

## XLPE/EPDM laminate의 절연 파괴 특성

### Interfacial Breakdown characteristics in XLPE/EPDM Laminate

남진호, 서광석  
Jin Ho Nam, Kwang S. Suh

고려대학교 재료공학과  
Department of Materials Science, Korea University

#### Abstract

In order to determine what influences the interfacial breakdown in EPDM/XLPE laminates, We made the breakdown test cell and this was pressure controllable breakdown test cell. We make the needle electrode (tip radius: about 10 micrometer) using electrochemical method. We studied the interfacial breakdown phenomena at several interfacial conditions. Breakdown strength in laminates pasted with silicone oil was higher than that with silicone grease. As a function of heat treatment time in a vacuum, interfacial breakdown strength increased much in XLPE/EPDM laminates pasted with silicone grease but increased a little in that with silicone oil.

**Key Words (중요용어):** EPDM, XLPE, Laminates, Interface, Breakdown

#### 1. 서론

일반적으로 절연체로 사용되어지는 고분자 절연체는 세라믹으로 만든 절연체보다 우수한 성능을 나타내고 있으며 또한 여러 가지 장점을 가지고 있다. 그리고 이러한 고분자 절연체는 절연성능을 높이기 위하여 블렌드를 하거나 충전제를 사용하며 기타 연결부위를 통해 다른 절연체와도 접촉하게 된다. 이러한 절연재료에는 블렌드나 충전제의 사용에 의한 미세적 계면이 존재하게 되고 다른 절연체와의 접촉으로 인한 거시적 계면이 존재하게 된다. 이러한 계면에 전기장의 집중이 발생하면 시료내부를 통과하기보다는 상대적으로 약한 절연파괴를 갖는 계면을 따라 절연파괴를 일으킬 수 있음은 널리 알려진 사실이며 실제로 네덜란드에서 1993년 150kV 급의 케이블 중단 접속부에서 절연파괴가 발생하였다. 이러한 계면의 존재로 전기전도도, 유전율 등의 차이로 인하여 전기장의 집중이나 전하축적 등이 일어나고 케이블과 같은 이중구조의 계면에서 기공, 불순물, 미세 돌기 등의 존재로 전기적 특성에 복잡한 양상을 띠게 된다. 현재 이러한 계면에서 일어나는 전기적 특성에 관해 다각적으로 연구가 진행되어지고 있다<sup>1, 2)</sup>.

실제의 접속부위에서는 계면에 전극의 직접적인

접촉은 없으며 절연체 자체의 절연강도는 계면보다 높게 나타난다. 따라서 계면 방향으로 낮은 전기장이 걸리도록 접속부위를 설계하게 된다. 그러나 실제의 사고에서는 계면을 따라 트리가 발생하거나 파괴가 일어나는 것을 알 수 있다. 따라서 계면에 전극을 바로 삽입하여 계면에 최대의 전기장을 발생시키고 계면의 조건에 따라서 일어나는 현상을 관찰해야하는 필요성이 있다.

본 연구에서는 전력케이블의 직선 접속부에 발생하는 XLPE와 EPDM 절연층 간의 계면을 설정하여 계면에서 절연파괴 특성을 연구하였다.

#### 2. 실험방법

본 연구에 사용된 ethylene propylene diene terpolymer (EPDM) 컴파운드는 국내회사의 제품으로 결정성이 없는 무정형의 고분자이며 diene은 1,4 hexadiene이 사용되었고 비유전율은 2.7이다. 가교 폴리에틸렌 (cross linked polyethylene: XLPE)은 국내 화학회사 제품으로 밀도는  $0.920 \text{ g/cm}^3$ 이고 비유전율은 2.3이다.

DC 절연파괴 실험에 사용된 EPDM과 XLPE는 고온 프레스를 이용하여 130 °C에서 두께 약 400  $\mu\text{m}$ 로 압축 성형한 후 180 °C에서 10분간 가교시켜

준비하였다.

본 연구에 사용된 전극은 두께 150  $\mu\text{m}$ 의 구리 선을 사용하였으며 부식과정을 통해 곡률 반경 10  $\mu\text{m}$ 의 전극을 자체 제작하여 사용하였다.

계면에서 발생하는 절연파괴를 수행하기 위하여 본 연구팀에서는 계면압력을 조절할 수 있는 절연 파괴 장치를 제작하였다. 일반적으로 접속부에는 0.5  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력이 걸리며 1  $\text{kg}/\text{cm}^2$ 은 1기압에 해당한다. 모터가 연결된 판을 통해 시편을 누르면 압력은 수치상으로 무게가 측정되며 시편의 단면적으로서 압력을 측정할 수 있다. 그리고 측정되는 압력은 추를 이용하여 보정하였다. 이를 그림 1에 나타내었다. 시편에 장착된 전극의 형상은 그림 2에서와 같이 수직 배열을 하였다. 즉 전극은 침대 평판의 구조로 설계하였다. 전극의 사이에 발생할 수 있는 기공을 압력을 가하여 제거하였으며 압력이 없는 상태에서도 기공이 없도록 장착하였다.

계면에는 접속재에 사용되는 실리콘 그리스와 실리콘 오일을 도포한 시료와 진공 열처리한 실리콘 그리스와 실리콘 오일을 도포하여 계면조건을 달리하였다.

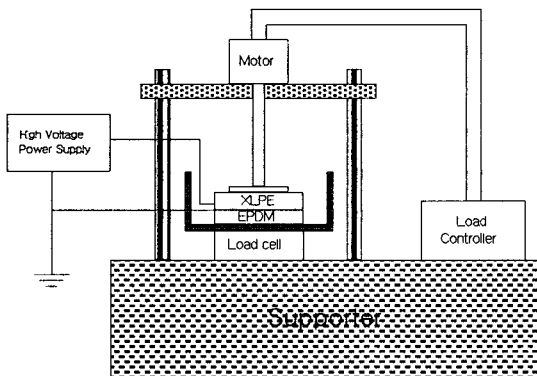


Fig. 1. The schematic diagram of breakdown test cell

### 3. 실험결과 및 고찰

전극 거리간 절연파괴 강도 의존성을 알아보기 위하여 12,500 cSt의 점도를 가진 실리콘 오일을 계면에 도포한 후 계면절연파괴강도를 측정하였다. 전극간 거리는 반사현미경을 이용하여 80 ~ 500  $\mu\text{m}$ 로 조절하여 실험하였고 이를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 전극간거리가 250  $\mu\text{m}$  이하에서는

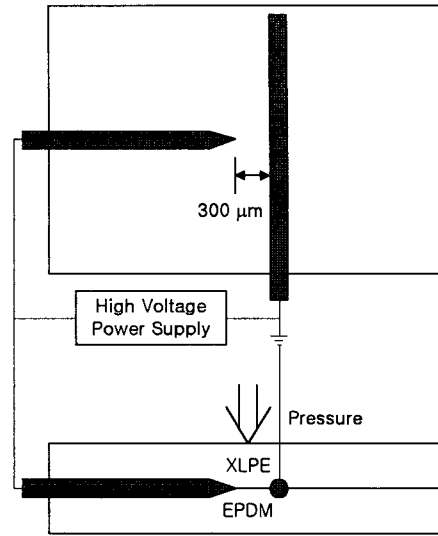


Fig. 2. Breakdown Sample and electrodes for breakdown test

전극간 거리의 증가에 따라 급격한 절연파괴 강도의 저하를 나타낸 반면, 250  $\mu\text{m}$  이상의 전극간 거리에서는 수평적 분포를 나타내었다. 따라서 이후의 실험에서는 전극간 거리를 약 300  $\mu\text{m}$ 로 정하여 절연파괴 실험을 수행하였다.

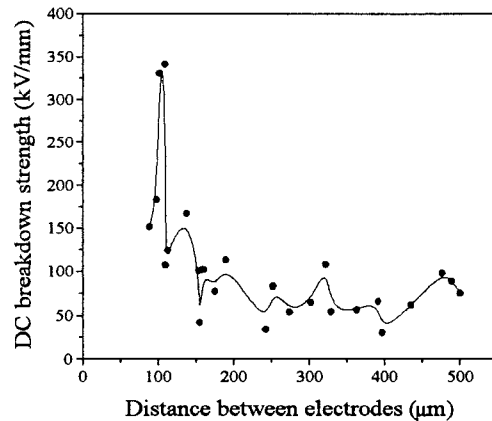


Fig. 3. The dependance of distance between electrodes in breakdown strength

실리콘 그리스와 실리콘 오일로 계면조건을 달리한 상태에서 측정된 계면절연파괴강도를 그림4에 나타내었다. 그림에서 보듯이 열처리하지 않은 실리콘 오일과 그리스를 도포했을 때 실리콘 오일을 도

포한 경우가 실리콘 그리스를 도포한 경우보다 높은 절연파괴 강도를 나타내었다. 이는 실리콘 그리스에 충전제와 첨가제가 포함됨으로 인하여 계면절연파괴강도가 낮게 나타난 것으로 생각된다.

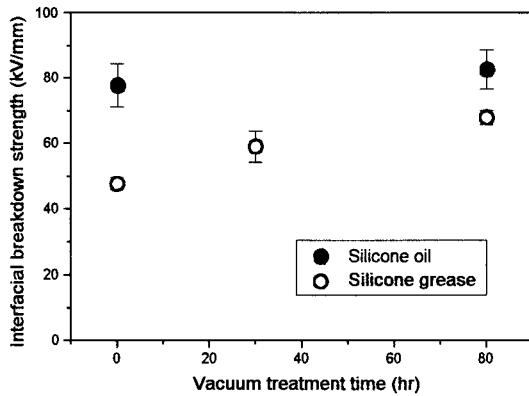


Fig. 4. The breakdown strength of EPDM/XLPE laminates with silicone oil and silicone grease

각각의 실리콘 그리스와 실리콘 오일의 진공 열처리 시간에 따른 절연파괴강도 값을 비교해보면 실리콘 오일에서는 약간 증가하지만 큰 변화는 없는 것으로 나타났으나 실리콘 그리스의 진공 열처리 시간에 따라서 더 많이 증가함을 알 수 있다. 이는 실리콘 그리스의 진공 열처리에 내부적인 화학구조의 변형에 기인한 것으로 생각할 수 있다.

실리콘 오일이나 그리스의 열처리에 따른 변화로 고려할 수 있는 내용은 일반적으로 산화에 의한 변화와 수분에 의한 영향으로 고려된다. 오일이 산소에 노출되면 산화에 의하여 carboxylic acids를 포함하는 카보닐 컴파운드를 형성한다<sup>3-5)</sup>. 이 carboxylic acids는 오일의 산도 (acidity)에 기여하고 오일에 있는 염기성 첨가제를 소모시키고 부식에도 역할을 하게 된다. 또한 산화는 오일의 점도를 증가시키게 된다. 그러나 본 연구에서 사용한 열처리 조건이 진공 중에서 실행되었으므로 산소 분위기에서 산화에 의한 변화는 배제하였다.

다른 원인으로 수분을 고려할 때에 실리콘 오일에 수분이 존재하면 절연파괴강도가 감소하는 것으로 알려져 있다.

#### 4. 결론

1. XLPE/EPDM laminates에서 실리콘 오일을 계면

에 도포한 경우가 실리콘 그리스를 바른 경우보다 높은 절연파괴강도를 나타내었다.

2. 실리콘 오일과 실리콘 그리스의 진공 열처리시간이 증가할수록 실리콘 오일을 바른 laminates는 약간 증가하는 것으로 나타났으나 실리콘 그리스를 도포한 laminates에서는 증가폭이 더 컸다.

#### 참고문헌

1. K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, 201, 1996.
2. T. Ditchi et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 24, 403, 1989.
3. R. Ross et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 27, 405, 1987.
4. A. T. Bulinski et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 5, 558, 1998.
5. F. Delor et al., *Polym. Degrad. Stab.*, Vol. 62, 395, 1998.