

SF₆ 가스중 부분방전시 전계 특징

(The Electric Fields Characteristics of Partial Discharges in SF₆ Gas

김해준* · 박경태 · 박광서 · 이현동 · 김충년 · 이광식

(Hae-joon Kim · Kyung-Tae Park · Kwang-Seo Park · Hyun-Dong Lee · Chung-Nyun 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 SF₆ gas by biconical antenna. This paper describes time delay and electric fields pulse characteristics of radiated electromagnetic waves with distance(1[m], 3[m], 5[m]) between antenna and discharge source.

1. 서 론

산업사회의 발달로 전송전압이 격상하고 있는 추세이며, 도시기능의 고도화 등으로 특정 좁은 지역에서 대용량의 전력이 사용되고 있다. 그러나 전원 및 전력수송설비의 대도시근교로의 입지는 제한되어 발·변전소용 부지의 효율적 사용 및 환경조화를 위해 설비의 축소화, 밀폐화가 불가피하므로 가스절연방식의 compact화, 초고압·대용량화가 요구되어졌다. 이들 기기는 종래의 대기절연방식을 탈피하여 절연성능이 우수하고 불활성을 갖고 안정한 SF₆ 가스를 절연매체로 하여, 활선부를 밀폐하여 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성과 compact한 구조로 사용하고 있다. 그 대표적 전력기기인 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear : GIS)는 40여년 전부터 상업화가 시작된 이래 22kV급에서 765kV급까지 광범위하게 사용되고 있다.^{[1][2]}

이러한 전력기기에 있어서 절연과피 사고의 원인은 제작시의 기포의 존재, 운반·조립시의 기계적 충격에 의한 균열과 장시간 사용에 의한 절연성능 저하에 따른 열화진전 등으로서, 이로 인하여 절연과피의 전구현상인 부분방전 또는 그에 가까운 현상이 발생하게 된다. 부분방전은 절연물에 악영향을 주고 최종적으로 절연이 파괴되어 전력기기에 심각한 사고를 일으키게 된다. 따라

서 이러한 절연사고를 예방하기 위하여 절연과피의 전구현상인 부분방전을 검출하면 사고를 미연에 방지 할 수 있다.^{[3][4]}

부분방전은 전자파·소리·빛·기계적 진동 등을 수반하는 물리적 현상이며^[5], 이러한 관점에서 본 연구에서는 현재 GIS에 가장 많이 사용되고 있는 SF₆ 가스를 이용한 전력설비나 전기기기에 전기적 이상시 발생하는 절연과피의 현상을 침대평판 전극으로 모의하고, 방전 진전에 따른 방사되는 전자파를 Biconical Antenna와 Oscilloscope를 통해 방사되는 전자파의 시간영역 즉 전계파형을 조사하였다. 방전 source와 안테나 사이의 거리를 다르게 하였을 때 각 거리별(1[m], 3[m], 5[m])로 방사전자파의 시간영역을 조사하여 시간지연 특성과 주파수 영역 예측에 대해 분석을 하였다. 따라서 주파수 영역 예측과 전계특성에 대해 조사 함으로서 방전진전에 따른 방사전자파의 상호관계를 고려함으로서 SF₆ 가스 중 부분방전의 검출과 방전진전 상태의 예측이 가능함을 확인하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

가압용 모의 GIS 챔버에 우선 로터리 펌프(Rotary Pump)를 사용하여 어느 정도의 진공상태로 유지한 후, SF₆ 가스를 4기압 이상 넣어주

었다.

부분방전의 발생에서 절연과피까지를 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. 가스챔버내에서 방전 진전시 방사되는 전자파를 이러한 고주파 안테나로 측정하는 경우 전기적 검출에 있어서 감도, S/N(Signal/Noise)비의 관점에서 우수한 고주파 안테나 센서를 부분방전 검출에 이용하는 방법으로 스펙트럼을 측정하여 S/N비가 뛰어난 주파수를 선정한다면 현장에서 10[pC]정도, 양호한 경우 (공기 중 코로나 방전이 작은 경우)에는 수 pC의 부분 방전을 검출할 수 있다.

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.

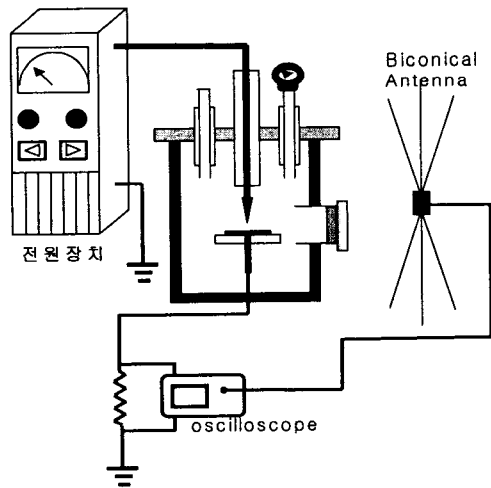


그림 2-1. 실험장치도

Fig 2-1. setup of experiments

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

그리고 안테나를 Oscilloscope에 연결하여 안테나에서 측정할 수 있는 전자파를 시간영역으로 측정·분석하였다. 방전 source와 안테나사이의

거리를 각각 1[m], 3[m], 5[m]로 하여 거리에 따른 전자파의 시간지연특성을 조사하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 방전source와 안테나 사이 1[m]일 때

그림 3-1의 (a), (b), (c)는 각각 전압인가에 따른 부분방전 전류 펄스와 방사전자파의 시간영역을 방전원과 안테나 사이 거리를 1[m]로 하여 Oscilloscope를 통해 측정을 한 것이다.

SF₆ 가스중의 방전의 형태는 streamer형과 leader형이 공존하여 개개의 방전형태는 챔버내 가스의 압력, 전압, 전극의 모양에 따라 변하며, 급준한 펄스를 야기한다. SF₆ 가스의 streamer 진전에 필요한 전계치는 공기중에 비해 상당히 높게 측정되는데 그 이유는 SF₆ 가스는 전기적으로 강한 부성기체이기 때문에 부이온을 생성하는 것이 가능하기 때문에 외부전계를 상충하여 약화시킬수 있으므로 이에 의해서 코로나 방전 내부에는 높은 전계강도를 유지할 수 있는 것으로 생각되고, 이 작용에 의해서 코로나 방전의 외부측 전리되지 않는 가스 공간에 대해서는 전계가 비교적 낮은 값으로 머무른다. 이것으로 인해 SF₆ 가스중에서는 방전 진전에 보다 높은 전압이 필요한 것이다.

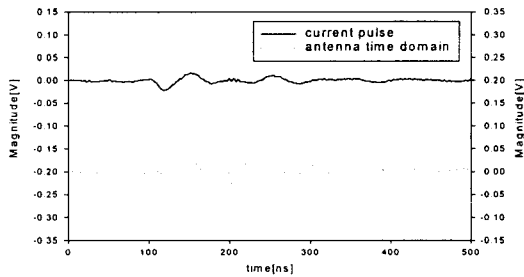
그림 4-1의 (a)에서 SF₆ 가스 내에 침대 평판 전극간 갭 2[mm]에서 최초의 부분방전 전류펄스가 15[kV] 때에 발생하여 그때의 전자파의 시간영역을 동시에 측정하였다. 15[kV] 때에 전류펄스가 나타나고 난 후 약 35.75[ns] 뒤에 전계 펄스가 관찰되었다.

(b)에서는 인가전압이 20[kV]일 때의 전류 펄스와 전계 펄스 파형이다. 역시 전류 펄스가 관찰되고 나서 약 35.5[ns]후에 전계 펄스가 관찰되었다. (a)에서 15[kV]일 때부터 20[kV]까지는 전류펄스와 전계 펄스 크기의 변화가 거의 없었다.

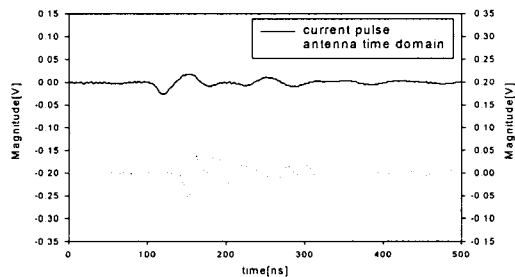
그림 4-1의 (c)에서 25[kV]일 때에는 한 두 번의 아크가 발생하기 시작했으며 이때에 전류 펄스와 전계 펄스의 Steepness가 상당히 급격해졌다. SF₆ 가스가 아크 성능회복이 빠르므로 아크 방전은 측정되었지만 완전히 절연과피 되지는 않았다. 이 때에도 역시 방전 전류펄스가 나타나고 약 36.5[ns]후에 전계 펄스가 측정이 되었다.

또한 이러한 지연 시간으로 만약 방전 소스에서부터 거리를 다르게 하여 안테나를 2군데 배치한다면 이러한 지연시간으로 방전 소스의 위치를 간단하게 추정하는 것이 가능할 것이다.

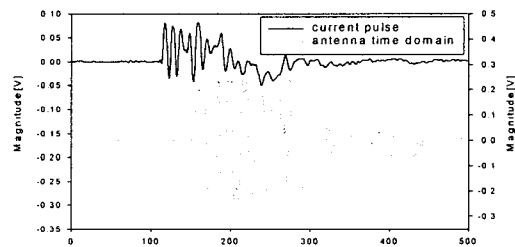
방전이 진전될수록 전계 펄스에서 펄스의 steepness가 급격해지며, 한 펄스에 대한 폭이 매우 짧아지고, 펄스의 개수도 많아짐을 알 수 있다. 방전초기, 즉 그림 4-1의 (a)에서처럼 방사전자파의 시간영역에서는 펄스의 개수도 적으며, steepness도 완만하며, 방전 진전시에 비해 펄스 폭이 커지게 되는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 방전초기에는 방사전자파의 주파수 영역이 고주파 영역을 가지지만 방전이 진전되면서 차츰 주파수 범위가 넓어지게 됨을 알 수 있다. 또한 그림 4-1의 (c)에서와 같이 아크 방전으로 진전되는 경우에는 펄스의 개수도 많아지며, 펄스 폭도 매우 짧고, steepness 역시 매우 급격히 나타나는 것으로 보아 주파수 범위는 여러 영역에서 나타날 것이다.



(a) 15[kV] 인가시



(b) 20[kV] 인가시



(c) 24[kV] 인가시

그림 3-1. 방전 전류 펄스와 방사전자파의 시간영역(1[m] 일 때)

Fig. 3-1 Pulse of Discharge Current and Time Domain Electromagnetic Fields (within 1[m])

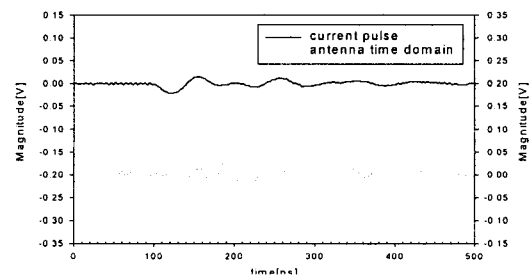
3.2 방전 source와 안테나 사이 3[m]일 때

그림 3-2의 (a), (b), (c)는 각각 전압인가에 따른 부분방전 전류 펄스와 전계 펄스를 방전원과 안테나 사이 거리를 3[m]로 하여 Oscilloscope를 통해 측정을 한 것이다.

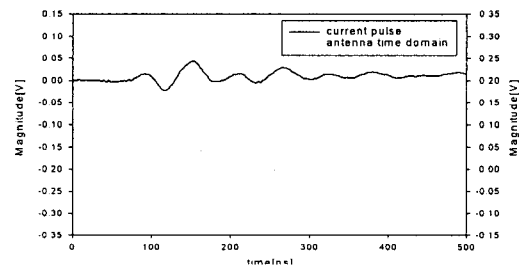
그림 3-2의 (a)에서처럼 SF₆ 가스 내에 침대 평판 전극간 갭 2[mm]에서 15[kV] 때에 전류 펄스가 나타나고 난 후 약 41.25[ns] 뒤에 방사전자파의 시간영역 펄스가 관찰되었다.

(b)에서는 인가전압이 20[kV]일 때의 전류 펄스와 전계 펄스 파형이다. 역시 전류 펄스가 관찰되고 나서 약 45.5[ns] 후에 전계 펄스가 관측되었다. (a)에서 15[kV]일 때부터 20[kV]까지는 전류펄스와 전계 펄스의 크기가 그렇게 크게 변하지는 않았으나 1[m]일 때와 비교하여 다소 최초로 나타나는 펄스의 크기가 줄었다. 방전 소스에서부터 안테나의 거리가 조금 멀어짐으로 방사전자파의 감쇄가 발생하였다는 것을 의미한다.

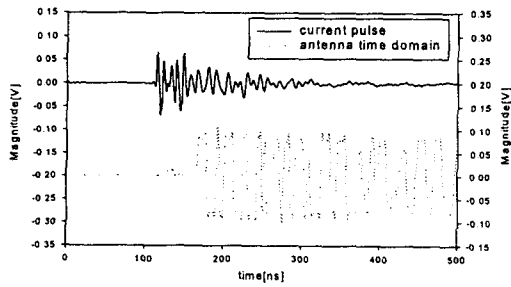
방전 소스에서부터 거리가 증가됨에 따라 앞의 1[m]와 비교하여 수신 반경이 넓어지므로 주변 노이즈 성분을 더욱 많이 포함될 수 있는 점을 착안하면, 순수하게 방전에 의해 방사되는 전자파 성분에 노이즈 성분이 더욱더 많아지게 된다. 이러한 것은 방전 소스에서부터 거리가 3[m]일 때보다 더욱 멀어지게 되면 노이즈 성분이 훨씬 더 많아지게 되는 것을 예측 할 수 있다.



(a) 15[kV] 인가시



(b) 20[kV] 인가시



(c) 24[kV] 인가시

그림 3-2. 방전 전류 펄스와 방사전자파의 시간영역(3[m] 일 때)

Fig. 3-2 Pulse of Discharge Current and Time Domain Electromagnetic Fields (within 3[m])

3.3 방전 source와 안테나 사이 5[m]일 때

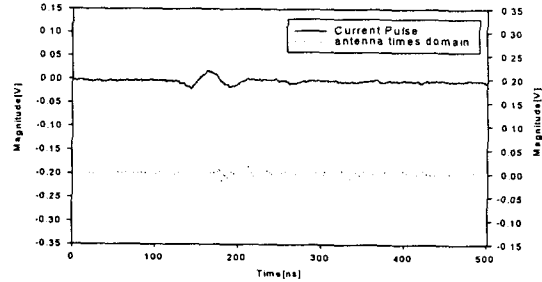
그림 3-3의 (a), (b), (c)는 각각 전압인가에 따른 부분방전 전류 펄스와 전계 펄스를 방전원과 안테나 사이 거리를 5[m]로 하여 Oscilloscope를 통해 측정을 한 것이다.

그림 3-3의 (a)에서처럼 SF₆ 가스 내에 침대 평판 전극간 갭 2[mm]에서 15[kV] 때에 전류 펄스가 나타나고 난 후 약 66.25[ns] 뒤에 방사전자파의 시간영역 펄스가 관찰되었다. 방전 소스에서 부터 거리가 멀어짐에 따라 전류 펄스가 나타난 뒤 1[m]에 비해 시간이 다소 많이 지연된다는 것을 알 수 있다. 또한 앞의 경우와 비교해 보면 전계 파형에서 그 크기가 줄어든 것으로 보아 거리가 멀어짐으로서 부분방전에 의한 방사전자파의 감쇄로 인한 것이다.

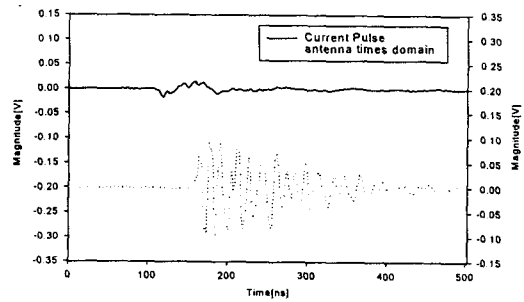
(b)에서는 전류 펄스가 관찰되고 나서 약 55.5[ns] 후에 전계 펄스가 관측되었다. 20[kV]일 때에는 전류펄스의 크기가 앞의 경우와 비슷하게 관측되었으나, 전계 펄스의 크기가 커졌다는 것을 알 수 있다. 거리가 멀어짐으로서 감도가 줄기 때문에 크기가 줄어야 하지만, 방전 소스에서 부터 거리가 5[m]이므로 여러 가지 기타 잡음을 낼 수 있는 것들이 안테나의 측정범위 내에 속하게 되므로 앞의 경우와는 다르게 20[kV]에서부터 다른 기타 노이즈 성분들이 많이 관측된다.

그림 3-3의 (c)에서 25[kV]일 때에는 한 두 번의 아크가 발생하기 시작했으며 이때에 전류 펄스와 전계 펄스는 급증하기 시작하였다. 이 때에도 역시 방전 전류펄스가 나타나고 약 55.75[ns] 후에 방사전자파가 측정이 되었다. 아크 방전으로 진전되는 경우에는 여러개의 급준한 펄스를

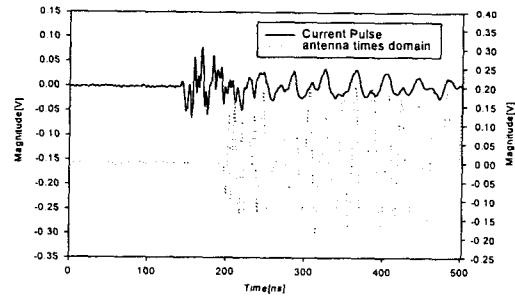
관측할 수 있으며, 따라서 이러한 급준한 펄스로 인해 고주파 영역으로 넓은 주파수 분포를 가질 것으로 예측된다.



(a) 15[kV] 인가시



(b) 20[kV] 인가시



(c) 24[kV] 인가시

그림 3-3. 방전 전류 펄스와 방사전자파의 시간영역(5[m] 일 때)

Fig. 3-3 Pulse of Discharge Current and Time Domain Electromagnetic Fields (within 5[m])

4. 결 론

본 논문은 현재 전력기기의 절연가스로 사용되고 있는 SF₆ 가스 하에서 부분 방전을 모의하여 안테나를 사용하여 부분방전시 방사되는 전자파를 측정, 분석하였다.

SF₆ 4기압 하의 갭 2[mm]에서 부분 방전시 부

분방전 전류 펄스와 전자파의 시간영역, 즉 전계 파형을 바이코니컬 안테나를 이용하여 측정하고, Spectrum Analyzer에서 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 방전 소스와 안테나 사이 거리가 1[m]일 때
부분 방전 전류 펄스가 측정되고 난 후, 약 35[ns] 뒤에 안테나에서 전계펄스가 관측되었다.

방전초기, 전계펄스에서는 펄스의 개수도 적으며, steepness도 완만하며, 방전 진전시에 비해 펄스 폭이 커지게 되는 것을 알 수 있다. 이것으로부터 방전초기에는 방사전자파의 주파수 영역이 고주파 영역을 가지지만 방전이 진전되면서 차츰 주파수 범위가 넓어지게 됨을 알 수 있다.

② 방전 소스와 안테나 사이 거리가 3[m]일 때
부분 방전 전류 펄스가 측정되고 난 후, 약 45[ns] 뒤에 안테나에서 전계펄스가 관측되었다.

즉, 방전 소스와 안테나사이 거리가 멀어짐으로서 방사전자파의 지연시간이 더 길어진다는 것을 알 수 있다.

③ 방전 소스와 안테나 사이 거리가 5[m]일 때
부분 방전 전류 펄스가 측정되고 난 후, 약 57[ns] 뒤에 안테나에서 전계펄스가 관측되었다.

지연시간은 더욱 길어졌지만 잡음의 영향이 더욱 더 심하게 나타난다. 거리 3[m]일 때 보다 더욱 많은 잡음 요인들이 안테나 수신 반경 내에 속하게 됨을 알 수 있다.

④ 방전이 진전될수록 전계 펄스에서 펄스의 steepness가 급격해지며, 한 펄스에 대한 폭이 매우 짧아지고, 펄스의 개수도 많아짐을 알 수 있다. 따라서 주파수 범위를 예측하면 고주파 영역으로 넓게 나타남을 알 수 있으며, 아크로 진전시에 나타나는 급준한 펄스 역시 고주파 영역을 가질 것이다. 방전초기, 방사전자파의 시간영역에서는 펄스의 개수도 적으며, steepness도 완만한 것으로 미루어 보아 주파수 영역은 다소 낮은 고주파 영역으로 나타날 것이다.

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2000-000245)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, pp117~121, 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, No3, 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波高値と累積波形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 Electrode Surfaces after Electrical Discharge under S Atmosphere". IEEE Trans. pp. 234~240, 2000