

고체절연체 계면에서 부분방전 패턴의 열화에 따른 변화특성

이우영, 선종호
한국전기연구소

The Characteristics of PD Patterns due to the Aging at the Interface between Solid Insulators

Woo-Young Lee, Jong-Ho Sun
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - In this paper the patterns of partial discharges(PD) occurred from some defects at the interface of cable joints as the function of the phase of the applied voltage were investigated in order to discern the kind of a defect.

The results obtained in this study show that it is possible to distinguish the PD patterns between the void discharges and the treeing or tracking discharges which were occurred at the cable joint interface. While the state of defect transfers from a void discharge into a tree or tracking discharge with a aging time, the skewness for both half of the applied voltage cycle is observed to go to the negative value.

1. 서론

지금까지 현장에서 운용되고 있는 전력기기의 사고예방을 위한 진단방법에 대해 다양한 연구가 있어왔으며 부분방전 검출방식은 나름대로의 제한성이 있음에도 불구하고 [1] 이러한 진단방식 중에서 현재 많은 관심의 대상이 되고 있는 분야로 보여지고 있다 [2][3].

특히, 지중 배전선로에서는 열화정도가 확인되지 않은 활선상태의 케이블 및 접속부와 인접한 제한된 공간에서 작업이 이루어지는 경우가 많기 때문에 작업자의 안전을 확보할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 케이블 접속부는 배전선로의 취약부분으로 나타나고 있으며 고장의 주요원인으로는 과열, 계면절연파괴 그리고 절연체 절연파괴 등을 들 수 있다. [4] 이 가운데서 계면절연파괴는 접속재 시공시 발생하는 결함 및 수분침투로 인해 접속재와 케이블 절연체의 계면에서 일어나며 가장 많은 가능성을 지니고 있는 요인이 된다. 계면의 절연성능에 대한 연구 결과들로부터 [5] 계면의 압력과 실리콘 구리스의 도포상태 등에 대한 결과들은 발표되었지만 계면에서 발생되고 있는 결함의 상태를 진단하

기 위한 방법에 대해서는 아직 보이지 않고 있다.

본 논문에서는 접속재 계면을 모의한 시료전극과 실 접속재 시료로부터 접속재 계면에서의 결함상태에 따른 부분방전을 측정하고 그 방전형태와 방전원인 결함의 상태를 추정할 수 있는 관계에 대해 살펴보았다.

2. 계면의 방전 특성

2.1 시료 및 측정조건

시료전극의 구조는 그림 1과 같이 직경 10mm 반도전체의 전극이 중앙에 위치된 EPDM 재질로 만들어진 직경 60mm, 두께 20mm의 시편전극을 판상의 XLPE 위에 설치함으로 접속재 구조에서 나타나는 계면을 모의하게 하였다. 그리고 접속재 설치시 나타나는 계면의 압력은 고압부 전극에 일정압력을 가함으로 얻게 하였다.

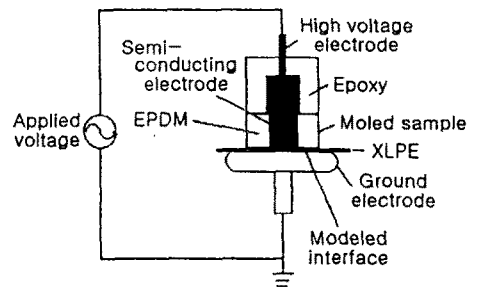


그림 1 접속재 계면모의를 위한 실험전극 구조

전극의 돌기로 인한 결함을 모의하기 위해 얇은 동판으로 바늘형상의 전극을 만들어 계면에 위치시킴으로 침전극 선단부위에 국부 고전계가 이루어지게 하였다. 이러한 고전계는 이 부분에 전하주입을 시작으로 계면에 절연파괴가 발생되게 하는 원인을 제공하게 된다. 그림 2는 사용된 계면의 침전극형상을 나타낸 것이다.

그림 2에 표시된 접지 전극의 폭은 5mm이고 전극간 거리는 20mm 그리고 침전극의 길이는 10mm로

침 전극 끝단에서 접지 전극까지의 거리는 약 10 mm가 된다.

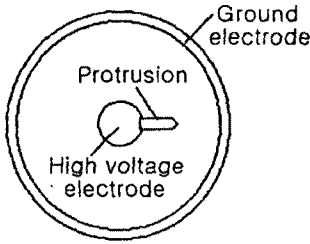


그림 2 시편전극에서의 침 전극 형상

실 케이블 접속재를 이용한 시료로는 그림 3과 같이 시공된 접속재를 중심으로 양쪽 길이가 2.5m 인 케이블 시료를 사용하며 양 케이블 끝단은 중단 접속재로 단말처리를 하여 실험전압 범위에서는 양 단말부에서 부분방전 현상이 발생되지 않음을 확인 하였다.

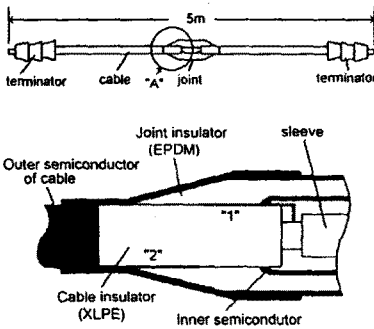


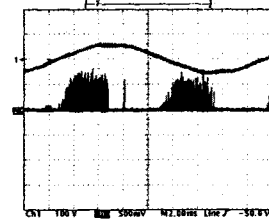
그림 3 실 접속재 시료와 계면부 확대도

실제 접속재를 사용한 시료에서 계면에 인위적 방전원을 만들기 위해 직경 0.2mm의 가는 동선을 계면에 삽입하고 그림 3의 계면 확대도에 표시된 것과 같이 고압측과 접지측에 연결된 두가지 경우의 결합을 구성하였다. 삽입된 동선 끝 부분과 상대측 전극간의 거리는 약 30mm로 접속재 전체 계면길이 60mm의 약 반정도가 되게 하였다. 이러한 두 가지 종류의 시료 즉 시편전극과 실 접속재를 이용한 경우에 대해 전압을 인가하면서 부분방전을 측정하였으며 사용된 부분방전 측정시스템은 IEC 270을 기준으로 한 측정감도 1pC정도의 부분방전 검출기를 사용하였다. 측정은 60Hz전압 사이클 기준으로 256사이클 동안의 부분방전 신호가 중첩되어 측정 되도록 하였다.

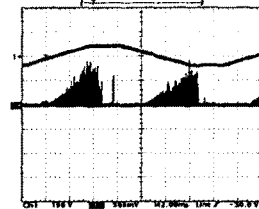
2.2 실험결과 및 검토

접속재에서 트리를 유발시키는 결합이 국부 고전계를 이루게되면 결합부근의 절연체는 전기 화학적

현상에 의해 열화 되기 시작하며 결합 주변으로 공극을 발생시켜 부분방전이 일어나게 된다. 그리고 계속되는 방전으로 트리가 성장해가면서 절연파괴로 이어지게 된다. 또 하나의 대표적 결합인 절연체내 공극도 거의 동일한 과정을 거치지만 초기 공극발생 과정이 생략되는 것으로 볼 수 있다.



a) 인가전압 초기의 부분방전 패턴



b) 절연파괴 직전의 부분방전 패턴

그림 4 시편전극에서 돌출결함에 의한 최대 부분방전 패턴

따라서 일반적 부분방전 검출기에 의해 감지될 정도의 부분방전량이 트리가 원인이 되어 발생된다면 절연파괴의 위험이 높은 것으로 볼 수 있기 때문에 공극과 전기트리의 부분방전을 구별할 수 있게된다는 것은 사고예측의 관점에서 아주 유용한 정보를 가지게되는 것이다.

그림 4는 시편전극의 경우 전압이 인가된 초기(a)와 절연파괴가 발생되기 직전(b)의 부분방전의 최대크기 패턴을 나타낸 것이다.

관련된 연구들에 의하면 측정된 방전패턴에 대한 다양한 통계적 연산자를 사용하여 방전특성에 대한 지문화룰 수행하고 있으며 본 측정결과와 같은 경우 정규분포에 대한 비대칭성의 정도를 나타내는 skewness가 방전원 구분을 위해 적절한 것으로 판단된다. 그림 4 a)의 결과에서 전원전압 정,부극성에 대한 skewness는 0.11과 0.34로 두 영역 모두 양의 값을 가지는 것으로 나타나며 그림 4 b)에 나타난 skewness는 -0.47과 -0.53으로 두 영역 모두 음의 값으로 변경됨을 볼 수 있다. 이 결과는 결합 끝단 부분에 나타난 초기의 공극성 결합이 인가전압의 방전현상에 의해 열화가 계속되면서 계면방향으로 트리형태의 결합으로 진행되어 절연파괴로 이어지게 되면서 나타난 것을 보여준

다. 이러한 방전패턴에 대한 skewness경향의 변화는 T.Tanaka의 연구결과[6]에서도 살펴볼 수 있다.

시료전극에서 나타난 이상과 같은 실험결과가 실제 케이블 접속재에서의 방전현상에서도 유사한지를 알아보기 위해 실 접속재를 시료로 한 실험을 실시하였다. 실험조건은 시료전극을 사용한 경우와 동일하며 시료만 전극시료에서 실 접속재 시료로 교체하였다. 그리고 제작된 결합으로부터 열화를 가속화시키기 위해서는 초기결과 측정 후 크기 170kV의 뇌충격 전압을 동 시료에 인가하여 트리가 비교적 용이하게 발생될 수 있도록 하였으며 측정결과는 표 1과 같다. 또 결합의 위치는 그림 3에서 표시된 바와 고압측 결합("1")과 저압측 결합("2")에 대해 각각 설정하여 실험하였다.

표 1 실 접속재에서의 부분방전 측정결과

		고압측 결합		저압측 결합	
		virgin	aging	virgin	aging
전압	positive	0.86	-0.29	0.64	-0.59
극성	negative	0.52	-0.92	0.34	-0.31

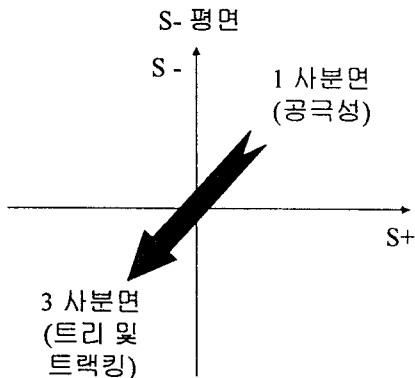


그림 5 s-평면상의 열화에 따른 변화추이

이 결과 역시 뇌충격 전압에 의해 열화가 심화되면서 트리형태의 방전이 발생되게되면 방전패턴의 skewness가 양의 값에서 음의 값으로 이동해 가는 것을 보여주었으며 그림 5는 이러한 결과를 s-평면상에서의 변화추이로 나타낸 것이다.

따라서 부분방전의 패턴분석으로 절연파괴의 위험성이 높은 트리방전을 공극성 방전과 구별할 수 있게 됨으로 진단결과의 효율성이 높아지게 되었다. 그리고 접지측과 고압측 전극의 돌출결합에 의한 방전특성은 두 가지 측면에서 서로 다르게 나타났다. 먼저 방전 개시전압이 고압전극의 돌출결합시 훨씬 낮게 나타나서 계면방향으로의 절연열화가 접지측 결합에 비해 용이하게 진행될 것으로 추정된다. 그리고 접지측 결합의 경우는 계면방향 뿐 아니라 케이블 절연체를 관통하는 절연열화가 진행

된다는 것도 고려되어야 한다는 점이다.

3. 결 론

본 논문에서는 고체절연체 계면에서 발생된 방전의 형태를 식별하는데 skewness를 이용한 부분방전 패턴분석 방법이 유효하게 사용될 수 있음을 보였다. 본 실험에서 나타난 열화진행에 따른 방전패턴의 특징으로는 열화 초기 공극성 결합의 경우에는 인가전원의 양극위상에서 Sk가 모두 양의 값으로 나타나다가 열화가 진행되면서 트리형태를 나타내게되면 모두 음의 값으로 변화되어 감을 보였다. 이러한 현상과 관련된 물리적 성질에 관한 고찰은 추후 계속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1]C. Laurent and C. Mayoux, "Partial discharge-PartXI: Limitations to PD as a diagnostic for deterioration and remaining life," IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 8, No. 2, March/April, 1992
- [2]Boggs, S.A., "Partial discharge: Cavity-induced PD in solid dielectrics," IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 6, No. 6, November/December 1990
- [3]C. Laurent and C. Mayoux, "Analysis of the propagation of electrical treeing using optical and electrical methods," IEEE Trans. on Electrical Insulation Vol. EI-15, No. 1, February 1980
- [4]L. Lamarre and C. Dang, "Characterization of medium voltage cable splices aged in service," Proceedings of the Jicable 91 International Conference, Versailles, France, June 24-28, pp. 298-304, 1991
- [5]D. Fournier and L. Lamarre, "Effect of pressure and length on interfacial breakdown between dielectric surfaces," Conference Record of the 1992 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Baltimore, MD USA, pp. 270-272, June 7-10, 1992
- [6]T. Tanaka, "Internal partial discharge and material degradation," IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-21, No. 6, pp. 899-905, December, 1986