

## 계면조건에 따른 XLPE/EPDM laminate의 공간전하 특성

### Space charge characteristics of XLPE/EPDM laminate with interfacial condition

남진호 고려대학교 재료·금속공학부

서광석 고려대학교 재료·금속공학부

Jin Ho Nam Division of Materials Science and Metallurgy, Korea University

Kwang S. Suh Division of Materials Science and Metallurgy, Korea University

#### Abstract

It was investigated that space charge characteristics of EPDM/XLPE laminates as a function of interfacial condition. There were no effects in charge accumulation characteristics at EPDM/XLPE laminate samples which were pasted with silicone oil and silicone grease. But when the crosslinking coagent (TMPTA) was pasted in laminate samples, there was no space charge in interface of EPDM/XLPE laminate and no effects in the laminate sample pasted with silicone grease dissolved crosslinking coagent. In the coupling agent pasted EPDM/XLPE laminate sample, space charge was accumulated in XLPE side caused by coupling agent.

#### 1. 서론

고분자 재료는 한가지 성분이 아닌 여러 가지 성분으로 이루어져 사용되거나 서로 다른 재료로 이루어진 상태에서 사용되고 있다. 이러한 경우에 재료 내에는 미시적 계면과 거시적 계면이 존재하게 된다. 이러한 고분자 재료가 절연체로 사용될 때 이들 계면에 전계집중이 발생하여 절연 파괴를 일으키는 요인으로 작용할 수 있다는 것은 널리 알려진 사실이다. 즉 이들 재료간에는 이중계면이 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 연구는 미흡한 실정이다 [1-3].

본 연구에서는 배전급 전력케이블의 취약한 부분으로 알려져 있는 접속부위의 계면현상을 이해하고 계면현상의 완화방안을 확립하고자 하였다.

배전급 전력케이블의 직선 접속부에는 케이블 절연층인 XLPE와 접속재의 절연층인 EPDM의 계면이 존재하고 이 계면을 따라 일어나는 절연파괴가 주요 고장원인으로 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 전력케이블의 접속부에서 이루어지는 XLPE/EPDM laminate에서 계면조건을 달리하여 공간전하 축적 특성 연구를 수행하였다.

#### 2. 실험

본 연구에 사용된 EPDM 컴파운드는 Dupont 사 제품으로서 결정성이 없는 무정형의 고분자이며 사용된 diene은 1,4 hexadiene을 사용한 것으로 비유전율은 2.7이다. 가교폴리에틸렌 (XLPE)은 국내 석유화학회사 제품으로 밀도는  $0.920 \text{ g/cm}^3$ 이고 비유전율은 2.3이다. 또한 약간 개질된 고분자로서 노말부틸아크릴레이트를 그래프트 시킨 폴리에틸렌 (nBA grafted polyethylene: nBA-g-PE)을 사용하였다, 그래프트 율은 0.12 wt%이다. nBA-g-PE는 그래프트 반응중에서 미반응 monomer를 제

거하기 위해 메탄올에서 24 시간 추출후 80 °C의 진공오븐에서 건조후 사용하였다.

본 연구에 사용된 EPDM과 XLPE는 180 °C에서 10 분간 가교시켜 두께 약 350  $\mu\text{m}$ 로 만들었으며 nBA-g-PE는 130 °C에서 10분간 압축성형하였다. EPDM과 XLPE, EPDM과 nBA-g-PE를 laminate 시킨 시료의 두께는 700  $\mu\text{m}$  정도이다. XLPE/EPDM, nBA-g-PE/EPDM laminate는 두 시트 사이에 실리콘 오일 및 가교조제 계면결합제를 도포한 후 접촉시켜 laminate를 만들었다. 열처리를 위한 시료는 두 시트를 포갠 후 laminate 시료에 일정 압력이 가해지도록 클램프로 고정된 후 진공오븐에 넣어 열처리하였다. 이때 열처리는 80°C에서 48 시간으로 하였고 시료 표면에서의 산화반응을 억제하기 위하여 시료 표면을 테프론 판으로 보호하였다.

전하분포는 Pulsed Electroacoustic (PEA) 방법을 사용하여 측정하였으며 이에 대한 원리는 기존에 발표된 바 있으며 [4] 장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 시편에 전압을 10 kV/mm에서 40 kV/mm 까지 5 kV/mm 간격으로 30분 동안 가하였다. 단계적으로 전압을 가한 후 각 단계에서 형성된 잔류전하를 폭이 10 ns이고 크기가 2 kV인 전기펄스를 가하여 측정하였다.

공간전하 분포 측정을 할 때 반도체 전극을 사용하였으며 이 반도체 전극은 시료와의 접촉성을 향상시키기 위하여 EPDM에 전도성 카본블랙을 첨가하여 제조한 반도체 컴파운드를 사용하였다. 전극재료 내에 들어 있는 가교부산물 성분이 공간전하분포에 주는 영향을 배제하기 위하여 반도체 재료는 80 °C에서 48시간 진공 처리한 후 전극으

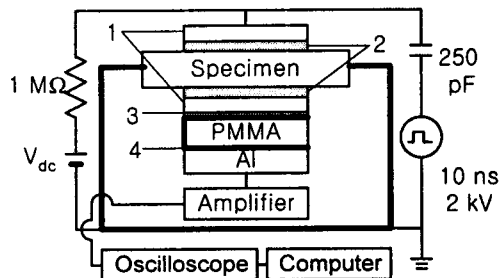


Fig. 1 Schematic diagram of PEA system; 1: Al electrode, 2: Semicon electrode, 3: PVDF film, 4: Tin film

로서 사용하였다 [5, 6].

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 실리콘 오일에 따른 특성

XLPE/EPDM laminate 시편에서 계면조건을 달리한 결과를 그림 2에 나타냈다. (a)는 단순 접촉 조건이고 (b)는 실리콘 그리스를 도포한 직후 측정

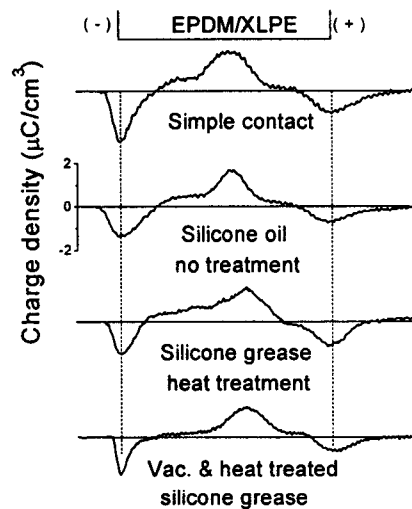


Fig. 2 Charge formation in EPDM/XLPE laminate with various contacts at 40 kV/mm : (a) simple contact, (b) silicone oil, (c) silicone grease (80 °C, 48h, vacuum), (d) vacuum treated silicone grease (80 °C, 200h, vacuum)

한 결과이며 (c)는 실리콘 그리스를 도포한 후 80 °C, 진공오븐에서 48시간 열처리 후에 측정된 결과이다. (d)는 80 °C의 진공오븐에서 200 시간동안 열처리한 실리콘 그리스를 도포하여 측정된 결과이다. 이 결과는 열처리되지 않은 실리콘 그리스를 도포한 경우와 큰 차이를 보이지 않음으로 실리콘 그리스 자체의 변화가 전하측정에 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

#### 3-2. 가교조제에 따른 특성

그림 3은 가교조제를 계면에 도포한 후에 80 °C의 진공오븐에서 48 시간 열처리한 후에 공간전하

를 측정된 결과이다. (a)는 계면을 단순접촉 후에 열처리한 것이고 가교조제로 실험에 사용한 것은 4 종류로 (b) TAC, (c) TAIC, (d) TMPTMA, (e) TMPTMA를 사용하였다. 그림에서 TMPTMA를 제외한 나머지 세 가지에 의한 효과는 계면에 축적되는 전하가 확연하게 보이나 TMPTMA를 사용한 시료에서 낮은 전압에서는 약간의 계면전하가 있지만 전압을 상승시킴에 따라서 계면전하가 사라지고 계면을 기준으로 전하의 극성이 바뀌어 있음

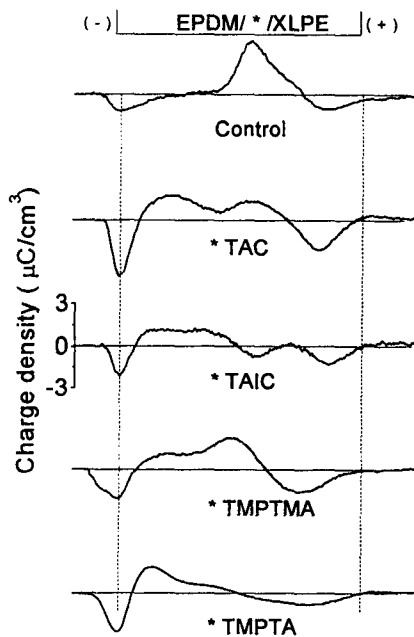


Fig. 3 Charge formation in heat treated EPDM/crosslinking coagent /XLPE laminates at 40 kV/mm (80 °C, 48h, vacuum) ; crosslinking coagent: (a) control, (b) TAC, (c) TAIC, (d) TMPTMA, (e) TMPTMA

을 알 수 있다. 이는 단층시편에서 나타나는 전하 축적 양상과 비슷한 결과를 보여준다. 즉, 이 가교조제를 사용한 경우에 계면이 없는 것처럼 여겨진다. 이것은 가교조제가 XLPE와 EPDM 사이의 계면에 존재함으로써 계면에 존재할 수 있는 전하가 이동할 수 있는 연결고리 역할을 한다고 생각된다.

실제의 케이블 상황에서는 실리콘 그리스를 도포하여 접속재에 사용하므로 본 연구팀에서도 실

리콘 그리스에 가교조제를 함침시킨 후 계면처리를 하여 전하분포를 측정하였다. 그림 4(b)는 TMPTMA를 넣은 실리콘 그리스를 계면에 도포 후 열처리한 결과를 나타내고 그림 4(c)는 TMPTMA를 넣은 실리콘 그리스를 계면에 도포 후 열처리한 결과를 나타낸다.

TMPTMA를 넣은 실리콘 그리스를 도포한 경우에는 계면에 전하가 축적된 것이 관찰되는데 이것은 TMPTMA 만을 도포한 경우와 비교하여 실리콘 그리스의 영향이 크다. TMPTMA 만을 도포한 경우는 계면에 양전하가 축적되는 것을 보이지만 실리콘 그리스에 TMPTMA를 넣은 경우에는 계면에 축적되는 전하가 상당히 적음을 알 수 있다.

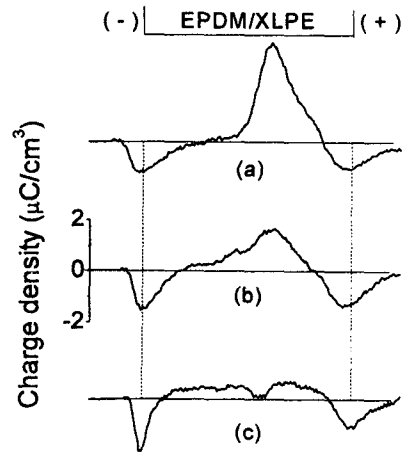


Fig. 4. Charge formation in heat treated EPDM/XLPE laminates as a function of laminating condition at 40 kV/mm: (a) no pastel, (b) TMPTMA 10 phr in silicone grease, (c) TMPTMA 10 phr in silicone grease

### 3-3. 계면결합제에 따른 특성

계면결합제는 주로 고분자와 무기물 충전제와의 결합력을 증가시키기 위해 사용된다. EPDM과 XLPE의 표면에 존재할 수 있는 OH 기나 가교반응에 참여하지 않은 활성기를 가지고 있을 때 계면결합제를 사용하여 결합이 생성되면 전하량 축적에 있어서 감소부분이 나타날 것으로 생각된다.

그림 5는 계면결합제 vinyl group, meth-

acrylate group, methyltrimethoxy group, methacryloxy group을 가진 계면결합제를 laminate의 계면에 도포하여 전하분포를 측정된 결과를 나타내고 있다. 그림에서 EPDM 측에는 약간의 전하가 축적됨을 보이고 있고 XLPE 측에 많은 양의 양전하가 축적됨을 알 수 있다.

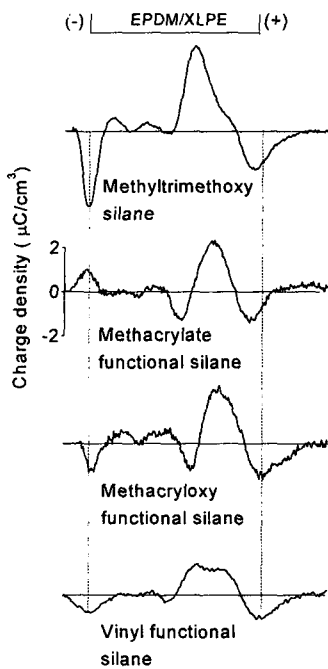


Fig. 5 Charge formation in heat treated EPDM/XLPE laminate as a function of coupling agent species at 40 kV/mm

### 3.4 EPDM/nBA-g-PE laminate

계면결합제에 의한 효과를 알아보기 위하여 nBA-g-PE를 사용한 결과가 그림6에 있다. 전하축적은 주로 nBA-g-PE에 이루어졌으나 methacrylate를 사용한 경우에 제일 작았으나 계면전하의 큰 감소는 이루어지지 않았다.

## 4. 결론

가교조제 TMPTA를 도포한 경우에 계면전하

축적이 없었으나 다른 가교조제에서는 효과가 거의 없었다. 가교조제를 넣은 실리콘 그리스를 계면에 도포한 경우에 TMPTA를 넣은 경우에 전하축적이 가장 적었다. 계면결합제를 계면에 도포한 경우에 XLPE 측에 많은 양전하가 축적되었다. nBA-g-PE에서는 큰 효과가 없었다.

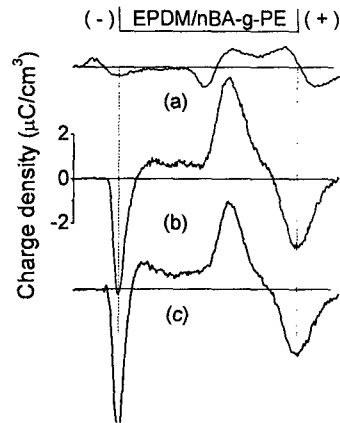


Fig. 6. Charge formation in EPDM/nBA-g-PE laminate as a function of coupling agent species at 40 kV/mm: (a) methacrylate group silane, (b) methyltrimethoxy silane, (c) vinyl group silane

## 참고문헌

- [1] K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 3, 201, 1996.
- [2] K. S. Suh et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI* 1997. Submitted.
- [3] T. Ditchi et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, Vol. 24, 403, 1989.
- [4] Y. Li et al., *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 188, 1994.
- [5] T. Ditchi et al, *IEEE Trans. Elec. Ins.*, Vol. 24, 403, 1989.
- [6] K. S. Suh et al, *IEEE Trans. Dielectrics EI*, Vol. 1, 1077, 1994.

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