광대역 안테나를 이용한 기중방전현상에 대한 전자기적 특성에 관한 연구

Study of Electromagnetic Characteristics for Air discharge using Ultra-wideband Antenna

이강원*, 윤성철**, 김명룡***, 백광선***

K. W. Lee*, S. C. Yoon**, M. Y. Kim***, K. S. Baik***

ABSTRACT

PD in air is accompanied by light, sound and electromagnetic wave. Light and sound can be prevented from blocking between PD sources and sensor but electromagnetic wave can be transferred to long distance without any interference and captured by antenna. This paper investigated the wideband antenna is appropriate for sensing Partial discharge in air. PD was generated from simulated PD source which consist of needle and flat electrode with small gap. Signals obtained from wideband antenna were diminished in both time and frequence region with the distance between PD source and antenna.

1. 서론

기중방전현상은 물리화학적인 변화를 발생하며, 물리적인 변화로는 빛, 소리, 전가기파등 발생하며, 화학적인 변화로서는 전극으로부터 발생된 방전에 의해 방전원을 둘러싼 기체들의 결합에 영향을 주어 새로운 기체의 발생 및 기존 기체분자의 분해등을 일으키며 이러한 현상을 적극적으로 이용하기위한 연구가 많은 분야에서 진행되고있으나 이러한 방전현상의 이로운 점외에 절연재료등의 열화를 촉진하여 절연파괴에 이르게 하는 원인으로도 될 수 있는 양면성을 가지고 있다. 전기적 절연은 고전압이 인가된 기기로부터 주위의 기기를 전기적으로 분리하기 위한것으로서 외부 저전압기기의 손상을 방지하고, 기기를 취급하는 작업자의 안전을 확보하기위한 중요한 수단이다. 일반적으로 공기를 절연물로서 사용하는 고전압기기에서 기기구조의 불평등전계에 의해 발생하는 방전은 코로나방전과 같이 미약한 전류로서 공기중으로 방전하는 경우도 있으나 외부 물체의 접촉또는 기기절연방호장치의 이상에 의한 공기중으로의 스파크등과 같이 대전류로서 큰 에너지방사를 동반하는 경우도 있다. 이러한 방전현상은 물리적으로 계측될수 있는 빛, 소리, 전자기파와 같은 물리량으로서 계측되어질수 있다. 기존 연구에서는 빛과 소리를 이용한 부분방전계측이 많이 이용되었으나, 공간적인 간섭에 의한 감쇠등에 의해 정확한 계측에 상당한 어려움을 가지게 되었으며, 현재와 같이 밀폐된 공간에서 각종 전력기기등이 집약되었는 GIS와 같은 구조에서는 그 어려움이 더하게 되었다. 본 연구에서는 부분방전시 발생되는 전자기파의 계측을 통하여 이러한 문제점을 해결하고, 또한 부분방전의 정량화로서 부분방전이 발생된 경우 방전량에 대한 안테나계측 신호크기와의 연관성을 살피고자 하였다. 부분방전신호는 매우 짧은 주기를 가진 펄스형 신호이므로 넓은 주파수영역에 걸쳐 존재하므로,

* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

기존 협대역 안테나로서는 부분방전신호중 일부분만을 계측하게 되므로 계측된 신호와 원방전파형과는 매우 다른 차이점을 가지게 된다.이와는 달리 광대역 안테나는 넓은 주파수 범위에 걸쳐 원래의 부분방전신호를 계측할수 있게 하므로 보다 온전한 부분방전신호에 대한 정보를 확인할 수 있게 하므로, 본 논문에서는 부분방전원으로서 침대 평판전극구조를 모의하고 30kHz - 2GHz의 넓은 주파수 범위를 측정할수 있는 광대역 안테나를 이용하여 부분방전파형의 방전원으로부터의 거리에 따른 감쇠율과 각각에 대한 파형 및 주파수성분의 감소등에 대하여 관찰하였다. 관찰된 사실로부터 부분방전의 전자기적 특성을 또한 고찰하였다.

2. 본론

2.1 실험방법

공기중에서의 방전원을 모의하기위하여 그림 1과 같이 침대 평판전극구조를 구성하였다. 침전극은 고압이 인가되는 부분과 연결되었으며, 평판전극은 접지되는 부분에 연결되었으며, 침전극의 침단반지름은 약 0.1mm이고, 전극간 거리는 1cm로 유지되었다.

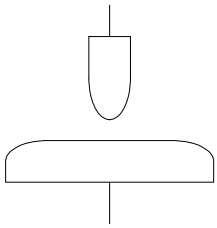


그림 1. 침대평판전극구조

그림 2는 전체적인 실험구성을 보여준다. PD는 매우 넓은 주파수대역에 걸쳐 존재하는 펄스형태의 전자기파로서 직접 도선을 통하여 흐르기도 하나 공간으로도 방사된다. 직접 도선에 흐르는 전류를 측정하는것은 접촉식 방법으로서 상당히 높은 전압환경하에서는 매우 위험한 방법이며 실제 전력기기상에 적용하기에는 무리가 있는 방법이다. 이에 반해 비접촉식으로서 방전원으로부터 방사되는 전자기파를 측정하는것은 안전하며, 또한 노이즈의 영향을 배제할 수 있는 장점을 가지고 있다.

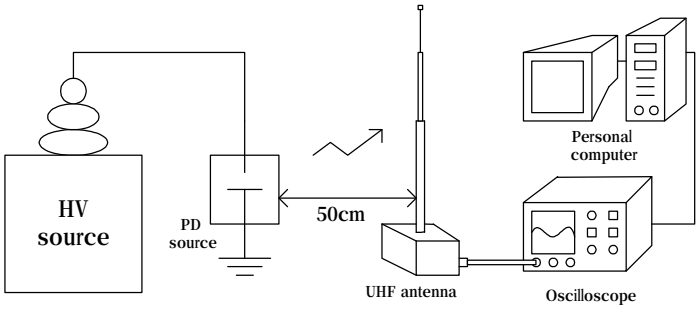


그림2. 실험구성

본 논문에서는 광대역 안테나로서 주파수 대역이 30kHz - 2GHz인 다이폴안테나의 일종인 모노폴 안테나를 이용하여 방전원으로부터 1m 떨어진 위치에서 전자기파를 수신하였고, 수신된 파형은 오실로스코프(1GHz, Tektronix)를 통하여 저장 또는 관찰되었고, 오실로 스코프로 저장된 파형은 GPIB 및 디스크를 통하여 Personal Computer로 옮겨져 저장되어 분석되었다.

2.2 광대역 안테나의 특성

본 논문에서 사용된 안테나는 SA7000으로 사용 주파수 대역이 30kHz에서 2GHz까지의 광대역 범위에서 공중파를 잡으며, 단파/VHF/UHF까지에 이른다. 안테나는 설치가 어려운곳이나 공간이 문제가 되는 부분에서 사용되어지기 쉽게 설계되어있다. SA7000은 두 개의 막대형태 안테나로 이루어져있는 수동형 소자이며, 긴 부분은 30MHz까지의 단파영역을 측정할수 있고 짧은 부분은 2GHz까지의 주파수 영역까지 측정할수 있다. 이때 로딩 코일은 VHF/UHF 대역의 성능을 향상시키기 위하여 150MHz와 180MHz범위에서 동조되어있다. 안테나의 총길이는 약 1.8m이며 동축케이블선으로서 외부에 연결되어있으며, 동축케이블의 최대 길이는 15m이며, 선로임피던스는 50Ω이다. 표는 안테나에 대한 간단한 사양을 보여주고 있다. 그림은 안테나의 외양을 간단하게 보여주고 있으며, 그림 3은 긴 막대형 안테나의 주파수범위 30kHz에서 30MHz까지 범위에서의 평탄한 주파수 특성을 보여준다. 그리고 그림 4는 30MHz에서 2GHz까지 범위에서의 주파수 특성을 보여주는데, 표 2에 표시된 부분에서의 이득이 저하되는 단점을 가지고 있으나 전반적으로 균일한 주파수 분포를 보여주고 있다.

표 1 안테나 사양(SA7000)

Useable frequency range:	30kHz to 2GHz
Impedance:	50 OHM
Wind endurance:	50m per second
Acceptable support mast:	30 - 60mm diameter
Total length:	1.80m
Coaxial cable:	15m of Quality RG58/U
	with BNC plug
Power source:	Passive (no power)

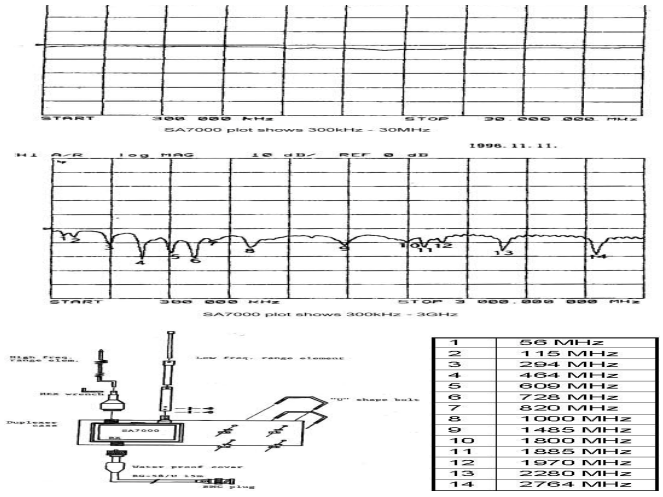
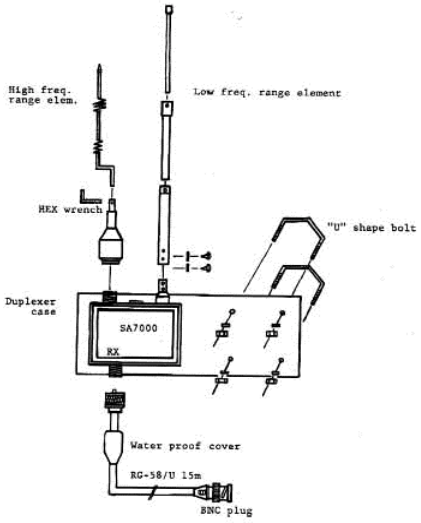


그림 3. 30kHz ~ 30MHz



1	56 MHz
2	115 MHz
3	294 MHz
4	464 MHz
5	609 MHz
6	728 MHz
7	820 MHz
8	1000 MHz
9	1485 MHz
10	1800 MHz
11	1885 MHz
12	1970 MHz
13	2280 MHz
14	2764 MHz

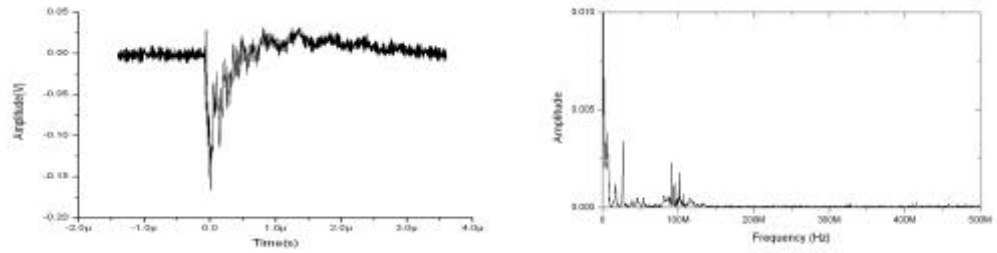
그림 4. 300kHz ~ 3GHz

표 2. 300kHz - 3GHz범위내 각 감쇠주파수

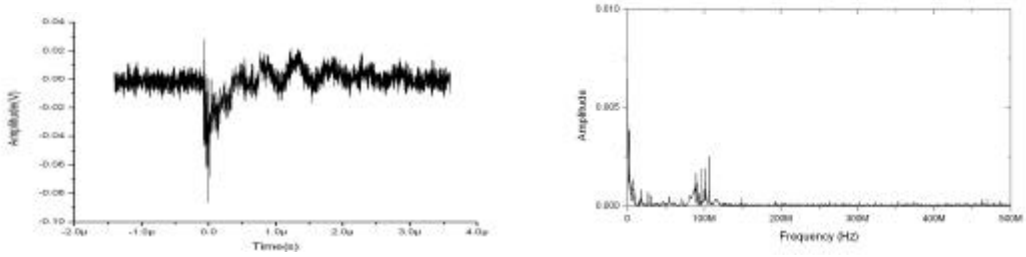
번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
주파수 (MHz)	56	115	294	464	609	728	820	1,000	1,485	1,800	1,885	1,970	2,280	2,764

2.3 실험결과 및 고찰

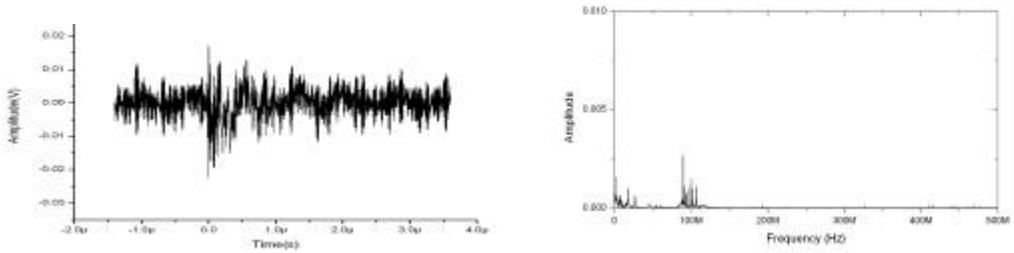
앞서 살펴본 주파수특성을 가진 광대역 안테나를 이용하여 침대평판전극에서 발생된 부분방전을 측정한 파형을 그림 5에서 보여주고 있다. 그림 5(a)는 50cm에서 측정한 파형으로서 부의 파형을 나타내고 있으며 하강시간은 매우 짧아 약 0.2 μs정도이고 상승시는 일정한 진동과 함께 하강시간보다는 긴 상승시간(약1 μs)을 가지고 정의 볼록한 부분을 이룬후 다시 원래의 파형을 나타낸다. 이러한 파형은 침대전극전극구조에서의 초기전자방출에 의한 전자사태시 전자증가율의 속도가 하강시간에 작용하고, 그후 스트리머방전에 의해 공간전하의 재결합이 발생함에 의한 상승시간 및 진동의 발생이 일어난다는 물리적 메카니즘을 반영하고 있으며, 약간 볼록하게 위로 상승하는 파형은 안테나와 리드선의 인던턴스와 표류용량등에 의한 것으로 생각된다. 그림 5(a)에서 파형에 대한 주파수영역을 살펴보면 약 100MHz에서 여러개의 피크가 관찰되고, 거의 50MHz이하에서 대부분의 주파수성분이 존재하는 것을 확인할수있으며, 저주파에서의 피크후 약 25MHz에서 큰 피크값을 가진다는 것을 보여주고 있다. 25MH부근에서의 피크값은 파형이 상승하며 진동시 진동파형성분을 나타내고 있다는 것을 진동파형의 주기를 살펴봄으로서 이해할수 있다. 그림 5(b)와 (c)의 파형 및 주파수성분은 각각 150cm와 300cm떨어진 거리에서 안테나로 측정한 파형을 나타내며, 그림에서 확인할수 있는바와 같이 파형의 진폭이 거리가 멀어짐에 따라 감소하고 또한 주파수 성분의 크기 또한 함께 감소한다는 것을 알 수 있다. 그림 5(d)의 파형은 방전이 발생되지않은 상황에서 안테나에 측정된 것을 보여주며, 방전파형의 계측에 영향을 주는 배경잡음으로 생각되어지며, 주로 100MHz부근에서 여러개의 피크가 발생한 것을 확인할 수 있으며, FM라디오방송이 96MHz~108MHz영역의 방송대역을 가지고 있다는 것으로부터 외부 방송파에 의한 잡음이 안테나에 계측된 것이라는 것을 알수있다. 이러한 결과는 앞서 그림 5(a), (b), (c)의 주파수영역에서 보았던 100MHz부근에서의 피크들이 부분방전파형과는 관계없는 노이즈신호임을 보여주는 것이며, 이들은 모두 방전파형계측에 영향을 주는 요소라는 것을 이해할 수 있으나 실질적으로 주파수영역에서는 확연히 구분되는 사항으로서 광대역안테나의 적용타당성을 보여주는 결과이다.



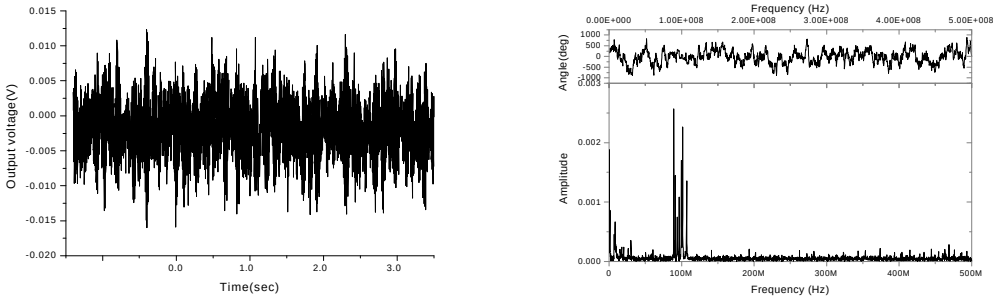
(a) 안테나 이격거리 : 50cm , 측정파형 및 주파수성분



(b) 안테나 이격거리 : 150cm , 측정파형 및 주파수성분



(c) 안테나 이격거리 : 300cm , 측정파형 및 주파수성분



(d) 노이즈측정파형 및 주파수성분

그림 5. 안테나이격거리에 따른 측정파형 및 주파수성분

그림 6은 방전원으로부터 50cm의 거리마다 측정된 파형의 최대값에 대한 대수적 그래프를 나타낸다. 그림으로부터의 직선은 측정된 데이터에 대한 선형적 근사에 의해 구해진 직선이며 직선의 기울기는 광대역 안테나로부터 떨어진 거리에 따라 전계의 세기가 감소하는 비율을 나타내며, 본 실험에서 구해진 값은 약 -5.36dB/m였다

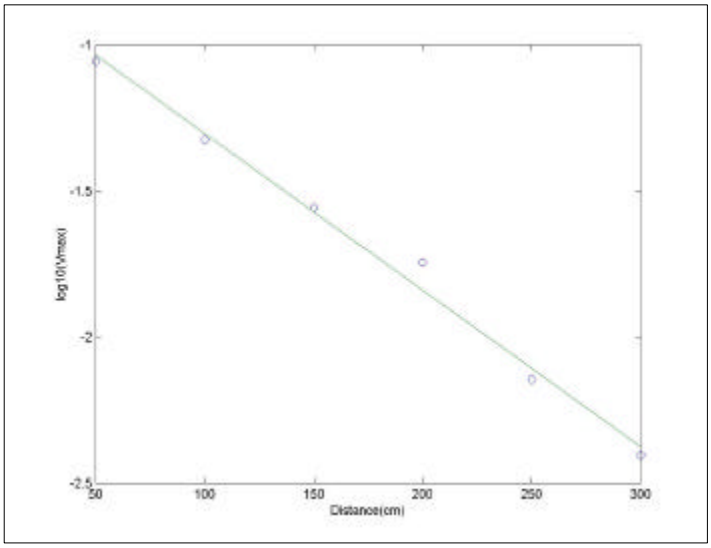


Fig. 6 안테나이격거리에 따른 측정값의 변화

3. 결론

기중방전시 부분방전파형은 전자기적 주파수범위가 수MHz~수GHz의 범위를 가지는 수ns~수 μs의 폭을 가진 펄스형태의 신호이며, 기중에서 침대평판전극에서의 방전파형은 주로 50MHz이하의 주파수 범위내에서 대부분의 주파수성분을 가진다는 것을 광대역안테나로 측정된 파형으로부터 확인할수있었으며, 또한 이 파형의 형태가 부분방전메카니즘을 잘반영하고 있다는 것을 알수있었다. 침대전극의 방전원으로부터 거리에 따른 안테나의 측정값의 변화는 지수함수적인 감소를 보여주며, 이를 대수적으로 나타내면 부의 기울기를 가진 직선으로 표현할수있으며 이 기울기는 약 -5.36dB/m라는 것을 확인할수 있었으므로 실제 광대역안테나를 현장에서 적용하는 경우, 이러한 거리에 따른 감쇠를 고려하면 발생 방전량과 안테나 계측량과의 상호 연관성을 정량화할수있을 것이다.

참고문헌

1. F. H. Kreuger, E. Gulski and A. Krivda."Classification of Partial Discharges", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vlo. 28 No. 6, December 1993.1.

2. E. Gulski, F. H. Kreuger, " Computer aided Recognition of Discharge Sources", IEEE Trans. on Elect. Insul.,Vol. 27, pp. 82-91,1992

3. Brian Hampton "UHF Diagnostics For Gas Insulated Substations"; High Voltage Engineering Symposium, IEE No.467, 22-27 August 1999