

전력케이블용 가교폴리에틸렌과 반도체재료의 전기적 특성

성민우, 송정우, 이종필, *조경순, **이수원, 홍진웅
 광운대, *서울대, **한국철도대

Electrical Properties of XLPE and Semiconductive materials for Power Cable

Sung Min Woo, Song Jung Woo, Lee Jong Pil, *Cho Kyung Soon, **Lee Soo Won, Hong Jin Woong
 KwangWoon Univ., *Seoll College, **Korea National Railroad

Abstract - The performance of insulate materials gets worse with stress time in power system and because this causes lowering of function and accidents in equipment ,development and performance improvement of excellent insulate materials are needed to make stable system.

In this paper, to study the influence of degradation in XLPE, inner semiconducting layer and outer semiconducting layer, we studied dielectric characteristics at temperature 25~100[°C] and frequency 20~1[MHz] and volume resistivity at temperature 25~100°C, voltagelge

범위 1~20[V]에서 유전특성, 25~100[°C], 전압 100, 250, 500, 1000[V]에서 체적고유저항을 조사하였다.

2. 물성분석

차동열량계법(Differential Scanning Calorimetry ; 이하 DSC)을 이용하여 두께 100[μm] 내부 반도체 재료, 외부 반도체 재료, XLPE 시료의 결정립 크기와 분산율을 조사한 결과를 그림 1에 나타내었다.

DSC의 흡수 피크는 결정질 lamella가 온도 상승에 따라 크기가 작은 것부터 용융되기 시작한다. 그러나 결정의 용융이 종료되는 시료의 결정 융점은 표 1에서 보는 바와 같이 2개의 피크가 나타남을 확인할 수 있다.

1. 서 론

전력케이블의 구조는 도체(conductor), 도체 차폐층(conductor shield), 절연층(insulation), 절연 차폐층(neutral wire) 및 외피(jacket)로 구성된다. 각 층은 고유한 역할을 갖고 있으며, 각 층의 재료가 제 기능을 수행하지 못하면 이는 결국 절연층의 절연과피를 유발하여 전력케이블의 고장을 일으키게 된다. 지금까지의 연구는 주로 절연층 재료에 대해서만 집중적으로 이루어졌으나, 최근에는 반도체층의 중요성이 크게 대두되면서 이에 대한 연구가 증가하고 있다. 예를 들어, 반도체층 또는 반도체층/절연층 계면에 있는 불순물이나 결함이 전력케이블의 수명에 결정적인 요인으로 작용한다는 것은 잘 알려진 사실이며, 특히 금속성의 불순물은 절연층의 산화반응에도 영향을 미쳐 열화를 촉진하는 역할을 한다. 또한 이온성 불순물이 수트리 성장을 촉진시킨다는 연구결과도 발표되고 있다. 도체를 감싸고 있는 반도체층인 도체 차폐층의 역할은 도체의 균일하지 못한 표면을 감싸 급격한 전압의 차이를 완화시켜 주는 역할과 도체와 절연층의 직접 접촉함으로써 발생할 수 있는 부분방전이나 산화반응에 의한 열화를 방지하는 역할을 한다. 또한 도체와 절연층간의 갭에 의하여 발생할 수 있는 부분방전을 방지해 주는 역할도 하고 있다.

한편 절연층은 다시 반도체 재료로서 차폐되는데 이를 절연 차폐층이라 한다. 절연 차폐층은 엄밀한 전기적 특성을 요구함과 동시에 특히 쉬운 박리성을 가져야 한다. 이 절연 차폐층의 박리성은 일반적으로 카본블랙의 함량과 올레핀계 수지의 성질에 크게 의존한다. 본 연구에서는 케이블 내에서 중요한 위치를 차지하는 XLPE와 XLPE와 접합한 내부 및 외부 반도체층의 유전특성을 조사하여 열화가 시료에 미치는 영향을 조사하기 위해 온도범위 25~100[°C], 주파수 범위 20~1[MHz] 및 전압

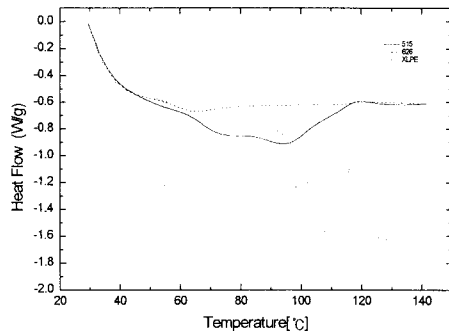


그림 1. 시료의 DSC

표 1. 혼합 비율에 따른 결정 융점

mixing ratio	T _m [°C]
내부 반도체 재료	72.52 / 94.19
외부 반도체 재료	48.65 / 62.53
XLPE	81.55 / 112.46

시료의 결정과 비정질의 고차구조를 조사하기 위해 두께 100[μ m]인 XLPE, XLPE와 내부 및 외부 반도체 재료를 접합한 시료들에 대해 X선 회절(X-ray diffraction; 이하 XRD)분석을 하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

XRD로부터 고차구조의 특징은 XLPE의 경우 $2\theta = 21.4^\circ$ 에서 결정(110)과 $2\theta = 23.6^\circ$ 에서 결정(200)의 기여와 $2\theta = 19.4^\circ$ 에서 비정질의 기여에 의한 피크가 중첩되어 나타났고, 내부 반도체 재료의 경우 $2\theta = 21.4^\circ$, 23.6° 에서 결정의 기여와 19.4° 에 비정질의 기여에 의한 피크가 나타났고, 외부 반도체 재료의 경우 $2\theta = 21.4^\circ$, 24° 에서 결정의 기여와 20° 에서 비정질의 기여에 의한 피크가 나타났다.

$2\theta = 21.4^\circ$ 에서의 결정에 의한 피크는 XLPE 시료가 크다는 것을 알 수 있다

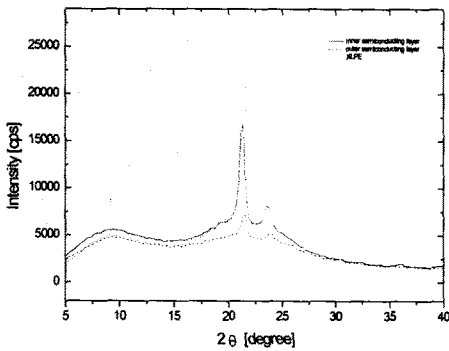


그림 2. 시료의 X선 회절

표 2. 시료의 결정화도

specimens	C [%]
내부 반도체 재료	52.54
외부 반도체 재료	40.02
XLPE	60.69

3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 전력 케이블내의 두께 100[μ m]인 XLPE와 내부 반도체 재료, 외부 반도체 재료, XLPE를 접합한 시료의 물성 구조 변화가 전기전도 기구에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 주파수 범위 20[Hz]~ 1×10^6 [Hz]와 온도 범위 25[$^\circ$ C]~100[$^\circ$ C]에서 인가전압에 따른 유전정점 특성을 실험하였다.

그림 3과 4는 XLPE의 유전정점의 주파수 의존특성을 나타낸 그림들이다.

그림3은 인가전압 5[V], 그림 4는 15[V] 일 때 온도에 따른 유전정점의 주파수 의존성을 나타낸 것이다.

그림에서 확인할 수 있듯이 1[kHz]를 중심으로 주파수 영역을 나누면 저주파수까지는 유전정점이 급격히 감소하고 온도변화에 따라 변화가 거의 없음을 확인할 수 있고, 100[kHz]까지 거의 일정하다가 다시 급격히 감소함을 확인할 수 있다. 또한 저주파 영역까지는 온도에 높아질수록 유전정점이 증가하는데 비해 고주파 영역에서

는 온도가 높아질수록 감소함을 확인 할 수 있었다. 전압의 변화에 따라서 유전정점이 거의 일정함도 확인할 수 있다.

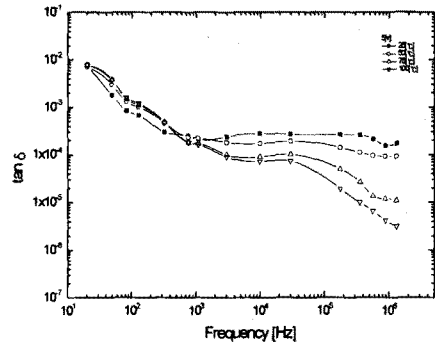


그림 3. 유전정점의 주파수 의존성 (XLPE, 5(V))

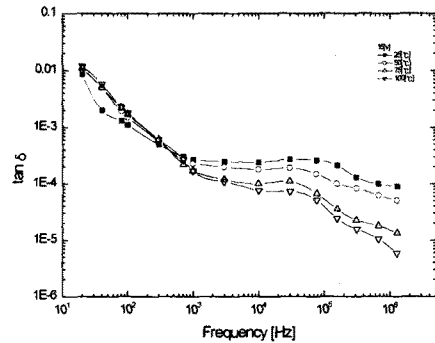


그림 4. 유전정점의 주파수 의존성 (XLPE, 15(V))

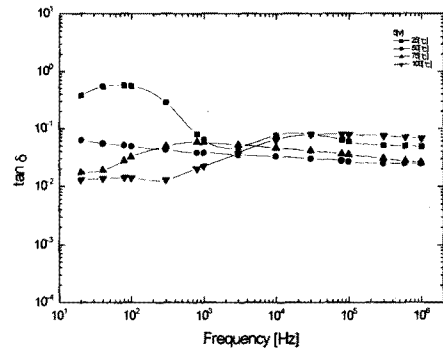


그림 5. 유전정점의 주파수 의존성 (접합시료, 5(V))

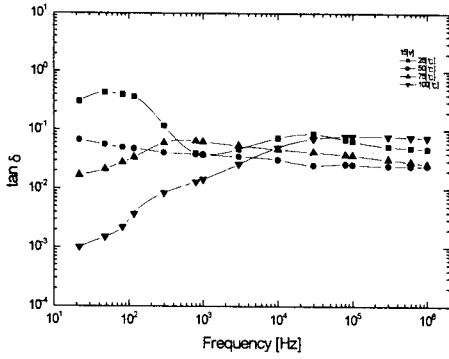


그림 6. 유전정점의 주파수 의존성 (접합시료, 15(V))

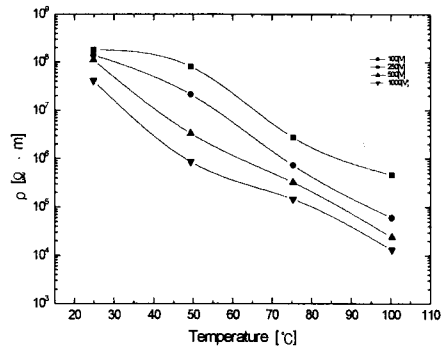


그림 8. 접합 시료에 대한 체적고유저항의 온도의존성

그림 5와 6은 접합한 시료의 유전정점의 주파수 의존성을 나타낸 그림이다.

그림 5와 6으로부터 상온인 25[°C]에서는 저주파 영역까지는 급격히 감소하다가 30[kHz]까지 증가하고 다시 감소하는 경향을 확인할 수 있고, 50[°C]인 경우에는 서서히 직선적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 75[°C]인 경우에는 저주파 영역까지 증가하고 그 이후론 서서히 감소하는 것을 확인할 수 있고, 100[°C]인 경우에는 주파수 증가에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 측정주파수가 높아지면 접합시료의 안정한 특성으로 유전정점이 열에너지의 영향을 크게 받지 않고 있음을 확인할 수 있다. 또한 전압의 변화에 따라라도 변화가 거의 없어 안정함을 확인할 수 있다

그림 7은 XLPE의 체적고유저항의 온도 의존성을 나타낸 그림인데 인가전압이 높아지면 체적고유저항은 낮아지는 것을 볼 수 있다. 75[°C]까지는 급격히 감소하다가 그 이상에서는 서서히 감소하는 것을 볼 수 있다. 인가 전압이 높아짐에 따라서는 전극으로부터의 전자주입 등 도전성 캐리어의 증가로 인해 체적고유저항이 저하되는 것으로 생각되며 온도 75[°C]부터 서서히 감소되는 것은 XLPE의 결정융점을 감안하여 볼 때, 각각 결정의 용융으로 인해 체적고유저항이 저하되는 것으로 사료된다.

그림 8은 접합시료의 체적고유저항의 온도의존성을 나타낸 그림인데 온도가 증가함에 따라 감소함을 확인할 수 있다.

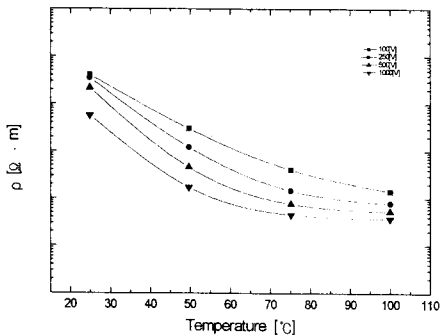


그림 7. XLPE 시료에 대한 체적고유저항의 온도의존성

3. 결 론

XRD 분석으로부터 내부 반도체 재료는 52.54[%], 외부 반도체 재료는 40.02[%], XLPE의 결정화도는 60.69[%]를 구하였으며, 유전정점의 크기는 XLPE의 경우 주파수가 증가할수록 감소함을 확인 하였다. 접합시료의 경우에는 측정주파수가 높아져도 접합시료의 안정한 특성으로 유전정점이 열에너지의 영향을 크게 받지 않고 있음을 확인할 수 있고, 전압의 변화에 따라라도 변화가 거의 없이 안정함을 확인하였다. 체적고유저항의 온도의존성으로부터 XLPE의 경우 결정의 용점까지는 체적고유저항이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었으며, 결정 용점 이상의 온도에서는 결정의 용융으로 인해 체적고유저항이 다소 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 접합시료의 경우 거의 일정하게 저하되는 것을 확인 하였다.

(참 고 문 헌)

- [1]. Tatsuki Okamoto, Naohiro Hozumi and Masayoshi Ishida, Breakdown Strength Affected by the Interface Roughness at the Semiconduction Layer in XLPE Power Cable, Proceedings of the 3rd International Conference on properties and Applications of Dielectric Materials July 8-12, 1991 Tokyo, Japan
- [2]. T. Okamoto, N. Hozumi, M. Ishida and T. Imazo, Development of EHV XLPE Power Cables with half Insulation Thickness, Criepe Report W90042, CRIEPI, Japan, 1990.
- [3]. N. M Vurns, "An Improved Strippable Insulation Shield for Triple Process Power Cable", Kabelitem No. 156, Union Carbide Corporation, 1981.
- [4]. S. L. Greene, "Smoothness Evaluation of Clean Furnace Carbon Blacks", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol, 10, No. 2, pp. 23-29, 1994