

# 기중방전 진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성

(The Characteristic of Frequency Spectrum of Electromagnetic Waves Radiated from Discharge in Air)

○박 광 서\*, ○윤 대 희, ○박 창 기, ◇주 재 현, ◆최 병 주, ○이 광 식, ○이 동 인.

(Kwang-Seo Park\*, Dae-Hee Yoon, Chang-Ki Park, Jae-Hyun Ju, Byoung-Ju Choi, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee.)

○Yeungnam university, ○KEPCO, ◇Kojea college, ◆Sorabol college.

## Abstract

Insulation diagnosis techniques of power equipments for the stable power supply and prevention from accidents are of high importance. Diagnosis techniques is able to prevent from large accidents before they happen by finding signs of the accidents.

From this point of view, this paper simulated discharge progress and partial discharge using needle-plan electrode system in air, studied the distribution of frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves using biconical antenna and spectrum analyzer.

From results of this study, the new method was introduced for measurement and analyzation of the radiated electromagnetic waves in accordance with discharge progress in air, Besides, 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 were possible.

## 1. 서 론

현대 산업 문명의 급속한 발전과 경제성장의 가속화로 인하여 에너지에 대한 수요는 급격히 증가하는 추세에 있다. 이러한 전력수요에 대응하며 전력의 안정적 공급에 필수적인 전기적 사고의 미연 방지를 위한 절연진단 기술이 중요하게 되었다. 전력 공급장애가 발생하면 사회적 영향이 커지고 복구나 수리 등에도 많은 시간이 소요된다. 따라서 보다 안정하고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위한 전력설비 및 기기의 유지 보수가 중요하게 되었고, 사고의 예방적인 차원에서 사고의 징후를 미리 발견하여 대형사고로의 확대를 미연에 차단할 수 있도록 하는 항시 감시 진단기술이 더욱더 중요한 위치를 차지하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 전력설비나 전기 기기에 전기적 이상 발생시 수반되는 절연과피의 전구현상인 부분 방전을 침대 평판전극으로 모의하여 방전진전에 따른 방사전자파를 비접촉센서인 마이크로 쿨 안테나와 spectrum analyzer를 이용하여 주파수 스펙트럼 분포특성을 연구하고 방전진전과정과 방사전자파의 상관관계를 고려함으로 대기중 부분방전의 검출과 방전진전 상태의 예측이 가능함을 확인하고자한다.

이러한 자료는 전력설비 및 전기기기의 절연진단 및 예측에 중요한 기초자료가 되리라 사료된다.

## 2. 본 론

### 2.1. 실험장치 및 회로도

그림 1은 본 실험의 장치 회로도를 나타낸 것이다. 본 실험에서는 부분방전의 발생에서 절연과피까지 방전진전 전과정에 따른 방사전자파를 측정하기 위해 침대 평판전극을 사용하였다. 침대 각도는  $30^\circ$  이고 평판의 직경은 40[mm]이다. Gap은 10 [mm]로 일정하게 하였다. 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 전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 방전시 전류 파형의 측정은 Digital storage type oscilloscope(Lecroy 9350AL, 500[MHz])와 Active probe(bandwidth :DC~1[GHz],Leroy AP020)를 사용하였다. 그리고 방전시 방사되는 전자파를 측정하기 위하여 biconical antenna (EMCO model 3110) 및 Spectrum

analyzer ( Advantest R4131D)를 이용하여 방사 전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 관측하였다.

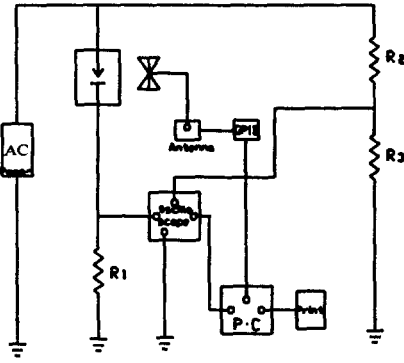


그림 1. 실험회로도  
Fig. 1. Circuit Diagram of Experiment

## 2.2. 실험방법

실험방법은 먼저 전압 인가속도를 1[kV/sec]의 속도로 일정하게 상승시키며 절연파괴전압은 5회 측정하여 평균한 전압을 채택하였다. 이 때의 절연파괴전압(이하  $V_B$ )을 100%의 인가전압이라 할 때 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴되는 단계별로 방사 전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 일정한 비율로 인가 후 안테나와 Spectrum analyzer를 이용하여 여러 기초실험을 통해 방사전자파의 측정에 유리한 조건 등을 설정 후 실험을 행하였다. 부분방전시 주기성을 갖는 주파수 스펙트럼을 측정된 데이터를 Spectrum analyzer에서 GPIB로 데이터를 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이 때 전극 중심부와 안테나 사이의 거리는 50 [cm]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

안테나와 전극사이의 거리가 가까울수록 방사전자파의 측정에 유리하나 너무 가까우면 안테나로 절연파괴의 경로가 발생할 위험을 고려하여 50 [cm]로 하였다.

부분방전시 방사되는 전자파의 주파수 분포는 GHz대역까지 광범위 하나 본 연구에서는 실험 여건과 기초실험을 통하여 대기중 부분방전이 비교적 잘 관찰된다고 사료되는 40~60 [MHz] 범위로 한정시켜 부분방전을 검출하고 분석하여 부분방전의 발생과 진전에 따른 방사전자파를 측정하였다.

실제 절연진단에 응용하기 위해서 노이즈가 존재하는 일상의 공간에서 부분방전시 방사전자파를 측정 분석하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 연구함이 필

요할 것이다. 그러므로 측정시의 Background noise(그림2)를 측정하여 방사전자파의 분석에 유용하게 적용하고자한다. 주변 노이즈 및 실험의 측정 시간은 비교적 외부 노이즈의 영향이 적은 새벽 1:00 이후에 측정하였다.

## 2.3. 실험결과 및 검토

그림 2는 측정주파수 대역에서 주변 노이즈의 주파수 스펙트럼을 측정한 그림이다. 전 대역에서 측정된 데이터는 한번 Sweeping time 동안에 주변환경의 기기에서 Switching 동작(on, off)이 발생하지 않으면 방사전자파의 전계강도가 30[dB $\mu$ V/m]를 넘지 않음이 관측되었다. 스위칭 동작에 의해 주변에 불요 노이즈가 침입하더라도 부분방전 신호와 쉽게 구별되고 불요 노이즈는 특히 주기성을 갖지 않음이 관측되었다. 이러한 점에 착안하여 전압을 서서히 상승시켜(0.3[kV/sec]정도) 방전진전과정을 모의 할 때 주파수 스펙트럼 분포 특성과 전계강도가 30dB이상이 되는 데이터(이하  $E_{30dB}$ )의 수와 평균전계강도(이하  $E_{mean}$ )등을 분석하였다. Background noise의  $E_{mean}$ 은 23.4dB 이다.

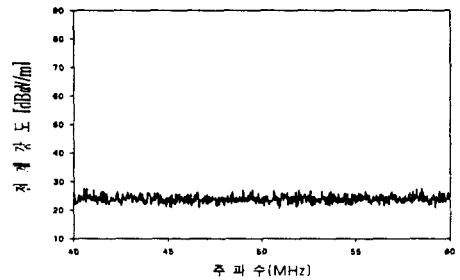


그림 2. 측정환경의 Background Noise  
Fig. 2 Background Noise of surrounding

그림 3은 대기중 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 대기 중에서 완전히 절연파괴가 발생되는 전압의 평균절연파괴전압(이하  $V_B$ )은 약 7[kV] 정도이다. 그림 3의 (a)는 3.5[kV]( $V_B$ 의 50%) 전압을 인가하면 주파수 스펙트럼 분포는 Background noise와 거의 유사했으며 본 실험방법으로 부분방전(이하 PD) 신호의 검출이 어려웠다.

그림3의 (b)는  $V_B$ 의 50%(3.5[kV])전압에서 약간 전압을 상승시키면 전압이 3.8[kV]부터 최초의 PD 신호라고 생각되는 펄스성 신호가 발생한 스펙트럼 분포이다. 주기적으로 30dB 이상의 신호가 관측되었다.  $E_{30dB}$ 의 수는 11개이고  $E_{mean}$ 은 23.5dB이었다.  $E_{mean}$ 의 크기로서는 Background Noise와 0.1dB의 차이가 남으로 부분방전의 발생을 판별하기 어려웠다.

그림3의 (c)에서는  $E_{30dB}$ 의 수는 78개이고  $E_{mean}$ 은 24.7dB이다.  $E_{30dB}$  수의 증가폭이 상당히 크며 그

림 (c) 즉 4.2[kV]이상의 전압이 인가된 경우부터는  $E_{mean}$ 의 값으로도 Background Noise와 1dB 이상이 차이가 남으로 부분방전의 발생을 검출할 수 있었다. 전압을 더욱더 증가함에 따라 PD신호라 생각되는  $E_{30dB}$ 의 수가 많이 증가하며  $E_{mean}$ 의 크기도 증가의 경향이 뚜렷하였다.

또한 3.8[kV] 이후 전압을 증가하면 처음 발생한 PD신호의 폭이 넓어지는 경향을 나타내었다. 그리고 45dB 이상의 데이터가 나타나기 시작하는 6.3[kV]~7.0[kV]까지는 절연파괴 직전의 단계라고 사료된다.

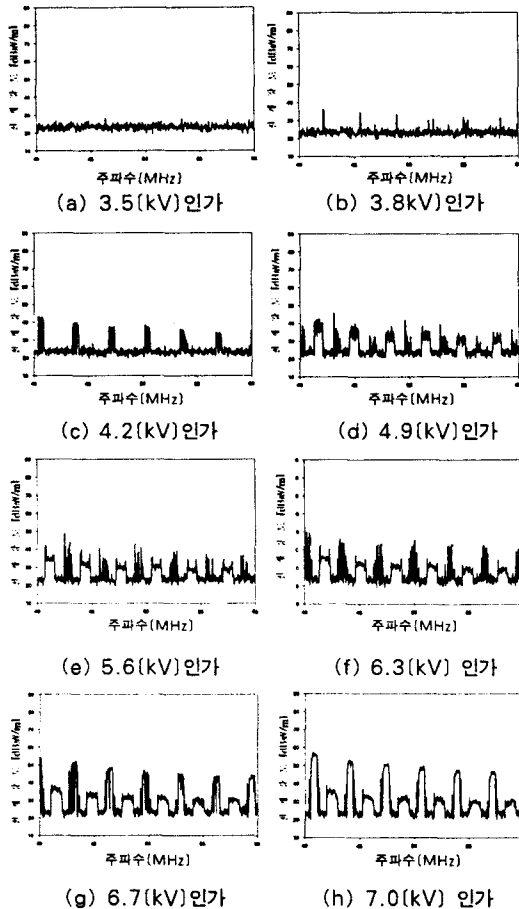


그림 3. 방사전자파 주파수 스펙트럼 분포

Fig. 3. Distribution of Radiated Electro magnetic waves Frequency Spectrum.

그림 4는 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 데이터를 임의의 전계강도 이상의 데이터를 분석한 것이다. 전계강도 30dB 이상의 데이터를 분석함으로써 PD 발생유무를 관측할 수 있는 신호라고 고려한 것은 그림 3의 (b)와 그림 4를 분석해 볼 때 Background Noise와 구별이 되는 최

초의 값이며 가장 낮은 전계강도 값이라고 생각되었기 때문이다.

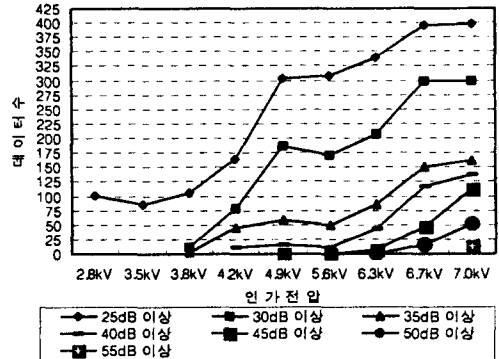


그림 4. 부분방전시 인가전압에 따른 임의의 전계강도 이상의 데이터

Fig. 4. Number of Data above Optional Field Strength with Applied Voltage in Partial Discharge

그림 5는 부분방전시 방전전류를 측정하기 위해 오실로스코프와 Active Probe를 이용하여 방전의 발생과 진전에 따른 전류파형을 측정된 것이다. 부분방전시 전류파형을 측정된 결과 3.5[kV]이상의 전압을 인가 시에는 부분방전의 전류파형이 관측되지 않았으나 3.8[kV] 인가한 경우부터는 트리플 펄스 형태의 부의 펄스가 발생하였으며(그림 (a)) 전압을 계속해서 증가하면 정·부의 펄스가 주기적으로 일정하게 발생하며 더욱더 전압을 인가하면 상당히 급격한 큰 펄스의 수가 증가하는 경향을 나타낸다. 그림 4의 (d)는 이러한 경우로서 절연파괴 직전의 단계로 방전이 진전하였다고 사료된다.

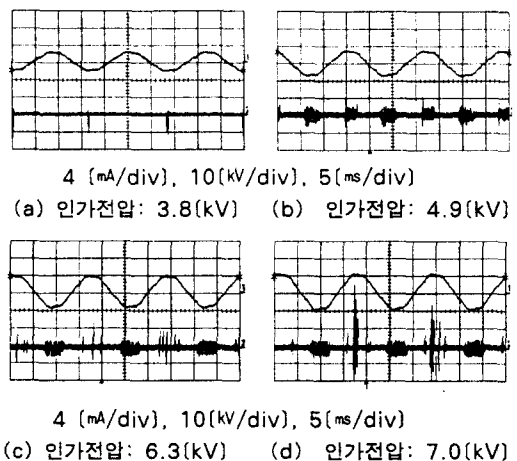


그림 5. 대기중 부분방전시 방전전류 파형

Fig. 5. Partial Discharge Waves Form in Air

그림 6은 그림5에서 방사전자파를 발생시키는 부분방전의 정·부 펄스 전류를 각각 하나씩 오실로스코프에 나타내고 각각의 파형을 시간영역에서 주파수 영역으로 FFT한 것을 나타낸것이다.

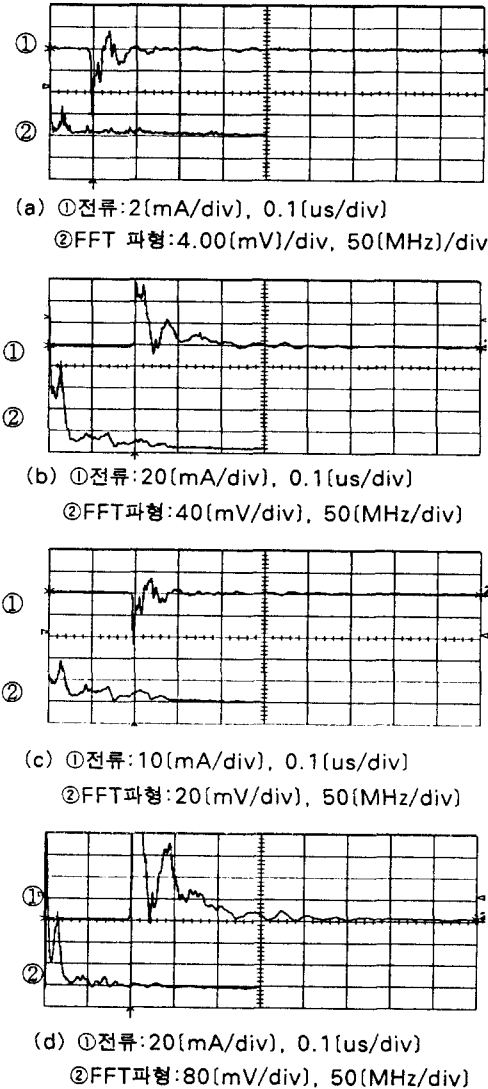


그림 6. 정·부 부분방전 전류펄스와 FFT 파형  
Fig. 6. Positive·Negative Partial Discharge Current and FFT Waves Form

전압을 증가함에 따라 그림(a)와 그림(c), 그림(b)와 그림(d)를 서로 비교하면 부분방전의 정·부 펄스의 크기는 증가하지만 FFT 파형의 주파수 분

포는 거의 유사하였다.

FFT 파형의 주파수 분포는 150(MHz) 이하의 대역에서 주로 나타난다. 특히 70(MHz)이하의 대역에 가장 많은 분포를 나타내었다.

실험의 측정 주파수 분포를 150 [MHz]까지 대역을 넓히면 부분방전시 방사전자파의 측정에 유리하지만 안테나의 감도가 떨어지고 또한 외부 노이즈와 구별이 어려우며 노이즈의 침입가능성이 커진다. 따라서 본 실험에서 설정한 40~60(MHz) 대역은 타당성이 있다고 사료된다.

그림 5와 그림 6의 결과는 유선을 통한 오실로스코프와 Active Probe에 의해 관측되는 부분방전의 전류파형과 비 접촉 센서인 안테나와 Spectrum Analyzer에 의해 방사전자파를 측정 분석하는 본 실험의 방법이 부분방전의 검출감도가 상당히 좋음을 알 수 있고 본 논문에서 방전진전에 따른 부분방전을 검출하는 실험 방법의 유효성을 검증할 수 있었다. 또한 부분방전이 발생된 후 방전이 어느 정도 진전된 단계라고 생각되고 본 실험 방법에 의해 부분방전이 확연히 검출되는 절연과피전압의 약 70%에 해당하는 4.9(kV) 전압을 인가 후 12시간이 지나도 Gap 간의 절연과피가 되지 않음을 관측하였다. 이러한 결과는 본 실험의 방법에 의한 부분방전의 검출은 전기사고를 미연에 방지할 수 있는 가능성을 확인하였다.

### 3. 결론

대기중 침대 평판전극을 배치한 후 절연과피전압보다 낮은 교류고전압을 인가해서 부분방전의 발생과 방전진전 과정을 모의한 경우 본 실험의 방법으로 방전진전에 따른 방사전자파를 안테나와 Spectrum Analyzer를 이용하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포 특성과 데이터 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 실험 방법에 의해 방사전자파의 스펙트럼 분포특성과 전계강도 30dB 이상의 데이터 수와 평균전계강도, 45dB 이상의 데이터 수 등을 고려하면 부분방전 검출감도가 상당히 좋으며 부분방전의 발생 유무와 방전진전 상태의 예측이 가능함을 확인하였다.

이러한 결과는 비 접촉센서인 안테나를 사용하여 방사전자파를 측정·분석에 의한 전력설비의 절연진단 시스템 개발에 중요한 기초 자료가 되리라 생각된다. 향후에는 본 실험방법을 더욱더 보완하고 방사전자파의 감쇄특성과 전파특성을 고려한 부분방전의 발생위치 검출과 대기중 외에 각종 절연성 개스와 절연유, 고체절연물에서도 많은 연구

가 필요하다고 사료되며 또한 실제통에 적용 가능하도록 모의 전력설비를 갖추고 적절한 안테나를 설계·제작하여 전기적 고장을 모의한 경우에 관해서도 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Y.Takahashi, "Diagnostic Measurements at UHF in Gas Insulated Substation", IEE Proceeding Vol. 135, PT.C, No2 March 1988, pp 137~145
- [2] R. Bartnikas, "Detection of Partial Discharge (corona) in Electrical Apparatus", IEEE EI-25 No-1, p111~124, February 1990
- [3] 서길수, "공기중의 방전전류파형과 방사전자파의 주파수특성", 1994년 춘계학술연구발표회 논문집, DH-94-6, pp 26~29
- [4] Matumura et.al., "Method of diagnostic detection by radiated magnetic fields", Tech. Report of IEE Japan, HV83-52, 1983
- [5] H. Okubo, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharge Characteristics", ETEP vol 7, No.1, 1/2 1997.
- [6] 山田達司外3人, "各種ガスとSF6による混合ガス中における部分放電の発生メカニズム", 전학론B, 118권7/8호, 837~842, 1998.
- [7] 김기체 외 2인, "1안테나 법에 의한 미소 간극의 방전전류 파형 추정", 韓國電磁波學會論文集 第9卷 第4號, pp.499-504, 1998.
- [8] 이광식, 김기체 외 4인, "액체질소에 대한 방전 형식과 전자파의 상호관계" 한국과학재단 연구 보고서, 1998.4.
- [9] 박광서 외 6인 "액체질소중 정극성 직류방전시 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성" 대한전기학회 제48권 제9호 p648~655, 1999.