

부분방전시 방사전자파의 시간지연특성

김해준*, 박광서, 이현동, 김기채, 이광식
영남대학교

Time Delay Characteristics of Radiated Electromagnetic Wave with Partial Discharge

Hae-Joon Kim*, Kwang-Seo Park, Hyun-Dong Lee, Ki-Chai Kim, Kwang-Sik Lee
Yeungnam University

Abstract - The most of faults in gas insulation of power facilities are caused by partial discharge. Therefore we simulated partial discharge and measured the radiated electromagnetic wave emitted from partial discharge in the SF₆ gas by biconical antenna. This paper describes time delay characteristics of radiated electromagnetic waves with distance between antenna and discharge source.

1. 서 론

SF₆ 가스는 1900년대에 Moissan 과 Lebeau에 의해 유황의 합성물로 소개되어 1940년 Cooper 등이 전력기기에서 산업적 절연물로서의 관심을 두기 시작했으며, 제 2차 세계대전중의 Van-de-Graaff 발전기의 절연물로 사용되면서 급속적으로 개폐기, 변압기, 케이블 및 기타 특별한 용도의 기기에 사용되었다. SF₆ 가스는 그 절연내력과 열적 특성이 매우 우수하므로 절연 소호 매체로 사용하는 가스절연개폐장치(GIS)에 사용이 되고 있다.

GIS 와 변압기 등과 같은 전력용기기는 전력의 안정공급 때문에 그 역할이 중요하므로 고신뢰성이 요구되고 있다. 한편으로 소형화, 입지면적의 축소화등의 요청으로 절연성능의 향상이 엄하게 요구되고있고 전력용 기기의 감시·절연진단의 확립이 강하게 요청되고 있다.[1] 따라서 무정전이며 보다 안정하고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위해 전력설비 및 기기의 유지·보수가 중요하게 되었고, 사고의 예방적인 차원에서 사고의 징후를 미리 발견하여 대형사고로의 미연에 차단할 수 있도록 감시 진단이 더욱 중요하다.[2-3]

이러한 전력기 내부에서 전기적 이상이 발생하면 그에 따른 부분방전이 발생하고 전자파, 소음, 기계적 진동이 수반된다.[4]

따라서 이러한 관점에서 본 연구에서는 전기적 이상시 발생하는 절연파괴의 현상을 침 대 평판 전극으로 모의하고, 방전 진전에 따른 방사되는 전자파를 Biconical Antenna, Oscilloscope를 통해 방사되는 전자파의 시간영역을 조사하였다. 방전소스와 안테나의 거리를 각각 다르게 하여 거리에 따라 어느 정도의 지연시간 특성을 가지는지를 조사하였고, 이러한 방사전자파의 주파수 영역을 알기 위해 spectrum analyzer를 사용하여 어떤 주파수 영역을 가지는지를 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

그림 1은 본 실험장치의 개략도이다. 부분방전의 발생에서 절연파괴까지를 갭 2(mm)의 침(침단각도 : 30°) 대 평판(직경 55(mm)) 전극을 가스 챔버(챔버내의 SF₆ 가스 압력 : 4(atm))내에 삽입하여 방전 진전을 모의하였다.

부분방전시 검출되는 전자파의 주파수 분포는 [GHz] 대역까지로 광범위하다. 이러한 방사 전자파를 측정하기

위해 Biconical Antenna(EMCO model 3110, 측정주파수 대역 : 30~300(MHz))를 사용하였다. 가스챔버 내에서 방전 진전시 방사되는 전자파를 챔버의 석영창을 통해서 측정하였으며, Antenna와 방전 source 간의 거리를 1[m]와 5[m]로 두고 측정을 하였다.

그리고 인가전원으로는 교류 고전압(Input : AC 200[V] 60[Hz], Output : AC 50[kV], 60(mA))를 사용한다. 또한 출력되는 고전압을 측정하기 위해 High Voltage Divider(5000:1)을 사용한다.

방전시 전류파형을 측정하기 위해 무유도 저항 50[Ω] 을 연결하였고, 전류파형 측정과 전자파의 시간 영역 측정을 위해 Digital Storage Type Oscilloscope(Lecroy 9350AL, 500(MHz))를 사용하였다.

챔버내의 SF₆ 가스가 절연파괴가 되면 2차 부산물이 발생되어 SF₆ 가스의 순도가 떨어지게 되므로 처음부터 서서히 전압을 인가하여 주면서 부분 방전 전류펄스가 발생하는 시점부터 측정을 하였다. SF₆ 가스가 가스챔버 내에 방전이 진전되면서 해리, 부착되고 여러 가지 부산물을 형성함으로써 아크 방전이 형성되고 나서는 순수 SF₆ 가스라고 볼 수 없다. 그러므로 절연파괴가 되어 아크를 수반하게되면 절연파괴전압은 그만큼 바뀔 것이다. 이러한 것을 고려하여 아크방전이 일어나기 전까지만 측정을 한 것이다.[5]

그리고 안테나를 Oscilloscope에 연결하여 안테나에서 측정할 수 있는 방사전자파를 시간영역을 측정·분석하였다. Oscilloscope는 한 division 당 50(ns)로 측정을 하였다.

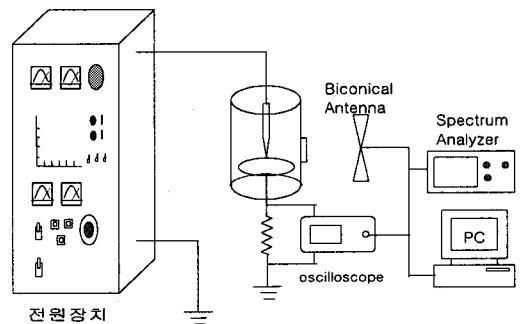


그림 3. 실험장치도

fig 1. arrangement diagram of experiment

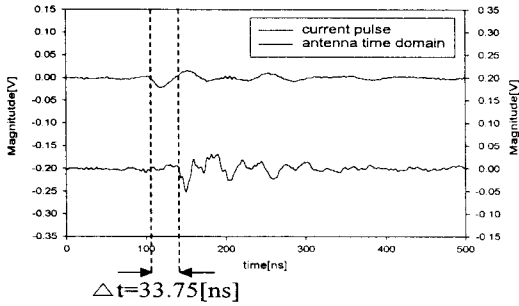
3. 결과

3.3.1 방전전류펄스와 안테나의 시간영역 파형

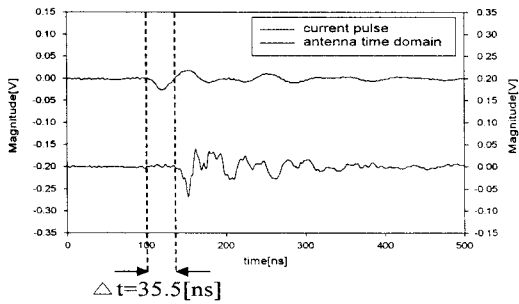
그림 2는 부분 방전시 방전전류 펄스와 안테나에서 받은 전계강도의 시간영역을 오실로스코프로와 active

probe, 동축케이블을 사용하여 안테나와 방전 source 간의 거리를 1[m]로 하여 측정한 것이다. 그림 2의 (a)에서와 같이 15[kV] 일 때부터 방전전류 펄스가 나타나기 시작했고, 그러한 펄스가 나타나고 35.5[ns] 후에 안테나에서도 역시 펄스가 나타나기 시작하였다. 전압이 (b)와 22[kV]로 증가되면 그에 따라 전류펄스의 크기도 증가하고 평균 35[ns] 후에 안테나에서 받는 신호의 크기도 점차 증가하였다. 안테나와 방전 source 간의 거리를 1[m]일 때에는 약 35[ns]의 시간지연특성이 나타났다.

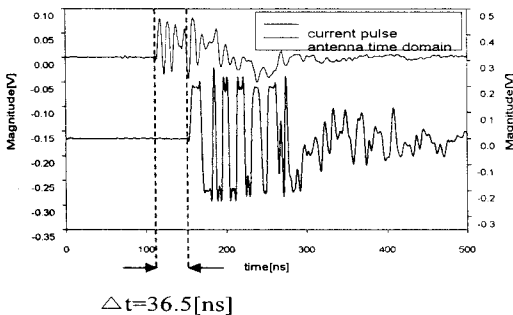
그림 2의 (c)와 같이 인가전압이 24[kV]까지 인가되었을 때에는 SF₆ 가스가 절연파괴 직전의 단계로 방전이 전진되었으며 아크가 발생하기 시작하였다.



(a) 15[kV] 인가시



(b) 20[kV] 인가시



(c) 24[kV] 인가시

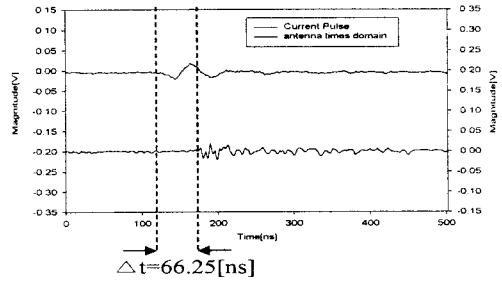
그림 2. 전류펄스와 안테나의 시간영역 파형 (1[m])

fig 2. pulse of current and time domain of antenna (1[m])

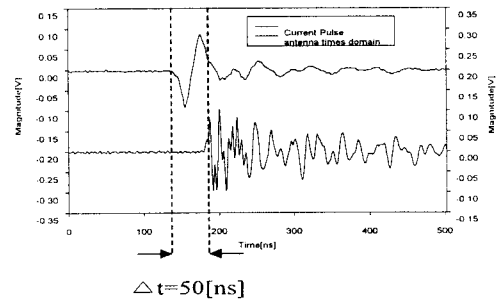
그림 3은 위의 실험과 동일 조건하에 안테나와 방전 source 간의 거리를 5[m]로 하였을 때의 각 인가전압에 따른 전류파형과 방사전자파의 시간영역 파형이다. 그림

2에서와 같이 15[kV]일 때 부분방전 전류 펄스가 가장 먼저 나타나기 시작했으며, 따라서 전압을 각각 20[kV], 24[kV]를 인가하였다. 방전source와 안테나 사이의 거리가 1[m]일 때와는 다르게 방사전자파의 시간 지연특성이 66.25[ns], 50[ns], 54.75[ns]로 나타났다. 방전소스와 안테나사이의 거리가 멀어짐에 따라 측정될 수 있는 방사전자파가 안테나에 도달하는 시간은 거리와 비례가 됨을 알 수 있다.

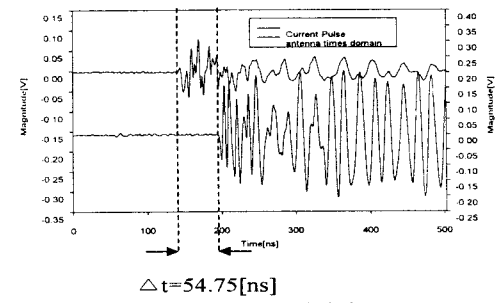
또한 안테나의 시간영역 파형에서 그림 2 보다는 훨씬 그 펄스 수도 많아졌고, 펄스 크기도 증가하였다. 이것은 방전source와 거리가 멀어짐에 따라 다른 전선과 고전압 probe 사이, 전선 접속지점이 안테나의 방사 반경 내에 속하게 되므로 다른 기타 잡음을 낼 수 있는 것들이 많아지게 되어 그 신호의 세기가 1[m]일 때 보다 증가되었다고 사료된다. 또한 이러한 것들이 안테나의 측정 반경이 넓어짐에 따라서 다른 여러 가지 외부 잡음의 영향이 많아진 것으로 고려된다. 즉 안테나와 거리가 멀어짐에 따라 수신 감도는 그렇게 영향을 미치지 않지만 기타 잡음이 많이 측정된다는 것을 알 수 있다.



(a) 15[kV] 인가시



(b) 20[kV] 인가시



(c) 24[kV] 인가시

그림 3. 전류펄스와 안테나의 시간영역파형 (5[m])

fig 3. pulse of current and time domain of antenna (5[m])

3.1.2 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성

그림 4는 측정 주파수 대역에서 주변 노이즈의 주파수 스펙트럼을 측정한 그림이다. 한번의 sweeping time 동안 실험실에서 측정된 기본적인 전계강도는 평균 약 30(dB μ V/m) 정도이고 80~110(MHz) 대역 부분에서는 일반 라디오 방송 주파수 대역이 측정되었다. 따라서 30(dB μ V/m) 이하의 신호는 원래 기본적으로 측정되는 배경잡음이라 생각하고 방전진전시 그 이상의 데이터 값을 고려한다.

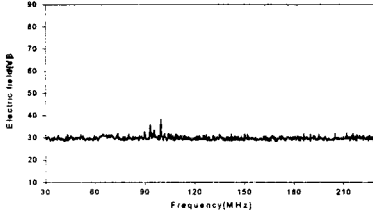
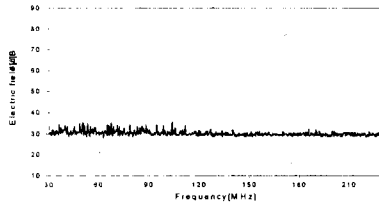


그림 4. 배경잡음 주파수 스펙트럼
fig 4. spectrum of background noise

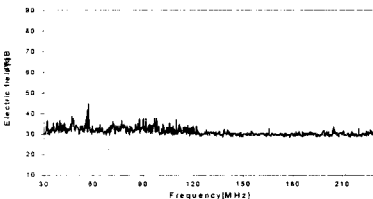
그림 5는 SF₆ 가스 중 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 안테나와 방전 source 간의 거리가 1(m)일 때이며, 5(m)일 때에도 역시 비슷한 주파수 대역을 가졌다. 부분방전 전류펄스가 나타나기 시작하는 15(kV) 때로부터 절연파괴 직전인 24(kV) 때까지의 주파수 스펙트럼을 위의 전류펄스와 동시에 측정하였다.

그림 5에서와 같이 전압이 증가할수록 그에 따른 방사전자파의 신호의 세기가 그림 4의 background noise 보다 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 5의 각 스펙트럼 파형들은 그림 3에서와 같이 방전전류펄스가 나온 후, Δt 만큼의 지연시간 후에 관측이 됨을 알 수 있다.

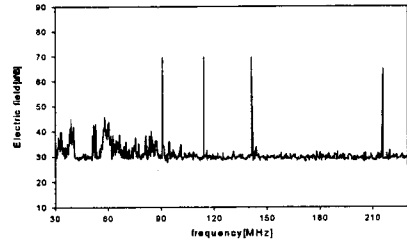
그림 5의 (a)에서는 background noise와는 그렇게 큰 차이는 없지만 다소 30~80(MHz) 사이에서 신호의 세기가 조금 높게 측정되었으며, (b)에서도 조금씩 높아지기 시작하였다. 절연파괴 직전의 단계인 (c)에 가면 40dB 이상의 값이 나오는 영역이 발생하듯 그 신호의 세기는 크게 증가하였다. 방전진전시 방사되는 전자파의 주파수 대역이 수십(GHz) 대역으로 광범위하지만, 본 연구에서 각 스펙트럼 파형의 특징은 주로 30~80(MHz) 영역 사이에서 나타나는 신호의 감도가 제일 민감하게 나타났다. 이것은 안테나의 시간영역 파형에서 pulse의 number, steepness, 펄스의 면적 등과 깊은 관련이 있을 것으로 사료된다.



(a) 15kV 인가시



(b) 20kV 인가시



(c) 24kV 인가시

그림 5. 방사전자파의 스펙트럼 분포
fig 5. spectrum distribution of radiated electromagnetic waves

4. 결 론

SF₆ 가스 중 침대 평판전극에 교류전압을 인가해서 부분방전의 발생과 방전진전에 따른 방사전자파의 시간지연 특성과 주파수 스펙트럼 분포를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

SF₆ 4(atm), 갭 2(mm) 하에서 부분방전이 15(kV) 일때에 발생되며, 이 때에 안테나와 방전 source 간의 거리가 1(m) 일 때에는 전류펄스가 나타나고 33.75(ns) 후, 5(m)일 때에는 66.25(ns)정도의 시간 지연 특성을 가졌다. 여기서 계속 방전이 진전 될수록 1(m) 일 때에는 평균 35(ns)정도이고, 5(m) 일 때에는 57.3(ns) 후에 수신이 되는 것을 알 수 있다. 따라서 거리가 멀어질수록 안테나의 수신 감도에는 그렇게 큰 영향을 받지는 않지만 방사전자파가 안테나까지 수신되는 시간은 거리와 비례가 됨을 알 수 있다.

Spectrum Analyzer에서 측정한 안테나의 주파수 영역은 부분 방전발생초기에는 거의 background noise 와 쉽게 구별되지는 않았지만 역시 방전이 진전될수록 스펙트럼 파형의 크기도 증가하는 것을 알 수 있고, 30~80(MHz) 대역의 신호가 방전진전에 따라서 가장 민감한 반응을 보였다. 이것은 안테나의 time domain 에서 pulse의 number, steepness, 펄스의 면적 등과 깊은 관련이 있을 것으로 사료된다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-001-3)지원으로 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] T.Ueda et al. "Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF₆ Gas from External Noise Using Phase Gate Control Method". IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vol.1, pp117~120, 1996
- [2] T.Hoshino et al. "半波長 ダイポールに 基づい部分放電 による放射電磁波の 考察". T.IEE Japan, V.117-b, No.3, 1997
- [3] 이광식 외 5명, "대기중과 절연체에서 발생하는 방전에 기인한 방사전자파에 관한 연구", 전자파기술 학술대회 논문집, pp101~104, 2000년
- [4] H. Tsutada et al. "GIS内部電磁波の第一波高値と累積波指標を用いた部分放電識別" 電學論B, 120卷 3号, 平成 12年
- [5] C.Beyer et al. "Influence Reactive SF_x Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere". IEEE Trans. pp. 234~240, 2000