

공기중 전극형상에 따른 방사전자파의 주파수 분포특성

김충년\*<sup>u</sup> · 이상훈<sup>o</sup> · 지승욱<sup>o</sup> · 김기채<sup>o</sup> · 박원주<sup>o</sup> · 이광식<sup>o</sup> · 주재현<sup>o</sup>  
 (주)인터커넥션\*<sup>o</sup> · 영남대학교 전자정보공학부<sup>o</sup> · 거제대학 전기과<sup>o</sup>

Frequency Distribution Characteristics of Electromagnetic Waves in accordance with Electrode Shapes in Air

C.H. Kim\*<sup>u</sup> · S.H.Lee<sup>o</sup> · S.W.Jee<sup>o</sup> · K.C.Kim<sup>o</sup> · W.Z.Park<sup>o</sup> · K.S.Lee<sup>o</sup> · J.H.Ju<sup>o</sup>  
 Interconnection Co. Ltd.\*<sup>o</sup> · Yeungnam University<sup>o</sup> · Koje College<sup>o</sup>

**Abstract** - In this paper, electromagnetic waves radiated from discharge at three-type electrodes(needle-plane, plane-plane and sphere-plane electrode) using DC power source in air measured and the peculiar patterns of their spectra are reported. The radiated electromagnetic waves were measured in bandwidth of VHF(30~230[MHz]) using a biconical antenna and a spectrum analyzer.

Frequency spectrum distribution of radiated electromagnetic wave was revealed under 50(MHz) at positive DC, and high electric field was shown at 45(MHz) frequency band. But, it was revealed under 70(MHz) frequency band at negative DC under plane-plane electrodes and sphere-plane electrodes, and high electric field was shown at 55(MHz) frequency band.

1. 서 론

생활수준의 향상과 더불어 전력사용량의 증가로 우리 주변에 전력설비가 늘어남에 따라 전기환경에 대한 관심이 증가되고 있다. 이에 따라 다양한 고전압 전력설비의 운용방식의 변화와 더불어 예기치 못한 이상사고에 대한 진단방법에 많은 관심을 보이고 있다[1,2].

특히 송·배전계통 등에서 발생하는 코로나방전은 절연체로서 사용되고 있는 기체, 액체 및 고체절연체에 대한 절연방식과 고압도체 표면상의 미소돌기, 이물질, 보이드, 크랙 등에 의하여 국부적으로 전계가 강화되어 절연파괴의 원인이 되고 있다. 따라서 상기와 같은 이상개소에서 발생하는 절연파괴를 미연에 방지하기 위하여 대부분 절연성능시험으로서 부분방전(partial discharge : PD)측정을 수행하고 있다. PD검출법으로는 부분방전시 발생하는 광, 음파, 기계적·전기적진동, 방사전자파, 전위변동 등의 변화를 이용한 절연진단 검출방법이 제안 연구되고 있다[3-6]. 특히 상기의 절연진단방법중에서 방사전자파를 이용한 진단방법은 타 검출법에 비하여 검출감도가 좋고, 검출범위가 넓으며, 센서 수를 적게 할 수 있을 뿐만아니라, 활선상태에서 절연진단 가능성이 높기 때문에 많은 관심을 가지는 분야이다[7-9].

이에 본 연구는 방사전자파를 이용한 절연진단법을 적용하여 전력설비 내·외의 결합에 의해 발생할 수 있는 부분방전 모의시 발생하는 방사전자파의 발생 주파수 대역분포와 주파수 대역에서의 스펙트럼 변화 형태를 연구하였다. 연구에 사용한 고전압원은 정극성과 부극성직류이며, 전극은 침대평판전극, 평판대평판전극 및 구대평판전극을 이용하였다. 특히 결합모의 연구에 대표적으로 사용되는 상기의 3가지 기본 전극부를 대기중에서 연구하므로써, 차후 전극부 사이에서의 고체절연체의 존재유무, 절연성기체(가스) 및 절연성액체(냉매)를 사용하는 전력설비에서 절연진단시 얻은 데이터와 비교할 수 있는 기초 정보로서 제공 될 수 있을 것으로 생각된다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 전극부

본 연구에 사용한 실험장비 및 배치도를 그림 1에 나타냈다. 정극성과 부극성직류 전원(그림 1의 ①)은 교류 고전압발생장치(slide regulator type:MATSUNAGA MFG. Co. Ltd. 1차측 입력전압 220 [V] 50/60 [Hz], 2차측 출력전압 60 [kV]) 출력측에 교류를 직류로 변환시킬 수 있는 silicon rectifier and insulation base(TOKYO Transforme Co. Ltd.)와 capacitor(MARCON Electronics Co. Ltd., type 100A-01SF) 및 Resistor로 구성된 직류변환장치를 이용하여 정·부극성직류 전압을 발생시켜 사용하였다.

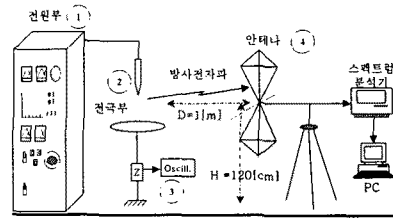


그림 1 실험장치도

본연구에 이용한 전극부(그림 1의 ②)의 상세한 구성은 그림 2에 나타냈다. 연구에 사용한 전극은 침대평판전극(N-P전극이라 칭함), 평판대평판전극(P-P전극이라 칭함) 및 구대평판전극(S-P전극이라 칭함)을 사용하였다.

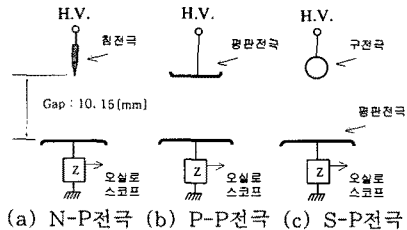


그림 2 전극부의 구성

전극간 간극(gap)은 10[mm]와 15[mm]에서 연구하였다. 전극부에서 대지와 접지된 접지전극인 하부 평판전극은 모두 직경 50[mm], 재질은 스테인레스스틸이며, 로고스키타입으로 제작된 동일한 전극을 사용하였다. 그림 2 (a)의 침대평판전극부에서 전압인가측 침전극은 직경 2.1[mm], 곡률반경 0.56[mm]로 침전극 몸통에서부터 침선단으로 갈수록 가늘어지는 형태의 시판용 전침을 사용하였다. 그림 2 (b)의 평판대평판전극에서 하부 평판전극은 상기에 언급하였지만, 상부 평판

전극은 하부의 평판전극보다 직경이 20[mm] 작은 직경 30[mm]인 스테인레스스틸 전극을 이용하였다. 그림 2 (c)의 구대평판전극부에서 구전극은 직경 20[mm]인 원전 구를 사용하였으며, 재질은 스테인레스 스틸로 제작하였다.

### 2.2 방사전자파의 측정 방법

방사전자파 측정 및 측정장치는(그림 1의 ④) 바이코 니칼 안테나 (EMCO 3110, 주파수 범위 : 30~300 [MHz])와 스펙트럼 분석기(Advantest, 주파수 범위 : 10 [kHz]~3.5[GHz])를 사용하였으며, 스펙트럼분석기 측정 모드설정은 resolution bandwidth와 video bandwidth를 각각 1[MHz], input attenuator는 10 [dB], sweep time은 0.5 [sec]로 두고 5회 이상 측정하였다.

실험에 사용한 안테나는 전극부와 이격거리(D) 1[m], 높이(H) 120 [cm]로 전극부와 동일한 높이로 설치하여 고정시켰다. 전극부와 안테나배치는 수직상태를 기본으로 하였다. 이것은 방전시 발생하는 경우 전극부가 송신안테나의 역할로서 전자파를 방사한다고 보았을 때 수신 안테나와 동일한 편파특성을 가지도록 하기 위함이다. 본 연구에서 선택한 측정 주파수대역은 30~230 [MHz]를 선정하였다. 이 주파수대역은 스펙트럼 분석기에 설정할 수 있는 바이코니칼 안테나의 주파수 범위내에 해당되며, 또한 국내 전자파해규정(KS C 0262-1992 : 전기·전자기기의 전자파 장애)이 정하고 있는 일부 주파수대역(30~300 [MHz])을 적용하였다[10].

방전개시전압(Vc:corona onset voltage) 및 절연파괴전압(Vb:breakdown voltage)측정은 고전압프로브(분압비 2000:1, 일본Pulse electronic engineering Co.Ltd. EP50K)와 디지털오실로스코프(미국 LeCroy 9350AL, 500[MHz], 그림 1의 ③)를 사용하였다. 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역을 구분하기 위한 부분방전펄스 측정은 전극부의 종류에 따라 발생하는 정극성, 부극성펄스는 접지측 전극과 대지사이에서 무유도저항(50[Ω])을 연결하여 저항단자에서 발생하는 전압파형을 전류파형으로 이용하여 선정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에 앞서 실험실내에서 측정된 주변환경잡음을 그림 3에 나타냈다. 주변환경잡음 측정은 주파수대역 30~230 [MHz], 입력감쇠비 10 [dB], 안테나와 전극부의 거리를 1 [m]로 두고 안테나와 전극부를 각각 수직으로 동일하게 배치한 상태에서 측정한 것이다.

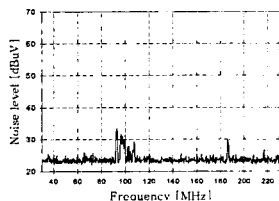


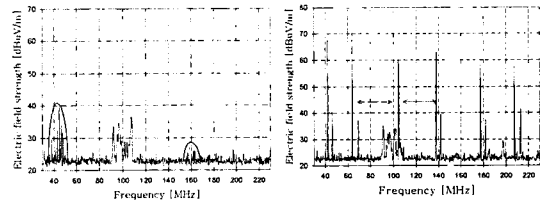
그림 3 주변환경잡음

본 실험실 환경에서의 주변환경잡음은 주파수 90~110[MHz]에서 약 28~33[dB], 185[MHz]에서 약 30[dB]정도의 잡음강도를 나타내고 있다. 이 환경잡음은 방송파·무선파 및 실험실내 전기·전자장비에서 방사되는 것으로 생각되며, 주·야간 또는 주변환경 조건에 따라 조금씩 다르지만 일반적으로 그림 3과 비슷한 주파수 분포패턴을 보였다. 이 주변환경잡음의 크기와 발생주파수대역은 방전시 발생하는 방사전자파의 스펙트럼 분포와의 비교 기준이 된다. 방사전자파의 측정은 그

림2의 각 전극부의 간극을 10[mm]와 15[mm]의 두 조건에서 측정한 것이다. 간극의 차이에 따라 방전개시 전압과 절연파괴전압영역은 차이를 보였지만, 각 간극 조건에서 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포는 큰 변화를 보이지 않았다. 그래서 본고에서는 간극 15[mm]일 때의 간극조건에서 측정된 스펙트럼을 나타냈다.

### 3.1 침대평판전극부에서의 주파수 스펙트럼 분포

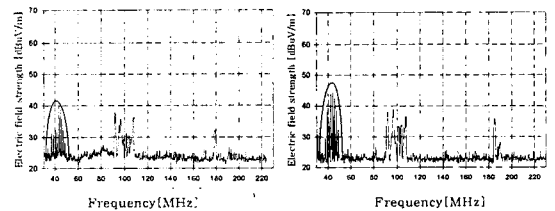
그림 4는 그림 2 (a)의 침대평판전극부에 정극성직류 전압인가시 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다. 침대평판전극부에 정극성직류 전압인가시 방전개시전압영역인 그림 4 (a)에서 방사전자파는 주파수 45[MHz]에서 약 40[dB]정도의 전계강도를 가진 스펙트럼분포를 나타내고 있다. 또한 주파수 160[MHz]대역에서 약 28[dB]정도를 전계강도를 보이고 있다. 인가전압을 상승시켜 절연파괴전압영역에 도달하면 (b)와 같이 간헐적인 아크성펄스상태의 스펙트럼분포를 보이며 측정주파수대역 전반에 걸쳐 간헐적으로 나타나고 있다.



(a) Vc=8[kV] (b) Vb=18[kV]

그림 4 (+)DC인가시 N-P전극에서 스펙트럼분포

그림 5는 그림 2 (a)의 침대평판전극부에 부극성직류 전압인가시, 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다. 침대평판전극부에 부극성직류 전압인가시 방전개시전압영역인 그림 5 (a)에서 방사전자파 스펙트럼은 정극성 직류인가시와 같이 주파수 45[MHz]대역에서 높은 전계강도를 나타내고 있다. 또한 인가전압의 상승과 함께 절연파괴전압영역인 그림 5 (b)와 같이 주파수 45[MHz]대역에서 방전개시전압영역보다 전계강도만 높을뿐 동일한 주파수대역에서 나타나고 있다.



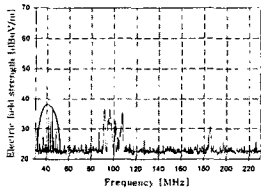
(a) Vc=10[kV] (b) Vb=24[kV]

그림 5 (-)DC인가시 N-P전극에서 스펙트럼분포

### 3.2 평판대평판전극부에서의 주파수 스펙트럼 분포

그림 6은 그림 2 (b)의 평판대평판전극부에 정극성직류 전압인가시, 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다.

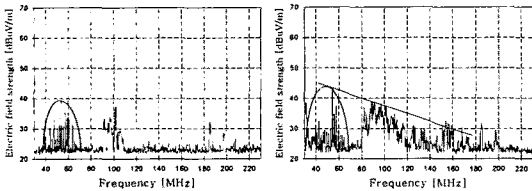
평판대평판전극부에 정극성 직류전압 인가에 따른 방사전자파의 스펙트럼분포는 방전개시전압과 절연파괴전압영역일 때 비슷한 분포를 보이고 있어서 본고에서는 절연파괴전압영역일 때의 분포만 나타냈다. 평판대평판전극부에서는 주파수 45[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이고 있으며, 인가전압의 상승과 함께 전계강도만 높아질 뿐 동일한 주파수대역에서만 분포하고 있다.



(a)  $V_b = 21[kV]$

그림 6 (+)DC인가시 P-P전극에서의 스펙트럼분포

그림 7은 그림 2 (b)의 평판대평판전극부에 부극성 직류 전압인가시, 방전개시전압영역과 절연과피전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다.



(a)  $V_c = 22[kV]$

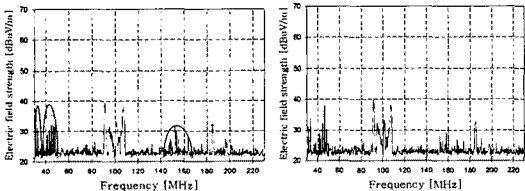
(b)  $V_b = 26[kV]$

그림 7 (-)DC인가시 P-P전극에서의 스펙트럼분포

평판대평판전극부에 부극성 직류전압인가에 따른 방사 전자파의 스펙트럼분포는 방전개시전압영역일 때는(그림 7 (a)) 주파수 55[MHz]에서 높은 전계강도를 보이며, 주파수대역폭은 주파수 55[MHz]를 기준으로  $\pm 5$ [MHz]의 대역폭으로 넓은 분포특성을 보였다. 절연과피전압영역인 그림 7 (b)의 경우에는 방전개시전압영역일 때와 동일한 주파수대역에서 높은전계강도를 나타냄과 동시에 상부평판전극의 전면에 걸쳐 불규칙적인 방전 발생 원인에 기인하여 고주파대역에서도 연속적인 스펙트럼 분포를 보이고 있다.

### 3.3 구대평판전극부에서의 주파수 스펙트럼 분포

그림 8은 그림 2 (c)의 구판대평판전극부에 정극성 직류 전압인가시, 방전개시전압영역과 절연과피전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다.



(a)  $V_c = 22[kV]$

(b)  $V_b = 28[kV]$

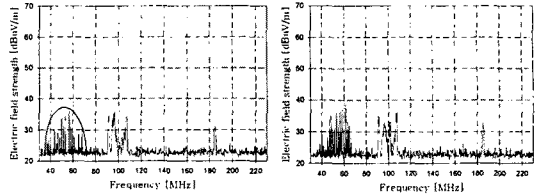
그림 8 (+)DC인가시 S-P전극에서 스펙트럼분포

정극성직류인가에 따른 구대평판전극부에서의 방사 전자파의 스펙트럼분포는 방전개시전압영역일 때는 주파수 50[MHz]이하대역에서 두 영역으로 발생하고 있으며, 특히 주파수 45[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이고 있다. 또한 고주파대역인 주파수 150~160[MHz] 대역에서도 주변환경잡음보다 높은 전계강도를 보이는 스펙트럼이 나타났다.

인가전압의 상승과 함께 절연과피전압영역에 도달할 경우 방사전자파의 스펙트럼 분포는 방전개시전압영역일 때의 주파수 대역과 동일한 대역에서 나타나고 있으며

전계강도세기는 큰 변화를 보이고 있지 않고 있다.

그림 9는 그림 2 (c)의 구판대평판전극부에 부극성 직류 전압인가시, 방전개시전압영역과 절연과피전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다.



(a)  $V_c = 20[kV]$

(b)  $V_b = 28[kV]$

그림 9 (-)DC인가시 S-P전극에서 스펙트럼분포

부극성직류인가시 구대평판전극부에서 발생하는 방사 전자파의 스펙트럼분포는 주파수 60[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이고 있다. 이것은 평판대평판전극부에 부극성직류전압인가시와 거의 유사하게 나타나고 있으며, 스펙트럼 발생대역은 35~70[MHz]으로 약 35[MHz]의 넓은 대역폭을 보이고 있다.

## 4. 결 과

3종류의 전극부(침대평판, 평판대평판 및 구대평판전극)에 정극성 및 부극성 직류전압 인가시 발생하는 방사 전자파의 주파수대역과 스펙트럼 분포특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 보면, 정극성 직류인가시에는 주파수 50[MHz]이하 대역에서 나타나고 있으며, 주파수 45[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이고 있다.
- (2) 부극성직류인가시에는 평판대평판과 구대평판전극부에서는 주파수 70[MHz]이하 대역에서 분포하고 있으며, 주파수 55[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이고 있다.
- (3) 주파수 스펙트럼 발생대역폭은 부극성직류인가시 약 35[MHz]로 정극성직류에 비하여 약 20[MHz]이상 넓은 대역폭을 가졌다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 김기재, "전기 전자기기의 EMI/EMC 문제", 조명·전기설비학회지, pp.78-85, Vol.15, No.1, 2001. 2
- [2] 이동일 외 2 "전력설비의 전기환경장해와 대책기술 개발" 대한전기학회 전기저널 8, No.272, pp.14-19, 1999.
- [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] 竹下信也 "電力設備の非接触計測・診断技術" J. IEE. Japan, Vol.112-3, pp 143-146, 1992.
- [5] 電気書院 "設備診断テクニック" 電気書院, 昭和60.
- [6] F. H. Kreuger etc, "Classification of Partial discharges", IEEE Trans. EI., Vol. 28, No.6, pp.917-931, 1993. 12.
- [7] Katsuo Okumura, "Investigation of VHF-noise caused by dc corona discharge in needle to plane air gap", T.IEE Japan, Vol.111-A, No.2, pp.89-96, 1991.
- [8] Takashi Kimura etc, "Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna", T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.
- [9] 이상훈, 김충년의 4, "기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석", 대한전기학회 하계논문집, pp.2028-2030, '99.
- [10] 한국공업표준협회, "전기·전자기기의 전자파 장해 - KS C 0262", 1992