

## 22kV급 XLPE 시이트의 유전특성과 계면효과

### Interfacial Effects and Dielectric Properties of 22kV XLPE Sheets

이관우\*, 이종복\*\*, 조규복\*\*\*, 박대회\*

(Kwan-Woo Lee\*, Jong-Bok Lee\*\*, Kyu-Bock Cho\*\*\*, Dae-Hee Park\*)

#### Abstract

In this paper, we evaluated the dielectric properties of XLPE sheet of 22kV power cable, XLPE/semiconductor and XLPE/water/semiconductor depended on electric field and temperature respectively. Dielectric properties and temperature dependency of XLPE sheet of 22kV power cable increase greatly with as temperature increase and have no effect on applied voltage. And we confirmed that  $\tan \delta$  values in the samples with semiconductor or water layers were higher than those in the samples without them.

**Key Words** : Dielectric Properties, XLPE, 22kV Power Cable, Semiconductive layer

#### 1. 서론

최근에 전력 케이블의 절연 재료는 신뢰성의 향상이라는 관점에서 폴리에틸렌과 반도체층에 관한 많은 연구가 진행되고 있다.[1-2] 케이블의 신뢰성은 열화진전의 방지를 위한 폴리에틸렌의 개질이 요구되고 있으며, 접속부에 있어서도 계면현상의 문제 등도 고려가 되고 있다.[3]

전력 케이블의 재료적 구성은 절연체, 절연체/

반도체층, 반도체층/절연체/반도체층으로 되어 있으며, 대부분 절연성능 저하의 시발점은 계면부분에서 발생되고 있다. 따라서, 계면부분에서 열화진전에 관한 연구는 신뢰성의 향상이라는 관점에서 매우 중요하며, 많은 연구가 되고 있다.[4-6] 전력 케이블의 초고압화와 함께 계면을 갖는 절연시스템의 증가는 많은 연구와 검토가 필요하며, 절연체에 있어서 효율적인 계면의 활용은 전계 집중 완화와 함께 신뢰성 향상에 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다.[7]

본 연구는 22.9kV 전력케이블의 XLPE, XLPE/반도체층과 계면에 물이 도포된 각각의 시이트에 관한 유전특성( $\tan \delta$ )의 온도, 전계, 압력 의존성 등을 각각 평가하였다.

#### 2. 실험 방법

\* : 원광대학교 전기전자공학부

(전북 익산시 신룡동 344-2

Fax : 063-857-6890

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr)

\*\* : 호원대학교 전기공학부

\*\*\* : 한서대학교 전자공학과

2001년 1월 8일 접수, 2001년 2월 16일 1차심사완료

2001년 3월 26일 2차심사완료, 2001년 4월 25일 3차

심사완료

시료는 22.9kV 케이블의 절연체를 동축원상으로 각아 170mm x 170mm x 0.8mm의 시이트로 제작하였다. 시이트의 표면은 약간의 표면 거칠기를 갖으나, 표면의 오차는 0.04mm 이내이다. 케이블용 반도체 필름의 체적저항은 1000Ωcm이다.

각 시료의 계면구조는 XLPE/반도체층과 XLPE/water/반도체층으로 만들었다.

정전용량과  $\tan \delta$ 는 유전특성 측정장치(Tettex 2882)를 이용하였고, 전극구조는 평판전극의 주전극/접지전극/하부전극으로 구성하였으며 시료의 가열은 주전극 내의 히터를 이용하였다. 유전특성의 온도의존성은 히터전극을 이용하여 27, 55, 70, 85 [°C]의 온도에서 측정하였고, 압력은 3, 5, 7[N/cm<sup>2</sup>], 인가 전압은 250, 500, 750, 1000[V]로 각각 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

절연재료의 열화 및 장기특성의 평가에는 유전특성이 응용되고 있으며, 특히  $\tan \delta$ 와 그의 온도의존성이 실제로 활용이 되어지고 있다. 본 실험에서는 XLPE의 유전특성과 반도체 및 흡습층을 갖는 경우의 유전특성을 각각 평가하고자 한다.

그림 1은 일정한 압력 3[N/cm<sup>2</sup>]와 27°C의 일정 온도 하에서 유전특성과 전압의존성의 결과이다. 유전특성은 직접 장치를 통하여  $\tan \delta$ 와 정전용량을 측정하고, 유전율은 각각 계산하였다.

위의 결과로부터 500[V]하에서  $\tan \delta$ 는  $7.4 \times 10^{-4}$ 을 나타내고, 정전용량은 52.65[pF], 유전율은 2.23으로 계산되었다. 이와 같은 유전특성의 전압의존성은 전압의 증가와 함께  $\tan \delta$ 는 다소 증가를 보이나, 정전용량은 일정한 크기를 나타낸다. 유전율은 거의 변화를 나타내고 있지 않는 것을 확인하였다. 이 같은 유전율은 이미 보고되어진 결과와 동일하며,[8] 본 측정의 안정을 확인할 수 있었다. 또한  $\tan \delta$ 는 이미 보고되어진 XLPE의  $2.3 \times 10^{-4}$ 에 비해서 다소 높은 결과가 얻어졌다. 본 실험에서 얻어진 결과는 케이블의 절연체로부터 얻어진 값으로서 큰 의미를 갖는다

다음에는 XLPE에 반도체층을 접친 XLPE/반도체층의 시이트에 대하여 유전특성과 인가전압의존성을 평가하였다.

그림 2는 XLPE/반도체층의  $\tan \delta$ 와 유전율의 전압의존성의 결과이다. 이 결과로부터 알 수 있는 것은 XLPE/반도체층의  $\tan \delta$ 는 XLPE보다는 증가된  $1.23 \times 10^{-3}$ 를 나타내며, 인가전압의 의존성

을 보이지 않고 있다. 또한 정전용량은 XLPE와 동일한 52.67[pF]로 얻어졌다.  $\tan \delta$ 의 증가는 반도체층이 절연체내에서 손실 성분으로 작용을 하고 있으며, 정전용량이 변하지 않은 것은 전극으로서 역할을 하고 있는 것으로 사료된다. 이때의 유전율은 2.24로 계산되었으며, XLPE보다 약간 증가를 보였으나, 이같은 결과는 반도체층의 두께 혹은 정전용량 성분이 나타나는 것으로 사료된다.

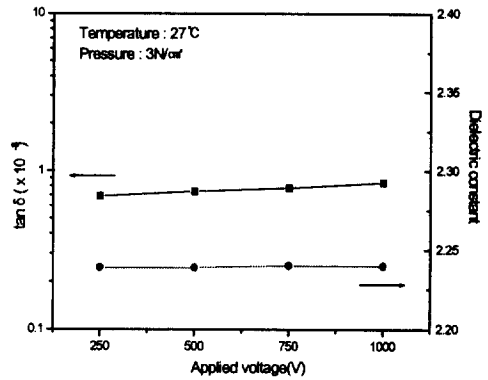


그림 1. XLPE의 유전특성과 전압의존성.

Fig. 1. The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE sheet.

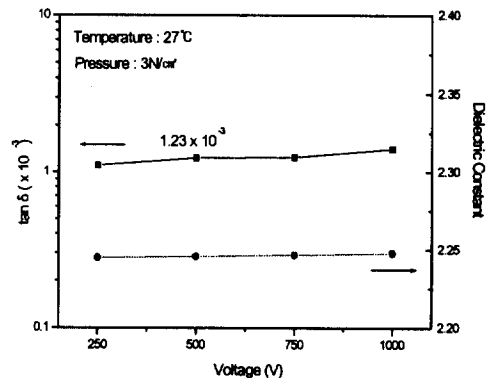


그림 2. XLPE/반도체층의 유전특성과 전압의존성.

Fig. 2. The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/semiconductor sheet.

다음에는 절연층과 반도체층 사이에 물이 도포된 시이트에 대하여 유전특성을 평가하였다. 유전특성은 온도 및 흡습에 저하되는 것으로 절연체 내에 흡습을 고려한 XLPE와 반도체층 간에 물을 도포한 후에 유전특성을 측정하였다.

그림 3은 XLPE/water/반도체층 시이트의 유전특성과 전압 의존성을 나타냈다. 물을 도포한 XLPE/반도체층의  $\tan \delta$ 는  $2.15 \times 10^{-3}$ , 정전용량은 54.22[pF]를 나타내며, 유전율은 2.30으로 계산되었다. 정전용량은 물을 도포전 보다 약간 증가를 보이고,  $\tan \delta$ 는 인가전압이 높아짐에 따라 증가하는 경향을 나타낸다. 이같은 증가의 경향은 유전손실에 물의 도포가 깊은 영향을 미치며, 인가전압은 더욱 유전손실에 관련되는 것을 알 수 있었으며, 절연 시스템내에 흡습은 유전특성을 저하시키는 것을 알 수 있었다.

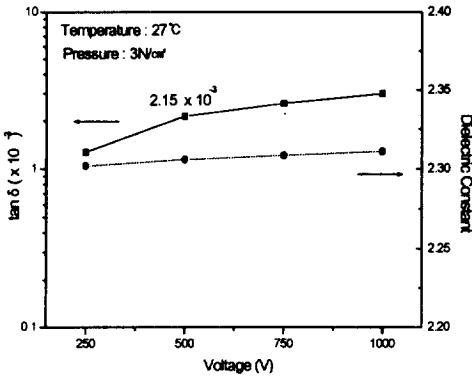


그림 3. XLPE/water/반도체층의 유전특성과 전압의존성.

Fig. 3. The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/water/semiconductor sheet.

다음에는 22kV급과 154kV급의 XLPE 절연층에 대하여 각각  $\tan \delta$ 의 온도의존성을 측정하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이  $\tan \delta$ 는 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 보이고 있다. 22 kV급 시이트의  $\tan \delta$ 는 40°C에서  $8.5 \times 10^{-4}$ , 70°C에서  $1.37 \times 10^{-3}$ 로 증가를 나타내나, 70-85°C내에서는 변화가 없었다. 또한 154kV급 시이트의  $\tan \delta$ 는 22kV급 보다 낮은 40°C에서  $2.3 \times 10^{-4}$ , 85°C에서  $3.0 \times 10^{-4}$ 를 나타내고, 온도

의존성은 22kV급 보다 적은 것으로 얻어졌다. 이와 같은 결과는 동일한 XLPE라도 재료의 종류에 따라서 온도의존성 및  $\tan \delta$ 의 특성이 큰 차를 나타내는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 유전특성의 결과로부터 전력 케이블의 절연체가 지니는 누설전류( $I_l$ ), 충전전류( $I_c$ )와 유전손실에 의한 소비전력 등을 각각 비교하면[9] 표1과 같이 얻어진다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 각각의 값들은 반도체층, 물이 도포 됨에 따라서 증가하는 경향을 보이고 있다. 이와 같은

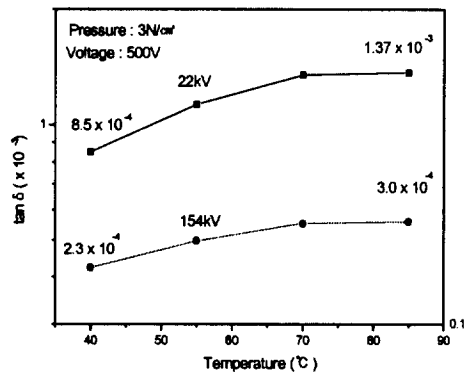


그림 4. XLPE의  $\tan \delta$ 의 온도의존성.

Fig. 4. The temperature dependence and electric properties of XLPE sheet.

표 1. 각 시료의 충전전류, 누설전류와 전력 손실.

Table 1. Charge current, leakage current and power loss of specimens.

시 료	$I_c$ ( $\mu A$ )	$I_l$ (nA)	P (pW/m <sup>2</sup> )	$\epsilon \times \tan \delta$
XLPE	9.92	7.3	0.925	1.65
XLPE/SEMI	9.95	12.2	1.543	2.76
XLPE/water /SEMI	10.22	21.9	2.770	4.95

값들은 절연층의 열화상태를 확인하고, 진단할 수 있는 결과로서 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 뿐만 아니라, 절연열화를 가속시킨 후에 절연성능의 상대 비교평가의 data로서 중요한 결과로 판단된다.

#### 4. 결 론

전력케이블의 절연체로부터 직접 XLPE 시이트를 제작하여 유전특성을 평가한 결과,  $\tan \delta$ 는  $7.4 \times 10^{-4}$ 를 나타내고 유전율은 2.3정도로 계산되었다. 또한 반도체층을 갖는 XLPE의  $\tan \delta$ 는 약간 증가를 보이나, 전압 의존성은 보이지 않았다. 그러나 온도의존성은 특히 반도체층과 물 도포가 된 경우에 있어서 큰 증가를 나타내고 있다. 뿐만 아니라, 154kV급 XLPE의  $\tan \delta$ 는 22kV급에 비해서 낮으며, 각각의 온도의존성은 154kV급이 온도증가와 함께 22kV급에 비해서 낮은 증가를 보였다. 이와 같은 결과들은 단순하게 증가를 보이고 있으나, 실제 케이블에 있어서는 절연 열화를 평가하는 방법으로서 향후에 표1의 결과들은 응용이 가능할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국전력공사의 중기지원과제 98-중-05와 원광대학 2000년 교내연구비의 지원에 의해서 수행되었음

#### 참고 문헌

- [1] 村上 義信 外, "ポリエチレンと半導電電極の界面状態が空間電荷と絶縁破壊に及ぼす影響" 日本電氣學會 論文誌A, 120卷 10號, pp. 930-935, 2000.
- [2] 서광석외, "배전케이블용 XLPE의 특성비교" 전기전자재료학회논문지 Vol. 11, No 9, pp. 671-682, 1998.
- [3] C. Dang, et al., "Dielectric Performance of Interfaces in Premolded Cable Joint" IEEETrans. Trans. Pow. Del., Vol. 12, No.1, Jan., pp. 29-32, 1997.
- [4] 固體絶縁材料の界面效果専門委員會"固體絶縁材料の界面效果" 日本電氣學會技術報告, 第488號, pp. 3-4, 1994.

- [5] 박홍태외, "전력케이블용 절연재료의 열화 특성 및 수명 진단에 관한 연구" 전기전자재료학회논문지 Vol. 12, No 1, pp. 11-17, 1999.
- [6] 박대희외, "XLPE/EPDM의 유전 특성과 그의 온도, 전계, 압력의존성" 전기전자재료학회논문지 Vol. 12, No 3, pp. 248-253, 1999.
- [7] 岡本 外, "超高壓CV Cableの反導電層界面の改良" 電力中央研究報告書, No. W86013, 1986.
- [8] W.Tiller Shugg; "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials" Van Nostrand Reinhold, NY. pp. 310-311, 1986.
- [9] "誘電體現象論" 日本電氣學會 pp. 90-92, 1984.