

트리진전에 따른 XLPE Cable의 Φ -q-n 패턴

이종찬, 정병선, 조규복*, 박대희
 원광대학교 전기·전자공학부, *한서대학교 전자공학과

Φ -q-n Pattern of XLPE Cable with Treeing Propagation

Jong-chan Lee, Byung-sun Jung, *Kyu-bok Cho, Dae-hee Park
 School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang University
 *Department of Electronic Engineering, Hanseo University

Abstract - In this papaer, inception and propagation of electrical tree and properties of partial discharge(PD) properties accompanying with tree in XLPE were discussed. The process of electrical tree using CCD camera and investigated the statistical characteristics of the PD properties by Φ -q-n pattern were observed. The statistical operators used were asymmetry and skewness.

방전과 불필요한 노이즈 및 외부의 교란을 최소화하기 위하여 절연유에서 실험하였다.

1. 서 론

송전 전압의 초고압화 및 전력설비의 대용량화로 송배전계통 절연재료의 성능향상이 요구되고 있어 고분자 재료의 전기적 물성을 검토하는 연구가 많이 수행되고 있다. XLPE는 양호한 유전특성, 내트리성, 기계적 특성 등을 갖고 있어 배전용 케이블의 절연재료로 널리 상용화되고 있다. 그러나 고분자 특유의 결정부와 비정질부, 계면에 존재하는 보이드 등을 갖고며, 제조공정에서 혼합되는 불순물이나 첨가제, 화학적 불렌드, 다양한 계면 구성, 기계적 응력 등으로 절연성능이 좌우되고 있다 [1~3].

특히 지중케이블과 같은 비교적 두꺼운 절연두께를 갖는 경우 운전중에 실제로 일어나는 절연파괴는 단시간에 일어나는 파괴보다는 각종열화의 점진적 진행에 의한 파괴가 대부분인 것으로 알려져 있으며, 그 중에서도 트리진전에 의한 파괴는 절연사고의 주된 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 XLPE의 트리진전에 따른 부분방전 특성의 재현성을 갖도록 케이블의 반도체층과 침전극을 이용하였다. XLPE의 트리의 발생과 진전에 수반되어 일정한 전압을 인가하여 시간에 따른 트리진전 인가전압 위상(Φ), 부분방전 크기(H_{qn}), 부분방전 펄스 수(H_n)의 부분방전 특성 패턴을 연구하였으며, asymmetry, skewness 등과 같은 통계적 연산자를 이용하여 부분방전 특성을 분석하였다.

2. 실 험

XLPE 시료는 배전용 지중케이블로 널리 사용되고 있는 22.9kV CN/CV 케이블의 절연체로 반도체층을 가지고 있는 XLPE를 사용하였다. 시편의 크기는 가로 5mm, 세로 5mm, 높이 8mm로 만들어 사용하였다. 준비된 시료는 그림 1과 같이 전극으로 사용되는 반도체층과 침전극의 사이의 간격을 2.8mm가 되게 삽입한 후 0.8 mm 이동해서 보이드를 형성하여 실험에 사용하였다. 전극과 XLPE 사이의 경계면에서 발생하는 표면

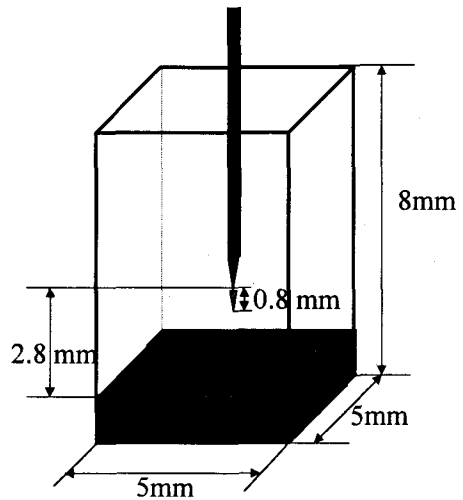


그림 1 XLPE 시료의 전극구조

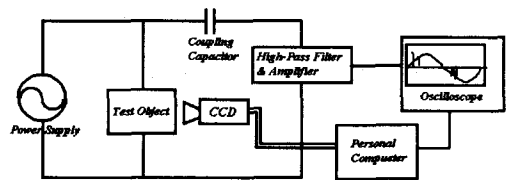


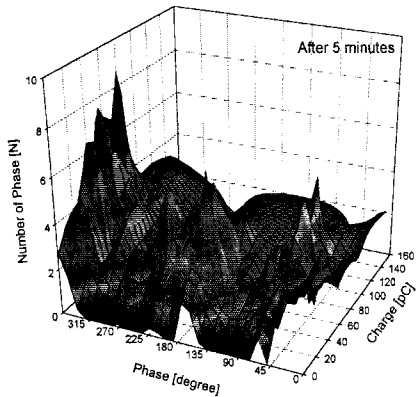
그림 2 부분방전 검출 및 관측 시스템

부분방전의 검출은 방전이 발생하는 동안 나타나는 에너지 교환 원리를 이용한다. 전기적 임펄스 신호, 유전체 손실, 광, 소리, 기체의 압력 증가 및 화학반응 등은 대표적인 에너지 교환 형태이다. 부분방전검출은 그림 2와 같이 기존의 아날로그 부분방전 검출장치(Hipotronic CDO 77A)와 디지털 오실로스코프(HP 54522A, 500MHz, 2GS/sec)를 사용하여 디지털 시스템으로 구성하였다. 실시간 처리를 위해서 디지털 오실로스코프를 통해 측정과 동시에 GPIB board를 이용하여 PC에서 데이터 처리를 하였다. 부분방전 신호는 PC에서 위상분해 처리되어 일정주기동안의 신호가 반복적으로 처리하여 부분방전 신호의 최대 방전량 (H_{qmax}), 평균 방전량(H_{qn}), 방전수(H_n) 및 통계적 연산자가 저

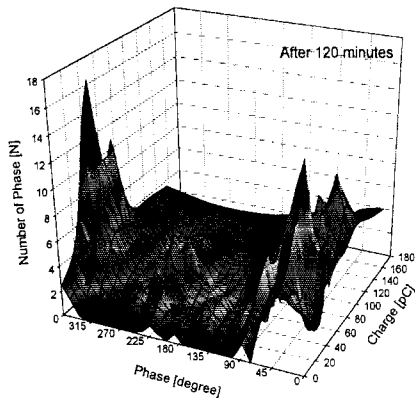
장된다. 또한 외부 노이즈의 영향을 제거하기 위해서 부분방전 검출장치에서 필터링된 신호를 소프트웨어적으로 필터링 하였고, 부분방전 이하의 전압은 신호처리 되기 전에 제거하였다. 또한 XLPE 시료에서 발생한 트리의 발생 및 진전을 CCD 카메라를 사용하여 관측하고 화상 처리하였다.

3. 결과 및 고찰

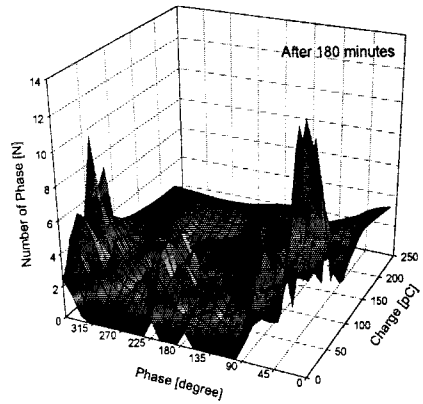
트리는 발생초기에 급격히 진전하지만, 진전 중에는 속도가 완만해지는 특성을 가진다. 그림 3(a)는 6kV를 인가한 5분 후 초기 트리의 성장시 부분방전 펄스의 ϕ -q-n 분포의 변화를 도시한 것이다. 트리 발생 초기에는 ϕ -q-n 분포가 균일한 형태를 가지지 못하고 45° 와 180° , 315° 근처에서 방전 피크를 갖았다. 방전 전하량의 크기(Hqn)는 뒤쪽에서 크게 나타나지만 작은 방전 빈도수(Hn)을 갖았다. 120분 후 그림 3(b)에서 트리 성장과 함께 방전 전하량의 크기(Hqn)와 발생 빈도수(Hn)는 커졌으며, ϕ -q-n 분포는 45° 와 315° 에서 방전 빈도수(Hn)와 방전 전하량(Hqn)이 피크를 갖았다. 상대적으로 방전 전하량의 크기가 작은 펄스는 나머지 영역에서 완만해지는 패턴을 보이고 있다. 180분 후 방전패턴 그림 3(c)에서는 양의 주기에서의 부분방전의 발생은 트리의 성장 초기에 45° 부근에서 활발하지만, 성장함에 따라 발생의 중심 위상각이 60° 부근으로 이동함을 알 수 있다. 음의 주기에서 부분방전의 발생은 225° 부근에서 주로 이루어지지만, 트리 성장이 진행됨에 따라서 315° 부근의 방전은 감소함을 알 수 있다.



(a) 5분 후 부분방전 분포



(b) 120분 후 부분방전 분포



(c) 180분 후 부분방전 분포
그림 3 XLPE의 부분방전 패턴

XLPE cable의 실험에서 트리 진전에 따라서 부분방전이 활발하게 나타나는 위상각이 전이하고 부분방전의 신호가 positive와 negative 영역으로 연결되는 경향은 XLPE 내부의 공간전하의 형성에 따른 방전 위상극 특성으로 사료된다. 즉 공간전하가 충분히 축적되면 인가 전압의 변위에 따라서 침전극과 공간전하 또는 트리채널 내부의 공간전하 사이에서 복잡한 부분방전이 발생하기 때문이다. 결과적으로 트리성장과 함께 방전 전하량의 크기(Hqn)는 증가하여, 트리 성장 초기에는 여러 위상각에서 방전이 형성되지만 성장에 따라서 위상각이 제한된 영역에서 방전 전하량이 큰 부분방전이 발생함을 알 수 있다. 발생 빈도수(Hn)는 120분을 기준으로 감소해서 진전초기에 급증하는 추세를 보이지만 진전말기에는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

부분방전 특성의 통계 연산자 중 asymmetry는 양과 음주기에서 평균 방전 크기의 합을 방전 펄스의 수로 나누어 나타내는 부분방전의 지표이다. asymmetry가 1 이면 양과 음주기의 분포가 균등한 의미이다. 그림 4에서 6kV를 인가 시간에 따른 부분 방전량(Hqn)은 1.1~1.8 사이에 존재하였고 방전 빈도수(Hn)는 0.8과 1.2사이에서 존재하였다. 이러한 결과는 ϕ -q-n 분포에서 나타난 바와 같이 위상(ϕ)과 부분 방전량(Hqn)은 양과 음주기에서 균등하지 않고 극성에 따라 변화하는 방전 패턴을 의미한다. 그러나 위상(ϕ)과 방전 빈도수(Hn)은 인가 전압의 극성 변화에 따라 균등한 분포를 유지함을 알 수 있다.

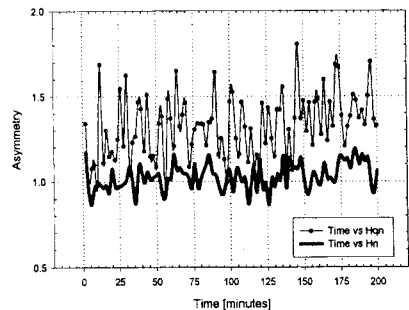


그림 4 시간에 따른 Asymmetry 통계연산자

3. 결 론

본 연구에서는 XLPE의 트리진전에 따른 부분방전 특성의 재현성을 갖도록 케이블의 반도체층과 침전극을 이용하여 실험하였다.

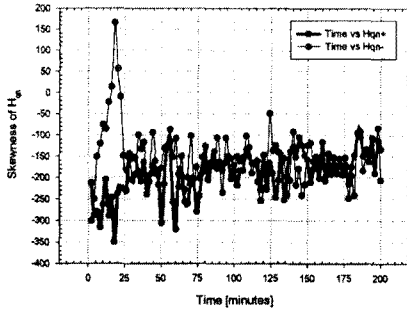
1) XLPE 시료에 6kV 전압을 인가하여 시간에 따른 트리진전 인가전압 위상(ϕ), 부분방전 크기(Hqn), 부분방전 펄스 수(Hn)의 부분방전 특성 패턴을 연구하였다.

2) 정량적인 부분방전 패턴분석을 위하여 asymmetry와 skewness의 통계적 연산자를 이용하였다.

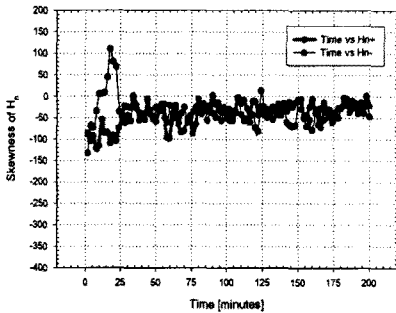
3) 6kV를 인가한 XLPE 시료는 5분을 기준으로 트리발생을 나타냈고, 120분까지 진전을 보이다 180분에 파괴를 일으켰다.

4) 이 과정에서 XLPE 시료의 부분방전 특성은 필름 형태의 특성과는 다른 형태로, 트리발생 초기에는 여러 위상에서 불균일한 패턴을 나타냈지만, 트리가 진전됨에 따라 공간전하의 채널의 형성으로 인하여 균일한 패턴을 갖은 것으로 사료된다.

이러한 결과를 바탕으로 추후 이러한 부분방전 패턴 분류를 위하여 신경회로망, 퍼지이론과 같은 알고리즘에 대한 연구가 진행되면 실제 전력기기에서 결함의 검출이 가능하리라고 사료된다.



(a) Hqn



(b) Hn

그림 5 시간에 따른 Skewness 통계연산자

그림 5에 나타난 skewness는 정규분포에 대한 비대칭성을 나타내는 값으로 zero를 중심으로 대칭분포를 갖는다. skewness를 통해 XLPE 시료의 방전 펄스 크기는 정규분포에 대해 비대칭성을 갖지만 방전 펄스의 수는 대칭성에 유사함을 알 수 있다. 즉 대칭성과 비대칭성의 차이인 skewness 결과를 통해서 방전 펄스의 수가 많은 위상에서 방전 펄스의 크기가 작은 것은 넓은 방전 분포를 의미하고, 방전 펄스의 수가 작은 위상에서 방전 펄스의 크기가 크다는 것은 좁은 영역에서 펄스 크기만 큰 방전 분포를 가지는 형태인 것으로 사료된다.



그림 6 180분후의 파괴된 XLPE 시료

그림 6은 180분후에 XLPE 시료가 트리진전이 완전히 이루어져 breakdown된 상태의 사진으로 반도체층으로 직진성이 강한 tree 구조를 나타내고 있다.

본 연구는 기초전력공학공동연구소의 연구비(과제 번호:98-중기-05)에 의하여 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- 1) S. Yoda, S. Shimizu, K. Miyairi, "Effect of Electrode Metals on Electrical Conduction in Polyimide Thin Film Prepared by Vapor Deposition Polymerization", International Symposium on Electrical Insulating Materials, 1995
- 2) M. Ieda, "Electrical Conduction and Carrier Tree in Polymeric Materials", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol. 19, No. 3, 1984
- 3) K. Miyairi and etal., "Influence of Electrode Materials on Electrical Conduction in Polyphenylene Sulfide Film in the High Temperature Region", Trans. of IEEJ Vol.114-A, No. 12, 1994
- 4) Eugene J. McMahon, "A Tutorial on Treeing", IEEE Trans. Electrical Insulation Vol.13 No.4 pp.277-288, 1978
- 5) John. H. Mason, "Enhancing the Significance of PD Measurements", IEEE Trans. Electrical Insulation Vol.2 No.5, pp.876-888, October 1995
- 6) Tatsuki Okamoto and Toshikatsu Tanaka, "Auto-correlation Function of PD Pulses under Electrical Treeing Degradation", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol.2, No.5, pp.857-865 October 1995