

EPDM/Silicone 복합 절연체의 표면특성과 전기적 특성

Surface and Electrical Properties on EPDM/Silicone Composite Insulator

심대섭, 박성균, 김범진

Dae Sup Shim, Sung Gyun Park, and Bum Jin Kim

Abstract

고분자 복합체 절연재료는 porcelain 이나 glass 같은 세라믹 소재의 재료와 비교하여 옥외사용 시간의 관점에서 더 뛰어난 특징을 발휘한다. 그러나 노화되었을 때, 이들 옥외용 절연재료의 성질은 발수성이나 흡수성등과 같은 절연재료의 표면특성에 의해 변화한다. 이러한 표면특성의 변화는 누설전류에 의한 트래킹(tracking), 침식(erosion) 및 섬락현상(flashover)등의 유전체 파괴에 이르게 한다. 본 연구에서는 고분자 복합체 절연재료로 널리 이용되고 있는 EPDM의 발수특성을 향상시키기 위해 기존에 이용되던 무기물 첨가제인 alumina hydrate(ATH)이외에 발수성이 뛰어난 실리콘 고무를 상용화제를 이용하여 블렌드하고, 각종 유기 첨가제 및 무기물 보강제를 이용하여 EPDM/Silicone 복합체를 제조하였다. EPDM/Silicone 복합체의 인장강도 및 유전강도는 실리콘의 함량이 증가할수록 낮아졌으며, 촉진 노화시험을 실시한 결과 120℃ 까지 인장강도 및 신율을 유지하였다. 유전강도의 측정결과 복합체의 접촉각과 표면에너지 측정결과 Silicone 고무의 함량이 증가할수록 접촉각은 증가하고, 표면에너지는 낮아졌다. 경사평판법에 의한 내트래킹성 측정결과 실리콘 함량이 증가할수록 내트래킹성은 우수하였으며, 실리콘 함량이 30%인 복합체에서는 트래킹 및 침식이 진행되지 않았다.

Key Words : EPDM/Silicone composite, tracking, water repellency, surface energy

1. 서론

고분자 복합체 절연체는 경량성과 높은 기계적 강도를 갖기 때문에 일반적으로 송배전 선로(line insulator)에 사용되던 자기(porcelain)나 유리재료를 상당부분 대체하고 있다. 또한 생산원가가 저렴하면서 가공특성이나 보관등이 용이하여 고분자 복합체를 이용한 절연재료에 대한 관심이 높다. 하지만 옥외사용시의 기후나 전기자극(electric stress)등에 의한 재료의 열화는 물성을 저하시켜 인가해준 전압에 대하여 재료특성을 유지하기가 어렵게 된다.

고분자 복합체 절연재료는 이미 많은 연구자들에 의해 여러 가지 방법으로 연구되고 시험되어왔다.

특히 여러 가지 고무재료에 대한 침식 및 내트래킹성에 대한 연구가 진행되었다[1-2]. 특히 EPDM고무는 분자를 구성하는 주쇄에 불포화 탄화수소가 없어 자외선이나 오존에 의해 주쇄가 절단되어 나타나는 분자량 감소와, 분자량 감소에 의해 발생하는 물성 저하가 적은 장점이 있다. 또한 탄화수소로 구성된 유기재료이기 때문에 극성유체(polar fluid)에 대한 저항성이 높고, 저온에서의 유연성이 뛰어나며, 전기 절연재료로서 높은 유전강도(dielectric strength), 코로나 방전 저항성(corona discharge resistance) 및 내방사선성(radiation resistance) 등의 고유한 성질을 갖기 때문에 절연재료로서 많은 장점을 가지고 있다[3]. 하지만 옥외용 절연재료로 사용하기 위해서는 내열안정제(thermal stabilizer), UV 안정제(UV absorber), 보강제등의 각종 유기 및 무기 첨가제와 내트래킹성을 보강하기 위해 다량의 alumina hydrate(ATH)를 배합하여 사용해야 한다.

한국전기연구원 전기시험연구센터 개발시험실

(경기도 의왕시 내손2동 665,

Fax: 0.31-420-6059

E-mail : dsshim@keri.re.kr

Silicone 고무는 탄화수소 계열의 고무와는 달리 극저온에서도 유연성을 유지하고, 내오존성, 내후성 및 내열성이 뛰어나며, 우수한 유전강도와 체적저항성을 갖는다. 또한 높은 가스투과도(gas permeability) 및 유기물과 쉽게 탈리되고, 뛰어난 내용매성과 내유성을 갖는다. Silicone 고무는 세라믹 재료의 절연체를 코팅하여 옥외용으로 사용하는 것이 연구되었으며[4], 고무소재의 재료중에서 가장 내후성이 뛰어난 것으로 알려져 있다. 이것은 실리콘 고무의 측쇄는 유기기인 메틸기(-CH₃)로 되어있는데, 이 메틸기가 공기중에서 표면으로 배향하여 실리콘고무의 발수성(water repellency)를 증가시키기 때문으로 알려져 있다.

본 연구에서는 EPDM 고무 복합체의 내후성 및 옥외사용시의 안정성을 증가시키기 위하여 Silicone 소재를 첨가하여 EPDM/Silicone 복합체를 제조하여, 이 복합체의 기계적 및 전기적인 특성을 파악하고, 표면특성의 변화가 내트래킹성에 어떻게 영향을 주는지 관찰하였다. 또한 가속열화시험을 통해 이 EPDM/Silicone 복합체가 옥외용 전기 절연재료로 응용하고자 하였다.

2. 실험

2.1 재료

EPDM은 VISTALON 2504^R(금호화학)으로 무니점도(ML1+4, 125℃)가 26이고, ethylene/propylene/diene(ENB)의 중량비가 57.5/37.8/4.7인 것을 사용하였다. Silicone 고무는 Siloprene^R(GE-Bayer, vinyl-methyl based silicone)을 사용하였다. 상용화제[6]는 maleated EPDM-g-polydimethylsiloxane으로 본 연구실에서 직접 제조한 것을 사용하였다. 경화제는 dicumyl peroxide(DCP, Hercules)를 사용하였고, 첨가제 및 보강제로 ATH(Alcan Chemical, UK), talc, steric acid, titanium oxide, carbon black, 및 antimony trioxide등을 사용하였다.

2.2 EPDM/Silicone 복합체의 제조

EPDM/Silicone 복합체를 제조하는 방법은 다음 절차에 따라 진행되었다. EPDM 100부에 상용화제 10부를 open roll mill에서 잘 분산시킨 후 여기에 Silicone 고무를 각각 10부 와 30부를 투입하여 EPDM/Silicone 고무 블렌드를 완성하였다. 여기에 ATH를 각각 100, 150 및 200부를 첨가하고, 다른 첨가제 및 보강제의 양을 일정하게 하여 잘 혼련한 후, 최종적으로 경화제인 DCP를 투입하여 EPDM/Silicone 복합체 마스터배치를 제조하였다. 이

EPDM/Silicone 마스터배치를 hot press를 이용하여 2000 psi, 170℃에서 8분간 경화시키고, 150℃에서 2시간 동안 유지시켜 EPDM/Silicone 복합체를 제조하였다.

2.3 EPDM/Silicone 복합체의 기계적 물성

EPDM/Silicone 복합체의 기계적 물성을 UTM(Universal Test Machine)을 이용하여 측정하였다. 인장강도 및 신율의 측정은 KS M 6518(가황고무 물리시험법)에 준하여 시편을 아령형 3호로 제조하고 인장속도를 500mm/min으로 시험하여 측정하였다.

2.4 EPDM/Silicone 복합체의 유전강도 특성

EPDM/Silicone 복합체의 유전강도(dielectric strength)를 ASTM D 149-90에 준하여 절연유 시험기(Transformer Oil Tester, AiKOKU DENKI)를 이용하여 측정하였다. 유전강도는 시료를 구-구 전극 사이에 위치시키고, 연면방전을 방지하기 위하여 절연유에 침적하여, 500volts/min의 인가전압 상승법으로 시험하여 측정하였다.

2.5 EPDM/Silicone 복합체의 표면특성

EPDM/Silicone 복합체의 표면특성을 접촉각 시험기(Contact Angle Meter, SEO 600A)를 이용하여 측정하였다. 표면에너지는 Owens-Wendt-Geometric mean[6]을 이용하여, 물과 ethylene glycol 용매를 이용하여 계산하였다.

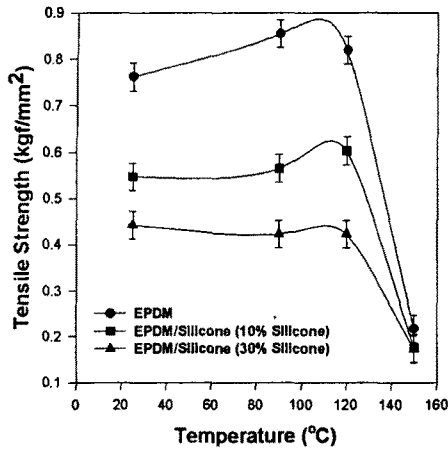
2.6 EPDM/Silicone 복합체의 내트래킹성

EPDM/Silicone 복합체의 내트래킹성은 IEC 60587의 경사평판법(Incline Plate)을 이용하여 측정하였다. 인가전압은 4.5kV이고 6시간 동안 시험하여 60mA 이상의 전류가 흐르면 트래킹으로 간주하였다. 또한 QUV(Accelated Weathering Meter)를 이용하여 1000시간 동안 노화시킨 후, 같은 방법으로 시험하였다.

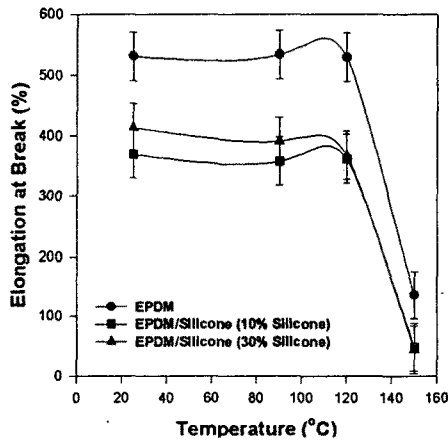
3. 결과 및 고찰

3.1 EPDM/Silicone 복합체의 기계적 물성

상온에서의 인장강도 및 신율 특성은 EPDM이 가장 우수하게 나타났으며, 실리콘의 함량이 증가할수록 각각 감소하는 경향을 나타내었다(Fig.1). 또한 첨가제인 ATH의 함량이 증가할수록 인장강도는 증가되고 신율은 감소하는 전형적인 고무 복합체재료의 거동을 나타내었다. 또한 EPDM/Silicone 복합체를 90, 120 및 150℃에서 140시간동안 가열열화를 시킨



(a)



(b)

Figure 1. Tensile test of EPDM/Silicone composite containing 100phr of ATH. (a) Tensile strength (kgf/mm²) (b) Elongation at break(%)

결과 인장강도 및 신율의 크기는 상온에서의 특성과 유사한 경향을 나타내었으며, 90 및 120°C까지는 인장강도 및 신율의 변화는 거의 관찰되지 않았다. 따라서 EPDM/Silicone 복합체의 내열특성은 EPDM과 유사한 경향을 갖는다고 판단된다. 하지만 150°C에서 가열노화된 EPDM과 EPDM/Silicone 복합체의 인장강도 및 신율은 급격히 감소되어 나타났다. Silicone 함량의 증가에 따른 인장강도 및 신율의 감소는 EPDM과 실리콘의 본질적인 점도차이와 비상용성에 기인된다고 사료된다.

3.2 EPDM/Silicone 복합체의 유전강도

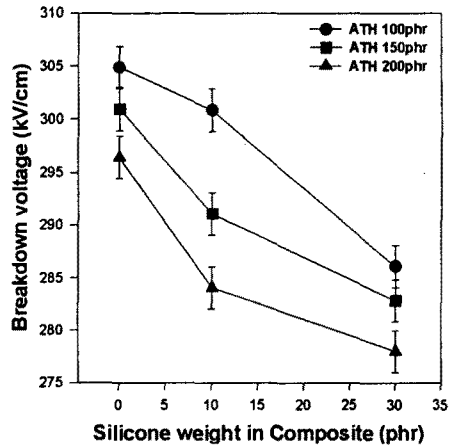


Figure 2. Breakdown voltage of EPDM and EPDM/Silicone composite containing 10 and 30phr of silicone.

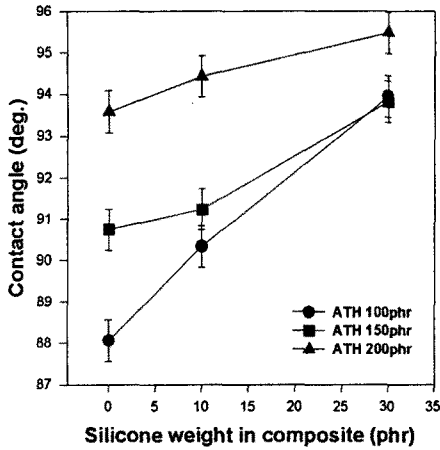
EPDM/Silicone 복합체의 유전강도는 기계적 강도와 유사한 거동을 보이는데, 실리콘의 함량이 증가할수록 전기적 강도는 저하하는 경향을 나타낸다(Figure 2). 또한 ATH의 함량이 증가하면 유전강도는 뚜렷이 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 유전강도를 유지하기 위해 유지하기 위해 서는 트래킹을 방지하기 위해 처방되는 ATH의 함량을 적게하는 것이 바람직 하다고 판단된다. Silicone 함량의 증가에 따른 유전강도의 저하는 EPDM과 silicone의 경화시 경화속도가 다르기 때문에 발생하는 EPDM과 비상용성인 실리콘 도메인들이 각각 유전강도 저하를 촉진하기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 EPDM/Silicone 복합체의 표면특성

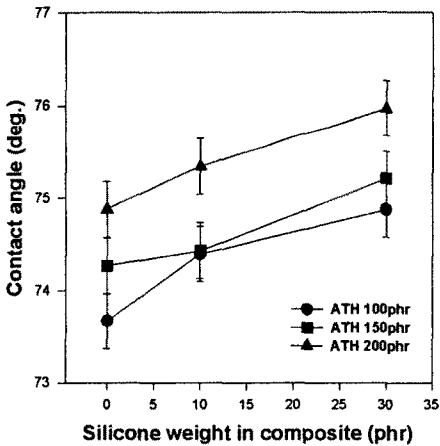
EPDM/Silicone 복합체의 발수성을 물과 ethylene glycol을 이용하여 접촉각을 측정하고 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 고체 표면의 계면장력과 시험하는 용매의 표면장력의 차이가 클수록 접촉각은 크게 나타나는데, silicone의 함량이 증가할수록 접촉각은 증가하였다. 이는 EPDM의 발수성이 silicone의 첨가로 증가된 것으로 사료된다. ATH의 첨가량이 증가함에 따라 접촉각이 증가하는 것은 상용되는 ATH가 소수성으로 처리되어있기 때문이다.

3.4 EPDM/Silicone 복합체의 내트래킹성

EPDM과 EPDM/Silicone 복합체의 내트래킹성을 시험한 결과, EPDM은 100 및 150부의 ATH를 첨가하였을 때, 트래킹이 발생하였고, 10부의 silicone이



(a)



(b)

Figure 3. The change of contact angle of EPDM/Silicone composite with accordance to silicone and ATH content. (a) water drop (b) ethylene glycol drop

포함된 EPDM/Silicone 복합체는 ATH의 양이 100부에서 트래킹이, 그리고 150부에서 심한 침식이 발생하였다. Silicone이 30부인 EPDM/Silicone 복합체는 트래킹 및 침식이 발생하지 않았다. QUV에 의해 1000시간동안 가속 열화 후 같은 시험을 실시한 결과, 열화전과 같은 결과를 얻었다. 따라서 silicone의 함량이 증가함에 발수성이 증가하여 오손에 의한 내 트래킹성이 향상된 것으로 사료되며, ATH의 함량증

가에 따른 접촉각의 증가는 소수성 처리된 ATH의 함량이 증가되기 때문이다. 따라서 실리콘의 함량의 증가에 따른 EPDM의 발수성의 증가로 인하여 EPDM 복합체의 내트래킹성이 증가된 것으로 사료된다.

4. 결론

EPDM/Silicone 복합체를 제조하여 기계적, 전기적 및 표면특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) EPDM에 비하여 점도가 낮은 silicone 고무의 복합체의 기계적 강도 및 유전강도는 silicone 함량이 증가함에 따라 감소하였다.
- 2) EPDM/Silicone 복합체의 가열노화특성은 EPDM과 유사하였다.
- 3) EPDM/Silicone 복합체의 발수성은 silicone의 함량에 따라 증가하였다.
- 4) EPDM/Silicone 복합체의 발수성이 증가하여 내 트래킹성이 증가하였다.

참고 문헌

- [1]. Karady G., Vinet R. and Souchereau N., "New Test Method for Synthetic Insulators", Cigre 1976, paper No. 22-15.
- [2]. Karner H., Schulte D. and Wehinger H., "Tracking and Erosion of Polymeric Insulating Materials for Out door Application", 3rd Int. Symp. on High voltage Engineering, Milan, August 1979.
- [3]. Swapan Kole, A. K. Bhattacharya and Anil K. Bhowmick, *Plastics, Rubber and Composites Processing and Applications*, Vol. 19, No. 2, pp 117-125, 1993.
- [4]. Seog-Hyeon Kim, Edward A. Cherney and Reuben Hackam, *IEEE Trans. El. Insul.*, Vol. 27 No. 3, 610-622, 1992.
- [5]. Doo Whan Kang, Bum Jin Kim and Dae Sup Shim, *J. Ind. and Eng. Chem.*, 6(4), 270, 2000.
- [6]. D. K. Owens and R. C. Wendt, *J. Appl. Polym. Sci.*, 48, 1579, 1969.