반도전층/XLPE의 불규칙한 유전 및 절연 특성

Anormal Dielectric and Insulation Properties of Semiconductor/XLPE

이종찬, 김광수, 박대희
(Jong-Chan Lee, Kwang-Soo Kim, Dae-Hee Park)

Abstract

Reduction of insulation thickness would be beneficial not only for increasing the cable length but would also improve its thermal performance. An interfacial diffusion method was devised to reduce insulation thickness by improving the interfacial properties of XLPE cable insulation. In this paper, to evaluate superficially the interface properties between XLPE insulation and semiconducting layer, the dielectric and insulation properties of tanδ and volume resistance were measured with temperature dependence. Above the results, dielectirc and insulation properties with semiconductor/XLPE were more anormal than its bulk caused by the interfacial properties.

Key Words : Semiconductor, XLPE, Interface, Dielectric, Insulation

1. 서 론[1)]

XLPE 전력케이블의 절연두께 저감화를 위해서 제조공정 개선에 의한 이물질 유입 방지와 계면의 성능 향상 방법 등이 있다. 특히, 절연체와 반도전층 사이의 계면은 폴리에칠렌의 절연특성에 비해서 열등한 특성을 갖고, 유리전이온도 이상에서 갖는 부피와 100% 결정상태에서 갖는 부피 차이가 크다. 또한 고전계가 집중하는 돌출부와 거친 내부 표면이 존재한다[1]. 따라서 계면부근의 폴리에틸렌 품질을 위해 첨가물 사용하여 폴리에틸렌 결정성장을 중심에서 라멜라 방향으로 변화하고 케이블의 절연파괴전압을 향상시키는 보고도 있다[2].

이와 같이 전력케이블의 반도전층이 단순히 계면 전극 역할뿐만 아니라 반도전 전극 내에 포함하고 있는 성분들이 전체 전력케이블의 절연특성을 좌우할 수 있다. 전력케이블의 절연재료와 반도전층에 관한 연구는 거시적인 측면과 미시적인 측면에서 꾸준하게 연구가 진행되고 있으며, 절연 성능향상과 신뢰성의 확보라는 관점에서 평가법과 성능 개선이 진행되고 있다[3]. 따라서 본 연구는 벌크 XLPE 및 반도전층 재료의 유전 특성과 절연특성이 아닌 22.9 kV 케이블의 XLPE/반도전층과 내도 및 외도용 반도전층에서 추출한 시료에 대한 유전 및 절연특성의 온도 의존성을 평가하고, 전력케이블의 성능에 미치는 영향에 대하여 검토하고자 한다.

원광대학교 전기전자 및 정보공학부
(전북 익산시 신용동 344-2)
Fax: 063-850-6349
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

2. 실 험

실험에 사용한 시료는 22.9 kV 전력 케이블의 내도 및 외도용 반도전층과 XLPE가 부착된 XLPE/반도전층을 각각 사용하였다. 유전특성 평가를 위한 시료는 25㎜×25㎜ 크기로 절단하고, 시료 표면에 부착된 오염물을 제거하기 위하여 50%의 아세톤에 20분간 초음파 세척한 후, 99.9%의 메탄올에 30분간 초음파 세척하였다. 세척한 시료는 모서리의 대각선 5개 지점에서 두께를 측정한 후 분류하였다.

유전/절연 특성 시험장치는 dielectric thermal

analyzer (Nove Control)를 이용하였다. 측정 주파수는 1 ㎑로 고정하고, 온도 변화를 20~90 ℃하며 체적저항과 tanδ 및 유전율을 측정하였다. 사용된 전극은 직경이 20 ㎜Φ에 두께 2.0 ㎜t의 평판전극을 사용하였다. 측정장치의 온도 변화는 그림 1과 같이 전극과 시료는 챔버 내부에 고정하고, 버너에서 발생한 열과 액체 질소의 혼합된 유입을 조절하며 온도 변화를 제어하였다.

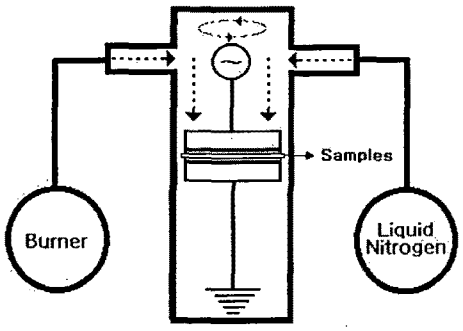

그림 1. 유전특성 측정 장치도
Fig. 1. Measuring diagram of dielectric properties

3. 결과 및 고찰

3.1 결정구조

반도전층은 절연체와 같은 고분자에 도전성 카본 블랙 혼합에 의해서 전도 특성을 가지며, 주요 특성은 첨가하는 카본의 종류나 이용되는 고분자의 성질에 의해서 큰 영향을 주고, 절연체 및 케이블의 특성에도 영향을 미친다. 특히, 반도전층의 전도 특성은 침상에 연결된 카본 블랙 입자사슬에 의한 도전 통로에 관한 특성과 분산된, 카본 블랙 입자의 갭을 전자점프로 전기가 흐르는 터널효과 등으로 해석되어진다. 카본 블랙의 기본적인 성질을 결정하는 인자는 입자경, 표면적, 구조 혹은 응집에 의한 연쇄구조 등이 있다.

전력 케이블용 반도전층에 사용되는 카본 블랙은 입자경이 20~50 ㎚, 질소흡착 비 표면적은 수십~수백 ㎡/㎎, pH는 10.0이하에서 선택이 되고 있으며, 수지는 EEA, EVA, LDPE, VLDPE등이 선택된다. 반도전층의 전기 물성은 카본 블랙의 입자 직경이 증가됨에 따라 체적저항이 증가하며, 비 표면적이 증가됨에 따라 체적저항은 감소하는 경향을 각각 나타내며, 특히 온도의존성은 고분자 수지의 영향을 받는다. 따라서 반도전층의 결정상태를 파악하기 위해 X선 회절분석을 하였다.

그림 2는 내도/외도 반도전층의 X선 회절 결과이다. 내도 반도전층은 21.2°에서 (110)면의 피크와 23.5°에서 (200)면이 나타나고 있으며, 35.9°, 42.8°, 62.0°에서 피크가 있다. 외도 반도전층은 내도 반도전층과 유사한 위치에서 피크를 나타내고 있으나, 42.8°, 62.0°에서는 피크를 나타내지 않는다. 특히 CPS는 2/3정도의 밀도를 보이고 있다. 이와 같은 결과는 반도전층의 결정화도의 차이로 사료되며, 결정화도의 차이는 결정화의 온도, 분자구조 등에 의해서 지배되어 열적인 재료 특성에도 영향을 미친다.

22.9kV 전력 케이블에서 채취한 반도전층의 X선 회절 결과는 그림 3과 같다. 내도 반도전층은 그림 2의 시료와 동일한 피크를 나타내고 있으나, CPS는 1/2정도의 밀도를 보이고 있으며, 외도 반도전층의 피크는 21.2°, 42.9°에서 2개의 피크를 보이며, CPS도 내도에 비해서 1/2정도로 결정화도가 대단히 낮은 상태이다.

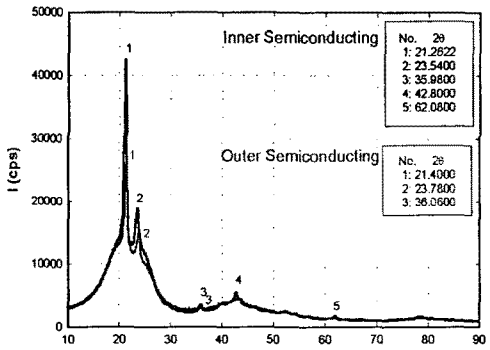

그림 2. 내도/외도 반도전층의 X선 회절 분석
Fig. 2. X-ray diffraction of inner and outer semiconducting

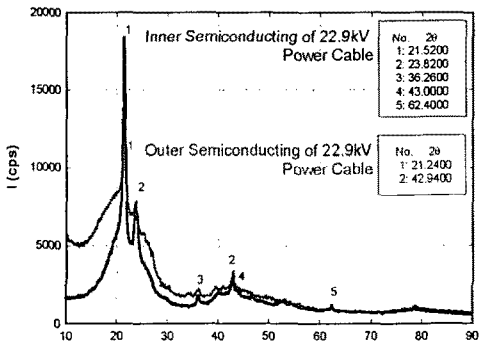

그림 3. 22.9kV 전력 케이블의 내도/외도 반도전층 X선 회절 분석

Fig. 3. X-ray diffraction of inner and outer semiconducting on 22.9kV power cable

3.2 유전특성의 온도의존성

유전특성은 주파수를 1㎑로 고정하고 반도전층 시료와 반도전층과 XLPE가 부착된 시료들의 유전률, tanδ 및 체적저항에 대하여 온도의존성을 평가하였다.

그림 4는 내/외도 반도전층의 유전률의 온도의존성을 나타냈다. 외도 반도전층의 유전율은 2.0 × 10^5 정도이며, 온도증가와 함께 감소하는 경향을 확인 할 수 있었으며, 내도 반도전층은 4.7 × 10^4을 나타내며, 온도에는 큰 의존성을 보이지 않고 일정 하였다. 외도 반도전층의 tanδ는 그림 5와 같이 온도의 증가와 함께 증가하는 경향을 보이며, 내도 반도전층의 경우는 외도보다 큰 유전손실을 나타낸다.

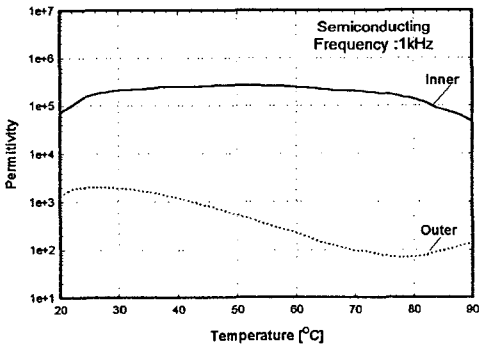

그림 4. 내/외도 반도전층 유전률의 온도의존성

Fig. 4. Temperature dependence on permitivity of inner and outer semiconducting

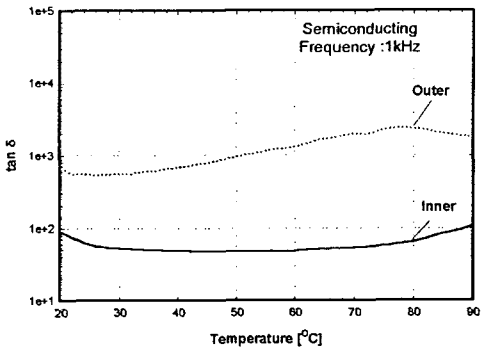

그림 5. 내/외도 반도전층 tanδ의 온도의존성

Fig. 5. Temperature dependence on tanδ of inner and outer semiconducting

그림 6~7은 22.9kV 전력 케이블에서 추출한 반도전층/XLPE의 유전특성과 체적저항의 온도의존성을 각각 평가하였다. 반도전층/XLPE의 유전률의 온도의존성에서 유전률은 5.5이며, 반도전층의 유전특성보다 XLPE의 특성을 보이며 온도에는 거의 의존하지 않는 결과가 얻어졌다.

tanδ의 온도의존성은 폴리에칠렌이 지니는 값을 나타내며, 50℃부근에서 0.007을 갖는 피크를 보이며, 온도 증가와 함께 다시 감소하며 상온과 같은 특성을 보인다. 이 같은 특정온도에서의 피크는 반도전층의 카본 블랙의 공진효과로 예측된다.

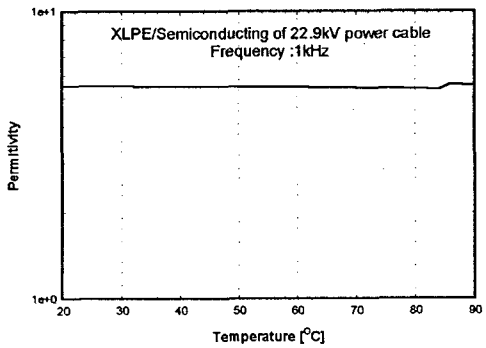

그림 6. 22.9kV 전력케이블 XLPE/반도전층 시료의 유전률

Fig. 6. Permitivity of 22.9kV power cable XLPE/Semiconducting sample

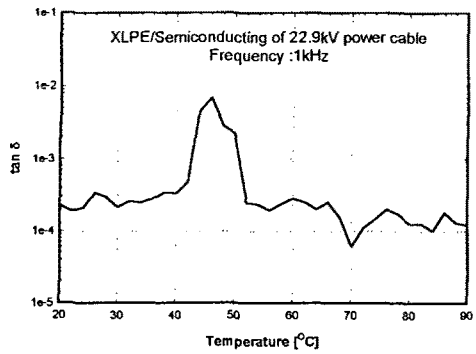

그림 7. 22.9kV 전력케이블 XLPE/반도전층 시료의 tanδ

Fig. 7. tanδ of 22.9kV power cable XLPE/Semiconducting sample

3.3 절연특성의 온도의존성

내도 반도전층의 체적저항은 그림 8과 같이 외도 반도전층 보다 작으며, 상온에서 180 Ω · ㎝로서 온도증가와 함께 증가하는 경향을 보인다. 외도 반도전층의 체적저항은 온도증가와 함께 내도 반도전층과 비교해서 크게 증가하는 경향을 보였다. 또한 그림 5와 8의 결과와 같이 체적저항과 tanδ는 온도변화에 따라 유사한 특성을 나타냈다.

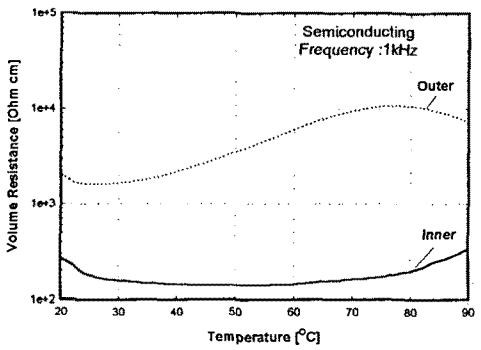

그림 8. 내/외도 반도전층 체적저항의 온도의존성

Fig. 8. Temperature dependence on volume resistance of inner and outer semiconducting

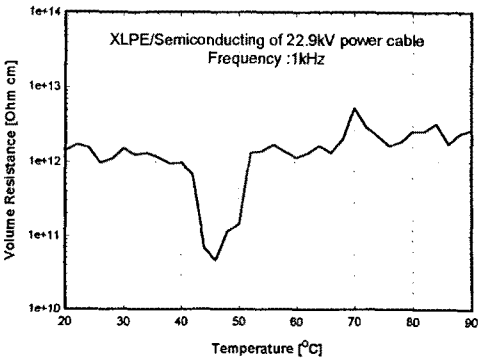

그림 9. 22.9kV 전력케이블 XLPE/반도전층 시료의 체적 저항

Fig. 9. Volume resistance of 22.9kV power cable XLPE/Semiconducting sample

22.9kV 전력 케이블에서 추출한 반도전층/XLPE의 유전특성 결과는 그림 9와 같이 체적저항에 의존하는 특성을 나타냈다. 체적저항의 온도의존성은 불안정한 값을 보이고 온도 증가와 함께 증가하는 경향을 있으나, 반도전층보다 폴리에칠렌에 의한 영향이 지배적인 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 내도 및 외도용 반도전층 시료와 22.9 kV 케이블의 계면을 갖는 XLPE/반도전층에 대한 온도 의존형 유전 및 절연특성을 평가하였다.

22.9kV 전력 케이블에서 추출한 내도 및 외도용 반도전층 시료는 가공하지 않은 bulk 특성과는 많은 차이가 있었으며, 특히 계면을 갖는 XLPE/반도전층을 온도변화에 따라 불규칙한 특성을 나타냈다. 이와 같은 결과는 케이블의 절연 특성 강화를 위해 사용되는 첨가제의 확산 특징 및 XLPE/반도전층 계면특성 강화에 의한 특징으로 사료된다.

[참고문헌]

[1] T. Tanaka, T. Okamoto, N. Hozumi and K. Suzuki, "Interfacial Improvement of XLPE Cable Insulation at Reduced Thickness", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No. 3, pp. 345~350, June, 1996.

[2] T. Okamoto, M. Ishida and N. Hozumi, "Dielectric Breakdown Strength Affected by

the Lamellar Configuration in XLPE Insulation at a Semiconducting Interface", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 24, No. 4, pp. 599~607, August, 1989.

[3] W. O. Statlon and P.H. Geil, "Recrystallization of Polyethylene during Annealing", J. Appl. Polymer Sci., Vol.3, pp.357~361, March, 1960

[4] J. P. Rivence and T. Lebey, "An Overview of Electrical Properties for Stress Grading Optimization", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 3, pp. 309~318, June, 1999.