

부싱에서 발생하는 부분방전 신호를 이용한 패턴분석(1)

이 창준*, 박 지훈*, 함 길호*, 김 혁태*, 김 평중**
 *LG산전 PT&T, 동우전기공업(주)

Pattern Analysis by Using PD Signal generated in Bushings

Chang-Jun Lee*, J-H Park*, Kil-Ho Ham*, Hyuk-Tae Kim*, Pyung-Jung Kim**
 *LGIS PT&T, **Dong Woo Elec. co., Ltd.

Abstract - Partial Discharge is non-disruptive discharge, which can be discriminated to 3 kinds as firstly, internal discharge which is caused by internal voids inside of insulator, secondly, surface discharge which occurs from the surface of insulator and finally, corona discharge which is from the surface of an electrode.

In this thesis, three kinds of defects are artificially made to the inside and the surface of the epoxy resin bushing with internal voltage detection sensor, which is practically equipped into SF6 gas insulated distribution line, so that discrimination of three kinds of PD signals by means of phi-q-n pattern analysis method was performed.

1. 서 론

계통에서 절연체에 고전압이 인가되면 절연과피 이전에 국부적인 방전이 발생하게 된다. 이 방전을 부분방전이라고 통칭하며, 계통의 절연성능을 평가하는 중요한 시험방법이다. 부분방전은 절연체 내부의 결점에 의한 보이드 방전, 전극 표면에서 발생하는 코로나 방전 그리고 절연체 표면에서 발생하는 표면방전으로 대별되며, 이들에 의해 나타나는 부분방전 현상 매우 역시 다르게 나타난다. 하지만 역으로 현상을 가지고 방전의 원인을 찾아내기는 매우 어렵다. 이러한 난점을 보완하기 위해 부분방전 신호가 가진 수많은 정보를 검출/분석하는 방법이 활발히 수행되고 있다. 또한 보다 나은 신호분석을 위하여 수많은 factor와 통계처리방법들이 연구되고 있다. 하지만 이러한 분석기법을 실제 제품에 적용하기는 쉽지 않으며, 적용한 예도 그리 흔하지 않다.

따라서 본 논문에서는 이러한 방법 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 phi-q-n 패턴분석법을 실제 제품에 적용하였다. 사용된 시료는 현재 계통에서 많이 사용되고있는 전압검출용 예폭시 부싱을 이용하여 부분방전 신호를 검출하였으며, 이 신호를 이용하여 패턴분석을 수행하였다. 시료에 임의로 보이드 및 금속성 이물질질을 주입하고, 표면과 전극에 각각 크기가 다른 바늘 모양의 전극을 삽입하여 시료로 사용하였다. 측정은 수십ns의 펄스폭을 가지는 신호의 검출이 충분히 가능하도록 1GS/s급 오실로스코프를 사용하여 Sampling Rate를 설정하였다.

결과적으로, 각 결점별로 상이한 결과를 얻을 수 있었으며 이러한 신호를 왜도, 첨도등의 factor를 사용하여 각각의 결점을 서로 분리해 내는 것이 가능할 것으로 생각된다

2. 실험 장치

본 실험에서는 실제 제품으로 사용되고 있는 전압검출기능을 내장한 예폭시 부싱을 사용하였다. 이 시료의 내부에는 전압검출과 전계완화를 목적으로한 스크린 월드가 있고, 전압을 검출하는 외부단자와 연결되어 있다. 실제로 많이 발생하고 있는 사고의 상황을 모의하기 위해서, 본 실험에서는 예폭시 부싱의 외부에 바늘형상의 금속성 이물질질을 배치하였고, 또한 내부에 임의로 보이드를 배치하여 이때 발생하는 부분방전 신호를 검출·분석하였다.

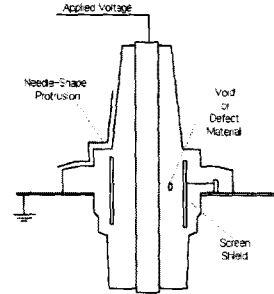


그림 2-1. 시료의 형태 및 결점배치의 개략도

또한, 본 실험에서는 현재 LG산전 시험기술센터에서 부분방전 시험설비로 사용하고 있는 로빈슨 PD시험 시스템을 이용하였으며, 여기서 검출되는 아날로그 신호는 수동 적분기를 통하여 디지털 오실로스코프에서 디지털 신호로 처리되었다. 오실로스코프에서 검출된 아날로그는 다시 GPIB를 통하여 컴퓨터로 전송되며, 소프트웨어에서 피크신호를 검출·저장하여 이 신호를 패턴 분석하였다.

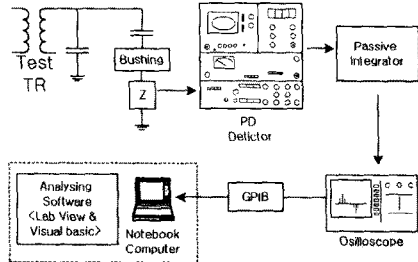


그림 2-2. 시험 및 측정 시스템

실험에 사용된 계측기는 500MHz, 1GS/s의 성능을 가지는 오실로스코프로 신호를 검출하였으며, 그 앞단에 적분기를 사용하여 피크신호가 디지털 신호로 샘플링 될 때의 오차를 최소화하였다.



그림 2-3. 측정기기 세팅 사진

오실로스코프에서 출력되는 이상신호는 PC에서 Visual Basic, LabView를 이용하여 신호를 처리하였다. Sampling rate는 수십 ns 수준의 펄스의 peak를 검출할 수 있도록 조절 하였으며, 크기는 약 800(pC)까지 처리할 수 있도록 설정하였다. 패턴의 처리를 위하여 방전전하량은 800(pC)을 최대치로 64등분하였으며, 위상각은 360도를 64등분하여 총 64×64의 Map을 작성하였다.

3. 실험 결과

본 시험에 사용한 시료는 크게 두가지의 그룹으로 나뉘어지는데 하나는 표면에서 발생하는 방전을 검출하기 위한 시료이며, 다른 하나는 내부 보이드에 의한 방전을 검출하기 위한 시료들이다. 표면에서 발생하는 부분방전을 검출하기 위하여 부싱 표면에 직경 0.5mm, 길이100mm, 80mm, 60mm, 40mm의 전극을 스크린 접지로부터 먼곳과 가까운곳에서 각각 실험 하였다.

내부 이물질에 의한 부분방전 특성을 보기 위하여 보이드와 금속성 이물질을 인공적으로 주입하여 시료로 사용하였다.

3.1 정상적인 부싱의 패턴

내부 및 표면에 깨끗한 상태의 부싱을 부분방전이 발생할 때까지 전압을 인가하여 검출된 신호를 패턴분석하였다.

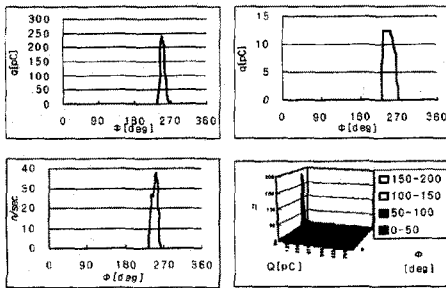


Fig 3-1. 정상 부싱의 패턴분포

좌측 상단부터 phi-qmax, phi-qaverage, q-n/sec, phi-q-n순서로 나타내었다.

이 경우에는 약 36kV에서 방전이 시작되었으며, 27kV에서 측정하였다. 시험시에 육안으로 관찰한 바로는 3사분면에 유사한 크기의 방전이 큰 폭으로 배치되는 것을 볼 수 있었으며, 방전 개시 시의 크기나 전압을 더 높인 경우에도 그 형상이나 크기가 크게 변함이 없는 것으로 판정되었다. 이것은 전형적인 기중 코로나 현상으로 표면에서의 기중방전이 발생하는 것으로 판단되며, 본 부싱이 24kV급인것을 감안하면 그 특성은 매우 우수한 것으로 생각할 수 있다.

검출된 방전신호는 실제로 위상각241도에서 253도 사이에서 발생하였다. 전체적인 경향은 부극성 인가전압의 기울기가 피크인 지점에서 나타났으며, 방전 전하량의 크기도 10(pC)내외의 적은 방전전하량이 집중적으로 발생하는 것이 판측 되었다.

3.2 스크린 설드가 되어있지 않은 부싱의 패턴

시험에 사용된 부싱은 전계를 완화하기 위하여 스크린 설드를 접지와 도체 사이에 사용하는 구조로 되어있다. 하지만, 이 스크린의 접지를 하지 않은 경우, 이 스크린은 접지와 도체 사이에 floating 되어있는 형태를 띤다. 이에 대한 부분방전 패턴을 그림 4에 나타내었다.

이 시료는 14kV에서 방전이 개시 되었으며, 16kV에서 측정하였다. 육안으로 관찰된 파형을 보면, 상한에서는 0~113도 사이에서, 부극성에서는 202~293도 사이에서 나타났다. 정극성에서

보다 넓은 범위에 분포되는 것을 볼 수 있다. 누락된 신호의 희수는 부극성 보다 정극성에서 높게 나타났으며, 방전 전하량은 반대로 부극성이 정극성 보다 넓게 분포하는 경향을 나타냈다.

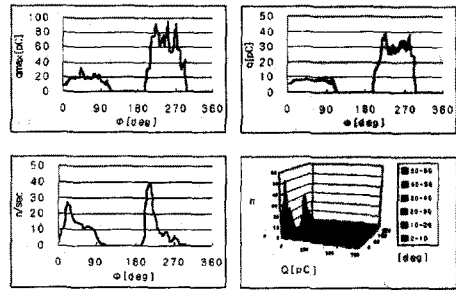


그림 3-2. 스크린 접지를 하지 않은 경우의 패턴

이 시료는 14kV에서 방전이 개시 되었으며, 16kV에서 측정하였다. 육안으로 관찰된 파형을 보면, 상한에서는 0~113도 사이에서, 부극성에서는 202~293도 사이에서 나타났다. 정극성에서 보다 넓은 범위에 분포되는 것을 볼 수 있다. 누락된 신호의 희수는 부극성 보다 정극성에서 높게 나타났으며, 방전 전하량은 반대로 부극성이 정극성 보다 넓게 분포하는 경향을 나타냈다.

스크린 접지를 하지 않은 경우와 비교하여 많이 다른 결과들을 나타내는 것을 볼 수 있다. 먼저 펄스의 발생은 양극성 모두에서 발생하는 것을 볼 수 있으며, 방전전하량과 발생위상각은 전반적으로 좀 더 넓은 분포를 나타내는 것을 볼 수가 있었다.

Phi-q의 경향을 보면 평균치들의 배치가 피크치들의 배치보다 균등하게 나타났으며, 피크치들의 배치가 각 극성에서 초기부분에 몰려 있는 것으로 보아, 각 극성의 발생 초기에 보다 큰 산포를 보이며 뒷부분에서 안정화되는 경향을 볼 수 있다.

3.3 표면에 금속성 이물질이 존재하는 경우의 패턴

부싱 표면에 금속성 전극을 설치하여 그 변화의 추이를 분석하였으며, 그 결과를 그림 3.3에 나타내었다.

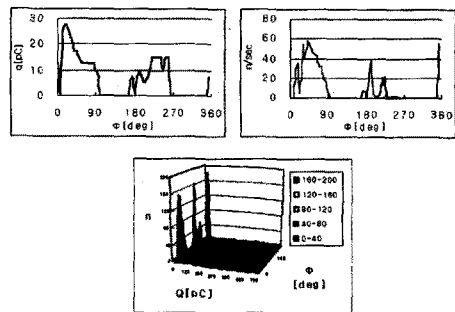


그림 3-3. 표면 금속성 이물질에 대한 패턴

이 경우 직경 0.5mm, 100mm의 전극을 부싱 표면을 따라 배치 하였으며, 부분방전 발생이 3kV부근의 아주 낮은 전압에서 발생하였다. 측정은 5kV 에서 측정 하였다.

발생의 경향을 보면, 전압인가가 0점을 통과하는 부분을 중심으로 하여 앞뒤로 나타났다. 정극성의 펄스는 11.25~112.5도 사이에 나타났으며 22.5와 354도의 두군데에서 피크가 나타났다. 음극성의 분포는 178.75~258.75에서 나타났으며 192도와 225도의 두군데서 피크가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 반복 시험한 결과 피크치가 두군데가 나타나는 경우도 있고 나타나지 않는 경우도 있었으며, 전극의 크기와도 무관한 현상을 보인다.

방전 전하량은 크지 않고 빈도수가 매우 큰 날카로운 형태를 보인다. 이것은 일정한 크기의 펄스가 안정적으로 발생한다는 것을 의미한다. 위상각에 대한 분포는 정극성 101도, 부극성 80도로 비교적 넓게 나타났다.

3.4 보이드가 존재하는 경우의 패턴

예폭시 내부에서 임의의 발생시킨 보이드에 의한 영향을 알아보았으며, 아래 그림 3.4와 같은 결과를 얻었다.

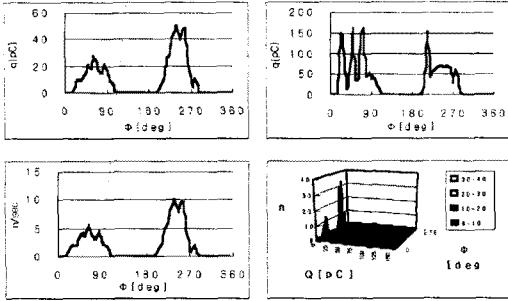


그림 3-4. 내부 보이드방전에 의한 부분방전 특성

이 시료는 약 18kV에서 방전을 개시 하였으며, 20kV에서 측정 하였다. 이 시료는 부분방전 개시시의 방전 펄스가 매우 컸으며, 육안상의 펄스간격은 크지만 그 위치는 일정한 범위 내에서 불규칙적으로 나타났다. 하지만 위의 phi-n 그래프에서 보듯이 빈도는 위상각에 따른 차이가 나타난다. 방전은 정극성에서 22.5~118도, 부극성에서 200~296도 사이에서 나타났다. 정극성의 경우 전반적으로 편차가 부극성 보다 크게 나타나는 것으로 보인다. 정,부극성 모두 50(pC)정도이내에서 많은 방전을 보이다가 다시 100(pC) 이상에서 드문드문 나타나는 것을 볼 수 있다. 방전 전하량은 정극성보다 부극성이 더 크게 나타났다.

발생빈도는 정극성 보다 부극성이 더 많은 것으로 나타났으며, 특히 작은 방전량을 가진 신호의 경우 극성에 따른 편차가 매우 크게 나타났다. 하지만, 발생위치를 보아 전형적인 보이드 방전의 형상을 띄고 있다.

3.5 금속성 이물질이 존재하는 경우의 패턴

전극 사이에 금속성 이물질이 존재하는 경우의 패턴을 알아보기 위하여 스크린 실드와 도체 사이에 금속성 이물질을 인공적으로 삽입한 후, 실험하였으며, 그 결과를 그림 3.5에 나타내었다.

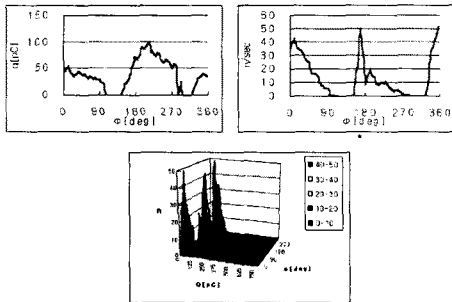


그림 3-5. 내부 금속성 이물질에 대한 패턴

이 시료는 약 16kV에서 방전을 개시 하였으며, 기중방전과의 비교를 위하여 20kV에서 측정 하였다. 이 시료는 부분방전 개시시의 방전 펄스가 발생순간 매우 컸으며, 기중 보이드와 유사하게, 펄스간격은 크지만 그 위치는 일정한 범위 내에서 불규칙적으

로 나타났다. phi-n 그래프에서 보듯이 빈도분포는 정, 부극성에서 매우 날카롭게 나타났다. 방전은 정극성에서 -56~107도, 부극성에서 152~292도 사이에서 나타났다. 하지만 편차의 분포는 기중방전과는 반대로 부극성의 경우 정극성 보다 편차가 크게 나타나는 것으로 보인다.

정·부극성 모두 50(pC)정도이내에서 많은 방전을 보이다가 다시 100(pC) 이상에서 드문드문 나타나는 것을 볼 수 있다. 방전 전하량은 정극성보다 부극성이 더 크게 나타났다.

발생 빈도는 정극성보다 부극성이 더 많은 것으로 나타났으며, 특히 작은 방전량을 가진 신호의 경우 극성에 따른 편차가 눈에 띄게 나타난 것은 아니다.

3.5 정량적 분석

임의의 결점에 대한 정보를 가지고 그 원인을 찾기 위해서는 여러 가지 Factor에 대하여 정량적으로 분석하여야 보다 정확한 원인을 파악할수 있다. 따라서, 본 절에서는 실험에서 얻어진 데이터의 정량적분석을 위하여 phi-q, phi-n, q-n의 2차원 배열 데이터에 대한 왜도(skewness)와 첨도(kurtosis)를 구하였다. 이때 사용된 수식은 아래와 같다

$$\text{skewness} : \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^3$$

$$\text{kurtosis} : \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{x_i - \bar{x}}{s} \right)^4 - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

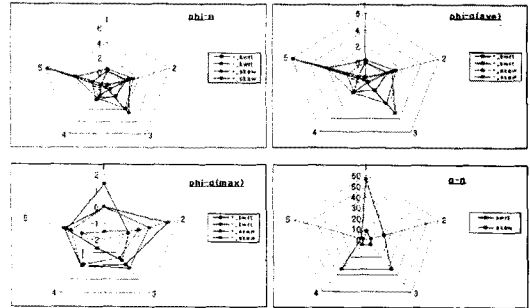


그림 3.6 왜도와 첨도 분석

본 시험의 결과에 대하여 정확한 의미를 알아보기 위해서는 다른 시험결과와 보다 면밀한 비교가 필요하다.

4. 결론 및 향후계획

실제 계통에서 사용되고 있는 SF₆가스 개폐기용 예폭시 부싱을 사용하여 부분방전 패턴분석을 실시 하였으며, 각각의 결점에 대하여 서로 구분할수 있는 결과를 얻었다. 이 결과를 바탕으로 사고시 혹은 활성 상태에서 이상이 발생할 경우 시료에 변화를 주지 않고 외부에서 그 이상부위를 관찰하는 것이 판별하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

(참고 문헌)

- [1] I.Gallimberti, G. Marchesi and R. Turri, "Corona formation and Propagation in Weakly and Strongly Attaching Gases", 8th International Conf On Gas Discharges, Oxford, pp. 587-594, 1985
- [2] Lutz Niemeyer, "A Generalized Approach to Partial discharge Modeling", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 4, pp. 510-524, 1995.
- [3] R.E. James and B.T. Phung, "Development of Computer-based Measurements and their Application to PD Pattern Analysis", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 2, no. 5, pp.838-855, 1995.