

나노 충전제를 첨가한 XLPE의 절연 특성 평가

조성훈*, 김유민*, 임기조*
충북대*

Evaluation of Insulation properties of Nano-filler XLPE

Sung-Hoon Cho*, Yu-Min Kim*, Kee-Joe Lim*
Chungbuk National University*

Abstract - XLPE는 절연성 및 기계적, 열적 특성이 양호하여 1980년대부터 지중배선용 전력케이블의 절연재료로 사용되었다. 현재는 원재료의 성능 개선과 제조기술의 향상에 힘입어 초고압 교류 송배전 케이블용 절연재료로 적용 되고 있다. 절연과피 강도에 대한 검토는 송전용량의 증대 및 초고압화가 가속됨에 따라 고전계하에서의 장기적인 절연성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 절연 열화 현상을 진단하는 방법으로도 이용되고 있다. 본 연구에서는 HVDC용 나노복합 XLPE의 절연재료 평가기술 개발의 기초연구로서 최적의 나노 복합 재료를 확인하기 위하여 제작된 시편들의 전기적 특성 및 열적 특성을 평가하고자 한다.

1. 서 론

최근 전력 소비량이 많아지고 안정적인 전력을 공급하기 위해 해저 케이블, 대용량 장거리 송전등의 송전이 많아지면서 HVDC 송전의 전력 공급이 관심을 받고 있다. 장거리 송전이 늘어나고 스마트 그리드 정책에 따른 DC 송전이 필요함에 따라 HVDC 케이블의 사용이 증가하고 있다. 또한 전력 소비량이 증가함에 따라 송전 용량 또한 증가하게 되는데, 용량 증가에 따른 절연 성능의 향상 또한 필요하기 때문에, HVDC 케이블 절연재의 근본적인 연구가 필요하다.[1,2]

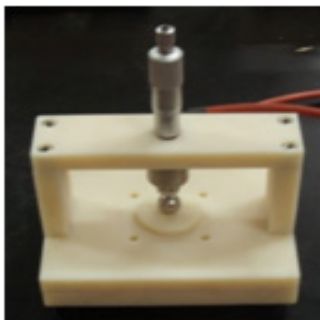
XLPE는 폴리에틸렌(Polyethylene:PE)에 유기 과산화수소(organic peroxides)를 사용하여 폴리에틸렌(PE)를 가교시켜 기존 폴리에틸렌에 열경화성의 점탄성 성질을 부여한 재료로서 1950년대에 미국에서 개발된 이래로 지금까지 더욱 높은 전압에 적용하면서 꾸준히 플라스틱 절연케이블의 주절연체로 사용되어 왔고, 나노 충전제를 소량을 첨가하여 만든 절연재료의 성능이 월등히 좋아진 결과를 나타내어 유전체 및 전기 절연재료로서 관심을 갖게 되었다. [3,4]

본 연구에서는 나노 filler를 첨가한 절연체를 제작하여 나노 filler가 첨가된 XLPE의 열적 특성 및 전기적 특성 실험을 통하여 기존 전력케이블의 대체 절연재료로서의 적용을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험 방법 및 분석 방법

단극성 직류 절연 파괴 및 극성반전 실험을 위해 그림 1과 같은 구대구 전극을 사용하였으며 IEC 규격에 평등전계 분포를 위해 전극 사이의 절연체 두께의 10배 이상 크기의 직경을 가진 구를 사용할 것을 권장하였기 때문에 본 연구에서는 8mm 직경의 스테인레스 구를 사용하였다. 실험시 파괴전압은 1kV/sec로 증가시켰으며, 상온(25℃) 및 최고 사용 온도(90℃)에서 실험 하였으며, 데이터는 Weibull 확률 분포로 나타내었다.



〈그림 1〉 구대구 전극

고전압, 절연재료 기술분야에서는 절연파괴전압이나 일정전압 인가시의 수명시간 데이터가 중요하다. 그러나 이들 수명 데이터나 파괴데이터

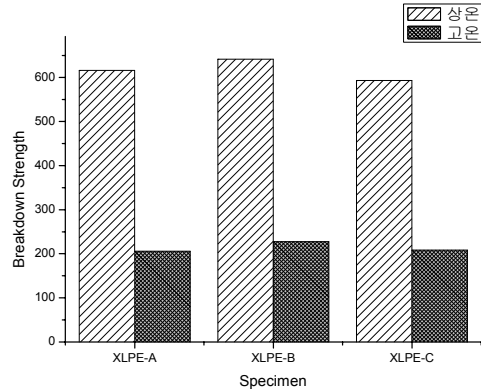
는 일반적으로 산만하고 흐트러져 있어 어떠한 통계처리를 함으로써 성질을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 누적과피확률을 구하는 각 방법은 크게 mean rank, median rank, mode rank로 나눌 수 있으며 절연과피의 경우 주로 median rank를 사용하고, 식(1)과 같이 나타낸다.

$$F(x_j) = \frac{j-0.3}{n+0.4} \quad (1)$$

여기에서 n은 총 실험한 횟수를 나타내고, j는 가장 낮은 값을 보인 시편부터 차례로 나열한 것이다. Weibull 분포정리를 통해 분산이 심한 절연과피데이터를 정리하기 위해 와이블 분포로 정리하려고 한다. 측정된 실험값으로 와이블 통계를 이용하여 2차원적인 오차를 최소화하고자 하였다.

2.2 실험 결과

그림 2는 절연과피실험을 통해 온도 2 point(25, 90℃)에서 측정된 절연과피강도를 나타내고 있다. 총 3종의 시편에 대해 각각 10회의 절연과피실험을 진행하였으며, 측정된 데이터는 와이블 분포를 통해 Median Rank법으로 누적도수를 정하고 scale parameter에 의해 평균 절연과피강도를 구하였다. 상온과 고온에서의 실험에서 XLPE-B의 시편의 절연과피 강도가 가장 좋은 것으로 나타났고, XLPE-A의 절연 파괴 강도가 온도에 따라 차이가 많음을 확인 하였다.



〈그림 2〉 절연과피 데이터

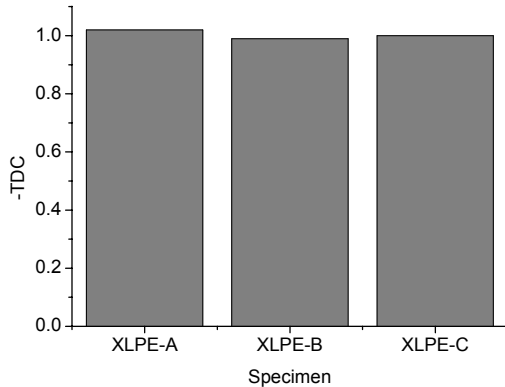
그림 3는 3종류의 시편에 대한 직류파괴전압강도를 측정하여 상온일 때와 90℃일 때의 절연과피강도의 변화에 대한 온도의존성을 분석한 TDC of BDS (Temperature Dependence Coefficient of Breakdown Strength) 결과이다. 이는 상온을 기준으로 온도가 1℃상승함에 대해서 파괴강도가 저하하는 정도를 알 수 있는 지표이다. 와이블분포 해석을 통해 얻은 scale parameter(63.2%)값을 기준으로 하여 각각 25℃에서 90℃까지의 온도의존성을 분석하였다.

온도에 따른 영향을 정량적으로 비교하기 위하여 절연과피 강도의 온도 의존성 계수를 다음과 같이 정의하여 비교하였다.

$$-TDC = \frac{1}{E_b(25)} \frac{\partial E_b}{\partial T} \quad (2)$$

여기서 는 절연과피 강도, T는 상온과 90℃의 온도 변화량이다. 참고로 는 와이블 분포에서 scale parameter로 구해진 절연과피강도를 말한다. 온도의존성계수 -TDC는 ($\times 10^2 / ^\circ\text{C}$)로 나타낸다.

온도의존계수를 구해 본 결과 3시편이 거의 비슷한 온도 의존성을 나타내는 것을 확인 할 수 있었는데, 그 중 XLPE-B 시편의 온도 의존성이 가장 적음을 확인 할 수 있었다.



<그림 3> 직류 절연 파괴의 온도 의존성

3. 결 론

본 연구는 HVDC용 전력케이블 절연체에 적용하기 위해 첨가제의 종류와 함량을 변화시킨 XLPE 나노컴포지트를 대상으로 단극성 직류 절연파괴 강도 평가를 상온과 케이블의 최고허용온도인 90℃에서 에 대해 측정하고, 와이블 분포법에 의하여 분석한 결과로부터 다음의 결론을 얻었다.

첫째, 상온과 고온(90℃)에서 직류 단극성 절연파괴 강도는 3종류의 시편중 XLPE-B의 시편이 가장 좋은 특성을 보였고, XLPE-B를 기준으로 상온에서 A의 경우 4%, C의 경우 8% 정도의 파괴강도 하락을 보였고, 고온에서는 A와 C 각각 10%, 8% 정도의 파괴강도치가 하락한 것을 확인하였다.

둘째, 단극성 직류 절연파괴 강도의 온도 의존성을 정량화하기 위하여 절연파괴 강도의 온도의존성 계수를 정의하여 각 시편의 파괴 강도를 정량적으로 비교 분석하였다. 비교 분석한 결과, XLPE-B의 온도 의존성이 상온과 고온에서 모두 좋은 특성을 보임을 확인하였다.

본 연구에서의 실험 결과를 통하여 HVDC용 케이블의 절연 재료 향상에 도움이 되리라 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] A. DEVAUX , J. M. OUDIN , Y. REROLLE , R. JOCTEUR , A. NOIRCLERC and M. OSTY, "Reliability and Development Towards High Voltages of Synthetic Insulated Cables", CIGRE, Paper 21-10,1968.

[2] K.R. Bambery, R.J. Fleming, "Space Charge Accumulation in Two Power Cable Grades of XLPE", Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 5, No. 1, pages 103-109, 1998

[3] M.Fu, L.A. Dissado, "Space Charge Formation and its Modified Electric Field under Applied Voltage Reversal and Temperature Gradient in XLPE Cable", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, vol. 15, No. 3, 2008

[4] T. Nara, K. Kato, et al., "Study on Dielectric Breakdown at DC Polarity Reversal in Oil/pressboard-composite Insulation System", Conference on Electrical and Dielectric Phenomena, pages 588-591, 2009

[5] CH. KRAUSE, R. WOSCHITZ, "The Temperature Dependence of the Dielectric Strength of Transformer Oil and Pressboard Insulation at HVDC Polarity Reversal Stress", Proceedings of 14th ICDL 2002, Graz, Austria, July 7-12, 2002

[6] T. Hasegawa, K. Yamaji, M. Hatano, T. Kouan, "Dielectric Strength of Transformer Insulation at DC Polarity Reversal", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12, No.4, 1997