

반도전층/침전극하에서 XLPE의 수명시간예측

오 재형, 김 성탁, 박 대희,
원광대학교 전기전자공학부

A Study on Estimation of Life-time
under Semiconducting Layer/Needle Electrode in XLPE

Oh Jae-Hyung, Sung-Tak Kim, Dae-Hee Park
School of Electrical and Electronic Engineering Wonkwang University

Abstract - In this paper, breakdown strength and time to breakdown are experimented under semiconducting layer/needle electrode in XLPE which is used for power cable insulator. Shape and scale parameters of obtained data are estimated using 2-parameters Weibull distribution. Life-time coefficient(n-value) using shape parameters for breakdown strength and time to breakdown tests is estimated. n-value of 1000 hour aged XLPE showed higher value than that of virgin XLPE. Increase of n-value is estimated by the stability due to removal of by-product and residue gas in XLPE by heating.

는 데이터는 유용성 및 다양성의 측면을 고려할 때 와이 블 분포를 가장 많이 사용하고 있다.

절연과피 전압에 대한 와이블 분포의 누적분포함수는 식(1)과 같은 형태로 나타낼 수 있다.[3]

$$F(V) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

여기서, α 는 척도모수(scale parameter)로서 누적고장확률이 63.2%일 때의 특성수명을 의미하며, β 는 형상모수(shape parameter)로서 수명데이터의 분산을 의미한다.

또한 일정전압인가시 파괴시간에 대한 와이블 누적확률 분포함수는 아래의 식(2)와 같이 나타낸다.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

여기서 α 와 β 는 앞에서와 같이 형상 모수와 척도모수를 나타낸다.

누적분포함수 F(t)의 계산방법으로는 고장시간의 순위에 따른 누적고장확률을 잘 나타낼 수 있는 메디안 순위함수를 이용하고 있다. 그러므로 이번 논문에는 메디안 순위함수를 사용하였으며 식은 아래와 같다.

$$F(i, n) = \frac{i-0.3}{n+0.4} \quad (3)$$

여기에서 i는 고장데이터를 내림차순으로 정리한 시료의 순번이고, n은 시료의 총수이다.

2.1.1 일정전압하에서 V-t 특성

절연재료에 인가되는 전계와 파괴시간의 평균치(혹은 중앙치)와의 관계(V-t 특성)는 대부분 다음의 식으로 성립되어진다.

$$V^n t = k \quad (7)$$

단, k는 정수이고, n의 값은 재료의 종류와 구조 및 파괴기구 등에 따라 다르다. 종래의 수명 추정에는 이 역 n승 법칙에서 외삽하는 경우가 많았다.

또한 역n승 법칙과 F(V,t)의 관계를 다시 나타내면 아래와 같다.

t=0 혹은 V=0에서 F=0의 조건을 가정하고, F의 단순 증가성을 고찰하면, 2가지의 확률변수를 갖는 가장 간단한 파괴확률은 다음 식(8)과 같이 확장한 Weibull 분포함수로 나타낼 수 있다.[4]

$$F(V, t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V}{V_0}\right)^a \left(\frac{t}{t_0}\right)^b\right] \quad (8)$$

(단. a, b, E, t에 각각 독립적이다.)

절연체 체적을 일정하다고 하면, V_0^a , t_0^b 은 정수로

1. 서 론

전력수요의 증가로 인한 초고압화로 전력기기에서 절연이 큰 비중을 차지하게 되었다. 그러나 초고압화와 함께 절연재료의 열화는 전력기기의 성능저하는 물론이고 수명을 단축시키고 있어 예방진단의 관점에서 많은 연구가 요구되고 있다.[1]

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

지금까지 연구에서 사용되어진 시료는 실제로 사용되는 가공조건과 다른 것으로 실험결과의 적합성이 문제시되고 있다. 또한 절연재료의 파괴강도는 매우 산만하게 분포되어 있기 때문에 적절한 통계적인 처리를 하여야만 일정한 경향을 알 수 있는 것으로 지금까지의 절연과피강도를 얻는 조건은 필름상의 시료와 일정한 구/평판전극을 사용하고 있으나, 실제 케이블 절연재료의 조건과는 상이한 점이 많다. [2]

본 연구에서는 절연과피강도에 대한 재현성을 갖도록 케이블의 반도전층과 침전극을 이용하여 가교폴리에틸렌에 있어서 절연과피를 시킴으로서 절연과피강도, 절연과피시간을 각각 측정하였다. 반도전층/침전극하에서 얻어진 절연과피강도, 절연과피시간등의 결과를 와이블 분포함수를 이용하여 통계처리를 하여 형상 모수와 척도 모수를 각각 구하고, 이때 얻어진 각각의 형상 모수를 가지고 절연재료의 수명계수를 추정하였다.

2. 본 론

2.1 관계이론

절연재료에서 절연과피전압이나 일정 전압인가시 파괴시간은 동일조건하에서도 많은 차이를 나타내고 있다. 이것은 고체절연재료의 절연과피전압 및 수명실험에 있어 가장 큰 특징이라 할 수 있다. 따라서 이렇게 산만하게 흩어져 있는 데이터를 설명하기 위해서는 적절한 통계처리를 함으로써 정량적으로 평가할 수 있다. 일반적으로 고체 절연재료의 수명실험 및 파괴강도평가에서 얻

되므로 식(8)은 아래 식으로 변환시킬 수 있다.

$$F(V, t) = 1 - \exp[-CV^{\frac{1}{a}}t^{\frac{1}{b}}] \quad (9)$$

(단. C는 정수)

식(9)에 따르면 등가확률 곡선은 $\log t - \log V$ 평면 상에서 평행직선이 된다. 식(9)에서 파괴확률이 일정한 값(예를 들면 중앙值)의 경우는

$$t = KV^{-\frac{b}{a}} \quad (10)$$

로 된다. K는 정수. 그러므로 식(10)은 식(11)과 같게 되며

$$n = \frac{b}{a} \quad (11)$$

의 관계로 역 n 승측은 $F(V, t)$ 로 결합되어진다.

2.2 실험방법

2.2.1 시료준비 실험방법

절연파괴전압 및 절연파괴시간을 측정하기 위한 시료로는 배전용 지중케이블로 널리 사용되고 있는 22.9kV CN-CV 케이블의 절연체로 반도체층을 가지는 XLPE(가교폴리에틸렌)를 사용하였다. 시편의 크기는 가로 9mm, 세로 5mm, 높이 7mm로 하여 사용하였다. 이렇게 준비된 시편을 전극간 간격이 절연파괴전압실험과 절연파괴시간실험에서 2mm가 되게 각각 삽입하였다.

위와 같은 방법으로 제작된 시편의 형상을 그림 2에 나타냈다.

준비된 반도체층/침전극을 갖는 시편에 대하여 단계적으로 전압을 상승시키며 절연파괴강도 각각 측정하였고, 또한 일정전압하에서 파괴시간을 각각 평가하였다. 시편의 수는 각 실험에 대하여 10개씩 실험하였다. 이때 연연방전을 방지하기 위하여 실리콘 오일내에 함침시켜 실험하였다.

절연파괴실험은 출력 AC : 0~60kV(일본 무사시 전기기기제작소)의 내전압 시험기를 사용하였다.

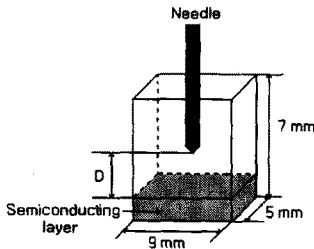


그림 1 침대 평판 전극구조

2.3 결과 및 고찰

2.3.1 V, t 측정 데이터의 와이블분포

반도체층/침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도와 절연파괴시간을 각각 측정하였다.

가. 절연파괴강도의 와이블분포

XLPE와 1000시간 열화된 XLPE의 절연파괴강도의 와이블분포를 각각 구하였다.

그림 2는 열화되지 않은 시편에 대하여 반도체층/침전극 간격을 2mm로 하였을 때 절연파괴강도를 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 15X - 22.3$ 로 얻어졌다. 향상모수는 15, 척도모수는 31.1kV로 추정되었다.

그림 3은 1000시간 열화시킨 시편에 대하여 반도체층/침전극 간격을 2mm로 하였을 때 절연파괴전압을 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 20.2X - 30.3$ 로 얻어졌다. 향상모수는 20.2, 척도모수는 31.9kV로 추정되었다.

열화되지 않은 시편과 1000시간 열화된 시편을 비교했을 때 열화된 시편의 향상 모수와 척도 모수가 모두 큰 값을 나타냈다. 이것은 적당히 열화된 시편에서는 제조하면서 발생한 가교부산물과 가스가 제거되었기 때문으로 생각된다. 전극간격에 따른 모수 비교를 표 1에 나타내었다.

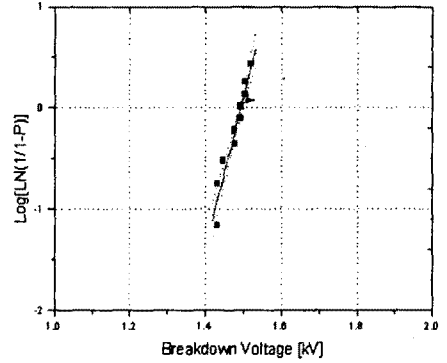


그림 2 전극간격 2mm일 때의 절연파괴강도 분포

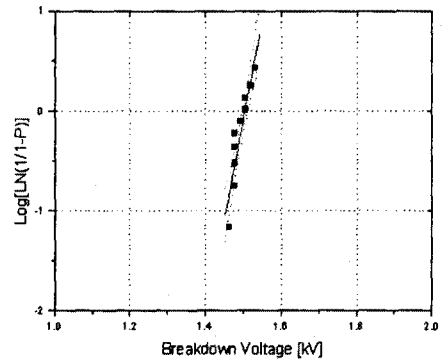


그림 3 전극간격 2mm, 1000시간 열화된 XLPE의 절연파괴강도 분포

Parameter	BD Voltage	
	XLPE	1000h aged XLPE
β	15	20.2
α (kV)	31.1	31.9

표 1 절연파괴강도의 α , β 모수비교

나. 절연파괴시간의 와이블 분포

절연파괴시간을 각시료에 대하여 얻기 위하여 2mm 전극간격하에서 얻어진 절연파괴강도의 와이블 척도모수의 78, 64%에 해당되는 값을 일정전압으로 취하였다.

그림 4는 반도체층/침전극 간격을 2mm로 하였을 때 인가전압을 20kV로 일정하게 인가하였을 때 절연파괴시간을 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 1.93X - 6.72$ 로 얻어졌다.

다. 형상모수는 1.93, 척도모수는 2927.74sec로 추정되었다.

그림 5는 반도체층/침전극 간격을 2mm로 하였을 때 인가전압을 25kV로 일정하게 인가하였을 때 절연파괴시간을 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 1.58X - 2.52$ 로 얻어졌다. 형상모수는 1.58, 척도모수는 39.12sec로 추정되었다. 인가전압이 증가할 때 척도 모수는 증가하였고, 형상모수는 약간 감소하는 형태를 보였다.

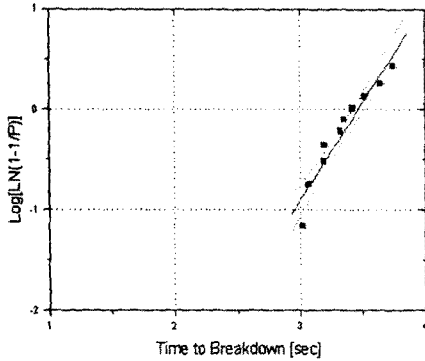


그림. 4 인가전압 20kV에서 절연파괴시간 분포

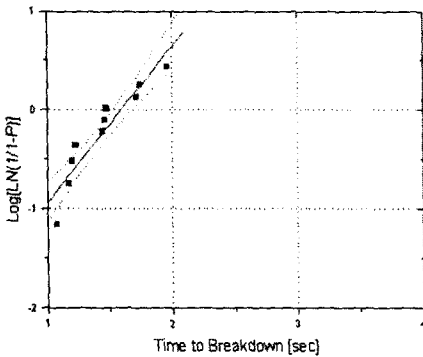


그림. 5 인가전압 25kV에서 절연파괴시간 분포

Parameter	Time to BD	
	20kV	25kV
β	1.9	1.6
α (sec)	2927.7	39.1

표. 2 절연파괴시간의 α , β 모수비교

다. 수명계수 추정

절연파괴전압실험에서의 형상 모수와 절연파괴시간실험에서의 형상 모수를 가지고 수명계수 n 값을 구할 수 있었다. 이때 얻어진 값을 표 3에 나타내었다. 반도체층/침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도와 절연파괴시간에 대한 각각의 형상모수를 (11)식을 이용하여 수명계수 n 을 구하면 표3과 같다. 인가전압에 따라 20kV에서 $n=7.7$, 25kV에서 $n=9.4$ 로 얻어졌다. 각 조건에서 $V-t$ 특성을 나타내면 그림 6과 같다.

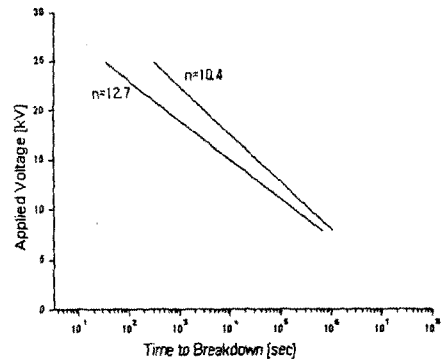


그림. 6 1000시간 열화된 XLPE의 수명비교

Sample	Life-time coefficient	
	β_{2mm}/β_{20kV}	β_{2mm}/β_{25kV}
Virgin Sample	7.7	9.4
1000h Aged Sample	10.4	12.7

표. 3 각 시료에 대한 수명계수

3. 결 론

반도전층/침전극하에서 가교폴리에틸렌의 통계적평가에 관한 연구를 통하여 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 반도체층/침전극하에서 절연파괴강도의 분포를 와이블통계를 이용하여 척도 모수(α)와 형상 모수(β)를 산출한 결과 척도모수(α)는 31.0kV, 형상모수(β)는 14.9가 얻어졌으며, 1000시간 열화시킨 경우 척도모수(α)는 31.9kV, 형상모수(β)는 20.2로 1000시간 열화시킨 시료에서 척도모수, 형상모수가 모두 증가하는 경향을 보였다.
2. 절연파괴시간의 경우 20kV를 인가한 경우 척도모수(α)는 2927sec, 형상모수(β)는 1.9가 얻어졌으며, 25kV를 인가한 경우 척도모수(α)는 39.1sec, 형상모수(β)는 1.5를 얻었다.
3. 각 확률변수의 형상모수로부터 수명지수(n)를 산정한 결과 7.7과 9.4를 1000시간 열화시킨 시편의 경우 10.4와 12.7로 얻어졌으며, 수명지수(n)값의 증가는 가열에 의한 잔사가스의 제거 및 안정에 의한 것으로 예측된다.
4. 반도체층/침전극을 이용하여 얻어지는 파괴전압과 시간을 통계적인 방법을 활용함으로써 정량적인 절연재료의 성능평가 및 수명계수의 추정을 할 수 있음을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 박대희 외 3명, "절연재료의 열화 및 평가진단기술" 전기학회지, Vol.45 No.4, pp.40-43, 1996
 [2] C. Chauvet, C. Laurent, "Weibull Statistics in Short-term Dielectric Breakdown of Thir Polyethylene Films" IEEE Trans. EI, Vol.1 No.1 pp.18-29, 1993
 [3] C. Lipson, N. J. Sheth, "Statistical Design and Analysis of Engineering Experiments" McGRAW-HILL, pp.30-40, 1973
 [4] 박대희 외5명, "전자소재 및 재료의 시험·평가기술 개발" 통상산업부 연구보고서, pp.211-226, 1997