

Short Time Fourier Transform을 이용한 공기중 부분방전원 식별

이강원, 장동욱*, 이용희, 박성희, 강성화**, 임기조
 충북대학교, 한국철도기술연구원*, 충청대학**

Discrimination of PD sources in air using Short Time Fourier Transform

K. W. Lee, D. U. Jang*, Y. H. Lee, S. H. Park, S. H. Kang**, K. J. Lim
 Chungbuk University, KRRI*, Chungcheong College**

Abstract - Partial Discharge is radiated in the form of electromagnetic wave from variable sources. It can be taken by UHF antenna and the signal pulse from that has a nonstationary time-series which can be evaluated with several methods. One of them is STFT(short time fourier transform) processed in frequency region. Statistical results using STFT show the possibility being able to discriminate between several PD sources.

1. 서 론

절연시스템의 전기적 열화는 물적, 인적인 면에서의 큰 사고로 이어질 수 있으므로, 사전에 측정하여 예방하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이러한 전기적 열화는 다양한 방법에 의하여 측정되어질 수 있으나 그중 열화 시 발생하는 부분방전은 전기적 열화에 대한 중요한 단서를 제공하므로, 이러한 부분방전을 측정하는 기술이 중요하다 할 수 있다.[1-3] 부분방전의 발생양상은 상당히 시간 영역에서 비 주기적인 형태를 보여주므로 부분방전에 대한 정확한 예측을 어렵게 하고 있다. 이러한 비 주기적 신호에 대한 처리기술로서 여러 가지가 사용될 수 있는데 그중 많이 연구되고 있는 것이 STFT와 wavelet을 이용한 기술이며, 이 기술들은 시간영역과 주파수영역을 동시에 판단할 수 있게 도와준다.[4-5] 본 논문에서는 광대역 UHF antenna를 이용하여 각 방전원으로부터 방사된 펄스신호를 측정하고, 한 주기동안 측정된 신호에 대하여 STFT를 행한 후 각 window의 앞과 뒤의 상관관계를 살핀 후 그 결과를 100주기동안 축적한 후 통계적인 처리를 행하고, 이 과정을 거쳐 각각의 방전원으로부터 계산된 통계적 결과(평균, 표준편차, 왜도, 첨예도)를 상호 비교하여 방전원 식별의 가능성을 검토하고자 한다.

2. 본 론

2.1 STFT(Short Time Fourier Transform)

STFT에서는 목적에 맞는 적절한 윈도우함수를 이용하여 시간에 따라 윈도우를 이동해가면서 푸리에 변환을 순차적으로 실행함에 의하여 이루어진다. 따라서 STFT를 이용하면 시간-주파수 측면에서 사건의 발생을 관찰할 수 있다. 이와같은 STFT의 기본개념으로부터 STFT를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$S(f, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)w(t - \tau) \exp(-j2\pi f \cdot t) dt \quad (1)$$

이때, w(t)는 Hanning이나 Hamming과 같은 윈도우 함수(time window function)를 나타내며, τ 는 윈도우함수의 중심을 나타낸다. 물론 실제 해석의 경우에는 이산화 된 데이터를 이용하게 되며 윈도우의 길이가 제한되어있기 때문에 유한한 범위내의 데이터만 푸리에 해석되고 그 스펙트럼의 시간위치가 윈도우함수의 중심이 된다. 따라서 STFT를 이용하면 시간-주파수 축에 대한

스펙트럼을 표현할 수 있으며 이로부터 특정 사건이 발생 되는 시간 및 주파수 위치를 파악 할 수 있다.

2.2 실험방법

본 논문에서 사용된 방전원의 전극구조는 침대침, 침대평판, 공극방전, 연면방전등 모두 4가지 구조를 사용하였다. 각 구조에서의 전극간 간격은 연면방전을 제외하고 모두 10mm로 유지하였으며, 사용된 침의 곡률반경은 약 3 μ m정도이며, 공극방전 및 연면방전에서 사용된 절연물은 LDPE로서 공극방전의 경우에는 두께는 1.5mm, 면적은 45mm x 42mm이고, 연면방전의 경우에는 두께는 3mm, 면적은 50mm x 50mm를 사용하였다. 각 전극구조에 인가된 전압은 6.2kV(60Hz)의 동일한 교류전압이 인가되었다. 방전원에서 방사된 전자기파를 측정하기 위하여 광대역 특성을 가진 UHF 안테나(30kHz~2GHz)를 사용하였으며, 방전원과 안테나의 이격거리는 1m를 유지하였다. 실험에 사용된 장치들에 대한 간단한 블록도이러 그림이 그림1에 보여진다. 안테나에서 측정된 신호는 안테나에 내장된 Preamplifier를 거쳐 디지털오실로스코프(Tektronix, 5GHz)를 통하여 관찰되었으며, 측정된 데이터는 GPIB 케이블을 거쳐 컴퓨터로 보내진 후 저장 및 데이터 처리 후 주파수분석, 100주기당 펄스열처리 및 각 주기별 STFT,상관계수분포등을 구하였다.

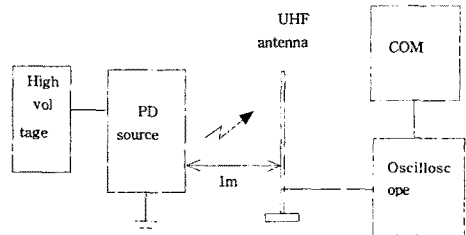
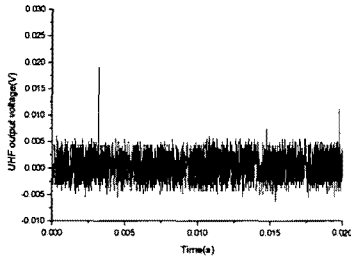


그림 1 실험 장치에 대한 블록도이러그림

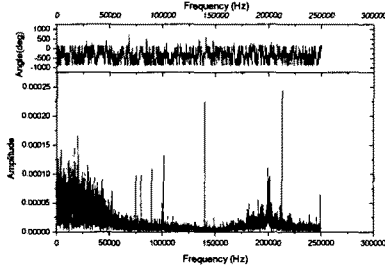
2.3 실험결과 및 고찰

그림 2(a)는 한주기동안 측정된 UHF antenna 신호의 한예를 보여주며 방전이 발생되면, 그림에서 보는 바와같이 하나의 펄스형태로 발생되는 것을 보여준다. 이때 UHF antenna에는 펄스이외에 노이즈가 함께 측정되며, 보다 정확한 펄스관찰을 위해서는 이러한 노이즈의 제거가 중요하다. 그림 2(b)는 이러한 시간영역에서의 신호에 대하여 주파수분석(Fast Fourier Transform)을 한 결과를 보여주며, antenna 펄스신호의 주파수 성분을 구분하는 것이 어렵다는 것을 보여준다. 그림 2(c)는 한주기동안의 신호에 대하여 STFT한 3D결과를 보여주며, 이때 사용된 window는 Hanning함수를 사용하였는데, 그림 2(b)의 주파수분석결과와는 달리 펄스가 발생한 시간영역부분에서 주파수 성분이 전대역에 걸쳐 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 즉 STFT를 이용하면 펄스가 발생한 시간영역에서의 어떠한 주파수 변화를 정량적으로 나타낼 수 있다는 것을 보여준다. 이러한 값은 각 window

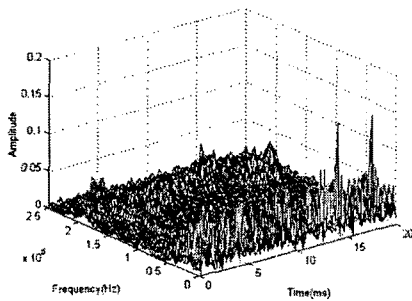
구간의 전과 후의 비교를 통하여 보다 더 분명히 나타내어질 수 있다. 본 논문에서는 이러한 비교를 위하여 window구간의 전과 후 부분에 대한 상관계수(Cross Correlation)를 구하여, 통계적 데이터(평균, 표준편차, 왜도, 첨예도)를 도출하였다. 그러나 이러한 통계적 결과들을 이용하여 방전원을 식별하기 전에 UHF antenna에 의하여 구하여진 펄스들이 각 방전원별로 발생양상이 다르며, 각각 특징적인 부분을 가지고 있고 그에 의하여 차이를 구별할 수 있음을 그림 3에서 보여주고 있다.



(a) Pulse signal during 20ms



(b) Frequency analysis

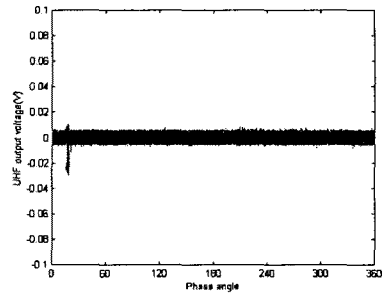


(c) STFT result

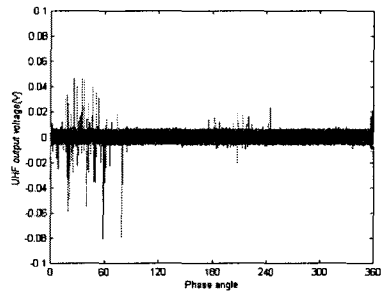
그림 2 UHF antenna를 이용하여 20ms동안 측정된 펄스파형 및 주파수 분석(FFT,STFT) 예

그림 3(a),(b),(c) 및 (d)는 각각 (1) 공극방전, (2) 연면방전 (3) 침대침방전 (4) 침대평판방전에 대한 100주기동안 측정된 결과를 보여준다. (1)의 경우에는 방전펄스의 크기가 작으며, 발생빈도 또한 낮았다. (2)의 경우에는 정주기와 부주기 양쪽에서 펄스가 관찰되었으며, 그 발생양상이 주기에 대해 넓게 분포되어 있다는 것을 알 수 있다. (3)의 경우에는 정주기와 부주기 양쪽에서 펄스가 관찰되며, 특히 정주기에서는 펄스들이 일정한 주기간격에 모여서 발생한다는 것을 볼 수 있다. (4)의 경우를 살펴보면, 부주기에서는 펄스가 보이지 않고 정주기에서만 펄스가 발생하며, 펄스들의 발생분포가 두부분으로 나뉘어

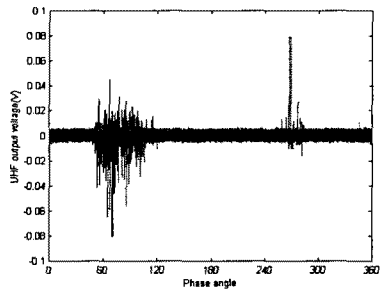
져 있는 것을 알 수 있다. 이러한 펄스들의 발생양상은 각 방전의 특징을 잘 반영하고 있다. 그러나 이러한 데이터에서 정량적인 값을 얻기는 어려우므로, STFT를 이용한 통계적 결과를 확인하였으며, 그결과가 그림 4에서 보여지고 있다.



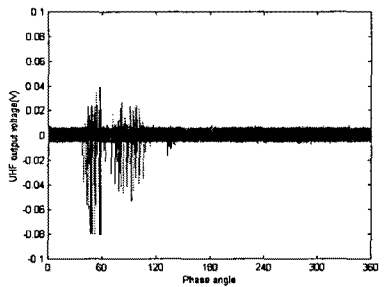
(a) Air gap PD pulse during 100 period



(b) Surface PD pulse during 100 period



(c) Needle-Needle PD pulse during 100 period

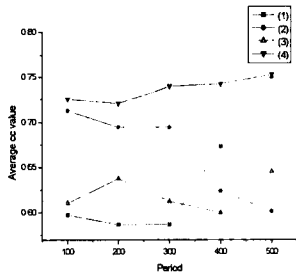


(d) Needle-Plane PD pulse during 100 period

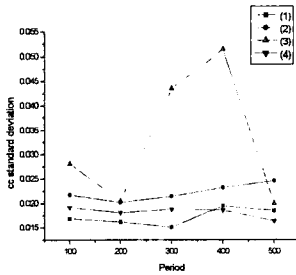
그림 3 UHF antenna를 이용하여 100주기동안 측정된

각 방전원별 펄스파형

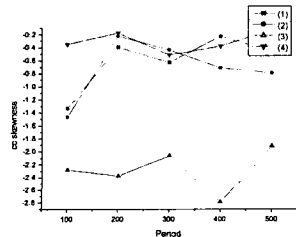
그림 4(a),(b),(c),(d)는 각각 계산된 상관계수들에 대한 각 100주기별 평균치, 표준편차, 왜도, 첨예도등의 통계적 파라미터를 각 방전원별로 나타내고 있다. 이때 왜도(skewness)는 분포의 대칭성을 나타내는 양으로 값이 0인 경우 좌우대칭이 되며, 대칭이 아닌 경우 (+)와 (-)의 값을 가지게 된다. 그리고 첨예도(kurtosis)는 분포의 집중도를 나타내는 양으로서 값이 클수록 분포의 첨예도가 커지게 된다. 그림 4(a)에서 (1)의 경우에는 처음에는 감소하다가 300주기를 지나면서 증가하는 경향을 보여주며, (2)의 경우에는 계속 감소하며, (3)의 경우에는 증가와 감소를 반복하고 있다. 또한 (4)의 경우에는 일정하게 계속 증가함을 보여준다. 그림 4(b)에서 (3)의 경우는 표준편차값이 각 주기별로 크게 변화하는 모습을 보여준다. 그러나 (1)은 약 0.016, (2)는 약 0.021, (4)는 약 0.018의 표준편차를 유지하며 거의 일정하게 분포하고 있다. 그림 4(c)에서는 그림 4(b)의 경우와 마찬가지로 (3)의 경우가 다른 세가지의 경우와 확실히 구별되는 모습을 보여주며, 나머지 세가지의 경우에는 약간 서로의 구별이 어렵다는 것을 볼수 있다. 이러한 경향은 그림 4(d)에서도 확인할 수 있듯이 (3)의 경우가 첨예도가 가장 크다는 것을 알수 있다. 이러한 왜도와 첨예도의 비교결과는 첨대첨에서의 방전 양상(3)이 전극구조가 첨대 평판의 형태로 이루어진 다른 3가지(1),(2),(4)와 다르다는 것을 보여준다.



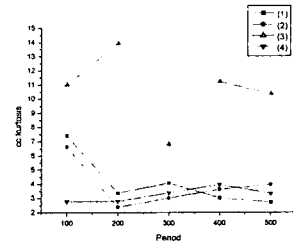
(a) Average cross correlation according to period



(b) Cross correlation standard deviation according to period



(c) Cross correlation skewness according to period



(d) Cross correlation kurtosis according to period.
그림 4 STFT를 이용한 상관계수분포의 각 방전원별 통계적 파라미터 비교분석

3. 결 론

본 논문에서 사용된 STFT방법은 한주기동안의 시간영역을 각 window구간에 대하여 주파수 영역으로 분리할 수 있게 해므로, 각 부분적 시간에 대한 정량적인 통계처리가 가능함을 보여준다. 이러한 통계처리로서 사용된 각 부분적 시간 전과 후의 비교에 의하여 구해진 상관계수값들의 분포는 통계적 파라미터인 평균, 표준편차, 왜도, 첨예도등으로 구해지며, 이렇게 각 방전원별로 구해진 값들을 이용하면 각 방전원별로 차이를 보이므로 각각에 대한 구별이 가능하다는 것을 알수 있었다. 각 방전원별 통계적 파라미터의 비교분석에 의하여 평균값에서 각 방전원별로 분명한 차이를 볼수있었으며, 표준편차, 왜도, 첨예도에서는 첨대첨구조에서의 방전이 다른 세가지 방전원과는 아주 다른결과를 보여준다는 것에 의하여 보다 명확하게 방전원 전극구조의 예측할 수 있는 가능성을 보였다. 결과적으로 STFT를 이용한 통계적 처리방법의 이용은 방전원식별법으로서 적용가능함을 보여주었으며, 기존의 통계적 처리기법과 병행한다면 보다 더 정확하게 방전원을 식별할 수 있을것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] H.Maekawa, T.Ito et.al. "GIS Monitoring Sensor", Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM-97, Hong Kong, November 1997
- [2] J. S. Pearson et.al., "Partial discharge diagnostics for gas insulated substations", IEEE trans, Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp893-905,1995
- [3] Hampton, B.F. and Meats, R.J. "Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations", IEE Proceedings, Vol. 135, Pt.C, No.2, pp. 137-144, March 1988
- [4] Richard J. et.al."Nonstationary Behavior of Partial Discharge During Discharge Induced Aging of Dielectrics" IEE Proceedings of Science Measurement Technology, Vol.142, pp.37, 1995
- [5] Yu Ming; Birlasekaran, S."Characterization of partial discharge signals using wavelet and statistical techniques".Electrical Insulation, 2002. Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on ,Page(s): 9 -13 Apr 7-10, 2002