

스페이서에 Metal flange가 있는 GIS에서의 UHF PD 측정 기술 연구

강원중, 이창준, 강윤식, 박종배, 이희철, 박종화
LG산전(주) 전력시험기술센터

A study on the UHF PD measuring technique for GIS with a metal flange around insulating spacer

W. J. KANG, C. J. LEE, Y. S. KANG, J. B. PARK, H. C. LEE, J. W. PARK
PT&T, LG industrial systems. Co., Ltd.

Abstract - In the recent years, UHF PD measuring technique for detecting partial discharges was proved the effective method for Gas Insulated Switchgear (GIS). However, in case of GIS with a metal flange around insulating spacer, UHF PD measurement using typical external UHF PD sensor is difficult.

In this paper, a novel hole-type UHF PD sensor based on Archimedean spiral antenna theory has been proposed and realized. All spacers with metal flange have small hole in order to inject epoxy. Using the novel hole-type UHF PD sensor, it makes detection possible to PD signal that are emitted through the epoxy injection hole. Additionally, the measuring characteristic of UHF PD signals from several artificial defects in GIS and the novel ϕ -f-q pattern analysis technology are discussed.

1. 서 론

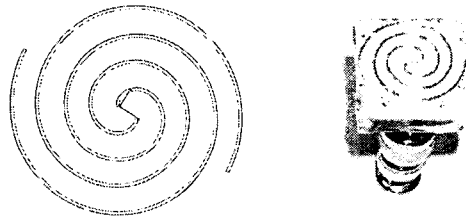
GIS(Gas Insulated Switchgear)는 우수한 절연내력과 차단성능, 낮은 유지보수 비용, 도심지역 등에도 건설이 가능하다는 장점들 때문에 전력계통에 많이 설치되고 있다. 그러나 설비가 고가이고 사고 발생시 재산상의 손실이나 계통에 미치는 영향이 크며, 복구비용이 비싸고 장시간 소요되는 단점들도 가지고 있다. 따라서, 사고예방을 위하여 예방진단 기술의 개발 및 적용 필요성이 매우 요구되는 상황이다.

1980년대 이후 CIGRE를 중심으로 GIS 내부 결함을 검출하는 연구가 진행되어 왔으며, 현장적용에 적합한 기술로서는 UHF 측정 기법과 AE측정 기법을 중심으로 연구가 진행되어 왔으며, 현재 많은 부분이 on-line 상태의 설비에 적용되어 시험 되고 있다.[1] 초고압 GIS용 UHF PD 센서는 내장형과 외장형으로 크게 두 가지 형태로 구분할 수 있다. 내장형 센서는 감도는 우수하나 센서의 취부는 GIS의 제작이나 유지 보수 기간을 이용해야만 하는 단점이 있다. 외장형 센서는 내장형에 비하여 감도는 떨어지나 어느 현장에서도 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.[2][3][4] 따라서, 현재 설치중인 GIS에는 내장형 UHF PD 센서가 취부 되고 있으며, 운전 되고 있는 GIS의 진단 시에는 외장형 UHF 센서와 방전 발생위치 추적이 용이한 AE PD 측정 시스템이 동시에 이용되고 있다.[5] 그러나 이미 설치되어 운전중에 있는 GIS 중에서 스페이서 metal flange가 있는 일부 GIS에서는 기존의 외장형 UHF PD 센서를 이용한 PD 진단이 불가능 하다. 이것은 GIS내에서 발생한 전자파가 metal flange 때문에 스페이서를 통해 방사되지 못하기 때문이다. 그러나, 모든 metal flange에는 에폭시 볼드름 주입을 위한 지름 수 cm 정도의 구멍이 존재한다. 본 논문에서는 미약하지만 metal flange의 에폭시 주입 구멍으로 방사되는 UHF PD 신호의 검출이 가능한 새로운 형태의 홀형 PD 센서의 특성 및 PD 검출 결과를 보여준다.

2. 본 론

2.1 스파이럴 안테나의 원리 및 구조

본 연구에서 에폭시 스페이서의 주입구에서 PD를 측정하기 위하여 개발한 홀형 UHF PD 센서는 archimedean 스파이럴 안테나의 원리를 이용하여 제작하였다. 이러한 안테나는 주파수에 무관한 특성을 갖는다. 이것의 구조가 그림 1(a)에서 보여지며, 그림 1(b)는 LG산전 GIS용으로 개발된 proto-type 홀형 센서의 사진이다. 이 센서는 전파연구소 야외시험장에서 표준 안테나와의 비교시험을 통한 UHF 대역에서의 성능 검증을 수행하였다. 구조 및 크기에 의한 센서 제작상의 제약 때문에 기존의 내/외장형 센서보다는 안테나로서의 이득이 약 -10dBm 정도 감소 하였으나 PD 측정에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.



(a) 스파이럴 안테나의 구조 (b) 제작된 센서 사진
그림 1. 홀형 스파이럴 UHF PD 센서의 구조 및 사진

위의 그림에서 센서의 스파이럴 형태의 팔의 궤적은 식 1과 같다.

$$r = r_0\phi \text{ and } r = r_0(\phi - \pi) \quad (1)$$

여기서, r_0 는 스파이럴 상수, ϕ 는 회전각이다. [6][7]

2.2 실험 장치 및 방법

그림 2는 UHF PD 측정 시험을 위한 LG산전의 단상 모의 GIS이다. 사진에서 보는 바와 같이, 이것은 두 개의 스페이서, 전압 인가를 위한 부싱, 작업 및 내장형 센서 취부를 위한 감시창으로 구성되어 있다. 내부 도체의 지름은 23mm이고 외함의 내경은 267mm, GIS의 길이는 1.9m이다. 실험중에는 실제 운전환경과 같이 SF₆ 가스를 5기압으로 채운상태에서 내부에 결함을 넣고 실험하였다. 본 실험에서 사용된 GIS의 스페이서의 사진이 그림 3(a)에서 보여진다. 사진에서와 같이 에폭시 주입구의 형태는 원형이며 지름은 3cm이다. 이러한 주입구의 형태 및 크기는 GIS의 제작사 및 모델에 따라 여러 가지 형태를 갖는다. 그림 3(b)는 홀형 PD 센서를 스페이서의 외부에 취부한 모습이다. 외부 노이즈가 센서로 유입되는 것을 방지하기 위하여 금속 호일로 센서의 외부를 차폐하였다.

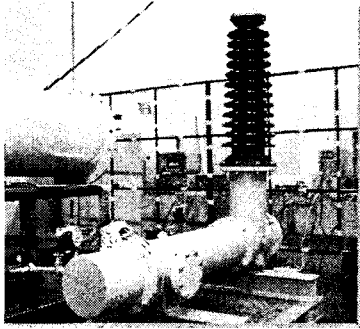
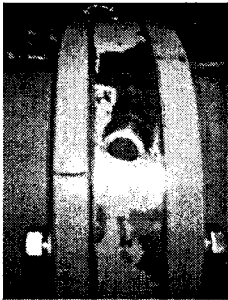


그림 2. 실험용 모의 GIS 사진



(a) 에폭시 주입구



(b) 센서를 취부한 모습

그림 3. 실험에 사용된 스페이스의 에폭시 주입구 및 PD 측정을 위하여 센서를 취부한 모습

그림 4는 실험 설비의 개략도를 보여준다. 이것은 100kV AC 변압기, 1000:1 분압기, 모의 GIS, CT 센서, 주파수 분석기(Agilent 4402B), 오실로 스코프(Lecroy WM8300A), UHF preamp, 홀형 센서, PC로 구성되어 있다. 여기서 사용된 CT 센서는 IEC60270에 기초한 PD 측정 장비를 이용하여 교정하였으며, PD의 발생 유무 및 걸보기 전하량을 측정하기 위하여 사용되었다. UHF 대역 preamp는 300MHz~2GHz 대역에서 20dB의 이득을 갖도록 설계 제작하였으며 오실로스코프는 CT 센서 출력 신호 및 UHF PD 검출신호를 측정하기 위하여 측정 범위 3GHz, 샘플링 20Gs/S를 갖는 제품을 사용하여 측정을 수행하였다. LGIS PD 검출기, 주파수 분석기, 오실로 스코프의 출력 신호는 GPIB를 통하여 PC로 전송되어 데이터 저장 및 신호처리가 수행되었다.

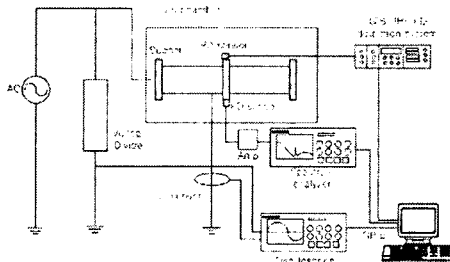


그림 4. 실험 설비의 개략도

2.3 실험 결과

2.3.1 주위 노이즈 측정

홀형 PD 센서와 preamp를 이용해서 실험실 주변의 전자파 노이즈 신호 레벨을 측정하였다. 측정 주파수 대역은 100MHz ~ 2GHz이고 resolution band

width(RBW)는 3MHz, sweep time은 100ms이다. 주파수 분석기로 측정된 파형이 그림 5에 보여진다. 이동전화 주파수 대역(880MHz, 1.8GHz)대역을 제외한 거의 모든 대역에서 -50dBm 이하의 낮은 수준의 전자파 노이즈만이 측정되었다.

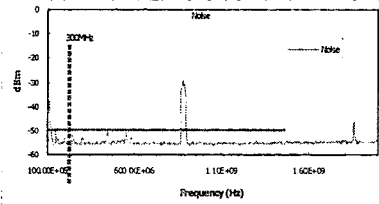


그림 5. 홀형 센서로 측정된 실험실 주위의 전자파 노이즈 레벨(100MHz~2GHz)

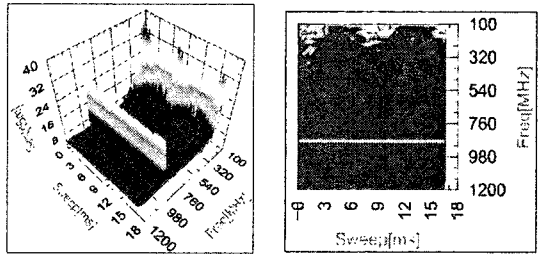
2.3.2 UHF PD 측정

모의 GIS내에서 PD를 발생시킨 후 UHF PD 신호를 측정하는 실험이 수행되었다. 방전을 일으키기 위한 인공 결함은 다음 세 가지 형태의 결함이 사용되었다.

- (1) 절연 스페이스에 부착된 금속 이물질-표면 방전
- (2) 도체와 외함 사이의 부유 금속 이물
- (3) 도체부의 돌기

실험실에서 위의 결함들에 대하여 고전압을 인가한 후 PD를 발생시켜 그때의 신호를 현대역 UHF 측정기법을 이용하여 수행하였다. 결과 파형은 본 연구에서 국내외 최초로 제안하는 Φ -f-q 패턴으로 보여준다. 이 패턴은 300MHz부터 1.2GHz 사이에서 각 20MHz마다 zero span 모드로 측정(sweep time은 16.67ms)한 Φ -q 패턴을 주파수에 대하여 3D로 보여준 것이다.

그림 6은 부유 전극에 의하여 약 50pC 정도의 걸보기 전하량이 발생하는 경우에 대한 측정 결과를 보여준다. 그림 6(a)는 3D Φ -f-q 패턴이다. 이 그림에서 보여지듯이, 측정시의 sweep 시간은 60Hz 상용 전원의 한주기 시간인 16.67ms이고, 측정 주파수는 100MHz에서 1.2GHz 까지 50MHz 단계로 측정하였으며, 신호의 크기는 기준 노이즈 레벨을 기준으로 하여 dBm 단위로 표시하였다. 6(b)는 (a)에서 보여진 Φ -f-q 패턴 결과를 이미지 패턴 분석을 위하여 2D로 표현한 것이다. 여기서, 빨간색 부분은 출력신호의 크기가 큰 부분이며, 자주색으로 표현되는 부분은 측정된 신호의 크기가 거의 노이즈 수준임을 의미한다. 이 결과에서 볼 때 500MHz 이하의 주파수 대역에서만 신호가 측정되는 것으로 나타났다.



(a) 3D Φ -f-q 패턴 (b) 2D Φ -f-q 패턴
그림 6. 부유 전극 결함에 대한 Φ -f-q 패턴

그림 7은 임의로 선택한 특정 주파수 대역에서의 Φ -q 패턴을 보여주고 있다. 이 그림은 zero span 모드로 중심주파수 340MHz, peak detect 방식을 이용하여 3분간 측정된 결과이다. 기존의 IEC60270에 기초한 방식을 이용하여 부유 전극에 대하여 측정된 일반적인 결과들과 유사한 형태를 보임을 알 수 있다. 피크 부분에서

는 기준 레벨에 비하여 약 10dBm 정도의 전자파가 측정됨을 볼 수 있다. 이러한 패턴은 센서의 측정 위치, 측정시의 중심주파수 등에 의하여 영향을 받는다.

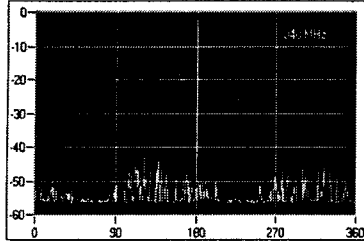
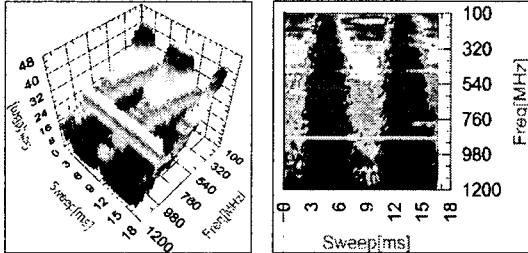


그림 7. 부유 전극 결합에 대한 340MHz에서의 ϕ -q 패턴

그림 8은 절연 스페이서 표면에 지름 1mm, 길이 20mm의 원통형태의 알루미늄 이물질이 붙어 있는 경우에 대한 실험 결과 파형이다. 발생하는 결보기 전하량의 크기는 100pC 이고, 다른 측정 조건은 금속 부유 전극때와 동일하다.



(a) 3D ϕ -f-q 패턴 (b) 2D ϕ -f-q 패턴
그림 8. 표면 방전에 대한 ϕ -f-q 패턴

그림 9는 zero span 모드로 720MHz 대역에서 측정을 수행한 결과 파형이다. 피크 부분에서 기준 레벨에 비해 약 20dBm 정도의 전자파가 측정되고 있음을 볼 수 있다.

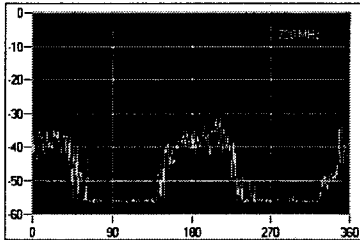
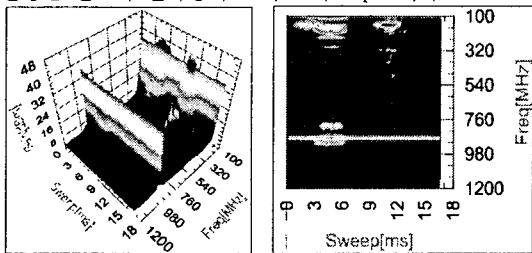


그림 9. 표면방전에 대한 720MHz에서의 ϕ -q 패턴

그림 10은 도체부 돌기 결합에 의해 발생하는 PD신호를 측정된 결과이고, 전자파 신호는 500MHz 이하 대역과 900MHz 대역에서만 발생함을 볼 수 있다. 이때 발생된 결보기 전하량의 크기는 약 50pC 이다.



(a) 3D ϕ -f-q 패턴 (b) 2D ϕ -f-q 패턴
그림 10. 표면 방전에 대한 ϕ -f-q 패턴

그림 11은 900MHz 대역에서 홀형 센서를 이용해 측정한 zero span 결과 파형이다. 이 대역에서는 500MHz 이하의 대역과는 달리 부극성 부분의 신호는 측정되지 않았으며 정극성 부분에서 큰 신호가 검출됨을 볼 수 있다.

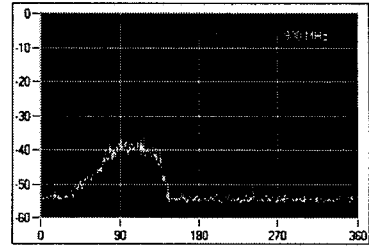


그림 11. 도체부 돌기 결합에 대한 900MHz에서의 ϕ -q 패턴

위의 실험 결과를 보면, 각각의 결합에서 발생하는 PD 전자파 신호의 패턴은 결합의 종류와 측정 주파수대역에 따라 달라짐을 볼 수 있다. 이러한 측정 기법은 협대역 UHF PD 검출기법만이 가지는 장점이며, 기존의 광대역 측정 기법보다 우수한 S/N 비를 갖는 특징이 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 스페이서에 metal flange가 있는 GIS에 적용이 가능한 외장형 UHF PD 센서를 개발하였다. 이 센서를 이용하여 실험실 내에서 LG산전의 시험용 모의 GIS 내부에 여러 가지 형태의 인공 결합을 설치하고 PD 측정을 수행한 결과 우수한 성능을 보였다. 이 센서를 이용하면 기존의 외장형 센서로는 측정이 어려웠던 GIS에 대해서도 UHF PD 진단기법의 적용이 가능하다. 또한, 협대역 UHF 측정기법을 이용한 새로운 부분 패턴 분석 기법인 ϕ -f-q 분석 기법의 가능성을 보였으며, 이러한 연구 결과를 바탕으로 방전원 판별을 위한 ϕ -f-q 데이터 베이스 구축 및 알고리즘에 관한 연구가 진행되고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] CIGRE Task Force 15/33/03.05 of working group 15.03, "PD detection system for GIS: sensitivity verification for the UHF method and the acoustic method", Electra, No. 183, pp. 75-87, 1999
- [2] B.F.Hampton, R.J.Meats, "Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations", IEE proceedings, vol. 135, No. 2, 1988
- [3] W.R.Rutgers, R.Ross and T.G.M Rijn, "On-line PD detection techniques for assessment of the dielectric condition of HV components", pp. 481-484, 7th ICSD, 2001
- [4] C.J.Lee, W.J.Kang, H.C.Lee, J.W.Park, "A study on the UHF PD measurement for the HV apparatus", pp. 223-226, Joint conference of ACED & KJ symposium on ED and HVE, 2002
- [5] Sander Meijer, "Partial discharge diagnosis of High-voltage GIS", 2001
- [6] Paul C Wernts, et al, "Design, analysis and construction of an Archimedean spiral antenna and feed structure", Sortyeaston '89. proceedings, 'Energy and information technologies in the southeast' IEEE vol. 1, pp. 308 313, 1989
- [7] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, "Antenna theory and design", John Wiley & sons, 1998