

XLPE의 부분방전에 의한 트리진전 특성과 음향방출신호 측정

김성규, 이상우, 이광식, 김영훈*, 김금영*, 김인식**, 김이국**
영남대학교, 포항1대학*, 경일대학교**

Measurement of Tree Growth Characteristics and Acoustics Emission Signals by Partial Discharge in XLPE

Seung-Gyu Kim, Sang-Woo Lee, Kwang-sik Lee, Yeong-Hun Kim*, Geum-Yong Kim*, In-Sik Kim**, Lee-Koo kim **
Yeungnam University, Pohang1 College*, Kyungil University**

Abstract - In this paper, when void of XLPE was existed, electrical tree was growth in branch-type, and it was growth in bush-type when void of XLPE was not existed. Moreover, charge magnitude of partial discharge by deterioration time of XLPE sample was about proportion to output voltage of AE signals. When void was existed, charge magnitude of partial discharge, the output voltage V_{p-p} value of AE signals were increased with increasing deterioration time. However, when void were not existed, charge magnitude of partial discharge, the output voltage V_{p-p} value of AE signals were increased in fast deterioration time, but it were decreasing at after in middle deterioration time. Frequency spectrum response of AE signal was about 100~250[Hz]

1. 서 론

최근, 전기에너지의 수요가 급격히 증가함에 따라 전력 계통은 고전압·대용량화가 이루어지고 있으며, 전력계통의 확대로 인하여 전력케이블의 절연파괴사고가 현저하게 증대되고 있는 실정이다.

전력케이블에 있어서 부분방전에 의한 절연열화는 절연물의 보이드 및 내외 반도전층과 절연체 계면의 공간부에 발생하여 기체방전에 의하여 절연체가 침식되며, 내전압 성능이 저하하는 현상으로 나타나고 있다. 또한 절연물의 보이드 부분에서 코로나 방전에 의해 전기적인 트리열화가 발생되어 절연파괴에 이른다.

이와 같이, 전력케이블의 절연열화 과정을 측정하기 위해 음향방출신호 측정법을 사용한 절연열화 예방전 단의 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]~[4]

따라서 본 논문에서는 전력케이블의 절연체인 XLPE시료에 침전극을 삽입하여 보이드와 물기 부분을 모의하여 성용주파수 교류 전압을 인가하였다. XLPE시료의 부분방전발생을 검출하기 위해 음향방출신호 측정법을 사용하여, 보이드 유·무에 따른 전기적인 트리 진전 형상과 절연열화에 따른 부분방전 전하량과 음향방출신호 크기의 상호관계를 분석하였다. 또한 XLPE시료의 부분방전 열화에 있어서 음향방출신호를 검출하여 주파수스펙트럼을 분석하였다.

2. 실험 장치 및 방법

전력케이블의 절연체인 XLPE 시료의 크기는 20×30×6[mm]으로 형성하였다. 그리고 침전극을 시료에 삽입하여 평판전극 간의 거리를 2[mm]로 하였으며, 보이드 1[mm]인 시료와 무보이드인 시료를 각각 형성하여 실험하였다.

본 실험에 사용된 침전극은 스테인레스강으로 직경 1.2[mm], 곡률 반경 20[μm] 및 선단 각도 30° 인 재질을 사용하였으며, 시료 하단에는 직경100[mm], 두께 2[mm]인 황동제의 평판전극을 설치하였다.[5]

그림1은 본 실험 장치의 블록 선도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 검출부인 센서, 증폭부인 프리앰프, 신호 측정부인 오실로스코프로 구성하였다.

본 실험에 사용한 광대역 AE센서는 주파수 영역이 약 100[kHz]~1.5[MHz]이며, AE신호의 수신 회로는 40[dB]의 이득을 갖는 차동 증폭기를 사용하였다.

또한, 고전압 발생장치는 입력전압 220[V], 60[Hz], 최대 출력전압 30[kV]인 코로나 측정 시스템을 사용하였다.

상용주파수 교류전압의 인가방식은 송압속도 1.0[kV/s]로 보이드에서는 16[kV], 20[kV], 무보이드에 있어서는 20[kV], 24[kV]까지 전압을 인가한 후 일정하게 유지하였다.

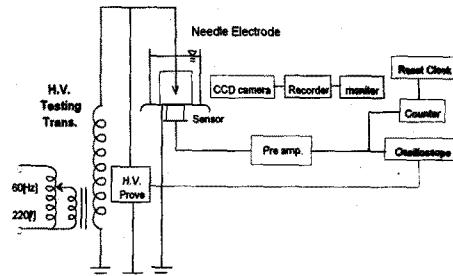


그림 1. 실험장치의 블록선도
Fig.1 Block diagram of experimental setup

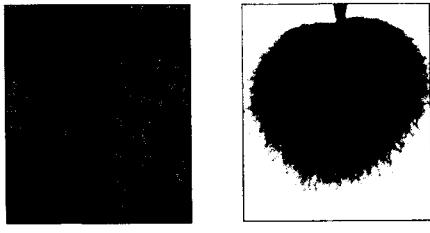
3. 실험결과 및 고찰

3.1 보이드 유·무에 따른 트리의 진전 현상

일반적으로 전기 트리는 침전극 선단의 고전계부에서 가속된 전자에 의해 분자 체인이 절단되어 트리가 진전되는 것과, 진성파괴에 의한 전기 트리의 진전, 산소에 의한 침식을 수반하여 전기적인 트리가 진전되는 것으로 알려지고 있다.[6]

그림2(a)는 보이드에 있어서 트리 진전 형상을 나타내었으며, 그림2(b)는 무보이드에 있어서 트리 진전 형상을 광학 현미경으로 활용한 것이다.

그림2(a)에서 나타난 바와 같이 보이드가 존재하는 경우 트리 진전 형상은 수지형으로 나타났으며, 트리 개시 단계에서부터 트리는 급격하게 진전하여 절연파괴에 도달하였다. 그림2(b)와 같이 무보이드인 경우의 트리 진전 형상은 수초형으로 나타났다. 그리고 침전극 선단의 고전계에 의한 미소 보이드의 생성으로 인하여 열화 초기에는 침단에서 급격하게 수초형 트리가 진전되었으나, 열화중기 이후에는 트리가 완만하게 진전하였다.



(a) 보이드(16kV) (b) 무보이드(24kV)

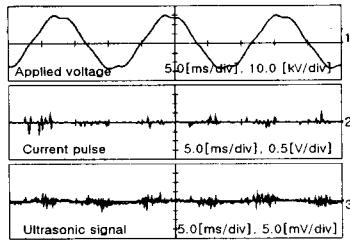
그림 2. 트리 진전 사진

Fig. 2 Microscopic photos of tree growth

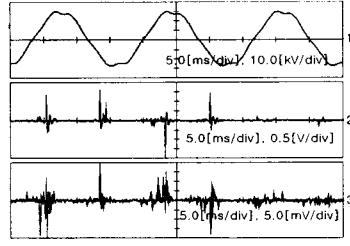
3.2 부분방전 펄스전류와 초음파 신호 특성

그림3은 보이드에 있어서 전압 20[kV]을 인가한 경우 열화시간에 따른 부분방전 펄스전류 및 초음파신호 파형을 각각 나타낸 것이다. 채널1은 인가전압, 채널2는 부분방전 펄스전류, 채널3은 음향방출신호 파형이다.

그림3(a)과 같이 열화시간 2분경의 부분방전 펄스전류 및 초음파 신호는 인가전압 파형의 상승 및 하강 부분에서 규칙적으로 발생하였으며, 그에 따른 크기도 거의 동일한 비율로 나타났다. 그림3(b)과 같이 열화시간 10분경에는 인가전압 파형의 상승과 하강 부분에서 부분방전 펄스전류 및 음향방출신호의 발생영역이 열화시간 2분에 비해 증가되었다. 그리고 트리 채널 내부 방전에너지의 증가로 인해 펄스전류의 크기 및 음향방출신호의 크기도 열화시간 2분에 비해 매우 큰 것으로 나타났다. 따라서 부분방전 펄스전류와 초음파신호는 열화시간이 경과함에 따라 거의 비례하여 증가되는 것으로 나타났다.



(a) 열화시간 2분경



(b) 열화시간 10분경

그림 3. 열화시간에 따른 펄스전류 및 초음파신호 파형
Fig. 3 Waveform of pulse current and ultrasonic Signal with deterioration Time

3.3 열화시간에 따른 트리 진전 특성

그림4(a)는 보이드에 있어서 전압 16[kV] 및 20[kV]를 인가한 경우이고, 그림4(b)는 무보이드인 경우 전압 20[kV] 및 24[kV]를 인가하였을 때, XLPE시

료의 열화시간에 따른 트리의 진전 특성을 나타낸 것이다. 여기서 트리의 길이(L)는 전극 축 방향으로 진전하는 트리의 최대길이를 나타내었다.

그림4(a)에서 나타난 바와 같이 보이드에 있어서 트리 진전 특성은 열화시간이 경과할수록 트리의 성장률이 급격히 증가하여 절연파괴에 이르는 것으로 나타났다. 트리의 평균성장률은 16[kV], 20[kV]일 때 각각 0.08[mm/min], 0.17[mm/min]인 것으로 나타났다.

무보이드에 있어서는 그림4(b)와 같이 열화초기 25분까지는 트리 진전 특성은 급격히 성장하였으나, 열화중기 25분이 경과하면서 점진적으로 증가하는 것으로 나타났으며, 보이드가 있을 때와는 반대로 열화 시간이 경과함에 따라 트리의 성장률이 감소하였다. 트리의 평균성장률은 20[kV], 24[kV]에서 각각 0.018[mm/min], 0.025[mm/min]인 것으로 나타났다. 따라서 전계강도가 높거나, 보이드가 존재할 때에 트리가 급격히 성장하고, 절연체의 수명이 낮게 나타났다.

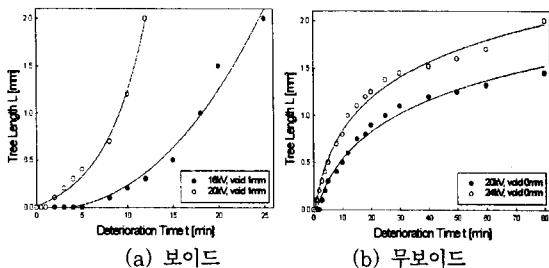


그림 4. 열화시간과 트리 진전길이의 관계

Fig. 4 Relation between tree length and deterioration time

3.4 열화시간에 따른 부분방전 전하량 특성

그림5는 열화시간과 부분방전 전하량의 관계를 나타낸 것이다. 그림5(a)와 같이 보이드에 있어서 부분방전 전하량은 열화시간의 경과에 따라 급격히 증가하였다. 그리고 절연파괴 시점에서 부분방전 전하량은 16[kV] 및 20[kV]에서 각각 약 120[pC], 110[pC]으로 나타났다.

그림5(b)와 같이 무보이드에 있어서 24[kV]를 인가하였을 때는 열화시간 25분까지 부분방전 전하량이 증가하였지만, 열화시간 25분 이후에는 부분방전 전하량이 감소하여 40[pC]에서 계속 유지되어 절연파괴에 도달하였다. 20[kV]에서는 방전전하량의 변화폭은 크지 않으나 인가전압 24[kV]의 경우와 비슷한 양상으로 나타났다.

그림5에서 나타난 바와 같이 부분방전 전하량의 변화에 따른 트리의 진전 경향은 부분방전 전하량의 변화가 크게 증가하는 영역에서 트리 진전이 급격히 성장하였다.

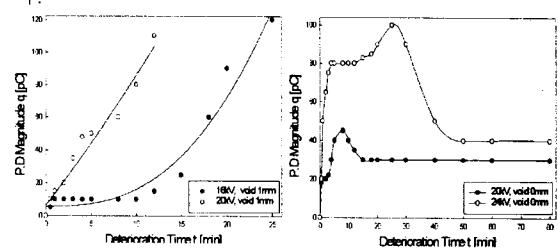


그림 5. 열화시간과 부분방전 전하량의 관계
Fig. 5 Relation between discharge magnitude and deterioration time

3.5 열화시간에 따른 초음파 신호 특성

그림6은 열화시간에 따른 음향방출신호 최대출력전압(V_{p-p})특성을 나타낸 것이다. 그림6에서 나타난 바와 같이 열화시간에 따른 음향방출신호 최대출력전압(V_{p-p})특성은 그림5에서 부분방전 전하량의 변화와 동일한 특성으로 나타났다.

그림6(a)과 같이 보이드의 경우 AE신호 최대출력전압(V_{p-p})은 열화시간의 증가에 따라 절연파괴에 이를 때까지 증가하는 것으로 나타났다. 또한 그림6(b)의 무보이드에 있어서 AE신호 최대출력전압은 24[kV]일 때는 열화시간 25분까지는 증가하였으나, 열화시간 25분 이후에는 감소하여 230[mV]부근에서 일정하게 유지되어 절연 파괴되었으며, 20[kV]에서는 215[mV]에서 일정하게 유지되어 열화가 진행되었다.

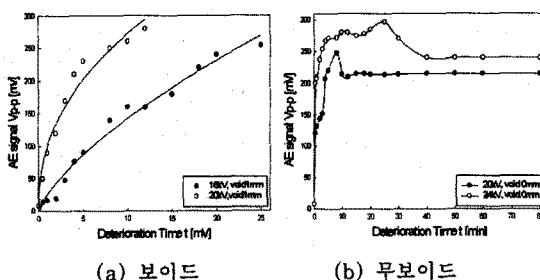


그림 6. 열화시간과 AE신호 최대출력전압(V_{p-p})의 관계
Fig. 6 Relation between AE signal(V_{p-p}) and deterioration time

3.6 음향방출신호의 주파수스펙트럼 분석

그림7은 XLPE 시료에 부분방전 발생에 있어서 나타나는 음향 방출 신호를 측정하여 주파수 스펙트럼으로 분석한 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 XLPE 시료에서 부분방전이 발생하면 AE신호의 주파수 영역은 주로 100~250[kHz]에서 관측되는 것으로 나타났다. 그러므로 전력케이블에 있어서 전기적인 트리 열화에 의한 AE신호의 주파수 영역을 근거로 하여 부분방전의 발생 여부를 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

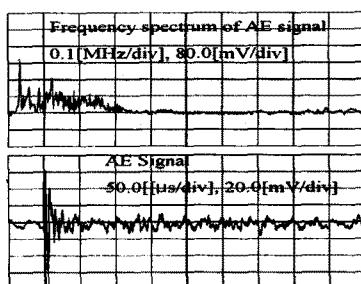


그림 7. AE신호의 주파수스펙트럼
Fig. 7 Frequency spectrum of AE signals

3. 결 론

본 논문에서는 전력케이블의 절연체인 XLPE 시료의 보이드와 무보이드에 있어서 트리 진전 형상, 부분방전 전하량, AE신호 최대출력전압(V_{p-p}) 등의 상호관계를 비교 분석하였다. 그리고 음향방출신호를 검출하여 주파

수 스펙트럼영역을 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 트리 진전 형상은 보이드에 있어서는 수지형으로 진전하였으며, 무보이드인 경우는 수초형으로 진전하여 성장하였다.

2) 트리의 진전특성은 보이드에 있어서는 열화시간이 경과할수록 트리의 성장률이 급격히 증가하여 절연파괴에 도달하였으며, 무보이드인 경우는 열화시간이 경과함에 따라 트리의 성장률이 감소하였다.

또한 트리가 진전함에 따라 부분방전 전하량과 AE신호 최대출력전압(V_{p-p})관계는 거의 비례하여 증가하였다.

3) 열화시간에 따른 부분방전 전하량과 AE신호 최대출력전압(V_{p-p})은 보이드에 있어서는 열화시간에 비례하여 증가하였으나, 무보이드에 있어서는 열화초기에 상승곡선을 이루다 열화증기이후에는 감소하여 일정한 값으로 유지되어 절연파괴 되는 것으로 나타났다.

4) XLPE시료의 부분방전에 의한 절연열화시 수반되는 AE신호의 주파수 스펙트럼 대역은 약 100~250 [kHz]의 영역인 것으로 나타났다.

(참 고 문 헌)

- [1] R. T. Harrold, "Acoustic Technology Applications in Electrical Insulation and Dielectrics," IEEE Trans. EI, Vol. 20, No. 1, pp. 3-19, 1985.
- [2] T. Sakoda, T. Arita, H. Nieda, K. Ando, "Basic Studies of Acoustic Emissions Caused by the Partial Discharge in an Oil-Tank" K-J Joint Symp. on ED and HVE, pp. 16-19, Oct. 1998.
- [3] E. Howells and E. T. Norton, "Location of Partial Discharge Sites in On-Line Transformers," IEEE Trans. PAS, Vol. 100, No. 1, pp. 158-162, 1981
- [4] 이상우, 김인식, 이동인, 이광식, 이동희 "초음파를 이용한 애플리케이션의 열화진단" 한국 조명·전기설비학회 논문지 Vol.13, No.3, pp. 73-81 1999.8
- [5] 김성규, 구경철, 이상우, 김기체, 박원주, 이광식, 이동인 "XLPE의 절연열화에 의한 음향방출 측정" 2000년도 대한전기학회 방전·고전압 연구회 춘계 학술발표회 논문집, pp. 126-129, 2000
- [6] "高分子絕緣材料におけるトライング劣化の基礎調査" 電氣學會技術報告書 第674號 pp. 1-70, 1998.