

## XLPE와 EPDM의 계면에 따른 유전특성과 온도, 전계, 압력의존성

### Temperature, Electric Field, Pressure Dependency and Dielectric properties on the interface between XLPE and EPDM

김 동 식\* 원광대학교 공과대학 전기공학부  
박 대 회 원광대학교 공과대학 전기공학부

Dong-Shick Kim\* School of Electrical Engineering, Wonkwang University  
Dae-Hee Park School of Electrical Engineering, Wonkwang University

#### Abstract

In this paper, we have evaluated temperature, electric field, pressure dependency and dielectric properties of EPDM, XLPE and EPDM/XLPE's interface. Temperature dependency of EPDM had great influence with dielectric properties, but pressure and applied voltage of EPDM had no effect on dielectric properties. Dielectric properties of XLPE were influenced by not only temperature but also pressure and applied voltage. We knowed that dielectric properties of EPDM/XLPE were trended toward tendency of those of EPDM,

#### 1. 서론

최근에 이르러 전력케이블의 절연재료는 폴리올레핀과 고무계가 폭 넓게 사용이 되고 있으며 절연재료로써 절연성능을 유지하는데는 단일 재료로 초고압에 사용하는데는 한계에 이르러 접속자재 및 전력케이블은 절연체/반도전, 절연체/절연체등의 이종계면을 사용하는 것이 증가하고 있다.<sup>1,2</sup> 그러나 초고압에서의 전력케이블의 절연사고는 케이블의 이종계면 부분에서와 케이블의 중단부 및 중간 접속부의 절연체/절연체, 반도전/절연체의 계면에서 많이 발생한다.<sup>3,4</sup> 주로 계면이 존재하는 곳에서부터 절연사고의 시발점으로 케이블의 절연성능을 저하시킨다. 계면에서의 절연사고는 주로 장시간에 걸쳐서 열화가 진전되어 일어나는 것으로서 이에 대한 방지책으로 계면의 압력 혹은 유전특성등의 평가가 필요하다.<sup>5,6</sup> 전력시스템내에서 계면은 열화나 절연성능의 저하를 일으키는 인자로써 행동하기도하고 효율적인 계면의 활용은 전계집중을 완화시킬 수 있으며, 전력기기 및 절연부품의 신뢰성을 향상시키는데 중요한 역할을 하는 것으로 여겨진다. 계면이 존재하는 경우에 있어서의 전기적인 물성의 검토는 매우 중요한 부분으로 사료되고 절연/절연과 같은 계면하에서의 유전특성을 각각 검토하고자한다. 절연재료내에서 유전특성은 장기적인 신뢰성에 관련되는 것으로 가해지는 전계, 온도 그리고 유전을 등에 의해 영향을 받는다. 유전손실은 케이블이 장시간 운전되어지는 동안에 서서히 열화를 가속시키는 것으로 절연성능을 저하시키는 인자이다. 이와같이 절연재료에 있어서 유전특성은 장기적인 측면에서 신뢰성을 좌우되는 물성으로 특히 고전압화와 함께 중요성이 증가하고 있다. 이와같은 관점에서 본 논문은 절연부품에 많이 사용되어지는 cross-linked Polyethylene(이하 XLPE), Ethylene Propylene Diene Monomer(이하 EPDM)의 유전특성을 전압, 온도, 압력의존성을 평가하고, 나아가 전력기기의 계면에 있어서 나타나는 현상의 고찰을 통하여 품질개선 및 개발에 응용하고자 한다.

#### 2. 실험 방법

유전손실은  $\tan \delta$ 에 비례하며, 절연재료내에서의 전력손실을 나타내는 것으로 고전압화가 됨에 따라서 다음의  $W = \omega CV^2 \tan \delta$ 에 의해서 증가를 한다.  $\tan \delta$ 는 절연재료의 크기에는 무관하며, 고유의 성질을 나타내는 것으로 절연저항과 함께 사용 되어지고 있다. 일반적으로 절연재료에 흐르는 누설전류가 증가하면, 유전손실이 커지고, 손실이 증가하므로 온도상승을 일으킨다. 이와같은 유전손실은 절연재료내의 흡수에 의해서 크게 증가하는 것으로 알려져, 열화진단의 방법으로 이용이 되고 있다. 절연재료에 있어서 유전특성은 인가되어지는 전압, 주파수에 의해서 평가를 하고 있으며, 사용되는 용도에 따라서 측정조건이 다르다. 본 절연재료의 경우는 주파수보다는 전력기기라는 관점에서 볼 때 전압, 온도 및 압력에 의존성을 평가하고, 특히 절연계면이 존재하는 구조를 고려하여 다음과 같이 각각 시험하였다. 본 시험에 사용한 시료는 두께가 일정한 EPDM과 XLPE이며, 측정 전에 충분히 건조기내에서 건조시킨 후, 에틸알콜로써 세척한 후에 각각 측정하였다. 사용한 전극은 상부 전극에 지름 49mm의 주전극과 지름 79.1mm의 guard ring 전극, 하부전극으로 지름 100.4mm의 평판을 사용하고, 시료의 가열은 주전극내의 히터에 의해서 가열하였다. 실험장치의 회로도 는 그림 7에 나타냈다. 정전용량과 유전손실의 시험장치는 Tettex instrument를 이용하였다. 이 때  $\tan \delta$ 의 온도의존성은 전극의 온도를 실온에서부터 100°C이르기까지 상승시키면서 측정하였고, 압력의 의존성은 상부전극을 이동시켜 2 ~ 6(N/cm<sup>2</sup>)의 압력을 가한 상태하에서 측정하였다. 이때에 인가전계는 3(kV/cm), 7(kV/cm), 10(kV/cm)으로 하였다. 또한 계면의 상태를 고찰하기 위하여 XLPE/EPDM의 시료로서 사용하였다.

#### 3. 실험 결과

### 3-1 EPDM과 XLPE의 유전특성

#### 3-1-1 전계의존성

그림 1은 2(N/cm<sup>2</sup>)의 압력을 가하면서 EPDM에 대한 유전특성의 전계의존성을 나타냈다. 시료에 3(kV/cm), 7(kV/cm), 10(kV/cm)의 전계를 가한 상태에서 tan δ와 정전용량을 각각 측정된 결과 8.6×10<sup>-3</sup>(%), 68[pF]를 나타냈다. 이와같은 결과는 EPDM 내에서의 유전특성은 안정된 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 시험전극의 정전용량으로부터 유전상수를 계산한 결과 3.2가 얻어졌다.

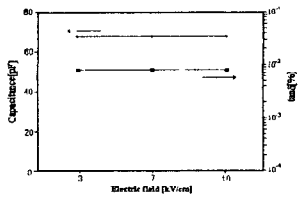


그림 1. 압력 2(N/cm<sup>2</sup>)을 가한 상태에서의 EPDM의 인가 전계의존성

다음에는 유전특성의 전계의존성을 XLPE에 대하여 각각 평가하였다. 그림 2는 일정압력 4(N/cm<sup>2</sup>)하에서 XLPE의 tan δ와 정전용량의 인가전압이 증가하여도, 일정한 31.7(pF)를 나타내고 있으나, tan δ는 오히려 감소하는 아주 적은 값을 나타내고 있다. 이다. 또한 유전율은 2.3으로서 이미 보고되어진 PE과 동등하다. 본 시험에 있어서 tan δ의 결과는 이미 보고되어진 XLPE의 2.3×10<sup>-4</sup>(%)보다 적은 값을 나타내고 있다. 이와같은 결과는 전극에 가해지는 압력이 높아짐으로 고분자 체인의 움직임이 억제됨으로 나타나는 것으로 추정된다. 이와같은 관점에서 유전특성의 압력의존성을 각각 평가하였다.

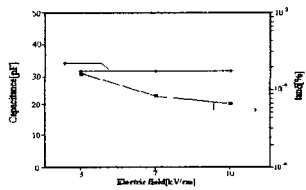


그림 2. 압력 4(N/cm<sup>2</sup>)하에서의 XLPE의 tan δ와 정전용량의 인가전계의존성

#### 3-1-2 압력의존성

그림 3은 EPDM에 전계를 일정하게 7(kV/cm)하고, 압력을 2, 4, 6(N/cm<sup>2</sup>)을 인가하면서 정전용량과 tan δ를 나타낸 결과이다. 정전용량과 tan δ는 압력에 거의 의존하지 않는 일정한 8.6×10<sup>-3</sup>(%)와 69[pF]로 나타났다. 유전특성은 압력에 거의 변화를 나타내지 않는 결과가 얻어졌다. 이와같은 압력하에서 안정된 유전특성을 나타내는 것은 고무의 체인의 움직임이 압력에 억제됨으로 일어나는 결과로 추정된다.

다음에는 XLPE에 대한 유전특성의 압력의존성을 평가하였다. 그림 4는 XLPE의 유전특성의 압력의존성에 대한

결과이다. 정전용량은 일정한 31.7(pF)를 나타내고 있으나, tan δ는 압력의 증가와 함께 증가하는 결과를 나타낸다. 이와같은 결과는 EPDM의 경우가 압력에 대하여 XLPE에 비해서 안정된 특성을 갖는 것으로 판단된다.

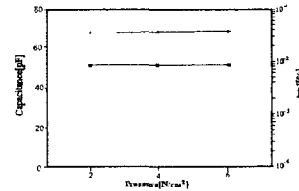


그림 3. 인가전계 7(kV/cm)하에서의 EPDM의 tan δ와 정전용량의 인가압력의존성

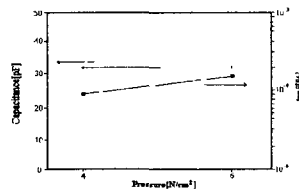


그림 4. 인가전계 7(kV/cm)하에서의 XLPE의 tan δ와 정전용량의 인가압력의존성

#### 3-1-3 온도의존성

그림 5은 4(N/cm<sup>2</sup>)의 일정압력, 7(kV/cm)의 일정전계하에서 EPDM의 온도의존성을 나타낸 결과이다. 실온에서 tan δ는 8.6×10<sup>-3</sup>(%)과 정전용량은 69(pF)를 나타내고 있으나, 온도의 증가와 함께 유전특성의 변화를 나타낸다. 100℃하에서 정전용량은 약간 증가된 72(pF), tan δ는 5.07×10<sup>-2</sup>(%)로서 실온에 비해서 크게 증가하는 경향을 보인다. 이와같은 tan δ의 증가는 온도에 큰 의존성을 나타내는 것으로 판단되며, 온도와 함께 선도전류의 증가 일으키는 결과로 판단된다. 또한 유전율도 온도의 상승과 함께 약간 증가된 3.38을 나타냈다. 이와같은 유전특성의 온도의존성의 결과는 절연재료의 열화의 판단 기준 및 절연성능을 평가하는 기준이 될 것으로 판단된다.

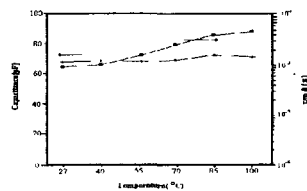


그림 5. 인가압력 4(N/cm<sup>2</sup>)과 인가전계 7(kV/cm)하에서의 EPDM의 tan δ와 정전용량의 온도의존성

그림 6는 4(N/cm<sup>2</sup>)의 압력과 7(kV/cm)의 전계하에서 XLPE의 유전특성에 대한 온도의존성을 나타낸 결과이다. XLPE의 유전특성은 전반적으로 온도의 상승과 함께 불안정한 상태로 변화를 나타내고 있다. 이와같은 결과는 XLPE에 포함되어 있는 잔사가스 혹은 고온하에서의

시료의 용융등에 의한 영향으로 판단되어진다.

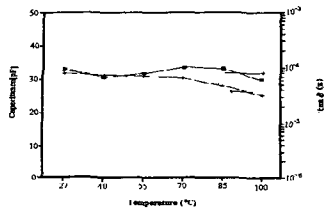


그림 6. 인가압력 4(N/cm²)과 인가전계 7(kV/cm)하에서의 XLPE의 tan δ와 정전용량의 온도의존성

### 3-2 EPDM/XLPE 절연계면의 유전특성

#### 3-2-1 압력의존성

EPDM과 XLPE가 밀착되어 절연시스템을 이루는 경우에 있어서 유전특성의 압력의존성을 평가하였다. 그림 7은 EPDM/XLPE에 있어서 일정한 전계 7(kV/cm)를 가하면서 유전특성의 압력의존성을 나타냈다. 각 압력하에 정전용량은 21(pF)와 tan δ는  $3.16 \times 10^{-3}(\%)$ 을 나타내고 있다. EPDM/XLPE 시료하에서 정전용량은 각각 시료보다 작아지고, tan δ는 XLPE보다는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이와같이 이종의 절연이 존재하는 경우에는 유전특성의 변화를 일으키며, 특히 tan δ는 절연능이 좋은 특성에 따른다. 또한 압력의존성의 결과를 보면 유전특성은 변화를 보이지 않는다. 이때의 EPDM/XLPE의 유전율은 2.58로서 XLPE보다 약간 큰 값을 나타낸다. 즉 유전율의 등가는 3.22와 2.32의 사이의 값을 보이고 있다. 그렇지만 계면을 갖는 절연시스템 내에서 유전 특성은 계면이 밀착되어 있는 상태보다는 계면의 이물 혹은 갭에 의해서 유전특성의 변화를 일으킬 것으로 사료되어 향후에 시험을 추진하고자 한다.

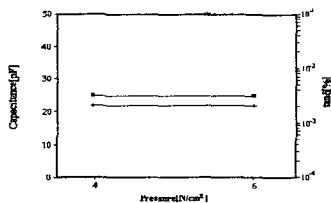


그림 7. 인가전계 7(kV/cm)하에서의 EPDM/XLPE의 tan δ와 정전용량의 압력의존성

#### 3-2-2 온도의존성

그림 8은 EPDM/XLPE의 온도의존성을 나타낸 결과로 4(N/cm²)의 일정압력, 7(kV/cm)의 일정전계하에서 측정하였다. 이종계면을 갖는 시료에 있어서 유전특성의 온도의존성은 온도의 상승과 함께 tan δ는 실온에서  $3.16 \times 10^{-3}(\%)$ 을 나타내고, 100℃에서는  $1.45 \times 10^{-2}(\%)$ 으로 5배정도 증가하며, 정전용량은 약간 감소하는 결과를 나타내고 있다. 계면을 갖는 시료의 유전특성은 XLPE의 특성에 크게 의존하는 것을 확인 할 수 있었다. 이와같은 유전특성의 결과로부터 계면을 갖는 이종절연은 열에 대해서는 불안정한 절연특성을 갖는 것을 알 수 있다. 온도상승에 의한 tan δ의 상승은 고무Chain이 열자극에 의해서 운동을 함으로써 나타나는 것으로 사료된

다.

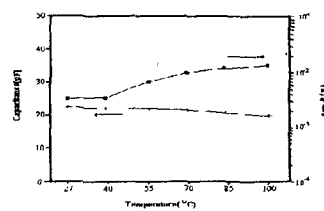


그림 8. 인가압력 4(N/cm²)과 인가전계 7(kV/cm)하에서의 EPDM/XLPE의 tan δ와 정전용량의 온도의존성

## 4 결 론

절연재료인 EPDM과 XLPE의 유전특성을 각각 측정하고 절연/절연구조의 계면특성을 각각 평가하여 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

- 1) XLPE의 유전특성은 EPDM에 비하여 우수한 성능을 가지고 있는 것으로 얻어졌으나, 온도의존성에 있어서는 불안정한 상태를 나타낸다. 또한 전계, 압력에 의한 유전특성에 의존하지 않고, 온도에 크게 의존한다.
- 2) 이와 반대로 EPDM의 유전율, 유전손실등과 같은 유전특성은 XLPE에 비하여 약간은 떨어지나 온도의존성에 대하여서는 안정된 특성을 나타낸다.
- 3) EPDM/XLPE 절연계면하에서의 유전특성은 XLPE에 가까운 tan δ와 정전용량을 나타내고, tan δ는 EPDM보다 적은 값을 나타낸다.

## [참고문헌]

- [1] S.N.Gubanski, et al ; "Swedish Research on the Application of Composite Insulations in Outdoor Insulation" IEEE Electrical Insulation Magazine September/October, Vol. II, No. 5, pp. 24-31, 1995
- [2] W.Tillar Shugg "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials" Van Nostr and Reinhold, pp. 122-151, 1986
- [3] 高橋 芳久 外 ; "EMJ接着界面の耐電壓特性"平成3年電氣學會全國大會1493
- [4] 岡本 外 ; "超高壓CV Cableの 半導電層界面の 改良"電中研報告書 No. W86013(1986)
- [5] T. Mohatai, et al ; "Reliability and Transmission Capacity in XLPE Cable", Fujikura Giho, Oct, 1995, pp.1-10
- [6] M. Suzuki ; " Calculation of Stress Distribution in Dielectrics of Power Cable" Trans. IEEJ pp. 108-117, July, 1961
- [7] A.E.Vlastos ; "Transmission Line Polymeric Insulators Peak Leak Currents and Performance" Cigre paper 15-401, 1992
- [8] A.E, Vlastos ; "Transmission Line Polymeric Insulators Peak Leak Currents and Performance" Cigre paper 406-414, Jan. 1992