

## 대기중과 절연체 갭에서 방사되는 방사전자파의 전파특성

(The Propagation Characteristics of Electromagnetic Wave Radiated at Gap in Air and Insulator)

김충년<sup>\*</sup> · 이현동<sup>\*</sup> · 박광서<sup>1</sup> · 박원주<sup>\*\*</sup> · 이광식<sup>\*</sup> · 이동인<sup>\*\*</sup>

(C. N. Kim · H. D. Lee · K. S. Park · W. Z. Park · K. S. Lee · D. I. Lee)

### 요 약

본 연구에서는 대기중 두가지 형태의 전극부에서 부분방전(partial discharge · PD)시 방사되는 VHF(30~230 [MHz])대역의 방사전자파를 측정하고, 그 스펙트럼의 특이한 패턴을 나타냈다. 또한 PD에 의해 방사되는 방사전자파에 대한 거리 및 편파특성에 관하여 연구하였다.

에폭시절연체를 삽입한 경우, 방사전자파의 잡음레벨은 90 [MHz] 대역 이하에서 대기중에 비하여 0.6~6.2 [dB] 높게 나타났다. 방사전자파의 스펙트럼 분포는 안테나 엘리먼트 배치에 따라 전주파수 영역에서 차이를 나타내고 있다.

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

### 1. 서 론

생활수준 향상과 더불어 전력 사용량의 증가로 생활주변에 전력설비가 늘어남에 따라, 전기환경에 대한 관심이 점점 증가되고 있다. 우리나라도 송전전압을 345 [kV]에서 765 [kV]로 격상하는 사업이 시작되면서 전기환경에 대한 검토가 시작되었으며, 500

[kV] 이상에서 나타나는 현상으로 우려되는 코로나에 의한 전기환경장해가 주목받고 있다[1,2,3].

송·배전계통 등에서 발생하는 코로나방전의 원인은 절연체로서 사용되고 있는 기체, 액체 및 고체절연체에 대한 절연방식과 교압도체 표면상의 미소돌기, 이물질, 보이드, 크랙 등에 의하여 국부적으로 전계가 강화되어 절연파괴가 일어나게 된다. 이때 발생하는 필스성코로나방전은 시간적, 공간적으로 급격한 변화와 더불어 높은 주파수성분을 가진 전자파를 방사시킨다

이와 같은 방사전자파는 코로나잡음의 일종이며,

\* 정회원 · 영남대학교 대학원 전기공학과 박사과정

\*\* 정회원 · 영남대학교 전자정보공학부 교수, 공학박사

접수일자 : 2000년 1월 3일

RFI(radio frequency interfmce), TVI(television interference) 혹은 EMI(electromagnetic interference) 등의 장애 원인이 됨에 따라 전기·전자 시스템에서의 전자파장애의 방지, 억제에 관한 연구가 필요하게 된다. 특히 최근에는 활선상태의 절연진단기술에 비 접촉센서를 이용한 방사전자파법이 활발히 연구되고 있다[4,5,6].

따라서 전기·전자설비에서 발생할 수 있는 절연 파괴를 미연에 방지하기 위하여 대부분 전력설비에서 절연성능시험으로서 부분방전(partial discharge : PD) 측정을 수행하고 있다. PD 검출방법으로는 부분방전시 발생하는 광, 음파, 기계적·전기적 진동, 전파, 전위변동 등의 변화를 이용한 검출방식이 제안 연구되고 있다. 그중 앞에서 기술한 방사전자파법(안테나법)은 타 검출법에 비해 검출감도가 높고, 검출 범위가 넓으며, 센서의 수를 적게할 수 있어 경제적이라는 등의 잇점 때문에 주목을 받고 있다[7,8,9,10].

본 연구는 전력설비내에서 발생할 수 있는 부분방전을 모의하기 위하여 (1) 불평등전계가 강한 침대평판전극(코로나방전)과 (2) 침대평판전극 사이에 에폭시 절연체를 직렬로 배치한 전극(코로나방전 + 연면방전)을 이용하여 절연파괴를 모의하였다. 이때 양 전극부에서 부분방전시 발생하는 방사전자파의 전파 특성을 연구하기 위하여, 전극부에서 발생하는 방전 진전에 따른 물리적 메카니즘보다는 인가전압의 변화와 전극부에서의 절연체 유무에 따른 주파수영역에서의 스펙트럼의 분포가 어떠한 변화와 현상을 나타내는가에 주목하였다.

또한 인가전압 및 절연체 유무에 따른 방전원파 안테나사이의 거리 변화 및 안테나 엘리먼트의 배치에 따른 편파특성(polarization characteristic)에 관하여 연구하므로써 주파수영역에서의 방사전자파의 스펙트럼 분포 변화를 통한 절연진단 자료로서 제공하고자 한다.

## 2. 실험 방법

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

가전압에 따른 방전개시전압, 방전소멸전압 및 방전 전하량과 방전펄스를 정·부위상에서 관측할 수 시스템이다.

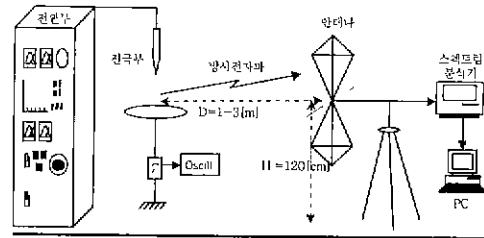


그림 1. 실험장치도  
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

방사전자파 측정은 바이코니칼 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 0 [dB]와 10 [dB], sweep time은 0.5 [sec]로 두고 maxhold로 5회 소인하여 측정하였다. 실험에 사용한 안테나의 높이(H)는 지상에서 120 [cm]로 고정시켰다.

그림 2는 실험에 사용한 바이코니칼 안테나의 안테나 팩터(factor [dB])와 이득(gain [dBi])을 나타냈다.

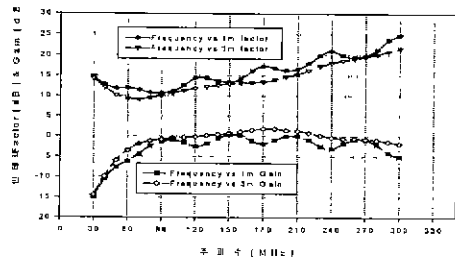


그림 2. 바이코니칼 안테나 팩터와 이득  
Fig. 2. The factor and gain of biconical antenna

안테나의 tip-to-tip length는 132.1 [cm]이다. 안테나 팩터는 거리 1[m]에서는 10.8~24.8 [dB], 3 [m]에서는 9.1~21.6 [dB]의 범위를 가지고 있지만, 본 연구에서는 스펙트럼 분석기에서 직접 전계강도

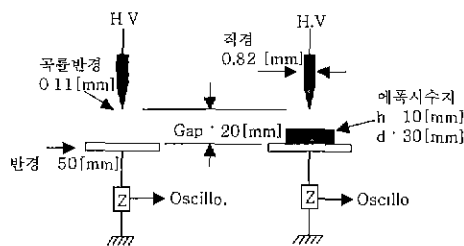
대기중과 절연체 갭에서 방사되는 방사전자파의 전파특성

([dBuV/m])를 측정하였다. 안테나의 이득은 거리 1 [m]에서는  $-15.0 \sim -0.3$  [dBi], 3 [m]에서는  $-14.5 \sim -1.8$  [dBi] 범위의 이득특성을 가지고 있다.

전극부와 안테나 배치는 수직상태를 기본으로 하였다. 이것은 방전시 발생하는 경우 전극부가 송신안테나의 역할로서 전자파를 방사한다고 보았을 때 수신 안테나와 동일한 편파특성을 가지도록 하기 위함이다. 본 연구에서는 방전원에서 방사되는 전자파는 수직편파로 방사된다는 가정하에 편파특성을 연구하였다.

연구에 사용한 전극형상을 그림 3에 나타내었다. 먼저 (1) 침대평판전극(그림 3(a))과 전극부에 에폭시 절연체를 직렬 배치한 (2) 절연체배치전극(그림 3(b))의 두가지 전극 형태를 사용하였다. 시료로 사용한 에폭시 절연체는 전기·전자분야의 절연재료로 많이 이용되는 고온경화용 주형수지로서 비스페놀-A형 (bisphenol-A type)이며, 경화제 (산무수물 계통의 MeTHPA)를 사용하여 주제와 배합비율이 100 : 30~35 %로 제작하였다. 시료 형상은 높이 10 [mm], 직경 30 [mm]인 원통형으로 제작하였다.

전극간의 갭은 실험에 사용한 전극부 모두 20 [mm]로 동일하게 설정하였으며, 그림 3(b)의 전극갭은 절연체의 높이 10 [mm], 대기갭 10 [mm]로 하여 전체 갭이 20 [mm]가 되도록하였다. 침전극은 곡률반경 0.11 [mm], 직경 0.84 [mm]이며, 평판전극은 직경 50 [mm]인 스테인레스 스틸로 로고스키형을 사용하였다.



(a) 침대평판전극 (절연체 無) (b) 절연체배치전극 (절연체 有)

그림 3. 전극부의 구성  
Fig. 3. Configuration of electrodes.

전극부에 배치한 에폭시 절연체의 크기가 접지전극의 크기에 비해 작게 한 것은 절연체가 갭사이

존재하는 이물질로서의 역할을 하도록 하기 위함이다. 또한 동일 측정 파라미터에서 비슷한 방전현상을 가지도록 함으로서 특정전압 또는 거리 등에 따른 주파수영역에 있어서의 변화 특성 차이를 연구하기 위해서이다.

본 연구에서 선택한 측정 주파수대역은 30~230 [MHz]를 선정하였다. 이 주파수대역은 스펙트럼 분석기에 설정할 수 있는 마이크로칼 안테나의 주파수 범위내에 해당되며, 또한 국내 전자파장애규정(KS C 0262-1992 : 전기·전자기기의 전자파 장애)이 정하고 있는 일부 주파수대역(30~300 [MHz]) 및 거리를 적용하였다[11].

### 3. 실험결과 및 고찰

본 연구에 앞서 실험실내에서 측정된 주변환경잡음을 그림 4에 나타냈다. 주변환경잡음 측정은 주파수대역 30~230 [MHz], 입력감쇠비를 0 [dB]와 10 [dB], 안테나와 전극부의 거리를 1 [m]로 두고 안테나와 전극부를 각각 수직으로 동일하게 배치한 상태에서 측정한 것이다.

입력감쇠비를 0 [dB]로 설정하는 이유는 낮은 전압에서 부분방전시 발생하는 방사전자파가 주변잡음에 묻혀 파악되지 않는 경우가 많으므로 낮은 전압에서 주파수 분포특성을 살펴보기 위해서 설정하였지만, 기본적으로 안테나 접속케이블과 스펙트럼분석기 사이에 최저 10[dB]의 감쇠기를 넣어 사용하였다.

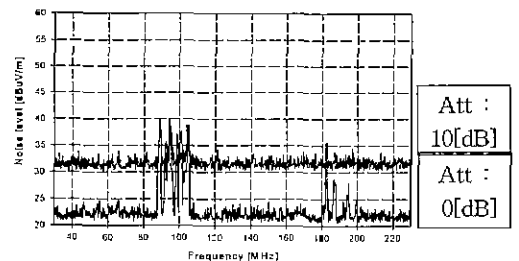


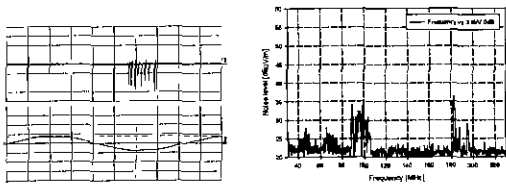
그림 4. 주변환경잡음  
Fig. 4. Background noise ( BGN )

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

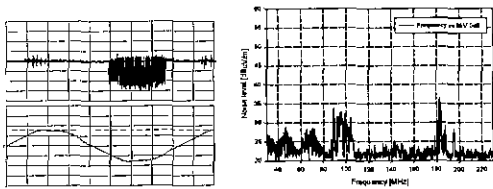
주·야 또는 주변의 환경에 따라 조금씩 다르지만 그림 4와 비슷한 주파수별 분포 패턴을 보이고 있다.

### 3.1 인가전압과 주파수 스펙트럼 분포

그림 5는 그림 3 (a)의 침대평판전극부, 그림 6은 그림 3 (b)의 침대평판전극에 예폭시 절연체를 직렬 배치한 절연체배치 전극부를 사용하여, 인가전압 3.9 [kV]와 8 [kV]일 때 거리 1 [m], 입력압축비 0 [dB]에서 측정된 부분방전펄스와 방사전자파의 스펙트럼 분포를 나타낸 것이다.



(2ms, 100mV/2ms, 0.5kV)  
(a) 3.9 [kV]



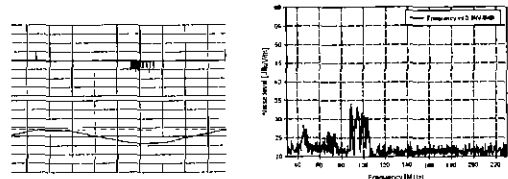
(2ms, 100mV/2ms, 0.5kV)  
(b) 8 [kV]

그림 5. 부분방전펄스와 방사전자파  
(그림 3(a) 전극)

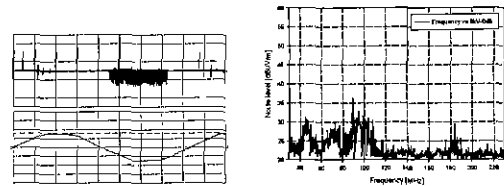
Fig. 5. PD pulse and Electromagnetic wave  
(electrode of fig. 3 (a))

부분방전펄스 측정은 평판전극과 대지사이에 무유 도저항(50[Ω])을 삽입하여 양단에 걸리는 전압을 오실로스코프(LeCroy 9350AL)이 사용하여 인가전압의 한 주기를 기준으로 정·부영역에서 측정하였으며 동시에 방사전자파를 측정하였다. 실제 전력시스템 운용시 내부 이상에 의해 발생하는 이상징후 현상인 부분방전은 간헐적 또는 연속적으로 발생하므로 단발 펄스가 아닌 연속펄스 열로 관측하는 것이 바람직하다고 사료된다.

그림 5와 그림 6에서 인가전압 약 8 [kV]에 이를 때까지는 비록 부분방전이 발생되고 있다라도 전체 주파수대역에 영향을 줄 수 있는 전계강도를 가지지 못하지만 80 [MHz] 이하 주파수 대역에서 주변환경



(2ms, 200mV/2ms, 0.5kV)  
(a) 3.9 [kV]



(2ms, 200mV/2ms, 0.5kV)  
(b) 8 [kV]

그림 6. 부분방전펄스와 방사전자파  
(그림 3(b) 전극)

Fig. 6. PD pulse and Electromagnetic wave  
(electrode of fig. 3 (b))

잡음에 비해 낮지만 부분방전이 개시되고 있음을 볼 수 있다. 그림 6 (a)의 경우는 그림 5 (a)의 동일전압 일 때의 방전펄스와 비교하면 방전전류펄스는 코로나 방전을 모의한 전극시스템에서의 인가전압에 따른 방전펄스의 형태를 가지고 있지만 전형적인 연면방전 형태와 유사한 정펄스 특성을 가지고 있다. 또한 인가전압의 증가에 따라 정의 반주기 동안 방전이 빠른 위상각 영역으로 전이되는 경향을 나타낸다.

그림 5와 그림 6의 인가전압에 따른 방사전자파의 세기 변화를 주파수 별로 표 1에 나타냈다.

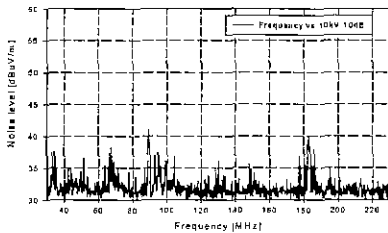
표 1. 그림 5와 그림 6에서의 방사전자파의 세기  
Table 1. The strength of electromagnetic wave at fig.5 and fig.6

| 주파수<br><[MHz]> | 그림 5 ([dB]) |       | 그림 6 ([dB]) |       |
|----------------|-------------|-------|-------------|-------|
|                | 3.9[kV]     | 8[kV] | 3.9[kV]     | 8[kV] |
| 31             | -           | 26.8  | -           | 26    |
| 45~46          | 27.8        | 28.8  | 28.4        | 31.2  |
| 65~70          | 28          | 28.6  | -           | -     |
| 73~76          | -           | -     | 26.2        | 29    |

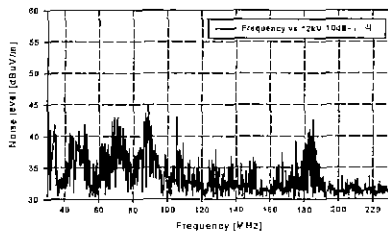
※ " - " : 방사전자파가 발생하지 않음.  
주변환경잡음과 동일함을 의미함.

대기중과 절연체 갭에서 방사되는 방사전자파의 진폭특성

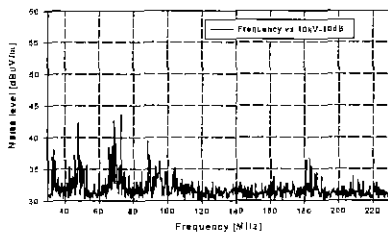
표 1에서 부분방전에 의해 방사되는 방사전자파의 세기는 주변환경잡음(그림 4에서 입력감쇠비를 10 [dB]로 두고 측정시 주변잡음은 약 30.0~32.0 [dB]의



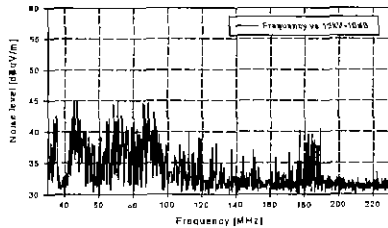
(a) 침대평판전극, 10 [kV]



(b) 침대평판전극, 12 [kV]



(c) 절연체배치전극, 10 [kV]



(d) 절연체배치전극, 12 [kV]

그림 7. 인가전압대 방사전자파  
Fig. 7. Applied voltage vs Electromagnetic wave

세기로 분포)에 비해 낮게 나타나고 있다. 그러나 인가전압의 상승과 함께 예폭시 절연체배치전극에서의 방전은 코로나방전에 기인한 절연체 표면에서의 연면방전의 영향으로 인하여 그림 3 (a)의 침대평판전극의 코로나방전시 발생하는 방사전자파의 전계강도보다 약 1~2 [dB] 높게 나타나고 있다. 또한 인가전압의 증가로 방사전자파의 주파수 분포도 침대평판전극의 코로나방전때보다 주파수 범위가 73~76 [MHz]에서 90 [MHz] 대역까지 고주파 영역으로 확대되어 발생하는 것을 알 수 있다.

그림 7은 인가전압 10 [kV]와 12 [kV], 방전원과 안테나간 거리 1 [m], 입력감쇠비 10 [dB]일 때의 대기중과 예폭시 절연체를 직렬배치한 경우 방사전자파의 스펙트럼 분포이다. 그림 7에 나타난 것과 같이 부분방전 형태와 방전펄스의 영향에 기인하여 방사전자파의 발생 주파수 영역 및 전계강도가 변화를 보이고 있다. 방사전자파의 주파수 특성에 미치는 펄스의 관점에서 보면 펄스폭의 면적은 저주파대에 영향을 미치며, 펄스의 급격함과 발생 펄스 수는 고주파 영역에 영향을 미친다[12]. 이것으로부터 부분방전시 발생하는 다양한 크기의 방전펄스와 펄스 수가 측정 주파수 대역에서의 스펙트럼분포에 영향을 준다고 볼 수 있다.

측정주파수 대역에서 주파수 스펙트럼의 변화특성을 살펴보면 크게 100 [MHz]이하 대역(저주파대역)과 100 [MHz]이상 대역(고주파대역)의 2영역으로 나눌 수 있다.

인가전압 10 [kV]일 때 그림 (a)의 코로나방전의 경우 34, 51, 67, 130, 148 [MHz] 영역에서 35.6~38.2 [dB]의 전계강도를 나타내지만, (c)의 코로나방전후 연면방전이 발생하는 경우는 38~43.6 [dB]의 세기로 높게 나타남을 알 수 있다. 인가전압 12 [kV]를 인가한 경우(그림 7 (b), (d)), 침대평판전극의 침전극에서 발생하는 코로나방전에 의한 공간전하의 증식 변화가 저주파대역의 스펙트럼 레벨을 전반적으로 상승시키며 고주파 대역으로 확대되어 측정 주파수 대역 전체에 걸쳐 양자가 비슷한 스펙트럼의 분포를 나타내고 있는 것으로 볼 때 안정적으로 방전을 유지하며 진전되고 있는 것으로 판단된다.

그림 (b), (d)의 경우 130, 150 [MHz]에서 36.2~38.0 [dB]로 주변환경잡음보다 큰 변화를 나타내고 있는데, 낮은 전압에서는 공간전하의 진전변화가 큰

침대평판전극쪽에 의한 영향이 크지만, 인가전압이 높아짐에 따라 에폭시 절연체배치전극의 코로나방전 후 연면방전 형식과 침대평판전극의 코로나방전 형식이 서로 비슷함에 따라 주파수 대역에서 보면 양자의 주파수 분포 패턴은 비슷한 경향을 보이는 것이라 생각된다. 즉 인가전압의 상승과 함께 전극부 사이에 존재하는 절연체의 영향을 그다지 받지 않는 것으로 생각되지만, 반면 절연체가 본 연구에 사용한 크기보다 크거나 혹은 평판전극보다 큰 경우에는 절연체의 영향은 현저한 주파수 스펙트럼 분포 차이를 보일 것으로 생각된다.

### 3.2 방사전자파의 거리특성

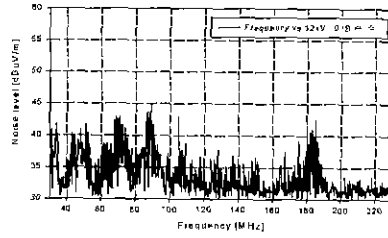
그림 8은 인가전압 12 [kV]에서 침대평판전극과 절연체배치 전극에 부분방전 모의하여 방사전자파를 거리 1, 3 [m]에서 안테나를 수직으로 배치하여 측정 한 방사전자파의 스펙트럼분포를 나타낸 것이다.

전압을 12 [kV]에서만 측정 한 이유는 본 연구에서 측정된 주파수 스펙트럼이 양 전극부에 있어서 서로 안정적이며 비슷한 전계강도 분포를 가지기 때문에 선택하였다. 그림에서 양자의 주파수 스펙트럼 변화 모양이 매우 유사한 것을 알 수 있다. 이것은 사용한 전극부에서 발생하는 부분방전 진전과정이 거의 동일한 형식으로 진전한다는 것을 알 수 있다.

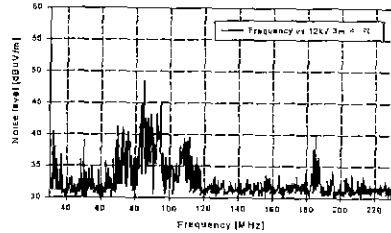
그림 (a), (c)는 거리 1 [m]에서 측정된 주파수 스펙트럼 분포이다. 인가전압을 증가시킬수록 코로나방전과 코로나방전후 연면방전이 서로 비슷한 방전현상으로 진전하기 때문에 측정 주파수 대역 전체에 걸쳐 비슷한 레벨의 분포를 보이고 있다.

거리 3 [m]인 경우는 1 [m]에서 측정된 스펙트럼 분포와 달리 주파수 84~95 [MHz] 대역에서 44.6~48.4 [dB] 정도의 전계강도를 가지며 특정 주파수대를 중심으로 나타나는 특성을 가지고 있다. 거리 변화에 따라 측정된 주파수 스펙트럼의 분포변화가 현저하게 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 전극부에서 방사되는 방사전자파의 파장변화와 편파특성의 영향에 기인한다.

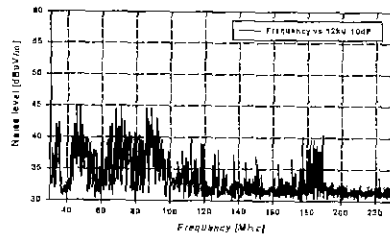
거리변화에 따라 수신되는 방사전자파의 거리에 따른 패턴변화는 전극부와 전원선 전체가 하나의 안테나가 되어 다양한 파장을 가지는 전자파가 직접 또는 대지면이나 벽등을 통한 간접파의 영향을 근거리에서는 전체 주파수 영역에 영향을 끼치는 것으로



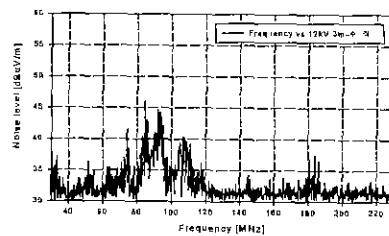
(a) 침대평판전극, 1 [m]



(b) 침대평판전극, 3 [m]



(c) 절연체배치전극, 1 [m]



(d) 절연체배치전극, 3 [m]

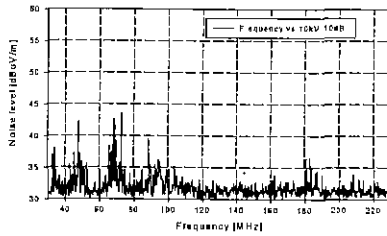
그림 8. 거리특성 (12 [kV])

Fig. 8. Distance characteristic (12 [kV])

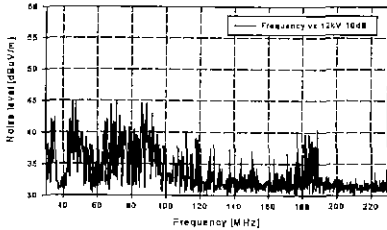
판단되지만, 거리가 멀어짐에 따라 수신안테나의 수신주파수와 방전원에서 전파되는 파장의 영향으로 인하여 어떤 일정한 주파수 대역(본 연구에서는 90[MHz] 대역을 기준으로  $\pm 5$ [MHz] 대역)을 접하는 것으로 판단된다.

### 3.3 방사전자파의 편파특성

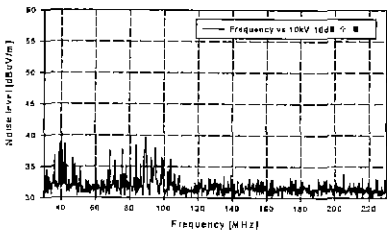
그림 9는 절연체배치전극(그림 3(b))시 전극부와 안테나간 거리를 1 [m]로 두고, 인가전압 10 [kV]와 12 [kV]에서 안테나의 엘리먼트를 수직과 수평으로 회전시켰을 때의 방사전자파의 편파특성을 측정하는 것이다. 이때 방전원인 전극부는 수직 배치하였다.



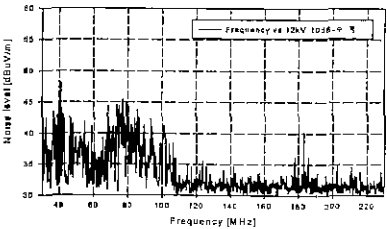
(a) 안테나 수직, 10 [kV]



(b) 안테나 수직, 12 [kV]



(c) 안테나 수평, 10 [kV]



(d) 안테나 수평, 12 [kV]

그림 9. 편파특성(그림 3(b) 전극)  
Fig. 9. Polarization characteristics  
(electrode of fig. 3(b))

본 연구에서는 방전원인 전극부와 안테나를 수직으로 기본 배치함으로써 방전부에서의 방사 편파특성과 안테나의 수신편파 특성이 동일한 수직편파특성을 가진다는 가정하에 두었다.

안테나를 수직배치한 그림 (a), (b)는 인가전압의 상승과 함께 부분방전이 불안정영역에서 안정영역으로 전전함에 따라 100 [MHz] 이하에서는 인가전압이 10 [kV]인 경우 38~43.6 [dB], 인가전압이 12 [kV]인 경우 42.4~45.0 [dB]로 전계강도가 상승하는 특성을 보이며, 110~150 [MHz]의 고주파영역으로 확대되어 분포되는 특성을 보이고 있다.

안테나를 수평배치한 그림(b), (d)는 안테나를 수직배치한 것과 달리 인가전압의 상승과 함께 100 [MHz] 이하의 경우 10 [kV]에서는 36.2~42.8 [dB], 12 [kV]에서 45.4~48.2 [dB]로 높아지지만 100 [MHz] 이상의 대역에서는 주변환경잡음과 동일한 크기의 전계강도만 나타낼뿐 특이한 주파수 변화특성을 보이지 않고 있다.

방전원인 전극부를 수직배치한 상태에서 안테나도 동일하게 수직인 경우에는 같은 편파특성을 가지므로 다양한 파장의 주파수대를 포착할 수 있지만, 안테나가 수평으로 배치한 상태에서는 방전원에서 나오는 파장중 100 [MHz] 이하의 주파수 파장만 안테나에 포착되는 것으로 보아 전극부에서는 방사되는 방사파가 어떤 편파특성을 가지고 있다고 생각된다.

상기의 결과로 판단하건대 방전원의 배치와 안테나 엘리먼트의 배치에 따라 방전원에서 방사되는 전자파의 편파특성 또는 안테나의 수신편파 특성의 차이에 기인하여 주파수 대역에서의 스펙트럼 분포도 차이가 발생함을 알 수 있다.

## 4. 결론

불평등전계를 이용한 대기중 코로나방전과 예폭시 절연체를 전극과 직렬 배치한 형태에 부분방전을 모의하였다. 이때 부분방전시 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 인가전압, 안테나간 거리 변화, 안테나 엘리먼트의 배치에 따른 편파특성을 측정 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 방사전자파의 주파수 분포는 인가전압의 정부위상에서 발생하는 방전펄스의 집합의 영향에 기인하며, 전압상승과 더불어 전체 주파수 영역에 걸쳐

변화하는 것을 알 수 있었다.

(2) 방사전자파 스펙트럼 패턴변화는 인가전압의 상승과 함께 전계강도가 주변환경잡음보다 6~8 [dB] 정도 상승하면서 주파수 110 [MHz] 이상의 고주파 대역으로 확대되어 분포한다.

(3) 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.

(4) 방사전자파의 편파특성은 안테나 엘리먼트의 배치에 크게 의존하는 것을 볼 수 있다. 안테나를 수직배치한 경우는 전체 주파수영역에 영향을 주지만, 수평배치한 경우는 특정한 주파수 (본 연구에서는 100 [MHz]) 대역 이하에서만 나타나고 있음을 알 수 있다.

**감사의 글**

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소(과제번호 99-025) 주관으로 수행되었음.

**참고 문헌**

[1] 이동인 외 2 " 전력설비의 전기환경장해와 대책기술 개발" 대한전기협회 전기저널 8, No.272, pp.14-19, 1999.

[2] Hitoslii Okubo "Recent research activity and future trend of electrical insulation diagnostic technique for electric power apparatus", TJEE Japan, Vol.119-B, No.4, pp.434-437, '1999.

[3] 한국전기연구소, " EMI 기초연구 ", 1987. 12.

[4] Katsuo Okumura, "Investigation of VLF-noise caused by dc corona discharge in needle to plane air gap", TJEE Japan, Vol.111-A, No.2, pp.89-96, 1991.

[5] R.Baumgartner외3, "Partial discharge-Part IX/X"IEEE Elect. Insul. Magazine, Vol.7, No.6 pp.5-27, '91.

[6] Bernhard Keiser, " Principles of electromagnetic compatibility-3rd edition ", Artech house, 1987.

[7] Takashi Kimura외3, "Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna", TJEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.

[8] 이상훈, 김충년외 4, "기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석", 대한전기학회 하계논문집, pp.2028-2030, '99.

[9] 김기재, 이광식, 이동인, " 1안테나법에 의한 미소간극의 방전전류피형 추정", 한국전자파학회논문지, 제9권 제4호, pp.499-504, 1998년 8월.

[10] Ki-Chai Kim, Kwang-Sik Lee and Dong-In Lee,

"Estimation of ESD current waveshapes by radiated electromagnetic fields" IBCE Trans. commun., Vol.E83-B, No.3, pp.608-612, March 2000.

[11] 한국공업표준협회, " 전기·전자기기의 전자파 장애 - KS C 0262 ", 1992.

[12] Bernhard E Keiser " Principles of electromagnetic compatibility - 3rd edition " p.19, 1987.

**◇ 저자 소개 ◇**

**김 충 년 (金忠年)**

1966년 6월 16일 생. 1992년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995~1998년 (주)대우중공업 우주항공연구소 주임연구원. 2000년 현재 영남대 대학원 전기공학과 박사과정.

**이 현 동 (李炫東)**

1970년 6월 13일 생. 1993년 영남대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 박사과정.

**박 광 서 (朴光緒)**

1970년 3월 23일 생. 1997년 영남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 2000년 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

**박 원 주 (朴元柱)**

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(공학박사). 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 당학회 대구·경북지회 연구조사이사, 대한전기학회, 일본전기학회, 일본응용물리학회, 일본 플라즈마핵융합학회 정회원.

**이 광 식 (李廣植)**

1948년 10월 20일 생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(공학박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 현재 한국조명·전기설비학회 부회장. 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수, 산업대학원 원장.

**이 동 인 (李東仁)**

1936년 10월 19일 생. 1959년 서울대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(공학박사). 1982~1983년 미국 South California대 방문교수. 현재 영남대 전자정보공학부 교수.