

전력케이블에서 동테이프 차폐 구조에 따른 반도전성 재료의 전기적 특성 연구

양종석, 류찬, 전근배, 성백룡
(주)디와이엠 기술연구소

A Study on the Electrical Properties of Semiconductive Materials with Copper Tape Shield Structure in Power Cable

Jong-Seok Yang, Chan Ryoo, Geun-Bae Jeon, Bag-Rong Seang
DYM CO., LTD.

Abstract : In this study, we have investigated electrical properties of semiconductive materials for power cable caused by copper tape shield structure. Volume resistivity of specimens was measured by volume resistivity meter after 10 minutes in the pre-heated oven of both 23 [°C] and 90 [°C]. From this experimental results, the volume resistivity had different properties because of PTC/NTC tendency at between 23 [°C] and 90 [°C].

Key Words : Power Cable, XLPE, Semiconductive Materials, PTC, Shield

1. 서 론

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

국내에서 사용되고 있는 XLPE 전력케이블은 각기 다른 역할을 하는 여러 층으로 이루어져 있다. 그 중에서 반도전층은 도체로부터의 전계완화와 도체와 직접 접촉함으로써 발생하는 문제점들을 완화시키기 위해 사용된다. 따라서 반도전층이 전력케이블 내에서 제 역할을 충분히 발휘하기 위해서는 반도전 재료의 주요 특징중의 하나인 고온 체적저항 특성, 특히 동테이프 차폐 구조에서의 내부 반도전성 재료의 전기적 특성 변화를 고찰함으로써 전력케이블의 성능향상에 반도전성 재료가 중요한 역할을 할 수 있다는 점을 강조하고자 하였다.

2. 시료 및 시험방법

2.1 시료

실험에 사용된 케이블 시료는 도체(300mm²)를 중심으로 내부 반도전층, XLPE 절연층, 외부 반도전층, 두께 1[mm] 동 테이프 차폐 구조로 제작하였으며, 이를 Air 오븐에서 100 [°C], 168 [hrs] 가열하였다.

2.2 시험장비 및 방법

동테이프 차폐 구조를 가진 케이블에서의 내부 반도전층의 승온에 따른 체적저항 변화를 알아보기 위하여 한전 구매시방서 (내부 반도전층 체적저항을 시험규격)를 일부 인용하였다. 100 [°C], 168 [hrs] 동안 가열된 케이블 시료

를 반으로 갈라 도체를 빼낸 후 내부 반도전 층에 붓으로 은분을 칠하여 전극을 만들었으며, 두 전극간 거리는 50mm 이상으로 하였다. 그 후 상온에서 1시간 이상 건조시킨 후 각 전극에 외부 연결용 단자를 만들었다. 시험은 25± 1 [°C]와 90± 1 [°C]로 예열된 오븐에 시료를 넣고 10분 간격으로 측정하였다. 여기서, R은 저항 [Ω], D는 반도전층 외경 [m], T는 반도전층 평균두께 [m], L은 전극간 거리 [m] 이다.

$$\text{체적저항율} = \frac{R \times \pi \times (D - T) \times T}{2L} \quad [\Omega \cdot m]$$

3. 시험결과 및 고찰

3.1 동테이프 차폐에 따른 체적저항 변화율

반도전성 재료와 같이 고분자에 카본블랙이 혼련된 경우 전도성을 나타내는데 이러한 카본블랙의 전도기구는 매우 복잡하나 일반적으로 2가지 이론이 유력시 되고 있다.

첫째로는 연쇄상의 카본사슬을 통해서 전도가 일어나는 구조설(structure theory) 이론이고, 둘째로는 분산된 카본입자 사이를 전자가 점핑하여 전도된다는 점핑설(jumping theory) 이론이다. 참고로 두 번째 이론의 현상은 "Tunnel Effect"라고 한다[1]. 그림 1에서와 같이 연쇄상의 카본사슬을 통한 전도기구에서는 연쇄상을 형성하기 위하여 카본블랙의 양이 충분해야 한다. 그러나 구조설로는 설명하기 곤란한 넓게 분산된 카본입자 사이의 전도는 전자가 수 nm의 갭 (최대 gap: 100 [Å], gap이 100 [Å] 이상이면 비전도성)을 점핑 하여야만 일어날 수 있다. 따라서 소위 "Tunnel Effect"라고 알려진 전도기구가 제안되고 있

다[1,2]. 이 두 가지 이론을 복합적으로 나타낸 것이 그림 1에서 보는 바와 같이 반도체 컴파운드 내 카본블랙의 전기전도 이론으로 볼 수 있다.

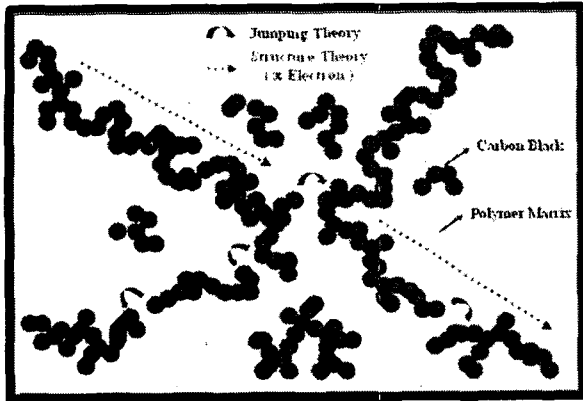


그림 1. 반도체성 재료 내 카본블랙의 전기전도 이론 (구조설과 점핑설)

그림 2와 3은 동테이프로 차폐 전과 후의 체적저항 변화와 고분자 팽창 모습을 각각 나타내고 있다. 일반적으로 전도성 충전제인 카본블랙이 함유된 반결정성 고분자는 온도를 증가시키면 고분자의 결정 용융 영역에서 열적 팽창으로 인하여 고분자 내에 있는 충전제 입자 사이의 거리가 증가하게 되어 전자의 흐름이 방해받게 되고 따라서 온도가 증가함에 따라 저항이 갑자기 크게 증가하는 현상이 나타나는데 이를 PTC (Positive Temperature Coefficient) 현상이라고 한다[2].

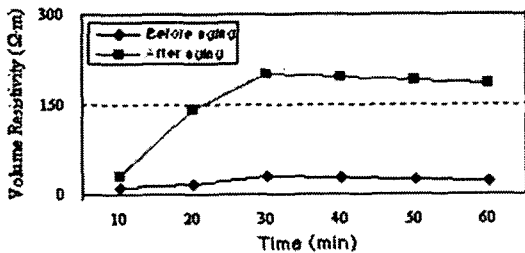
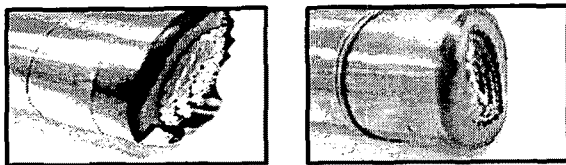


그림 2. 동테이프 차폐 가열 전, 후 체적저항 변화율



(a) 가열 전 (b) 가열 후

그림 3. 동테이프 차폐 가열 전, 후의 고분자 팽창 모습

즉, 충전제인 카본블랙이 첨가된 고분자 복합재료 즉 반도체성 재료의 PTC 현상은 고분자와 충전제의 서로 다른 열팽창계수의 차이로 설명할 수 있다. 즉 카본블랙에 비하여 매우 큰 열팽창 계수를 갖는 고분자는 용융온도 근처에서 급격한 부피팽창을 보이고, 이로 인하여 복합재

료 내에서 충전제의 상대적인 부피분율이 감소하고 전도성 충전제인 카본블랙 입자의 간격이 커져 카본블랙 간의 전도 네트워크를 파괴함으로써 전자의 이동을 방해하게 된다. 반면 수지의 용융점 이후 나타나는 NTC (Negative Temperature Coefficient) 현상은 수지의 결정용융이 진행됨에 따라 유동성을 가진 카본블랙 입자들이 자유로이 재배열하여 새로운 전도성 네트워크를 형성하게 됨으로써 전자들의 이동 통로가 증가하게 되고, 이로 인하여 저항값이 약간 낮아지는 것으로 설명할 수 있다.

또한 100 [°C], 168 [hrs] 열화 후 체적저항의 상승은 이중결합과 같은 화학적 결합이 존재하는 부분에 산화반응이 일어났기 때문이다. 즉 이러한 결합은 산화반응에 약한 부위로서 이 주위에 어느 정도의 온도가 유지되고 산소만 있으면 거의 대부분 산화반응을 일으킨다. 일단 산화반응이 일어나면 이 부분에서 계속적인 화학반응이 일어나 결국에는 사슬절단이 일어나고 이 지점은 다시 약한 부분이 된다. 따라서 이러한 과정을 반복하면서 고분자 사슬과 카본블랙간의 결합력의 약화로 인해 열화전에 비하여 체적저항이 증가하였을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 논문에서는 반도체성 재료의 전기적 특성 실험에서의 고온 체적저항율이 왜 변하는지 또, 장시간 고온에 노출(100°C, 168시간)된 후 체적저항율을 측정했을 때 일반적인 측정값보다 높은 체적저항 값을 나타내는지 알 수 있었다. 이것은 고분자의 고유 특성으로써 Tm (고분자 수지의 용융 온도) 에서 급격한 부피 팽창으로 인해 고분자 내에 팽창하게 분산되어 있었던 카본블랙의 입자간 거리가 멀어짐으로써 발생하는 것으로 나타났다. 고분자가 갖는 이러한 고유 특성이 전도성 충전제가 함유된 반도체 재료에서 PTC 현상으로 나타나고 용융 온도 이후에는 베이스 수지내의 카본블랙이 재배열하여 새로운 전도성 네트워크를 형성함으로써 체적저항이 다소 감소하는 NTC 현상에 의해 체적저항율이 변화되는 것으로 나타났다.

따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로는 가교도를 높이는 방법, Base Polymer의 결정화도를 조절하는 방법, 전도성이 우수한 카본블랙을 사용, 열적 안정성이 우수한 Base Polymer 사용 등의 방법을 통하여 전자의 흐름이 방해받지 않도록 하는 등 향후 많은 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. A. Boggs, M. S. Mashikian, "Role of Semiconducting Compounds in Water Treeing of XLPE Cable Insulation", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 10, No. 1, pp. 23-27, 1994.
- [2] 김재철, 이중준, 남재도, "HDPE 가교 결합과 계면 접촉력 변화에 따른 PTC 특성 변화", Polymer(korea), Vol. 27, No. 4, pp. 275-284, 2003.