

電磁環境 測定에 의한 放電電流 波形推定과 절연진단의 기초 연구

論 文

51C-10-5

A Basic Study on the Estimation of Discharge Current Waveform and the Insulation Diagnosis by the Measurement of Electromagnetic Environment

朴光緒*·金基采**·金利國***·朴元柱**·李廣植**

(Kwang-Seo Park · Ki-Chai Kim · Lee-Gook Kim · Won-Ju Park · Kwang-Sik Lee)

Abstract - This paper presents the method for an estimation of discharge current waveform in short gap discharge by radiated electromagnetic fields. The method of current waveform estimation is to use the one antenna method (single field method) with a measured electric or magnetic field at given field point by a time domain antenna. In order to verify the availability of the estimation theory, the discharge current waveform estimation was performed by one antenna methods using the measured electric fields of Wilson & Ma and compared with experiments. In addition diagnosis technique for power equipments is able to prevent from large accidents by finding signs of the accidents before they happen. From the results of the estimation of discharge current, we have a possibility for the application of insulation diagnosis technique for power equipments using SF₆ gas.

From this point of view, this paper simulated discharge progress and partial discharge by using needle-plan electrodes system in SF₆, studied the distribution of frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves using a biconical antenna and a spectrum analyzer. From the experimental results of this study, according to the consideration of the mutual relation between frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves and discharge progress, it was confirmed that detecting partial discharge and estimating discharge progress in SF₆ could be possible.

Key Words : Estimation of discharge current, radiated electromagnetic waves, one antenna methods, partial discharge, insulation diagnosis, frequency spectrum.

1. 서 론

고기압 가스를 절연매체로 하는 가스절연개폐장치나 변압기 등과 같은 고전압 전력기기는 신뢰성 향상을 위해 기기의 운전 중에 이상 유무를 검출할 수 있는 상시감시시스템의 확립이 대단히 중요하다. 이와 같은 전력기기의 내부에서 절연 파괴가 일어나면 부분 방전에 의한 방사 전자파를 방사하게 되는데, 이 때 발생하는 전자파를 기기 외부의 적절한 위치에서 검출하여 기기의 이상 상태를 발견하고자 하는 연구가 보고되고 있다^{[1]-[3]}.

또한, 개인용 컴퓨터로 대표되는 정보처리장치의 중요한 주변장치인 모니터 내부에서는 고압 발생용 변압기(FBT, Fly Back Transformer)가 절연 파괴시에 광대역의 주파수 스펙트럼을 포함하는 불요 전자파를 방출하게 되는데, 이 방사 전자파가 전자파 간섭원으로 작용하여 주변에 놓여진 전기전자기기 및 정보처리장치 등에 심각한 전자파 간섭(EMI,

Electromagnetic Interference)을 일으킨다. 따라서 FBT가 절연 파괴에 이르기 전에 발생하는 부분 방전을 미리 검출하여 FBT의 결함을 사전에 알아내는 것은 대단히 유용하다. 그리고, 정전기 방전(ESD, Electrostatic Discharge)의 분야에서는 ESD에 의해 방사되는 전자계가 넓은 대역의 주파수 스펙트럼을 포함하기 때문에 정보처리장치 및 전기전자기기 등에 중대한 전자파 간섭을 일으키게 하는 간섭원으로 작용한다. 특히 간접 ESD(indirect ESD)의 경우에는 직접 ESD(direct ESD)의 경우보다 더욱 심각한 전자파 간섭을 일으킨다는 사실이 알려져 있다.

따라서 본 논문에서는 대기중 미소갭 방전시 하나의 안테나를 사용하여 관측한 하나의 측정전계 또는 자계를 이용하여 방전전류를 추정하는 "1 안테나법(One Antenna Method)"의 "E 방법(Electric Field Method)" 또는 "H 방법(Magnetic Field Method)"을 이용하여 방사전자파를 발생시키는 방전전류의 파형추정법에 관하여 검토하였다.

추정법 이론으로서 방전원을 다이폴 모델로 근사시켜 계산된 순방향 문제(또는 순문제, forward problem)의 방사전자계로부터 역방향 문제(또는 역문제, inverse problem)와 관련시켜 방전원의 방전전류에 관한 식을 유도하고 있다.

본 논문에서는 위에서 설명한 두 가지의 추정법 이론을 사용하여 측정 전계 또는 자계로부터 방전전류의 파형을 추정하고, 추정된 방전 전류파형을 실험결과와도 비교하여 추

* 正 會 員 : 嶺南大學 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 嶺南大學 電子情報工學部 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 慶一大學 電氣工學科 教授

接受日字 : 2002年 6月 3日

最終完了 : 2002年 9月 2日

정법 이론의 타당성을 확인하였다.

이러한 연구 결과를 근거로 하여 전자환경의 측정에 의한 전력설비의 절연진단 기술에 응용가능성을 충분히 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 그 응용 분야로서 현재고압가스 절연개폐장치(GIS)에 가장 많이 사용되고 있는 SF₆ 가스를 이용한 전력설비나 전기 기기에 전기적 이상 발생시 수반되는 절연과파의 전구현상인 부분 방전을 침대 평판전극으로 모의하여 SF₆ 가스중 방전진전에 따른 방사전자파를 비접촉센서인 바이코니컬 안테나와 spectrum analyzer를 이용하여 주파수스펙트럼 분포특성을 연구하였다.

또한 방전진전과정과 방사전자파의 상호관계를 고려함으로 GIS 내의 부분방전의 검출과 방전진전 상태의 예측에 관한 기초연구를 수행하였다.

2. 미소간극의 방전전류 파형 추정

2.1 시간의존 전자계

그림 1은 미소 간극을 갖는 방전원을 길이가 1인 미소 다이폴로 가정한 것이다. 이 모델은 정전기 방전의 연구에서 Wilson & Ma의 모델 또는 NIST의 모델로 잘 알려져 있다. 이러한 미소 다이폴에 전류가 i 가 흐를 때 시간 t 에 의존하는 방사 전자계는 원주 좌표계에서 다음과 같이 구해진다.^[6]

$$E(\rho, z, t) = \hat{\rho}E_{\rho} + \hat{z}E_z \tag{1}$$

$$H(\rho, z, t) = \hat{\phi}H_{\phi} \tag{2}$$

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

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

$$H_{\phi}(\rho, z, t) = \frac{l}{2\pi R} \left(\frac{i}{R^2} + \frac{1}{cR} \frac{\partial i}{\partial u} \right) \tag{5}$$

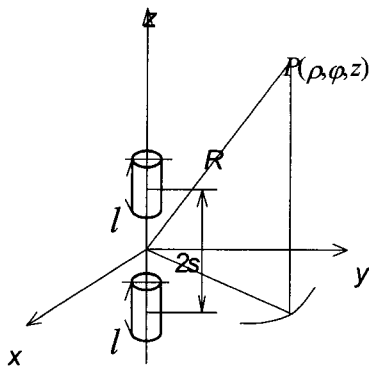


그림 1 미소간극 방전의 다이폴 모델
Fig. 1 Dipols model of small gap discharge

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

2.2 방전전류 파형의 추정 이론

방전원에서 방전이 일어날 때 방출되는 방사 전자파를 측정하여 관측 전자계로부터 방전원의 특성을 결정(방전전류의 추정 또는 복원)하는 문제는 역문제에 해당한다.

그림 2는 본 논문에서 취급하는 역문제의 정의를 나타내고 있다. 그림 2에서 보는 것처럼 왼쪽은 원래의 전류 공간을 나타내며 오른쪽은 관측 전자계 공간을 나타낸다.

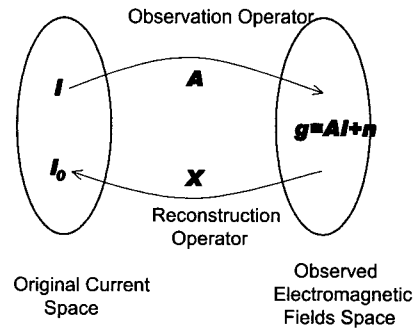


그림 2 역문제의 정의
Fig. 2 Definition of inverse problem

관측 전자계 공간에서 측정된 전자계로부터 원래의 방전 전류파형을 추정하기 위한 전류파형의 복원 과정은

$$g = Ai + n \tag{6}$$

$$i_0 = Xg \tag{7}$$

로 나타낼 수 있다.

식(6)은 원래의 전류 공간으로부터 관측 전자계 공간으로의 작용을 나타내고 있으며, i 는 방전원의 전류, g 는 관측 전자계, n 은 잡음을 나타내고 A 는 관측 과정의 특성을 나타내는 관측작용소이다. 식(7)은 관측 전자계 공간으로부터 원래의 전류 공간으로의 복원 과정을 나타내고 있으며, i_0 및 X 는 각각 복원 전류 및 복원작용소이다.

관측 전자계 공간에서 관측된 측정 전자계로부터 방전원의 전류파형을 복원하는 구체적인 방법은 다음과 같다. 이하 이상적인 경우를 생각하여 관측잡음 n 은 없는 것으로 가정한다.

2.3 1 안테나 법(단일 전자계 법)

방전원으로부터 적절히 떨어진 공간의 한 지점에서 한 개의 안테나를 사용하여 관측한 측정 전계 또는 측정 자계를 이용하는 방법을 1 안테나 법 또는 단일 전자계 법이라 명명하기로 한다. 이러한 1 안테나 법은 전계를 측정하는 경우와 자계를 측정하는 경우로 구분할 수 있는데, 전계를 측

정하여 방전전류를 추정하는 경우에는 E 방법, 자계를 측정하여 추정하는 경우에는 H 방법이라고 하였다.

이와 같은 1 안테나 법에 있어서 복원 작용소는 순문제에서 구해진 식(3)-식(5)의 시간영역 전계계를 이용하여 구할 수 있다. 그리고, 전계를 측정하여 추정할 것인가 자계를 측정하여 추정할 것인가는 측정의 난이도에 의존하지만, 측정용 안테나의 개발 등을 고려하여 전계를 측정하는 것이 바람직하다고 생각된다. 주위에 잡음이 많고 방사 전계강도가 미약한 경우라면 자계를 측정하는 H 방법이 효과적인 경우도 있다.

2.3.1 E 방법

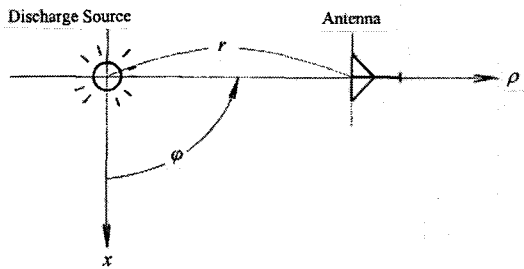


그림 3 1 안테나법
Fig. 3 one antenna method

먼저, 1 안테나 법 중에서 방사 전계를 측정하여 방전전류를 추정하는 E 방법을 적용하는 경우의 전류파형 추정법을 설명한다 그림 3은 1 안테나 법으로 방전 전류의 파형을 추정하기 위한 개략도이다. $z=0, \rho=r$ 의 위치에서 시간영역 전계 측정용 안테나로 측정된 시간영역의 방사 전계, $E_z(t)$ 를 이용하면 추정해야 할 방전전류는 식(4)로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I(\omega) = \frac{F\{E_z(t)\}}{Z_E(\omega)} \tag{8}$$

여기서,

$$Z_E(\omega) = \frac{l}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{cR^2} + j\omega \frac{1}{c^2R} \right) e^{-\frac{j\omega R}{c}} \tag{9}$$

$R=r$ 이고 F는 푸리에 변환을 나타낸다. 그리고, 식(9)의 역수 $Z_E^{-1}(\omega)$ 은 E 방법에서의 복원작용소 X에 해당한다.

식(8)을 역푸리에 변환하면 다음 식과 같이 시간영역에서의 방전전류를 구할 수 있다.

$$i(t) = F^{-1}\{I(\omega)\} \tag{10}$$

여기서, F^{-1} 는 역푸리에 변환을 나타낸다

2.3.2 H 방법

1 안테나 법 중에서 방사 자계를 측정하여 방전 전류를

추정하는 H 방법을 적용하는 경우의 전류파형 추정법을 설명한다. $z=0, \rho=r$ 의 위치에서 시간영역 자계 측정용 안테나로 측정된 시간영역의 자계 $H_\phi(t)$ 를 이용하던 추정해야 할 방전전류는 식(5)로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$I(\omega) = \frac{F\{H_\phi(t)\}}{Z_H(\omega)} \tag{11}$$

여기서,

$$Z_H(\omega) = \frac{lr}{2\pi R} \left(\frac{1}{R^2} + j\omega \frac{1}{cR} \right) e^{-\frac{j\omega R}{c}} \tag{12}$$

이며, $R=r$, 식(12)의 역수 $Z_H^{-1}(\omega)$ 는 H 방법에서의 복원작용소 X에 해당한다.

식(11)을 역푸리에 변환하면 다음 식과 같이 시간영역에서의 방전 전류를 구할 수 있다.

$$i(t) = F^{-1}\{I(\omega)\} \tag{13}$$

여기서, F^{-1} 는 역푸리에 변환을 나타낸다.

이상과 같이, 1 안테나 법에는 전계를 사용하는 E 방법과 자계를 사용하는 H방법을 생각할 수 있는데, E 방법이나 H 방법 모두 전류파형 추정법 이론의 전개 과정은 기본적으로 동일하다. 1 안테나 법은 한 개의 안테나를 사용하면 된다는 장점이 있지만 푸리에 변환 및 역푸리에 변환의 과정을 거쳐야 하므로 변환과정을 포함하고 있는 것이 단점일 수도 있다.

2.4 방전전류의 추정결과 및 검토

그림 4는 Wilson & Ma^[4]가 미소 간극 방전원으로 부터 방사되는 시간영역 전계의 측정결과를 나타낸다. 본 절에서는 이를 사용하여 1 안테나 법의 E 방법으로 방전전류를 추정한다.

그림 4의 측정 전계를 사용하여 식(8)로부터 추정한 방전전류의 파형을 그림 5에 나타낸다. 그림 5로부터 알 수 있는 것처럼 방전 전류의 파형 추정치는 Wilson & Ma의 전류파형 측정치^[4]와 전류의 크기 및 최대치가 나타나는 시각에 차이가 있으나 비교적 그 경향이 잘 복원되고 있음을 알 수 있다. 전류의 크기에 차이가 나는 것은 이론 계산에 사용한 방전원의 모델이 실제의 방전원과 차이가 있는 점, 그리고 시간 영역의 전계 측정시에 발생하는 측정 오차, 시간영역과 주파수 영역의 변환 오차 등이 원인으로 생각된다.

전류파형 추정에서의 푸리에 역변환은 N=1024개의 복소 데이터에 관한 이산 푸리에 변환을 FFT(fast Fourier transform)를 사용하여 구했다.

Wilson & Ma는 다이폴의 길이를 명확히 언급하고 있지는 않지만 이들의 실험결과를 이용하기 위하여 본 논문에서는 Wilson & Ma의 계산결과 및 실험결과를 재검토하였다. 즉, Wilson & Ma가 문헌^[4]에서 보고한 전계강도의 실험결과를 본 논문에서의 식(2)를 사용하여 검토한 결과, 방전원을 다이폴 모델로 근사할 때에는 유효 다이폴 길이가 5.8

cm일 경우 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있음이 확인되었다(그림 6참조). Fujiwara^[5]도 본 논문의 결과와 동일한 결과를 보고하고 있다. 따라서, 본 논문에서는 유효 다이폴 길이를 5.8 cm로 하여 방전원의 특성 추정법을 검토하고 있으며, 그림 5는 유효 다이폴 길이를 5.8 cm로 하여 추정한 결과이다.

그림 5로부터 알 수 있는 것처럼 한 개의 안테나를 사용하여 방전원의 외부에서 관측한 측정 전계를 이용하면 방전 전류의 추정(복원)이 가능할 것으로 생각된다. 보다 정확한 추정이 가능하려면 실제의 방전원과 잘 일치하는 방전원의 모델 개발이 필요하다.

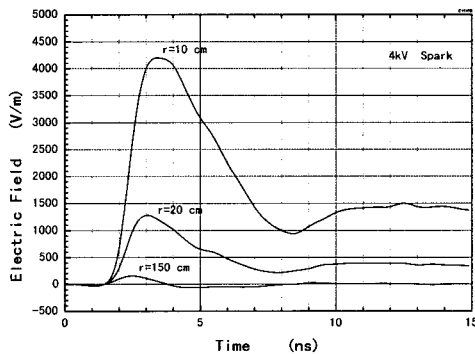
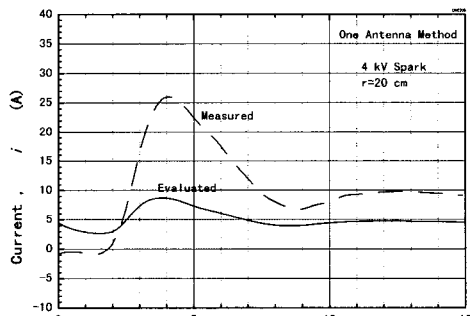
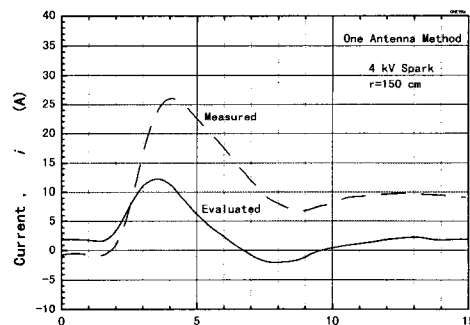


그림 4 거리에 따른 방사전계 강도
Fig. 4 Radiated electric fields as a function of distance



(a) $r = 20\text{ cm}$



(b) $r = 150\text{ cm}$

그림 5 방전전류의 파형추정 결과
Fig. 5 Estimated discharge current waveshapes by one-antenna method.

그림 6은 유효 다이폴 길이가 5.8 cm일 때, 식(2)로부터 계산한 전계강도를 문헌^[4]의 실험 결과와 비교한 것이다. 그림 6으로부터 이론치와 실험치는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 따라서, 1 안테나 법의 E 방법을 사용하여 방전원의 방전 전류파형을 복원할 경우, 방전원의 계산 모델로 이용한 다이폴 모델의 유효 다이폴 길이를 5.8 cm로 하면 측정된 전계로부터 원래의 전류파형에 가까운 방전전류의 파형을 추정할 수 있다.

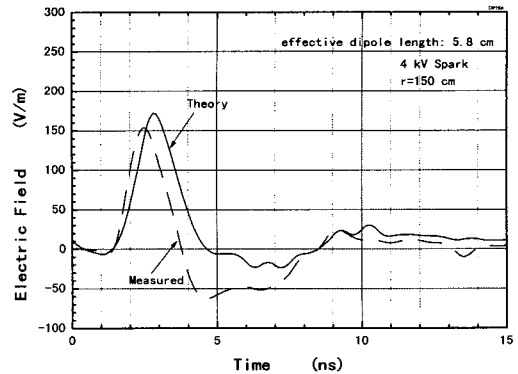


그림 6 방사전계강도의 이론치와 실험치
Fig. 6 Comparison of theoretical electric field and experimental results.

3. SF₆ 가스중 방전진전에 따른 방사전자파의 특성

위의 미소간극의 방전전류의 파형추정의 결과 및 검토로서 안테나를 이용한 방사전계를 측정에 의한 전력설비의 절연진단 기술의 응용에 충분한 가능성과 이론적 근거를 얻었다.

따라서 본 논문에서는 그 응용분야로서 SF₆ 가스중 방전진전에 따른 방사전자파의 전계강도를 고려함으로써 방전진전 상태의 파악이 충분히 가능하다는 결론을 얻었으며 안테나 법에 의한 GIS 절연진단에 응용하기 위한 기초실험을 하였다.

3.1 실험장치 및 방법

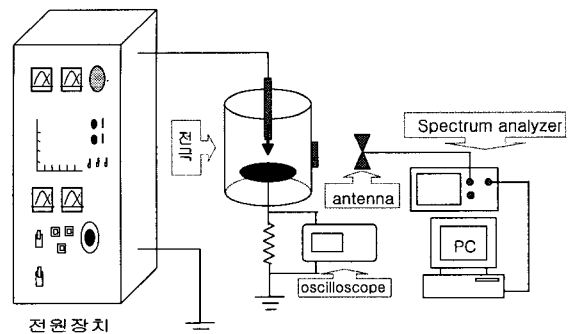


그림 7 실험장치 회로도
Fig. 7 Schematic diagram of experimental set up

그림 7은 실험의 장치 회로도를 나타낸 것이다. 인가전원은 교류 고전압(Input : AC 200V 60Hz, Output: AC 50kV 60mA)을 사용하였다. 또한 출력되는 고전압을 측정하기 위해 High voltage divider ($R_2 : R_3=5000:1$)를 사용하였다. 회로도에서 $R_1(50\Omega)$ 은 전압전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 방전시 전류 파형의 측정은 Digital storage type oscilloscope (Lecroy 9350AL)와 Active probe(bandwidth :DC~1[GHz],Leroy AP020)를 사용하였다.

그리고 방전시 방사되는 전자파를 측정하기 위해서 biconical antenna (EMCO model 3110, 30~300[MHz]) 및 Spectrum analyzer (Advantest R4131D)를 이용하여 방사 전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 관측하였다.

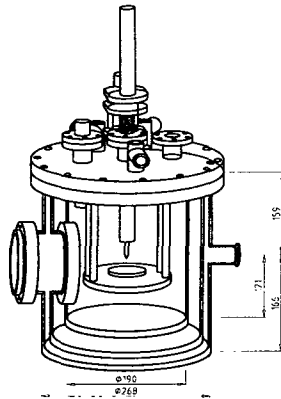


그림 8 가압용 모의 GIS
Fig. 8 The imitation GIS for changing inner pressure

그림 8은 설계 제작한 가압용 모의 GIS를 나타낸 그림이다. 모의 GIS의 내부에 4기압의 SF₆ 가스를 주입하여 기밀성을 유지하였으며 침대-평판 전극계 구조를 가지고 있으며 Gap 간격은 4[mm]이다. 침대 평판 전극을 사용한 이유는 불평등 전계에서 전압을 서서히 증가 시키면 부분방전의 초기 단계에서 절연파괴 직전의 단계까지 전 영역의 모의가 가능하며 각 단계별로 방사전자파의 특성을 관측하기 위해서이다. 일반적으로 현장에서 GIS는 장치부분에 따라 조금 다르지만 대략 4기압을 유지하여 사용하고 있다.

고압가스 절연 개폐장치의 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴 되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 서서히 상승인가 후, 안테나와 Spectrum analyzer를 이용하여 여러 기초실험을 통해 방사전자파의 측정에 유리한 안테나의 최적 측정주파수, 방사전자파 측정방법 등을 설정 후 실험을 행하였다.

Spectrum analyzer의 Sweeping Time은 10초이고 최대값을 추적하는 Max hold 방식을 채택하였다. 주파수 스펙트럼을 측정한 데이터를 Spectrum analyzer에서 GPIB로 데이터를 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이 때 전극 중심부와 안테나 사이의 거리는 1[m]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

3.2 실험결과 및 고찰

그림 9는 SF₆ 가스중 부분방전의 발생에서 절연파괴직전의 단계까지 전압전류 파형을 나타내었다. 4기압의 SF₆ 가스중 Gap 4[mm]의 침대 평판 전극사이 완전한 절연파괴의 평균 절연파괴전압은 약 43[kV] 정도이다

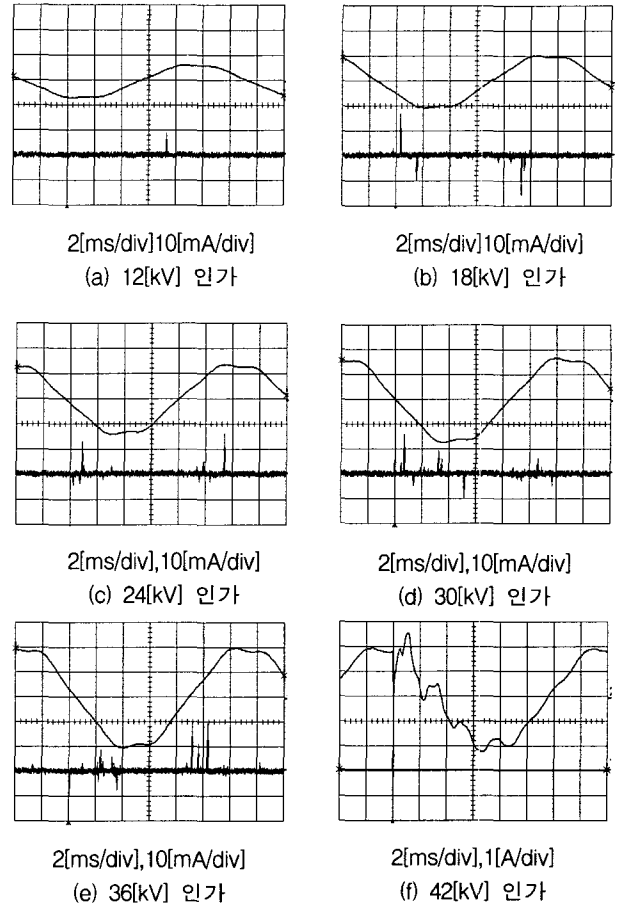


그림 9 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 전압 전류 파형
Fig. 9 Current and voltage waveform of partial discharge

그림 10의 (a)에서 12[kV] 인가의 경우부터 부분방전 전류 펄스가 발행하기 시작하였다. 일반적인 대기중의 부분방전 진전과 다르게 부분방전의 발생 초기단계에서 부극성 전압부근에 부 펄스 전류파형이 나타나지 않았고 전류 펄스 파형의 크기도 약 5배정도 크게 나타났다. 이것은 일반 대기보다 절연내력과 방전 소호능력이 상대적으로 높은 고압의 SF₆ 가스 내에서는 대기중과 다르게 낮은 인가전압에 의해 부극성 부근에 트리첵 펄스 형태를 이루는 안정된 코로나를 유지하기 어렵기 때문이라 판단된다. 전압을 더욱 증가시켜 방전을 진전시키면 펄스의 발생빈도가 증가하고 펄스의 크기가 증가하였다. 그림 9의 (e)와(f)의 단계에서 보는 바와 같이 Gap 간의 절연파괴는 일반적으로 대기중과 마찬가지로 급격한 정 펄스의 발생으로서 절연파괴가 이루어진다. 이러한 과정은 반복실험을 통하여 동일한 단계를 거침이 확인되었다.

그림 10은 고압의 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 방

사전자파의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. EMI, EMC 측정용 마이크로니컬 안테나와 대수 주기 안테나 그리고 스펙트럼 분석기를 이용하여 30~1000[MHz] 전대역에 걸쳐 다양한 주파수 대역과 데이터의 측정방법을 기초실험 하였다. 그 결과 그림 10과 같이 4기압의 SF₆ 가스 내에서 부분방전의 진전에 의한 방사전자파 측정 및 관측은 190~210[MHz]가 가장 적절하다는 판단된다.

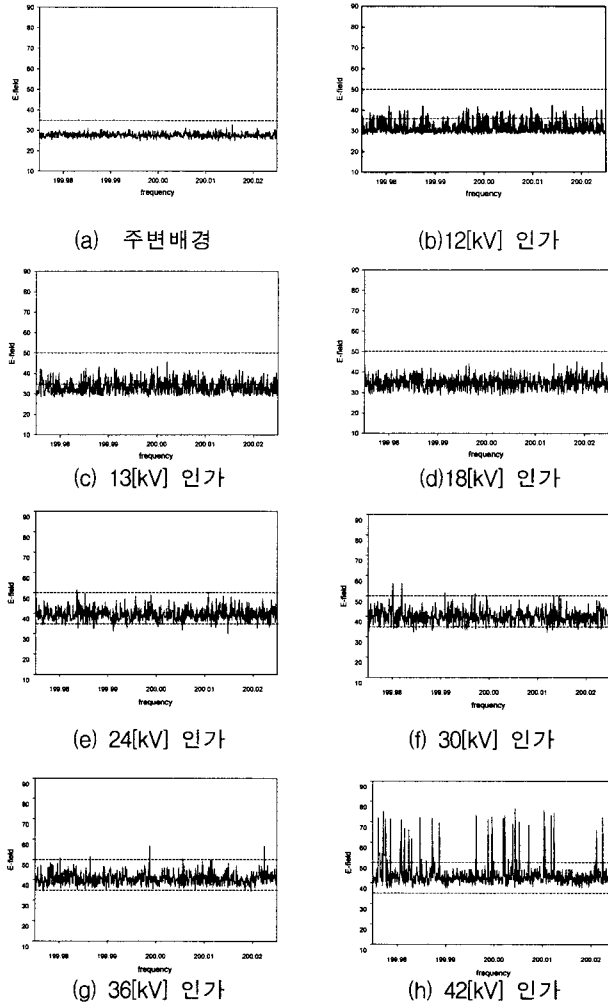


그림 10 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 방사전자파의 주파수 스펙트럼
 Fig. 10 Distribution of frequency spectrum of radiated electromagnetic waves in SF₆

그 중 중심주파수 200[MHz]이고 대역폭이 50[kHz]인 주파수 대역이 본 실험에 가장 적절하다 판단되었다. 향후 실제 GIS 전력설비에 적용하기 위해서는 주파수 대역을 좁힘으로 안테나를 소형으로 디스크 형 안테나 또는 Loop형 안테나의 제작을 용이하게 할 수 있다.

그림 10의 (a)는 측정주파수 대역에서 주변 Background Noise 스펙트럼을 측정한 그림이다. 측정대역에서 검출된 데이터는 스펙트럼의 Sweeping Time(10초)동안에 주변 환경에 Switching 동작이 없으면 전계강도가 35dB 이상의 데이터가 관측되지 않았다. 이에 착안하여 전압을 서서히 인가함에 따라 부분방전의 진전을 모의할 때 부분방전의 발생과

초기단계임을 알 수 있는 35[dBμV/m]이상의 데이터(이하 E_{35dB}) 검출과 부분방전이 어느 정도 진전된 단계라는 판단이 가능한 50[dBμV/m]이상의 데이터(이하 E_{50dB})검출, 평균 전계강도(이하 E_{mean})등을 분석하였다.

그림 10의 (b)는 인가전압을 서서히 증가시킨 경우 12[kV] 인가의 경우부터 35dB 이상의 데이터가 100개정도 관측되기 시작하였으며 이는 부분방전의 발생을 의미한다. 전압을 더욱더 인가하면 E_{35dB}의 데이터 수는 증가한다. 즉 부분방전의 발생은 E_{35dB}의 검출로서 파악이 가능하다고 판단된다.

인가전압을 계속하여 증가시킬 때 그림 10의 (e)에서 24[kV] 인가의 경우부터 부분방전이 어느 정도 진전된 상태에서는 전계강도 50dB 이상의 데이터가 검출되기 시작하였다. 전압을 더욱더 인가할수록 E_{50dB}의 데이터는 더욱더 증가하는 경향을 나타내었다. 즉 E_{50dB}의 데이터 검출에 의해 부분방전 발생이 많이 진전되어 절연파괴의 위험이 존재하는 단계(그림 10의 e, f, g)의 판단이 가능하다. 그림 10의 (h)의 경우 절연파괴 직전의 단계로서 E_{50dB} 이상의 데이터가 갑자기 증가하여 48개가 검출되기 시작하였다. 반복실험을 통하여 E_{50dB} 이상의 방전이 약 40개 정도가 검출되기 시작하면 절연파괴 바로 직전의 단계임을 판단이 가능하다

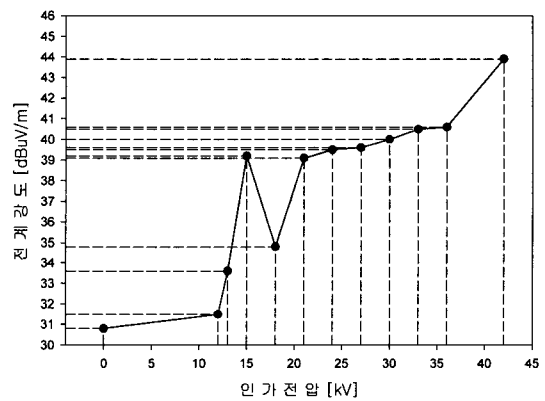


그림 11 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 평균전계강도
 Fig. 11 The value of E_{mean} with PD progress

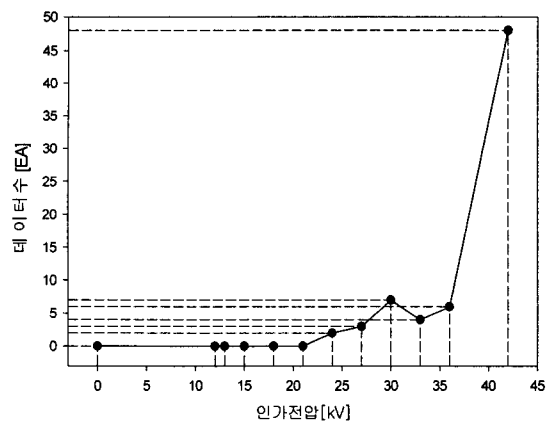


그림 12 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 E_{50dB} 이상의 데이터 수
 Fig. 12 Number of E_{50dB} data with PD progress in SF₆

그림 11은 4 기압의 SF₆ 가스중 인가 전압을 증가시켜 부분방전을 진전시킬 때 방사전자파의 평균 전계강도를 나타낸 것이다. 평균전계강도가 주변배경잡음에 비해 1dB 이상 증가하면 부분방전이 발생되었다고 판단되며 평균전계강도가 8~10dB 정도 증가하면 절연파괴의 위험성이 있는 단계이고 평균전계강도가 약 10dB 이상 증가되면 절연파괴 바로 직전의 단계인 것으로 판단이 가능하다.

그림 12는 고압의 SF₆ 가스중 인가전압을 증가시켜 부분방전의 진전을 모의 한 경우 방사되는 전자파의 주파수 스펙트럼 중 전계강도 50dB 이상의 데이터 수를 나타낸 것이다. E_{50dB}의 검출이 시작되면 초기의 부분방전이 전전되어 절연파괴의 위험성이 존재하는 단계인 것으로 판단되고 갑자기 증가하여 약 40개 이상의 데이터가 검출되기 시작하면 절연파괴 바로 직전의 단계인 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 논문의 결과는 방전을 수반하는 전자환경 측정에 의하여 방전원의 방전 전류를 추정할 수 있음을 이론 및 실험적으로 입증하였으며, 기기내부에서 발생하는 절연 파괴의 예측 및 정전기 방전의 기본특성을 고찰하는 데에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 보다 실제에 가까운 방전원의 모델 개발은 남겨진 과제이다.

위의 연구결과의 그 응용 분야로서 충분히 가능성을 확인하고 SF₆ 가스중 방전진전과정에 따른 방사전자파의 특성을 연구한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

SF₆ 가스중 부분방전의 발생에서 절연파괴까지의 단계의 관측은 190~210[MHz]의 주파수 대역에서 가능하고 또한 안테나 대역을 최대한 좁힐 경우 중심주파수가 200[MHz]이며 주파수 대역폭은 50[kHz] 정도이다. 본 실험의 방법에 의한 방사전자파의 스펙트럼 분포 특성과 전계강도 35dB 이상의 데이터 수, 평균전계강도, 50dB 이상의 데이터 수 등을 고려하면 부분방전의 발생에서 절연파괴 직전 단계의 관측 및 판단이 가능함을 확인하였다.

이러한 결과는 안테나를 사용하여 방사전자파를 측정·분석에 의한 전력설비의 절연진단 시스템 개발에 중요한 기초자료가 되리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Matumura et.al., : Method of diagnostic detection by radiated magnetic fields , Tech. Report of IEE Japan, HV83-52, 1983.
- [2] B. F. Hampton and R. J. Meats: Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations, IEE Proc., 135, Pt. C, No.2, 1988.
- [3] K .Arai, X.Guoxiang and O. Sugimoto: Micro-gap discharge waveshapes and radiated electromagnetic waves in atmospheric air and sulphur hexafluoride gas ,Trans. of IEE Japan, Vol.109-A, No.3, pp. 103-110, 1989.
- [4] P. F. Wilson and M. T. Ma: Field radiated by electrostatic discharges , IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. 33, no. 1, pp. 10-18, Feb. 1991.
- [5] O. Fujiwara: An analytical approach to model indirect effect caused by electrostatic discharge , IEICE Trans. Commun., vol. E79-B, no. 4, Apr. 1996.
- [6] Ki-Chai Kim, Kwang-Sik Lee and Dong-In Lee, "Estimation of ESD current waveshapes by radiated electromagnetic fields" IEICE Trans. commun., Vol.E83-B, No.3, pp.608-612, March 2000.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구(과제번호 : R01-2000-00245)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

저 자 소 개



박 광 서(朴 光 緒)

1970년 3월 23일생. 1997년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기전자공학부(석사). 현재 동 대학원 박사과정.

Tel: 053) 815-7291, Fax: 053-813-8230

E-mail: aca28@hanmail.net



박 원 주(朴 元 柱)

1954년 3월14일생, 1978년 영남대공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본큐우슈우대학 대학원 졸업(공학박사). 현재 영남대학교 전자정보공학부 교수

Tel: 053)810-2581, Fax: 053-813-8230

E-mail: wzpark@yu.ac.kr



김 기 재(金 基 采)

1959년 10월 19일생. 1984년 영남대학교 전자공학과 졸업. 1986년 일본 Keio Univ. 대학원 전기공학과(석사). 동 대학원 전기공학과 (공박). 현재 영남대학교 전자정보공학부 부교수.

Tel: 053)810-2583, Fax: 053-813-8230

E-mail : kckim@yu.ac.kr



이 광 식(李 廣 植)

1948년 10월 20일 생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙 교수. 1998 ~ 1999 당학회 방전고전압 연구회 간사장 역임. 현재 영남대 전기전자공학부 교수

Tel : 053-810-2486

E-mail : kslee@yu.ac.kr



김 이 국(金 利 國)

1946년 9월 30일 생. 1969년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 경일대학 전기공학과 부교수

Tel : 053-850-7145, Fax : 053-850-7602

E-mail : lkkim@bear.kyungil.ac.kr