

부분방전 펄스특성을 이용한 TF Map에 대한 고찰

김정태*, 김남준*, 장용무**, 김지홍**, 구자윤**

* 대전대학교 전기정보시스템공학과, ** 한양대학교 전자컴퓨터공학부

Considerations on the TF Map using Partial Discharge Pulse Characteristics

Jeong-Tae Kim*, Nam-Joon Kim*, Yong-Moo Chang**, Ji-Hong Kim**, Ja-Yoon Koo**

* Daejin University ** Hanyang University

Abstract - In this paper, it was investigated the applicability of TF analysis for the discrimination of air corona in on-site PD measurement. For the purpose, single and multiple discharges combined with oil discharges and air corona were generated and measured by use of artificial models and HFPD pulse detector. Through the TF analysis, data clusters could be classified each other in the TF Map, even in the case of multiple discharges. Therefore, it is known that TF analysis could be applied for the improvement of on-site PD measurement.

1. 서 론

현장에서 전력기기에 대해 부분방전 측정 및 진단하는 것은 주위 노이즈로 인해 사실상 어렵다. 특히 부분방전 측정에 문제가 되는 것은 부분방전 측정값보다 더 크게 측정될 수 있는 기중 코로나 방전 노이즈로서, 부분방전 신호가 기중 코로나와 뒤섞이는 경우에는 PRPD 분석으로 구분하기 어렵다. 이 문제에 대한 해결 방안으로 최근 TF(Time-Frequency) 분석을 통해 기중 코로나와 부분방전의 분리가 가능한 것으로 제시되고 있다.

따라서, 유입식 변압기에 대한 TF 분석의 가능성 조사를 위한 이전 발표[7]에서, 모의 유중 방전과 기중 코로나 방전을 발생시키고 이들의 부분방전 펄스 파형을 측정하고 차이점을 분석한 결과 여러 유중방전들은 각각 방전 펄스의 형태가 유사하게 나타나지만 주파수가 다르게 나타났으며 특히 기중 코로나의 주파수는 유중방전과는 다르게 나타났다고 제시하였다.

이러한 결과를 토대로 본 연구에서는 실제 부분방전 펄스 파형을 실측할 수 있는 고주파 부분방전 측정장치를 이용하고 TF 분석을 통해, 유중 및 기중 방전을 동시에 발생(다중방전)시키고 부분방전을 측정한 후 TF 분석을 수행하여 기중 코로나와 같은 노이즈를 구분해 낼 수 있는지 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험 시스템

TF 분석을 수행하기 위해서는 각종 결함에서 발생하는 부분방전 펄스 파형의 특성 및 방전의 양상이 어떠한 차이가 있는지 파악하여야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 TDS 744A 500MHz 오실로스코프와 제작한 저항성 센서를 이용하여 부분방전 펄스 파형을 측정하고 분석하였다.

그림 1은 유입식 전력기기의 모의 결함에서 발생하는 부분방전을 측정하기 위한 개념도이다. 100kV PD free 변압기에서 발생된 60Hz 고전압 전원은 파형 개선을 위한 커플링 커패시터 CK를 거쳐 각종 결함 모델을 장착 가능한 전극 시스템으로 연결되고 접지선에 저항성 센서

를 장착하여 본 연구에서 제작한 HFPD 진단장치 및 TDS 744A 500MHz 오실로스코프를 거쳐 측정 신호를 컴퓨터에 저장시킨다.

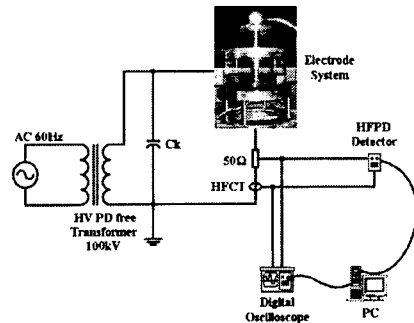


그림 1. 부분방전 측정 시스템 개략도

2.2 모델 결함

모의 결함으로는 이전 발표[7]와 동일한 유중 코로나, 유중 표면방전, 유중 플로팅 방전 및 기중 코로나를 모델 결함으로 사용하였고, 다중 방전 발생은 유중 코로나와 기중 코로나, 유중 표면방전과 기중 코로나, 그리고 유중 플로팅 방전과 기중 코로나로 고려하였다. 아울러 각각의 단일 결함 형태는 다음과 같다.

① 유중 코로나

유중에서 10 μ m 곡률반경의 스텐레스 침을 이용하여 침-프레스보드(3.2mm ϕ)-평판 전극을 설치하였다. 침 전극과 프레스보드와의 사이 간격은 3~15 mm 정도로 조절하며 실험하였다. 그림 2(a)는 유중 코로나 모델의 사진이다.

② 유중 표면방전

그림 2(b)에 나타난 바와 같이 평판-강선조각(2.0mm ϕ , 10mm)-프레스보드-평판 전극 구조이다.

③ 유중 플로팅 방전

그림 2(c)에 나타난 바와 같이 평판-프레스보드-강선조각(2.0mm ϕ , 10mm)-프레스보드-평판 전극 구조로 제작하였다.

④ 기중 코로나 방전

기중 코로나 방전은 유중 방전과의 다중 방전 형성되도록 고전압 전극 옆으로 금속선(2.0mm ϕ , 100mm)을 꽂아 대기 중으로 코로나 발생을 유도하였다. 특히 강선 끝 부분을 모나지 않게 가공하여 방전량이 가급적 크게 되도록 하였다. 그림 2(d)는 기중 코로나 방전 발생 모델의 사진이다.

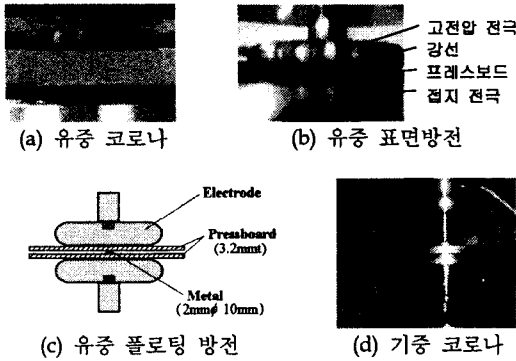


그림 2. 각종 결합 모델

2.3 TF Map 알고리즘

먼저 측정기기를 통해 컴퓨터로 입력된 PD 신호 $s(t)$ 를 다음과 같이 규격화시키고(단, t 는 시간임), 규격화 신호 $\tilde{s}(t)$ 에 대한 표준편차를 시간 영역과 주파수 영역에서 다음과 같이 계산한다.

$$\sigma_T = \sqrt{\int_0^T (t - t_0)^2 \tilde{s}(t)^2 dt} \quad (1)$$

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

여기서, f 는 주파수이고, $\tilde{S}(f)$ 는 $\tilde{s}(t)$ 의 Fourier 변환 그리고 t_0 는 규격화 신호의 "무게 중심"으로

$$t_0 = \frac{\int_0^T t \tilde{s}(t)^2 dt}{\int_0^T \tilde{s}(t)^2 dt} \quad (3)$$

이다. 이에 따라 변환 후에는 PD 신호는 주파수와 시간의 형상에 대한 정보를 갖고 있는 숫자 한 쌍으로 바뀌게 된다. 그 뒤에, T-F Map에 대해 피지 분류를 통해 PD 펄스의 분류를 수행하게 된다.

이상과 같은 분석에서는 결국 가로축으로는 시간함수(시간영역)에 대한 표준편차(Standard Deviation)를 그리고 세로축으로는 주파수함수(주파수영역)에 대한 표준편차로 구성되는 TF Map으로 부분방전 데이터를 군집화(Clustering)하게 된다.

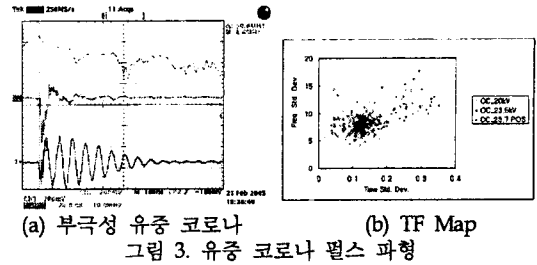
2.4 실험 결과 및 분석

2.4.1 단일 결합에 대한 펄스파형 및 TF Map 분석

보다 자세한 부분방전 펄스 파형에 대해서는 이전 발표[7]를 참조한다.

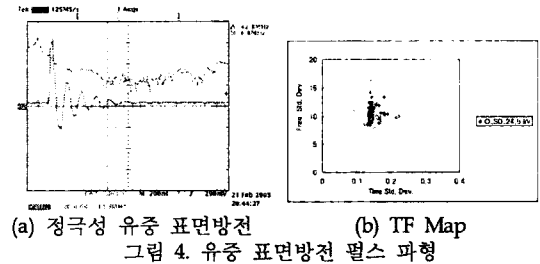
① 유중 코로나

유중 침-프레스보드-평판 전극 구조에서 전극-프레스보드 사이의 거리 3mm, 인가전압 20kV일 때 발생한 부분방전 펄스 파형의 예를 그림 3(a)에 나타내었다. 정극성 유중 코로나는 거의 10μs 정도의 상당히 긴 파형을 나타내지만 부극성 유중 코로나는 0.5μs 이하의 상당히 짧은 펄스를 나타낸다. 그러나, 정부극성 모두 저항성 센서의 주 주파수는 8.4MHz 정도로 나타났다. 그림 3(b)는 유중 코로나에 대한 TF Map 이다.



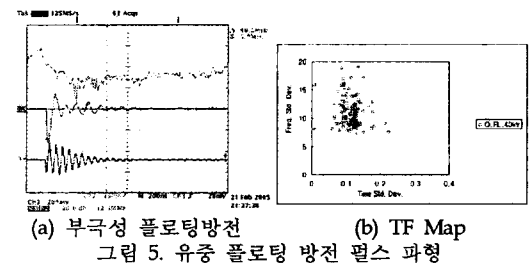
② 유중 표면방전

전극-강선(2.0mmφ10mm)-프레스보드-전극 구조의 유중 표면방전 모의 결합에 대해 24.5kV의 전압을 인가한 경우 발생한 표면 방전의 파형 예를 그림 4(a)에 나타내었다. 정극성이나 부극성 유중 표면방전 모두 극성만 다를 뿐 동일한 파형과 동일한 6.8MHz의 주 주파수를 가진다. 그림 4(b)는 유중 표면방전에 대한 TF Map 이다.



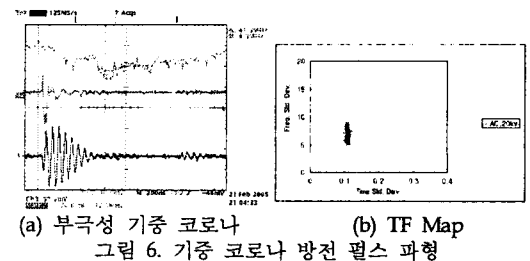
③ 유중 플로팅 방전

평판-프레스보드-강선(2.0mmφ10mm)-프레스보드-평판 전극 구조를 이용하여 40kV를 인가한 경우 발생한 플로팅 방전의 파형을 그림 5(a)에 나타내었다. 정부극성 방전 파형들은 9MHz의 주 주파수를 가지고 있다. 그림 5(b)는 유중 플로팅방전에 대한 TF Map 이다.



④ 기중 코로나 방전

그림 6(a)는 16.5kV의 전압을 인가한 경우 발생된 부극성 기중 코로나 파형으로, 펄스 파형의 형태는 유중 방전과 유사하지만 주 주파수는 8.3MHz 정도로서 유중 방전 펄스들과는 차이를 보이고 있다. 그림 6(b)는 기중 코로나에 대한 TF Map 이다.



2.4.2 다중 결합에 대한 TF Map 분석

이상 분석한 바와 같이 각 모델 결합의 종류에 따라 다양하게 클러스터가 형성되는 것을 알 수 있다. 그러나, 여러 종류의 결합이 동시에 발생하는 경우에는 서로의 클러스터가 겹쳐 분석이 어려워질 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 가장 구분되어야 할 기중 코로나 방전을 중심으로 유중 방전과의 다중 방전을 발생시켜 이에 따른 TF 분석을 수행하고 단일 방전의 결과와 비교하였다. 그림 7은 다중방전의 측정 예이다.

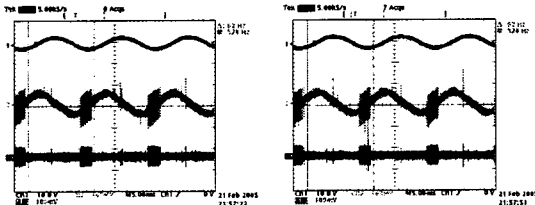
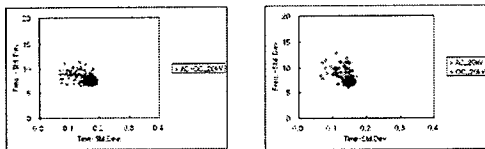


그림 7. 다중 방전 측정과정의 예
(기중 코로나 + 유중 플로팅 방전)

㉠ 기중 코로나와 유중 코로나의 다중 방전

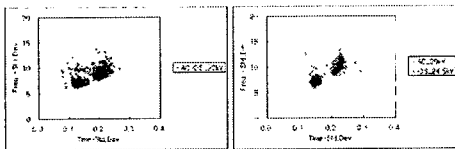
그림 8.(a)는 기중 코로나 방전과 유중 코로나 방전을 다중 방전으로 발생시켰을 경우 수행한 TF 분석 결과이며, 그림 8.(b)는 단일 방전으로 기중 코로나 및 유중 코로나를 발생시켜 하나의 그림에 같이 나타낸 것이다. 2개의 TF Map을 비교해보면 거의 같은 형태라는 것을 알 수 있어 본 실험이 잘 이루어졌다는 것을 알 수 있다.



(a) 다중방전 (b) 단일방전의 조합
그림 8. 기중 코로나와 유중 코로나의 TF Map

㉡ 기중 코로나와 유중 표면방전의 다중 방전

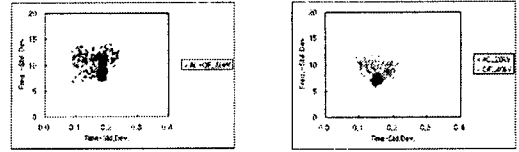
그림 9.(a)는 기중 코로나 방전과 유중 표면방전을 다중 방전으로 발생시켰을 경우 수행한 TF 분석 결과이며, 그림 9.(b)는 단일 방전으로 기중 코로나 및 유중 표면방전을 발생시켜 하나의 그림에 같이 나타낸 것이다. 2개의 TF Map을 비교해보면 거의 유사한 양상으로 상당히 잘 구분되고 있는 것을 볼 수 있다.



(a) 다중방전 (b) 단일방전의 조합
그림 9. 기중 코로나와 유중 표면방전의 TF Map

㉢ 기중 코로나와 유중 플로팅 방전의 다중 방전

그림 10.(a)는 기중 코로나 방전과 유중 플로팅 방전을 다중 방전으로 발생시켰을 경우 수행한 TF 분석 결과이며, 그림 10.(b)는 단일 방전으로 기중 코로나 및 유중 플로팅 방전을 발생시켜 하나의 그림에 같이 나타낸 것이다. 역시 유사성을 보이고 있다



(a) 다중방전 (b) 단일방전의 조합
그림 10. 기중 코로나와 유중 플로팅방전의 TF Map

3. 결 론

본 연구에서는 유입식 변압기의 모델 결합에 대한 부분방전 측정에서 TF 분석을 통해 기중 코로나와 같은 노이즈를 구분해 낼 수 있는지를 연구하여 다음과 같은 결론은 얻었다.

TF 분석 수행을 통해 어느 정도 결합들 간의 부분방전 데이터 클러스터의 구분이 가능함을 알 수 있었다. 특히 현장 측정시 가장 문제가 되는 기중 코로나에 대해 구분할 수 있다는 가능성을 얻었다.

하지만 이러한 방법의 분석 보다 각 클러스터들을 보다 더 명확히 구분하기 위한 방안의 도출이 필요하다고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2004-B-123) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] M. A. Elborki, P. A. Crossley, *MIEEE*, Z. D. Wang, *MIEEE*, A. Darwin, *SMIEEE* and G. Edwards, "Detection and Characterisation of Partial Discharges in Transformer Defect Models", 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.1, pp.405-410, 2002
- [2] K. Raja and T. Floribert, "Source Characterization of Discharges in Transformers using UHF PD Signatures", 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol.2, pp.1383-1388, 2002
- [3] G. P. Cleary and M. D. Judd, "An Investigation of Discharges in Oil Insulation using UHF PD Detection", 14th Int'l Conf. on Dielectric Liquids(ICDL 2002), pp.341-344, 2002
- [4] H.J. van Breen, E. Gulski, J.J. Smit, H.F.A. Verhaart and W. de Leeuw, "Performance analysis of different on-line PD measurement techniques for usage on Turbo Generators", XIIIth International Symposium on High Voltage Engineering (ISH 2003), Diagnostics and on-line monitoring for CBM Session, Delft, Netherlands, August 25-29, 2003
- [5] A.Cavallini et al, "Advanced PD Interference in On field Measurements. Part 1 : Noise Rejection", IEEE Trans on DEI, Vol.10, No.2, pp.216~224, 2003
- [6] A.Cavallini et al, "A New Approach to the Dianosis of Solid Insulation Systems Based on PD Signal Inference", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol.19, No.2, pp.23~30, 2003
- [7] 김정태, "유중부분방전 펄스특성 분석", 대한전기학회 고전압 및 방전응용기술연구회, 2005년 춘계학술대회 논문집, pp.67~69, 2005