

22.9kV급 XLPE 시이트의 유전특성과 계면효과

Interface Effects and Dielectric Properties of 22.9kV XLPE sheets

이 관 우, 이 종 복*, 황보 승**, 박 대 희
(Kwan-Woo Lee, *Jong-Bok Lee, **Seung Hwang-Bo, Dae-Hee Park)

원광대학교, *호원대학교, **호남대학교
(Wonkwang University, Howon University, Honam University)

Abstract

In this paper, dielectric properties of XLPE sheets of 22kV cable with semiconducting and water were investigated. The breakdown strength of XLPE under rod/needle electrode were measured at without oil. It is found that the dielectric properties such $\tan \delta$ of XLPE sheet dependence on semiconducting and water layer and are decreased much lower increase with temperature. The breakdown strength and the electrode effect are obtained as a function of thickness, and a equation for the sheet thickness dependent breakdown strength is also discussion.

Key Words : Dielectric Properties, XLPE, 22.9kV Cable, Semiconducting

1. 서 론

최근에 전력 케이블의 절연 재료는 신뢰성의 향상이라는 관점에서 폴리에틸렌에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 케이블의 신뢰성은 열화진전의 방지와 억제와 함께 폴리에틸렌의 개질이 요구되고 있으며, 절연시스템이라는 면에서 계면현상의 문제 등도 고려가 되고 있다.

전력 케이블의 절연 재료 및 구성은 절연체, 절연체/반도전층, 반도전층/절연체/반도전층으로 되어 있으며, 대부분 절연성능 저하의 시발점은 계면부분에서 발생되고 있다. 따라서, 계면부분에서 열화진전에 관한 연구는 신뢰성의 향상이라는 관점에서

매우 중요하며, 많은 연구가 되고 있다. 전력 케이블의 초고압화와 함께 절연재료의 계면은 증가하는 추세로 많은 연구와 검토가 필요하며, 절연체에 있어서 효율적인 계면의 활용은 전계 집중 완화와 함께 신뢰성 향상에 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

특히 전계 완화를 위한 반도전층과 절연층간에 계면이 존재하는 경우에 전기적인 물성은 매우 중요한 것으로 본 연구는 XLPE와 반도전층을 갖는 22.9kV급 전력 케이블의 쉬트 유전 특성을 검토하고자 한다.

뿐만 아니라, 절연체의 절연성능을 향상시키기 위한 연구는 폴리에틸렌의 공중합, 분자밀도의 개선, 전압 안정제 등과 같은 압출전의 절연체의 개선과 함께 압출 된후 케이블의 절연체에서 발생하는 가교 잔사 가스가 절연성능에 미치는 영향에 관한 보고도 있으며, 향후에 절연성능의 개선을 위한 과제로 주목되고 있다.

전력케이블의 절연체에 요구되는 물성은 전기적,

원광대학교 전기전자공학부
전북 익산시 신흥동 344-2
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

기계적 및 열적인 특성이나, 장기적인 열화 성능을 좌우하는 특성은 유전특성으로 유전손실에 관한 성능의 규격은 매우 엄격하게 요구를 하고 있다. 특히 유전 손실은 케이블을 장시간 운전되어지는 동안에 서서히 열화를 가속시키는 것으로 절연 성능을 저하시키는 중요한 인자이다.

이와 같은 관점에서 본 연구는 22.9kV 전력케이블의 XLPE, XLPE/반도전층과 계면간에 물이 도포된 각각의 시이트에 관한 유전특성($\tan \delta$)의 온도, 전계, 압력 의존성과 절연파괴특성의 전극효과를 각각 평가하였다.

2. 실험방법

시료는 22.9kV 케이블의 절연체를 동축 원상으로 각아 170 x 170mm의 크기의 시이트상으로 두께는 0.8mm로 제작하였다. 이때 시이트의 표면은 약간의 표면 거칠기를 갖으나, 표면의 오차는 0.04mm 이내이다. 반도전 필름은 케이블의 반도전층으로 사용되고 있는 체적저항이 1000 $\Omega \cdot \text{cm}$ 이다. 각 시료의 계면구조는 XLPE/반도전층과 XLPE/water/반도전층로 만들었다.

정전용량과 $\tan \delta$ 의 측정은 유전특성측정장치(Tettex 2882)를 이용하였고, 전극구조는 평판전극의 주전극/접지전극/하부전극으로 구성하였으며 시료의 가열은 주전극 내의 히터를 이용하였다. 유전특성의 온도의존성은 히터전극을 이용하여 27, 55, 70, 85[$^{\circ}\text{C}$]의 온도에서 측정하였고, 압력은 3, 5, 7[N/cm 2], 인가 전압은 250, 500, 750, 1000[V]로 변화시키면서 측정하였다.

또한, 절연파괴 강도를 공기중에서 평가하기 위하여 2가지의 전극을 사용하였다. 상부전극은 직경이 25mm의 봉전극과 곡률 반경이 15 μm 의 침전극을 각각 사용하고 상대전극은 평판을 사용하였다. 전압 인가방법은 파괴될 때까지 초당 0.5kV의 속도로 전압을 증가시켰다.

3. 결과 및 고찰

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 XLPE의

유전특성과 반도전 및 흡습층을 갖는 경우에 각각 평가하고자 한다.

그림 1은 일정한 압력 3[N/cm 2]와 27 $^{\circ}\text{C}$ 의 일정 온도 하에서 유전특성과 전압의존성을 나타냈다. 유전특성은 직접 장치를 통하여 $\tan \delta$ 와 정전용량을 측정하고, 유전율은 각각 계산하였다.

위의 결과로 부터 500[V]하에서 $\tan \delta$ 는 7.4×10^{-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 안정성을 확인할 수 있었다. 또한 $\tan \delta$ 는 이미 보고 되어진 XLPE의 2.3×10^{-4} 에 비해서 다소 높은 결과가 얻어졌다. 그러나 본 실험에서 얻어진 결과는 케이블의 절연체로부터 얻어진 시이트로서 큰 의미를 갖는다.

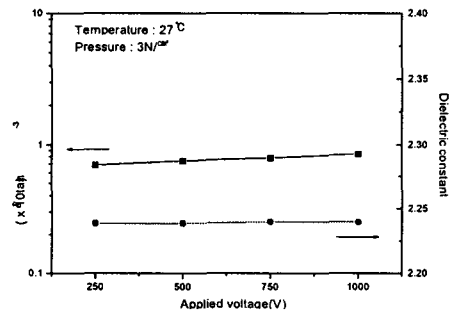


그림 1 XLPE의 유전특성과 전압의존성
Fig.1 The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE sheet

다음에는 XLPE에 반도전층을 겹친 XLPE/반도전층의 시이트에 대하여 유전특성과 인가전압의존성을 평가하였다.

그림 2는 XLPE/반도전층의 $\tan \delta$ 와 유전율의 전압의존성을 나타냈다. 이 결과로 부터 알 수 있는 것은 XLPE/반도전층의 $\tan \delta$ 는 XLPE보다는 증가된 1.23×10^{-3} 를 나타내며, 인가전압의 의존성을 보이지 않고 있다. 또한 정전용량은 XLPE와 동일한 52.67[pF]로 얻어졌다. $\tan \delta$ 의 증가는 반도전층이 절연체내에서 손실 성분으로 작용을 하고 있으며, 정전용량이 변하지 않은 것은 전극으로서 역할을 하고 있는 것으로 사료된다. 이때의 유전율

은 2.24로 계산 되었으며, XLPE보다 약간 증가를 보였으나, 이같은 결과는 반도체층의 두께 혹은 정전용량 성분이 나타나는 것으로 사료된다.

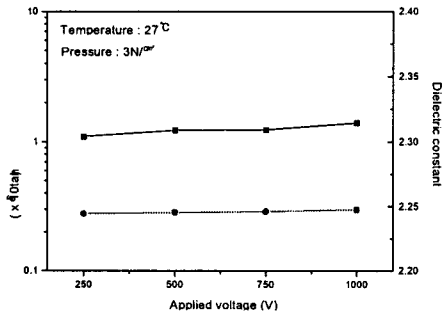


그림 2 XLPE/반도체층의 유전특성과 전압 의존성
Fig.2 The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/semi sheet

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

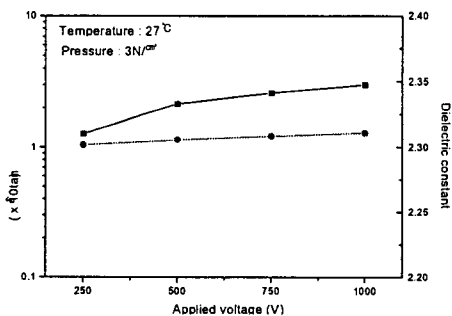


그림 3 XLPE/water/반도체층의 유전특성과 전압의존성
Fig.3 The applied voltage dependence and dielectric properties of XLPE/water/semi sheet

그림 3은 XLPE/water/반도체층 시이트의 유전특성과 전압 의존성을 나타냈다. 물을 도포한 XLPE/반도체층의 $\tan \delta$ 는 2.15×10^{-3} , 정전용량은 54.22[pF]를 나타내며, 유전율은 2.30으로 계산되었

다. 정전용량은 물을 도포전 보다 약간 증가를 보이나, $\tan \delta$ 는 큰 증가를 나타내고 있다. 또한 인가전압의 증가와 함께 $\tan \delta$ 는 증가하는 경향을 보이며, 이같은 증가의 경향은 유전손실에 물의 도포가 깊은 영향을 미치며, 인가전압은 더욱 유전손실에 관련되는 것을 알 수 있었다. 이같은 현상은 절연시스템내에 있어서 흡습이 유전특성에 영향이 미치는 것을 알 수 있었다.

다음에는 각각 얻어진 유전특성에 관한 온도의존성을 측정 하고져 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.

유전특성의 온도의존성을 평가하기 위하여 85°C 내에서 각각 측정하였다. 그림 4는 XLPE 시이트의 $\tan \delta$ 의 온도의존성을 나타낸 결과이다.

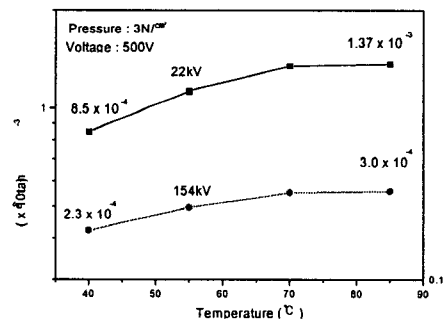


그림 4 XLPE의 $\tan \delta$ 의 온도의존성
Fig.4 The temperature dependence and dielectric properties of XLPE sheet

그림에서 알 수 있는 바와 같이 $\tan \delta$ 는 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 보이고 있다. $\tan \delta$ 는 40°C에서 8.5×10^{-4} , 85°C에서 1.37×10^{-3} 를 나타내며, 특히 70°C로 부터 증가가 현저하게 나타내고 있다. 이 같은 결과는 유전특성이 온도에 깊게 의존을 하고 있음을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

전력 케이블에서 $\tan \delta$ 는 열화 여부를 평가하는 특성으로서, 향후에 절연열화를 가속시킨 후에 절연성능의 상대 비교평가의 data로서 중요한 결과로 판단된다.

다음에는 XLPE 시이트의 절연파괴 강도의 두께 의존성을 평가하였다. 본 측정은 공기 중에서

XLPE의 절연파괴 강도를 전극 및 두께의 효과를 통하여 절연평가의 방법을 제안하고자 한다.

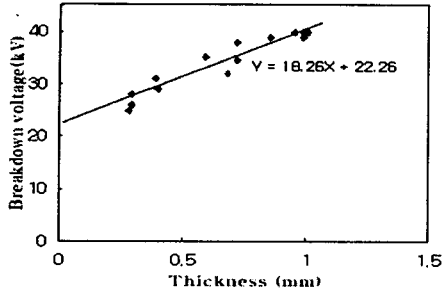


그림 5. 봉 전극 하에서 절연 파괴강도의 두께의존성

Fig. 5 The thickness dependence and breakdown strength under rod electrode

그림 5는 봉 전극을 사용한 경우 절연파괴 강도의 두께의존성을 나타냈다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 절연파괴 전압은 두께가 두꺼워짐에 따라서 증가를 나타내며, 두께와 파괴전압과의 관계식은 다음과 같이 얻을 수 있었다.

$Y=18.26 X + 22.26$ 에서 22.26은 절편으로서 봉 전극을 사용 시에 최저의 파괴전압으로 평가된다. 또한 18.26은 기울기로서 물성적으로 어떠한 의미를 갖는지 계속적으로 검토가 필요하다.

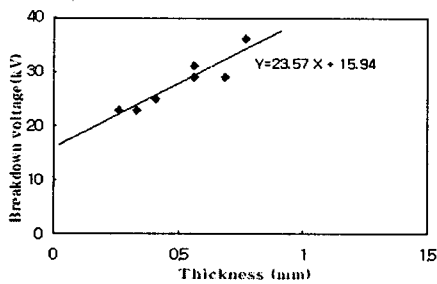


그림 6. 침 전극 하에서 절연파괴 강도의 두께의존성

Fig. 6 The thickness dependence and breakdown strength under needle electrode

다음에는 침 전극을 사용한 경우에 있어서 절연파괴강도의 두께의존성을 각각 측정하고, 그림 6

에 결과를 나타냈다. 앞에서 얻어진 결과와 같이 절연파괴 전압은 절연두께가 증가함에 따라서 증가하는 경향을 보이며, 이 때의 절연두께와 전압과의 관계식을 $Y=23.57X + 15.94$ 로 얻어졌다. 침 전극의 경우 절연파괴 강도는 봉 전극보다 낮으며, 절편도 작게된 것을 알 수 있었다.

이와 같이 봉 전극과 침 전극을 사용하였을 경우 각각의 절연파괴 강도의 차이와 평가 방법에 관한 검토가 필요하다.

4. 결 론

전력케이블의 절연체로부터 직접 XLPE 시이트를 제작하여 유전특성을 평가한 결과, $\tan \delta$ 는 7.4×10^{-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. 이와 같은 결과들은 단순하게 증가를 보이고 있으나, 실제 케이블에 있어서는 절연 열화를 평가하는 방법으로서 향후에 응용코져 한다. 절연파괴 강도를 공기 중에서 평가 할 수 있도록 침 전극과 봉 전극을 이용하고, 얻어진 결과에 대하여 계속적인 검토중에 있다.

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

참고 문헌

- 1) W.Tiller Shugg; "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials" Van Nostrand Reinhold, NY.pp.310-311 1986
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 藤井 외 : "154kV CV케이블용 Prefab접속함의 개발" 古河電工時報, 제84호 pp.19-30,1995
- 5) " Morphology of Extruded Dielectric Cable Insulation" EPRI EL-5921 Project 7891 Report July 1988