

침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도의 통계적평가

*오 재형, 전 은아, 박 운호, *박 수길, 박 대희
원광대학교 전기전자공학부, *충북대학교

Statistical Analysis of Breakdown Voltage using needle electrode inserted in XLPE

*Oh Jae-Hyung, Jun Eun-A, Park Woon-Ho, *Park Soo-Gil, Park Dae-Hee
*School of Electrical and Electronic Engineering, Wonkwang Univ., *Chungbuk Univ.,

Abstract - The needle electrode was inserted in virgin and 1,000 hr aged XLPE which is the insulation used for 22.9 kV underground distribution cable with the distance of 1, 1.5 and 2mm respectively. Breakdown voltage were measured for the virgin and 1,000 hr aged specimen and statistically evaluated through Weibull distribution. As the of electrode increase in virgin and 1,000 hr aged specimen, shape parameter and scale parameter showed increase coincidently. For shape parameter, the value of aged specimen showed the higher than that of virgin specimen.

1. 서 론

산업발전에 따른 전력수요증가로 인한 공급전력의 초고압화로 전력기기에 있어서 절연이 매우 큰 비중을 차지하게 되었다. 그러나 공급전력의 초고압화와 함께 절연재료의 열화는 전력기기의 성능저하를 야기하여 수명을 단축시키고 있어 예방 및 진단에 있어서 많은 연구가 요구되고 있다.[1]

지중케이블의 경우에 있어서 운전중에 실제로 일어나는 절연파괴는 단시간에 일어나는 파괴보다는 각종열화의 점진적 진행에 의한 파괴가 대부분인 것으로 알려져 있으며, 그 중에서도 treeing열화에 의한 파괴는 절연사고의 주된 원인이 되고 있음을 알 수 있다.

고체절연재료에서 많이 발생되고 있는 treeing현상은 절연재료내에 존재하는 미소공극, 절연체내의 이물질, 또는 절연체와 반도체 사이에서 거친계면에서 국소적으로 고전계가 인가되어 관로상의 절연파괴가 생성, 진전하는 현상으로서 그 파괴로의 형상이 대개는 나무가지 형태로 발전하기 때문에 트리라고 불리어지고 있다.[2]

트리현상에 대해서 트리 발생 및 진전 메카니즘과 전극구조, 인가 전압, 첨가제, 절연재료내부에 존재하는 가스의 영향과 계면압력에 대한 영향등에 관하여 많은 연구가 수행되었지만 사용되는 시료에 있어서 실제적인 케이블의 재현성을 갖도록 시료를 선택하여 전극을 구성한 연구는 거의 수행되지 않았다.[3]

또한 절연재료의 파괴실험의 결과는 매우 산만하게 분포되어 있기 때문에 적절한 통계적인 처리를 하여야만 일정한 경향을 알 수 있다. 그러나 thin film에 있어서는 절연파괴실험 결과를 통계적인 방법에 의하여 처리한 연구는 많이 있었지만, 트리파괴실험 결과에 대하여 통계적 처리를 행한 논문은 그리 많지가 않다.

따라서 본 연구에서는 실제적인 케이블의 재현성을 갖도록 침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도를 전극간거리 의존성과 가속 열화의 의존성을 각각 평가하였다. 또한 이 실험의 결과를 2모수 와이불 분포함수를 이용하여 통계적 처리를 하여 형의 모수와 척도의 모수를 각각 구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

절연파괴전압을 측정하기 위한 시료로는 22.9kV CN-CV 케이블의 절연체로 반도체층을 가지는 가교 폴리에틸렌을 사용하였다. 시편의 크기는 가로 9mm, 세로 5mm, 높이 7mm로 일정하게 절단하여 사용하였다. 이때 열화에 의한 절연재료의 변화를 비교하기 위하여 열화오븐을 사용하여 90℃에서 1000시간동안 가속열화를 시켰다. 이렇게 준비된 시편을 가열오븐에서 90℃로 약 30분 정도 재가열 하여 절연체에 침전극 삽입이 용이하게 하여 실험실에서 제작한 삽입틀(Insertion Jig)을 사용하여 전극간 간격이 1mm, 1.5mm, 2mm로 되게 각각 삽입하였다.

위와 같은 방법으로 제작된 시편의 형상을 그림 1에 나타냈다.

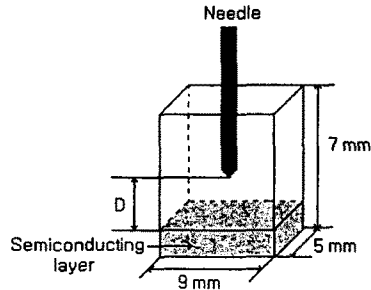


그림. 1 시편의 전극 구조

준비된 반도체층/침전극을 갖는 시편에 대하여 일정비율로 전압을 상승시키며 절연파괴강도를 각각 측정하였다. 시편의 수는 각 실험에 대하여 10개씩 실험하였다. 이때 연면방전을 방지하기 위하여 실리콘 오일내에 함침시켜 실험하였다.

이때 시편내의 변화를 알아보기 위하여 CCD 카메라(SAC-410ND)에 광학렌즈(~×50)를 부착하여 촬영하였다. 또한 VCR에 녹화할 수 있도록 그림 2와 같이 구성하였다.

2.2 와이불 모수추정

이와 같이 측정된 절연파괴강도의 경향을 파악하기 위하여 통계적 방법인 2모수 와이불 분포함수를 이용하였다.[4]

2모수 와이불 분포함수는 식 (1)로 나타낸다.

$$F(t) = 1 - \exp[1 - (t/a)^b] \quad (1)$$

여기서, F는 누적과피확률이고, α 는 척도 모수이고 β 는 형의 모수이다. 식(1)은 직각좌표계에서 아래의 식(2)와 같은 1차 방정식에 대응하게 된다.

$$Y = \log\left[\ln\frac{1}{1-P}\right]$$

$$X = \log t \quad (2)$$

또한 누적확률치는 식(3)과 같은 Median rank function을 이용하였다.

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

여기서, n은 실험된 시편의 개수를 나타내며, i는 파괴된 순서를 나타낸다.

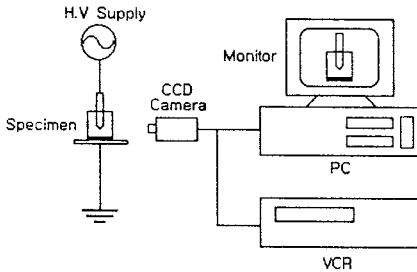


그림 2 절연파괴 실험장치

2.2.1 결과 및 고찰

침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도를 전극간거리 의존성과 가속 열화 의존성을 각각 평가하였으며 이때 시편내의 변화를 그림 3에 나타내었다.

그림3에서 보면 시편내에서 전압의 상승과 함께 침전극 첨단에서부터 불꽃 방전이 발생하여 최종적으로 판로상의 파괴로가 형성되어 절연파괴에 이르는 것으로 나타났다.

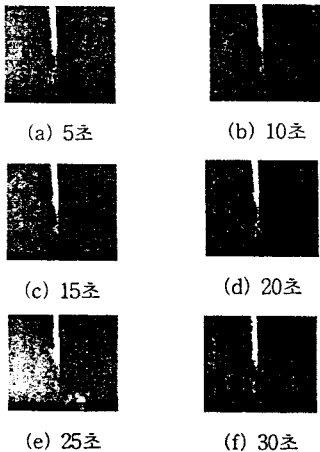


그림 3 절연파괴강도실험

그림4는 열화되지 않은 시편에 전극간격을 1mm로 하였을 때 절연파괴전압을 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 6.1X - 7.5$ 로 얻어졌다. 형상모수는 6.1, 척도모수는 16.6kV로 추정되었다.

그림5는 열화되지 않은 시편에 대하여 전극 간격을 1.5mm로 하였을 때 절연파괴강도를 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 6.9X - 9.7$ 로 얻어졌다. 형상모수는 6.9, 척도모수는 25.4kV로 추정되었다.

그림6은 열화되지 않은 시편에 대하여 전극 간격을 2mm로 하였을 때 절연파괴강도를 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 15X - 22.3$ 로 얻어졌다. 형상모수는 15, 척도모수는 31.1kV로 추정되었다.

이 결과로부터 전극간 거리에 의해서 형상모수는 증가하며, 척도모수도 증가하는 것을 확인하였다. 다음에는 1000시간 열화시킨 후의 절연파괴강도의 와이블분포를 각각 평가하였다.

그림7은 1000시간 열화시킨 시편에 대하여 전극 간격을 1mm로 하였을 때 절연파괴강도를 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 7.8X - 9.7$ 로 얻어졌다. 형상모수는 7.8, 척도모수는 17.1kV로 추정되었다.

그림8은 1000시간 열화시킨 시편에 대하여 전극 간격을 1.5mm로 하였을 때 절연파괴전압을 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 19.1X - 27.6$ 로 얻어졌다. 형상모수는 19.1, 척도모수는 27.8kV로 추정되었다.

그림9는 1000시간 열화시킨 시편에 대하여 전극 간격을 2mm로 하였을 때 절연파괴전압을 각각 측정하여 와이블 확률지에 나타냈다. 이 결과로부터 얻어진 적합화 방정식은 $Y = 20.2X - 30.3$ 로 얻어졌다. 형상모수는 20.2, 척도모수는 31.9kV로 추정되었다.

전극간격이 커질수록 척도 모수와 형상 모수가 모두 증가하는 것으로 나타났다. 형상 모수의 값이 커질수록 시료에 있어서 균일성이 좋다는 것을 의미하므로 이때 형상 모수의 값이 가장 높은 전극간격 2mm인 시편이 절연파괴실험에 가장 적당한 것으로 나타났다. 또한 열화되지 않은 시편과 1000시간 열화된 시편을 비교했을 때 열화된 시편의 형상 모수와 척도 모수가 모두 큰 값을 나타냈다. 이것은 적당히 열화된 시편에서는 제조하면서 발생된 가교부산물과 가스가 제거되었기 때문에 사료된다.

3. 결 론

침전극하에서 가교폴리에틸렌의 절연파괴강도의 전극간거리 의존성 및 가속열화 의존성을 평가한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 침전극하에서 XLPE의 절연파괴강도 실험시 침전극단으로부터 불꽃방전이 발생하고 계속적인 방전에 의해 판로상의 파괴로 형성으로 절연파괴에 이른다.
- (2) 전극간 거리 의존성에 대한 결과로는 전극간 거리가 커질수록 척도모수(α)와 형상모수(β)가 모두 증가하였고, 1000시간 열화시킨 경우에 있어서도 척도모수(α)와 형상모수(β)가 모두 증가하였다.
- (3) 열화된 시편과 1000시간 열화시킨 시편에 대한 결과는 열화된 시편이 열화되지 않은 시편에 비하여 척도모수와 형상모수가 모두 크게 나타났다. 이때 형상모수의 증가는 시편의 균일성이 증가한 것으로 1000시간 열화된 시편에서 제품제조시 발생한 가교부산물이 가열에

의해 제거되고 안정화에 의한 것으로 사료된다.

(4) 실제 케이블 절연체인 XLPE에 반도체층/침전극을 이용하여 절연파괴강도를 통계적인 방법을 활용함으로써 정량적인 절연재료의 성능평가 및 수명추정이 가능하였다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학 공동연구소 주관(과제관리번호:98-중기-05)으로 수행되었음

(참 고 문 헌)

- (1) 박대희외 3명, "절연재료의 열화 및 평가진단기술", 전기학회지, Vol.45 No.4, pp.40-43, 1996
- (2) ASTM D 3756-96, "Standard Test Method for Evaluation of Resistance to Electrical Breakdown by Treeing in Solid Dielectric Materials Using Diverging Fields", pp.1-5, 1996
- (3) R. Patsch, "Electrical and Water Treeing", IEEE Trans. EI, Vol.27 No.3, pp.532-542, 1992
- (4) L. A. Dissado, J. C. Fothergill, "Electrical Degradation and Breakdown in Polymers", Peter Peregrinus Ltd., pp.319-355, 1992

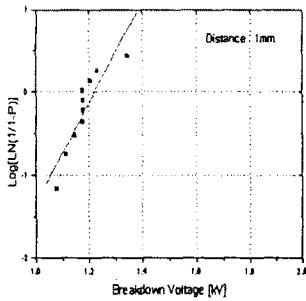


그림4. 전극간격 1mm일 때의 절연파괴강도 분포

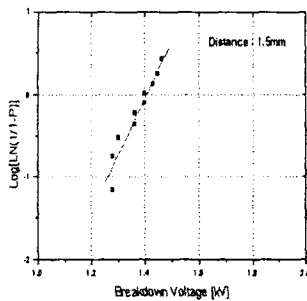


그림5. 전극간격 1.5mm일 때의 절연파괴강도 분포

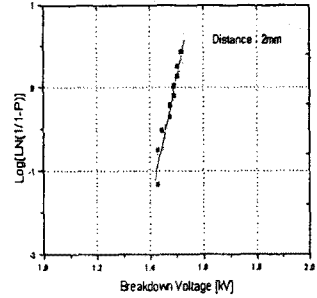


그림6. 전극간격 2mm일 때의 절연파괴강도 분포

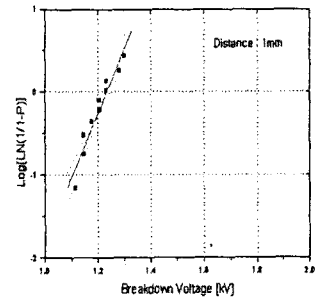


그림7. 전극간격 1mm, 1000시간 열화시편의 절연파괴강도 분포

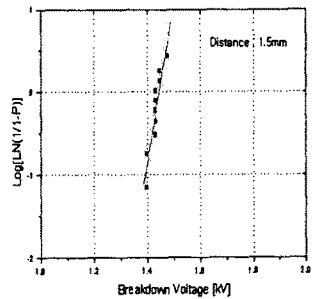


그림8. 전극간격 1.5mm, 1000시간 열화시편의 절연파괴강도 분포

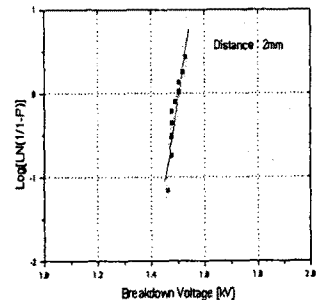


그림9. 전극간격 2mm, 1000시간 열화시편의 절연파괴강도 분포