

XLPE/EPDM 계면현상에 관한 연구

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

Research for Phenomena of XLPE/EPDM Interface

Ji Hwan Kim, Kwang Chul Ko, Jin Ho Nam, Kwang S. Suh
 Dept. of Electrical Eng. Hanyang Univ. *Dept. of Materials Science Korea Univ.

Abstract - It was investigated that space charge characteristics and Breakdown characteristics of XLPE/EPDM laminates as a function of interfacial condition. When the chemical A was pasted in laminate interface, there was little space charge in XLPE/EPDM interface and it was shown that breakdown strength of XLPE/EPDM laminate was influenced by laminate condition.

1. 서론

고분자 재료는 우수한 성능을 지니고 있어 특히 전력·에너지 분야에서 절연재료로 광범위하게 응용되고 있다. 이러한 고분자 재료는 절연성능을 높이기 위하여 블렌드를 하거나 첨가제, 또는 충전제를 사용하기도 한다. 따라서 이러한 재료 내부에는 여러 가지 계면이 존재하게 되고 전기 전도도 또는 유전율 등의 차이로 인하여 계면에 전계집중이 발생하여 절연파괴를 일으키는 요인으로 작용할 수 있고, 공간전하의 형성으로 인하여 전기적 특성은 매우 복잡한 양상을 띠게 된다. 현재 이러한 계면에서 발생하는 전계집중을 완화시키는 방법에 관한 연구 등의 계면에서 일어나는 여러 가지 성질에 대한 연구는 미흡한 실정이다[1-2].

본 연구에서는 전력케이블의 접속부에 발생하는 절연층간의 계면을 설정하여 계면에서의 전계 완화 효과와 절연파괴 강도를 연구하였다. 계면에서 발생하는 전기적 현상을 측정하는 방법은 PEA법에 의한 공간전하 측정 방법을 사용하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 EPDM 컴파운드는 Dupont사 제품으로 결정성이 없는 무정형의 고분자이면 사용된 diene은 1,4 hexadiene을 사용한 것으로 비유전율은 2.7이며 가교 폴리에틸렌 (XLPE)은 국내석유화학회사 제품으로 밀도는 0.920 g/cm³ 이고 비유전율은 2.3이다.

공간전하 측정에 사용된 EPDM과 XLPE는 130°C에서 두께 약 350μm로 압축 성형한 후 180°C에서 10분간 가교시켜 사용하였다. 절연파괴 강도 측정에 사용된 EPDM과 XLPE는 130°C에서 두께 약 100μm로 압축 성형한 후 180°C에서 10분가 가교시켜 사용하였다.

XLPE/EPDM 계면을 여러 조건을 설정하여 laminate를 만들었다. 열처리하는 두 시트를 포갠 후 laminate 시료에 일정 압력이 가해지도록 클램프로 고정된 후 80°C의 진공 오븐에서 하였고, 시료 표면에서의 산화 반응을 억제하기 위하여 표면을 테프론 판으로 보호하였다.

전하분포는 PEA (Pulsed Electroacoustic) 방법을 사용하여 측정하였으며 이에 대한 개략도를 그림1에 나타내었다. 시편에 전압을 10kV/mm에서 40kV/mm 까지 5kV/mm 간격으로 10분 동안 가하였다. 단계적으로 전압을 가한 후 각 단계에서 형성된 잔류전하를 폭이 10ns 이고 크기가 2kV/인 전기펄스를 가하여 측정하였다.

공간전하 분포를 측정할 때 반도체 전극을 사용하였으며 이 반도체 전극은 EPDM에 전도성 카본블랙을 첨가

하여 제조한 반도체 컴파운드를 사용하였다. 전극재료 내에 들어 있는 가교 부산물을 제거하기 위하여 반도체 재료는 80°C에서 96시간 진공처리한 후 전극으로 사용하였다[3].

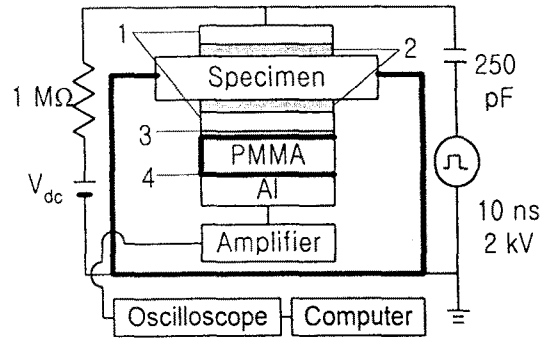


Fig. 1 Schematic diagram of PEA system (1: Al electrode, 2: Semicon electrode, 3: PVDF film, 4: Tin film.)

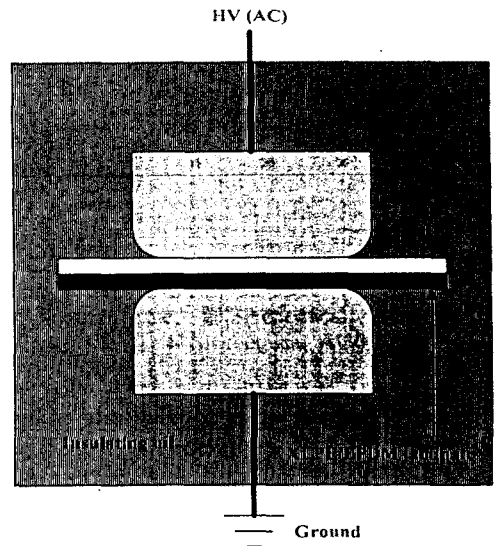


Fig. 2 Schematic diagram of electrode and sample

절연파괴 강도 측정은 Backman industrial의 AC Breakdown tester (Model number PA70-1005)를 이용하였다. 전극은 그림2에 나타낸 바와 같이 황동 재질로 직경 2cm의 rogowski type 전극을 laminate에 수직으로 배치하였으며 전극과 시편 주위를 절연유로 채운 뒤 파괴 실험을 하였다. 파괴시 전압의 상승 속도는 1kV/sec 이고, 측정시 오차를 고려하여 동일 조건의 시료를 다수 제작하여 그 측정 평균치로부터 파괴전계를 구하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 절연파괴 현상

본 연구에서 사용된 XLPE, EPDM은 각각 두께 약 100 μ m로 그 계면을 단순 접촉, 실리콘 그리스, chemical A, 실리콘 그리스에 chemical A를 각각 1phr, 5phr, 10phr 첨가하여 도포한 laminate 시료의 두께는 약 180~230 μ m 이다. 각 시편을 열처리 시간을 달리하여 절연 파괴 강도 측정을 하였다.

두께 100 μ m정도의 XLPE 시료의 절연파괴 강도는 122kV/mm이고 EPDM의 경우는 50.9kV/mm로 XLPE의 경우가 절연파괴 강도가 월등히 높은 것으로 나타났다. XLPE와 EPDM을 laminate한 시편의 경우에는 67.5kV/mm로 EPDM 보다는 약간 높은 파괴 강도를 보였으나 XLPE자체에 비해 파괴 강도가 상당히 저하되었음을 알 수 있다. 이는 XLPE와 EPDM 계면에서의 전계 집중현상에 의한 것으로 생각된다.

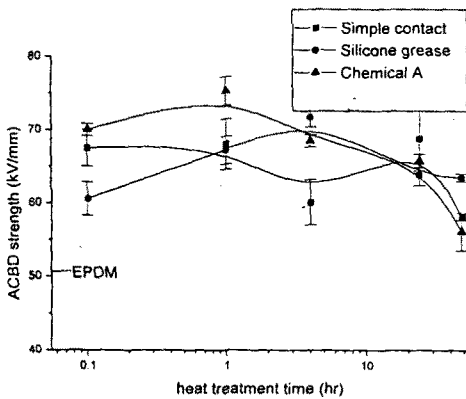


Fig. 3 Effects of heat treatment time on AC BD strength of XLPE/EPDM laminate (■:simple contact, ●:Silicone grease, ○:chemical A)

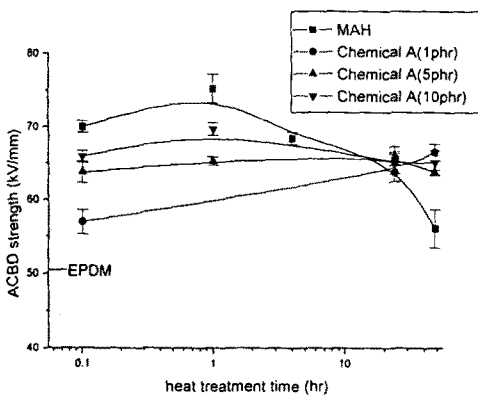


Fig. 4 Effects of heat treatment time on AC BD strength of XLPE/EPDM laminate (●:chemical A, ■:Si+chemical A(1phr), ○:Si+chemical A(5 phr), ▲:Si+chemical A(10phr))

그림 3에는 단순 접촉을 한 XLPE/EPDM laminate와 실리콘 그리스를 바른 경우, chemical A를 첨가한 경우의 절연파괴 강도측정 결과이다. 열처리를 하지 않은 시료

에서 비교해 보면 단순 접촉에 비해 실리콘 그리스를 계면에 도포한 경우 절연파괴 강도가 10% 정도 낮아졌음을 알 수 있다. 이는 실리콘 그리스 자체의 절연파괴 강도가 낮기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 열처리 시간 4시간까지 급격히 상승하다 이후 일정한 값으로 되어 초기 보다 절연파괴 강도가 향상되는데, 이는 실리콘 그리스보다 XLPE나 EPDM 표면에 형성되어 있는 보이드나 균열을 채워 나가고 또한 각 시편의 자유체적으로 침투 확산되어 계면에 남아 있는 실리콘 그리스의 층이 얇아져 파괴 강도가 회복되는 것으로 생각할 수 있다. 실리콘 그리스가 XLPE 내부로 확산한 것을 K. S. Suh 등이 μ -FTIR를 이용하여 측정한 것이 보고된 바 있다[4]. Chemical A를 계면에 도포한 경우 열처리를 하지 않았을 때에는 단순 접촉한 것에 비해 파괴 강도가 약간 증가함을 알 수 있다. 그러나 열처리 시간이 경과함에 따라 파괴 강도는 단순 접촉한 시료와 거의 같은 값 정도로 낮아짐을 보인다. 따라서 열처리 시간이 늘어남에 따라 chemical A의 영향이 줄어들고 있음을 알 수 있다.

그림 4에는 순수 chemical A와 실리콘 그리스에 chemical A를 각각 1phr, 5phr, 10phr 첨가 한 경우의 절연파괴 강도 측정 결과이다. 열처리를 하지 않은 경우에는 chemical A의 농도가 증가함에 따라 파괴 강도가 향상되고 있음을 나타내고 있다. 그러나 열처리 시간이 증가함에 따라 실리콘 그리스에 chemical A를 첨가한 시편들의 경우는 거의 같은 값으로 접근하고 있음을 알 수 있다.

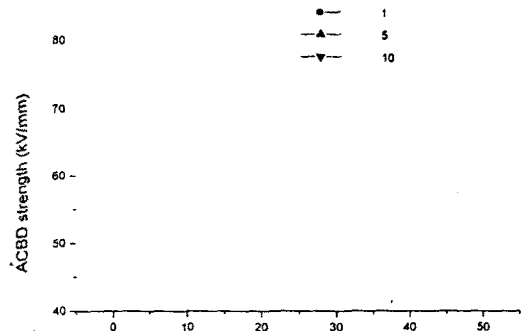


Fig. 5 Effects of heat treatment time on AC BD strength of XLPE/EPDM laminate (●:Silicon grease, ■:Si+chemical A(1phr), ▽:Si+chemical A(5phr), ▲:Si+chemical A(10phr))

그림 5는 실리콘 그리스만 도포한 시료와 chemical A를 도포한 시료의 파괴 강도를 비교하여 보여주고 있다. 열처리를 하지 않았을 경우에는 대체로 chemical A의 함량이 증가함에 따라 파괴 강도가 향상되었음을 보이고 있다. 그러나 열처리 시간의 경과에 따라 실리콘 그리스만 도포 하였을 때와 같은 값으로 접근함을 나타내고 있다. 이는 열처리 시간이 경과함에 따라 역시 chemical A의 영향이 사라지고 있음을 알 수 있다.

3.2 공간전하 축적현상

그림 6은 XLPE/EPDM laminate에서 실리콘 그리스를 계면에 도포한 후 열처리시간에 따른 전하축적 양상을 나타내고 있다. 초기에 양의 계면전하가 축적되었으나 열처리에 따라 전하의 부호가 변하는 것을 알 수 있으며 이에 대해서는 기존에 발표하였다 [5].

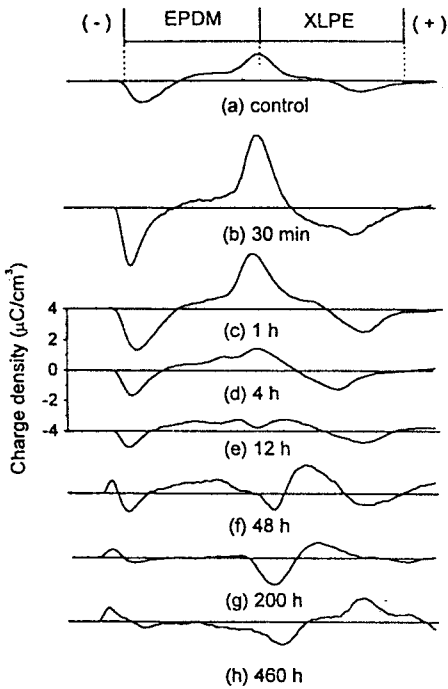


Figure 6. Charge distributions at 30 kV of XLPE/EPDM laminates in various heat treatment times at 80 °C.

그림 7에는 chemical A를 실리콘 그리스에 10 phr 넣은 시료를 계면에 도포한 EPDM/XLPE laminate의 전압에 따른 전하분포 특성을 나타내고 있다. chemical A를 계면에 도포한 경우 축적된 전하가 작음을 알 수 있다. 이는 Chemical A의 극성이 커서 계면에서 전하의 이동이 가능한 연결 고리로 작용함으로 생각할 수 있다.

그림 8에는 단순 접촉한 시료와 chemical A를 처리한 시료의 열처리에 따른 전하분포 특성을 나타내고 있다. 단순 접촉일 경우 열처리에 따라 큰 차이를 보이지 않고 있으나 chemical을 넣고 열처리한 경우, chemical A를 넣음으로 축적된 전하가 작아지는 즉, 전제완화 효과를 나타내었다.

4. 결론

실리콘 그리스를 도포한 경우 실리콘 그리스의 낮은 절연 파괴 강도에 의해 파괴 강도가 낮아 졌으나 열처리 시간이 증가함에 따라 회복되는 특성을 보였다.

chemical A를 계면에 도포한 초기에는 절연파괴 강도의 향상을 보였으나 열처리 시간이 증가 함에 따라 chemical A에 의한 영향이 줄어들었음을 알 수 있었다.

Chemical A를 도포한 경우 축적되는 계면전하의 양이 감소함을 알 수 있었으며 이는 chemical A의 극성에 의해 전하의 이동이 가능하게 된 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [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] K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 1077, 1994

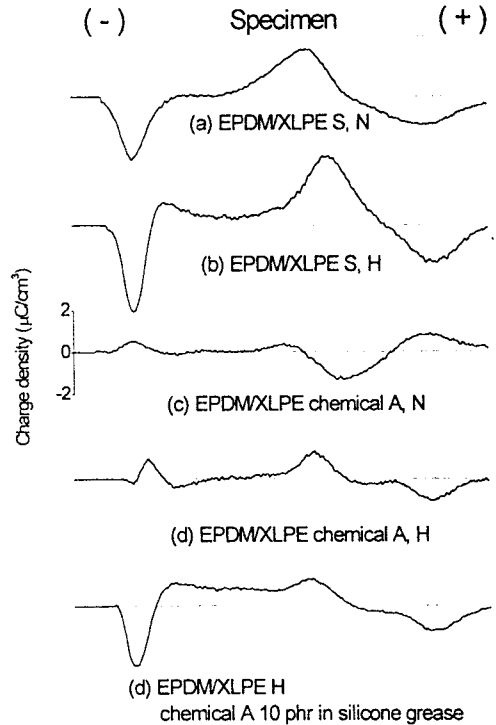


Fig. 7 Charge profiles in XLPE/EPDM laminate pasted silicone grease included chemical A(10 phr). : S; simple contact, H; heat treatment at 80°C, 48h in vac. oven

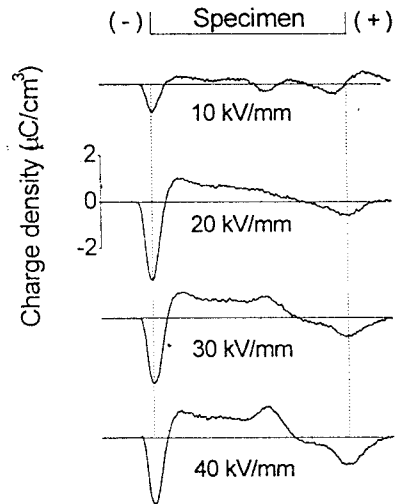


Fig. 8 Charge profiles in XLPE/EPDM laminate with interfacial conditions.

- [4] W. C .Choi. et al., 5th ICPADM vol. 1, 345, 1997
- [5] 서광석 등, 대한전기학회 논문지, 47(1), 23, 1998.

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 중기관제 (95-중-7)연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.