

XLPE/EPDM laminates의 계면현상

Interfacial phenomena of XLPE/EPDM laminates

남진호, 고려대학교 재료공학과
 서광석, 고려대학교 재료공학과
 김지환, 한양대학교 전기공학과
 고광철, 한양대학교 전기공학과

J. H. Nam, Department of Materials Science, Korea University
 K. S. Suh, Department of Materials Science, Korea University
 J. W. Kim, Department of Electrical Engineering, Hanyang University
 K. C. Ko, Department of Electrical Engineering, Hanyang University

Abstract

DC breakdown characteristics and formation of space charge at the interfaces of crosslinked polyethylene (XLPE) /ethylene propylene diene terpolymer (EPDM) laminates were studied. Effects of silicone grease and some chemicals such as crosslinking coagent on the interfacial charge were also studied. Interfacial charge develops at the interface of XLPE/EPDM laminates, which changes depending on heat treatment conditions and types of chemicals coated at the interface. Some chemicals such as maleic anhydride reduce the accumulation of interfacial charge in the XLPE/EPDM laminates. Breakdown strength of EPDM/XLPE laminate through the interface was highest when silicone oil was pasted in the interfaces. Interfacial breakdown strength decreased with the increase of MAH content.

Key Words(중요 용어) : DC breakdown strength, Interfacial charge, XLPE, EPDM, maleic anhydride

1. 서론

일반적인 절연재료로 고분자가 널리 사용되어지고 있다. 이러한 고분자 절연재료는 절연성능을 높이기 위하여 블렌드를 하거나 첨가제, 또는 충전제를 사용하기도 한다. 따라서 이러한 재료 내부에는 여러 가지 계면, 즉 거시적 계면과 미시적 계면이 존재하게 된다. 이들 계면에 전계 집중이 발생하여 절연파괴를 일으키는 요인으로 작용할 수 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 즉 이들 재료간에는 이종계면이 존재하게 되고 전기 전도도 또는 유전율 등의 차이로 인하여 계면에 전계의 집중이나 전하의 축적이 일어나고 기공, 불순물, 미세 돌기 등의 침투 가능성이 높아 케이블과 같은 이중구조의 계면에서의 전기적 특성은 매우 복잡한 양상을 띠게 된다. 현재 이러한 계면에서 발생하는 전계집중을 완화시키는 방법에 관한 연구 등의 계면에서 일어나는 여러 가지 성질에 대한 연구가 진행되어지고 있다^{1)~4)}.

본 연구에서는 전력케이블의 접속부에 발생하는 절연층간의 계면을 설정하여 계면에서의 전계 완화 효과를 얻기 위한 방안을 연구하였다. 배전급 전력 케이블의 직선 접속부에는 케이블 절연층인 XLPE와 접속재의 절연층인 EPDM의 계면이 존재하고 이 계면을 따라 일어나는 절연파괴가 주요 고장원인으로 알려져 있다. 그림 1에 배전급에 사용되는 직선 접속재를 나타내었다.

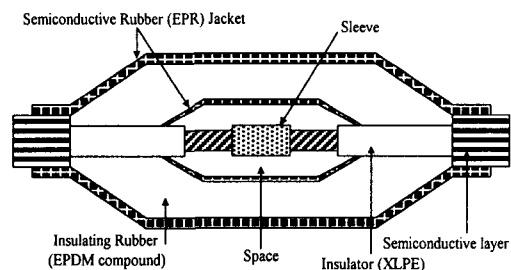


그림 1. 접속재의 개략도

계면에서 발생하는 전기적 현상의 측정방법은 공간전하 축적 측정방법을 사용하였다. 이 방법은 시료에 두께 방향으로 전압을 인가하지만 측정되는 값이 계면에 축적되는 전하량 즉, 계면에 관한 정보를 바로 알려준다. 또한 계면에서 일어나는 절연 파괴 현상을 조사하기 위해서는 두께 방향의 절연 파괴보다는 계면을 따라 일어나는 절연파괴 특성을 실험함이 계면상태에 따른 정보를 자세히 얻을 수 있다.

본 연구에서는 계면에서의 공간전하 축적특성과 절연파괴 특성을 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 EPDM 컴파운드는 Dupont 사 제품으로서 결정성이 없는 무정형의 고분자이며 사용된 diene는 1,4 hexadiene을 사용한 것으로 비유전율은 2.7이며 가교폴리에틸렌 (XLPE)은 국내석유화학회사 제품으로 밀도는 0.920 g/cm^3 이고 비유전율은 2.3이다.

전하분포의 측정에 사용된 EPDM과 XLPE는 130°C 에서 두께 약 $350 \mu\text{m}$ 로 압축성형한 후 180°C 에서 10 분간 가교시켜 사용하였다. EPDM과 XLPE를 laminate 시킨 시료의 두께는 $700 \mu\text{m}$ 정도이다. XLPE/EPDM laminate는 두 시트 사이에 실리콘 오일 및 여러 가지 chemical을 도포한 후 접착시켜 laminate를 만들었다. 열처리를 위한 시료는 두 시트를 포갠 후 laminate 시료에 일정 압력이 가해지도록 클램프로 고정된 후 진공오븐에 넣어 열처리하였다. 이때 열처리는 80°C 의 진공오븐에서 48 시간으로 하였고 시료 표면에서의 산화반응을 억제하기 위하여 시료 표면을 테프론 판으로 보호하였다.

DC 절연파괴 실험에 사용된 각 시료는 전하분포 측정용 시료와 동일한 조건하에서 제작하였으며 전극은 알루미늄 호일을 사용하였으며 침대 평판의 형상으로 제작하였다. 침전극 침단의 곡률 반경은 현미경 관찰을 통해 $5 \mu\text{m}$ 정도로 선택하였다. 전극간의 거리는 0.5 mm 로 정하였으며 계면조건에 따라 DC 절연파괴 강도를 측정하였다. 그림 2에 DC 절연파괴용 전극 구성도를 나타내었다. 열처리는 전하분포 측정 시료와 동일하게 처리하였다.

전하분포는 Pulsed Electroacoustic (PEA) 방법을 사용하여 측정하였으며 이에 대한 원리는 기존에 발표된 바 있으며⁵⁾ 장치의 개략도를 그림 3에 나타내었다. 시편에 전압을 10 kV/mm 에서 40 kV/mm

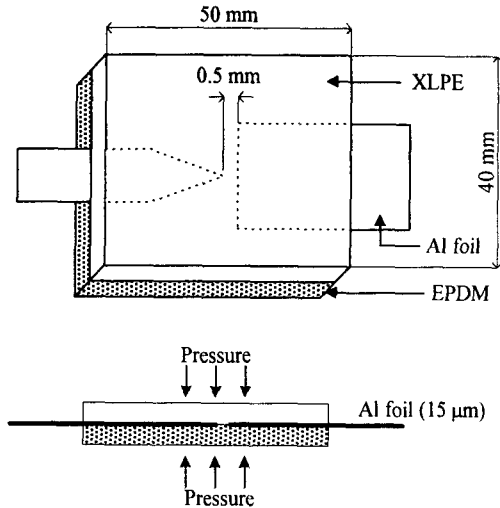


그림 2. 절연파괴 실험용 전극 구성도

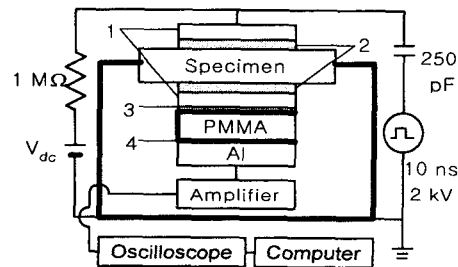


그림 3. PEA 장치의 개요도

까지 5 kV/mm 간격으로 30분 동안 가하였다. 단계적으로 전압을 가한 후 각 단계에서 형성된 잔류전하를 폭이 10 ns 이고 크기가 2 kV 인 전기펄스를 가하여 측정하였다.

공간전하 분포 측정할 때 반도체 전극을 사용하였으며 이 반도체 전극은 EPDM에 전도성 카본블랙을 첨가하여 제조한 반도체 컴파운드를 사용하였다. 전극재료 내에 들어 있는 가교부산물 성분이 공간전하분포에 주는 영향을 배제하기 위하여 반도체 재료는 80°C 에서 96시간 진공 처리한 후 전극으로 사용하였다^{6), 7)}.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 계면에서의 전하분포 특성

그림 4에 계면조건에 따른 전하분포 특성을 나타내었다. 단순접촉인 경우나 실리콘 그리스를 도포한 경우에 큰 차이가 없으나 실리콘 오일을 도포한 경우에 약간 감소하는 경향을 나타내었다.

그림 5에는 실리콘 그리스 안에 MAH의 양에 따른 전하분포도를 나타내었다. 이는 계면에 실리콘 그리스나 실리콘 그리스에 MAH를 도포한 후 80 °C의 진공오븐에서 48시간 열처리하여 나타난 전하분포 특성이다.

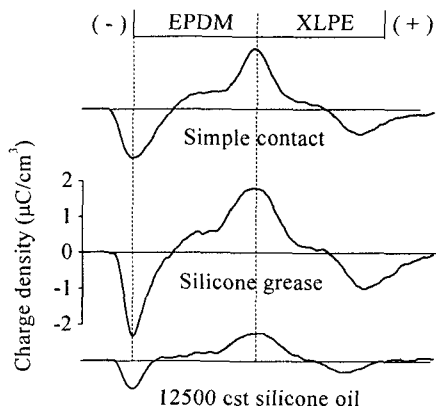


그림 4. 계면조건에 따른 전하분포도

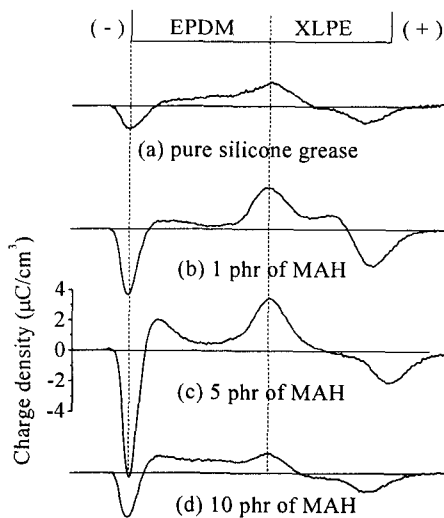


그림 5. MAH의 양에 따른 계면 전하 분포도

실리콘 그리스만을 EPDM과 XLPE의 계면에 도포한 후 측정된 공간전하분포 결과에서 양의 계면전하를 나타내었다. MAH를 실리콘 그리스에 넣고 측정된 결과, MAH의 함량이 5 phr까지는 축적되는 계면전하의 양이 순수한 실리콘 그리스를 도포한 경우보다 약간 증가하는 경향을 나타내었으나 MAH를 10 phr 넣은 경우에는 계면전하가 상당히 감소하였으며 30 kV/mm의 전계를 가한 경우에는 계면전하가 거의 축적되지 않았다. 이는 MAH가 극성기를 가지고 있으며 일정한 양 이상을 넣었을 경우에 전하의 이동에 영향을 준다고 생각된다.

3.2. 절연파괴 특성

그림 6에 실리콘 그리스와 12500 cst의 실리콘 오일을 계면에 도포한 경우에 절연파괴특성을 나타내었다. 실리콘 오일의 경우가 실리콘 그리스를 도포한 경우보다 큰 절연파괴 강도를 나타내고 있다. 이는 실리콘 오일에 충전제 및 여러 가지 첨가제를 넣어 실리콘 그리스를 만드는 과정에 기인한 것으로 생각된다.

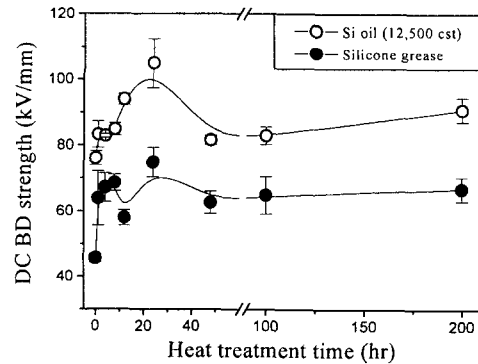


그림 6. 실리콘 그리스와 오일에 따른 계면 절연파괴 특성

그림 7은 실리콘 그리스에 MAH의 함량에 따른 계면방향의 절연파괴 강도를 나타내고 있다. 전하분포 결과에서 MAH 10 phr 넣은 경우에 가장 적은 계면전하량을 나타내었다. 그러나 계면 방향의 절연파괴 실험 결과 MAH 10 phr을 넣은 경우가 가장 작은 절연파괴 강도를 나타내었다.

이 결과를 토대로 고려해보면 계면전하가 적다는 것은 전하가 축적되지 않고 계면을 통과한다는 것을 말한다. 다시 말하면 전하의 이동이 좀더 자유로움을 뜻한다고 할 수 있다. 이를 절연파괴와 관련지어보면 절연파괴는 전하의 이동을 억제시키는 것이

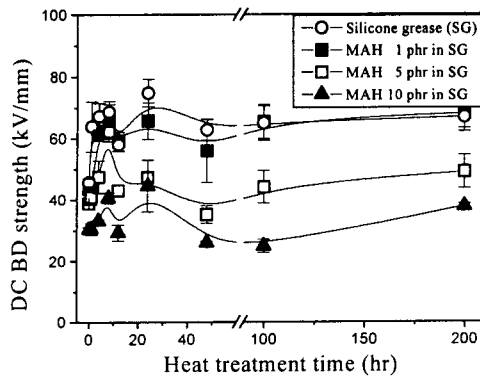


그림 7. MAH의 함량에 따른 계면절연파괴 특성

가장 큰 절연파괴강도를 얻는 것이다. 따라서 절연파괴강도가 낮게 나온 것은 이와 상응한다고 할 수 있다.

4. 결 론

전하형성 특성에서 MAH 10 phr 넣은 실리콘 그리스를 계면에 도포한 경우 계면에 축적된 전하가 가장 작음을 나타내었다. DC 절연파괴 강도 결과 실리콘 오일을 계면에 도포한 경우 가장 큰 절연파괴 강도를 나타내었으며 MAH를 넣음에 따라 감소함을 나타내었다

참 고 문 헌

1. K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, 201, 1996.
2. K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 4, 725, 1997.
3. T. Ditchi et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 24, 403, 1989.
4. J. Beyer et al., Proc. 1998 ISEIM, Toyohashi, Japan, 181, 1998.
5. Y. Li et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 188, 1994.
6. T. Ditchi et al, *IEEE Trans. Elec. Ins.*, Vol. 24, 403, 1989.
7. K. S. Suh et al, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 1077, 1994.