

주입식 UHF PD 센서를 이용한 유입식 변압기 진단 기술 연구

강원중, 이창준, 강운식, 박종배, 이희철, 박중화  
LG 산전 전력시험기술센터

A study on the oil transformer diagnostic technology using injection type UHF PD sensor

W.J.Kang, C.J.Lee, Y.S.Kang, J.B.Park, H.C.Lee, J.W.Park  
PT&T, LG industrial systems

**Abstract** - 이 논문에서는 유입식 변압할 대상으로 UHF 대역의 펄스신호를 검출하는 센서를 소개하고, 이를 이용한 방전 결합별 측정 결과를 소개한다. 측정결과는 기존의 PRPD법과 주파수 Domain과 위상 Domain에 대한 정보를 가지는 p-f-q 분석으로 측정하였으며, 본 논문에서는 후자의 결과를 중심으로 서술하였다.

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

여기서,  $r_0$ 는 스파이럴 상수,  $\phi$ 는 회전각이다. 방사패턴은 단일 빔이 안테나 면과 직각인 양방향으로 최대가 되고 안테나 면 방향으로는 0이다.

1. 서 론

대용량의 전력용 변압기는 전력 계통 내에서 가장 비싸고 중요한 구성 요소중의 하나이며, 변압기의 신뢰도는 계통 전체의 신뢰도에 많은 영향을 준다. 따라서, 전연파괴에 의한 대용량 변압기의 사고는 계통 전체에 중대한 영향을 끼치며 엄청난 경제적 손실을 가져올 수 있다. 이러한 이유로 초기 상태의 결함을 발견하여 사고를 예방하기 위한 예방 진단 기술이 연구되고 있는 실정이다.

유입식 변압기의 이상을 판정하기 위해서 유증 가스분석 및 AE 센서를 이용한 PD 신호 측정을 중심으로 많은 연구가 국내외에서 진행되어 왔으며, 현장에 적용되어 변압기 진단에 이용되고 있다. 그러나, 근래 들어서 유입식 변압기에서도 UHF(300MHz ~ 3000MHz) PD 측정이 적용 가능하다고 판단하고, 이를 이용한 측정 연구가 진행되고 있다.[1]

본 연구에서는 유입식 변압기 내부에서 발생하는 PD 신호를 측정하기 위한 주입식 UHF PD 센서를 개발하였다. 새로이 개발된 센서는 변압기가 운전중인 상태에서도 센서를 취부할 수 있도록 변압기의 oil drain 밸브를 통해 센서가 주입될 수 있는 주입식으로 개발되었다. 개발된 센서의 특성 시험을 위하여 network analyzer를 이용하여 S-parameter를 조사하였으며, 실 size의 모의 변압기에 대하여 PD 측정 연구를 수행하였다. 본 논문에서는 여러 가지 모의 결합에서 발생하는 PD 신호 측정 결과 및 이를 이용한 PD 패턴 분석 결과를 보여준다.

2. 본 론

2.1 센서의 원리

본 연구에서는 유입식 변압기의 Oil drain 밸브에 설치 가능한 형태의 주입식 UHF PD 센서를 스파이럴 안테나의 원리를 이용하여 제작하였다. 이러한 형태의 센서는 동작 주파수 이상의 주파수 영역에서는 방사패턴과 임피던스 특성은 주파수와 무관하다. 따라서, 이러한 스파이럴 형태를 이용하여 센서를 제작하면 주파수에 무관한 특성을 갖는 센서의 제작이 가능하다. 이것의 구조는 그림 1과 같고, 스파이럴 형태의 판의 궤적은 식 1과 같다.

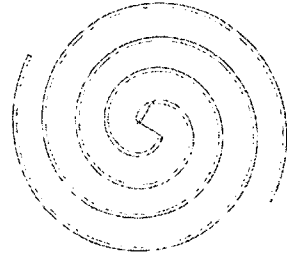


그림 1. 스파이럴 센서의 형태

실제 제작된 proto-type 주입식 센서는 300MHz ~ 1.5GHz 대역에서 최적의 감도를 갖도록 설계 제작되었으며, 형상은 그림 2와 같다. 본 센서는 취부시 밸브 내의 공기가 변압기 내로 유입되지 않도록 공기를 외부로 배출하여 변압기에 영향을 주지 않는 구조로 되어 있으며, 센서의 장시간 측정시에도 변압기 내의 절연유가 밖으로 세지 않는 구조로 되어 있다. 센서는 현재 우리나라에서 운영되고 있는 유입식 변압기의 Oil drain 밸브의 직경이 거의 대부분 1인치와 2인치인 점을 고려하여 두 가지 형태의 센서를 개발하였다. 그림 2는 1인치 drain 밸브에 적용 가능한 센서이다.

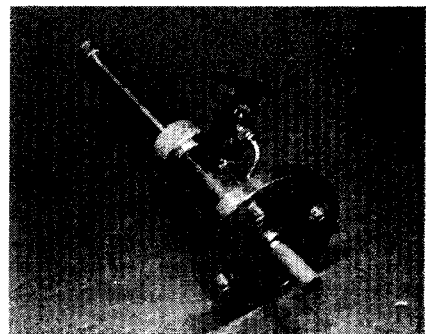


그림 2. 1인치 drain 밸브용 주입식 센서

## 2.2 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 실제 계통에서 사용되는 유입식 변압기와 유사한 형태의 모의 유입식 변압기를 제작하여, 그 내부에 모의 결함을 설치하였다. AC 고전압을 모의 결함에 인가하면 PD 펄스가 발생되며, 펄스의 상승 시간은 1ns 이하이다. 따라서, 이러한 PD 펄스가 유입식 변압기 탱크 내에서 발생하면 수 GHz까지의 전자파가 발생하게 된다.

실험 설비는 100kV까지의 전압 인가가 가능한 시험용 변압기, PD 신호 발생을 위한 모의 결함, 계통 내의 유입식 변압기를 모의한 시험용 변압기, UHF 대역 엠프, 주입식 센서 및 측정 기기로 구성되어 있다. 측정을 위하여 센서는 모의 변압기의 drain 밸브에 설치되었으며(그림 3), 측정된 신호는 케이블을 통하여 엠프로 전달된다. 엠프는 20dB의 이득을 갖고 있으며, 출력된 신호는 오실로스코프(Lecroy, WM 8300A, 20GS/s, 3GHz)와 주파수 분석기(Agilent, 4402B, 9kHz ~ 3GHz)로 전송되고 각각 시간 영역/주파수 영역에서의 분석을 수행하였다. 측정 시스템의 block diagram은 그림 4와 보여진 바와 같다.

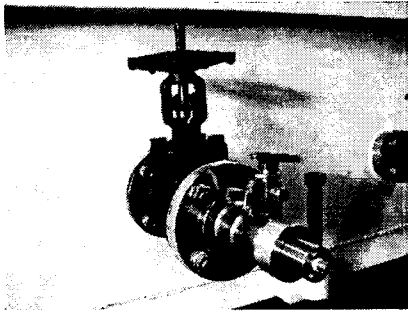


그림 3. 유입식 변압기의 Oil drain 밸브에 센서가 설치된 모습

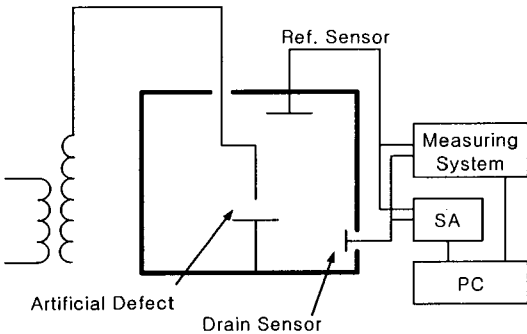
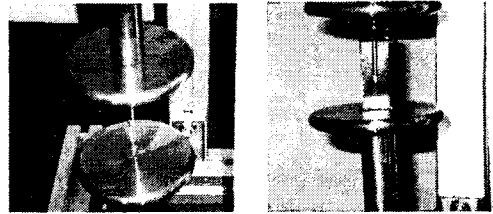


그림 4. 측정 시스템 block diagram

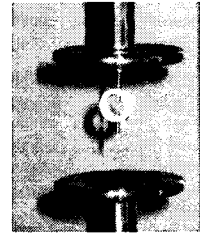
### 2.2 측정 결과

본 시스템을 이용하여 3가지 타입의 결함에 대하여 측정을 수행하였다. 사용한 결함은 코로나 방전전극, 표면방전 전극 및 부유전극에 의한 방전 전극 3가지이다.(그림 5-a,b,c)

이들 결함에 대하여 주파수와 시간의 정보를 모두 가지고 있는 p-f-q 측정 방법을 사용하여 분석하였다.



(a) 코로나 전극      b) 표면방전 전극



c) 부유전극

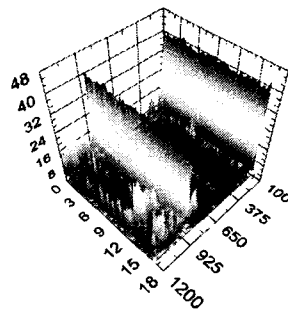
그림 5. 사용된 모의 결함의 종류

### 2.2.1 코로나 방전 분석

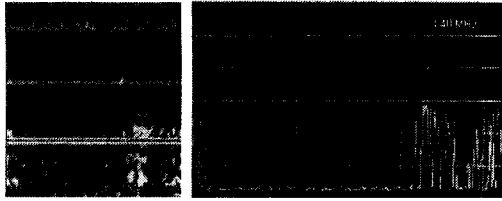
각 결함에 대한 p-f-q 분석의 결과는 그림 6-a,b,c와 같다.

센서의 반경이 작아지면서 감도가 낮아지는 결과를 보이나, 개시되는 방전 에너지가 가스중에 비해 크기 때문에 검출하는 데에는 이상이 없었다.

실험 결과, 코로나 방전은 신호자체의 특성상 또는 감쇄도에 의하여 크게 검출되지 않는 것을 알 수 있었다. 코로나 발생부위를 옮겨가면서 측정 하였지만 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 특징으로는 낮은 주파수 보다는 700MHz 이상의 높은 주파수 대역에서 많이 나타나는 것을 2D 이미지에서 볼 수 있었다. 주파수 분석 과정에서 보듯이 부분방전의 패턴을 보이고 있으나, 그 크기가 작다. 앞에서 설명한 바와 같이 센서가 상대적으로 작고, 오일 중에서 감쇄가 크기 때문이라고 생각된다. 700MHz 이상에서 규칙성을 나타내는 것을 알 수 있으며, 참고 측정결과 1.5 GHz 수준까지 발생하는 것을 확인할 수 있었다.



a) p-q-f 그래프



b) 이미지 그래프 c) POW

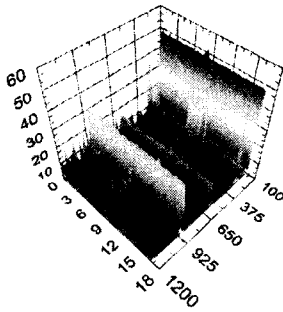
그림6. 코로나 방전에 대한 분석

### 2.2.2 표면방전 분석

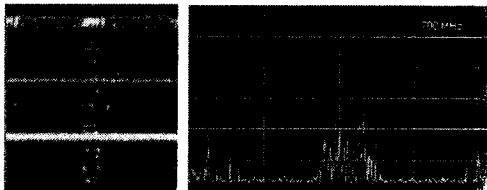
다른 결합에 비하여 전 대역에 걸쳐 고르게 나타나는 것을 알 수 있다. 정극성/부극성의 영점 부근에서 나타나는 것을 알 수 있는데, 정극성 보다는 부극성이 크게 나타났다. 방전양상이 장시간동안 고르게 나타나지 않기 때문에 국부적인 점의 형태로 나타나지만, 발생위상이나 경향은 뚜렷이 나타나는 것을 알 수 있다.

Conventional 설비와 비교해 보면, 발생 위상은 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러나, GIS 보다는 상대적으로 큰 전압에서 개시되며, UHF센서로 검출되는 양은 적었다. 감도는 정량적으로 표시할 수 없으나, 코로나 방전과 비슷한 수준으로 판단된다.

위상에 대한 분포는 아래에서 보듯이 영점 근처에서 주로 나타나며, 180도 부근의 신호가 많이 나타난다. 빈도수는 정극성에서 적고 부극성에서 많이 나타났다.



a) p-q-f 그래프

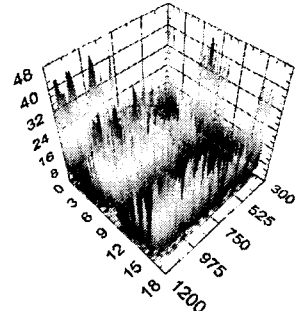


b) 이미지 그래프 c) POW

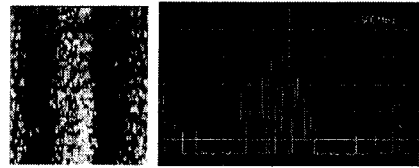
그림7. 표면방전에 대한 분석

### 2.2.2 부유전극 분석

p-f-q 측정 결과에서 알 수 있듯이(그림 8.), 방전양이 매우 큰 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 방전 개시 시점부터 나타난다. 발생에너지가 크기 때문에 장시간 시험을 할 경우에 프리앰프등의 FR 소자의 측정장비가 고장 날 우려가 있어, 측정주기를 짧게 하여 시험하였다.



a) p-q-f 그래프



b) 이미지 그래프 c) POW

그림8. 부유전극에 대한 분석

방전의 현상은 다른 결합에 비해 비교적 안정적인 것을 알 수 있으며, 장시간 측정 하여도 안정적인 것을 알 수 있었다. 방전 형태는 측정 주파수가 커짐에 따라서 측정 이득이 더욱 커지는 것을 알 수 있다. 수 GHz 까지 측정 하였으나, 그 크기가 줄지 않고 포화 되었다. 방전 발생 위상은 영점에서 조금 앞부분에 평균적으로 분포하는 것을 알 수 있다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 UHF센서를 이용하여 초고압 오일 변압기에 대한 부분방전 측정 방법을 소개 하였다. 그 특성을 이론적으로 확인 하였으며, 실증 시험을 통하여 그 성능을 확인하였다. 각 데이터는 결합별로 수 백회 측정 하였으며, 향후 결합인식 알고리즘으로 사용될 데이터베이스로 만들어졌다.

본 센서를 이용하여 현재 개발완료한 GIS 부분방전 측정 시스템에 적용하여, 초고압 변압기도 On-line 또는 Portable로 측정이 가능한 시스템으로 구성 가능하도록 구성중이다.

부가적으로 각 결합별로 처리된 이미지 그래프를 이미지 프로세싱을 이용하여 결합인식의 알고리즘으로 사용 가능하도록 장착 할 예정이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] W.R.Rutgers and Y.H.Fu, "UHF PD detection in a power transformer", Proc. 10th ISH, Vol. 4. pp. 219-222, 1997
- [2] Wijnand R. Rutgers, Robert Ross and Theo G. M. van Rijn, "On-line PD detection techniques for assessment of the dielectric condition of HV components", IEEE 7th ICSD, pp. 481-484, 2001
- [3] C.J.Lee et. al, "The spectrum analysis of UHF PD signals from artificial defects in GIS using UHF PD measuring system", ISH, 2003.