22kV급 CV케이블의 부분방전 감쇠특성 자료 정리, 검토

2020년 10월5일 검토자: 김보경 (olcm@olcm.co.kr)

1. 자료명: 모의PD펄스의 케이블 전파특성 검증

1) 출전: 2017년 전기정보관계학회 구주지부연합대회, 미야자끼대학

2) 실험방법

① 그림1과 같이 40m 22kV급 CV케이블을 대상으로 PD를 모의한 펄스를 펄스발생기에서 발진하고, 전류펄스의 전파경로 및 감쇠에 관해 검증

② 40m 22kV급 CV케이블 양단의 차폐층을 접지, 펄스발생기에서 약1,000pC상당의 전하Pulse를 차폐층으로 발진,

③ 전파하는 전류Pulse를 CT센서 CT1, CT2에서 각각 관측하고, 검출파형의 Rising Time 및 Pulse의 전파속도를 산출, FFT해석

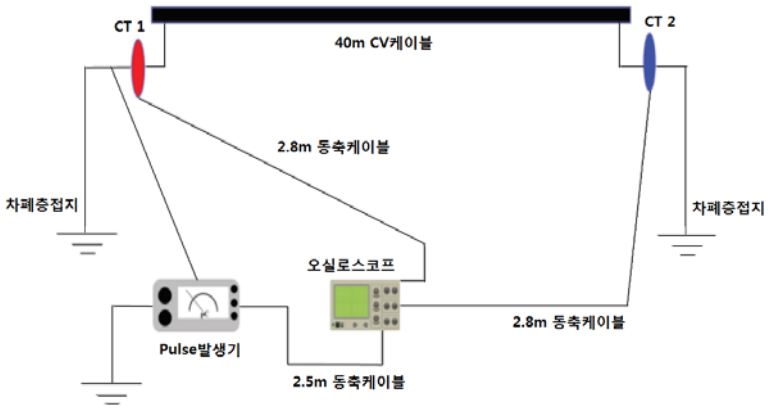


그림1. 측정회로 개요

3) 실험결과 및 검토

CT1에서 취득한 전류Pulse의 파고치= 2.8mA, CT2에서 취득한 전류Pulse의 파고치=1.3mA
CV케이블 40m를 전파하여 취득한 펄스의 파고치는 46%(=1.3mA/2.8mA) 감쇠함과 동시에, Pulse의 rising의 기울기도 저하되고 있다.
또 2가지 펄스의 rising time차와 전파거리 40m로 계산하면,
본 시험에서 사용한 CV 케이블에서의 펄스의 전파속도는 235.3m/㎲이며,
일반적으로 이해되고 있는 속도 200m/㎲(광속의 2/3 정도)보다도 빠르다.

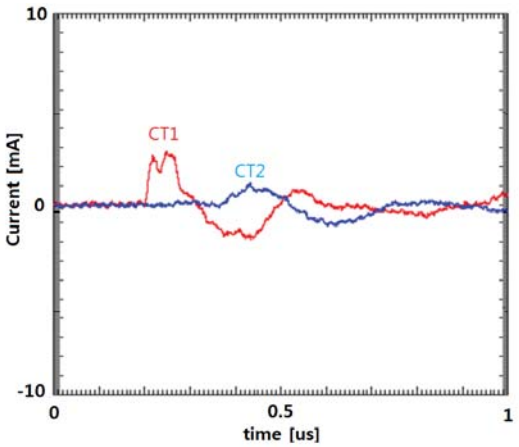


그림2. CT1, CT2 취득파형

FFT 해석 결과는 그림 3과 같다.
펄스 발생 송신측 CT1에서의 검출파형 및 펄스 반대쪽 수신측 CT2에서의 검출파형의 모든 펄스 주파수범위에는 차이는 없었지만,
CV 케이블 40m의 전파에 불과하지만, 고주파대뿐만 아니라 전체 주파수대에 걸쳐 신호의 강도가 감쇠되고 있음을 알 수 있다.

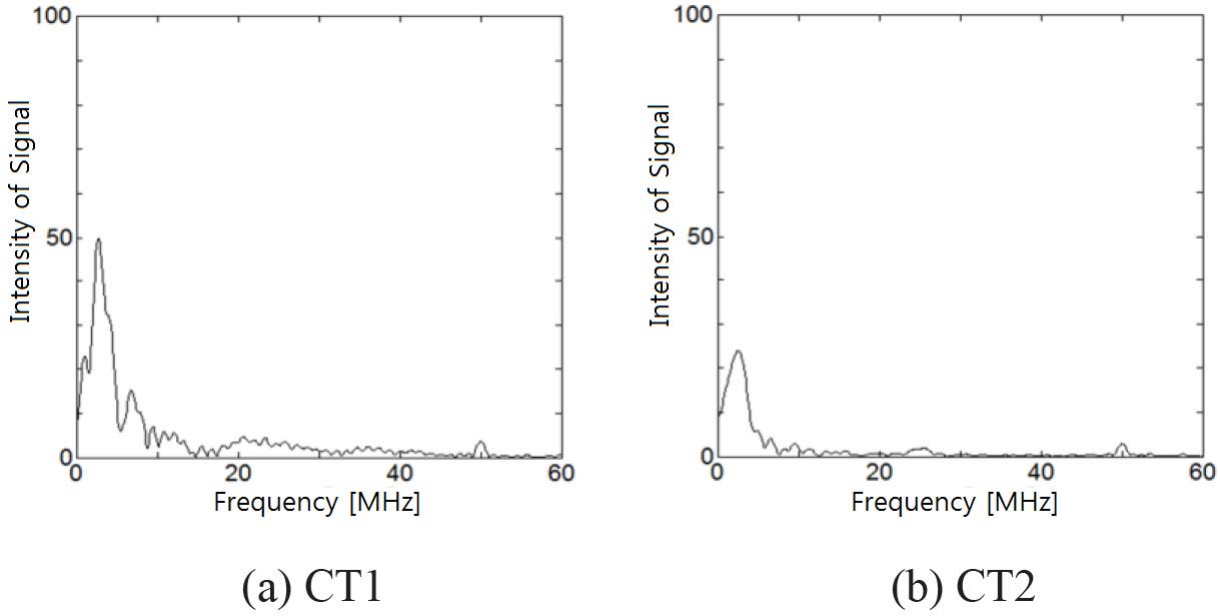


그림3. 취득파형 FFT해석결과

2. 자료명: 22kV급 CV케이블에 있어 Injection신호의 감쇠특성

1) 출전: 2019년 전기정보관계학회 구주지부연합대회, 미야자끼대학/서일본전선
2) 실험방법
① 그림1과 같이 125m,22SQ 22kV급 CV케이블을 대상으로
Injection Coil으로 인가는 Function Generator를 사용하여 정현파(10Vp-p, 1MHz, 5MHz, 10MHz)를 발생시켜, 증폭기에서 10배 증폭하여 인가. (즉, 100Vp-p인가)
케이블 도체 편단접지, 차폐층 접지하여 우측 말단에서는 도체와 차폐층을 접속 및 폐Loop구성.
② A지점측에서 Injection신호를 입사, A지점측에 CT센서A를 설치하고, CT센서B를 우측으로 5m간격으로 이동시키면서 감쇠특성을 검토.

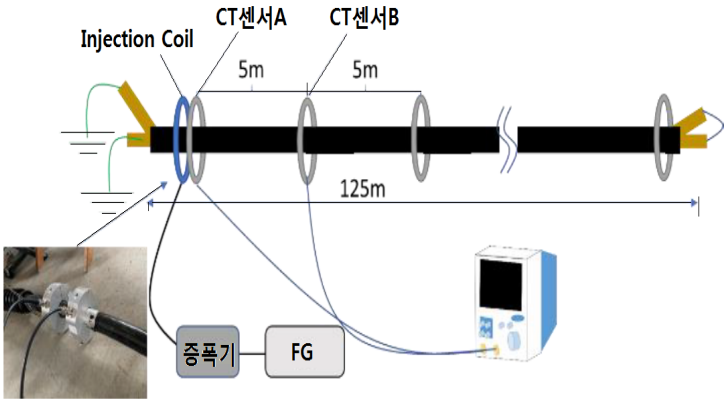


그림1. 실험장치 개요

2) 실험결과

① 20m지점 위치에 있어 Injection신호 파형

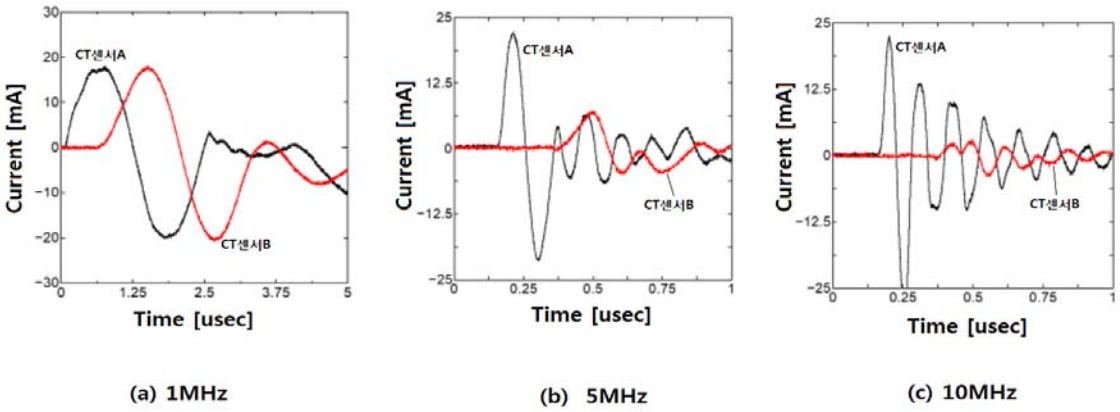


그림2. 20m지점에 있어 Injection신호

위 그림2에서 보면, 5MHz와 10MHz는 20m거리의 전파에 의해 Injection신호가 감쇠하지만, 1MHz의 전파파형은 입사신호의 최대치이상의 전파신호가 확인되고, 감쇠는 보이지 않음.

② 거리에 따른 감쇠율 변화

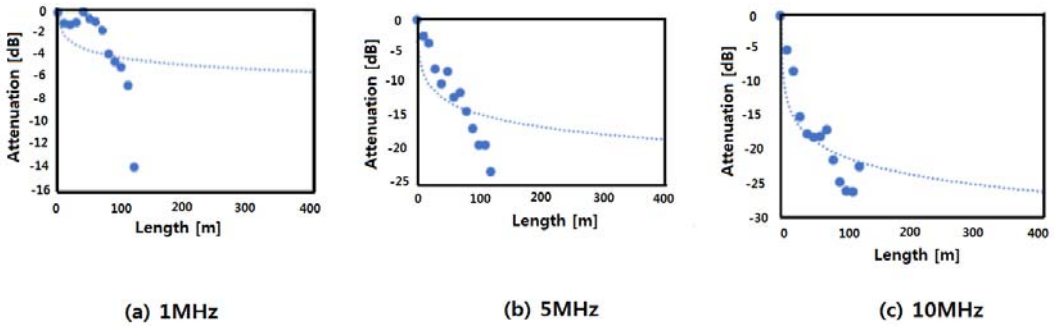
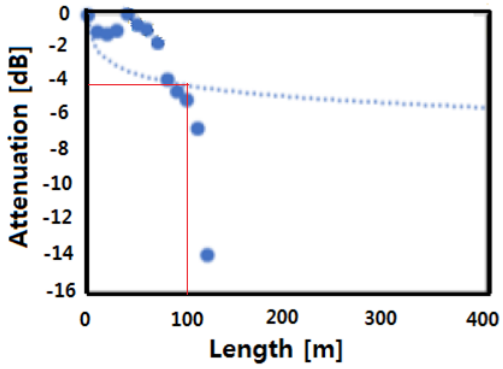
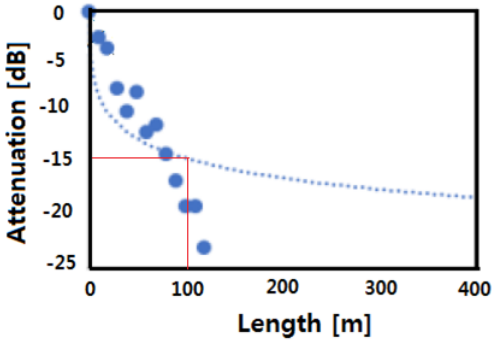
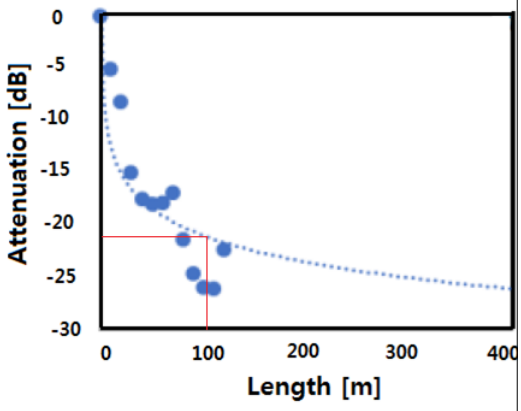


그림3. 감쇠율 변화

위 그림에서 5MHz와 10MHz의 경우, 거리가 증가함에 따라 입사신호가 감쇠하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 1MHz의 경우, 40m 위치까지는 거의 감쇠하고 있지 않는다. 이것은 케이블 임피던스에 의한 Injection신호의 공진이 원인이다.

3) 자료 검토분석 (PD발생위치로부터 100m떨어진 위치에 PD센서(HFCT)에서 PD검출시)

PD발생 Pulse의 주파수에 따른 감쇠율 변화를 나타낸 상기의 그림을 분석하면

PD검출 주파수 대역	100m위치의 감쇠율변화	분석 내용
① 1MHz 주파수의 PD검출시	 (a) 1MHz	약 4dB감쇠되고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 PD발생 크기의 약37%가 감쇠되어, 100m위치의 PD검출센서에서는 <u>약63%</u>의 크기만 검출할 수 있다.
② 5MHz 주파수의 PD검출시	 (b) 5MHz	약15dB감쇠되고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 PD발생 크기의 약82%가 감쇠되어, 100m위치의 PD검출센서에서는 <u>약18%의</u> 크기만 검출할 수 있다.
③ 10MHz 주파수의 PD검출시	 (c) 10MHz	약22dB감쇠되고 있다는 것을 알 수 있다. 즉 PD발생 크기의 약92%가 감쇠되어, 100m위치의 PD검출센서에서는 <u>약8%의</u> 크기만 검출할 수 있다.

3. 자료명: 22kV급 CV케이블에 있어 고주파전류신호의 감쇠특성

1) 출전: 2019년 일본전기학회 전력에너지부문대회, 미야자끼대학/서일본전선

2) 실험방법

① 그림1과 같이 22kV급 CV케이블 150m사용

② 전류Pulse발생Source (전극)을 도체와 차폐층간에 삽입하고, 도체측에 3kV교류전압 인가

③ 케이블 양쪽 단말에는 절연유를 함침하고, 코로나방전 제어를 실시.

④ CT센서를 전극으로부터 0m, 50m, 100m, 150m 4개의 개소에 배치하여 전류Pulse를 관측

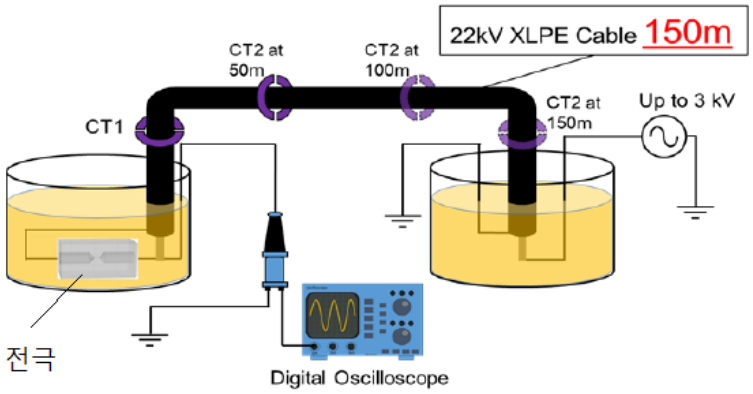


그림1. 실험장치 개요

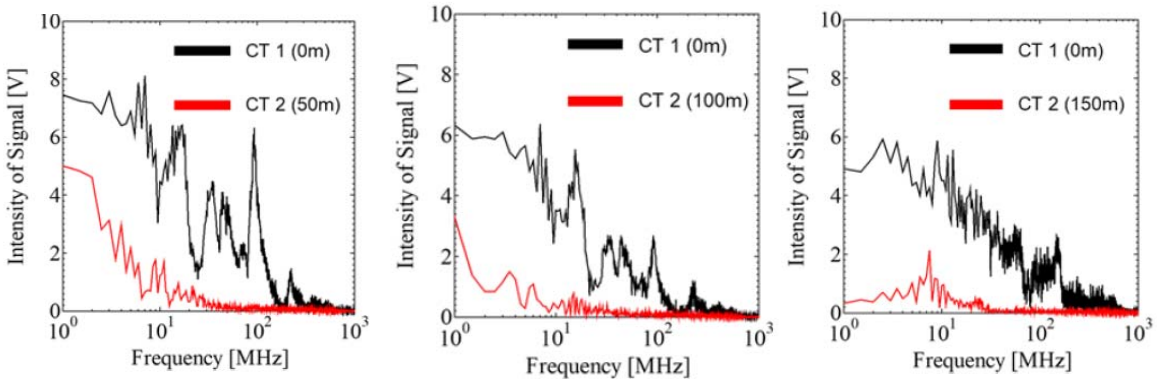
3) 실험결과 및 고주파전류Pulse의 감쇠

(1) 그림2에 관측한 전류펄스의 주파수해석 결과를 나나냈다.

(a)는 CT2를 50m지점에 배치한 때의 결과이고, 50m를 전파한 파형에서는 10MHz이상의 고주파성분은 크게 감쇠하고 있다는 것을 알 수 있다.

(b)는 CT2를 100m지점에 배치한 때의 결과이고, 예상보다 10MHz이하 저주파대역의 신호성분 감쇠는 작고, 10MH 고주파대역에서는 감쇠가 크다.

(c)는 CT2를 150m지점에 배치한 때의 결과이고, 10MHz이하의 저주파대역에서도 감쇠가 크고, 주파수 변형이 크게 되었다는 것을 알 수 있다.



(a) CT2 at 50m (b) CT2 at 100m (c) CT2 at 150m

그림2. 관측파형의 주파수해석

(2) 관측한 파형의 감쇠율과 그 근사곡선을 그림3에 나타냈다.

금회 결과로부터 얻어진 근사식은 $Y = -3.874\ln(x) - 9.0548$ 이다.

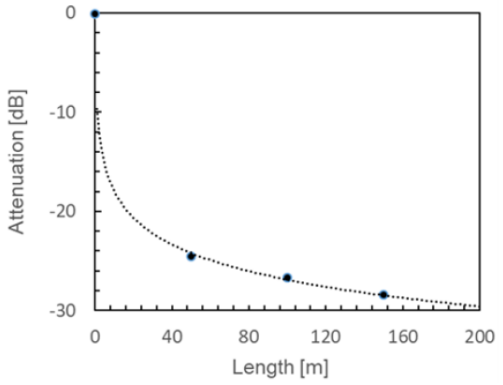


그림3. 감쇠율과 방전전하량 예측

그림3의 결과로부터, PD발생위치로부터 PD Pusle가 케이블을 따라 1km전파하면

-36dB감쇠가 예측되기 때문에 약1/63 (1.6%)으로 감쇠한 신호가 CT센서에서 관측되어질 수 있으며,

PD검출센서로부터 1km위치에 1,260pc정도의 부분방전 전하량이 발생하면 PD검출센서에서는 약10pc정도만 검출되어진다.

4) 자료 검토분석 (그림3 감쇠율과 방전전하량 예측 그래프)

① 본 자료에서는 케이블 PD발생위치로부터 전파 감쇠량은 지수함수가 아닌 Log함수적으로 감쇠되고 있다고 분석한 자료이지만, 형태는 지수함수에 가까울 것으로 추정되는 자료.

② PD발생위치로부터 약 50m떨어진 위치에 PD검출센서에서 검출되는 PD크기는 약 -24dB 로 PD발생크기의 90%이상 감쇠된 10%이하의 크기 신호만 PD검출센서에서 검출될 수 있다는 것을 추정할 수 있을 것이다.

③ 따라서, 이 자료의 실험결과에서는 22KV CV케이블에서 PD발생시에는 PD발생위치로부터 50m이상 떨어진 위치에 PD검출센서(예를 들면 HFCT)가 설치되어 있으면 PD검출할 수 없다고 할 수 있을 것이다.

4. 종합검토분석 (검토자 의견)

상기 3개의 자료를 종합적으로 분석하여 보면,
PD검출센서로부터 약 100m이상 떨어진 위치에서 PD발생시에는 5MHz이상의 PD발생주파수 대역을 검출하는 것은 거의 불가능하고,
5MHz이하의 주파수대역의 PD Pulse를 검출하여야 한다는 것을 의미하는 것이지만,

한편, 5MHz이하의 주파수 대역의 PD Pulse를 검출하기 위해서는 주변 환경에서 발생하는 여러 종류의 노이즈 성분을 분리하여야 하고, 케이블 포설환경에서 유도되는 노이즈 성분과 케이블 차폐접지선에 흐르는 PD성분 전류외의 다른 전류성분과 케이블의 열화로 인한 특성 변화에 의한 영향과 PD검출센서와 PD검출기의 신호선의 감쇠 영향, PD검출기 내부회로의 필터 감쇠특성까지 고려하면,

특히, <u>실제 현장의 케이블 시스템에서는 ①다양한 포설환경 조건, ②여러 종류의 케이블의 굵기/길이/절연특성의 구조에 따른 케이블 자체의 Impedance성분 변화, ③ 케이블의 열화로 인한 특성변화, ④ 차폐접지선에 흐르는 다른 전류성분 등의 여러가지 변수때문에 PD Pulse의 전파특성에서 감쇠영향이 작다고 하는 5MHz이하의 주파수 대역에서도 활선상태에서 수십m이상 떨어진 위치에서 PD발생시에 정확하게 PD를 검출하는 것은 힘들 것이고 거리에 의한 환경적 요소 및 전파특성을 무시할 수 있거나 예측할 수 있는 수m이내에서 적합한 주파수 대역을 선정하여야 하지 않을 까 생각해본다.</u>