

## 22/154kV급 XLPE의 유전특성과 절연열화

### Degradation and Dielectric Properties of 22/154kV XLPE sheets

이 관 우\*, 이 종 복\*\*, 박 대 회\*

(Kwan-Woo Lee, Jong-Bok Lee, Dae-Hee Park )

#### Abstract

In this paper, degradation and dielectric properties of XLPE sheets moved from 22/154kV power cables were investigated. At the results of dielectric property of 22kV/154kV XLPE sheet, We earned that  $\tan \delta$  is  $7.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.15 \times 10^{-4}$  and dielectric constant is 2.3, 2.24. Temperature dependance of  $\tan \delta$  inclined to increasing with temperature and increase of  $\tan \delta$  of 22kV XLPE sheet is higher than it of 154kV XLPE sheet. And increasement of XLPE sheet with water is higher than it without water.

**Key Words : Dielectric Properties, XLPE, 22/154kV Power Cable, Temperature**

#### 1. 서 론)

최근에 전력 케이블의 신뢰성의 향상이라는 관점에서 폴리에틸렌에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 전력케이블의 신뢰성은 열화진전의 방지와 함께 폴리에틸렌의 이물 관리등이 있으며, 초고압 급에 있어서는 반도전층 및 계면현상의 문제에 의해서 좌우된다.[1][2][3]

전력 케이블의 유전특성은 절연열화를 일으키는 초기의 상태를 사전에 진단하는 방법으로 활용되고 있다. 따라서, 유전특성은 절연재료에 있어서 중요한 물성으로 많은 보고가 되고 있다. 특히 유전특성의 온도의존성은 케이블 절연체의 열적인 안정성이 절연성능에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하는 항목으로 평가되고 있다.

이와같이 유전특성의 평가는 장기적인 성능을 예측하는 방법으로 절연열화 진단항목으로서 많이 응용이 되고 있으며, 실제 현장에서 사용되기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.[4][5][6]

22 및 154kV급 전력케이블에 사용되는 폴리에틸렌의 유전특성은 유전율: 2.2전후와 유전손실:  $2.2 \times 10^{-4}$  보고 되고 있으나, 실제 케이블에 절연 압출된후의 결과는 아직 보고가 되어 지고 있지 않다. 폴리에틸렌의 유전특성은 고유특성으로 재료의 종류에 따라서 큰 변화를 나타내지 않으나, 본 연구에 사용되는 22kV급과 154kV급의 폴리에틸렌에 대하여 좀더 면밀하게 평가하기 위하여 각 케이블의 절연체를 시이트로 제작하여 유전특성을 측정하고, 열적인 특성을 비교하였다.

#### 2. 실험방법

시료는 22.9kV 및 154kV 전력 케이블의 절연체를 동축 원상으로 각아 170 x 170mm의 크기의 시이트상으로 두께는 0.8mm로 제작하였다. 이때 시이트의 표면은 약간의 표면 거칠기를 갖으나, 표면의 오차는 0.04mm이내이다. 각 시료의 열분석은 Dupont 2200을 이용하고, 질소 가스중에서 10°C/min의 속도로 열중량(TGA) 곡선과 질량반응 온도를 각각 측정하였다.

정전용량과  $\tan \delta$ 의 측정은 유전특성측정장치

\* 원광대학교

\*\* 호원대학교

(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 변화시키면서 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 22kV급 XLPE의 열중량 곡선과 미분 열중량 측정 결과이다. 이 결과로부터 XLPE의 열중량 감소의 개시온도와 종료온도는 400~500°C 범위에서 이루어 지는 것을 확인 할 수 있었다. 또한, 감소의 피크 온도는 450~500°C내에서 나타나는 것을 확인하였다.

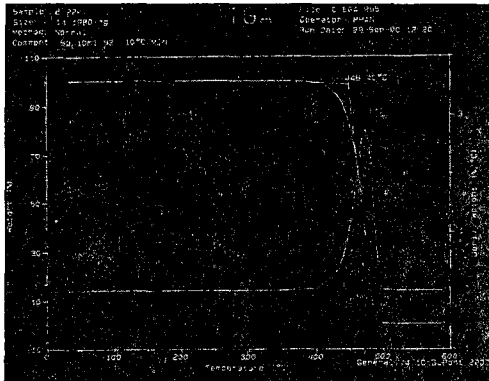


그림 1. 22kV XLPE의 열중량곡선

Fig. 1. Thermogravimetry of 22kV XLPE

그림 2는 154kV급 XLPE의 열중량 측정 결과이다. 전체적으로 22kV와 큰 차를 보이지 않고 있다. 본 열중량의 결과를 통하여 XLPE의 열분석이 갖는 의미는 케이블이 연속적으로 사용되는 온도와 본 측정의 온도범위와 큰 차를 지니고 있는 것으로, 절연평가보다는 XLPE의 개발측면에서 접근이 바람직하다.

절연재료의 전기적인 특성은 절연특성, 유전특성, 파괴특성으로 구분되어서 각각 평가에 응용이 되고 있으며, 열화 및 장기특성을 평가에 있어서는 유전특성이 응용되고 있다. 유전특성은  $\tan \delta$ 와 온도의존성등이 요구되고 있다. 본 실험에서는 22kV급과 154kV급의 XLPE의 유전특성과 온도의존성등을 각각 평가하고자 한다.

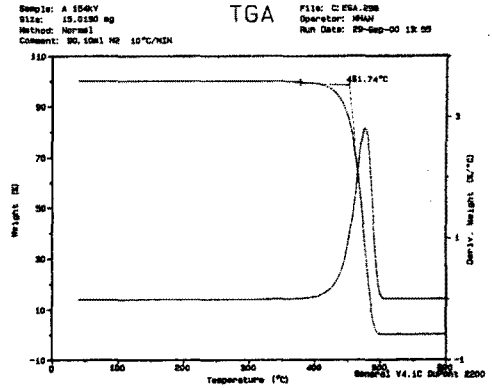


그림 2. 154kV XLPE의 열중량곡선

Fig. 2. Thermogravimetry of 154kV XLPE

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

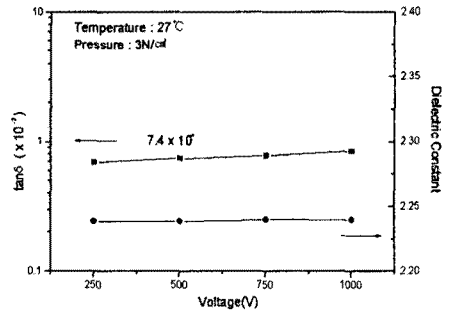


그림 3. 22kV XLPE의 유전특성과 전압의존성  
Fig. 3. The applied voltage dependence and dielectric properties of 22kV XLPE sheet

위의 결과로부터 500[V]하에서  $\tan \delta$ 는  $7.4 \times 10^{-4}$ 을 나타내고, 정전용량은 52.65[pF], 유전율은 2.23으로 계산되었다. 이와같은 유전특성의 전압의존성은 전압의 증가와 함께  $\tan \delta$ 는 다소 증가를 보이나, 정전용량은 일정한 크기를 나타낸다. 유전율은 거의 변화를 나타내고 있지 않는 것을 확인하였다. 이같은 유전율은 이미 보고되어진 결과와 동일하며, 본 측정의 안정을 확인할 수 있었다. 또한  $\tan \delta$ 는 이미 보고 되어진 XLPE의  $2.3 \times 10^{-4}$ 에 비해서

다소 높은 결과가 얻어졌다.

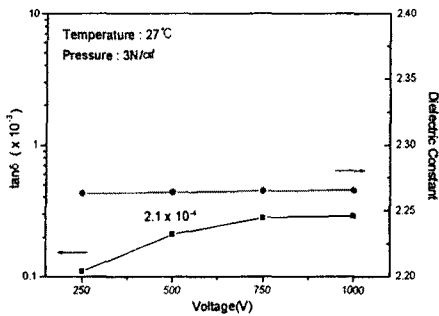


그림 4. 154 kV XLPE의 유전 유전 특성과 전압의존성

Fig. 4. The applied voltage dependence and dielectric properties of 154kV XLPE sheet

다음에는 154kV급 XLPE 시이트에 대하여 유전특성과 인가전압 의존성을 평가하였다. 측정조건은 동일하며, 그림 4에 154kV급 XLPE의 유전특성의 결과를 나타냈다. 54kV급 XLPE의 유전특성과 전압의존성을 나타냈다. 이 경우의 측정조건은 22kV급과 동일하다. 500[V]에서의  $\tan \delta$ 와 정전용량은  $2.15 \times 10^{-4}$ 과 42.91[pF]이다. 또한 인가전압의 증가와 함께  $\tan \delta$ 는 다소 증가를 보이나, 정전용량은 일정하고, 유전율은 2.24로 계산되었다. 154kV XLPE의 유전특성은 22kV급에 비해서  $\tan \delta$ 는 낮으나, 유전율은 거의 같은 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 다음에는 반도체층을 갖는 경우의 유전특성을 평가하였다.

다음에는 절연층과 반도체층사이에 물이 도포된 시이트에 대하여 유전특성을 평가하였다. 유전특성은 온도 및 흡수에 저하되는 것으로 절연체내에 흡수를 고려한 XLPE와 반도체층 간에 물을 도포한후에 유전특성을 측정하였다.

그림 5은 22kV급 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 보이나,  $\tan \delta$ 는 큰 증가를 나타내고 있다.

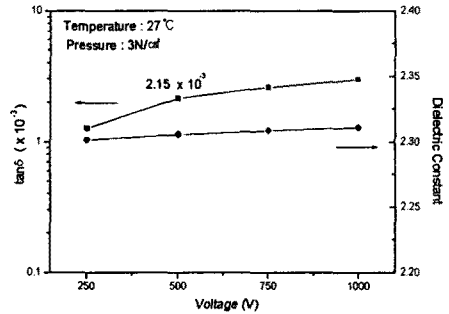


그림 5. XLPE/water/반도체층의 유전특성과 전압의존성

Fig. 5. The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/water/semiconductor sheet

다음에는 154kV급 XLPE의 반도체 흡수특성을 평가하였다. 그림 6은 154kV급 XLPE/water/반도체층의 유전특성과 전압의존성의 결과이다. 물을 도포한 경우의  $\tan \delta$ 는  $2.1 \times 10^{-3}$ 으로 XLPE에 비하여 증가를 보이며, 인가전압의 증가와 함께 1000[V]에서는  $3.0 \times 10^{-3}$ 을 나타내고 있다. 이상과 같은 결과로부터 XLPE의  $\tan \delta$ 는  $10^{-3} \sim 10^{-4}$ , 유전율은 2.2 ~ 2.5범위에 있음을 확인하였다. 또한 계면과 물의 도포가 절연체에 존재해도 유전특성은 큰 증가를 보이지 않고 있음을 알았다.

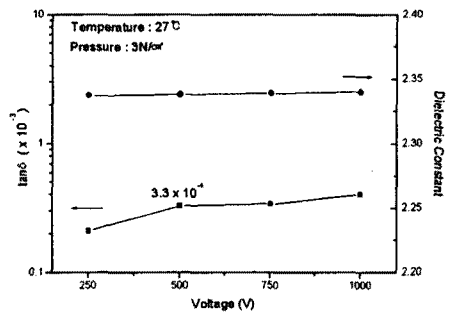


그림 6. 154kV급 XLPE/water/반도체층의 유전특성과 전압의존성

Fig. 6. The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/water/semiconductor sheet

이상의 결과들을 통하여 유전특성은 흡습됨에 따라서 유전특성이 저하되는 것을 알 수 있었다.

다음에는 각각 얻어진 유전특성에 관한 온도의존성을 측정하고자 한다. 유전특성의  $\tan \delta$ 는 절연체의 정전용량에 해당하는 전류성분과 누설 전류의 비율로서 나타내는 것으로 온도의 증가와 함께 누설전류의 크기가 민감하게 영향을 미치는 것으로 열화진전의 척도로서 응용이 되고 있다.

22kV 및 154kV급의 XLPE 유전특성의 온도의존성을 평가하기 위하여 85°C내에서 각각 측정하였다.

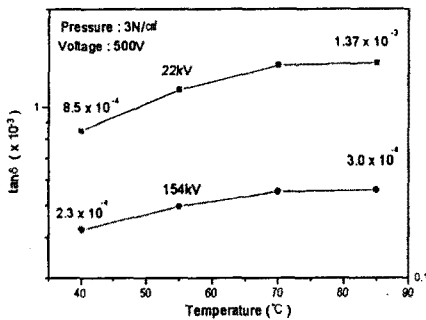


그림 7. XLPE의  $\tan \delta$ 의 온도의존성  
Fig. 7. The temperature dependence and  $\tan \delta$  of XLPE sheet

그림 7은 22, 154kV XLPE의 유전특성의 온도의존성을 나타냈다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이  $\tan \delta$ 는 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 보이고 있다.  $\tan \delta$ 는 40°C에서 22kV XLPE는  $8.5 \times 10^{-4}$ , 154kV는  $2.3 \times 10^{-4}$ 이며, 95°C에서 22kV는  $1.37 \times 10^{-3}$ , 154kV는  $3.0 \times 10^{-4}$ 로서 154kV의  $\tan \delta$ 는 22kV보다도 온도에 안정된 특성을 보이고 있다.

전력 케이블에서  $\tan \delta$ 는 절연열화를 좌우하는 특성으로서, 특히 온도 특성은 매우 중요한 평가법이다. 각각 얻어진 결과는 열화전에 매우 안정된 결과로서 향후에 절연열화를 가속 시킨 후에 절연능의 상대 비교평가의 data로서 중요한 자료로 사용된다.

#### 4. 결 론

22kV와 154kV 전력케이블의 절연체로 부터 각각의 XLPE 시이트를 제작하여 유전특성을 평가한 결과,  $\tan \delta$ 는  $7.4 \times 10^{-4}$ ,  $2.15 \times 10^{-4}$ , 유전율

은 2.3, 2.24로 얻어졌다. 또한  $\tan \delta$ 의 온도의존성은 온도의 증가와 함께 증가하는 경향하나, 22kV급의 XLPE가 154kV급보다 큰 증가를 나타냈다. 또한 반도체층과 XLPE간에 물 도포가 된 경우에 있어서 XLPE에 비해서  $\tan \delta$ 의 큰 증가를 나타내고 있다. 실제 케이블에 있어서는 절연 열화를 평가하는 방법으로서 향후에 응용코져 한다.

본 연구는 한국전력공사의 중기지원과제 98-중-05의 지원에 의해서 수행되었음

#### 참 고 문 헌

- 1) W.Tiller Shugg; "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials" Van Nostrand Reinhold, NY.pp.310-311 1986
- 2) H.Kato, et al, ; "Recent Advancement in Electrical Insulation Materials" 三菱電線工業時報" 第90號,pp.34-43, 1997年1月
- 3) T.Tanaka, et al;"Carrier Jumping over a Potential Barrier at The Interface of LDPE Laminated Dielectrics" IEEE DEIS CH37075 Conf. 2000 EI pp.40-43, April 2-5 2000
- 4) C.Banmongkol, et al,;"Effects of Oxidation on Electrical Conduction and Breakdown of LDPE Films with Different Densities", Jpn.J.Appl.Phys,Vol.37,pp.872,1998
- 5) P.J.Phillips, " Morphology of Extruded Dielectric Cable Insulation" EPRI EL-5921 Project 7891 Report July 1988
- 6) Anthony Barlow," The Chemical of Polyethylene Insulation" IEEE Elec. Insuation Magazine, Vol.7,pp 14-19, Jan./Feb. 1991