

부분방전 펄스파형에 대한 TF Map 적용 가능성에 대한 연구

김정태*, 이호근*, 임윤석**, 김지홍**, 구자운**

* 대전대학교 전기공학과 ** 한양대학교 전기공학과

A Study on the Applicability of TF Map for the Partial Discharge Pulse Shapes

Jeong-Tae Kim*, Ho-Keun Lee*, Yoon-Seok Lim**, Ji-Hong Kim**, Ja-Yoon Koo**

* Dept. of Electrical Eng. Daejin Univ., ** Dept. of Electrical Eng. HanYang Univ.

Abstract - It is well known that on-site corona and various noises make severe problems on the PD(partial discharge) measurement. In this paper, for the improvement of the on-site PD measuring performance, the applicability of TF(Time-Frequency) map was investigated. For the purpose, PDs that can be generated from the defect in the power cables as well as corona discharges and ground noises were measured. And through the TF analysis for the measured data, we have tried to distinguish the real PDs, corona discharges and noises. As a result, it is confirmed that the data of PDs can be clustered themselves separable from other data such as corona and noises on the TF map.

1. 서 론

전력기기에서의 부분방전 측정은 전력기기 절연상태에 대한 중용한 정보를 제공한다는 측면에서 다른 어떤 열화진단 방법보다 우수하다고 평가받고 있다. 특히 부분방전은 절연열화의 마지막 단계에서 발생하는 경우가 대부분이므로 이에 대한 측정 및 분석을 통한 진단은 매우 유효하다 하겠다. 아울러, 최근 고주파 영역에서 부분방전을 측정함으로써 현장 부분방전 진단의 길이 열리게 되었다.

그러나, 고주파 부분방전 측정에서도 공중파 노이즈나 접지노이즈 등 기본적인 부분방전 측정 감도에 악영향을 주는 요소 뿐 아니라 결합에서 발생하는 부분방전 펄스 크기보다 큰 준공시험시의 공진시험장치의 전자 노이즈라든지 기타 불규칙적인 노이즈로 인해 부정확한 부분방전 측정이 되는 문제가 있다.

최근 여러 노이즈의 파형이 실제 부분방전 파형과는 차이가 있다는 점에 착안하여 파형분석을 통한 노이즈 제거 기법[1-3]들이 선보이고 있다. 그중 지중 송전케이블 분야에서 가장 대두되고 있는 것은 TF(Time-Frequency) Map으로, 실제 펄스 파형을 측정하고 이에 대한 시간 및 주파수 정보를 TF Map에 plotting할 경우 부분방전 데이터와 노이즈 데이터는 각각 다르게 클러스터를 형성하게 되므로 노이즈에 해당하는 데이터 클러스터를 제거한 후 순수 부분방전 데이터만으로 해석하는 방법이다. 이러한 TF Map 등을 이용한 노이즈 제거기법을 통해 현장에서 실측되는 부분방전 데이터의 노이즈 제거를 통해 보다 확실한 부분방전의 계측이 필요하나다 하겠다.

따라서, 본 연구에서는 전력케이블을 대상으로 실제 케이블에서 발생할 수 있는 결합에서의 부분방전과 코로나 방전 및 노이즈를 실측하였고 TF 분석을 통해 부분방전과 노이즈 및 코로나의 구분을 시도하였다.

2. 본 론

2.1 모의 결합 및 측정 시스템 구축

그림 1은 본 연구에서 부분방전 검출을 위해 구성한 측정 시스템의 개념도이다. 부분방전은 노이즈 저감을 위해 본 연구에서 개발한 고주파 CT(HFCT)를 이용하였고, HFCT에서 측정된 신호를 오실로스코프와 PC를 이용하여 계측하였다. 본 연구에서는 케이블 시스템에 대한 HFCT 측정대역으로 10~40MHz의 범위의 주파수 대역을 선정하였으며, 중심주파수가 20MHz인 HFCT를 설계 제작하였다.

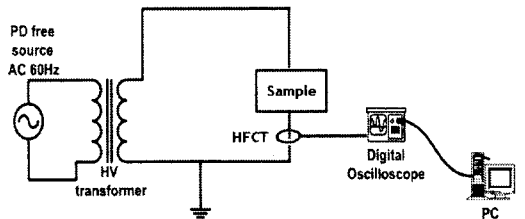


그림 1. 측정 시스템 개념도

지중 송전 시스템의 사고를 일으키는 결합으로는 주로 접속재 계면에서 발생하는 계면전기트리를 들 수 있으나 이는 모델링이 매우 어렵다. 또한 본 연구에서 여러 결합이나 코로나 및 노이즈에 대한 모델링을 하려는 것은 여러 종류의 측정 신호를 구분하여 노이즈나 코로나를 부분방전 데이터로부터 가려내려는 것에 목적이 있다. 특히 이러한 모델링 데이터는 단순한 모의 결합보다는 현장 상황과 유사한 형태로 측정되어야만 실제 적용에 의미가 있다.

이러한 배경으로부터 본 연구에서는 Test Cell을 이용한 실험 보다는 실규모 케이블로서 22.9kV 케이블과 중간 접속재를 이용하여 실험하였다. 그림 2는 22.9kV 시험선로에 대한 개략도를 나타낸 것으로 전압 인가 단말로부터 5m 떨어진 곳에 접속재를 설치하고 그 뒤에 20m 케이블과 종단에 0.5μF 커패시터를 달아 약 1.6km의 케이블이 있는 것처럼 모의하였다.

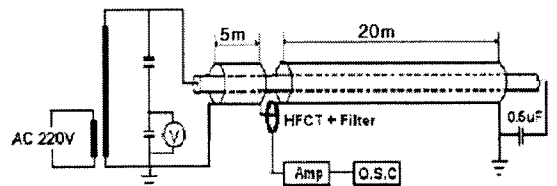


그림 2. 22.9kV 시험선로 개략도

모의 결함으로는 접속함 설치시 케이블 절연층과 반도체 전층 사이에 공간을 두어 반도체층과 닿은 계면 보이드를 형성하였으며, 제작한 HFCT를 접속재 중성선 연결부위에 장착하여 부분방전을 측정하였다. 이러한 계면 보이드는 실제 접속함에서 발생할 수 있는 형태로서 약 18-20kV의 전압에서 부분방전이 발생되었다.

부분방전 측정시 제거되어야 할 대상인 코로나 방전에 대해서는 전압인가 쪽 단말에 길이 1cm의 가느다란 철사를 설치하여 약 13kV의 전압이 인가될 경우 코로나 방전이 발생되었다. 또한, 접지 노이즈에 대해서는 전압을 인가하지 않은 상태에서 측정하였다. 코로나와 접지 노이즈의 측정 역시 케이블 접속함 중성선 연결부위에 HFCT를 장착하여 측정하였다.

센서로부터 측정되는 펄스 파형들의 특성을 파악하기 위해 1차 년도에서는 오실로스코프를 이용하여 측정하였다. 오실로스코프를 이용할 경우 처리속도가 느리기 때문에 실시간의 측정 및 분석은 어렵지만, TF Map을 이용한 부분방전 측정 정확도 향상(노이즈 제거)의 기초단계로서 파형에 대한 특성 파악 및 분석으로는 적합하다. 오실로스코프에서 측정된 데이터는 GPIB를 이용하여 컴퓨터로 입력되며, 이를 위해 LabVIEW 프로그램을 이용하여 오실로스코프를 제어하였다. 측정되어 컴퓨터에 저장된 펄스 데이터에 대해 LabVIEW를 이용하여 TF Map 분석의 가능성을 검토하였다.

2.2 측정 결과 및 검토

2.2.1 측정신호 파형

본 연구에서 제작한 HFCT 및 오실로스코프를 이용하여 측정한 파형을 각각 그림 3, 4, 5에 나타내었다.

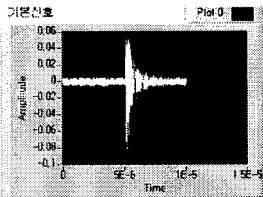


그림 3. 계면 보이드 방전 파형

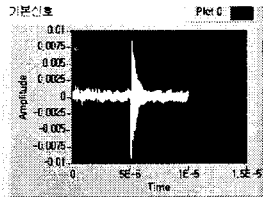
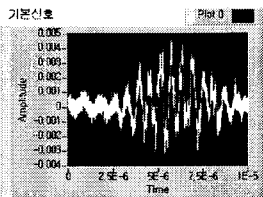
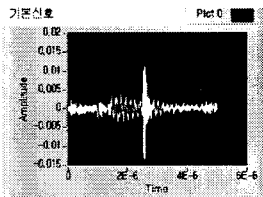


그림 4. 코로나 방전 파형



(a)



(b)

그림 5. 접지 노이즈 파형의 예

상기 그림에서 보면 계면 보이드 방전의 파형과 코로나 방전의 파형은 거의 유사하여 구분이 쉽지 않은 것을 알 수 있다. 한편, 접지 노이즈의 경우에는 주파수는 고저주파를 다양하게 나타내지만 대체로 그림 5.a)와 같이 가우지언형 파형이 대부분이어서 계면 보이드나 코로나 방전과는 차이를 보이고 있다. 다만, 많이 측정되지는 않았으나 그림 5.b)와 같은 접지 노이즈 파형은 계면 보이드 방전이나 코로나 방전과 약간 유사한 형태를 띄기 때문에 보다 상세한 분석이 필요하다고 생각된다.

2.2.2 측정파형의 특성 도출

상기 그림 3-5는 노이즈가 많이 포함되어 각 결함의

종류에 따른 파형의 특성을 추출하기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 노이즈 저감을 위해 Wavelet De-Noise 기법을 사용하였다. 그림 6-8은 그림 3-5에 대해 Wavelet De-Noise를 실시한 결과이다.

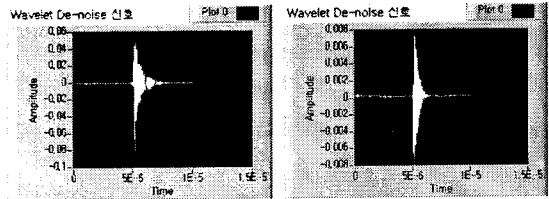
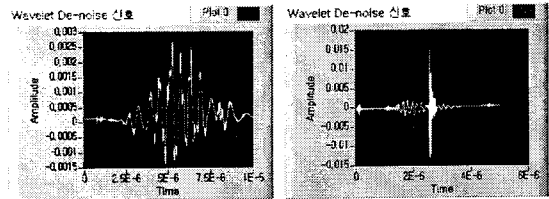


그림 6. Wavelet De-Noise 후 계면 보이드 방전 파형

그림 7. Wavelet De-Noise 후 코로나 방전 파형



(a)

(b)

그림 8. Wavelet De-Noise 후 접지 노이즈 파형

그림 6과 7의 계면 보이드 방전과 코로나 방전 펄스의 Wavelet De-Noise 결과를 보면 파형의 차이를 확연히 알 수 있다. 계면 보이드 방전의 파형과 코로나 방전의 파형은 거의 유사하지만 주파수가 낮고 감쇠가 느린 형태를 보이고 있다. 특히 계면 보이드의 경우는 접속재 부위로서 센서의 위치에 해당되지만 코로나의 경우는 약 5 m 정도 케이블을 전파한 경우이므로 약간의 고주파 성분 감쇠와 파형의 늘어짐이 예상되는데도 불구하고 계면 보이드 방전의 파형보다 고주파와 빠른 감쇠를 보이고 있다. 이것은 파형이 유사하더라도 주파수 성분이 다르기 때문에 TF Map에서 구분될 가능성이 매우 높다는 것을 의미한다. 접지 노이즈 파형에 대해 Wavelet De-Noise를 수행한 후의 결과인 그림 8에서도 간결하게 파형이 정리된 것을 볼 수 있다. 이와 같이 특성화된 파형들을 비교함으로써 각 결함들을 구분할 수 있으리라 판단된다.

2.2.3 TF Map 구성

본 연구에서 적용하고자 하는 TF Map의 알고리즘은 시간에 따라 측정된 데이터를 Fourier 변환을 통해 주파수 영역으로 변환시킴으로써 가능해지는데, 파형과 같은 펄스의 정보를 통신 이론으로 펄스 해석에 자주 사용되는 시간-주파수 평면(T-F Map)에 사상시게 되면 신호의 분리가 가능해진다. 이를 요약하면 다음과 같다. 먼저 PD 신호를 $\tilde{s}(t)$ 로서 수식적으로 모델링하고 이에 대한 Fourier 변환 함수 $\tilde{S}(f)$ 에 대해서도 모델링하여 이들 함수에 대해 다음과 같이 표준편차를 시간 영역과 주파수 영역에서 계산한다.

$$\sigma_T = \sqrt{\int_0^T (t-t_0)^2 \tilde{s}(t)^2 dt}$$

$$\sigma_f = \sqrt{\int_0^\infty f^2 |\tilde{S}(f)|^2 df}$$

여기서, f 는 주파수이고, t_0 는 신호의 "무게 중심"으로

$$t_0 = \int_0^T t \overline{s(t)}^2 dt \quad \text{이다.}$$

결국 변환 후에 PD 신호는 주파수와 시간의 형상에 대한 정보를 갖고 있는 숫자 한 쌍으로 바뀌게 된다. 본 연구에서는 이와 같은 과정에 대해 LabVIEW 프로그램 을 이용하여 해석하였다.

그림 9는 계면 보이드 및 코로나 방전과 접지 노이즈 신호에 대해 Wavelet De-Noise를 수행하기 전 측정 값 그대로를 이용하여 구성된 TF Map이다. 어느 정도 구분 은 하지만 데이터가 많이 근접되어 있다.

그림 10은 그림 9에 대해 Wavelet De-noise 사용한 경 우의 TF Map으로 그림 9에 비해 데이터 클러스터들 간 의 구분이 좀더 명확해 짐을 알 수 있다. 현장 측정에서 가장 문제시되는 코로나 방전은 실제 부분방전인 계면 보이드 방전과 잘 분리되는 것을 알 수 있다. 코로나 방 전과 접지 노이즈는 뒤섞여 있어 전혀 구분되지 않고 있 지만 어차피 이들을 구분할 필요가 없으므로 문제되지 않는다. 비록 접지 노이즈의 크기는 일반적으로 작고 센 서의 S/N 비(측정감도)를 결정하는 요소이지만, 아주 작 은 부분방전이 측정될 경우 접지 노이즈가 계면 보이드 영역까지 덮아 있어 구분이 어려운 경우도 발생될 수 있 다고 생각된다. 이러한 점에서 기본적으로 현장 측정시 센서와 H/W적인 필터 및 앰프 등의 적절한 선택을 통 해 접지 노이즈를 가능한한 저감시켜야 한다고 생각된 다.

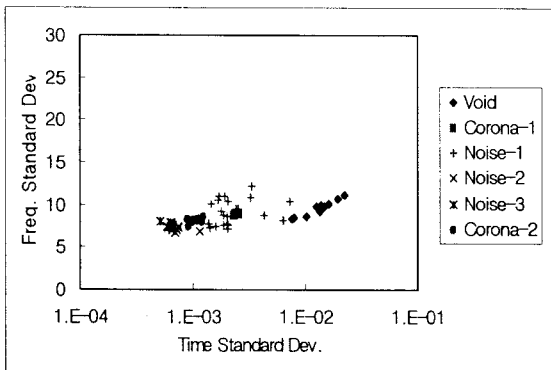


그림 9. Wavelet De-Noise 수행 전의 TF Map

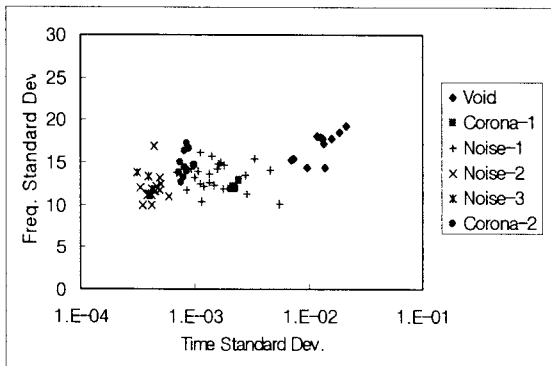


그림 10. Wavelet De-Noise 수행 후의 TF Map

한편, 데이터 클러스터들의 구분에 있어서 시간 영역 의 표준편차로 인해 구분이 잘 되지만 주파수 영역의 표 준편차(세로축)로는 각 결함들 간에 구분이 용이하지 않 고 있다. 본 연구에서 사용한 HFCT의 주파수 대역은 전 술한 바와 같이 10-40 MHz 대역이므로 각 파형에 주파 수 차이가 있다면 어느 정도는 구분이 가능하지만, 분석 결과 주파수 영역의 표준편차의 차이가 크지 않았다.

3. 결 론

본 연구에서는 지중 케이블 시스템의 부분방전 측정에 대한 노이즈 저감 방안 도출을 위해 TF Map의 적용을 검토하였다.

분석 과정에서 Wavelet De-Noise 기법을 사용하여 실 측 데이터의 특성을 표출할 수 있었으며, 이들 데이터에 대해 TF Map을 구성하여 계면 보이드 방전(부분방전) 펄스들과 코로나 및 접지 노이즈 펄스들의 구분이 가능 함을 확인할 수 있었다.

이러한 기초 결과를 토대로 앞으로 보다 많은 데이터 에 대한 분석을 수행하여 현장 부분방전 측정에 대한 노 이즈 저감을 통해 진단의 정확도 향상을 기할 수 있다고 판단된다.

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2003-B-274) 주관으로 수행된 과제임

[참 고 문 헌]

- [1] A. Cavallini et al, "A New Approach to the Diagnosis of Solid Insulation Systems Based on PD Signal Inference", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 19, No. 2, pp.23-30, March/ April 2003
- [2] A. Cavallini et al, "Advanced PD Inference in on-field measurement. Part I: Noise Rejection", IEEE Trans. on D&EI, Vol. 10, No. 2, pp.216-224, 2003
- [3] A. Cavallini et al, "Advanced PD Inference in on-field measurement. Part 2: Identification of Defects in solid insulation systems", IEEE Trans. on D&EI, Vol. 10, No. 3, pp.528-538, 2003