

전력케이블용 반도체층의 유전특성과 온도의존성

이 관 우, 이 중 찬, 박 대 회
원광대학교 전기전자공학부

Temperature Dependence and Dielectric Properties in Semiconducting Shield of Power Cable

Lee Kwan-Woo, Lee Jong-Chan, Park Dae-Hee
School of Electrical and Electronic eng., Wonkwang University

Abstract - In this paper, to obtain the material properties through the semiconducting shields of 22kV XLPE power cable, the water absorption, TGA, DSC and dielectric properties were respectively measured between semiconducting shield and XLPE. Especially, dielectric properties were measured with temperature variation. Above result, the water absorption was 1200 ppm and the ratio of carbon black was 40% in semiconducting shields. The dielectric constant was $10^9 \sim 10^5$, $\tan \delta$ was $10^2 \sim 10^3 \Omega\text{cm}$ and volume resistivity was $280 \sim 2.8 \times 10^3$.

1. 서 론

전력 케이블의 도체-절연체, 절연체-외부차폐간에는 계면에 있어서 부분방전을 방지하고, 국부적인 전기 스트레스의 집중을 완화하는 것을 목적으로 반도체층이 이용된다. 현재 전력케이블의 반도체층은 압출 방법이 안정화되어져 있으나, 반도체층의 특성에 의해서 케이블의 열화가 가속되는 경우도 있다. 전력케이블에 있어서 반도체층의 역할은 절연층내의 전계 완화를 시키기 위한 목적으로 도체 차폐층과 절연 차폐층으로 구분하여 사용되고 있으나, 전계가 높아짐에 따라서 나타나는 절연층과 반도체층간에 나타나는 계면현상은 케이블의 열화를 일으키는 결정적인 요인이 되고 있다. 1) 뿐만아니라, 반도체층을 이루는 고분자 수지, 카아본 블랙, 불순물들은 전기적인 성질을 좌우하며, 특히 불순물로서의 금속성 성분은 폴리에틸렌을 열화시키는 촉진시키는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 2) 따라서, 지금까지 절연재료의 성능향상을 위한 연구가 반도체층의 중요성이 인식되면서 다양한 반도체층의 개질 혹은 계면등의 연구가 주목 되고 있다. 3) 4) 5)

전력케이블의 절연성능은 반도체층의 재료에 의해서 좌우되는 것으로 평가해도 과언이 아니며, 수분에 의한 치명적인 절연 열화의 가속은 반도체층을 통하여 나타나는 경우가 빈번하고, 반도체층내의 미량수분 혹은 흡습특성은 반도체층의 평가에도 매우 중요하다. 특히 초고압, 장기적인 신뢰성의 관점에서는 반도체층의 연구에 계속적인 연구가 필요하다. 지금까지 반도체층의 연구는 거시적인 측면으로서 제조공정의 압출조건, 반도체층의 균일성, 박리성등을 주목하였으며, 최근에는 반도체층내의 불순물의 농도관리를 집중적으로 하고 있다. 이같은 반도체층의 연구결과를 통하여 초고압 전력케이블이 장기적으로 신뢰성을 지니게 되었으나, 아직도 전력케이블의 절연사고들은 발생과 절연두께의 저감이라는 관점에서 반도체층 및 계면에 관한 연구가 요구되고 있다.

본 연구는 22kV XLPE 케이블로부터 반도체층의 시이트를 제작하고, 미량 수분측정, 열분석과 유전특성의 온도의존성을 각각 평가하였으며, 또한 반도체층/XLPE 시이트에 대한 유전특성과 온도의존성도 각각

측정하였다.

2. 실험 방법

실험에 사용한 시료는 22 kV 케이블의 내/외 반도체층과 폴리에틸렌이 부착된 반도체층 시료와, 시이트로 제작된 내/외 반도체층을 각각 준비하였다.

반도체층의 미량수분의 측정은 미스비시 수분 측정장치(CA-06)를 이용하여 160℃의 질소 가스내에서 히팅 하면서 각각 평가하였다. 열 분석은 Perkin-Elmer 장치를 이용하고, 10℃/min의 속도로 질소가스 분위기에서 가열하고 냉각후 다시 가열하면서 DSC와 TGA를 측정하였다. 유전특성은 Dielectric Thermal Analyzer(Nove Control사) 장치이며, 시이트 상의 유전손실과 체적저항을 직접 측정하고, 측정 주파수는 1kHz이며, 측정온도는 상온~90℃, 전극은 평판의 직경 20mm φ이다.

3. 실험 결과

각 반도체층의 미량수분은 시이트와 케이블에서 채취한 반도체층과 10시간 동안 흡습을 시킨후로 나누어 각각 측정하였다. 표 1은 측정결과이며, 시이트의 반도체층의 수분량은 800~1200ppm, 케이블의 반도체층은 14000~24000ppm의 범위를 나타내며, 케이블이 압출가고 되면서 수분의 흡습이 가속되는 것을 알 수 있었다.

표 1. 반도체층의 미량 수분량

구분	Virgin(ppm)	After water (ppm)	증가율(%)
내도시이트	710	930	132
외도 시이트	1,090	1,450	133
22kV 내도	14,750	15,880	107
22kV 외도	24,780	58,000	234

또한 각 시료를 상온 하에서 10시간 동안 흡습 시킨 후 수분량을 각각 측정하였다. 수분량의 증가는 시이트의 경우에는 30%정도, 케이블의 경우에도 증가하는 것을 알 수 있었다. 실제 케이블 상에서 높은 전계와 도체의 온도가 높아지는 경우에는 더욱 흡습량의 증가가 될 것으로 예측되어지고, XLPE의 미량 수분량은 300~560ppm으로서 반도체층에 비해서 크게 적은 것으로 알 수 있다. 즉 케이블에 있어서 흡습은 반도체층의 조건에 따라서 크게 좌우되는 것으로 반도체층의 규격상에서 흡습후의 증가치를 제한하는 것도 바람직할 것으로 사료된다. 반도체층의 열분석을 차동 열량계(differential scanning calorimeter :DSC)와 열중량계(thermogravimetric analysis, TG)를 통하여 각각 평가를 하였다.

각 반도체층의 열중량 변화와 주사 열량측정의 결과를 표 2에 나타냈다. 반도체층의 용융 온도는 85~103℃의 범위에 존재하며, 카아본의 함유량은 40%미만으로 나타났다. 이같은 열분석 과 유전특성과 연관성 검토코져 한다.

표 2. 반도체층의 용융온도와 카아본 함유량

반도체층 종류		용융온도 (℃)			카아본 함유량(%)
		가열	냉각	2차 가열	
시이트	외도	86.2	87.4	82.6	40.2
	내도	94.2	91.2	102.1	36.6
22kV 케이블	내도	87.3/ 104.4	91.0/ 72.5	87.1/ 104.25	33.8
		외도	102.7	89.8	102.2

다음에는 각 반도체층의 유전특성(유전율, $\tan \delta$) 및 체적저항에 대하여 온도의존성을 평가하였다. 유전특성은 케이블의 장기 열화 및 신뢰성을 좌우하는 항목으로서 본 절에서는 반도체층과 폴리에틸렌이 부착된 시료에 대하여 측정을 하였다.

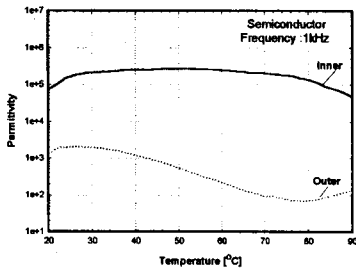


그림 1. 내외도 반도체층 유전율의 온도의존성

그림 1은 시이트의 내/외도 반도체층의 유전율의 온도의존성을 나타냈다. 외도 반도체층의 유전율은 2.0×10^5 정도이며, 온도증가와 함께 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며, 내도 반도체층은 4.7×10^4 을 나타내며, 온도에는 큰 의존성을 보이지 않고 있다.

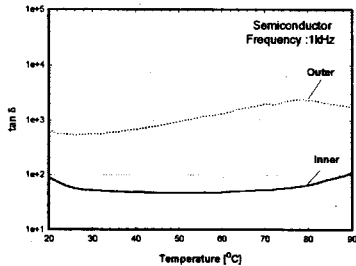


그림 2. 내외도 반도체층 $\tan \delta$ 의 온도의존성

그림 2는 시이트의 내외도 반도체층의 유전손실의 온도의존성을 나타냈다. 외도 반도체층의 $\tan \delta$ 는 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 보이며, 내도 반도체층의 경우는 외도보다 큰 유전손실을 나타낸다.

그림 3은 시이트의 내외도 반도체층의 체적저항의 온도의존성을 나타냈다. 내도 반도체층의 체적저항은 외도 반도체층보다 작으며, 상온에서 $280 \Omega \cdot \text{cm}$ 로서 온도증

가와 함께 증가하는 약간 경향을 보인다. 외도 반도체층의 체적저항은 $2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ 로서, 온도증가와 함께 내도 반도체층과 비교해서 크게 증가하는 경향을 보인다. 뿐만 아니라, 그림 2과 3의 결과로부터 체적저항과 유전특성은 깊은 관련성을 지니고 있음을 알 수 있었다.

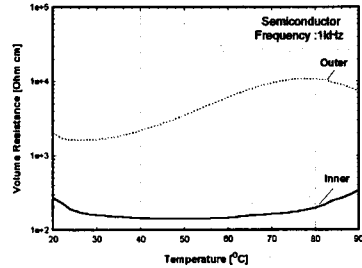


그림 3. 내외도 반도체층 체적저항의 온도의존성

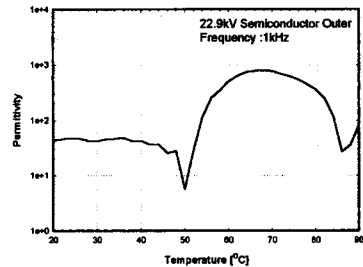


그림 4. 케이블 외도 반도체층 유전율의 온도의존성

향후에 체적저항과 유전특성이 미치는 영향에 관한 이론적인 검토가 필요하며, 현 단계에서는 교류하에서 유전손실 및 저항성분은 누설과 충전전류의 비이며, 반도체층내의 카아본 및 고분자뿐만 아니라 결정구조에도 깊은 관련성이 있을 것으로 사료된다.

22kV XLPE 케이블의 외부 반도체층의 유전율의 온도의존성을 측정하였다. 그림 4는 케이블 외도 반도체층의 유전율의 온도의존성을 나타냈다. 유전율은 상온에서 43정도를 나타내며, 50℃에서는 급격하게 저하된 6을 나타낸다. 또한 68℃부근에서 800이라는 값을 지니고, 86℃까지는 다시 감소하며 다시 증가하는 경향을 보인다. 이같은 불규칙한 경향은 보이며, 케이블의 열화에 어떠한 영향을 미치는지는 아직 미확인되고 있으나, 반도체층의 물성 규격에 반영이 요구된다.

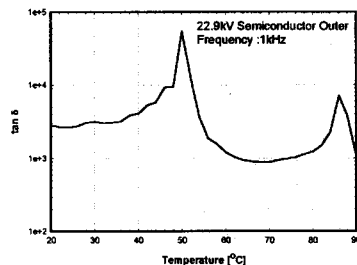


그림 5. 케이블 외도 반도체층 $\tan \delta$ 의 온도의존성

다음에는 케이블 외도 반도체층의 유전손실($\tan \delta$)의 온도의존성을 그림 5에 나타냈다. 상온에서 2800 정도

를 나타내고, 50℃에서 50000이상의 피크를 나타내며, 다시 온도증가와 함께 실온 보다 낮은 900을 보이며, 다시 86℃부근에서 7000이상의 피크를 보이며 감소하는 특성을 나타내는 불 안정된 의존성을 보인다. 그림 5의 유전율과 $\tan \delta$ 의 온도의존성은 유사한 특성을 지니는 것으로 얻어졌다.

다음에는 동일 반도체층의 체적저항의 온도의존성을 그림 6에 나타냈다. 체적저항은 상온에서 $15k\Omega \cdot cm$ 이며, 온도증가와 함께 60℃까지 감소하다가 다시 온도증가와 함께 선형적으로 체적저항이 증가하는 특성을 나타내고 있다.

다음에는 22.9kV 전력 케이블로부터 제작한 반도체층/XLPE의 사이트에 관한 유전특성과 체적저항의 온도의존성을 각각 평가하였다. 반도체층/XLPE의 유전율의 온도의존성을 측정 한 결과, 유전율은 5.5로서 반도체층보다 작으며, XLPE의 유전율에 가까운 특성을 보이며 온도에는 거의 의존하지 않는 결과가 얻어졌다.

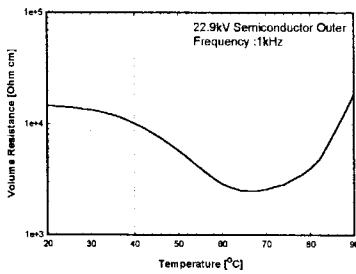


그림 6. 케이블 외도 반도체층 체적저항의 온도의존성

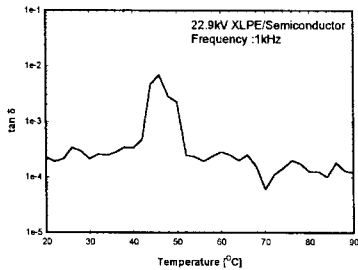


그림 8. 반도체층/XLPE의 $\tan \delta$ 의 온도의존성

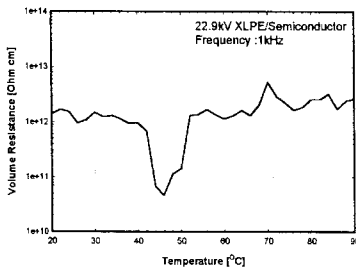


그림 9. 반도체층/XLPE의 체적저항의 온도의존성

다음에는 반도체층/XLPE의 $\tan \delta$ 의 온도의존성을 그림 7에 나타냈다. $\tan \delta$ 는 XLPE의 2.2×10^{-4} 를 보이나, 온도증가와 함께 다소 불안정된 값을 나타내고 있다. 뿐만 아니라, 50℃부근에서 0.007을 갖는 피크를

보이며, 온도 증가와 함께 다시 감소하며 상온과 같은 특성을 보인다. 반도체층/XLPE에서 얻어진 결과와 다른 특성을 나타내고 있다. 이같은 원인은 아직 미 확인중에 있다.

이같은 반도체층/XLPE의 유전특성의 온도의존성을 그림 8에 나타냈다. 체적저항의 온도의존성은 불안정한 값을 보이고 온도 증가와 함께 증가하는 경향을 있으나, 체적저항의 값은 반도체층보다 XLPE에 의한 지배적인 것으로 나타났다.

4. 결 론

1. 사이트 반도체층의 수분량은 800~1200ppm를 나타내며, 10시간 흡습 시킨후 30%이상 증가하는 것으로 얻어졌고, 구겨중에 흡습후의 증가량 제한.
2. 반도체층의 용융온도는 85~103℃의 범위에 존재하며, 카아본의 함유량은 40%미만으로 나타났다.
3. 사이트의 내/외도 반도체층의 유전율, $\tan \delta$ 는 1kHz하에서 외도는 2.0×10^5 , 600 정도이며, 내도는 4.7×10^4 , 90가 얻어졌다.
4. 사이트의 내외도 반도체층의 체적저항은 내도보다 외도가 크며, 상온에서 $180 \Omega \cdot cm$ 로서 온도증가와 함께 증가하는 경향을 보인다.
5. 케이블 외도 반도체층의 유전율은 1kHz하의 상온에서 43, 2800정도를 나타내며, 50℃에서는 급격하게 저하된 6을 나타낸다. 또한 68℃부근에서 800이라는 값을 지니고, 86℃까지는 다시 감소하며 다시 증가하는 경향을 보인다.
6. 케이블 외도 반도체층의 유전손실($\tan \delta$)은 1kHz의 상온에서 2800정도를 나타내고, 50℃에서 50000이상의 피크와 함께, 다시 온도증가와 함께 실온 보다 낮은 900을 보이며, 다시 86℃부근에서 7000이상의 피크를 보이며 감소를 나타낸다.
7. 반도체층/XLPE의 유전율, $\tan \delta$ 및 체적저항은 각각 5.5, 0.007, $1.5 \times 10^{12} \Omega \cdot cm$ 로서 반도체성보다 XLPE에 큰 의존성을 나타냈다.

(참 고 문 헌)

- [1] S.S. Bamji, et al " Degradation Mechanism at XLPE/Semicon Interface Subjected to High Electrical Stress", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol.26, pp.278-284,1989
- [2] M.T.Shaw, et al " Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans. Elec. Ins., Vol.19, pp.419-452,1993
- [3] 한재홍 외 " 반도체층내 불순물이 전력케이블의 신뢰도에 미치는 영향" 전기학회지 제46권 1호, pp 19-24, 1997
- [4] R. Ross " Dealing with Interface Problems in Polymer Cable Terminations" IEEE Elec. Ins. Magazine, Vol.15.No.4,pp 5-9,1999
- [5] N.M.Burns, et al " Stress Controlling Semiconductive Shields in Medium Voltage Power Distribution Cables" IEEE Elec. Ins. Magazine, Vol.8, No.5, pp 8-239,1992