

기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석

이상훈*, 박광서, 김충년, 김기채, 이광식, 이동인
 영남대학교 전기전자공학부

The Measurement and Analysis of Electromagnetic Waves by Discharge in Air

Sang-Hoon Lee*, Kwang-Seo Park, Chung-Nyen Kim, Ki-Chai Kim, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee
 The School of Electrical and Electronic Engineering of Yeungnam University

Abstract - In this paper, partial discharge(PD) was generated under the two types of needle-plane electrodes in the air. Using a monopole antenna to detect the radiated electromagnetic waves by stream of charge between the electrodes, the progress of partial discharge was studied.

To analyze the progress of PD, statistical research was introduced. It was executed by personal computer and it can be possible to visualize the progress of PD. The t-test was used for lower voltage applied. The population of background noise spectrum and applied voltage spectrum showed the difference. The new method was introduced to analyze the spectrum. According to the magnitude of applied voltage, the different statistical methods were used. The results obtained from this work will provide the useful information on partial discharge in time to come.

1. 서 론

전력계통에 있어서 전력 기기는 전력의 안전공급에 중요한 역할을 담당하고 있지만, 최근 전력시스템의 대형화, 정보 기기의 사회적인 시스템으로서 확대 등에 따라 사고의 발생시, 사회적 영향은 커지고, 복구에 오랜 시간이 소요된다. 그러므로, 이러한 사고를 미연에 방지하는 상시감시 진단 기술을 필요로 하게 되었으며, 최근 전력수요의 급증으로 인하여 절연진단기술의 확보가 더욱 중요하게 되었다.

과거 전력 기기의 절연파괴 사고를 조사분석 해보면, 절연파괴에 이르는 과정에 있어서 절연파괴의 전구현상으로서 부분방전발생의 가능성이 높으며, 반수 이상이 부분방전 또는 그에 가까운 현상을 발생하는 것으로 보고되고 있다.¹⁾ 부분방전의 검출을 통한 사고의 초기 예방은 중요하며, 이런 시스템의 개발에 있어서 첫걸음은 부분방전검출장치의 개발이라고 할 수 있다. 현재 부분방전의 검출에 이용되어지고 있는 방법으로는 결합콘덴서법, 접지선 전류 검출법, 방사전자계법 등의 전기적인 특성을 이용하는 방법과 절연유 등의 화학적 변화를 이용하는 방법, 기계에 설치된 센서에서 진동을 감지하는 기계적 방법 등이 보고되고 있다.²⁾ 최근 안테나를 통하여 포착된 방사전자파의 스펙트럼 데이터를 분석하기 위하여 하드웨어적, 소프트웨어적인 데이터 분석에 대한 보고가 많이 이루어지고 있다. 이러한 데이터의 처리에

의해 기기의 절연진단이라는 분야에서 많은 진전을 거두고 있다.³⁾

본 연구에서는 대기압하의 공기 중에서 방전이 발생할 때 공간으로 방사되어지는 전자파를 안테나를 이용하여 검출하고, 검출되어진 데이터를 컴퓨터를 이용하여 처리함으로써 부분방전이 진전되어 가는 과정을 가시적으로 표현하였으며, 스펙트럼 데이터의 연산에 의해 표현되지 못했던 낮은 전압인가시의 변화를 통계적인 방법에 의해 Background noise와의 차이의 유무를 알아봄으로써 이러한 방법의 이용을 소개하고 장래의 절연진단의 연구에 자료로 이용하고자 한다.

2. 본 론

2.1 관련이론

2.1.1 ESD와 부분방전의 비교

최근 많은 전기·전자기기의 사용으로 우리가 살아가는 환경은 이른바 전자파 환경이라는 새로운 환경에 노출되어 살아가고 있다 해도 과언이 아니라 생각된다.⁴⁾ EMC/EMI는 이런 전자파 환경에서의 '전자파 적합성/전자파 방해'라는 것을 연구하는 것으로 그 중의 한가지가 ElectroStatic Discharge(ESD)의 연구이다. ESD와 부분방전의 방전형태에 대하여 비교하고, 또한 ESD의 측정방식과 부분방전의 측정에 대해 살펴봄으로써 본 연구에서 사용하고 있는 안테나를 이용한 절연진단에 대한 타당성을 살펴보고, 또한 기초적인 이론을 살펴보려 한다.

	ESD	부분방전 (전자파법이용)
방전빈도	단발성	다발성
가상 갭의 간격	수 mm이하	수 mm이상
연구목적	-EMC/EMI 방전에 의해 기기가 받는 영향	-기기 절연진단 기기에서의 방전에 의해 외부로 방사되어지는 전자파를 측정
연구방안	시뮬레이션	직접적인 측정
측정장소	오픈사이트 전자파 무향실	실제 기기가 설치된 곳
측정센서	안테나	안테나

표1. ESD와 부분방전의 비교

표1에서 보는 바와 같이 ESD의 연구와 부분방전의 연구는 목적과 여러 가지의 의미에서 차이를 보이고 있다. 하지만, ESD의 경우도 직접 ESD보다는 방사에 의한 간접적 영향이 주변 기기에 더 큰 피해를 준다고 생각하고 있으며, 방전이라는 소스(source)로부터 방사되어지는 전자파를 연구한다는 기본적인 방법에서는 별 차이가 없다고 생각된다.

그림 1에는 방전원을 등가적으로 근사하여, 방전원로부터 일정거리 떨어진 곳에서의 전계와 자계를 측정할 예를 나타낸다.

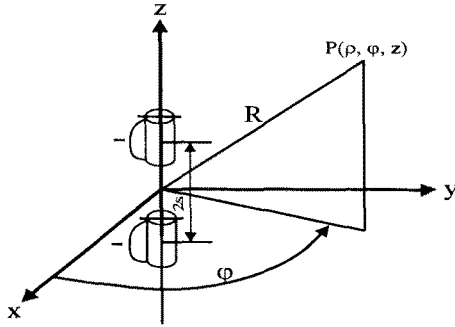


그림 1.미소 간격 방전의 다이폴 모델

그림 1을 Wilson & Ma의 모델, 혹은 NIST의 모델⁵⁾⁶⁾이라는 이름으로 알려진 것으로 미소 다이폴에 전류 i 가 흐를 때 시간 t 에 의존하는 방사 전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구하여 진다.

$$E_{\rho}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho^2}{R^2} \left(\frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{c^2R} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad (1)$$

$$E_z(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \left[\left(\frac{3z^2}{cR^4} - \frac{1}{cR^2} \right) i(u) + \left(\frac{z^2}{c^2R^3} - \frac{1}{c^2R} \right) \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right] \quad (2)$$

$$H_{\phi}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi} \frac{\rho}{R} \left(\frac{i(u)}{R^2} + \frac{1}{cR} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad (3)$$

여기서, R 은 방전원으로부터 관측점(ρ, z, t)까지의 거리이며, $R = \sqrt{z^2 + \rho^2}$ 이다. $u = t - R/c$ 이며, c 는 광속, ϵ_0 는 진공의 유전율을 나타낸다.

이상과 같은 비교를 통하여, 안테나를 이용한 기기의 절연진단은 타당성을 가지게 된다.

2.2 실험방법

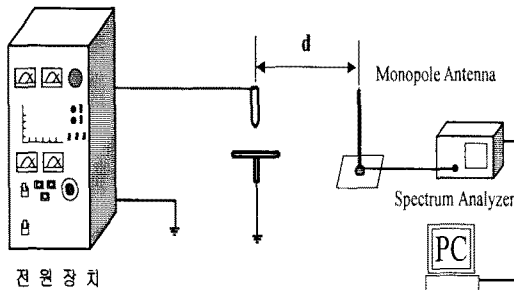


그림 2. 실험장치도

그림 2는 본 실험에서의 장치의 개략도를 나타내고 있

다. 전원장치로는 교류전원(30[kV], 60[Hz])을 사용하고 있으며, 전극부는 침-평판전극으로 하고, 갭간격은 10[mm]로 하였으며, 안테나와 전극부와의 거리는 30 [cm]로 하여 실험을 실시하였다. 본 실험에서 사용한 침전극의 재질과 사양에 대하여 표 2에 나타내었다.

침전극 종류	곡률반경[mm]	직경[mm]	재질
A	0.11	0.84	스테인레스
B	0.62	2.40	스틸

표 2. 실험에 사용된 침전극의 사양

안테나를 통해 들어오는 방사전자파의 신호는 Spectrum Analyzer(ADVANTEST R4131C)에서 10[sec]동안 Maxhold하는 방식으로 측정을 행하였으며, 측정된 데이터는 컴퓨터로 전송되어 저장되었다.

그림 3에는 본 실험의 데이터를 처리한 프로그램의 플로어차트를 나타낸다.

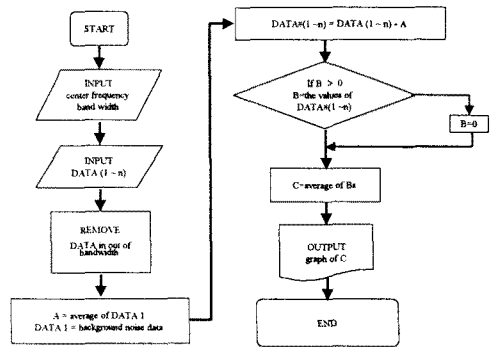


그림 3. 데이터 처리용 프로그램의 플로어차트

그림 3을 살펴보면, 컴퓨터에 저장된 데이터를 포트란 프로그램을 이용하여 연산/처리하여 그 결과를 그래프로 표현하고 있음을 알 수가 있다.

2.2 실험결과

그림 4에는 A, B 두 종류의 침전극을 이용하여 얻어진 데이터를 그림 3의 프로그램을 이용하여 처리한 결과를 나타내었다.

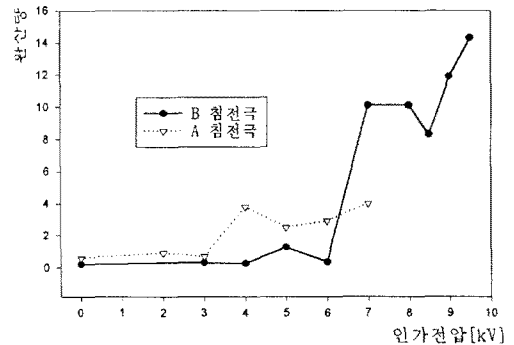


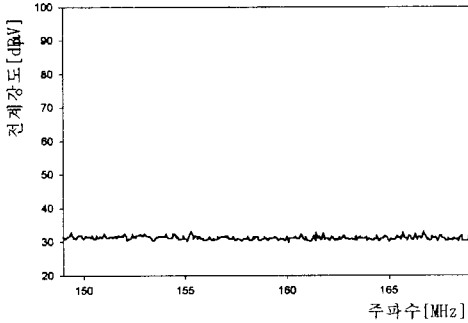
그림 4. 데이터 처리의 예

위의 결과를 살펴보면, A전극의 경우, 인가전압 3[kV] 이후부터 환산량에서 차이를 나타내고 있으며, B전극의 경우는 인가전압 6[kV]이후에서부터 차이를 나타내고 있다. 이러한 이유는 같은 갭 간격에도 불구하고, A전극 쪽이 B전극보다 낮은 인가전압에서 그 차이를 보이

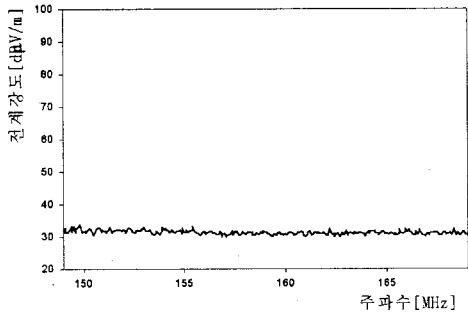
는 것은, 침전극의 곡률 반경에 의한 전계의 불평형성이 B보다 A쪽이 강하기 때문이라 생각된다. 그림 3과 같이 연산에 의해 그래프로 나타내어지는 결과에 의해 방전의 진전을 한눈에 알아볼 수 있었다.

그림 4를 보면, 파괴전압의 약 50%(A, B전극 둘다)정도 이후에 가시적인 차이를 보이고 있음을 볼 수가 있었다.

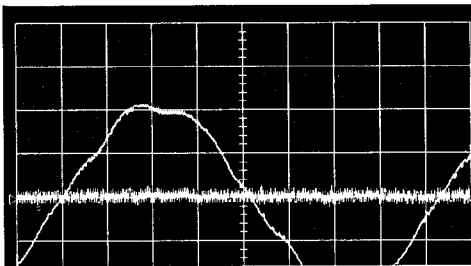
그림 5는 측정전의 Background noise와 3[kV]인가시의 전자파 스펙트럼과 방전전류파형을 나타내고 있다.



(a) Background noise



(b) 3[kV]인가시의 스펙트럼



(c) 3[kV]인가시의 인가전압과 방전전류파형
그림 5. 스펙트럼의 비교

그림 5를 보면, (a)는 Background noise로 인가전압 3[kV]일 때의 전자파 스펙트럼 (b)와 거의 구별하기가 힘들다. 그리고, 그림 4와 같이 환산에 의한 차이도 거의 Background noise와 별 다른 차이를 나타내고 있지 못하다. 따라서, 낮은 전압을 인가한 경우에 배경잡음과의 차이를 알아보기 위하여 t테스트를 실시한다. B전극을 대상으로 5[kV]이하의 전압을 인가하여, 공간으로 방사되어진 전자파를 검출하고, 이를 데이터로 저장하고, 이 데이터에 대하여 t테스트를 실시하였다. 이것은 컴퓨터에 저장되어진 데이터를 각각 모집단으로 하여 각각의 집단이 차이가 있는지 없는지를 알아보는 것이다. 하지만, 이 t테스트는 집단의 차가 있는지 없는

지를 나타낼 뿐이지 두 집단간의 절대적인 차이를 나타내지는 못하는 것이다. 하지만, 이런 통계적 기법을 통하여 스펙트럼에서 배경잡음과 다른 변화가 있었음을 알 수 있으므로 상당히 유용한 방법이라 생각한다.

인가전압 [kV]	t	p
2.0	5.86	4.25E-09
2.5	3.74	0.000104
3.0	6.33	2.94E-10
3.5	5.22	1.37E-07
4.0	5.81	5.83E-09
4.5	6.50	1.05E-10
5.0	3.75	9.93E-05

표 3. background noise와 각 인가전압의 스펙트럼의 t 테스트 결과

위 결과에서 p값이 0.05이하인 경우, 배경잡음의 데이터 집단과 인가전압의 데이터 집단이 차이가 있음을 의미하는 것이다. 따라서, 스펙트럼이나, 방전전류파형으로도 구별할 수가 없었던 차이를 통계적인 방법인 t테스트를 통하여 차이가 있음을 본 연구를 통해 스펙트럼 상에서 가시적으로 구분할 수 없었던 차를 볼 수 있었으며, 이 부분에 대한 연구를 더 진행시켜 절연진단의 연구에 기초자료로서 많은 도움이 될 것이라 생각한다.

3. 결 론

본 실험은 공기중의 방전에 의해 공간으로 방사되어지는 전자파를 모노폴안테나를 이용하여 측정하는 것으로 곡률 반경이 다른 두 전극(A, B)을 이용하여 방전을 발생시키고, 그때 공간으로 방사되어지는 전자파의 데이터를 컴퓨터를 이용하여 분석함으로써 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) 스펙트럼 아날라이저를 통해 입력되어지는 데이터를 컴퓨터에 저장하여 본 연구에서 제한한 연산을 실시한 결과 전계강도 증가 경향을 가시적으로 볼 수가 있었다.
- 2) t테스트를 이용하여, background noise에서의 스펙트럼과 전압인가시의 스펙트럼 데이터를 두 모집단으로 하여 분석함으로써 두 집단간의 차가 있음을 알 수가 있었다. 따라서, 미소 전압인가시의 절연진단에 도움이 되리라 생각된다.
- 3) 인가전압의 크기에 따라 다른 진단법의 사용이 필요함을 알 수 있었다.

(참 고 문 헌)

- [1] H.Okubo 외 4명, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharges and its Relation to Partial-Discharge Characteristics", ETEP, Vol.7 No.1 pp.57~63, 1997
- [2] 前川 洋, "GIS部分放電位置標定システムの開発と實フィールドへの適用" 電學論B, 116卷 12号, pp.1575-1579, 1996
- [3] Yonghong Cheng 외 1명, "Preliminary Study on the Methods for Suppressing Background Interference in Ultra-wideband Partial Discharge Detection", Proceedings of the 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials, pp.693-696, 1998
- [4] 鄭樂三, 金基采, 鄭然春, "EMI/EMC 현황과 전망", 전자공학회지, 제 16권 제 5호, pp.419-426, 1989
- [5] P. Fujiwara and M. T. Ma, "Field radiated by Electrostatic Discharge", IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol.33, No.1, pp.10-18, 1991
- [6] 김기채, 이광식, 이동민, "안테나 법에 의한 미소 간극의 방전전류파형 추정", 한국전자파학회논문지, 제 9권, 제 4호, pp.499-504, 1998