

안테나를 이용한 VHF대역에서 전극형태에 따른 방사전자파의 전파특성

(The Propagation Characteristics of Electromagnetic Waves in accordance with electrode shapes at VHF Band Using an Antenna)

김충년* · 지승욱 · 이상훈 · 이광식

(Chung-Nyun Kim · Seung-Wook Jee · Sang-Hoon Lee · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문은 공기중 교류전압원을 이용하여 3종류의 전극부(침대평판전극, 평판대평판전극 및 구대평판전극부)에서 방전시 방사되는 방사전자파를 측정하고, 그 스펙트럼의 특이한 패턴을 나타냈다. 방사전자파의 측정은 스펙트럼분석기와 바이코니칼 안테나를 사용하여 VHF(30~230[MHz])대역에서 측정하였다. 방전개시전압영역일 때, 침대평판전극부인 경우에는 주파수 45, 70, 80[MHz] 대역에서, 평판대평판전극과 구대평판전극부인 경우에는 주파수 40[MHz]에서 높은 전계강도를 나타내었다. 그러나 절연파괴전압영역일 때, 방사전자파의 주파수 스펙트럼분포는 전극의 형태에 따라 측정주파수 영역에서 차이를 나타내었다.

Abstract

In this paper, electromagnetic waves radiated from discharge at three-type electrodes(needle-plane, plane-plane and sphere-plane electrode) using AC power source in air are 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. When the discharge onset voltage range, high electric field intensity is shown in frequency band of 45, 70, 80[MHz] in case of needle-plane electrode configuration and 40[MHz] in case of plane-plane and sphere-plane electrodes configuration. However, when the breakdown voltage range, the frequency spectrum distribution of radiated electromagnetic waves appear different in the whole frequency range according to the shapes of electrode.

Key Words : electromagnetic wave, VHF, discharge, antenna

1. 서 론

* 주저자 : (주)인터커넥션 책임연구원, 공학박사
Tel : 053-810-1513, Fax : 053-813-8230
E-mail : kchn0512@hanmail.net
접수일자 : 2002년 4월 26일
1차심사 : 2002년 4월 30일
심사완료 : 2002년 6월 10일

조명·전기설비학회논문지 제16권 제4호, 2002년 7월

우리가 생활하고 활동하고 있는 공간에는 낙뢰와 같은 자연현상으로 발생하는 전자파도 있으며, 방송국이나 개인 휴대용 전화기의 안테나로부터 방사되

안테나를 이용한 VHF대역에서 전극형태에 따른 방사전자파의 전파특성

는 전자파도 있다. 이외에도 전기, 전자, 정보처리 장치에서 비의도적으로 방출되는 불필요한 전자파가 항상 존재하고 있다. 또한 이와 같은 전기, 전자, 정보처리 장치의 증가와 생활수준의 향상으로 인한 전력사용량의 증가로 생활주변에 전력설비가 늘어남에 따라, 전기환경에 대한 관심도가 점점 증가되고 있다 [1,2]. 특히 송·배전계통 및 고전압 전기설비 등에서 발생하는 코로나방전의 원인은 절연체로서 채용되고 있는 기체, 액체 및 고체절연체에 대한 절연방식과 고압도체 표면상의 미소돌기, 이물질, 보이드, 크랙 등에 국부적인 전계강화가 발생되어 최종적으로 절연파괴를 일으킨다. 이때 발생하는 펄스성코로나방전은 시간적, 공간적으로 급격한 변화와 더불어 높은 주파수 성분을 가진 전자파를 방사시킨다. 이와 같은 불요전자파는 코로나잡음의 일종으로 RFI(radio frequency interference), TVI(television interference) 혹은 EMI(electromagnetic interference) 등의 장애 원인이 됨에 따라 전기·전자 시스템에서의 전자파장애의 방지 및 억제에 관한 연구가 필요하게 되었다[3~5].

이에 본 연구는 전력설비내·외의 결합에 의해 발생할 수 있는 부분방전을 검출하는 측정법 중에서 [6~8], 활성상태에서 절연진단 가능성이 높고, 검출 감도가 좋으며, 검출범위가 넓어 많은 관심을 가지는 방사전자파법(안테나법, [9~11])을 이용하여 3가지 형태의 전극부에서 방전시 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 연구하였다. 연구에 사용한 전극은 침대평판전극, 평판대평판전극 및 구대평판전극의 3가지 형태를 이용하였으며, 인가전압은 교류고전압을 사용하였다. 상기의 전극부는 결합을 모의하기 위해 대표적으로 많이 사용되고 있는 전극부의 모델이다. 이 3가지의 기본 전극부에서 발생하는 방사전자파의 주파수 분포 특성을 연구하므로써, 차후 전극부 사이에서의 고체절연체의 존재 유무 및 SF₆가스와 같은 절연성 기체 및 다른 전압원을 사용하여 연구한 자료와 좋은 비교 정보로서 제공될 수 있을 것으로 생각된다.

2. 실험 방법

2.1 실험장치 및 전극부

본 연구에 사용한 고전압 발생장치는 그림 1에서 ① 전원부에 해당되며, 이 전원부는 교류고전압 발생장치이다. 교류고전압은 용량 3[kVA]인 고전압발생장치(일본 Matsunaga Mfg. Co. Ltd.)로서 1차측 입력전압 220[V], 50/60[Hz] 단상이며, 2차측 출력전압은 50[kV]이다.

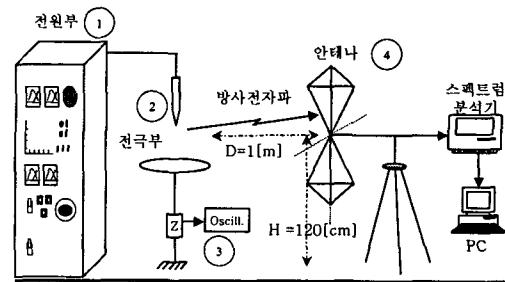


그림 1. 실험장치도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

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

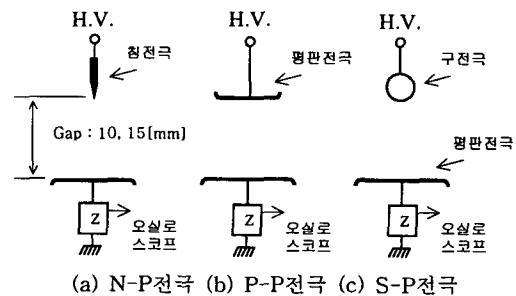


그림 2. 전극부의 구성
Fig. 2. Configuration of electrodes.

본 연구에 사용한 전극부의 전극간 간극(gap)은 10[mm]와 15[mm]에서 연구하였다. 전극부에서 대지와 접지된 접지전극인 하부 평판전극은 모두 직경 50[mm], 재질은 스테인레스 스틸이며, 로고스키타입으로 제작된 동일한 전극을 사용하였다. 그림 2의 (a)의 침대평판전극부에서 전압인가측 침전극은 직경

2.1[mm], 곡률반경 0.56[mm]로 칩전극 몸통에서부터 칩선단으로 갈수록 가늘어지는 형태의 시판용 견침을 사용하였다. 그림 2 (b)의 평판대평판전극에서 하부 평판전극은 상기에 언급하였지만, 상부 평판전극은 하부의 평판전극보다 작은 직경 30[mm], 재질은 스테인레스 스틸로 제작하였다. 그림 2 (c)의 구대평판전극부에서 구전극은 직경 20[mm]인 완전 구를 사용하였으며, 재질은 스테인레스 스틸로 제작하였다.

2.2 방전펄스 및 방사전자파 측정 방법

방전개시전압 및 절연파괴전압측정은 고전압프로브(분압비 2000:1, 일본 Pulse electronic engineering Co. Ltd., EF50K)와 디지털 오실로스코프(미국 LeCroy 9350AL, 500[MHz], 그림 1의 ③에 해당)를 사용하였다. 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역을 구분하기 위한 부분방전펄스 측정은 전극부의 종류에 따라 발생하는 정극성, 부극성펄스는 접지측 전극과 대지사이에 무유도저항(50[Ω])을 연결하여 저항단자에서 발생하는 전압파형을 전류파형으로 이용하여 선정하였다. 이때 측정주기는 교류의 정·부극성의 한주기 2[ms]를 기준으로 하였다. 또한 단일펄스파형을 명확히 나타내기 위하여 주기를 변화시켜 관측하였다.

방사전자파 측정 및 측정장치는(그림 1의 ④에 해당) 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 10[dB], sweep time은 0.5[sec]로 두고 5회 이상 측정하였다. 실험에 사용한 안테나는 지표면에 대하여 120[cm] 높이(H)에 고정시켰다. 바이코니칼 안테나의 tip-to-tip length는 132.1[cm]이며, 안테나 팩터는 거리 1[m](D)에서는 10.8~24.8[dB]의 범위를 가지고 있지만, 본 연구에서는 스펙트럼 분석기에서 직접 전계강도(dBuV/m)를 측정하였다. 안테나의 이득은 거리 1[m]에서는 -15.0~0.3[dBi] 범위의 이득특성을 가지고 있다.

전극부와 안테나 배치는 수직상태를 기본으로 하

였다. 이것은 방전시 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 전자파장해규정(KS C 0262-1992 : 전기·전자기기의 전자파 장해, [12])이 정하고 있는 일부 주파수대역(30~300[MHz])을 적용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

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

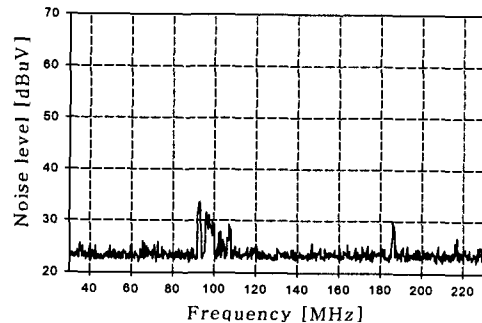


그림 3. 주변환경잡음
Fig. 3. Background noise (BGN)

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 주변의 방송파·무선파 및 실험실내 전기·전자장비에서 방사되는 불요전자파로 생각되며, 이 주변환경잡음은 주·야간 또는 주변의 환경에 따라 조금씩 다르지만 일반적으로 그림 3과 비슷한 주파수 분포 패턴을 가지고 있다. 이 주변환경잡음의 크기와 발생주파수대역은 방전시 발생하는 방사전자파의 스펙트럼 분포와의 비교 기준이 된다.

안테나를 이용한 VHF대역에서 전극형태에 따른 방사전자파의 전파특성

방사전자파의 측정은 그림 2의 각 전극부의 간극을 10[mm]와 15[mm]의 두 조건에서 측정할 것이다. 간극의 차이에 따라 방전개시전압과 절연파괴전압영역은 차이를 보였지만, 각 간극 조건에서 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포는 큰 변화를 보이지 않았다. 그래서 본 논문에서는 간극 15[mm]일 때의 간극조건에서 측정된 데이터만을 나타냈다.

3.1 침대평판전극부에서의 방전펄스와 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포

그림 4는 침대평판전극부에서 교류고전압 인가시 발생하는 단일방전펄스를 나타냈다. 이때 인가전압은 10[kV]이다.

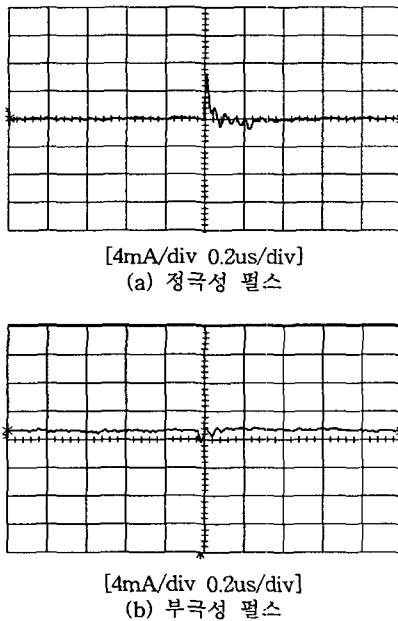


그림 4. 침대평판전극에서의 방전펄스
Fig. 4. Discharge pulses at N-P electrodes

침대평판전극부에서의 방전펄스는 방전개시전압 영역에서는 부극성영역(270° 중심)에서 방전펄스가 발생하기 시작하여 인가전압의 상승과 함께 정극성 영역(90° 중심)에서도 발생하기 시작하였다. 인가전압의 상승과 더불어 부극성에서 방전펄스 영역은 넓어지며, 정극성에서는 큰 스트리머펄스가 다수 발생

하며 진전하는 현상을 보였다. 이때 부극성펄스의 진폭은 작지만 발생수는 정극성펄스의 수보다 많았다.

그림 5는 그림 2 (a)의 침대평판전극부에서 간극 15[mm]일 때, 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역에서 측정된 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 나타내고 있다.

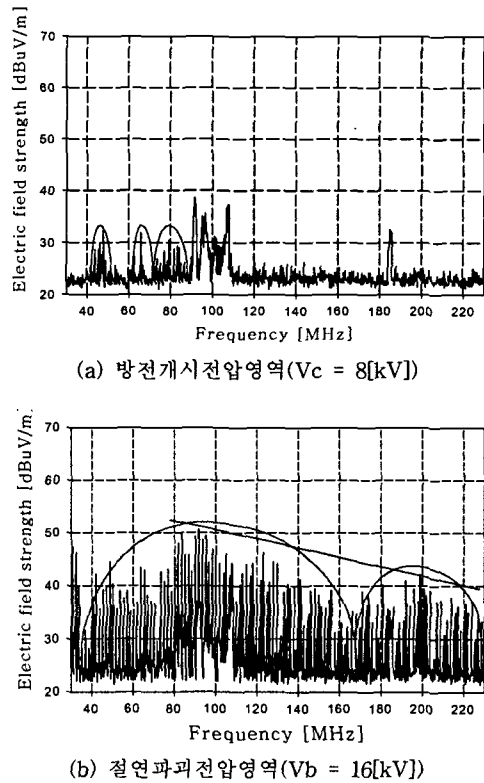


그림 5. 침대평판전극에서 스펙트럼
Fig. 5. Spectra at N-P electrodes

그림 5에서 방전개시전압영역일때는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포가 주파수 90[MHz]이하 대역에서 주로 분포하고 있다. 특히 높은 전계강도를 보이는 주파수대역은 45, 70, 80[MHz]에서 높은凸의 분포를 나타내고 있다. 그러나 인가전압의 상승과 함께 절연파괴전압영역에 도달하면 그림 5 (b)와 같이 측정주파수대역 전반에 걸쳐 스펙트럼이 분포하고 있다. 특히 방전개시전압영역일 때 발생하는 주파수대역을 포함한 주파수 90[MHz]와 주파수 200[MHz]에서 높은 전계강도를 보이며, 고주파대역으로 갈수록 약

13[dB] 정도로 감쇄하며 진전하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 절연파괴전압영역으로 갈수록 측정 주파수 대역 전반에 걸쳐 발생하는 것은 침대평판전극에서 발생하는 공간전하의 영향에 의한 정극성과 부극성에서 발생하는 방전펄스의 발생주기가 짧고, 또한 급격한 상승시간을 가지는 방전펄스의 발생이 많기 때문이라 생각된다.

3.2 평판대평판전극부에서의 방전펄스와 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포

그림 6은 평판대평판전극부에 교류고전압 인가시 발생하는 방전펄스열중에서 정극성펄스와 부극성펄스를 나타낸 것이다. 이때 인가전압은 20[kV]이다.

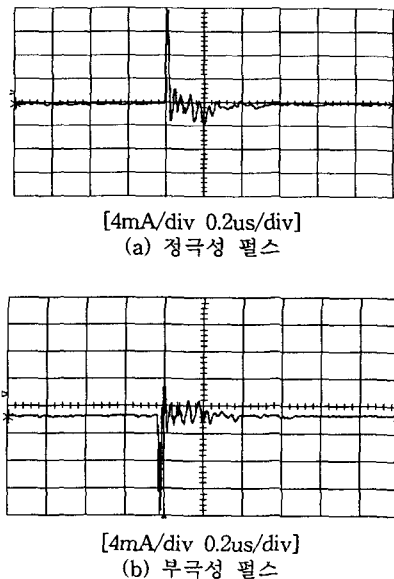


그림 6. 평판대평판전극에서 방전펄스
Fig. 6. Discharge pulses at P-P electrodes

평판대평판전극부에서의 방전펄스는 인가전압의 상승과 함께 정극성과 부극성영역에서 거의 비슷한 크기의 방전펄스열이 관측되었다. 또한 이때 정극성펄스와 부극성펄스 모두 교류 반사이클인 90° 와 270° 를 중심으로 분포하였고 인가전압의 상승과 함께 발생영역이 확대되었다. 이때 정극성과 부극성펄스의 크기 분포는 다양하면서 높게 나타났다.

그림 7은 그림 2 (b)의 평판대평판전극부에 교류고전압 인가시 발생하는 방사전자파를 방전개시전압영역과 절연파괴전압영역에서 측정된 것이다.

평판대평판전극을 이용한 방사전자파의 측정에서 방전개시전압영역일 때는 주파수 70[MHz] 이하 대역에서만 분포하고 있다. 특히 주파수 40, 60, 70[MHz] 대역에서 주변환경잡음보다 높은 전계강도를 가지며, 주파수 40[MHz]에서 약 43[dB]정도의 전계강도로 다른 주파수대역에 비해 매우 높은 전계강도로 분포하고 있다. 이것은 침대평판전극에서는 발생 주파수 대역에서 거의 동일한 크기의 전계강도를 보인 반면에 평판대평판전극에서는 저주파 대역에서 매우 높게 나타나며, 고주파 대역으로 갈수록 낮게 나타나고 있는 것이 특징이다.

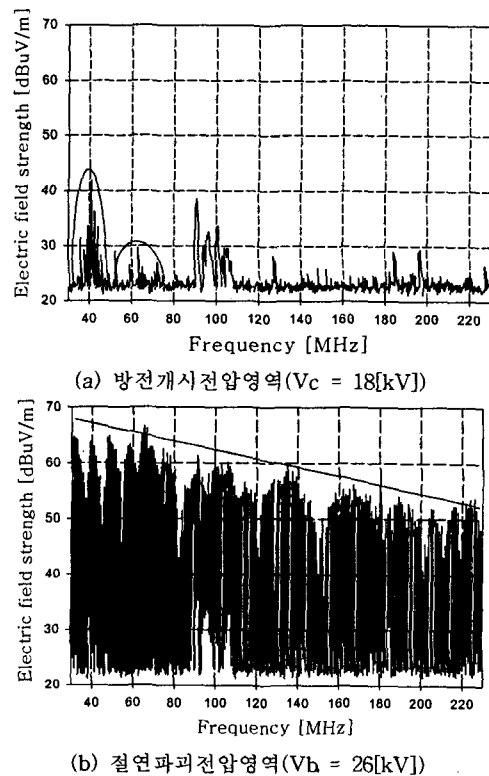


그림 7. 평판대평판전극에서 스펙트럼
Fig. 7. Spectra at P-P electrodes

절연파괴전압영역에서는 침대평판전극과 달리 평판전극부에 집중된 전계가 평판전극 전체에서 교류

안테나를 이용한 VHF대역에서 전극형태에 따른 방사전자파의 전파특성

분포되어 대향전극으로 진전하기 때문에 연속적인 아크성 방전형태를 보이고 있다. 그래서 측정주파수 대역 전반에 걸쳐 높은 전계강도를 나타내고 있는 것으로 생각된다.

3.3 구대평판전극부에서의 방전펄스와 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포

그림 8은 구대평판전극부에 교류고전압 인가시 발생하는 방전펄스를 나타낸 것이다. 이때 인가전압은 22[kV]이다.

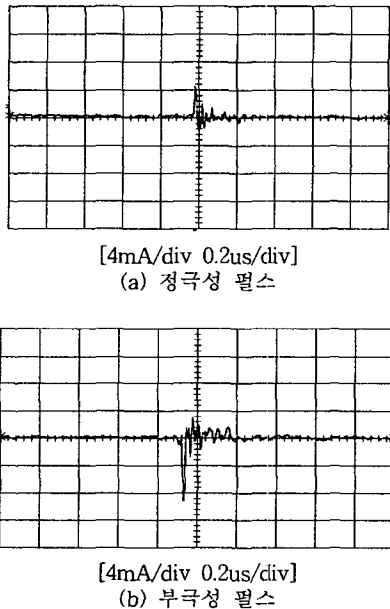


그림 8. 구대평판전극에서 방전펄스
Fig. 8. Discharge pulses at S-P electrodes

구대평판전극부에서의 정극성과 부극성펄스는 평판대평판전극부와 비슷한 펄스열을 보이고 있었다. 그러나 인가전압에 따른 방전펄스의 발생은 부극성 영역에서는 270°를 중심으로 분포하였지만, 정극성 영역에서는 90°이전영역에서 발생하여 인가전압의 상승과 함께 발생영역도 확대되어 갔다.

그림 9는 그림 2 (c)의 구대평판전극부에 교류고전압 인가시 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다.

구대평판전극부에서의 방사전자파의 스펙트럼 분포는 방전개시전압영역인 그림 9 (a)일때는 주파수 40[MHz]대역에서 약 37[dB]정도 높은 전계강도를 가진 단일 대역에서만 나타나고 있다. 이것은 평판대평판전극부에서의 주파수 스펙트럼 특성과 비슷한 분포를 보이고 있지만, 칩대평판전극부에 비해서는 약 5[MHz]정도 저주파대역에서 발생되고 있다.

절연파괴전압영역인 그림 9 (b)일때는 측정대역중에서 주파수 150[MHz]이하 대역에서만 나타나고 있다. 특히 주파수 40, 80, 135[MHz]대역에서 높은 피크의 전계강도를 보이고 있다. 그러나 완전한 절연파괴전압에 근접하여 전로파괴가 발생할 때에는 아크성 펄스형태의 스펙트럼이 관측되었다.

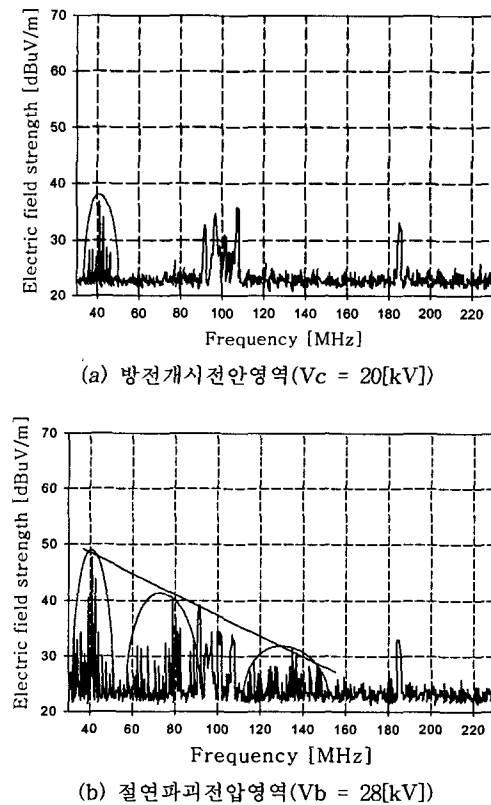


그림 9. 구대평판전극에서 스펙트럼
Fig. 9. Spectra at S-P electrodes

이와같이 방사전자파의 주파수대역에서의 분포 변화는 인가전압원이 동일하더라도 전극형태와 방전진전

과정의 차이에 따라 방사전자파의 주파수 점유대역과 스펙트럼 분포 형태도 차이를 보였다. 따라서 전압원이나 전극형태에 따라 발생하는 방사전자파의 발생 주파수 대역과 그 스펙트럼 분포 형태의 연구는 중요하다고 생각된다.

4. 결 론

교류고전압을 3가지 다른 형태의 전극부(침대평판전극, 평판대평판전극, 구대평판전극)에 인가하여 모의 방전시 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 침대평판전극부에서 방사전자파의 스펙트럼 분포는 방전개시전압영역에서는 주파수 45, 70 및 80[MHz]에서 높은 전계강도를 보이며 주파수 90[MHz]이하 대역에서만 분포하고 있다. 절연과괴전압영역에서는 주파수 90[MHz]와 200[MHz]에서 큰 전계강도를 보이며 측정주파수대역 전반에 걸쳐 분포를 하고 있다.

(2) 평판대평판전극부에서 방사전자파의 스펙트럼 분포는 방전개시전압영역일 때는 주파수 70[MHz]이하 대역에서 분포하며 주파수 40[MHz]대역에 높은 전계강도를 나타냈다. 절연과괴전압영역일 때는 측정주파수 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 저주파에서 고주파대역으로 갈수록 직선적으로 감쇄하는 분포특성을 보이고 있다.

(3) 구대평판전극부에서 방사전자파의 스펙트럼 분포는 방전개시전압영역일 때는 주파수 40[MHz]대역에서만 높은 전계강도를 나타냈다. 절연과괴전압영역일 때는 주파수 40과 80[MHz]대역에서 높은 전계강도를 보이며 주파수 160[MHz]의 고주파로 갈수록 급격히 감쇄하는 특성을 보이고 있다.

상기의 결과를 통해 전극부의 형상 차이에 따라 방전시 발생하는 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포에는 차이가 있음을 알았다. 또한 방사전자파의 분포는 방전개시전압영역에서는 동일한 주파수대역에서 나타나는 것도 있지만, 전반적으로 발생주파수대역은 서로 다르다는 것을 확인하였다. 이와 같은 연구를 통해 방사전자파의 주파수 스펙트럼 패턴 및 발생 주파수대역을 통해 결합부위의 결합형태 및 절연과괴 전

과정을 추측할 수 있을 것으로 생각된다.

References

- (1) 김기채, "전기 전자기기의 EMI/EMC 문제", 조명·전기설비학회지, pp.78-85, Vol.15, No.1, 2001. 2.
- (2) 이동일 외 2 "전력설비의 전기환경장해와 대책기술 개발" 대한전기협회 전기저널 8, No.272, pp.14-19, '99.
- (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) 電氣學會放電ハンドブック出版委員編 "放電ハンドブック 下巻, 제8장 전자파" pp.395, 1998.
- (6) 정찬수, "전기설비의 진단기술", Proceeding of KIEE, Vol.48, No.5, pp.44-51, 1999. 5.
- (7) 김정태 "최근 전력기기의 부분방전 진단 현황", Proceeding of KIEE, Vol.49, No.2, pp.24-30, 2000. 2.
- (8) 電氣書院 "設備診断テクニック" 電氣書院, 1985.
- (9) Takashi Kimura etc, "Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna", T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.
- (10) 이상훈, 김충년 외 4, "기중방전에 대한 방사전자파 측정과 분석", 대한전기학회회계논문집, pp.2028-2030, '99.
- (11) 富田誠悦 "雑音電波で絶縁劣化を予知" J.IEE Japan, Vol. 112-3, pp. 152-156, 1992.
- (12) 한국공업표준협회, "전기·전자기기의 전자파 장해-KS C 0262", 1992.

◇ 저자 소개 ◇

김 충 년 (金忠年)

1966년 6월 16일 생. 1992년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1995~1998년 (주)대우중공업 우주항공연구소 주임연구원. 2002년 현재 (주)인터커넥션 책임연구원, 경운대학교 겸임교수.

지 승 욱 (池昇昱)

1971년 12월 27일 생. 1995년 영남대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정, 울산 현대청운고등학교 교사.

이 상 훈 (李相勳)

1973년 1월 6일 생. 1998년 영남대 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

이 광 식 (李廣植)

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