

전극 형태에 따른 가교폴리에틸렌 절연체의 방전분포해석

김탁용, 양재훈, 김귀열*, 이충호**, 홍진웅
광운대학교, 한국기술교육대학교*, 충주대학교**

The Discharge Distribution Analysis of Cross-Linking Polyethylene due to Shape of Electrode

Tag-Yong Kim, Jae-Hoon Yang, Gwi-Yeoi Kim*, Chung-Ho Lee**, Jin-Woong Hong
Kwangwoon Univ., Korea Univ. of Technology and Education*, Chungju National Univ.**

Abstract

In this paper, we investigated $\phi-q-n$ distribution to inquire discharge characteristic according to variation of electrode. Also, we investigated Weible distribution of discharge number using Weible analysis to search the relationship between a part discharge and shape of electrode. We increased voltage 1[kV] AC 60[Hz] of impressed voltage, data is acquired a generating discharge for 10 seconds after impressing voltage. Also, as we repeated the experiment 10 times at same condition, analyzed Weible using data except for maximum and minimum. As the result, we confirmed that discharge generating and discharge quantity were significantly increased narrowing radius of electrode, also discharge frequency was close to shape of a standard distribution.

Key Words : XLPE, $\phi-q-n$, part discharge, Weible distribution, standard distribution

1. 서론

최근 전력수요의 증대에 따른 전력케이블이나 전력기기 등의 초고압화·대용량화가 요구되고, 설비시설의 감소를 위한 변전기기 등의 소형화를 요구하고 있다. 따라서 전기절연체에 전기적 stress는 증가하였으며, 전기절연열화 및 절연파괴에 의한 사고위험성도 점점 증가되고 있다^[1]. 또한 고도정보화 사회로 순간정전이 무시할 수 없는 중요한 문제로 대두되고 있으며, 안전한 전력수급이 요구되어지고 있다.

이러한 문제점의 해결방법 중 절연재료의 조기진단 및 절연성능 측정은 매우 중요한 요소로 대두되어지고 있다.

전기절연재료의 절연열화 및 절연파괴현상은 수많은 요인에 의해서 발생되면, 그 발생형태도 매우 다양한 형태로 나타나고 있다. 그 중에서 인가된 고전압으로 절연체 내부에서 누설전류가 발생 (부분방전)하며, 발생한 부분방전에 의해 트리라고 불리는 미세한 탄화물이 형성되는 현상을 트리잉 현상이라고 하며, 이 현상은 절연체 수명을 좌우하는 매우 중요한 성분이기도 하다^{[1][3]}. 이러한 누설전류는 절연체 내부에 결함이 존재하면 그 진행속도가 급격하게 증가하여 절연재료의 수명을 단축시켜

예기치 못하는 사고유발이 발생할 수 있다.

현재 내부결함에 의한 진단검사를 위해 절연체 내부에 인공 보이드를 삽입하여 절연파괴 및 방전 전하량을 검출하여 뉴럴네트워크를 이용한 수명예측을 시도하고 있다. 그러나 뉴럴네트워크의 경우 비슷한 경향에 대한 판정이 매우 모호한 단점으로 신뢰성 확보에 매우 어려운 점이 있다. 또한 부분 방전은 동일한 실험 조건에서도 매우 불규칙적으로 발생하므로 진단에 상당히 곤란한 점이 많이 있다. 그로인해 불규칙한 통계처리로 이용되는 확률분포로 와이블 분포, 정규분포, 지수분포, 감마분포 등 여러가지가 분포함수를 이용한 수명평가방법으로 이용되고 있으며, 그 중 고전압 기기의 열화통계 및 고장 진단을 위해서는 와이블 분포가 많이 사용되고 있다^[4].

본 논문에서는 Crosslink polyethylene (XLPE) 절연층 내부에 인공 보이드가 존재 시 인가전압에 따른 방전분포 및 전극형태에 따른 방전분포를 해석함으로 다양한 전기기기의 절연진단 시스템 개발에 방향을 제시하도록 한다.

2. 실험

시료는 전기적 특성이 우수한 초고압절연케이블의 XLPE층을 2[mm]로 하였으며, 상부 전극은 평판, 봉 및 침전극을 사용하였으며, 하부전극은 평판전극을 사용하였다. 또한 침전극의 선단 곡률반경은 30[μ m]로 제작했다. 실험은 연면방전을 억제하기 위해 전극을 실리콘오일 속에 함침하였다. 그림 1은 상부전극의 형태를 나타내고 있다.

부분방전은 AVO. co.에서 제작된 부분방전 측정 장치를 사용하였고, 인가전압은 교류전압(60[Hz])을 초기방전발생전압부터 step별로 0.5[kV] 승압시켰다. 방전검출감도는 Calibration을 50[pC](slope : 8.333)으로 세팅하였으므로 방전전하량이 533.3 [pC]이상인 방전이 발생하면 방전전하량을 검출할 수 없으므로 실험을 중지하였다. 또한, 데이터는 전압인가 후 10 [sec] (600 [cycle])동안 발생하는 방전을 누적한 값으로 하였다. 동일 실험을 10회 이상 실시하였으며, 그 중 최대 및 최소값을 제외한 나머지 데이터를 이용하여 형상과 라매터를 구했다. 표 1은 인가전압 및 시편 종류를 나타내고 있다.

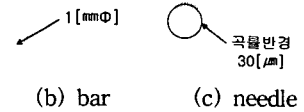


그림 1. 상부 전극의 형상
Fig.1. Shape of upper electrode

표 1. 시편의 종류
Table1. Type of specimens

specimen		voltage [kV]
plate-plate	P1	10
	P2	12
	P3	18
bar-plate	B1	9
	B2	11
	B3	13
needle-plate	N1	8
	N2	9
	N3	10

3. 결과 및 고찰

3.1 $\phi-q-n$ 분포

그림 2는 평판 전극의 $\phi-q-n$ 분포를 나타낸 것이다.

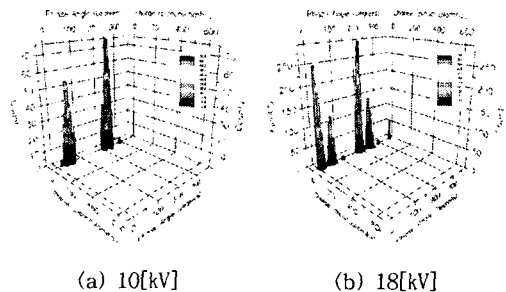


그림 2. 평판전극에서의 $\phi-q-n$ 분포
Fig. 2. Distribution of $\phi-q-n$ at plate electrode

그림 (a)는 인가전압이 10 [kV]일 때 최초로 방전이 발생한 값을 나타내고 있다. 정극성에서는 위상각 50°~90° 영역에서 모든 방전이 발생하였으며, 이때 발생한 전하량 18,316[pC]을 나타내고 있다. 또한 부극성에서는 위상각 200°~300° 영역에서 방전이 발생하였으며, 전체 발생한 방전은 36,540[pC]의 전하량을 나타내었다. 10초동안(600 cycle) 발생한 방전빈도는 정극성에서 890, 부극성에서 1,027 발생하여 초기 방전은 부극성에서 주로 발생함을 알 수 있었다.

그림 (b)는 인가전압 18[kV]일 때 $\phi-q-n$ 를 나타낸 것으로 정극성에서는 위상각 0°~100° 영역에서 방전전하량 57,606[pC], 발생빈도수 2,500이며, 부극성에서 위상각 190°~250° 영역에서 방전전하량이 78,572[pC], 발생빈도수가 3,148 임을 확인할 수 있다.

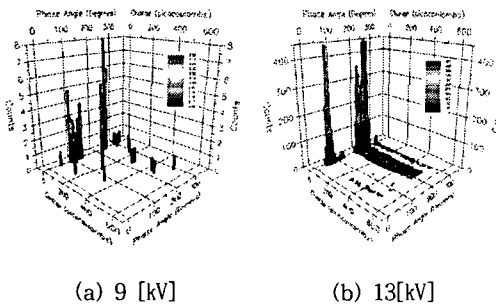


그림 3. 봉전극에서의 $\phi-q-n$ 분포
Fig. 3. Distribution of $\phi-q-n$ at bar electrode

그림 3은 봉전극에서의 $\phi-q-n$ 분포를 나타낸 것으로 그림 (a)는 초기방전발생전압으로 인가전압이 9[kV], (b)는 검출한계를 초과한 경우로 인가전압이 13[kV]일 때의 $\phi-q-n$ 분포를 나타낸 것이다.

그림 (a)는 정극성에서 0~90° 영역은 방전빈도수가 2정도로 거의 나타나지 않았으나, 120~180° 영역에서는 3~5회의 방전이 발생하였다. 방전전하량은 매우 불규칙적으로 발생하였으며, 최고 약 355[pC]의 값도 발생하였다. 또한 부극성은 200°전후에서 방전 빈도가 6이하로 발생하였으며 360°영역에서 방전이 거의 발생하지 않았고 정극성보다 더 많은 방전이 발생하였으므로 볼 수 있었다. 또

한 방전전하량도 정극성과 동일하게 매우 불규칙적으로 나타났으며, 전하량은 정극성보다 더 높은 400[pC]이상의 값도 나타났다. 그림 (b)는 13[kV]를 인가한 경우 방전빈도수 및 방전 발생영역은 정극성 영역에서 약간 증가하였고 부극성 영역에서는 감소하였으나 방전전하량은 최고 450[pC]으로 나타났다 사라지는 특성이 나타났으며 부극성 영역에서는 방전전하량이 500[pC]이상으로 넓은 위상영역에서 급격히 증가함을 볼 수 있었다.

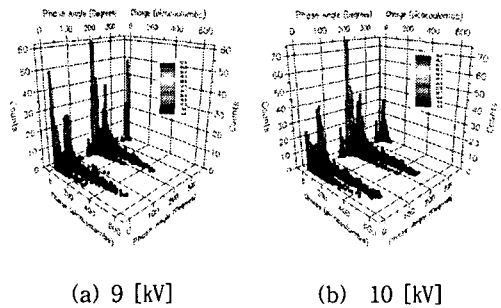


그림 4. 침전극에서의 $\phi-q-n$ 분포
Fig. 4. Distribution of $\phi-q-n$ at needle electrode

그림 4(a)는 침전극의 시료에 9[kV]를 인가할 때 정극성에서 0~90° 영역은 방전빈도수가 약 50의 값을 나타냈으며, 120~180°에서는 25이하의 값을 나타냈었다. 방전전하량은 모든 영역에서 450[pC] 값을 가지는 방전이 발생하였다. 또한 부극성은 200°전후에서 방전 빈도가 60이하로 발생하였으며, 360°영역에서 방전빈도수가 60이상 발생하였다. 방전전하량은 정극성과 동일하게 500[pC] 이하의 값을 나타내고 있었다. 그림 (b)는 10[kV] 인가시를 나타낸 것으로 정극성 영역 9[kV]보다 400[pC]이상의 방전 발생빈도가 증가하였으며, 낮은 전하량 5~10[pC]의 방전은 감소하였다. 부극성 영역에서도 방전전하량이 450[pC]으로 증가함을 볼 수 있었다.

평판전극일 때 전압변화에 대하여 $\phi-q-n$ 분포의 변화는 낮은 전하량 5~10[pC]의 발생빈도만이 증가함을 볼 수 있었으며, 봉전극의 경우 방전 발생전하량이 매우 불규칙하게 나타남을 확인하였다. 침전극의 경우 순간적으로 매우 많은 방전이 발생하였으며, 높은 방전이 많이 발생함을 볼 수 있었다. 또한 봉전극과 침전극 모두 전압 증가에 따라 급격한 전하량 증가를 볼 수 있었는데 이러

한 현상은 전극반경의 감소로 전계집중을 유발함으로써 나타나는 현상으로 생각되어진다.

그러나 $\phi-q-n$ 분포의 경우 수치값이 매우 다양하게 나타남으로 진단에 적용하기에는 매우 어려운 점이 많이 있었다. 이를 정량적인 수치로 해석하기 위해 방전 발생빈도에 대한 와이블 해석을 통해 정량적인 패턴을 작성해 보았다.

3.2 와이블 분포

검출된 검출된 10개의 데이터를 검토하기 위하여 2-parameter 와이블 함수를 이용하여, 전압변화에 따른 누적파괴확률($F(n)$)은

$$F(n) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{n}{n_s}\right)^m\right] \quad (1)$$

단, n_s : 척도파라미터(누적파괴 확률이 63.2[%]에 해당하는 평균적인 파괴빈도에 대응하는 값)

m : 형상파라미터(누적파괴확률분포의 분포형상을 결정하는 파라미터로서 m 이 커짐에 따라 흐트러짐이 작은 분포를 의미한다.)

이다. 식 (1)을 변형하면

$$\ln \ln \left[\frac{1}{1-F(n)} \right] = m \ln \left[\frac{n}{n_s} \right] \quad (2)$$

를 얻을 수 있으며, 이를 간단히 표현하면

$$y = m x \quad (3)$$

단, $y = \ln \ln \left[\frac{1}{1-F(n)} \right]$, $x = \ln \left[\frac{n}{n_s} \right]$ 로 나타낼 수 있다^[5]. 즉 식 (3)에서 직선의 기울기가 형상파라미터(m)를 나타내고 있다.

그림 5는 전극변화에 따른 형상파라미터를 나타낸 것이다. 평판전극의 경우 전압변화에 따라 형상파라미터 값이 1에서 2로 변화의 폭이 거의 없음을 볼 수 있었으며, 봉전극과 침전극의 경우 초기 방전이 발생한 경우는 약 1.5의 값을 가지다가 트립전압에 도달한 경우 봉전극의 경우 약 3, 침전극의 경우 약 3.5의 값을 가짐을 확인할 수 있었다. 일반적으로 와이블 분포에서 형상파라미터 값에 따라 X의 확률밀도 함수(probability density function)의 모양이 결정되어지는데, 랬리 분포(Ralyleigh distribution : $m=2$)를 기준으로 m 이 작아지면 지수분포함수를, m 이 커지면 정규분포함수를 나타내는 것으로 평판전극의 경우 2이하의 값을 나타내므로 방전빈도분포가 지수분포를 나타내며 봉전극과 침전극의 경우 정규분포에 가까운 방

전형태를 나타낸다. 이러한 현상은 전극의 반경이 좁아짐으로 전계의 집중현상에 의해 방전이 일정하게 발생되기 때문이라고 생각되어진다.

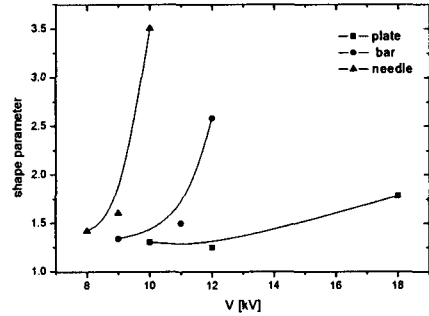


그림 5. 전극변화에 따른 형상파라미터
Fig. 5. Shape parameter due to variation of electrode

4. 결론

전극형태에 따른 방전분포실험을 통해서 우리는 방전발생은 주로 부극성에서 발생하며, 전극의 반경이 적어질수록 전계집중현상이 두드러져 방전의 발생 및 방전전하량이 크게 나타남을 확인하였으며, 방전발생빈도는 전극의 반경이 좁아짐에 따라 규칙적인 방전형태를 나타냄을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] L.A. Dissado, J.C. Fothergill "Electrical Degradation and breakdown in polymers" Peter Peregrinus Ltd. pp.117-198, 1992.
- [2] Kuniharu IMAI etc., "Analysis of Tree Initiation with Weibull Distribution and the Influence of Various Factors", T.IEE Japan, Vol.120-A, No.5, pp.645-650, 2000 .
- [3] 大澤善次郎, "高分子の劣化と安定化", 武蔵野クリエイト, pp.89-91, 1992.
- [4] 北川, "信頼性工学入門", コロナ社, pp.67-75, 1997.
- [5] Hideo Hirose, "Statistical Consideration on the V-t Characteristic Model and the Weibull Probability Distribution", T. IEE Japan, Vol. 116-A, No. 10, pp.840-848, 1996.