

지중 전력케이블용 절연재료의 열적 특성 및 기계적 특성

이경용, 이관우, 최용성, 박대희
원광대학교 전기전자 및 정보공학부

Thermal and Mechanical Properties of Insulation Materials for Underground Power Cable

Kyoung-Yong Lee, Kwan-Woo Lee, Yong-Sung Choi, and Dae-Hee Park
Wonkwang University

Abstract

In this paper, we Investigated effects on impurities and water of semiconductive shield through a thermal, mechanical, and absorption experiment to estimate performance of insulating materials in power cable. Specimens had been prepared 22[kV], 154[kV] XLPE power cables and then were made of sheet form with XLPE and semiconductive shield with dimension of 0.4[mm]~1.2[mm] of thickness from power cable. Heat capacity (ΔH) and glass transition temperature (T_g) of XLPE sheet were measured by DSC (Differential Scanning Calorimetry). We could know that thermal stabilities of 154[kV] are more excellent than 22[kV] from this experimental result. The strain of mechanical properties in 22[kV] and 154[kV] XLPE was 486[%], 507[%] and stress was 1.74[kgf/mm²], 1.80[kgf/mm²]. The absorption contents of existing semiconductive shield were measured 710[ppm] to 1,090[ppm], and semiconductive shield of 22[kV] cable was measured 14,750[ppm] to 24,780[ppm]. We thermal and mechanical properties of 154[kV] could know more excellent than 22[kV] from this experimental result.

Key Words : XLPE, Semiconductive shield, Glass transition temperature , Stress, Absorption

1. 서론

최근 전력수요의 증가와 함께 전력설비의 대용량화가 진행되고 있으며, 전력수송을 위한 송배전선에 있어서도 전력케이블의 수요가 급격하게 확대되고 있다 [1,2]. 특히, 대도시에 있어서 송배전의 지중화는 필수적이므로 전력 케이블의 높은 신뢰성이 요구되고 있다.

그러나 국내에는 케이블의 예상수명으로 알려진 30년에 훨씬 못 미치는 8~12년 정도에서 사고가 빈번하게 발생하고 있으며 이러한 사고 발생은 계속적으로 증가하는 추세이다. 전력케이블의 열화사고는 취약한 결합부분에서 발생하는 것이 당연하지만 일단 사고가 발생하면 사고원인인 결합부분

이 소실되므로 정확한 원인을 규명하기가 매우 어려운 실정이다. 전력케이블의 사고 원인으로는 크게 시공불량, 제조결함, 자연열화 등으로 구분하여 생각할 수 있다. 시공불량에 의한 사고로는 폴링 작업 시 발생할 수 있는 시스 (sheath) 손상, 케이블 접속을 위한 외부 반도전층 제거 시 발생할 수 있는 절연층 손상 및 이물질 유입, 허용 곡률반경을 초과한 무리한 시공 등이 있다. 제조결함에 의한 사고는 케이블 제조 시에 발생할 수 있는 반도전층의 들기, 절연층 내의 이물질 또는 보이드, 미가교 등이 있으며 자연열화에 의한 사고는 케이블이 운전되는 환경에서 유입된 수분과 전계의 복합작용으로 발생하는 수트리 현상, 중성선 부식에

의한 전압불균형 및 고분자 산화현상 등이 있다 [3-7]. 이와 같은 사고의 유형들은 케이블 시공자의 안전수칙 이행과 절연재료의 성능을 원천적으로 향상시킴으로써 예방 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 22[kV], 154[kV] XLPE 전력케이블의 폴리에틸렌과 반도체층을 각각 시트로 제작하고, 계면을 갖는 구조를 XLPE/반도체층, XLPE/수분/반도체층으로 준비하여, 각각 시료의 열적, 기계적, 흡습특성 등을 고찰하였다.

2. 시편 및 실험 방법

22[kV], 154[kV] XLPE 전력케이블을 준비하고, 케이블로부터 두께 0.4[mm]~1.2[mm]의 범위로 XLPE와 반도체층 시트를 각각 제작하였다. XLPE 시트의 열용량과 유리전이온도는 DSC(TA Instrument, TA4100)를 사용하여 측정하였다. DSC의 측정 온도범위는 상온~200[°C] 범위이고, 승온 속도는 10[°C/min]이었다. XLPE의 기계적 특성은 인장 강도 시험기(Instron 5566)를 사용하였고, 크로스헤드의 속도는 200[mm/min]이고, 시편은 덩벨 형태였다. 실험은 5회 측정한 후에 평균하여 신율과 인장 강도를 구하였다. 시편의 흡습특성은 수분 측정 장치(미쓰비시, CA-06)를 이용하여 160[°C]의 질소 가스 내에서 가열하면서 각각 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DSC 분석

열분석은 물리적 성질을 온도의 함수로서 측정하는 분야이므로 XLPE의 열용량 및 유리전이온도는 DSC를 통해 측정 할 수 있다. 동일한 고분자의 경우에도 결정영역과 비 결정 영역의 혼재율에 따라서 온도특성이 다르며, 또한 전기적인 특성에도 영향을 미친다. 따라서 고분자 재료의 열분석은 전기적인 특성과 관련되어 많은 연구가 진행되고 있다. 그림 1은 22[kV]급 XLPE의 DSC 측정 결과이다. 이 결과로부터 60.40[°C], 102.28[°C]에서 각각 흡열 피크가 나타나는 것을 알 수 있다. 첫 번째 피크는 XLPE내의 증발성(휘발성) 모노머에 의한 피크라고 생각되며, 두 번째 피크는 XLPE내에서 분자들의 분절운동이 시작하는 유리전이 구간으로서 재료가 유리상에서 고무상으로 상전이가 이루어지기 위해 필요한 에너지를 흡수하는 피크

라고 사료된다 [8]. 그림 1에서 알 수 있듯이 22[kV]의 유리전이온도가 89.71[°C]이고 XLPE가 상전이 되는데 필요한 열용량은 90.66 [J/g]이다. 케이블의 연속운전온도인 90[°C] 근처에서 22[kV]의 유리전이온도가 발생하고 있는 것을 알 수 있다.

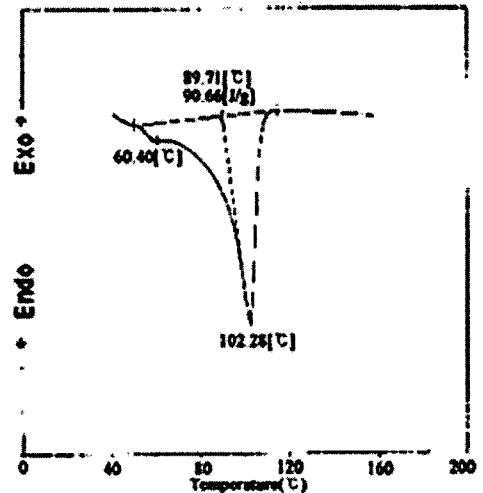


그림 1. 22[kV]급 XLPE의 열적 특성

그림 2는 154[kV]급 XLPE의 DSC 측정 결과이다. 이 결과로부터 90.81[°C], 106.91[°C]에서 각각의 흡열 피크가 나타나는 것을 알 수 있다.

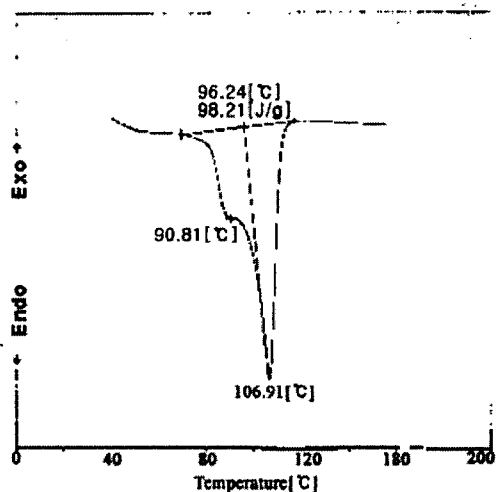


그림 2. 154[kV]급 XLPE의 열적 특성

그림 2에서 154[kV]급은 22[kV]급과 유사한 피크를 나타내고 있지만 22[kV]급 보다 약간 높은 온

도에 있다. 이러한 현상은 케이블의 초기 경화과정 중 남아있던 미가교물이 케이블 운전 중에 경화반응이 일어나서 XLPE내의 유리전이온도가 상승한 것으로 사료된다.

그림 2에서 알 수 있듯이 154[kV]의 유리전이온도가 96.24[°C]이고 XLPE가 상전이 되는데 필요한 열용량은 98.21[J/g]이다. 따라서 154[kV]급 케이블의 열적 안정성이 22[kV]급 케이블 보다 우수함을 알 수 있다.

3.2 기계적 분석

케이블의 절연체로부터 시트를 가공한 XLPE 시트의 기계적 특성을 각각 평가하였다. 케이블 절연체 재료의 인장강도와 신율은 고분자의 물리적인 성질을 평가하기 위한 목적으로 측정되며, 가속 열화시킨 후에 평가항목으로 이용되고 있다. 본 특성의 평가는 22[kV], 154[kV]급 XLPE 시트를 비교하고, 기계적인 특성을 미시적으로 고찰하였다.

그림 3은 22[kV] XLPE의 기계적 특성을 측정한 결과이다. 측정회수는 5회 실시하였고, 최저를 제외한 측정결과를 각각 평균하였다.

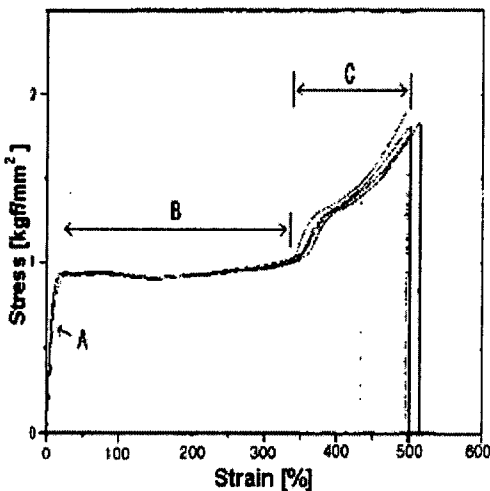


그림 3. 22[kV]급 XLPE의 기계적 특성

XLPE 시트의 신율은 486[%], 인장강도는 1.74[kgf/mm²]로 나타났다. 본 결과의 인장강도와 신율의 관계를 보면, 초기 신율 하에서 인장강도가 급격하게 증가하는 A 영역과 1.0[kgf/mm²]의 일정 인장강도 하에서 신율만 증가하는 B 영역, 다시 신율과 인장강도가 함께 증가하는 C 영역으로 구

분되어지는 것을 확인할 수 있었다. 이 같은 각 영역은 XLPE의 고분자 쇠(체인), 결정 구조의 변형을 각각 구분할 수 있을 것으로 사료된다.

그림 4는 154[kV] XLPE의 측정 결과이다. 본 시트의 신율 및 인장강도는 각각 507[%], 1.80 [kgf/mm²]이며, 22[kV]보다는 다소 증가된 결과이나, 변형되는 곡선은 동일한 형태를 지니는 것을 알 수 있었다. 그러나 B 영역은 다소 변위가 크며, 신율이 22[kV]급에 비해서 100[%]증가된 크기로 얻어졌다. 이와 같은 차는 22[kV]급과 154[kV]급의 가교도의 차에 의한 것으로 사료된다. 그리고 C 영역에서의 급격한 인장강도의 증가는 XLPE의 2차 탄성력과 연관되는 것으로 추측된다.

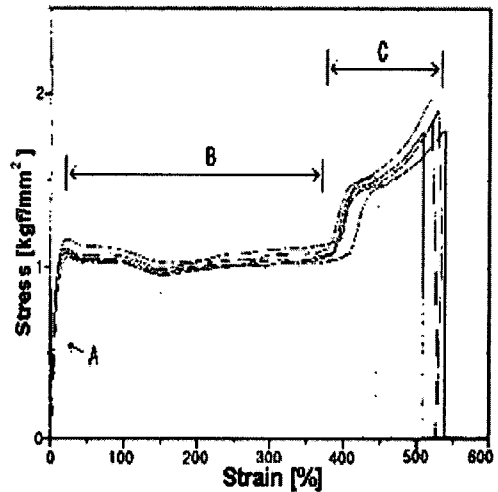


그림 4. 154[kV]급 XLPE의 기계적 특성

3.3 흡습 특성

다음은 22[kV]급 케이블 반도체층의 미량수분을 측정하였다. 기존 반도체층과 케이블에서 채취한 반도체층을 10시간 동안 흡습시킨 후 각각 측정하였다. 표 1은 측정결과이며, 기존 반도체층의 수분량은 710[ppm]~1,090[ppm], 케이블의 반도체층은 14,750[ppm]~24,780[ppm]의 범위를 나타내었다. 각 시료를 흡습시킨 후, 수분량은 다소 증가를 보였다. 특히 기존 반도체층의 경우에는 130[%] 정도로 얻어졌다. 실제 케이블 상에서 전계와 도체의 온도가 높아진다면 흡습량이 더욱 증가될 것으로 예측된다. 이와 같이 반도체층의 미량 수분은 절연체의 열화를 가속시키는 역할을 한다. 이러한 현상은 반도체재료가 갖고 있는 이온성 불순물의 영향

이라고 사료된다. 따라서 향후에는 반도체층내의 이온성불순물이 재료내의 흡습특성에 미치는 영향을 측정하기 위한 평가항목을 채택하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

표 1. 반도체층의 흡습특성

단위: ppm

구분	흡습 전	흡습 후	증가율[%]
시판 내도	710	930	131
시판 외도	1,090	1,450	133
22[kV] 내도	14,750	15,880	107
22[kV] 외도	24,780	58,000	234

4. 결 론

본 논문에서는 계면을 갖는 XLPE 시트의 열적, 기계적, 흡습 특성을 각각 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다. DSC 분석으로부터 22[kV]의 유리전이온도는 89.71[°C]이고 열용량이 90.66[J/g]이었고 154[kV]의 유리전이온도는 89.71[°C]이고 열용량이 90.66[J/g]이었다. 따라서 154[kV]의 열 안정성이 22[kV]급보다 다소 우수함을 알 수 있었다. 기계적 분석에서는 22[kV]의 신율과 인장강도가 486[%], 1.74[kgf/mm²]이었으며 154[kV]는 507[%], 1.80[kgf/mm²]이었다. 따라서 154[kV]의 기계적 특성이 다소 우수함을 알 수 있었다. 마지막으로 22[kV]의 흡습 실험에서 기존 반도체층의 수분량은 710[ppm]~1,090[ppm], 케이블의 반도체층은 14,750[ppm]~24,780[ppm]의 범위를 나타내었다.

참고 문헌

- [1] Devaux, A, Oudib, J.M. Rerolle, Y., Jocteur, R. Noirclerc, and A. Osty, "Reliability and Develop towards High Voltage of Synthetic Insulated Cables", CIGRE, 2, Paris, 1968.
- [2] W.Tiller Shugg, "Handbook of Electrical and Electronic Insulating Materials", Van Nostrand Reinhold, NY. 310, 1986.
- [3] S.Mahdvis, et al., "Direct Measurement of Space Charge in Synthetic Cables by the

Pressure Wave Method", Proc.JICABLE, 520, 1991.

- [4] "Morphology of Extruded Dielectric Cable Insulation" EPRI EL-5921 Project 7891 Report July, 1988.
- [5] H. Craig Miller, "Surface Flashover of Insulators", IEEE Trans. Elec. Insul. Vol. 24, No. 5, 765, 1989.
- [6] T. Okamoto, et al., "Breakdown Strength Affected by the Interface Roughness at the Semiconducting Layer in XLPE Power Cables", ICPADM 92, 127, 1991.
- [7] Robert Ross, "Dealing with Interface Problems in Polymer Cable Termination", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 15, No.4, July/August, 5, 1999.
- [8] 윤홍수 외, "아미노포스파젠 유도체에 의한 에폭시 수지의 경화와 열적성질", Journal of the Koean Society of Dyers and Finishers, Vol.11, No.6, pp.7-17, 1999.