking phenomena on XC-72 sample

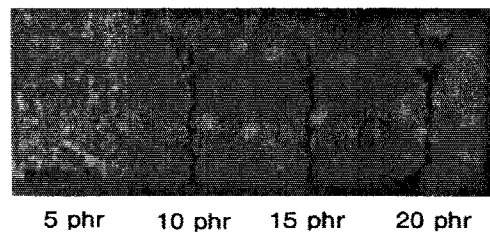


Fig. 6. Tracking phenomena on FEF sample

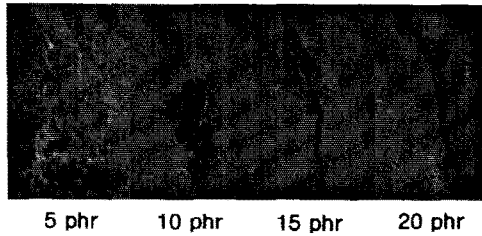


Fig. 7. Tracking phenomena on SRF sample

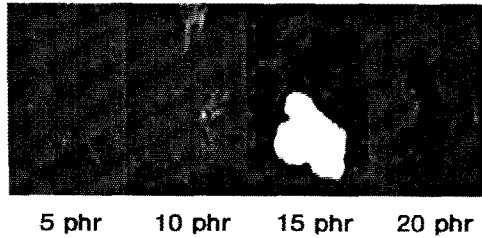


Fig. 8. Tracking phenomena on MT sample

2.2.3 전기적 특성

이번 실험에서의 결과는 일반적으로 카본블랙 함량의 증가에 따라 예상될 수 있는 체적저항율의 감소와 비유전율 및 $\tan \delta$ 등의 증가 효과를 나타내고 있다 (Fig. 10-12). 이는 카본블랙 표면의 산화그룹인 quinone ($=O$), phenol (OH), carboxylic acid ($-COOH$), lactone ($-COO-$) 등에 의한 극성 및 정전용량 축적의 증가 효과라 볼 수 있다 [6]. 여기에서 특징적인 것은 ISAF와 XC-72의 전기적 특성이 비슷하게 나타났으며 이런 현상으로 유추해 볼 때 산화그룹들이 카본블랙의 표면에 많이 분포되어 있음을 알 수 있다. 이와는 반대로 MT 카본블랙의 경우에 있어서는 첨가에 따른 전기적 특성치의 변화가 거의 나타나지 않고 있다. 이것은 MT 카본의 경우 산화그룹이 상대적으로 적을 것이라고 판단할 수 있다. 이는 앞에서 언급한 트래킹 발생 경향성과도 연관성이 있다고 보여진다. 따라서 MT 카본블랙은 도전성 첨가제보다는 보강성 첨가제로서의 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

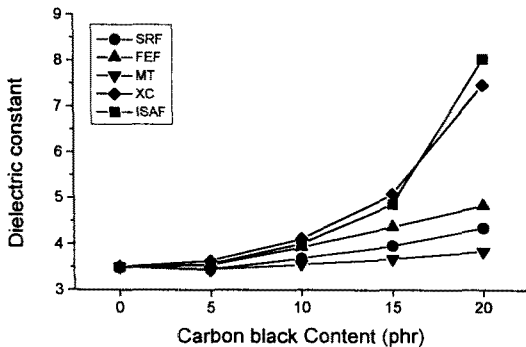


Fig. 9. Effects of carbon black on dielectric constant

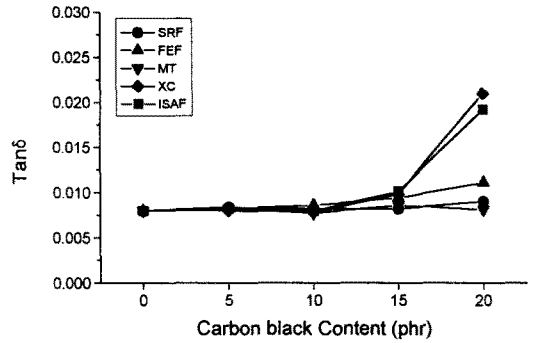


Fig. 10. Effects of carbon black on $\tan \delta$

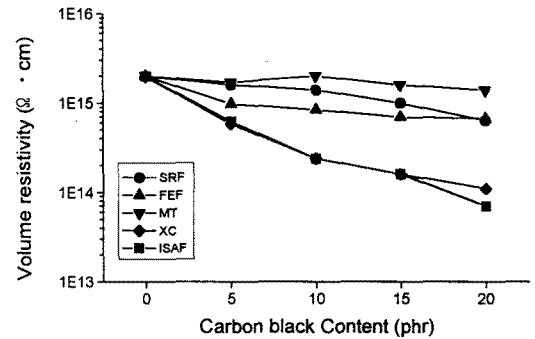


Fig. 11. Effects of carbon black on volume resistivity

3. 결 론

카본블랙의 첨가에 따라 인장 및 인열강도의 증가와 신장율이 감소하는 일반적 특성들이 나타났지만, MT 카본블랙은 그 함량 증가에 따른 변화가 5 phr 이후 거의 없었다. ISAF 및 XC-72를 제외한 카본블랙에서는 초기 5phr 첨가 시 내트래킹성 향상 효과가 있었다. ISAF와 XC-72는 탄화도전로 형성, SRF와 FEF는 탄화도전로 및 erosion 형성, MT 카본블랙은 erosion에 의한 트래킹이 발생되었으며 MT)SRF~FEF)ISAF~XC-72순으로 내트래킹 특성이 나타났다. ISAF 및 XC-72의 경우 함량이 증가함에 따라 체적저항율 값이 급격히 감소하였으며 20 phr 첨가시 비유전율과 $\tan \delta$ 값이 크게 증가하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 이철호, 김상욱, "EPDM/Carbon black 컴파운드의 열연특성", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 1432-1435, 1998
- [2] C. M. Blow and C. Hepburn, "Rubber Technology and Manufacture", Butterworth Scientific, p. 217, 1982
- [3] E. K. Sichel, "Carbon Black-Polymer Composites", Marcel Dekker, pp. 1-19, 1982
- [4] H. S. Katz, and J. V. Milewski, "Handbook of Fillers for Plastics", Van Nostrand Rheinhold Co., pp. 398-419, 1987
- [5] Y. Kurata et al., "Evaluation of EPDM Rubber for High Voltage Insulator", IEEE CEIDP, pp. 471-474, 1995
- [6] 이철호, 김상욱, "가교에틸렌의 촉진내후성", J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 5, pp. 722-730, 1994