

고분자 절연물의 내오손 진단을 위한 누설전류 특성 해석

김인성, 한세원, 조한구, 소진중, 김형식
한국전기연구소, 애자·피뢰기기술연구팀

The analysis of leakage current characteristics of polymer insulators for estimation under pollution conditions

I.S. Kim, S.W. Han, H.G. Cho, J.J. Soh, H.S. Kim
KERI, Insulator & Arrester tech. Team

Abstract - Properties of flashover in polymer insulators are very important under pollution environments. It is necessary to analyse flashover characteristics whether insulators are still safe or not. A lot of precious information can be got out of polluted polymer insulators through leakage current measurement. The behavior of partial arc discharge leads to flashover directly. It is possible to measure partial arc discharge as leakage current pulses analysis. The shape of histogram reflects degree of pollution, wetting and voltage stress level. It can be expressed by Weibull distribution function.

1. 서론

옥외용 절연물에 있어서 오손에 의한 플래시오버의 발생을 방지하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다. 오손 상태에서 발생하는 방전현상은 오손물질, 습도 그리고 인가 전압 등을 반영하는 복합적인 양상을 보인다. 따라서 이러한 방전현상을 지속적으로 추적하는 대표적인 방법으로 누설전류 측정법이 사용된다. 실사용 전압 조건에서 누설전류 특성은 국부적 아크 특성과 오손 정도를 잘 반영하는 것으로 알려져있어 이를 이용한 절연물의 오손 관리가 이루어져 왔다. 한편 다양한 염분 오손 환경을 모의하기 위해 누설전류의 파고치와 그 발생 빈도를 측정하여 오손상태를 평가할 수 있다. 이때 Weibull parameters를 이용한 플래시오버 발생 빈도 분포의 통계적 처리 기법은 유용한 해석 기구가 된다.

본 연구에서는 현재 활발히 옥외 절연물로 적용되고 있는 배전용 고분자 절연물에 있어서 오손 환경에 따른 누설전류를 측정 한 후, 오손 상태의 정량적 진단 방안으로 누설전류의 파고치 및 발생 빈

도 등에 대하여 Weibull distribution function을 이용한 오손 관리 기법을 검토하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 절연물은 실리콘 고무 갓(shed)으로 만들어진 배전급 고분자 절연물을 몇 가지 형태로 나누어 실험하였다. 그림1은 시험에 사용한 측정 회로도를 나타낸 것이다.

<그림 1> 시편

오손 조건은 IEEE std.4(1995)에 따라 카올린과 NaCl의 농도를 변화시켜 염수 부착 밀도(SDD)를 조절하였다. SDD는 크게 3가지(light, medium, heavy) 오손 조건으로 분류하였으며, 이때 슬러리의 체적 전도도(S/m)를 측정하여 오손량을 비교하였다.

실험 대상의 FOV 등급을 결정하기 위해 교류 전압을 인가하여 플래시오버에 도달하는 최저 값에서 최대 50% FOV 값까지를 고려하여 실험하였다. 오손 상태의 안정화와 누설전류 피크 발생빈도의 확보를 위해 염수 분무 후 레벨링(leveling)조건의 유무를 비교하였다.

누설전류 측정은 자체 제작한 누설전류 측정 시스템을 사용하였으며 오손 상태에 따른 누설전류 피크의 측정 시간은 1분에서 6분간을 기준으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

절연물 표면에 오손과 습도가 증가하면 누설 저항의 저하로 인해 인가 교류 전압에 따른 미소 누설전류가 흐른다. 오손이 더 진행하면 미소한 크기의 국부 아크가 발생하며, 이 국부 아크는 중심 원상으로 분포하면서 건조대 형성한다. 이 상태에서 보통 200mA 이하의 펄스 아크 전류가 나타나지

만 직접적인 플레시오버는 발생하지 않는다.

펄스 전류에 의한 발열에 의해 오손 연면상의 건조대가 발생하고 건조대가 분담하는 전압은 습한 영역에 비해 상대적으로 대단히 크기 때문에 국부 아크 발생한다. 이 국부 아크는 열적, 더욱이 전기적 요인에 의해 확산되면서 플레시오버에 이를 가능성이 높다. 확산된 국부 아크는 수A에서 수A의 광범위한 분포를 가지게 된다.

누설전류 발생 빈도와 분포는 이와 같은 현상이 반영되므로 플레시오버의 가능성을 판단하기 위해서는 확산되는 국부 아크에 주목할 필요가 있다.

그림2는 2개의 값으로 된 고분자 절연 시편에 대해 (a)순수 주수 조건과 (b)heavy 염수 오손 조건(16.0 S/m)에서 1분간 누설전류를 측정 한 결과를 비교한 것이다.

<그림2> 누설 전류 특성

(a)순수주수조건, (b)염수오손조건(16.0 S/m)

<그림3> 플레시오버 발생시 누설전류 피크

그림3은 그림2(b)조건에서 플레시오버가 발생할 때 측정된 누설전류 피크 특성의 한 예이다.

누설전류 특성은 인가 전압에 따른 플레시오버 발생 확률과 관련하여 검토할 필요가 있다. 플레시오버가 발생할 확률이 증가함에 따라 누설전류 펄스의 피크와 분포가 어떻게 변화하는지 조사하여 오손 정도를 평가하는 연구가 많이 이루어지고 있다.

누설전류 피크의 발생과 빈도를 플레시오버 발생 확률과 비교하여 검토하기 위해서는 염수 오손 상태에서 누설전류 발생 빈도 분포가 오손에 의한 국부적인 아크와 어떠한 관련이 있는지를 분리하여 분석해야 한다.

누설전류가 적은 범위에서 전류치의 증가는 지수함수적으로 감소하게 된다. 이때 이 전류는 오손 연면의 누설 저항을 지나는 전류와 미세한 국부 아크에 의한 펄스에 해당한다. 한편 누설전류가 비교적 큰 범위에서 발생 빈도 분포가 산형을 이루는 영역에서의 전류는 직접 플레시오버로 확산될 가능성이 있는 국부적 아크에 의한 것이다. 이러한 누설전류의 산형 분포는 인가 전압이 높아짐과 동시에 플레시오버 확률이 커지고 전류치가 큰 방향으로 길게 늘어 분포하게 된다.

통계적 수법을 이용하여 앞에서 얻은 누설전류 발생 빈도 분포의 정량화가 가능하다. 여기서는 3가지 요소를 가지고 다양한 열화 진단에 적용이 가능한 와이블 분포 확률 밀도 관계식을 채용하였다.

이 경우 발생 빈도 분포의 형상은 대체로 큰 전류치 영역을 중시한 관점에서 발생 빈도의 대수치를 관계식에 적용한다. 전류치를 변수*i*라 하면 누설전류 발생 빈도 분포에 해당하는 와이블 분포 확

률 관계식은 다음 식과 같다.

$$f(i) = (m/i_0) \cdot (i - \gamma)^{m-1} \exp[-(i - \gamma)^m/i_0] \quad (1)$$

여기서 *m*:형상 파라메타, *i*₀:척도 파라메타 그리고 γ :위치 파라메타를 나타낸다.

각 발생 빈도 분포는 지수적 감소 분포를 하는 부분과 산형 분포를 하는 부분을 혼합하여 갖는 경우가 있다. 이것은 플레시오버에 직접 관련된 확산성 국부 아크에 주목하기 때문에 산형 분포를 보이는 와이블 분포 확률 밀도 관계식에 적용하게 된다.

와이블 요소를 산출하기 앞서 펄스 전류 부분과 국부 아크 부분과를 분리할 필요가 있다. 형상적으로는 혼합형 와이블 분포로 보아 해석할 수도 있으나 앞에서 언급한 바와 같이 펄스 전류 부분은 플레시오버에 직접 관련이 없기 때문에 이 부분을 포함하는 경우 실제적인 해석에 어려움이 있다. 여기서는 펄스 전류 부분을 추정하여 발생 빈도 분포에서 제외한 산형 분포만을 고려하여 검토하였다.

곡선에서 오손도를 추정하는 경우 저 전류 부분은 펄스 전류에서 분리하여 추정하면 신뢰도가 낮다. 따라서 그 부분은 매우 중요하며 대전류 부분, 최대 전류치, 최대 발생 빈도 전류치를 특히 중시하여 곡선을 추정하여야 한다.

각 발생 빈도 분포에 있어서 추정으로 얻어지는 곡선에서 식(1)을 적용하여 와이블 요소를 구하게 된다. 각 와이블 요소 값에서 형상 파라메타는 오손도에 대응하는 것으로 오손도가 일정한 것은 인가전압이 거의 일정하기 때문이다. 척도 파라메타는 발생 빈도 분포의 범위를 반영하는데 인가 전압이 증가함에 따라 그 값도 커지고 있다. 위치 파라메타는 교류의 경우 0으로 간주한다.

이상의 결과로부터 와이블 파라메타를 이용하여 플레시오버 발생 확률을 추정할 수 있다. 진단 대상의 누설전류 발생 빈도 분포를 측정하여 여기에서 얻어진 와이블 파라메타 곡선(종축:척도, 횡축:형상)에서 아래 방향에 위치하면 안전한 상태를 나타내고 위쪽에 위치하는 경우 어떤 처리가 필요한 상태를 의미한다.

1개 갓, 2개 갓 또는 불평등 오손의 경우 곡선은 서로 교차하게되지만 플레시오버 발생 확률과 와이블 파라메타와의 관계는 지속된다. 따라서 와이블 파라메타를 이용한 오손 진단은 다수련 애자와 불평등 오손에서의 진단에 활용이 가능하다. 이것은 누설전류 특성이 불평등 오손 상태에서의 최대 오손 부분과 습도 상태 등의 총괄적 특성으로 플레시오버에 직접적인 관련을 가지게 된다.

4. 결론

고분자 배전급 절연물에 대한 인공 염수 오손

시, 누설전류 펄스의 피크치와 발생 빈도 분포를 조사하였다. 그 결과 발생 빈도 분포의 와이볼 파라메타를 이용한 정량화가 오손 연면의 방전 형태를 정확히 추적하였으며 플래시오버 발생 위험성 추정에 활용에 좋은 도구로 판단되었다.

여기서 제안한 오손 관리 기법을 광범위하게 검토하여 다수개련의 애자, 불평등 오손 상태를 모의하는 실험에서도 동일한 결과를 나타내고있어 이를 이용한 오손 관리가 가능함을 입증하였다.

이후의 과제로 펄스 전류 부분과 국부 아크 부분의 분리에 대하여 보다 확실한 기법을 고찰하고 이를 통한 측정, 해석의 자동화 등이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- (1)IEEE Std 4-1995, "IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing" Revision of IEEE Std 4-1978
- (2)CEA Purchasion Specification LWIWG-01(91), "Dead-end/Suspension Composite Insulator for Overhead Distribution Lines"
- (3)M. Otsubo, Y.Shimono, T. Hikami, C. Honda, "Influence of the Humidity on Leakage Current under Accelerated Aging of Polymer Insulating Materials", Conference of the 1996 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Montreal, 1996
- (4)IEC Publication 507, "Artificial pollution tests on high voltage insulators to be used on a.c. systems" 1975
- (5)Clamerie P., Porcheron Y., "How to choose insulators for pollution areas. IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems", 1973, Vol. PAS-92, No. 3, 1121
- (6)Cimador A., Cojan M., Hauterferille P., Moreau M., "Method of dimension insulators of overhead lines in polluted areas" CIGRE, 33-04, 1978

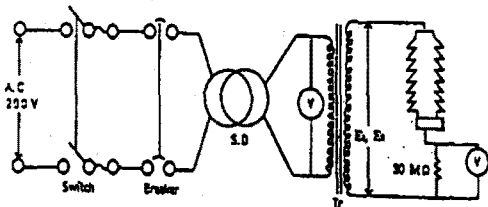
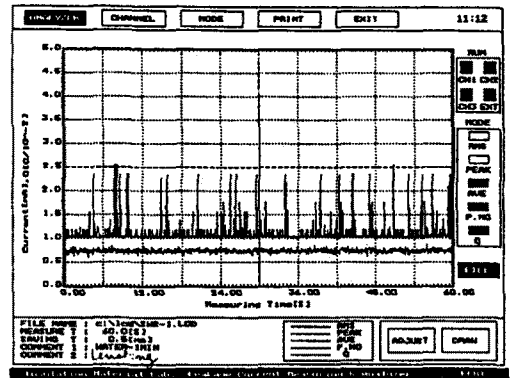
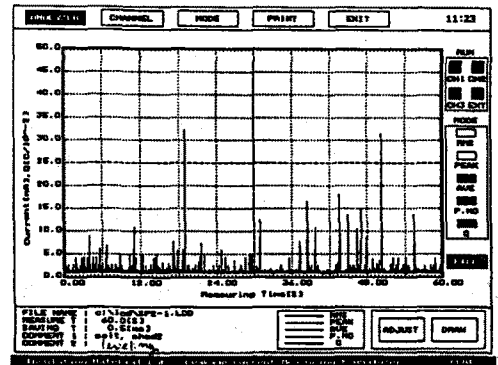


그림1. 측정 회로



(a)



(b)

그림2. 누설 전류 특성

(a)순수주수조건, (b)염수오손조건(16.0 S/m)

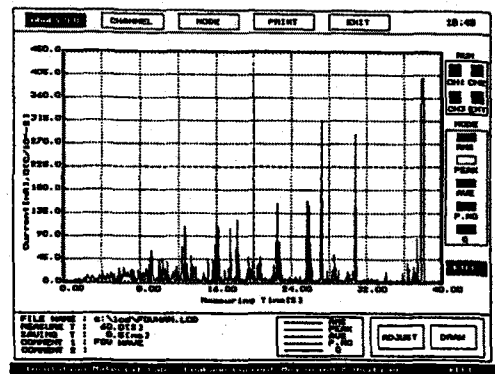


그림3. 플래시오버 발생시 누설전류 피크