

반도전층/침 전극하에서의 절연파괴의 통계적 평가.

오재형, 강우성, 김동식, 박대희
원광대학교 전기공학부

A Study on Statistical Analysis of Breakdown Strength under Semiconducting layer/Needle electrode

Jae-Hyung Oh, Moo-Sung Kang, Dong-Shick Kim, Dae-Hee Park.
School of Electrical Engineering, WonKwang University

Abstract - 22.9kV 지중 배전용 전력 케이블의 절연체를 평가하기 위한 방법으로 제안하고자 한다. 케이블 절연체를 절연파괴시켜 얻어진 결과를 통계적으로 평가하고자 한다. 절연파괴 시험 시료로서 케이블의 내외도 반도전층을 갖는 절연체인 XLPE에 침전극을 삽입시켜 일정전압하에서 절연 파괴에 이르는 시간을 각각 측정하고, 2 모수 Weibull분포를 이용하여, 형과 척도의 모수를 각각 구하였다.

절연재료의 개발과 개선에 있어서 절연재료가 갖는 전기적인 평가법은 필름상으로 측정되어지는 경우가 많다. 필름상의 절연파괴의 측정결과는 실제 케이블상에서 갖는 특성과 많은 차이가 있다. 따라서 가능하면 전력케이블과 동등한 절연재료의 절연 파괴 측정은 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있다.

절연재료의 수명은 미시적으로 물리적 원인에 의해 거시적으로 나타나는 절연파괴의 형으로 된다. 절연파괴는 시간적, 공간적으로 확률적인 분포를 나타낸다. 이와 같은 특성을 고려하여 절연재료의 수명연구에는 수명 분포를 고려한 모델로서 통계적 방법에 의해서 해석하고 있다.7)

통계적인 방법으로서는 Weibull분포는 재료선택, 절연두께의 최적화, 품질보증등의 효과적인 평가와 특히 전력케이블의 개발에 응용이 된다.8) 이와 같은 통계적인 방법을 이용하여 케이블 반도전층의 절연파괴 성능을 평가하고자 한다. 절연파괴강도의 분포를 통하여 Weibull 모수를 구하고자 한다. 이들 모수로부터 각 시료의 열화상태 및 수명 예측도 가능하다. 이와 같은 관점에서 본 연구는 절연재료를 평가하는 새로운 방법을 제시하고, 통계적인 평가 방법을 제안하고자 한다.

1. 서 론

전력케이블의 열화는 전기적, 열적, 기타 환경 스트레스 등의 요인에 의해서 진행하고, 절연파괴라는 파국적 과정에 이른다. 열화되어진 절연재료를 진단 혹은 수명을 예측하기 위하여 절연열화의 현상적인 파악이 먼저 규명되어야 한다. 전력케이블에 있어서 절연체의 열화진전은 장시간에 걸쳐서 트리발생에 의해서 일어나는 것으로 많은 연구가 되고 있다. 1) 전력케이블에서의 트리발생은 절연체중에 고전계의 집중에 의해서 형성되어져, 열화를 가속시킨다. 특히 전력케이블 내에서의 수트리는 전계에 의한 물의 이동현상이며, 케이블 반도전층으로부터 진전하여 절연열화를 일으킨다.2) 이와 같은 절연체내에 트리 억제를 위한 대책으로서 절연재료의 개선과 연구가 진행되어져, 첨가제의 효과라든가, Blend등에 의한 새로운 절연재료의 제안이 이루어지고 있다. 이와 같이 트리를 억제하는 것은 전력케이블의 신뢰성 향상에 필수적이다. 또한 케이블내의 반도전층 재질의 개선이라든가 반도전층 계면의 개선에 의한 연구가 진행되고 있으나 아직은 실용적 단계는 아니다.3) 전력케이블에 있어서 절연파괴전의 트리는 절연체중에 존재하는 보이드, 이물 혹은 절연체와 반도전층 계면에 있어서 돌기 등의 결함에서 직접 발생하는 경우와 장기적으로 사용함에 따라서 발생하는 경우가 있다. 어떠한 경우에도, 트리는 국부집중전계에 의해서 발생하고, 절연파괴에 이른다.4)5)6) 그러나, 트리 억제를 위한

2. 본 론

2.1 Weibull분포의 의미

Weibull에 있는 전계에 있어서 절연체 체적의 전압, 시간에 대한 파괴확율을 다음의 식으로 나타낼 수 있다. 아래 식의 일정전계하에서 파괴에 이르는 파괴시간 분포를 나타내는 3의 모수 Weibull 분포함수F(t) 이다.

$$F(t)=1-\exp[1-((t-t_1)/t_c)^a] \text{ -----(1)}$$

여기에서 t : 파괴시간의 변수

t₁ : 위치의 모수(파괴시간의 최값)

t_c : 척도의 모수

a : 형의 모수

본 평가에서는 (1)의 분포식에서 위치의 모수를

고려하지 않은 2모수의 Weibull분포를 이용하고자 하며 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$F(t)=1-\exp[1-(t/t_c)^m] \text{ -----}(2)$$

따라서 본 평가에서의 Weibull분포 함수에서 구하고자하는 모수는 형의 모수와 척도의 모수를 구하고, 절연파괴특성을 평가코자 한다. 각 모수는 Weibull 확률지상에 파괴시간을 plotting한 후에 직선의 기울기로부터 형의 모수를 구하며, 확률분포의 63.2%에 달하는 값을 척도의 모수로서 구해진다.

2.2 시료 및 측정방법

XLPE전력 케이블과 동등한 절연체를 시료로서 그림 1과 같은 외부반도전층/needle로 하였다. needle전극은 반경이 30 μ m이다. 이때의 반도전층 전극과 needle선단의 전극간 간격은 1.3mm, 2.6mm로 하고, 인가전압은 20kV, 25kV로 하고, 각각의 전압에서 절연파괴 되기까지의 시간을 구하였다. 절연파괴에 이르는 시간의 측정은 연면파괴를 방지하기 위하여 절연오일내에서 각각 행하였으며, 각 조건하에서 각 시료 수는 10개씩으로 하였다. 이와 같이 얻어진 각 전압하에서 절연파괴에 이르는 시간을 2모수 Weibull확률분포를 각각 나타냈다.

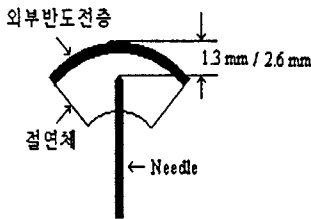


그림 1. 시험편

2.3 시험결과...

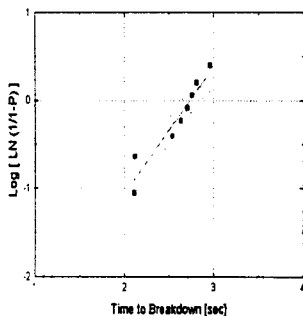


그림 2.파괴시간(V=25kV, d=2.6mm)의 Weibull분포

그림 2는 전극간의 인가전압을 25kV로 하고, 전극간의 간격을 2.6mm로 하는 시험조건하에서 절연

파괴시간을 Weibull확률지에 나타낸 결과이다. 본 시험의 결과는 10개의 값중에서 최소와 최대를 제외한 8개의 값을 나타냈다. 확률지상에 나타낸 함수로부터 직선식을 구하면 각각의 모수의 값으로는 형의 모수 1.44, 척도의 모수 541sec로서 구해진다.

다음에는 이와 같은 결과를 비교하기 위하여 전극간의 거리를 1.3mm로 하고, 인가전압을 25kV로 하였을 경우의 절연파괴시간을 각각 측정하였다. 그림 3은 Weibull확률지상에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 직선식에서 형의 모수와 척도의 모수는 각각 0.717, 243sec가 구해졌다.

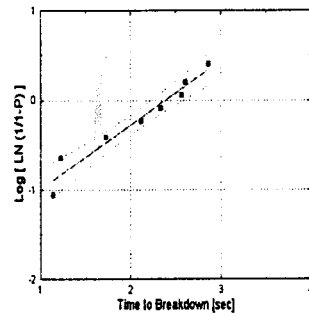


그림 3.파괴시간(V=25kV, d=1.3mm)의 Weibull분포

이 결과로부터 알 수 있는 현상은 형의 모수가 1보다 작아지는 경향을 보이며, 특히 파괴시간의 분포가 폭 넓게 나타내고 있다. 이와 같이 Weibull분포는 측정 조건에 따라서 형의 모수와 척도의 모수가 다르게 얻어지는 것으로 평가 기준이 될 수 있다고 판단된다.

다음에는 인가전압을 20 kV로 하고, 전극간의 거리를 2.6, 1.3mm하에서 절연파괴시간을 각각 측정하였다.

그림 4는 전극간 거리를 2.6mm로 하였을 때의 절연파괴시간의 Weibull분포를 나타낸 결과이다. 이 Weibull분포로부터 얻어진 직선식에서 형과 척도의 모수는 2.42, 586sec가 얻어졌다.

위의 모수로부터 알 수 있는 결과는 전극간의 거리가 같고, 인가전압에 따라서 형의 모수가 변하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 모수의 크기에 따라서 절연성능의 통계적인 평가를 구분 할 수 있을 것으로 사료된다.

다음에는 동일 전계하에서 전극 간격이 1.3mm인 경우에 절연파괴시간을 각각 측정하였다. 그림 5는 인가전압 20kV와 전극간격 1.3mm에서의 절연파괴시간의 Weibull분포를 나타냈다. 이 결과로 얻어진 직선식에서 형과 척도의 모수는 각각 0.87, 323sec가 얻어졌다.

앞에서 얻어진 그림 4의 결과와 그림 5의 결과를 비교할 때, 형의 모수가 큰 차이를 나타내고 있다

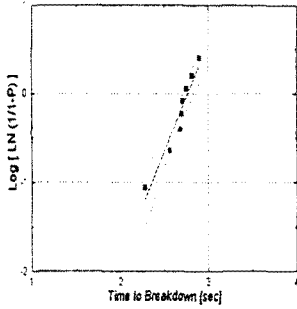


그림 4. 파괴시간(V=20kV,d=1.3mm)의 Weibull분포

이같은 차이는 절연파괴의 기구가 다른 현상으로 나타날 수 있다. 본 연구에서의 응용은 이같은 모수의 구분 및 크기에 의해서 열화 및 평가의 방법을 확립하고자 한다.

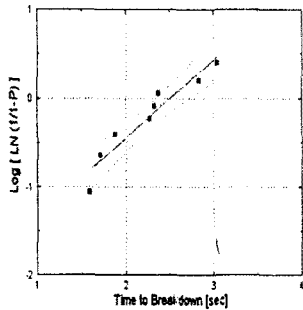


그림5.파괴시간(V=20kV,d=2.6mm)의 Weibull분포 위의 시험결과를 요약하면 표1과 같다. 표1을 통하여 알 수 있는 결과로서 전계가 높아지면 형의 모수가 1보다 작아지며, 척도의 모수는 각시료의 절연특성을 나타내는 것으로 평가할 수 있다.

모 수	인가전압 25kV		인가전압 20kV	
	2.6mm	1.3mm	2.6mm	1.3mm
a	1.4459	0.7174	2.4271	0.8797
t _e	541.05	243.58	586.91	323.95

표 2.각 시험조건에 있어서 모수의 비교

본 절연파괴시험을 통하여 얻어진 반도체층내에서의 절연파괴 현상은 대부분 needle전극으로 반도체층으로 진전되는 것으로 관찰되었으며, 절연파괴 시간이 길어지면 절연체의 파괴경로가 트리와 같은 형태가 확실하게 나타나며, 계속적으로 비교 관찰 중에 있다. 또한 절연파괴되면서 재료 내에서 형성되어지는 새로운 물질은 계속적으로 FT-IR을 통하여 관찰하고 있다.

이와 같은 반도체층/needle전극하에서의 절연파괴 시험은 절연체를 평가하는 방법으로서 제안하기 위

하여 절연파괴시험 및 통계적인 해석방법등을 계속적으로 검토 중에 있다.

3. 결 론

반도체층/needle전극간의 절연파괴강도 특성을 통계적으로 평가하고 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

- 1) 반도체층/needle전극간의 일정전압하에서 절연파괴시간은 인가전압과 전극간격에 따라서 변하며, 통계적인 Weibull분포함수에 적용할 수 있었다.
- 2) 함수로서 절연파괴시간을 이용하여 Weibull분포로 나타내고, 형과 척도의 모수를 각각 구할 수 있었다. 특히 형의 모수는 전계강도가 높을수록 1보다 작은 값을 나타냈다.
- 3) 척도의 모수는 절연체의 절연성을 나타내는 값으로 평가기준이 될 수 있을 것으로 판단된다.
- 4) 절연파괴시간을 확률변수로서 통계적으로 적용이 가능하였으며, 향후에는 절연파괴강도를 확률변수로서 적용하고자 계획 중에 있다.

[참 고 문 헌]

[1] E. Hirade et al., "Interface effects on tree-growth in polyethylene under AC stress", 8TH ISH, Japan, 23.08, 1993

[2] N. Yoshimura et al., "Interface Effect on Tree Growth of Cross-linked Polyethylene", T. IEE Japan, Vol. 115-A, No. 9, pp880-885, 1995

[3] M. Ishida et al., "Micro-Analytical Methode of Submicron Insulation Morphology near the Semiconducting Interface in an XLPE Cable to Evaluate its Dielectric Properties", T. IEE Japan, Vol. 112-B, No.10, pp863-865, 1992

[4] G. Katsuta et al., "Influence of Defects and Moisture on Insulation Characteristics of XLPE Insulated Cable", T. IEE Japan, Vol. 112-B, No.10, pp853-862, 1992

[5] K. Kaminaga et al., "Study on Deterioration Mechanism of XLPE Cables", T. IEE Japan, Vol. 117-A, No.1, pp35-41, 1997

[6] T. Miyashita et al., "Influence of Voltage Polarity on Growth of Water Tree", T. IEE Japan, Vol. 115-A, No.8, pp781-782, 1995

[7] IEC publication 63 (Secretariat) 58 August 87(draft publication 727): Evaluation of electrical insulation systems. Part 2: Evaluation procedure based on extreme value distributions.

[8] CIGRE WG 21.09 :User's guide for weibull statistics applied to cables reliability studies. Sept. 83 document CIGRE SC 21/86-06