

# 공기 및 복합유전체 겹에서의 방사전자파의 거리 및 편파특성

( The distance and polarization characteristics of electromagnetic wave radiated at needle-to-plane electrodes in Air and complex dielectric )

김충년\*\* · 이현동\* · 박광서\* · 박원주\* · 이광식\* · 이동인\* · 이동현\*\*

(Chung-Nyun Kim · Hyun-Dong Lee · Kwang-Seo Park · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee · Dong-Heon Lee) ( · Yeungnam University · \*\*Kumi College )

## Abstract

In this paper, VHF( 30~230[MHz] )electromagnetic waves radiated from partial discharge(PD) at two-type electrodes in air are measured and the peculiar patterns of their spectra are reported. Also, the polarization and distance characteristics of electromagnetic wave radiated by PD, were investigated.

In case the epoxy insulator in inserted, the noise level of radiated electromagnetic waves is 0.6~6.2[dB] higher than the case in air at below 90[MHz]. The frequency spectrum distribution of radiated electromagnetic waves appears different in the whole frequency range according to the arrangment of antenna.

## 1. 서 론

전력시스템의 송·배전계통 등에서 발생하는 코로나방전( 또는 부분방전 )의 원인은 절연체로서 채용되고 있는 기체, 액체 및 고체절연체에 대한 절연방식과 고압도체 표면상의 미소돌기, 이물질, 보이드, 크랙 등에 국부적인 불평등전계가 형성되면 절연내력을 저하시켜 절연파괴를 일으킨다. 이때 발생하는 펄스성코로나방전은 시간적, 공간적으로 급격한 변화와 더불어 높은 주파수성분을 가진 전자파를 방사시킨다. 이 방사전자파를 코로나잡음이라 부르며, RFI, TVI 혹은 EMI등의 장애 원인이 되어 시스템 자체 또는 근접해 있는 시스템에 오류를 발생시키게 된다. 따라서 이와 같은 전자기적 환경에 의한 시스템 장애를 미연에 방지할 진단기술의 필요성이 대두되고 있다[1][2].

전력설비에서의 절연파괴를 미연에 방지하기 위해 대부분 절연성능시험으로서 부분방전( partial discharge : PD ) 측정을 수행하고 있다. PD 검출 방법으로는 광, 음파, 기계적·전기적 진동, 전자파, 전위변동 등의 변화를 이용한 검출방식이 제안 연구되고 있다. 그중 부분방전에 의해 발생하는 방사전자파를 비접촉 센서인 안테나를 이용하여 검

출하는 방사전자파법( 또는 안테나법 )이 주목을 받고 있다. 이 방법은 타 검출방법에 비해 검출감도가 좋고, 검출범위가 넓으며, 센서의 수를 적게 할 수 있어 경제적이다는 등의 잇점 때문에 전력시스템 절연진단기법으로의 적용에 주목을 받고 있다 [3][4][5][6].

본 연구는 전력설비내에서 절연파괴의 주요원인이 되는 부분방전을 침대평판전극으로 모의하여, 이때 방전원에서 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포 변화를 거리 및 안테나의 배치에 따른 수신편파특성에 관하여 연구하였다.

본 연구를 위해 침대평판전극과 침대평판전극 사이에 절연체로 많이 사용하고 있는 에폭시 절연체를 삽입한 두가지 전극형태를 사용하여 부분방전을 모의하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 관련이론

모의 전극부의 방전원에서 발생하는 방사전자파가 전파되는 원리를 그림 1에 나타냈다. 미소간극을 갖는 방전원을 길이가  $l$ 인 미소다이폴로 가정

한 한 것이다. 이 모델은 부분방전이나 정전기방전 (EDS)의 연구에서 Wilson & Ma의 모델 또는 NIST의 모델로 잘 알려져 있다. 이러한 미소 다이폴에 전류 I가 흐를 때 시간 t에 의존하는 방사전자계는 원주좌표계에서 다음과 같이 구해진다 [7][8].

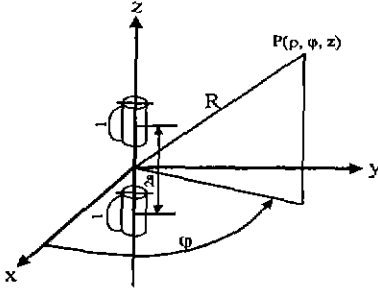


그림 1 미소 간격 방전의다이폴 모델  
Fig. 1 Dipole model of small gap discharge.

$$E_{\rho}(\rho, z, t) = \frac{I}{2\pi\epsilon_0} \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \left( \frac{3i(u)}{cR^2} + \frac{1}{c^2R} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad [V/m] \quad (1)$$

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

$$H_{\phi}(\rho, z, t) = \frac{I}{2\pi} \frac{\rho}{R} \cdot \left( \frac{i(u)}{R^2} + \frac{1}{cR} \frac{\partial i(u)}{\partial u} \right) \quad [A/m] \quad (3)$$

여기서, R은 방전원으로부터 관측점(ρ, φ, z)까지의 거리이며,  $R = \sqrt{z^2 + \rho^2}$ 이다.  $u = t - R/c$ 이며, c는 광속,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율을 나타낸다.

## 2.2 실험방법

본 연구에 이용한 실험장치의 배치도를 그림 2에 나타냈다. 사용한 전원은 교류고전압 발생장치인 Corona detecting apparatus system set ( 1차측 입력전압 110/220[V] 50/60[Hz], 2차측 출력전압은 15/30[kV] )를 사용하였다.

방사전자파 측정에는 바이코니칼 안테나 ( EMCO

3110, 주파수 범위 : 30 ~ 300 [MHz] )와 스펙트럼 분석기( Advantest, 주파수 범위 : 10[kHz] ~ 3.5[GHz] )를 사용하였다. 스펙트럼분석기의 측정 모드설정은 resolution bandwidth와 Video bandwidth를 각각 1[MHz], 입력감쇠비 10[dB], sweep time 0.5[sec]로 두고 maxhold로 5회 소인하여 측정하였다.

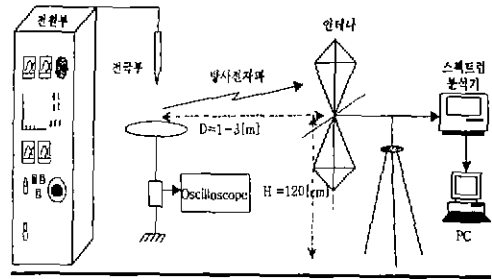


그림 2 실험장치도  
Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus.

측정시 전극부와 안테나는 수직배치를 기본으로 하였다. 이것은 전극부가 송신안테나의 역할로서 전자파를 방사한다고 보았을 때 수신 안테나와 동일한 편파특성을 가지도록 하기 위함이다. 본 연구에서는 전극부에서 방사되는 방사전자파는 수직편파로 방사된다고 가정하였다.

실험에 사용한 전극부의 형상을 그림 3에 나타내었다.

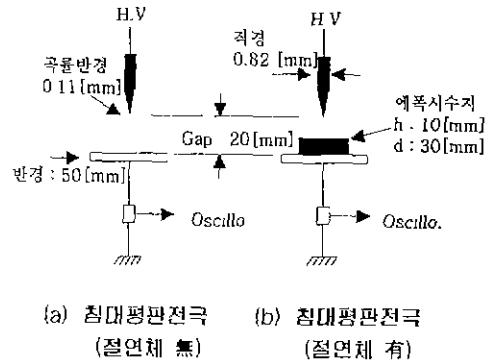


그림 3 전극부의 구성  
Fig. 3 Configuration of electrodes.

침대평판전극에 삽입한 시료인 예폭시 절연체는 고온경화용 주형수지로서 비스페놀-A형 (

bisphenol-A type )이며, 경화제 ( 산무수물 계통의 MeTHPA )를 사용하여 주체와 배합비율이 100 : 30~35%로 제작하였다. 시료 형상은 높이 10[mm], 직경 30[mm]인 원통형으로 제작하였다.

갭길이는 모두 20[mm]로 동일하게 설정하였으며, 그림 3 (b)의 갭은 절연체의 높이 10[mm], 공극 10[mm]로 하여 전체 갭이 20[mm]이다. 침전극은 곡률반경 0.11[mm], 직경 0.84[mm]이며, 평판전극은 직경 50[mm]인 스테인레스스틸로 로고스키형 타입을 사용하였다.

본 연구에서 선택한 측정 주파수대역은 30~230[MHz]를 선정하였다. 이 주파수대역은 스펙트럼 분석기에 설정할 수 있는 바이코니칼 안테나의 주파수 범위내에 해당된다.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에 앞서 실험실내의 주변환경잡음을 그림 4에 나타냈다.

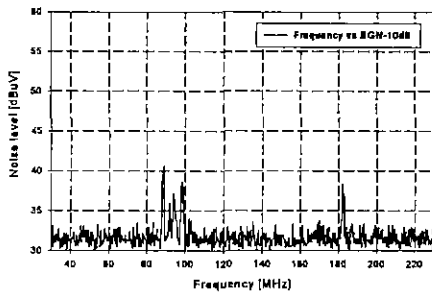


그림 4 주변환경잡음  
Fig. 4 Background noise ( BGN )

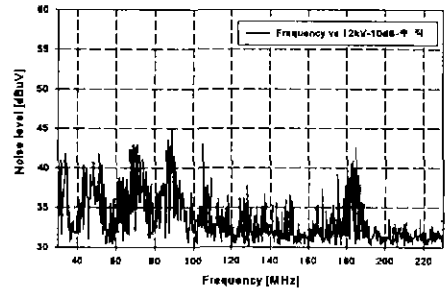
주변환경잡음 측정은 주파수대역 30~230[MHz], 입력감쇠비 10[dB], 안테나와 전극부의 거리를 1[m]로두고 안테나와 전극부를 각각 수직으로 동일하게 배치한 상태에서 측정한다.

본 실험실 환경에서의 주변잡음은 88~106[MHz]에서 32.42~39.8[dBuV], 182~183[MHz]에서 28.2~35.6[dBuV] 정도의 노이즈레벨을 갖는 주변의 방송파·무선파 및 실험실내 전기·전자장비에서 방사되는 불요전자파가 관측되고 있다.

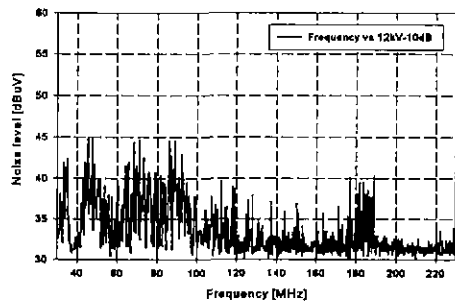
#### 3.1 방사전자파의 거리특성

그림 5는 인가전압 12[kV]에서 그림 3 (a)와 그림 3 (b) 전극부에서 발생하는 방사전자파를 거리 1, 3[m]에서 전극부와 안테나를 수직으로 배치하여

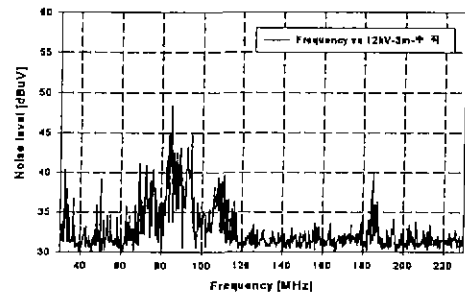
측정한 방사전자파의 스펙트럼분포를 나타낸 것이다.



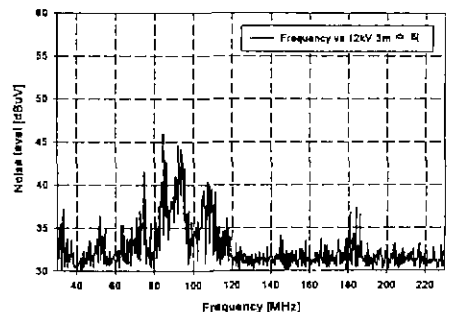
(a) 침대평판전극(절연체 무), 1 [m]



(b) 침대평판전극(절연체 유), 1 [m]



(c) 침대평판전극(절연체 무), 3 [m]



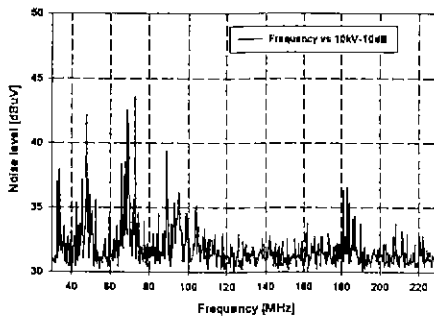
(d) 침대평판전극(절연체 유), 3 [m]

그림 5 거리 특성 ( 12 [kV] )  
Fig. 5 Distance characteristics ( 12 [kV] )

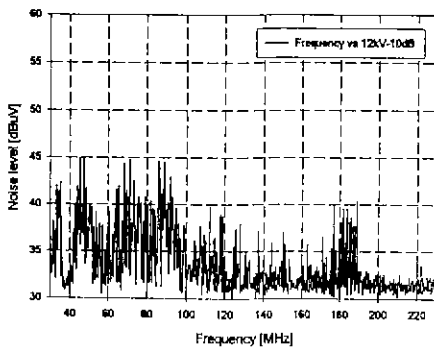
그림에 나타낸것과 같이 거리 1[m]인 경우 절연체를 삽입한 전극부쪽이 5~7[dB] 높게 나타났으며, 거리가 멀어질수록 특정주파수대(여기서는 90[MHz] 대역)를 중심으로 잡음강도가 큰 스펙트럼 패턴을 나타내고 있다. 거리변화에 따라 수신되는 방사전자파의 패턴변화는 전극부와 전원선 전체가 하나의 안테나가 되어 다양한 파장을 가지는 전자파가 직접 및 대지면이나 벽등을 통한 간접파의 영향을 받는 것으로 생각된다. 근거리에서는 전체 주파수 영역에 영향을 끼치는 것으로 판단되지만, 거리가 멀어짐에 따라 수신안테나의 수신특성과 방전원에서 전파되는 파장 감소 등의 영향으로 인하여 어떤 특정한 주파수 대역을 중심으로 발생하는 것으로 판단된다.

### 3.2 방사전자파의 편파특성

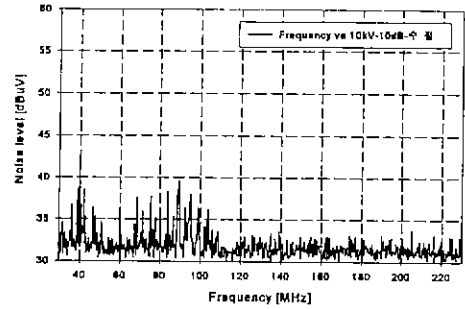
그림 6은 그림 3 (b) 전극부와 안테나간 거리를 1[m]로 두고, 인가전압 10[kV]와 12[kV]에서 안테나의 엘리먼트를 수평으로 회전시켜 측정된 방사전자파의 편파특성을 측정된 것이다. 이때 방전원인 전극부는 수직으로 배치하였다.



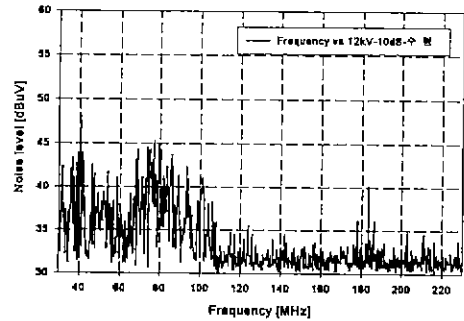
(a) 안테나 수직, 10 [kV]



(b) 안테나 수직, 12 [kV]



(c) 안테나 수평, 10 [kV]



(d) 안테나 수평, 12 [kV]

그림 6 편파 특성

Fig. 6 Polarization characteristics

안테나를 수직배치한 그림 (a), (b)는 인가전압의 상승과 함께 부분방전이 불안정영역에서 안정영역으로 진전함에 따라 110[MHz] 이하에서는 약 5~7[dB] 정도 전계레벨이 하강, 평준화되며 주파수 분포가 고주파영역으로 확대되어 가는 특성을 보이고 있다. 그러나 그림 (c), (d)는 인가전압의 상승과 함께 110[MHz] 이하의 주파수 대역에서만 약 10[dB]정도 전계레벨의 크기만 나타낼 뿐 110[MHz] 이상의 주파수 대역에는 뚜렷한 변화 특성을 가지지 못하는 것으로 판단된다.

### 4. 결론

침대평판전극과 침대평판전극에 에폭시 절연체를 삽입한 두 경우에 대하여 부분방전을 모의하여 이때 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 거리 및 안테나 엘리먼트의 배치에 따른 편파특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 방사전자파의 잡음레벨은 절연체가 있는 경우가 없는 경우에 비해 측정주파수대역에서 약 0.5~6.2[dB] 높게 나타났다.
- (2) 방사전자파의 거리특성은 거리가 멀어질수록

일정한 주파수 대역(90[MHz]) 대역을 중심으로 발생되고 있다. 이것은 방전원에서 방사되는 전자파의 파장과 전계강도가 90[MHz]대역 부근의 성분이 강하다는 것을 의미한다.

(3) 방사전자파의 편파특성은 안테나 엘리먼트의 배치에 크게 의존하는 것을 볼 수 있다. 안테나를 수직배치한 경우는 전체 주파수영역에 영향을 주지만, 수평배치한 경우는 특정한 주파수 대역이하에서만 나타나고 있음을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이동일 외 2 “ 전력설비의 전기환경장해와 대책기술 개발” 대한전기협회 전기저널 8, No.272, pp.14-19, 1999.
- [2] 한국전기연구소, “ EMI 기초연구 ”, 1987. 12
- [3] 大久保仁, “電力機器の診断技術の現状と今後の課題”, T.IEE Japan, Vol.119-B, No.4, pp.434-437,'99.
- [4] 奥村克夫, “大氣中直流針端コロナ放電による超短波帯雑音特性”, 電學論A, 11卷2号, pp.89-96, 平成3年
- [5] R.Baumgärtner et al., “Partial discharge-Part IX/X” IEEE Elect. Insul. Magazine, Vol.7, No.6 pp.5-27,'91.
- [6] Takashi Kimura et al., “Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna”, T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.
- [7] 이상훈, 김충년외 4, “기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석”, 대한전기학회 하계논문집, pp.2028-2030, '99.
- [8] 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.