부분방전 신호검출시에 있어 환경노이즈 관련 검토

2014년 11월28일 검토자: 김보경

<출전: HFPD 부분방전 검출을 이용한 XLPE 전력케이블 시스템 진단기술 개발 연구, 2003년 한양대 이전선 박사논문>

1. 연구배경

1970년대 중반부터 개발 적용된 부분방전 측정법(IEC60270)은 전자 차폐실과 같은 실험실에서 케이블의 품질검사의 방법으로서 널리 사용되고 있으며,외부 노이즈가 차단될 수 있는 차폐실 내부에서는 결함 검출 결과가 우수한 것으로 인정 되어 왔다.

그러나, 초고압 송전선로나 전력설비가 있는 변전소나 전력구와 같은 차폐실 밖의 현장에 적용할 경우, 외부의 백그라운드 노이즈로 인하여 차폐실에서 측정된 데이터와 같은 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 측정결과의 재현성이 없는 것으로 보고 되고 있다.

이와 같은 문제를 극복하기 위해서 선진 기업을 중심으로 수~수백 MHz의 고주파 영역에서 부분방전을 측정하는 기술이 연구되고 있다. 고주파 대역에서의 부분방전(HFPD: high frequency partial discharge) 측정방법은 네덜란드의 KEMA에서 처음 제시되었고 노이즈의 크기가 비교적 작은 고주파 대역에서 측정하므로 현장 적용성이 우수하여 다양한 연구를 통하여 그 신뢰성이 입증되고 있다.

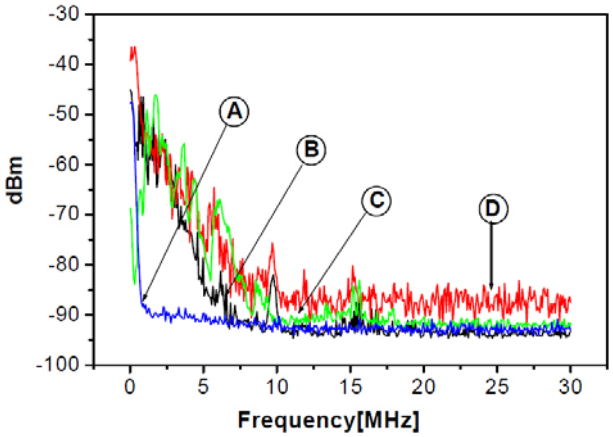
그러나, 구체적인 연구결과는 비공개이며, **국내의 경우 상품화된 외국의 측정 시스템을 도입하여 국내 지중케이블 선로에 적용 가능성 여부를 확인하기 위해 실험을 수행하였지만 그 신뢰성을 검증하지 못했다.**

따라서 국내의 케이블 시스템에 적용 가능한 부분방전 검출시스템과 진단방법 그리고 케이블 시스템에 유입될 수 있는 각종 결함에서의 부분방전 패턴 연구가 더 많이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

2. 케이블 시스템의 백그라운드 노이즈 분석

1) 접지 노이즈

그림 1은 현장과 실험실의 모의선로에서 측정한 접지노이즈 실험결과이다.전자파 차폐실(Ⓐ 커브)에서는 노이즈가 거의 측정되지 않았으며 154kV 선로(Ⓑ커브), 실험실 시험선로(Ⓒ커브), 변전소(Ⓓ커브)에서는 10MHz이하에 큰 노이즈 성분이 존재하였고 그 이상의 주파수 대역에서는 그 크기가 작게 측정 되었다. 이러한 측정결과로부터 IEC60270규격에 제시되어 있는 수백kHz 대역의 부분방전 측정법은 전자 차폐실에서는 측정이 가능하지만 현장에서는 노이즈로 인하여 측정이 불가능함을 알 수 있고, **현장 노이즈의 영향을 배제하기 위해서는 10MHz 이상의 대역에서 부분방전을 측정하여야 함을 알 수 있다.**

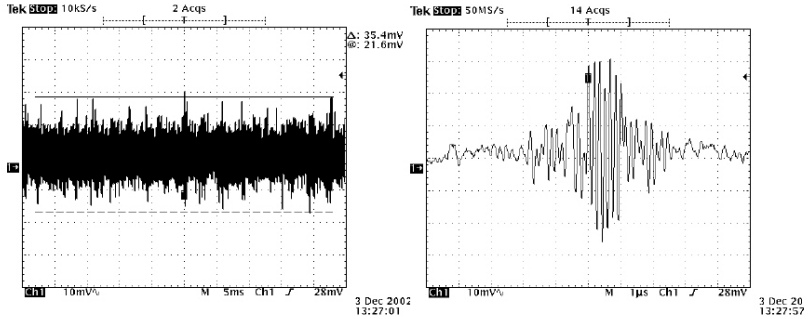


(Ⓐ: 전자 차폐실, Ⓑ: 154kV 현장선로, Ⓒ:실험실 시험선로, Ⓓ: 변전소

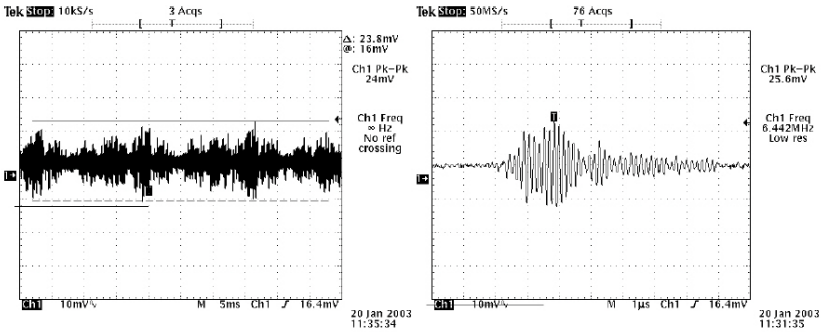
그림 1 현장에서의 노이즈 주파수 스펙트럼

그림 2는 오실로스코프를 이용하여 노이즈 펄스형태와 크기를 측정한 것이다.
전력구나 실험실의 경우 노이즈 펄스의 첨두치는 20mV 정도이고 공장 내부에 있는 변전소 내 케이블 단말부에서는 50mV 정도까지 측정 되었다.
이것은 실험실에서 실규모 케이블에 보정펄스를 50~100pC정도 인가하였을 때 측정되는 신호의 크기와 거의 같은 값이다.

따라서 이 같은 **노이즈를 제거하지 않으면 현장에서 100pC 이하의 부분방전 신호를 검출하는 것은 어려울 것으로 사료된다**.그리고 노이즈 펄스의 형태는 대부분 가우지안(gaussian)분포의 형태를 가짐을 알수있음.



(a) H 변전소

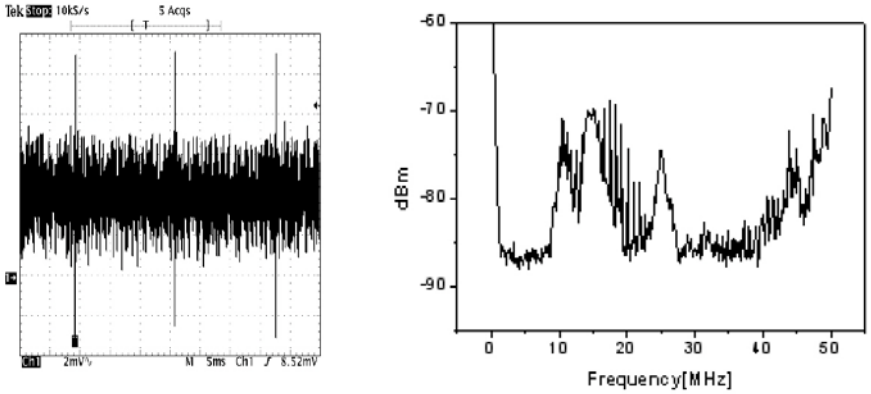


(b) 시험선로(노이즈 차폐 안됨)

그림 2 접지 노이즈 크기와 형태

2) 공중파 노이즈(Radiated noise)

송전케이블은 지하 전력구에 포설되기 때문에 방송파나 통신파의 영향보다는 측정 시 사용되는 측정기기 및 컴퓨터에서 발생되는 전자파가 측정케이블이나 센서에 유기되어 중대한 영향을 준다.
그림 3은 10pC의 부분방전 보정펄스와 분석용 컴퓨터에서 발생되는 전자파 노이즈가 중첩되어 센서에 유입된 파형과 스펙트럼 분포로서 백그라운드 노이즈의 크기가 7mV 정도이고 주파수 성분은 10~30MHz대역에서 발생되어 부분방전 보정펄스에 의한 주파수 성분과 같은 대역에서 발생된다.
따라서 이러한 **노이즈는 필터를 이용해서는 제거할 수 없음을 알 수 있다**.



(a) 시간영역 분포 (b) 주파수 분포

그림 3 측정기기로부터 유입되는 전자파 노이즈

<출전: 부분방전 검출을 이용한 22.9kV 배전케이블 실선로 결함검출, 전기학회 2004 년 추계학술대회>

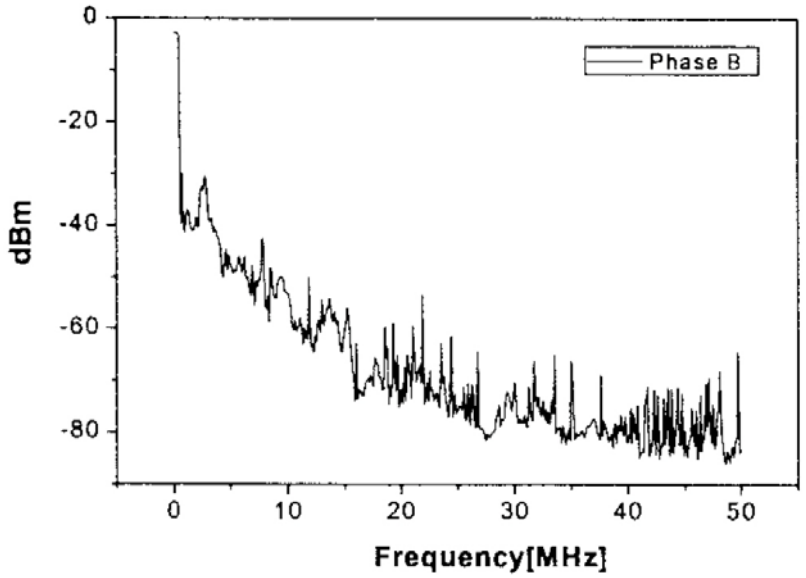
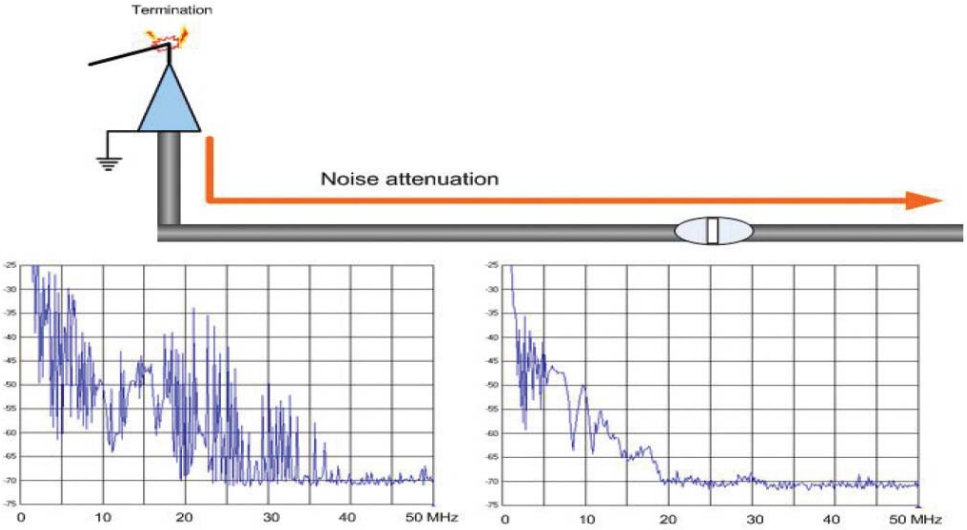


그림 배전케이블 종단접속부의 노이즈 스펙트럼(HFCT센서 이용)

그림은 모회사의 변전소에서 22.9kV종단접속부의 접지선에 HFCT센서를 설치하여 측정한 노이즈 스펙트럼으로 저주파대역에서 고주파대역까지 전대역에 걸쳐 큰 노이즈 신호가 존재하고 부분방전 신호와 유사한 펄스성 노이즈가 존재함을 알 수 있다.

<출전: 송전급 지중케이블 부분방전 측정기법 및 동향, 전기설비 2012년11월>



케이블에서의 외부 노이즈 감쇠특성

종단 접속함은 가공선이나 GIS, 변압기와 연결되어 변전소내부에 설치되므로 상당히 큰 외부노이즈가 유입된다. 가장 큰 노이즈는 가공선이나 고압 도체부에서 발생되는 코로나 노이즈이며 이러한 코로나 노이즈는 공중파나 도체를 통하여 유입되며 부분방전 측정의 신뢰성을 좌우한다. 전 세계적으로 노이즈 제거방법이 연구되고 있으나 아직 정확한 결론을 도출하고 있지 못한 상태이다.
중간 접속함에 유입되는 노이즈는 변전소의 고압전력기기 및 고압도체부에서에서 발생된 외부노이즈가 케이블을 통해 전파되어 검출된다.
그림과 같이 EBA의 고압도체부에서 코로나 방전이 발생되는 경우 40MHz 대역까지 코로나 노이즈가 검출되지만 **J/B#1(접속함) 에서 측정하면 20~40MHz 의 코로나 노이즈 성분은 케이블을 전파되면서 감쇠되고 20MHz 대역까지만 외부노이즈가 검출되는 것으로 볼 수 있다.**

-. PD 신호 검출 대역(주파수)
부분방전 검출 주파수대역은 부분방전 측정의 중요한 요소 중에 하나이다. 특히 옥외 EBG나 EBA의 경우 외부에서 유입되는 큰 노이즈로 인하여 측정주파수 대역 선정은 매우 중요하며 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 전력케이블 진단에 많이 적용되는 주파수 대역은 유럽의 경우 1~30MHz, 일본의 경우 1~50MHz를 적용하고 있다. **하지만 1~50MHz의 HF대역에 많은 노이즈 성분이 존재하여 부분방전을 측정하여도 노이즈신호와의 구분이 어렵고 부분방전 패턴분석이 어렵기 때문에 점진적으로 주파수 대역을 VHF대역으로 높이려는 연구가 많이 진행되고 있다**.

<출전: 3-PARD기법을 이용한 전력케이블의 3상 부분방전 진단시스템 개발 보고서, 2012년 기초전력연구원>

-. 22.9kV 배전 케이블 진단
배전 케이블 절연진단의 경우 중간 접속구간 보다는 종단의 다회로 개폐기나 변압기 쪽에서 측정하게 되므로, **노이즈 상황이 BGN (Back Ground Noise)만, 수백 pC 이상이 될 정도로** 송전에 비해 매우 나쁘다. 따라서, 송전에서의 방법이 아닌 새로운 절연 진단 방법이 도입되어야 한다. 송전용 안테나 센서(UHF)를 이용하여도 배전 전력설비는 상당 부분 고체절연물을 포함하기 때문에 현장에서는 케이블 이외에 차단기, 개폐기 등 모두를 포함하여 진단이 어렵다.

< 검토자의 개인의견 : 2014년 11월 29일
상기에서 2003년부터 2012년까지 공개된 자료를 보면 변전소내에서 케이블의 부분방전 검출시에 검출센서에 유입가능성이 있는 Noise는 변전소내의 운용중인 전압, 설비의 종류 및 용량에 따라 달라지겠지만, 2003년~2004년의 자료에서는 약10MHz이하의 주파수 대역에서 많이 발생하고 있고, 2012년 한전자료에서는 변전소에서는 40MHz이하의 주파수 대역에서 많이 발생하고 있고, 전력구에서는 케이블의 전파감쇠특성에 의해 20~40MHz 주파수 대역의 노이즈는 감쇠하여 20MHz이하의 주파수 대역에서 많이 발생하고 있다고 기술하고 있다. 그리고 주파수 대역이 높을수록 노이즈 크기는 감소되고 있으므로 검출주파수를 100MHz~1GHz대역까지 확대하는 것을 검토하고 GIS등의 전력설비의 부분방전 진단장비에 적용하고 있다는 자료도 있다.
전력설비에서 전자화가 진행될수록 고조파에 의한 영향으로 10MHz이상의 주파수 대역에서 노이즈가 증가하고 있지 않은 가 생각되며, 노이즈의 크기는 100pC이상, 수십mV이상이며, 이러한 노이즈를 제거하여야만 10pC정도의 부분방전 신호를 검출할 수 있을 것이며, 현재 2014년에서도 부분방전 검출시의 노이즈 제거방법에 대해 다양한 방법을 적용하고 있고, 보완을 계속 실시 및 검토하고 있는 것이 현상이다.

현재 일반적으로 많이 사용되고 있는 케이블의 고주파부분방전 진단장비에 있어 사용되는 검출주파수 대역은 대략10~50MHz 범위에서 많이 사용되고 있는 데,
전력케이블에 있어 부분방전 검출 주파수 대역이 높을수록 노이즈 신호 크기가 작아 검출된 신호에서 노이즈 신호를 제거가 용이하여 감도는 향상될 것이지만, **실선로 케이블 포설된 상태에서 케이블 중간에서 유입되는 Noise의 주파수대역과 신호크기는 주파수가 높을수록 & 케이블의 길이가 길수록 부분방전(PD) 신호가 케이블을 따라 전파되면서 부분방전 신호의 크기 감소 및 PD Pulse신호의 왜곡이 증가한다**

주파수 증가, 케이블 길이 증가 --> PD신호 크기 감소, 왜곡증가 (거리의 1차 함수가 아님)
(추후 이러한 사항에 대해 기술할 것이다.)
따라서 변전소측에서만 PD센서(예를 들어 HFCT Sensor)를 설치하여 케이블의 부분방전 측정시, 일반적으로 산업현장에서 많이 사용하는 수십m~수천m 범위내의 케이블 포설 사용조건에 있어, 변전소측으로부터 수십m이상의 케이블 또는 직선접속 부분에서 부분방전(PD)가 발생하는 경우,

PD신호는 케이블 길이, 케이블 구조등에 따라 PD발생지점으로부터 변전소측으로 전파되면서 크기감소, Pulse왜곡, 반사등이 발생되어 변전소에 설치된 PD센서로 유입되어 PD Sensor에서 PD신호를 검출하는데, 어떤 방법으로 정상적으로 검출할 수 있는지???
1980년 이전부터 PD측정은 접속부분의 수m이내의 부분만 PD감시하기 위해 감시하고자 하는 부분에 PD센서를 설치하면 가능할 것이라는 사항이 근본적인 PD Signal 검출의 현상인데?