2001 년의 케이블관련 고주파부분방전(HFPD)검출의 상황

2014 년 11 월 25 일 검토자: 김보경

<다음 자료는 활선상태에서 전력케이블에 있어 부분방전 검출연구의 초기의 자료로써, 2001 년 한양대 김지홍의 석사논문(**고주파 부분방전(HFPD) 검출 시스템 개발 연구**)을 인용한 것임.>

1 연구의 배경

전력기기에서 발생되는 부분방전은 전력기기 운영중 절연열화에 대한 정보를 가장 잘 나타낼 뿐 아니라 부분방전 열화는 일반적으로 절연 열화의 거의 최종 단계에서 발생되기 때문에, 부분방전 측정을 통한 전력기기의 열화진단은 진단의 정확성과 아울러 기기 운영의 신뢰성 측면 및 기기의 보수나 교체시기 판정에 매우 적절하다고 볼 수 있다.

하지만, 현장에서 전력기기의 부분방전을 측정하는 데에는 상당한 어려움이 따른다.

즉, 주위의 환경적인 문제인 노이즈로 인해 측정된 신호가부분방전인지 아닌지를 구분하기 어렵고, 부분방전으로 판단된다 하더라도 전력기기의 어느 부위 즉, 고전압 전력기기 절연에 치명적인 영향을 줄 수 있는 부위에서 발생되는 위험한 것인지 아니면 절연과는 크게 관계 없는 쉬스 부분에서 발생된 것인지 등을 판단하여야 정확한 진단을 내릴 수 있다.

일반적으로 부분방전을 측정하는 방법은 노이즈가 포함되지 않은 교류전원(PD free transformer)을 시험대상에 인가하고 여기에 병렬로 커플링 커패시터(coupling capacitor)를 연결하여 시험대상물에서 발생하는 미소한 부분방전 전류를 커플링 커패시터 쪽으로 유도하여 접지측 단자에서 측정하게 된다. 실험실에서는 이와 같은 장치를 쉬일드 룸 안에 설치하여 외부의 노이즈를 차단시킴과 동시에 정확한 부분방전을 측정할 수 있다. 부분방전펄스는 수 kHz ~ 수 GHz 정도에 해당되는 광범위한 주파수 성분을 갖고 있는데, 기존의 방법에서는 수 십 kHz~수 백 kHz 범위에서 펄스 전류를 튜닝하고 증폭시켜 측정하게 된다.

이상과 같은 일반적인 부분방전 측정은 실험실에서나 가능하지 현장에서는 거의 불가능하다.

즉, 현장에는 상당한 종류와 크기의 노이즈가 존재하고, 접지상태가 실험실과는 다르고 시험 대상물의 커패시턴스가 큰 경우가 많아 커플링 커패시턴스 용량의 한계로 인해 부분방전 전류를 측정하기 어려워진다.
따라서, 부분방전 측정이 절연열화 진단에는 가장 정확한 정보를 제공함에도 불구하고 현장 적용이 어려워 실제적인 적용은 이루어지지 않아 왔다.

그러나, 최근 측정 주파수가 1 MHz 이상으로 높은 영역에서는 주위 노이즈의 영향을 덜 받는다는 점에 착안하여 부분방전 펄스의 주파수 성분중 고주파를 측정하는 방법(HFPD 측정 : High Frequency Partial Discharge measurements)이 제시되어 각 전력기기별로 많은 연구가 이루어졌고 현재는 거의 실용 단계에 접어들어 현장 적용이 시도되고 있다.

물론 측정 주파수가 높은 만큼 부분방전의 발생원으로부터 멀리 떨어져 측정하는 경우에는 부분방전 펄스가 전파되는 동안 빨리 감쇄되어 측정의 감도가 떨어지지만, 부분방전 발생원 근처에서는 노이즈가 없는 교류전원과 커플링 커패시터가 없어도 활선 상태에서 상당히 효과적으로 외부 노이즈의 영향을 배제시키면서 부분방전 측정을 할 수 있다.

따라서, **시험 대상물 전체에 대해 부분방전을 측정하는 종래의 방법과는 달리 절연상태가 취약하다고 예상되는부위(예, 케이블의 접속부, GIS 의 스페이서 부분 등)에 HFPD 측정 센서를 취부하여 부분방전을 측정하게 된다.**

일반적으로 전력기기에서 절연이 취약한 부분은 설계나 경험을 통해 이미 알고 있는 경우가 많으므로 이러한 방법을 충분히 활용할 수 있으며, 활선 상태에서의 측정이 가능하므로 전력기기의 상태 감시나 부분방전 진전 상황을 온라인-실시간으로 측정할 수 있다는 장점이 있어, 최근 매우 각광받고 있다.

2.1 HFPD 의 장점 및 부분방전 측정시 고려사항

. HFPD 측정의 장점

일반적으로 전력케이블 절연층의 전기트리나 GIS 의 부유 도전성 입자에서 나타나는 부분방전 펄스 전류는 350 psec ~ 수 nsec 정도의 상승시간과 수 nsec 정도의 펄스 지속시간을 갖는다.
이러한 펄스에 대해 Fourier 분석을 수행하면 대략 수 백 MHz 의 주파수 대역을 갖게 된다. 예로, 350psec 는 1 GHz 에 상당한다.
따라서, FPD(고주파 부분방전) 측정을 통해 이러한 부분방전 펄스를 측정할 수 있으며, 여기에는 대략 3 가지 정도의 장점이 있다.

(1) 장점 1 : 감도 향상

1 MHz 이하의 범위에서 측정하는 기존의 부분방전 측정방법에서는 부분방전 에너지의 상당한 부분을 놓치게 된다. 부분방전 펄스로부터 측정되는 에너지는 수 백 MHz 의 주파수 대역까지 거의 선형적으로 증가된다.

외부 노이즈가 거의 없는 상황이라면, 부분방전 측정감도의 기본적인 한계는 증폭기나 저항에서의 열 노이즈에 의하게 된다.
그러나, 이러한 화이트 노이즈는 측정주파수의 제곱근에 따라 증가하므로, 부분방전 에너지와 열 노이즈를 고려한 측정 감도는 측정주파수가 높아질수록 S/N 비가 향상된다.
예를 들면, 부분방전 펄스 1/2 크기인 경우의 폭이 1.5 nsec 라 할 때 1MHz 에서의 감도는 약 0.1 pC 이지만, 350 MHz 에서는 0.01 pC 으로 향상된다.

따라서, 전기적 노이즈가 전자적 원인에만 의한 것이라면 HFPD 측정의 감도는 향상될 수 있다.

(2) 장점 2 : 외부 노이즈 저감

현장에서 부분방전을 측정할 경우 외부 전기적 간섭이 상당한 문제로 되기 때문에, 실제적인 측정감도가 저하된다.
이러한 외부 전기적 노이즈는 고전압 전원에서의 코로나 또는 부분방전, 주변의 고전계하에 놓인 floating(금속성) 물질 및 전기적 접촉불량으로 인한 스파크 등이다. 이러한 노이즈는 시험 대상의 부분방전과 주파수 특성, 위상 특성 및 반복율 등에서 유사하기 때문에, (라디오 송신소나 전력선에서의 라디오 주파수는 쉽게 필터링할 수 있기 때문에 그다지 큰 문제로 되지는 않는다.) 이로 인해 실제 부분방전 펄스로 오판할 수 있다.
이러한 노이즈는 전문가가 오실로스코프에 측정된 파형을 분석함으로써 구분할 수 있는데, 주로 부분방전의 위상 특성, 크기, 크기의 분포, 반복율, 펄스 시간 및 펄스 패턴의 균일성 등의 차이로 구분하게 된다.

그러나,이러한 노이즈의 부분방전 패턴이 대상물의 부분방전 패턴과 유사하므로 노이즈 저감 측면에서는 그다지 도움되질 못한다.
.
HFPD 측정에서는 이러한 노이즈 저감에 있어서 기존의 방법 보다 우수하다. HFPD 측정에서는 펄스의 전파방향과 전파 시간을 측정할 수 있기 때문에 노이즈의 제거가 용이하다. 부분방전 측정기 하나를 시험대상물 쪽에 설치하고 다른 하나를 노이즈 원 쪽에 설치하면, 시험대상 쪽에 설치된 측정기에서 먼저 검출된다. 이러한 측정을 위해서는 도착 시간의 차이를 구분할 수 있도록 nsec 부분방전 펄스에 응답할 수 있는 부분방전 측정기를 사용하여야 한다.

따라서, HFPD 측정에서는 거시적인 패턴 분석에 입각한 통계적인 노이즈 제거 방법이 아니라 펄스-펄스 측정에 입각한 노이즈 제거가 가능하다.

(3) 장점 3 : 부분방전 발생과정에 대한 이해 향상

HFPD 측정에서는 각 부분방전 펄스의 파형을 직접 측정할 수 있다는 장점이 있다. 일반적으로 결함의 형태에 따라 펄스의 형태가 달라지므로, 결함의 종류에 따른 부분방전 펄스의 형태를 알고 있는 경우 측정된 부분방전 펄스의 형태에 따라 시험대상물의 부분방전 특성을 보다 상세히 분석할 수 있다.
즉, 어떤 타입의 부분방전은 다른 타입 보다 더 위험한 결함일 수 있으므로, 매우 실용적인 분석이 된다. 나아가, 보이드와 같은 결함에서 부분방전 발생시 전자의 전달과정과 같은 현상을 해석할 수 있는 가능성을 가지고 있다.

부분방전 측정에 있어서 향후 개선해야 하는 부분은 다음과 같다.

(1) 감도 향상
(2) 측정신호에 따른 노이즈감소

<출전: 고주파 부분방전(HFPD) 검출 시스템 개발 연구, 2001 년 한양대 김지홍석사논문>

[검토의견: 상기의 자료는 지금부터 약 13 년 전인 2001 년에 있어 전력케이블의 부분방전(PD)검출에 대해 상황을 기술한 것이며,

주요 내용은 노이즈를 제거하기 위해 저주파 보다는 고주파 방식으로 사용하는 것이 바람직하지만, 주파수가 높을 수 록 케이블 길이가 증가할 수 록 PD 신호가 감쇄가 크기 때문에,

절연이 취약하다고 예상되는 GIS 의 스페이서나 케이블의 접속부 같은 장소에 PD 센서를 설치하여 PD 를 검출하는 것이 바람직하다고 기술하고 있다.

그러면 현재 2014 년의 케이블의 PD 검출 상황은?]

노이즈 문제 & 길이에 따른 PD 신호 감쇄문제에 대한 기술발전 상태는 ?