

1. 출전: 지중XLPE전력케이블의 고주파신호 전송특성측정, 2013년 전기학회, 한국전기연구원(이상화, 선종호), 포항공과대학(신동식, 박위상)

2013년도 스마트 대전력 및 고전압 기술 연구회 춘계학술대회 (2013.4.26)

지중 XLPE 전력 케이블의 고주파신호 전송특성 측정

이상화, 신동식*, 박위상*, 선종호
한국전기연구원, *포항공과대학교

Measuring the High Frequency Propagation Characteristics of Underground XLPE Cable

Sang-Hwa Yi, Dong Sik Shin*, Wee Sang Park* and Jong-Ho Sun
Korea Electrotechnology Research Institute, Pohang University of Science and Technology

Abstract - 지중 XLPE 전력 케이블의 효과적인 결함 진단을 위하여, 고주파에서 전력케이블 신호전송특성을 측정하는 방법을 소개한다. 회로망분석기를 이용한 주파수 도메인에서 측정법과 펄스발생기와 오실로스코프를 이용한 타임도메인 측정법을 이용하여 측정하여 비교하였다. 국내에서 사용중인 동일한 구조의 다른 공칭단면적을 가진 케이블의 전송 특성을 측정하였다.

1. 서 론

전력케이블의 절연재 중 가교폴리에틸렌(XLPE: Cross-linked Polyethylene)은 우수한 전기적 특성과 높은 허용온전온도로 인해 각광받기 시작했다. 특히 지중선로는 주요시설의 미관확보와 가공선로 시설이 불가능하고 유지보수가 곤란한 지역 등에 시설하게 되는데 XLPE 케이블은 기존의 유입 (OF: oil-filled) 케이블과 비교하여 보수가 용이하며 방재 성능이 우수하므로 지중선로의 배전케이블에서 초고압케이블에 이르기까지 널리 이용되고 있다.

IEC60270 에 따르면, 전력케이블 부분방전 측정의 주파수는 광대역 측정일 경우 30 kHz~500 kHz 이고 협대역 측정일 경우는 50 kHz~1 MHz로 실 선로 측정 주파수보다 비교적 낮은 대역에서 이루어진다. 그러나 실 선로에서 적용 시 케이블의 길이가 길어 용량성이 크기 때문에 감도가 낮고, 육이나 전원을 통해서 잡음이 측정 시스템에 심하게 유입되어 부분방전 측정이 매우 곤란하다. 따라서 현재는 잡음이 심한 주파수 대역을 피하여 점차 고주파 대역에서 고감도로 부분방전 신호를 측정하고자 하는 추세에 있으며 최근에는 수백 MHz의 고주파 대역에서의 측정시스템이 일부 개발 적용되고 있다. 그러나 부분방전 측정 시스템의 동작 주파수가 올라가면, high frequency current transformer (HFCT)로 대표되는 케이블 진단용 부분방전 센서의 경우 감도는 낮아지고 가격은 상승하게 되며, 케이블 접속부에서의 부분방전 신호의 감쇠가 커지고 예측이 어려워져 적용에 곤란을 겪고 있다. 또한 고주파로 갈수록 반 도전체와 케이블 도체의 표효효과로 인하여 케이블의 리액턴스와 저항 성분이 변하게 된다. 이와 같은 변화는 케이블 해석에 어려움이 있다.

현재 사용되고 있는 케이블 결함 진단 시스템의 경우, 반사파의 시간차를 이용하는 방식을 기반으로 결함 위치를 판별하는 방식이 대부분이며, 보다 긴 케이블에서 잡음에 강한 정확한 위치 판별을 위해서는 진단 시스템을 케이블 양 쪽에 모두 설치하는 double ended method를 사용한다. 이 경우 진단 시스템간의 시 동기화가 정밀도에 가장 큰 영향을 주고, 케이블에서의 부분방전 신호의 분산 또한 감시 가능한 케이블의 길이 및 측정 결과의 정밀도에 크게 영향을 미친다. 만약 전력용 케이블에서의 고주파 신호의 정확한 전송특성 분석이 이루어지면 지중 전력케이블의 결함 위치 판별 시 정확도 향상에 크게 기여 할 수 있을 뿐 아니라 정확한 방전량 추정

큰 정보를 제공할 수 있을 것이다.

가공선로 및 지중 전력케이블의 신호전송 특성은 주로 전력선 통신에 이용되기 위하여 최대 수십 MHz 까지 파악되어있다. 그러나 케이블 상태감시진단을 위한 부분방전 신호의 특성 파악이나 잡음에 강한 결함위치 추정을 위하여서는 그 이상의 주파수에서 특성 파악이 필요하다. 그러나 나라마다 사용하는 케이블이 다양해 공개된 정확한 해석은 없는 실정이다. 본 논문에서는 국내에서 사용 중인 몇 가지 XLPE 전력케이블의 고주파 전송 특성을 여러 방법으로 측정하고 그 결과를 제시 분석하였다.

2. 본 론

2.1 전송선로 파라미터

일반적인 회로해석에서는 회로망의 물리적인 크기가 파장에 비해 훨씬 작지만, 전송선로에서는 파장의 일부 또는 수파장이 될 만큼 전기적인 길이가 길다. 이러한 환경에서 전송선로는 분산 정수 회로망이 되고, 이회로망에서 전압과 전류는 선로 전체에 걸쳐 크기와 위상이 변화 될 수 있다. TEM 파가 주로 전파되는 일반적인 전송선로는 두 개의 도체를 포함하는 2선식 선로로 모델링할 수 있고, 이때 매우 짧은길이 (Δz)의 선로를 그림 1과 같이 집중소자로 모델링 할 수 있다. 여기서 R, L, G, C 는 전송선로의 단위길이당 직렬저항, 직렬인덕턴스, 병렬컨덕턴스, 병렬캐패시턴스이다.

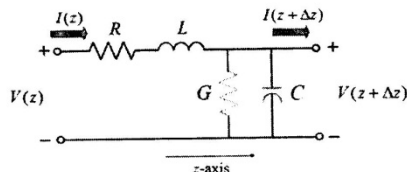


그림 1. 일반적인 전송선로 등가회로 모델

전송선로의 특성은 전파상수 γ 와 특성 임피던스 Z_0 만으로 특징지을 수 있으며, 이 중 복소 전파상수는 아래 식 (1)과 같이 두 개의 실수인 감쇄상수 (attenuation constant) α 와 위상상수 (phase constant) β 로 구성된다. 이 상수들은 모두 주파수의 함수 이고, α 는 단위 길이당 감쇄량을 나타내며, β 는 신호의 속도를 결정한다. γ 는 전송선로 등가회로 모델의 단위길이 당 집중소자 파라미터(R, L, G and C)로부터 식 (2)와 같이 계산 가능하다.

$$\gamma = \sqrt{zy} = \alpha + j\beta \quad (1)$$

검토자 개인의견:

- 1) **출전의 기재된 일부 참고내용:** (출전: 지중XLPE전력케이블의 고주파신호 전송특성 측정, 2013년 전기학회, 한국전기연구원(이상화, 선종호), 포항공과대학(신동식, 박위상))

IEC60270 규정에 따르면, 전력케이블 부분방전 측정의 주파수는 광대역 측정일 경우 30 kHz ~ 500 kHz 이고 협대역 측정일 경우는 50 kHz ~ 1MHz 로 실 선로 측정 주파수보다 비교적 낮은 대역에서 이루어진다.

그러나 실 선로에서 적용 시 케이블의 길이가 길어 용량성이 크기 때문에 감도가 낮고, 옥외나 전원을 통해서 잡음이 측정 시스템에 심하게 유입되어 부분방전측정이 매우 곤란하다.

따라서 현재는 잡음이 심한 주파수 대역을 피하여 점차 고주파 대역에서 고감도로 부분방전 신호를 측정하고자 하는 추세에 있으며 최근에는 수백 MHz의 초고주파 대역을 이용한 측정시스템이 일부 개발적용되고 있다[8].

그러나 **부분방전 측정 시스템의 동작 주파수가 올라가면, high frequency current transformer (HFCT)로 대표되는 케이블 진단용 부분방전 센서의 경우 감도는 낮아지고 가격은 상승하게 되며, 케이블 접속부에서 부분방전 신호의 감쇠가 커지고 예측이 어려워져 적용에 곤란을 겪고 있다.**

또한 **고주파로 갈수록 반도체와 케이블 도체의 표피효과로 인하여 케이블의 리액턴스와 저항 성분이 변하게 된다. 이와 같은 변화는 케이블 해석에 어려움이 있다.**

- 2) **검토자의 개인 검토의견 (2015년 11월 21일) :**

앞에서 외국 및 한국자료에서 검토하였던 자료들의 내용과 같이, 현장 실선로에서 부분방전 발생위치가 부분방전(PD)측정 센서로부터 먼 위치에 있을 때는 부분방전 발생위치로부터 부분방전 신호가 케이블을 따라 전파하면서 크기가 감쇠하여

부분방전 검출센서에서 검출되는 신호강도가 낮아지고 현장에서는 잡음이 부분방전 측정시스템에 심하게 유입되어 부분방전 측정이 매우 곤란하다는 사항과,

현장 외부 잡음이 심한 주파수 대역을 피하기 위해 검출 주파수 대역을 높이려는 시도가 있지만, 주파수 대역이 높아지면 PD측정센서에 검출되는 크기감도는 낮아지고

PD센서의 Cost가 증가되고 또한 고주파로 갈수록 케이블의 반도체층과 도체의 특성이 변화하여 부분방전 해석이 어렵다고 기술하고 있다.

또한, 한국내에서도 2012년이후 케이블에 있어 부분방전 측정시에 부분방전 발생위치로부터 부분방전 센서가 멀리 떨어져 있을 때에 크기 감쇠와 노이즈 때문에 부분방전이 어렵다는 사항과 노이즈 문제를 해결하기 위해 측정주파수를 높일수록 검출감도 낮아지고 센서cost는 상승하고 또한 감쇠도 커진다는 사항이 기술되어 있는 자료들이 많이 발표하고 있음이 확인되고 있다.

XLPE 케이블 접속재 모델의 부분방전 펄스파형 분석

Analysis of partial discharge wave shape of
XLPE cable accessory.

지도교수 김 정 태

대전대학교 대학원

전기공학과

이 한 우

2014년 12월

제 1 장 서 론

제 1 절 연구 배경

지중 송전 XLPE 케이블의 사용이 보편화됨에 따라 지중 송전 XLPE 케이블의 운영시 신뢰성 확보를 위한 현장 진단 방법이 필요하게 되었고 그 중 부분방전의 측정이 보편화 되고 있다. 전력 케이블에서 부분방전을 측정할 때 Noise 신호의 제거는 부분방전을 측정하는데 필수적이므로 신호의 S/N비가 비교적 크게 나타나는 MHz 이상의 고주파 대역에서 측정이 이루어지고 있다. 현장에서 부분방전 진단을 시행하는 경우 가장 큰 문제점은 센서의 설치 및 외부 Noise의 유입 정도이다. 이러한 Noise의 유입을 제거하기 위해 TF(Time-Frequency)기법[1], 3PAR(3 Phase Amplitude Related Diagram) 기법[2, 3], Noise Gating기법[4] 등을 통해 현장 부분방전 패턴인식의 정확도를 제고하고 있다. 이 중 Noise Gating 기법은 외부에 안테나 센서를 설치하여 Noise 신호를 측정하고 센서를 통해 측정된 신호에서 노이즈 안테나 센서를 통해 취득한 신호를 제거하는 기법이다. 일반적으로 전력구 혹은 맨홀에 포설된 접속함의 경우 외부 노이즈의 유입이 적으며 비교적 센서의 설치가 자유롭다. 하지만 중단 접속함(EBA, EBO, EBG)과 같은 경우 상대적으로 노이즈의 영향이 크게 나타나므로 Noise Gating기법을 이용하여 주변의 노이즈의 영향을 줄이고 있다. 부분방전의 측정에서 또 한 가지 중요한 것은 TDR(Time Domain Reflectometry)[5]을 기반으로 하고 2개의 센서를 이용하는 시간차 분석기법[6] 등을 통해 부분방전의 발생 위치 추정에 대한 분석으로 부분방전의 진단 정확도가 향상되고 있다.

하지만 현장에서는 주변 환경에 따라 노이즈의 유입 정도가 매우 다양한 형태로 나타나고 상황에 따라 앞에서 언급한 노이즈 저감 기법을 사용할 수 없는 경우도 발생하게 되며, EBA와 같은 경우 2개의 센서를 이용하여 위치를 추정하는 기법을 적용할 수 없고 접속함에 크로스본딩이 있는 경우 신호의 전파가 복잡한 경우 위치 추정 기법을 적용하는데 어려움이 있어 개선 방안이 필요한 상황이다.

결합에서 발생하는 부분방전 신호는 케이블의 복합적인 매질을 통해 전파된다. 부분 방전 신호는 케이블의 결합에 따라 차이는 있지만 대체적으로 발생

- 1 -

시 수ns 정도의 매우 짧은 형태를 지닌다.[7] 하지만 현장에서 측정된 부분방전 펄스는 수us 정도의 비교적 긴 파형이 측정된다. 이것은 부분방전 신호가 케이블의 매질을 통해 전파되어 센서로 측정되는 과정에서 전파 경로의 임피던스에 의해 부분방전 신호의 형태가 변화하기 때문이다.

부분방전 신호 전파에 있어서 전파 경로의 임피던스가 변화할 경우 신호의 반사 및 투과파가 발생한다. 이렇게 발생한 반사 및 투과파는 부분방전 펄스에 중첩되어 나타나게 되고 측정 위치가 발생 위치로부터 멀어 갈수록 그 정도는 커진다. 다시 말해서 측정되는 펄스의 모양은 결합에서 발생한 부분방전 펄스와 전파경로의 임피던스 차이에 의한 반사 및 투과파의 합성으로 나타난다. [8]

결합에서 발생한 부분방전 펄스의 경우 전파 경로의 임피던스에 의한 투과 및 반사파 보다 먼저 센서에 도착하기 때문에 부분방전 펄스의 첫 번째 피크를 구성하는 요인으로 작용한다. 또한 전파 경로의 임피던스 변화에 의해 발생하는 부분방전 펄스의 반사 및 투과파는 신호의 환경에 따라 다양한 시간차를 가지고 뒤따르게 되는데 이러한 펄스가 혼합되어 센서로 측정된다. 이처럼 부분방전 펄스는 전파경로에 따라 파형이 달라진다. 앞서 이야기한 부분방전의 펄스 파형의 변화를 케이블에 적용할 경우 진단의 정확도를 높일 수 있을 것으로 예상된다. 즉, 중단 접속함(EBA, EBG, EBO)과 중간 접속함 등은 각각 임피던스 특성이 다른 만큼 여기에서 발생하는 부분방전 펄스 파형은 각각 어느 정도 정형화 될 수 있다. 그러므로 접속함 별로 파형을 잘 분석할 경우 접속함에서 발생된 것인지 아니면 다른 곳에서 유입된 신호인지를 파악이 가능할 것으로 보이며 정확한 구분은 어려워도 최소한 판단에 도움을 줄 수 있다.

본 연구에서는 접속함 모델을 구성하고 부분방전 펄스의 파형 형성에 대해서 실험을 진행하였으며, 부분방전 펄스의 파형을 확인하기 위해 시뮬레이션 소프트웨어(FDTD Solution)를 이용하여 실제 접속함을 포함하는 케이블과 동일한 모델을 구성하여 전파되는 부분방전 펄스를 시뮬레이션을 이용하여 측정하였다. 또한 시뮬레이션에서 측정된 결과와 실제 케이블 모델에서 발생하는 부분방전 펄스의 파형을 비교하여 부분방전 펄스의 형태를 분석하였으며 EBA 모델을 구성하고 내부 결합에 의한 부분방전 펄스 발생과 외부 유입 신호에 대하여 시뮬레이션을 통하여 분석하였다.

- 2 -

2. 감쇠 특성

부분방전은 광대역 주파수 특성을 가진 현상이다. 그러므로 센서와 방전이 발생하는 위치가 가까울 경우 GHz 영역에 이르는 광대역의 부분방전 신호를 검출할 수 있다. 하지만, 현장에서 측정을 할 수 있는 위치는 제한적이기 때문에 부분 방전 신호가 발생되면 케이블을 통해 센서까지 전파하게 된다. 일반적으로 전력케이블에서 전파하는 신호의 고주파수 성분은 저주파수 성분보다 보다 많이 감쇠하게 된다. 그러므로 케이블 종단에 센서를 설치할 경우 측정 가능한 대역폭은 한계가 있다. 그림 2.2.2에 나타난 감쇠와 식 (2.6)을 이용하여 계산하면, 그림 2.2.3과 같은 거리에 따른 주파수별 부분방전 신호의 크기를 구할 수 있다. 20MHz 이상의 신호는 100m 전 전파해도 50% 이하로 크기가 감쇠하며, 수 MHz 이내의 신호는 1km가 넘어도 측정 가능하다는 점을 알 수 있다.

한편 케이블 거리에 따른 부분방전 신호감쇠에 대해 현장에서 실측한 데이터는 그다지 많지 않으며, 측정방식에 따라 큰 차이를 보이며 케이블에 따라 서로 다른 차이를 나타낸다. 대체로 송전급 XLPE 케이블이 배전급 케이블보다 약간 덜 감쇠되는 경향이 있는데, 이는 케이블의 굵기가 더 굵어져 케이블의 임피던스가 달라지기 때문이다.

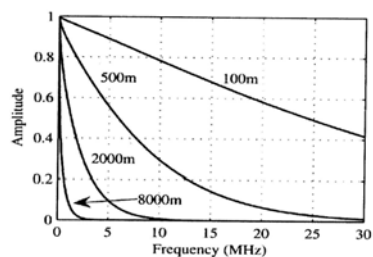


그림 2.2.3 여러 길이의 케이블을 통과해 검출된 부분방전 신호의 스펙트럼[8]

- 10 -

거리에 따른 부분방전 신호감쇠를 고려하면 보다 낮은 주파수에서 측정하는 것이 측정감도 측면에서 유리한 것으로 보인다. 하지만 Noise는 저주파 대역에서 더 크게 작용하므로 현장에서 저주파 대역의 측정은 어렵다. 이에 따라, 측정 주파수 대역의 선정은 신중히 고려하여야 하며, 대체로 최소한 1MHz 이상 대역에서의 측정이 바람직하다.

또한 XLPE 케이블 시스템의 결함에서 발생 부분방전은 대체로 기체 또는 액체절연체의 경우보다 매우 작은 방전량을 나타내므로, 발생한 부분방전 신호가 먼 거리를 전파할 경우 매우 작은 신호로 되어 노이즈에 묻혀 측정이 어려운 경우가 대부분이다. 따라서 XLPE 케이블의 경우라면 종단 1곳에서 측정할 것이 아니라 측정이 용이한 위치인 각각 종단 및 접속함에서 측정하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

3. 전파속도

부분방전의 위치추정 등을 수행할 경우에는 부분방전 펄스가 케이블을 전파하는 속도를 아는 것이 중요하다. 폴리에틸렌(PE)의 비유전율 2.3인 경우 이론적인 전파속도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{1}{\sqrt{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2.3 \times 8.854 \times 10^{-12}}} = 1.98 \times 10^8 \text{ [m/s]} \quad \text{식 (2.9)}$$

실제로 PE 절연층을 갖고 있는 동축 신호케이블에서 신호 전파속도는 식 (2.9)의 값 정도로 측정된다.

그러나, XLPE 케이블에서는 상기한 식 (2.4)에 의한 계산으로 그림 2.2.2에 나타난 바와 같이 XLPE 케이블의 일반적인 부분방전 측정 주파수 대역 (30kHz~30MHz)에서는 대략 168m/μs (1.68×10⁸m/s) 이다. 실측에서도 이 정도의 속도이지만 케이블의 종류에 따라 대략 160m/μs~175m/μs 정도를 보이며, 케이블이 굵을수록 임피던스가 달라져 속도가 느려지게 된다. 이와 같이 이론 값보다 느린 속도를 나타내는 것은 전력케이블의 내부 및 외부 반도전층의 낮은 저항율과 동축 신호선보다 전력케이블이 더 굵기 때문이다. [9, 10]

그림 2.2.4에 나타난 바와 같이, 국내 345kV XLPE 케이블에서 측정된 전파속도는 약 164m/μs 정도이며, 배전급 22.9kV CNCV 케이블에서 측정된 전파속도는 167m/μs 로 나타났다. [11]

검토자 개인의견:

1) **출전의 게재된 일부 참고내용:**

(출전: XLPE케이블 접속재 모델의 부분방전 펄스파형 분석, 2014년 12월 대진대, 이한우 석사논문)

① 전력케이블에 있어 현장에서 부분방전 진단을 시행하는 경우 가장 큰 문제점은 센서의 설치 및 외부Noise의 유입정도이다.

결함에서 발생하는 부분방전 신호는 케이블의 복합적인 매질을 통해 전파된다. 부분방전 신호는 케이블의 결함에 따라 차이는 있지만 대체적으로 발생시 ns정도의 매우 짧은 형태를 지닌다. 하지만 현장에서 측정된 부분방전 펄스는 us정도의 비교적 긴 파형이 측정된다. 이것은 부분방전 신호가 케이블의 매질을 통해 전파되어 센서로 측정되는 과정에서 전파 경로의 임피던스에 의해 부분방전 신호의 형태가 변화하기 때문이다. 부분방전 신호 전파에 있어서 전파경로의 임피던스가 변화할 경우 신호의 반사 및 투과파가 발생한다.

이렇게 발생한 반사 및 투과파는 부분방전 펄스에 중첩되어 나타나게 되고 **측정 위치가 발생위치로부터 멀어 질수록 그 정도는 커진다.** 다시 말해서 측정되는 펄스의 모양은 결함에서 발생한 부분방전 펄스와 전파경로의 임피던스 차이에 의한 반사 및 투과파의 합성으로 나타난다.

결함에서 발생한 부분방전 펄스의 경우 전파 경로의 임피던스에 의한 투과 및 반사파 보다 먼저 센서에 도착하기 때문에 부분방전 펄스의 첫번째 피크를 구성하는 요인으로 작용한다.

② 감쇠특성

부분방전은 광대역 주파수 특성을 가진 현상이다. 그러므로 센서와 방전이 발생하는 위치가 가까울 경우 GHz영역에 이르는 광대역의 부분방전 신호를 검출할 수 있다. 하지만, 현장에서 측정을 할 수 있는 위치는 제한적이기 때문에 부분방전 신호가 발생되면 케이블을 통해 센서까지 전파하게 된다.

일반적으로 전력케이블에서 전파하는 신호의 고주파수 성분은 저주파수 성분보다 많이 감쇠하게 된다.

그러므로 케이블 종단에 센서를 설치할 경우 측정 가능한 대역폭은 한계가 있다. 그림 2.2.2에 나타난 감쇠와 식(2.6)을 이용하여 계산하면, 그림 2,2,3과 같은 거리에 따른 주파수별 부분방전 신호의 크기를 구할 수 있다. 20MHz이상의 신호는 100m만 전파해도 50%이하로 크기가 감쇠하며, 수MHz이내의 신호는 1km가 넘어도 측정 가능하다는 점을 알 수 있다.

한편 케이블 거리에 따른 부분방전 신호감쇠에 대해 현장에서 실측한 데이터는 그다지 많지 않으며, 측정방식에 따라 큰 차이를 보이면 케이블에 따라서도 차이를 나타낸다. 대체로 송전급XLPE케이블이 배전급 케이블보다 약간 덜 감쇠되는 경향이 있는데, 이는 케이블의 굵기가 더 굵어져 케이블의 임피던스가 달라지기 때문이다.

거리에 따른 부분방전 신호감쇠를 고려하면 보다 낮은 주파수에서 측정하는 것이 측정감도 측면에서 유리한 것으로 보인다. 하지만 Noise는 저주파 대역에서 더 크게 작용하므로 현장에서 저주파 대역의 측정은 어렵다. 이에 따라 측정주파수 대역의 선정은 신중히 고려하여야 하며, 대체로 최소한 1MHz이상 대역에서의 측정이 바람직하다.

또한 XLPE케이블 시스템의 결함에서 발생 부분방전은 대체로 기체 또는 액체절연체의 경우보다 매우 작은 방전량을 나타내므로, 발생한 부분방전 신호가 먼 거리를 전파할 경우 매우 작은 신호로 되어 노이즈에 묻혀 측정이 어려운 경우가 대부분이다. 따라서 XLPE 케이블의 경우라면 종단 1곳에서 측정할 것이 아니라 측정이 용이한 위치인 각각 종단 및 접속함에서 측정하는 것이 유리하다고 할 수 있다.

2) 검토자의 개인 검토의견 (2015년 11월 21일) :

이 출전의 논문의 주요 내용을 살펴보면,

① 전력케이블에 있어 현장에서 부분방전 진단을 시행하는 경우 가장 큰 문제점은 센서의 설치 및 외부Noise의 유입정도이고,

부분방전 신호가 케이블의 매질을 통해 전파되어 센서로 측정되는 과정에서 전파 경로의 임피던스에 의해 부분방전 신호의 형태가 변화하며, 부분방전 신호 전파에 있어서 전파경로의 임피던스가 변화할 경우 신호의 반사 및 투과파가 발생한다.

이렇게 발생한 반사 및 투과파는 부분방전 펄스에 중첩되어 나타나게 되고 측정 위치가 발생위치로부터 멀어 질수록 그 정도는 커지므로, 결함에서 발생한 부분방전 펄스의 경우 전파 경로의 임피던스에 의한 투과 및 반사파 보다 먼저 센서에 도착하기 때문에 **부분방전 펄스의 첫번째 피크를 검출하여야** 한다고 기술하고 있다.

② 그리고, 감쇠특성에서는 일반적으로 전력케이블에서 전파하는 신호의 고주파수 성분은 저주파수 성분보다 많이 감쇠하게 된다. 그러므로 케이블 종단에 센서를 설치할 경우 측정 가능한 대역폭은 한계가 있고, **20MHz이상의 신호는 100m만 전파해도 50%이하로 크기가 감쇠한다**고 기술하고 있다.

거리에 따른 부분방전 신호감쇠를 고려하면 보다 낮은 주파수에서 측정하는 것이 측정감도 측면에서 유리한 것으로 보인다. 하지만 Noise는 저주파 대역에서 더 크게 작용하므로 현장에서 저주파 대역의 측정은 어렵다.

이에 따라 측정주파수 대역의 선정은 신중히 고려하여야 하며, 대체로 최소한 1MHz이상 대역에서의 측정이 바람직하다고 기술하고 있다.

또한 XLPE케이블 시스템의 결함에서 발생 부분방전은 대체로 기체 또는 액체절연체의 경우보다 매우 작은 방전량을 나타내므로, 발생한 부분방전 신호가 먼 거리를 전파할 경우 매우 작은 신호로 되어 노이즈에 묻혀 측정이 어려운 경우가 대부분이다.

따라서 XLPE 케이블의 경우라면 종단 1곳에서 측정할 것이 아니라 측정이 용이한 위치인 각각 종단 및 접속함에서 측정하는 것이 유리하다.

앞에서 외국 및 한국자료에서 검토하였던 자료들과 이 출전의 논문을 함께 검토하면,

추후에 검토할 내용이지만 전력케이블에서 부분방전이 발생하면 PD신호가 케이블을 따라 전파이동하면서 접속개소나 단말에서 신호의 반사 및 투과파가 발생하고 중첩되어 PD신호가 PD센서에 검출되기 때문에 해석이 곤란하다는 문제점이 있어, 부분방전 펄스의 첫번째 피크를 검출하면 정확한 부분방전 현상을 분석할수 있다고 기술하고 있고

앞에서 이미 검토한 자료와 같이 PD검출주파수가 높을수록 PD신호의 감쇠정도가 커지고 20MHz이상의 PD검출주파수에서 PD신호를 검출하는 경우에 부분방전 발생위치에서 PD센서까지 100m정도 떨어져 있을 경우, PD발생위치에서 PD신호가 케이블을 따라 이동전파하면서 PD신호의 크기가 감시하여 PD센서에서는 PD발생크기의 약 50%정도만 PD신호 크기를 검출할 수 있다고 기술하고 있다.

그리고, 부분방전 신호가 케이블을 따라 PD측정센서까지 먼 거리를 전파할 경우 매우 작은 신호로 되어 노이즈에 묻혀 측정이 어려운 경우가 대부분이기 때문에 전력케이블에서는 종단 1곳에서 PD측정하는 것보다는 부분방전 측정이 용이한 각각 단말의 종단부 및 직선 접속함에서 측정하는 것이 바람직하다고 기술하고 있다.

따라서, 전력케이블에서의 PD측정은 PD신호의 전파감쇠특성, 반사특성, 노이즈 문제 등을 종합고려하면,

PD측정센서를 1곳의 장소에서 PD검출하는 것보다는 PD가 발생하기 쉬운 단말, 접속부등에서 가까운 장소에 PD측정센서를 설치하여 PD상태를 진단하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. (이 사항은 앞에서 외국 및 한국자료에서 검토자료의 내용과 거의 같은 내용)