

## EPDM rubber의 절연특성에 대한 수산화알루미늄 입자크기의 영향

이철호, 김상욱\*

평일산업(주) 기술연구소, \*서울시립대 화학공학과

### Effects of particle size of Alumina Trihydrate on Dielectric Properties of EPDM

Chul Ho Lee, Sang Wook Kim\*

Pyung-Il Industrial Co., \*Dept. of Chem. Eng., Seoul City University

**(Abstract)**

This study describes the influence of the size of the median particles of alumina trihydrated(ATH) filler on the tracking resistance, tensile properties, dielectric properties and water immersion properties of EPDM rubber. A fixed 100pph concentration of the filler of ATH was used for all particle sizes from 0.7 to 20 $\mu$ m. It is shown that tracking and erosion resistance decrease with increasing particle size, whereas tensile properties and dielectric properties are improved with increasing particle size of ATH.

**1. 서 론**

가벼운 중량으로 설치하기 쉬우며 뛰어난 절연특성 등의 장점으로 기존의 세라믹 애자를 대체하여 고분자 애자의 사용이 급격히 증가하고 있으며, 특히 송전급의 경우 구미에서는 신규설치되는 line의 80% 정도가 고분자 애자로 사용되고 있을 정도로 그 우수성을 인정받고 있다. 국내에서는 배전급에서 외국제품을 수입하여 사용한 실적이 있고 일부 제조업체에서 국산개발한 제품을 한전선로에 설치하여 시험사용하고 있는 중이다.

애자 하우징에 사용되는 고분자 재료로는 silicone rubber, ethylene propylene diene terpolymer(EPDM) rubber, EPDM-silicone alloy 등이 우수한 특성을 나타내고 있으며 20년 이상의 사용실적으로 성능이 입증되고 있다.

EPDM은 ethylene과 propylene 및 diene으로 구성되어 있으며 diene의 2중결합 2개중 하나는 주쇄에, 다른 하나는 가교결합에 참여하므로 결과적으로 분자구조내에 불포화도가 낮아 산소나 오존에 대한 저항성이 매우 강하며 고온에서도 안정한 절연성능을 나타내고 비극성 구조로서 뛰어난 전기적 특성을 갖고 있어서 배전급 및 송전급 폴리머애자 하우징용 절연재료로 널리 사용되고 있다[2].

옥외절연물로 사용되는 고무 compound는 50% 이상의 각종 무기, 유기첨가제를 사용하므로 첨가제의 종류 및 첨가량에 따라 물성의 차이가 크다. 특히, alumina trihydrate(ATH)는 1950년대 후반부터 내트래킹성에 효과가 크다는 것이 알려지면서 EPDM, silicone, epoxy 등의 옥외용 고분자 절연물의 내트래킹성을 향상시키기 위한 중요한 첨가제로 사용되고 있으며 이에 대한 연구도 계속 이루어지고 있다.

본 연구에서는 옥외절연용 EPDM rubber의 내트래킹성을 향상시키기 위해 사용되는 ATH의 평균입자 크기에 따른 EPDM의 기계적 특성, 내트래킹성 및 절연특성의 변화를 고찰하였다.

**2. 본 론**

**2.1 실험**

**2.1.1 시료**

EPDM은 Dupont사의 Nordcl 1040을 사용하였고 여기에 소량의 oil, wax, Zn-ST 등의 가스제를 배합하였으며 가교는

DCP를 사용하여 peroxide curing 하였다. 주첨가제인 ATH는 EPDM 100을 기준으로 100pph로 고정시켰으며 평균입자 크기로 0.7, 1.0, 1.4, 7, 10, 13, 20 $\mu$ m의 7가지 시료를 제조하였다. ATH의 크기 및 표면적은 제조회사에서 제시한 수치를 그대로 사용하였으며 이를 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Median particle size and surface area of ATH

Median particle size( $\mu$ m)	0.7	1.0	1.4	7	10	13	20
Surface area(m <sup>2</sup> /g)	11	7	4	1.1	0.8	0.6	0.5

각 시료는 8" two-roll mill에서 ASTM D 3568에 준하여 충분히 혼련한 후 laboratory heating press로 170 $^{\circ}$ C에서 10분간 가교시켰으며, 기계적 특성 시료는 2mm, 유전특성 및 체적저항 시료는 1mm, 트래킹 시료는 6mm 두께의 판상으로 각각 제조하여 실험에 사용하였다.

**2.1.2 기계적, 전기적 특성 측정**

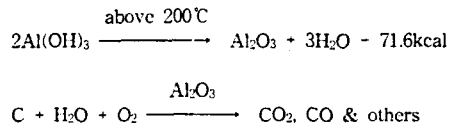
기계적 특성인 인장강도와 신장율은 Instron model 4302를 사용하여 ASTM D 638에 준하여 구하였으며 트래킹성은 IEC 587의 경사평면법으로서 4.5kV의 일정한 전압을 인가하면서 NH<sub>4</sub>Cl 0.1%와 Triton X-100 0.02%의 오존액을 0.9ml/min의 속도로 흘려주고 6시간 동안 실험하여 erosion양을 무게비로 측정하거나 트래킹이 일어날 때까지의 시간을 측정하였다.

유전특성은 Tettex사의 Schering bridge, 체적저항은 HP사의 절연저항계를 각각 사용하였다. 또한 90 $^{\circ}$ C로 유지시킨 water bath에 시료를 담고 1주일 단위로 흡수율, 유전특성, 체적저항율을 측정하였다.

**2.2 ATH의 트래킹 억제 효과**

ATH는 화학적으로 비교적 안정한 mineral filler로서 플라스틱이나 고무에서 무독성 난연제로 널리 사용되고 있으며 일반적으로 사용되는 이름은 alumina trihydrate (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 3H<sub>2</sub>O)이지만 실제로는 aluminum trihydroxide(Al(OH)<sub>3</sub>)의 결정구조를 갖고 있다. 알루미늄과 수산이온과의 결합은 이온결합이 우세하며 물에는 녹지 않으나 강한 산이나 알칼리에는 용해된다.

ATH는 205 $^{\circ}$ C 이하에서는 안정하지만 205 $^{\circ}$ C와 220 $^{\circ}$ C 사이에서 서서히 분해반응이 일어나기 시작하여 220 $^{\circ}$ C 이상에서는 분해반응이 빠르게 진행된다. 이 과정에서 흡열반응으로 트래킹 현상의 초기단계인 발열반응을 억제하여 이 때 생성된 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 촉매의 역할을 하여 재료표면의 도전성 유리카본을 날려보냄으로서 내트래킹성에 효과적으로 작용한다[3].



한편, ATH는 수산기의 극성으로 물을 흡수하는 성질이 있어 재료의 절연과피강도, 유전특성 및 저항율을 감소시키므로 절연재료에 사용할 경우 filler의 크기 및 사용량이 잘 고려되어야 한다.

### 2.3 ATH 크기에 따른 특성 고찰

#### 2.3.1 기계적 특성

입자크기에 따른 인장강도와 신장율의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 입자크기가 커질수록 인장강도는 급격히 감소하였고 신장율은 근소한 감소경향을 나타내었으며, 입자크기가 작을수록 단면이 균일하고 인장에 의해 일정한 stress를 받기 때문에 인장강도가 커지는 것으로 판단된다.

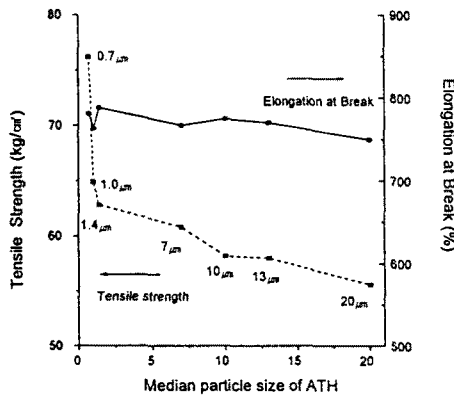


Fig. 1. Tensile properties and elongation at break of EPDM rubber as a function of size of ATH particles

#### 2.3.2 트래킹성

IEC 587 시험방법보다는 가혹하게 오손액을 0.9ml/min의 유량으로 흘려주면서 4.5kV의 전압을 인가하여 6시간 동안 실험한 후 그 결과를 table 2에 나타내었다. 0.7, 1.0, 1.4, 7μm 크기의 ATH 사용시료는 4.5kV에서 6시간 동안 트래킹이 발생하지 않았으며 내트래킹성의 정밀한 평가를 위해 트래킹 실험 전후의 무게변화로 erosion의 정도를 측정한 결과 미세한 차이이지만 입자크기가 작을수록 erosion 양이 적은 것을 확인하였다. 반면에 10μm 이상의 ATH 사용시료는 4.5kV의 전압에서 5시간 이내에 탄화되어 트랙에 이르게 됨으로 내트래킹성이 급격히 저하됨을 알았다.

Table 2. The effects of particles size of ATH on the tracking resistance of EPDM rubber

Median particle size(μm)	Tracking (4.5kV, 6hrs)	Amount of weight loss(%)
0.7	non-tracking	0.20
1.0	non-tracking	0.26
1.4	non-tracking	0.40
7	non-tracking	1.6
10	track(290mins)	-
13	track(230mins)	-
20	track(70mins)	-

#### 2.3.3 유전특성

절연재료에 있어서 유전손이 커질수록 전력손실이 커지며 절연성능을 저하시키므로 ATH 입자크기별 비유전율과 tan δ

를 측정하여 이를 Fig. 2에 나타내었다.

실험결과 입자크기가 클수록 비유전율은 감소하였으며 tan δ는 크게 영향을 받지 않는 경향을 나타내었다. 비유전율은 절연재료의 단위체적중에 축적되는 정전에너지의 양으로서 전계에 의해 분극이 생기는 정도를 나타내는 parameter이며 ATH 중의 수산기가 극성을 가지고 있고 이 극성으로 쌍극자 모멘트가 커지면서 비유전율이 증가한다. 입자크기가 작아지면 표면적이 커지면서 정전에너지를 축적할 수 있는 기회가 많아지므로 비유전율이 증가한다고 생각된다.

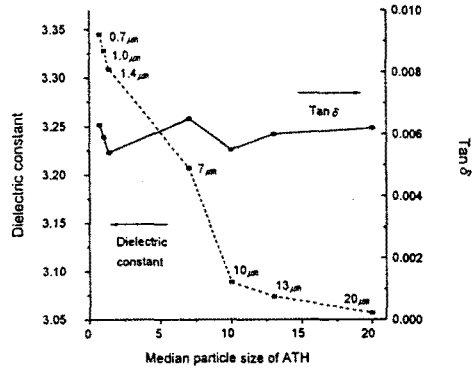


Fig. 2 Dielectric constant and tan δ of EPDM rubber as a function of the median particle size of ATH

#### 2.3.4 고온내수특성

실선로에서 옥외에 사용되는 고분자 절연물은 강우, 눈, 이슬 등의 습기에 노출되어 있으며 전기적 스트레스가 겹쳐 발연되는 가혹한 환경에 처하는 경우가 많이 있다. 따라서 이러한 환경에 대한 저항성을 평가하기 위하여 각 시료를 90°C로 유지된 water bath에 담고 1주일 단위로 꺼내어 동일한 시료로 6주까지의 흡수율, 유전특성 및 체적저항을 측정하였다. 우선 ATH 입자크기에 따른 흡수율을 측정하여 그 결과를 Fig. 3에 나타내었으며 예상대로 입자크기가 작으면 물과 접촉하는 표면적이 커지므로 흡수율이 급격히 증가하는 모습을 나타내었다.

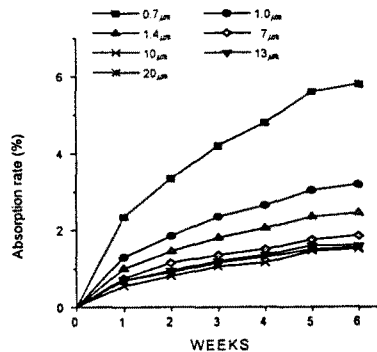


Fig. 3. Effects of 90 degree celsius water immersion on an absorption rate of ATH filled EPDM having different size of particles

비유전율과  $\tan \delta$ 의 변화는 Fig. 4~5와 같이 침지시간에 따라 급격히 증가하는 모습을 나타내었으며 이는 ATH 중 수산기의 극성으로 물을 흡수하여 전체 시료의 극성기가 증가하였기 때문이다. 입자크기가 작고 표면적이 큰 시료일수록 급격한 증가율을 보였는데 이것은 흡수율의 결과와 잘 일치하였다. 또한 제적저항율을 측정된 결과(Fig. 6) 입자크기가 작은 시료일수록 급격히 감소하는 경향을 나타내었고 흡수율, 비유전율,  $\tan \delta$ , 제적저항율이 모두 일관성 있는 값을 가짐으로서 ATH 입자크기가 너무 작으면 옥외에서의 수분흡수율이 커져서 절연성능이 크게 저하됨을 알았다.

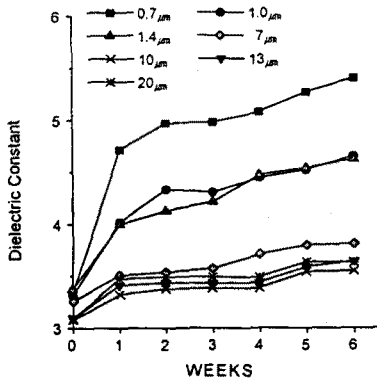


Fig. 4. Effects of 90 degree celsius water immersion on dielectric constant of ATH filled EPDM having different size of particles

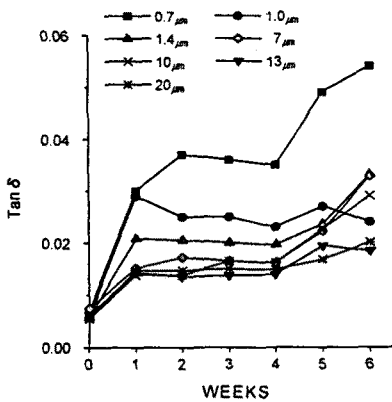


Fig. 5. Effects of 90 degree celsius water immersion on  $\tan \delta$  of ATH filled EPDM having different size of particles

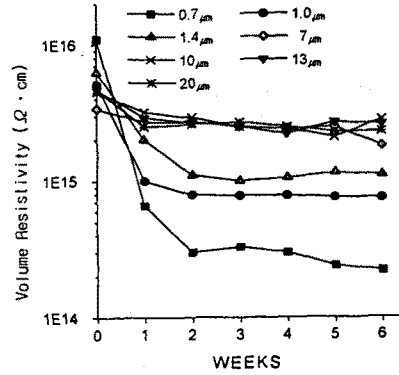


Fig. 6. Effects of 90 degree celsius water immersion on volume resistivity of ATH filled EPDM having different size of particles

### 3. 결 론

입자크기가 작은 ATH는 표면적이 크기 때문에 내트래킹성에 효과적으로 작용하지만 컴파운드의 점도를 증가시키고 mixing 과정에서 분산이 어려운 단점이 있는 반면에 입자크기가 클수록 분산이 용이하고 가격도 유리하지만 제품의 물성이 저하될 수 있다. 트래킹 시험결과 0.7~7 $\mu$ m 입자의 ATH 사용시료는 IEC 587의 규정유량보다 높은 0.9ml/min의 오손액을 흘리면서 4.5kV의 전압을 인가하였을 때 트래킹 현상 없이 약간의 erosion만 발생하였으며 입자크기가 작을수록 erosion양이 감소하여 내트래킹성에 효과적이었다. 기계적 특성, 유전특성 및 고온내수특성을 평가한 결과 입자크기가 클수록 우수한 성능을 나타냄으로 내트래킹성과 반비례하는 경향을 갖고 있음을 알았다.

ATH 입자크기를 결정할 때 모든 특성을 종합적으로 고려해야 하며 이상과 같은 실험결과를 종합하면 본 연구에 사용된 ATH 중 7 $\mu$ m 크기 시료가 내트래킹성과 기계적 특성, 유전특성 및 내수성에 가장 부합되는 것을 알았다.

### (참 고 문 헌)

- [1] J. F. Hall, "History and bibliography of polymeric insulators for outdoor applications", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, PP. 376, 1993
- [2] R. J. Arhart, "The chemistry of ethylene propylene insulation", IEEE Electr. Insul. Magazine, Vol. 7, PP. 31, 1993
- [3] Kim et al, "Filler level in RTV silicone coatings used in HV insulators", IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 27, PP. 1066, 1992
- [4] Chul Ho Lee and Sang Wook Kim, J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 5, PP. 728, 1994