

EPDM/XLPE Laminate의 전하형성 특성

Characteristics of Charge Formation in the EPDM/XLPE Laminate

박 성 국, 남 진 호, 서 광 석, 이 철 호*
고려대학교 재료공학과
*평일산업(주) 기술연구소

Sung K. Park, Jin H. Nam, Kwang S. Suh, and Chul H. Lee*

Department of Materials Science, Korea University
* Pyung-II Industrial Co. R&D Center

Abstract

The behaviour of interfacial charge in EPDM/XLPE laminates has been investigated by measuring charge distributions using a pulsed electroacoustic (PEA) method. Homocharge develops in EPDM while heterocharge develops in XLPE. A broadly interfacial charge peak is observed at EPDM/XLPE interface. When EPDM/XLPE laminates are treated in high temperature for different times, the amount and polarity of interfacial charge are changed.

1. 서 론

고분자가 절연시스템에 사용될 경우, 각종 계면을 가지게 된다. 이러한 계면에 공간 전하가 축적되고 이에 따라 전계집중현상이 등이 발생하여 조기에 절연파괴를 유발하는 원인으로 작용하게 된다.

이와 관련된 연구결과를 살펴보면 PE 결과 계면에 축적되는 전하에 의한 새로운 피크를 발견했으며 [1], PE/PE/PE laminate의 전하축적을 연구하여 계면에서 전계가 왜곡된다는 결과도 얻었고 [2], PE/EVA laminate에

서 계면에 축적되는 공간전하로 인하여 내부의 전계가 심하게 왜곡되는 결과도 얻었다 [3,4]. 이러한 연구들을 통하여 계면의 특성을 연구하고 계면에서 발생하는 현상을 규명함으로써 궁극적으로는 계면의 특성을 향상시키는 데 그 목적이 있다 하겠다.

본 연구에서는 여러 가지 고분자 절연 시스템중에서 전력 케이블 접속재에 존재하는 EPDM (ethylene propylene diene terpolymer) 과 XLPE (crosslinked polyethylene)의 계면의 전하축적 현상을 관찰하였다. 케이블 접속재에 존재하는 EPDM/XLPE 계면에는 도포되어 있는 실리콘 그리스의 영향도 살펴보았다.

2. 실험

본 연구에서 사용된 EPDM 컴파운드는 국내 접속재 생산회사에서 공급되었는데, 원재료인 EPDM은 Du Pont사 제품으로서 결정성이 없는 무정형의 고분자이다. 물성을 보강하기 위해서 충전제로 수산화 알루미늄 (alumina trihydrate; ATH)을 사용하였고 충전제의 분산을 돕기위하여 오일, 왁스, 및 금속 스테아레이트 등의 분산향상제가 혼합되었으며 가교 촉진제로서 산화아연을 소량 사용하였다. 가

교제는 dicumyl peroxide (DCP)를 사용하였다. 본 연구에 사용된 XLPE는 국내화학회사 제품으로서 밀도는 0.920 g/cm^3 이고 유전율 ϵ_r 은 2.3이다.

전하분포용 시편은 hot press를 이용하여 175°C 에서 10분간 압축 성형하였고 전극은 접속재의 반도체층으로 사용되는 반도체 컴파운드를 약 $200 \mu\text{m}$ 두께로 만들어 가교부산물의 영향을 배제하기 위하여 진공처리한 후 사용하였다 [5]. Laminate 시편은 EPDM과 XLPE를 판상으로 제조한 후, EPDM과 XLPE의 계면에 접속재에 사용되는 실리콘 그리스 (silicone grease)를 도포하고 이를 clamp로 물린 뒤 80°C 와 100°C 의 오븐에서 처리하였다.

전하분포 측정은 전기음향펄스 (PEA) 방법을 이용하여 직류전압을 10 kV에서 40 kV까지 5 kV씩 단계별로 시편에 가한 뒤 측정은 전압을 제거한 후 실시하였다 [6].

3. 결과 및 고찰

3.1. 모체수지

그림 1은 첨가제가 들어 있지않은 순수한 가교 EPDM의 공간전하 분포이다. 그림에서 나타난 것처럼 음전극쪽에 음전하가 양전극쪽에 양전하가 형성되는 동종전하 (homo-charge)가 형성되었다. 이러한 결과는 XLPE의 결과와 매우 다른데, DCP를 가교제로 사용했을 경우 가교부산물의 영향으로 XLPE는 이종전하를 형성하는 것으로 밝혀진 바 있다 [5]. 그러나 본 시료는 종류가 다른 고분자지만 XLPE에 비하여 동종전하를 형성시킬 특별한 구조적 차이가 없을 것으로 생각되어 반도체

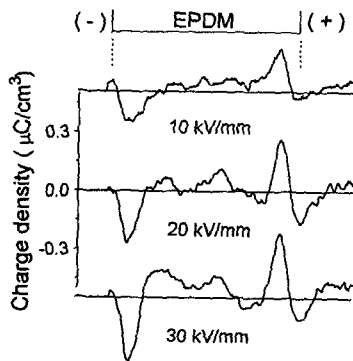


Fig. 1. Charge distributions after the discharge in crosslinked pure EPDM.

전 전극의 영향을 살펴보았다. 그림 2에 DCP로 가교된 XLPE의 반도체 전극의 영향이 나와 있다. 그림에서 보듯이 EPDM 반도체 전극을 사용한 경우, 동종전하를 보였다. 따라서 본 시료가 동종전하를 보이는 것은 전극에서 전하가 주입되었기 때문으로 여겨진다.

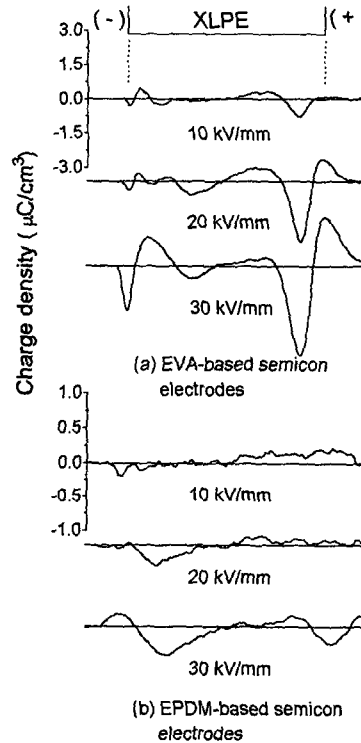


Fig. 2. Effects of types of semicon electrodes on the charge distributions of DCP-cured XLPE.

3.2. EPDM/XLPE laminate 시편

그림 3에는 계면에 실리콘 그리스를 바른 후 80°C 의 오븐에서 여러 시간에 걸쳐 열처리한 (-)EPDM/XLPE(+) laminate 시편의 전하분포를 나타내었다. 그림에서 열처리 초기엔 계면에서 양전하가 축적되어 있다가 나중엔 음전하가 축적되는 것을 볼 수 있다. 그리고 EPDM 쪽 (음전극 쪽)에는 동종전하가 존재하며 열처리 시간이 증가할수록 동종전하량이 감소하고 200시간 이상이 되면 이종전하로 바뀔 수 있다. 마찬가지로, XLPE 쪽 (양전극 쪽)도 음전하량이 점점 감소하다 음전하에서 양전하로 전하의 부호가 바뀌었다.

그림 4에는 100°C 의 오븐에서 열처리한 시편의 전하분포를 나타내었다. 그림 3과 비

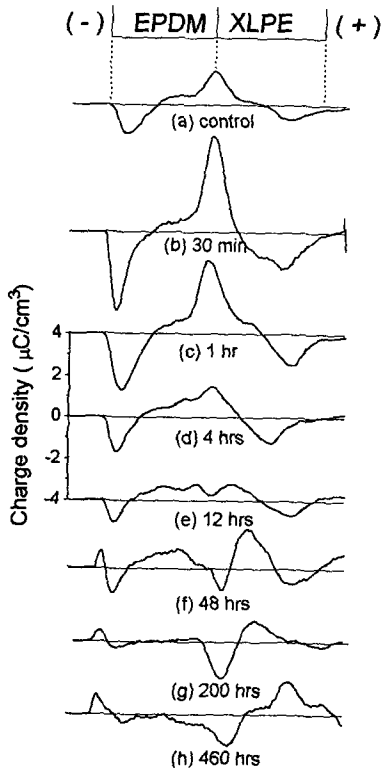


Fig. 3. Charge distributions in the EPDM/XLPE laminate as a function of lamination time at 80°C.

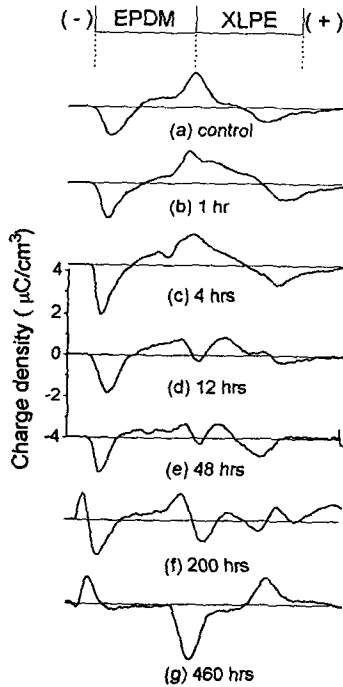


Fig. 4. Charge distributions in the EPDM/XLPE laminate as a function of lamination time at 100°C.

슷한 양상을 보여주는데, 계면에는 초기에 양 전하가 축적되다 점점 감소하고 음전하로 그 부호가 바뀔을 관찰할 수 있다. 그림 3과 4를 비교하면 80°C에서 시편을 처리한 경우보다 100°C에서 처리한 경우 계면에 축적되는 전하량이 감소함을 알 수 있다.

이러한 결과를 바탕으로 극성을 바꾸어 실험했다. 그림 5는 80°C의 오븐에서 열처리한 (-)XLPE/EPDM(+) laminate 시편의 전하 분포를 나타내었다. 200시간까지는 전체적인 시편의 극성과 모양은 변하지 않았으나 460시간 열처리한 경우 음극쪽의 전하부호가 바뀔을 확인할 수 있었다. 이와 같은 현상은 100°C에서 처리한 경우에도 확인할 수 있었다.

이러한 결과들을 가져오는 요인으로 예상할 수 있는 것은 첫째로 열처리로 인해 시편자체가 영향받았을 가능성이고, 둘째로 계면에 존재하는 실리콘 그리스의 확산에 의해 영향받았을 가능성이다.

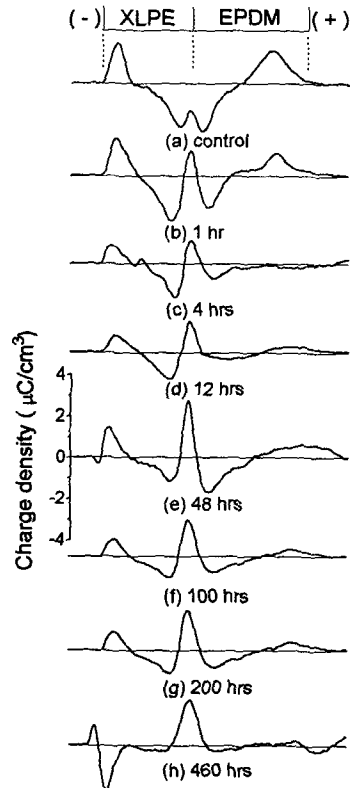


Fig. 5. Charge distributions in the XLPE/EPDM laminate as a function of lamination time at 80°C.

그림 6은 시편을 80°C의 오븐에서 460시간 열처리한 것으로 (a)는 계면에 실리콘 그리스를 바른상태로 열처리한 경우이고, (b)는 실리콘 그리스의 영향을 배제하기위해 시편의 계면에 실리콘 그리스를 바르지 않은 상태로 열처리한 경우이고, (c)는 실리콘 그리스의 확산의 영향을 배제하기위해 시편 열처리 후 실리콘 그리스를 바르고 실험한 결과이다.

그림 6 (a)는 EPDM 쪽은 이중전하, 계면에는 음전하가, XLPE 쪽은 동종전하가 축적된다. (b)는 EPDM 쪽은 동종전하, XLPE 쪽 역시 동종전하를 보인다. 그리고 (c)의 경우는 EPDM 쪽은 동종전하의 형태를 가지고, XLPE 쪽은 이중전하의 형태를 가진다. (a)와 (b)를 비교해 보면 EPDM 쪽의 전하형성이 다르다는 것을 알 수 있다. (b)를 보면 EPDM 쪽은 열처리에 관계없이 모체수지와 같은 전하분포를 가지나, XLPE는 동종전하를 가지므로 열처리에 의해 전하형성이 영향받는다는 것을 알 수 있다. 장시간 열처리할 경우 이중전하의 형성원인이 되는 가교부산물이 감소하기 때문에 동종전하의 형태를 갖는 것으로 생각된다. (c)와 비교해 보면 EPDM이 (a)가 이중전하를 갖는 것은 실리콘 그리스의 확산에 의한 결과라고 생각된다. 이것을 종합해 보면 EPDM/XLPE laminate의 전하분포는 실리콘 그리스와 열처리에 의한 시편자체의 변화 모두에 영향을 받는다고 생각된다.

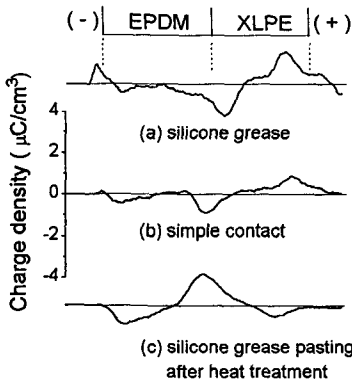


Fig. 6. Charge distributions in the EPDM/XLPE laminate as a function of lamination conditions: 460 hrs at 80°C.

3.3. 실리콘 그리스의 확산

실리콘 그리스가 실제로 시편내부로 확산되는지를 확인하기 위해서 μ -FTIR을 이용하여 확인한 결과를 그림 7에 나타내었다.

그림에서 실리콘 그리스가 열처리 시간이 증가함에 따라 시편내부로 확산이 더 많이 이루어짐을 확인할 수 있었다.

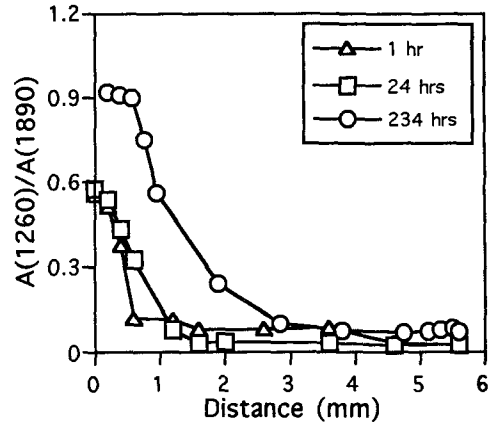


Fig. 7. Absorbance ratio of silicone grease into XLPE as a function of time.

4. 결론

본 연구를 통해 케이블 접속재에서 계면을 이루고 있는 모체수지인 EPDM은 전극에서 주입된 전하에 의해 동종전하를 가지며 EPDM/XLPE 계면에 전하가 축적되며 이를 열처리를 하였을 경우 열처리 시간이 증가함에 따라 축적되는 전하의 양과 극성이 변화하는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 계면에 존재하는 실리콘 그리스의 확산과 시편자체의 변화에 의해 영향받는다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. M. Ieda, et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, EI-25, 509-514 (1990).
2. Y. Li, et al., *J. Appl. Phys.*, 74, 2725-2730 (1993).
3. K. S. Suh, et al., *Trans. KIEE*, 45, 836-843, (1996).
4. K. S. Suh, et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, DEI-3, 201-206 (1996).
5. K. S. Suh, et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, 1, 1077-1083 (1994).
6. Y. Li, et al., *IEEE Trans. Electr. Insul.*, DEI-1, 188-195 (1994).