

PD 측정과 HFPD의 감도특성에 관한 연구

A Study on the Sensitivities Characteristics in a PD and a HFPD

*임 장 섭, *김 덕 근*

*Lim Jang-Seob, **Kim Duck-Keun

** 목포해양대학교 전자통신공학부

* 한국전기안전공사 전기안전시험연구원

<ABSTRACT>

The partial discharge testing is widely used in insulation property measurement because it gives low stress to high voltage equipment which is undertaken tests. Therefore it is very useful method compare to previous destructive methods and effective diagnosis method in power transformer that requires on-line & on-site 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 PD/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

장기간 운용 중에 전력용 설비의 치명적인 절연과피 단계의 주된 원인으로 알려져 있는 부분방전은 제작상태 및 운용중의 열화진단 시스템으로 널리 연구되고 있다. 그러나 부분방전은 그 신호가 대단히 미약하고 복잡한 열화패턴을 갖고 있어서, 시스템에서 얻어지는 데이터에서 인위적인 해석이나 인식은 대단히 어렵고 경우에 따라서는 불가능하다.

1987년 CIGRE(Conference International Grands Reseaux Electrique pub.) 에서는 부분방전 전문가 시스템이 자동화 열화진단 시스템으로써 좋은 해답을 주지는 못한다는 부정적인 결과를 발표하였다. 부분방전의 자동해석과정에 대한 노력은 펄스각과 펄스위상의 히스토그램으로부터 얻어지는 자료를 전문가 시스템에 결합하는 것으로부터 시작되었다. 그러나 측정장치에서 얻어지는 신호에서 인

위적인 해석이나 인식은 대단히 어렵고 경우에 따라서는 불가능하다고 발표되었고, 통계적인 방법을 이용한 연구에서도 제한된 영역의 해석은 가능하였지만 장기간의 측정이나 실용적인 측면에서 많은 문제점이 있다. 그러나 1992년의 L.Satish는 이러한 부분방전의 패턴인식에 관한 최초의 가능성을 보여주었다. 그가 제안한 "3D 부분방전"의 의미는 "부분방전 위상각", "부분방전량" 및 "부분방전 빈도수"의 3축을 갖는 표현을 의미한다. 이런 3D 부분방전 패턴은 방전특성의 복잡성을 높였지만 기존의 부분방전 데이터보다 훨씬 많은 정보를 갖고 있어서 부분방전 해석에 보다 많은 정보를 제공함으로써 새로운 열화해석의 측면에 공헌하고 있다. 또한 최근에는 VHF/UHF 등의 고주파 부분방전 진단 기술이 유럽을 중심으로 On-line 진단용으로 개발하려는 연구가 진행되어 왔다.

본 연구에서는 부분방전량의 통계적 분포 예를 기술하고 최근에 각광 받고 있는 HFDP(VHF/UHF PD)에 대한 연구를 수행 하였다.

2. 실험방법

모의 변압기에 고전압을 인가한 후 발생된 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/EMC analyzer(HP 8594EM)로 입력된다. EMC analyzer의 측정주파수 범위는 50 [MHz]-1[GHz]로 설정하였다. GPIB보드를 이용해 컴퓨터와 인터페이스하고, 입력신호를 분석하는 프로그램을 실행하여 HFDP의 특성을 분석하였다. 그림 1은 HFDP 측정 시스템이며 여기에 부분방전측정장비를 동시에 측정하였다.

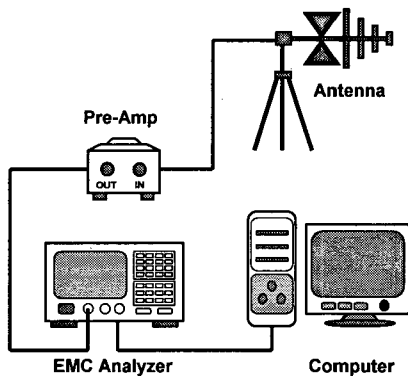


그림 1. HFDP 측정시스템

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PD 측정 및 주파수의 한계

방전이 일어나면 시료의 리드 선에 전류임펄스의 패턴이 생긴다. 여러 가지 회로가 이들 임펄스를 검출하기 위해 사용되지만, 일반적으로 사용되는 두 가지의 임피던스는 기생적인 커패시티 C로 분로가 형성된 저항 R 또는 발진회로는 LCR이다. 이들 임피던스를 통해 얻어지는 전압 임펄스는 Laplace변환을 써서 계산할 수 있다.

검출되는 방전신호의 특성은 짧은 임펄스

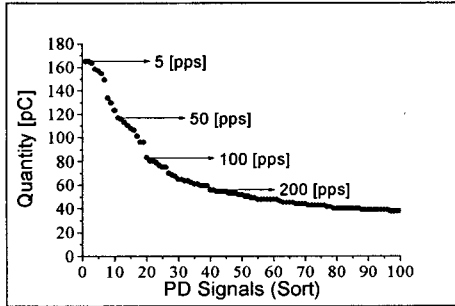
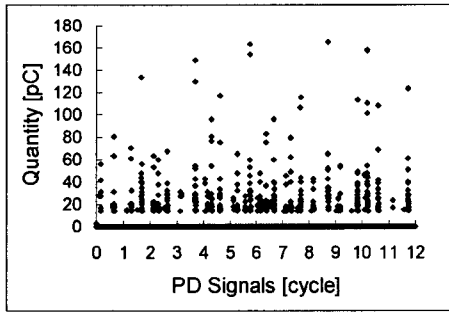
의 연속발생과 같은 클러스터(Cluster) 그룹으로 측정된다. 이 신호를 더 다루기 위해 임펄스 신호펄스들의 상대적인 위치와 클러스터 그룹에서의 상대적인 크기만을 취급한다. 이런 간략화된 요건으로 인해 증폭기의 선택과 신호를 다루는 데 있어서 자유롭게 된다. 이로 인하여 방전 검출기의 감도를 최적화할 수 있다.

RC회로의 임펄스 증폭은 검출임피던스에 측정된 단극성 임펄스로 일정한 주파수 스펙트럼을 가진다. 증폭기의 대역폭은 분명히 50 또는 120 [Hz] 사이에 있어야 하지만 광대역으로 선택될 수도 있다. 두 가지 경우에서 얻어진 신호의 높이는 임펄스 신호의 높이에 비례한다. 실제적인 값은 10 내지 150 [KHz]이다. 그러면 시험전압과 그것의 고조파들은 10 [KHz]의 하한에 의해 잘려 나간다. 150 [KHz]의 증폭기 상한은 임펄스의 재현을 잘 허용해 준다.

통상적으로 PD시스템의 측정주파수가 50-150[kHz]인 이유는 상기에서 기술된 RC 혹은 RLC로 구성된 검출회로의 간접적인 low-pass filter 효과 때문이다. 부분방전 검출회로의 감도는 측정가능한 최소의 부분방전량에 의해 규정된다.

부분방전 데이터의 구성은 먼저 상기와 같은 1주기 동안의 데이터(약 1,800회) 샘플링에서 얻어진다. 또한 이러한 샘플링을 10주기 동안 반복한다. 이러한 샘플링 과정에서 18,000개의 데이터가 얻어진다.

200개의 위상구간에서 대표값은 18,000개의 데이터에서 선택된다. 즉 200개의 하나의 구간 내에서 900 개씩의 데이터가 샘플링되므로 구간의 대표값으로 임의의 구간 내에 존재하는 최대값으로 취한다. 그것은 부분방전의 신호가 다소 불규칙적인 높은 주파수를 갖고 있기 때문에 부분방전의 피크에 접근하는 값을 구하고자 하는 것이다.



(10 Cycles, Sampling Number 108k/s)

그림 2. 부분방전신호와 정규화를 위한 Sort 과정

결국 부분방전 신호의 감도는 측정대상의 부분방전 패턴에 큰 영향을 받는다. 또한 부분방전의 패턴화에는 정규화 과정이 필요하다. 그것은 부분방전 신호가 복잡한 패턴으로 구성되어 크기만의 데이터로 해석하는 것이 어렵기 때문이다. 따라서 최대 부분방전량 (PDQ)을 1로 하는 정규화 과정을 하는 것이다. PDQ는 정량화 값을 로그값으로 치환하는 경우가 선형적인 변환보다도 적응성이 우수하므로 로그 정규화 과정을 방법이 효과적이다.

3.2 HFPD 특성

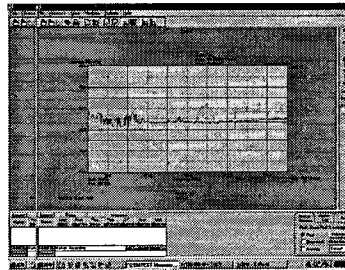
절연체 내의 공동에서 국부적인 절연과피 전압에 도달하면 공동에서 방전이 일어나고, 방전 후 공동에서의 방전잔류전압으로 떨어지며, 이때의 전압강하 시간은 10^{-9} - 10^{-7} [sec]이 내에 일어난다. 따라서 정확한 부분방전은 1[GHz] 까지 확대 해석될 수 있다.

본 연구에서 주파수 영역은 50[MHz]에서 1 [GHz]로 하였다. 50[MHz]이하의 영역에서 HFPD

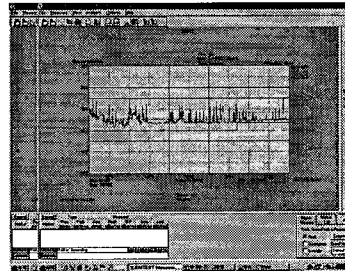
신호는 외부 노이즈와 구별이 어려웠고, 1[GHz] 이상의 주파수는 본 연구에서 사용한 안테나와 Pre-Amp의 주파수 영역이 1[GHz]까지로 그 이상의 주파수에서 나타나는 신호에 대한 신뢰도가 감소하기 때문에 50[MHz] - 1[GHz]사이의 주파수에 대하여 고찰하였다.

그림 3.1은 인가전압 20[kV]에서 30[kV]에 인가 스트레스에서 발생한 HFPD 신호를 나타낸 것이다.

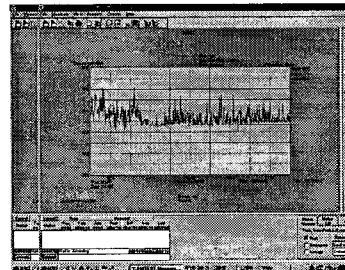
50-150[MHz]사이의 주파수 영역은 우리나라 라디오 주파수 영역이고, 이 영역에서 나타나는 신호의 피크치는 HFPD 신호보다 비교적 큰 값을 보여준다.



(a) 20 [kV]



(b) 25[kV]



(c) 30[kV]

그림 3. 모의변압기에서의 30[MHz]-300[MHz]의 스펙트럼

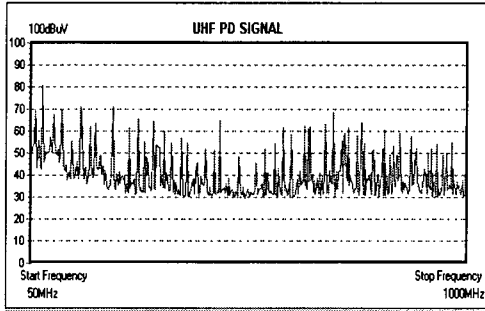
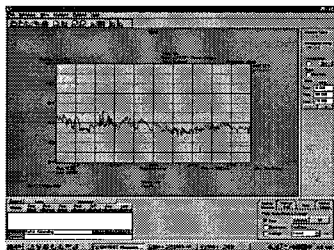


그림 4. VHF/UHF PD at 27[kV].



(주파수 30[MHz]-300[MHz], sweep time 100[msec], 300회)

그림 5. VHF/UHF PD at field testing.
(99. 10. 12. PM 2:00, 여름철 최대 피크치 부하대비 약 43%)

현장에서 운용되고 있는 345[kV]급 변압기에 적용한 예는 그림 5와 같다. 유사한 패턴이라고 추정되는 Lab testing은 그림 4와 같다. 그러나 주파수의 스펙트럼폭이 차이를 발견하는데 이는 모의변압기의 경우에는 일부분의 PD를 집중하기 때문에 PD의 위상전이 및 불규칙적인 발생량이 측정되는 결과로 추정되고, 현장의 변압기의 경우에는 복잡한 절연구조에서 측정되는 복합적 PD패턴으로 추론된다. 따라서 Lab testing의 보다 많은 경우에 대한 Database를 확보한다면 현장에서의 적용도 가능할 것으로 예측된다.

그러나 보다 효과적인 진단화를 위하여서는 장기간의 모니터링과 On-line 측정 데이터의 소프트웨어적인 관찰이 요구되며, 기본 노이즈를 제거하고 1차적인 변형을 수행한 결과는 그림 6과 같다. 즉 그림 6은 열화에 따른 진전된 HFPD의 특성이다.

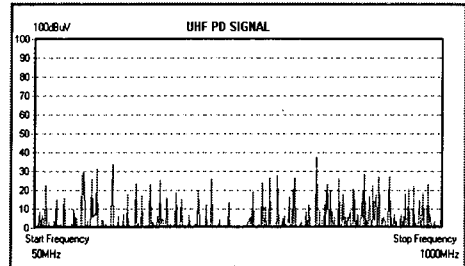


그림 6. 기본적인 측정노이즈를 제거

4. 결 론

전력수요의 증대로 인한 전력계통의 초고압화는 절연능력의 향상 및 예방진단의 중요성을 높이고 있다. 또한 예방진단을 위하여 많은 접근과 연구가 추진되고 있지만 아직까지 확실한 방법이 없기에 경험적인 접근만이 시도되고 있는 실정이다. 또한 3D PD 및 열화진단에 대하여 많은 문제점과 개발이 요구되고 있으나, 다른 측정방법에 비하여 진단시스템으로써 개발될 정보가 많이 있으며, 컴퓨터 프로그램 및 센서개발에 따라서 보다 효과적인 방법으로 개발될 가능성이 높다.

또한 PD장비의 개발에 앞장서고 있는 유럽국가들의 개발투자를 고려한다면 상당히 빠른 완성이 기대된다. 국내의 경우에도 이러한 기술개발에 대한 투자를 수행하여야 하며, 최근 각광을 받고 있는 HFPD 등과 AI 시스템에 관한 전략적 투자 및 연구진 육성해야 할 것으로 고려된다.

<REFERENCE>

1. J.Fuhr, "Detection and Location of Internal Defects in the Insulation of Power Transformers", IEEE. Trans. on EI. Vol.28 No.6, pp.1057-1067, 1993.
2. JS Lim, "Development of an Adaptive Neuro-Fuzzy Technique Technique Based PD-Model for the Insulation Condition Monitoring and Diagnosis : Prctical Aspects and Economic Consideration", CIRGE GW15-108, 1998.