

## 3d-PD 패턴과 VHF/UHF PD 신호의 고찰 The Analysis of VHF/UHF PD and 3d-PD Pattern

임장섭, 박용식, 최병하, 한석균

Lim Jang-Seob, Park Yong-Sik, Choi Byoung-Ha, Han Sok-Kyun

목포해양대학교 전자통신공학부

Faculty of M.E.C., Mok-Po National Maritime University.

### Abstract

Recently, the HFPD measurement testing is widely used in partial discharge measurement of HV machines because HFPD measurement testing receives less influence of external noise and has a merit of good sensitivity. Also HFPD testing is able to offer the judgement standard of degradation level of HV machine and can detect discharge signals in live-line.

Therefore it is very useful method compare to previous conventional PD testing method and effective diagnosis method in power transformer that requires live-line diagnosis. But partial discharges have very complex characteristics of discharge pattern so it is required continuous research to development of precise analysis method.

In recent, the study of partial discharge is carrying out discover of initial defect of power equipment through condition diagnosis and system development of degradation diagnosis using HFPD(High Frequency Partial Discharge) detection.

In this study, simulated transformer is manufactured and HFPD occurred from transformer is measured with broad band antenna in real time, the degradation grade of transformer is analyzed through produced patterns in simulated transformer according to applied voltages.

### 1. 서 론

최근 고압기기의 부분방전 검출법은 측정 주파수가 1[MHz]이상으로 높은 주파수 영역에서는 주위 노이즈의 영향을 적게 받고, 감도 향상의 장점을 갖고 있기 때문에 고주파 부분방전 측정법이 널리 이용되고 있다. 또한 고주파 측정법은 활선상태에서 고압기기의 열화정도를 판단할 수 있고, 실시간 온라인 검출을 할 수 있는 장점이 있다.

외국에서는 인력과 기술적 문제점에 착안하여 전력변압기를 비롯한 전력설비의 열화진단 시스템의 개발에 많은 연구를 집중하고 있다. 그러나 이런 사고들을 정확하게 예측하고 예방할 수 있는 방법이 현재까지 개발되어 있지 않은 상태이다.

변압기에서 부분방전 발생원으로서의 절연재료 자체의 불량 및 결함의 존재, 전계집중, 기포의 존재 가능성, 금속체 입자 또는 불순물의 혼

입등이며, 이러한 원인들로 인해 변압기내에서는 어느 정도의 부분방전이 발생할 가능성은 항상 존재하고 있다. 변압기 내부에서 부분방전이 발생하면 방전의 크기가 작음에도 불구하고 여러 가지 화학작용을 수반하며 고에너지의 전자, 이온 및 가스등을 발생하여 절연물의 열화를 야기할 뿐만 아니라 사고의 원인 되고 있다.

전력변압기의 절연성 측정에 널리 채용되고 있는 부분방전 시험은 측정시 전력용 시스템이 받는 스트레스가 적으므로 기존의 파괴실험과 같이 기기에 손상을 주지 않고 실험할 수 있으므로 실험방법이 대단히 유용하고 또 활선상태에서의 진단이 요구되는 전력변압기에 적용하기 위한 효과적인 진단기술이다. 그러나 부분방전은 그 신호가 대단히 복잡한 성장패턴을 이루고 있어서 여러 가지의 정교한 분석방법에 관한 지속적인 연구가 요구되고 있다.

최근의 부분방전에 관한 연구는 절연열화 상태

화진단을 수행하는 시스템 구축이 주류를 이루고 있다.

본 연구에서는 모의 변압기를 제작하여 열화현상으로 발생하는 HFPD를 광대역 안테나를 이용해 실시간으로 측정하고, 인가 스트레스에 따라 발생하는 PD신호의 패턴을 분석하고, 각각의 주파수에서 나타나는 피크치 값들의 순차적인 분포를 조사하여 모의 변압기 열화정도를 분석할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 모의 변압기 제작

실험에 사용한 모의 변압기는 그림 2.1과 같은 모양으로 제작하였다. 시각적 관측을 쉽게 하기 위하여 투명 아크릴을 이용하여 2개의 외함을 만들고, 바깥쪽 함은 고전압을 인가할 때 전극부분에서 발생할 수 있는 연면방전을 방지하기 위하여 절연유에 침적시켰고, 내부의 함은 침-원형전극을 사용하여 모의 변압기 가속실험을 실시하였다. 전극의 재질은 황동을 사용하였다. 또한 전극 사이에 XLPE(두께 : 1[mm])판을 삽입하여 복합 모의 변압기를 구성하였다. 전압은 AC 27-30[kV]를 인가하였으며 이때 발생하는 HFPD신호를 측정하여 분석하였다.

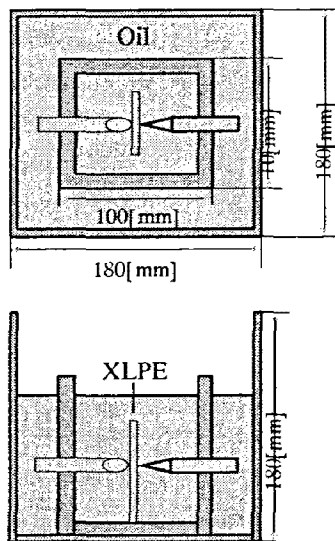


Fig. 2.1 Structure of simulated transformer.

### 2.2 HFPD 측정 시스템

그림 2.1과 같이 제작된 모의 변압기에 고전압을 인가한 후 발생한 신호를 광대역 안테나(HP11966P : 30[Mhz]-1[Ghz])를 이용해 측정하고, 측정된 신호는 Pre-Amp(이득 : 30[dB], 9[kHz]-1[Ghz])를 통하여 EMC analyzer(HP8594EM)로 입력된

다. EMC analyzer의 측정주파수 범위는 50 [Mhz]-1[Ghz]로 설정하였다. GPIB보드를 이용해 컴퓨터와 인터페이스하고, 입력신호를 분석하는 프로그램을 실행하여 HFPD의 특성을 분석하였다. 그림 2.2는 HFPD 측정 시스템의 구조이다.

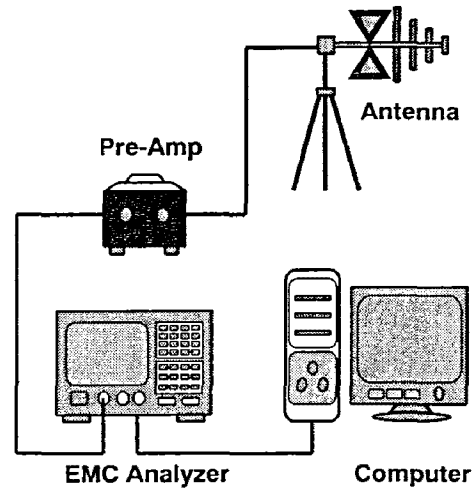


Fig. 2.2 HFPD measurement system.

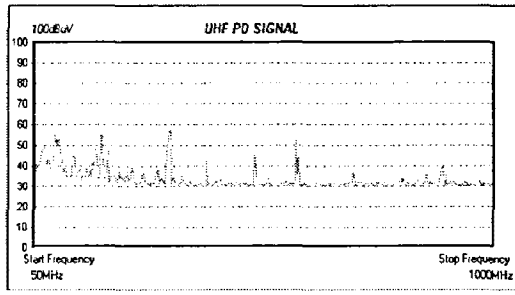
## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 인가전압에 따른 HFPD 특성

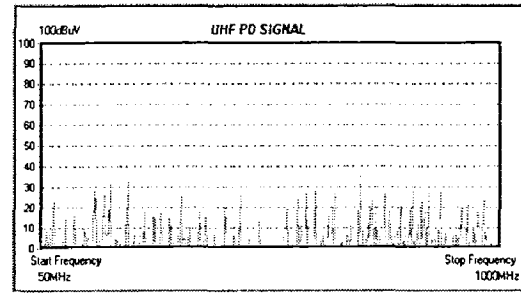
본 연구에서 주파수 영역은 50[Mhz]에서 1[Ghz]로 하였다. 50[Mhz]이하의 영역에서 HFPD 신호는 외부 노이즈와 구별이 어려웠고, 1[Ghz]이상의 주파수는 본 연구에서 사용한 안테나와 Pre-Amp의 주파수 영역이 1[Ghz]까지 이므로 그 이상의 주파수에서 나타나는 신호에 대한 신뢰도가 감소하기 때문에 50[Mhz]에서부터 1[Ghz]사이의 주파수에 대하여 고찰하였다.

그림 3.1은 인가전압 27[kV]에서 약 100분에 내부의 XLPE판이 절연파괴에 도달한 모의 변압기에서 발생한 HFPD 신호를 나타낸 것이다.

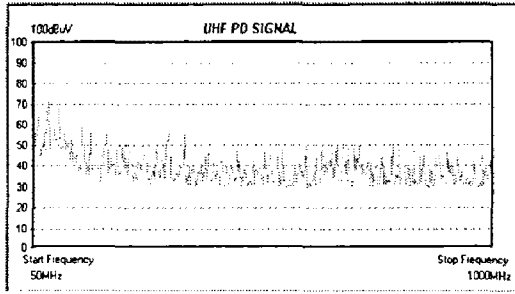
그림 3.1 (a)는 전압을 인가하지 않고 측정할 주위 노이즈 신호이다. 우리나라에서 사용하는 라디오, 텔레비전, 아마추어 무선통신 주파수 그리고 이동통신 주파수 영역에서 피크값이 나타난다. (b)는 전압을 인가하고 1분 후의 HFPD의 특성곡선이다. 낮은 값의 피크치 신호들이 관측되고 있으며, VHF영역과 UHF영역에서 거의 비슷한 피크치 특성을 나타낸다. 그림 (c)는 전압인가 후 45분의 주파수에 대한 HFPD 신호 특성곡선이다. 열화가 진행됨에 따라 200-600[Mhz]의 VHF영역과 UHF영역에서 PD신호의 큰 피크치가 검출되고



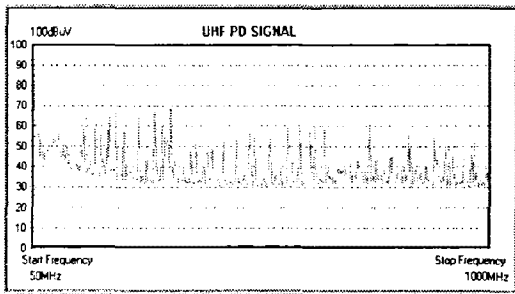
(a)



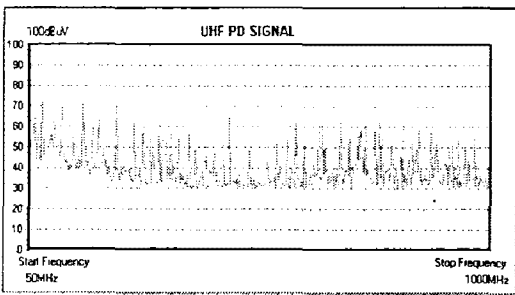
(f)



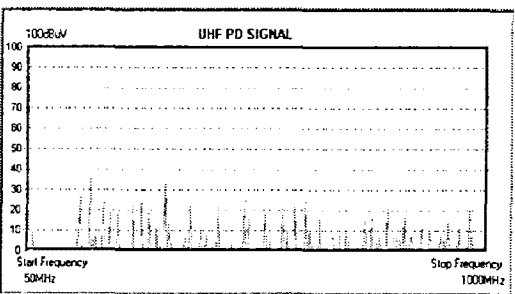
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 3.1 The characteristic of VHF/UHF PD according to aging time. (a) noise signal, (b) 1[min], (c) 45[min], (d) 98[min] (e) (c)-(b), (f) (d)-(b) at 27[kV].

있으며, 그림 (b)와 같은 열화 초기 단계보다는 큰 피크값의 신호들이 나타난다. 그림 (d)는 전압 인가 후 절연파괴에 거의 도달했을 때 HFPD 신호의 그래프 특성이며, UHF 영역에서 많은 HFPD 신호 피크치가 검출되며 피크치의 값의 크기도 증가하는 특성을 나타낸다.

그림 (e)와 (f)는 그림 (c)와 (d)의 데이터 값에서 각각 (b)의 데이터 값에 대한 차를 나타낸 그래프이다. 열화가 진행됨에 따라서 주파수에 대한 피크치의 값들의 변화량이 커지고 고주파수 영역의 값들이 상대적으로 증가함을 나타낸다.

그림 3.2는 인가전압을 30[kV]로 증가시켰을 때 HFPD의 특성을 나타낸 그래프이다. 비교적 스트레스가 낮은 27[kV]를 인가했을 때는 열화가 서서히 진행되지만 30[kV]로 인가전압이 높아지면 27[kV]를 인가해서 거의 절연파괴에 도달했을 때와 초기 특성이 유사하게 나타나는데 이것은 인가전압에 대한 열화진행 속도를 설명해준다. 그림 3.2 (a)와 같이 초기에 전체 주파수 영역에서 높은 피크값이 나타나는 특성을 보이면 절연파괴에 도달할 때까지 계속 유지한다.

그러나 이런 경우에는 HFPD 신호의 피크치 값만으로는 열화의 진행정도를 파악할 수 없는 경우가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 인가된 스트레스가 아주 높은 경우에는 2차 피크치, 3차 피크치의 변화량을 관측해서 열화의 진행정도를 판단할 수 있는 방법을 제시하고 있다.

그림 3.2의 (b), (c), (d)는 각각의 시간에서 나타나는 HFPD 신호의 2번째 큰값을 분리해서 그래프로 나타낸 것이다. 그림 (a)는 전압을 인가해 1분이 지났을 때 발생한 HFPD 신호의 최대 피크치 값을 나타냈는데 절연파괴가 발생할 때까지 변화의 추이가 거의 없기 때문에 최대 피크치만을 이용해서는 열화의 진행 정도를 판단할 수 없

다. 그러나 2번째 큰값을 측정하면 열화의 진행 정도를 파악해 낼 수 있는데, 이것은 인가전압이 낮은 경우에 나타나는 HFPD 특성과 유사한 변화 특성을 나타낸다. 즉 인가전압이 아주 높은 경우에는 발생하는 HFPD 신호의 최대값 보다는 2번째나 3번째 크기의 피크값을 가지고 열화의 진행 정도를 판단하는 것이 더욱 효과적이다.

max value in 5[min], (d) 2nd max value in 9[min] at 30[kV]

#### 4. 결 론

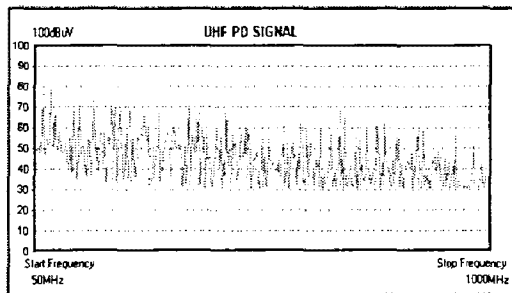
모의 변압기를 제작하여 고전계를 인가할 때 발생하는 HFPD 신호의 피크치 값들에 대한 스펙트럼을 분석한 결과 다음과 같은 결론은 얻었다.

열화 초기 단계에는 주로 저주파 영역에서 HFPD신호가 나타나지만 열화가 진행될수록 저주파에서부터 고주파 영역에 걸친 전영역에서 HFPD가 관측된다. 열화가 상당히 진행된 후에는 1[GHz]이상의 고주파 영역에서도 거의 비슷한 패턴의 HFPD신호가 관측된다.

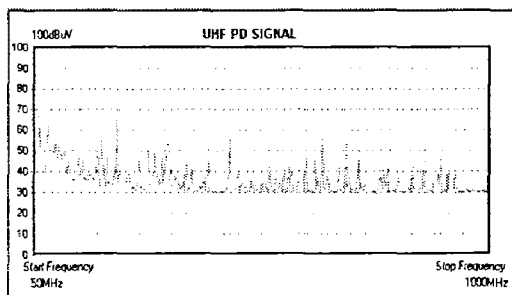
열화가 진행될수록 HFPD 신호의 크기가 증가하며, 신호의 발생 빈도수가 많아지고, 비주기적 신호이지만 신호의 주기도 짧아진다. 인가전압이 매우 높은 경우에는 열화초기 단계에서부터 큰 값의 HFPD 신호가 관측되며 절연파괴에 이르기까지 거의 비슷한 값들의 신호가 검출된다. 이런 경우에는 발생한 HFPD 신호의 최대 피크치를 이용하는 것보다 2번째나 3번째 피크치를 이용하면 열화 진행정도를 더욱 효과적으로 분석할 수 있는 정보를 제공한다.

#### 5. 참고문헌

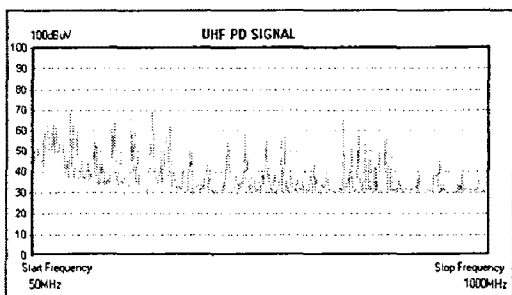
1. T. R. Blackburn, B. T. Phung, Z. Liu and R. E. James, "On\_line Partial Discharge Measurement on Instrument Transformer", 98'EIM, D2-2, pp. 497-500, 1998.
2. R. Kurrer, K. Feser, "The Application of Ultra-High-Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. on Power delivery, Vol. 13, No. 3, pp. 777-782, 1998.
3. N. H. Ahmed and N. N. Srinivas, "On-Line Partial Discharge Detection in Transformer", EI Conference, pp. 39-42, 1998.
4. T. Huecker, J. Gorablenkow, "UHF Partial Discharge Monitoring and Expert System Diagnosis", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 13, No. 4, pp. 1162-1167, 1998.
5. P. E. Gabe Paoletti, Alex Golubev, "Partial Discharge Theory and Application to Electrical Systems", 1999 TAPPI Conference, pp. 124-138, 1999.



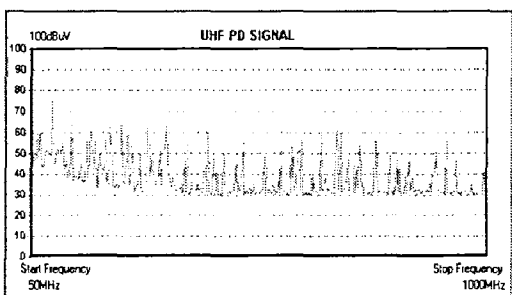
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 3.2 The characteristic of VHF/UHF PD according to aging time. (a) max value in 1[min], (b) 2nd max value in 1[min], (c) 2nd