

SF₆ 가스 중 부분방전 진전에 따른 방사전자파와 방전전류의 상관관계

(Mutual Relation between Radiation Electro-Magnetic Wave and PD Current with PD Progress in SF₆)

윤대희* · 도영희* · 이상근** · 송현직*** · 김종현* · 이광식*

(D.H. Yoon* · Y.H. Do* · S.K. Lee** · H.J. Song*** · J. H. Kim* · K.S. Lee*)

*영남대학교, ** (주)아쿠스, *** 영남이공대학

Abstract

산업현장에서 많이 사용되고 있는 전력기기에 결함이 발생하면 치명적인 사고로 진전되어 큰 경제적, 인적 손실을 가져온다. 본 논문은 GIS에 사용되는 절연가스인 SF₆의 압력 변화에 따른 부분방전을 모의하고, 발생되는 부분방전 신호를 절연 진단 방법 중 하나인 UHF법을 이용하여 부분방전 시 방사되는 방사전자파의 스펙트럼을 분석하고, 접지로 흐르는 방전 전류를 측정하여 방전진전 과정을 관측하였다. 본 연구는 GIS 및 SF₆ 가스를 절연물로 사용하는 전력설비에서 내부압력 변화 시 금속이 물질에 의해 발생하는 절연과피 사고의 예방진단에 유용한 자료가 되리라 판단된다.

1. 서 론

전원 및 전력수송설비의 대도시 근교로의 입지가 제한되어 발·변전소용 부지의 효율적 사용 및 환경조화를 위해 설비의 축소화, 밀폐화가 불가피하므로 compact한 초고압·대용량 전력기기의 사용이 확대되고 있다. 이들 기기는 종래의 대기절연 방식을 탈피하여 절연능력이 우수하고 불활성을 갖는 안정한 SF₆ 가스를 절연매체로하여, 환선부를 밀폐하여 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성을 가지게 되었다. 그 대표적인 전력기기인 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear : GIS)는 40여년 전부터 상업화가 시작되어 현재 765kV급까지 광범위하게 사용되고 있다.^[1]

또한 정보산업 등의 발달로 인하여 전력의 수요가 증가하고, 보다 안정적인 전력 공급이 필요하게 되었다. 전력설비의 고장에 따른 전력공급 장애로 인한 사회적인 영향이 크고, 또한 복구에 많은 시간과 경비가 소요된다. 따라서 보다 안정적이고 신뢰도 높은 전력을 공급하기 위해 전력설비 및 기기의 유지와 보수를 통한 전기적 사고를 미연에 방지할 수 있는 진단기술을 필요로 하게 되었다.

이러한 상황에서 GIS를 포함한 전력기기의 안정성 확보를 위한 절연진단 기술이 개발되고 있다. 그 예로 X선 조사에 의한 감도의 대폭적인 향상, UHF 대역의 방사전자파 측정에 의한 S/N비

(Signal/Noise Rate) 향상 등의 기술이 GIS 부분방전 측정에 이용되고 있다.^[2]

본 논문에서는 모의 GIS 챔버내에 금속이물질을 인위적으로 만들어 넣고 챔버내부의 압력변화에 따라 발생하는 부분방전 현상을 방사전자파 및 방전전류를 측정을 통하여 방전진전 과정을 분석하였다. 특히, 광범위한 대역에서 발생하는 방사전자파 중에서 부분방전 발생 초기부터 변화가 나타나는 30[MHz]~80[MHz] 대역의 방사전자파 측정에 의해 SF₆ 가스의 방전 특성을 측정 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

GIS 내부에 금속이물질이 존재할 경우, GIS 내부에서 발생하는 부분방전을 탐지하기 위해서 모의 GIS 챔버를 그림1과 같이 제작하였다. 챔버 내부 직경은 200mm이며, 내부 깊이는 340mm로 된 원통형이고, 고전압 인가 전극은 스테인레스 재질로 길이 270[mm], 직경 50[mm]의 원통형이다. 인가 가능한 최대 전압은 200[kV]이고, 전극간 거리는 3~50[mm]까지 변화가 가능하다.

챔버의 한쪽은 방사전자파를 잘 통과시키는 테프론 재질로 창을 만들어 전자파의 감쇄를 최소화하여 안테나에서 방사전자파를 측정하기 용이하도록 하였다. 또한 다른 쪽은 챔버내의 금속이물질

거동을 관찰할 수 있도록 하기 위하여 투명한 아크릴로 창을 만들었다. 그리고 챔버 내부에서 부분방전이 발생할 수 있도록 결합을 모의하기 위해 길이 1[mm], 지름 0.75[mm]의 금속이물질(스테인레스 스틸) 10개를 인위적으로 만들어 넣었다. 전원 인가부인 원통전극과 챔버 바닥면과의 거리는 20[mm]이다.

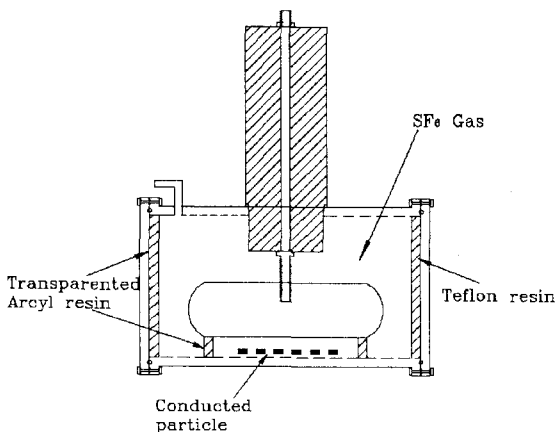
금속이물질이 방전진전에 따라 원통형 전극을 벗어나지 않도록 하기 위해 원통형 전극의 양쪽에 투명 아크릴로 스페이서를 설치하였다.

모의 GIS에서 방사되는 방사전자파를 측정하기 위한 안테나는 EMI-EMC 측정용 안테나(30[MHz] ~ 2[GHz])를 사용하였고, 전자파 발생원으로부터 1[m] 거리에 안테나를 설치하였다.

2.2. 실험방법

그림1과 같이 모의 GIS 챔버에 SF₆ 가스가 각각 3, 4, 5기압 일때 45[kV]까지 고전압을 인가하여 실험하였다. 전압원은 교류 고전압(Input : AC 380V 60Hz, Output: AC 300kV 120mA)을 사용하였으며 부분방전의 발생에서 방전진전에 따라 방사되는 전자파 스펙트럼을 측정하기 위해 EMI-EMC 측정용인 BiConiLog 안테나(EMCO model 3142) 및 스펙트럼 분석기 (Advantest - R3131A)를 이용하여 측정하였다. 스펙트럼 아날라이저로 측정된 데이터는 500개이고 데이터 취득 방법은 신호의 정의 값을 sweep time 1초로 30회 측정한 Max Hold 값을 취득하였다.

방전진류는 챔버 외함 접지측에 무유도저항 50 [Ω]을 접속하여 Oscilloscope(LeCroy LT372)로 측정하였다.



(최대 가압 가능 압력 10기압)

그림1. 모의 GIS 챔버

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서 사용된 EMI-EMC 측정용 안테나의 측정 가능 주파수 대역(30[MHz]~2[GHz]) 중 에서 30[MHz]~80[MHz] 대역에서 배경잡음(그림 2)과 확연히 구분되는 방사전자파가 측정되었다. 또한, 각 인가전압에서의 방전전류를 측정한 결과를 그림3, 4, 5, 6에 나타냈다. 전류파형은 각 기압의 변화에 따라 분별이 불가능할 정도로 차이가 없으므로 각 인가전압에 따른 대표파형 하나만 나타낸다.

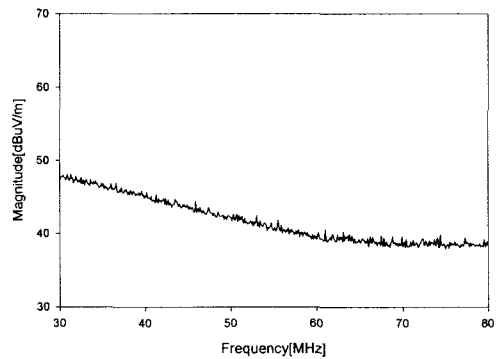
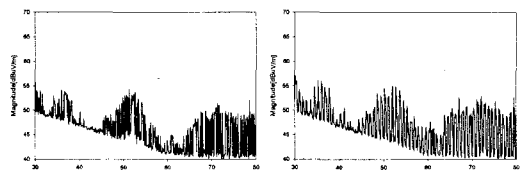
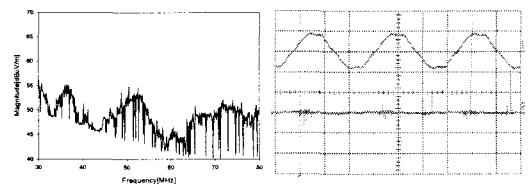


그림2. background noise



(a) 3기압 방사전자파

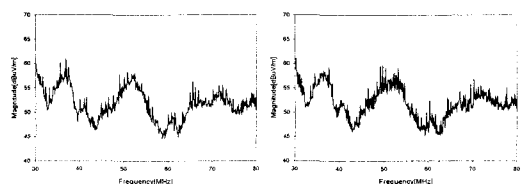
(b) 4기압 방사전자파



(c) 5기압 방사전자파

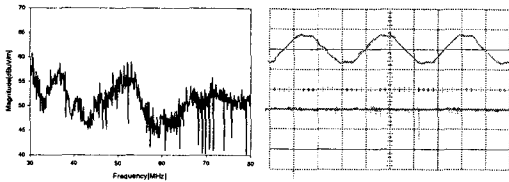
(d) 방전전류 파형

그림3. 25[kV] 인가시 방사전자파 및 방전전류

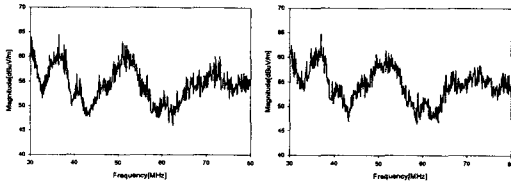


(a) 3기압 방사전자파

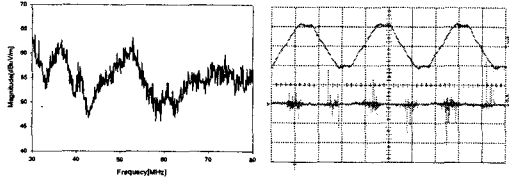
(b) 4기압 방사전자파



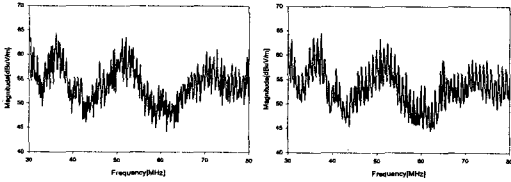
(c) 5기압 방사전자파 (d) 방전전류 파형
 그림4. 30[kV] 인가시 방사전자파 및 방전전류



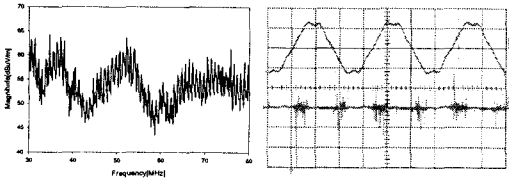
(a) 3기압 방사전자파 (b) 4기압 방사전자파



(c) 5기압 방사전자파 (d) 방전전류 파형
 그림5. 40[kV] 인가시 방사전자파 및 방전전류



(a) 3기압 방사전자파 (b) 4기압 방사전자파



(c) 5기압 방사전자파 (d) 방전전류 파형
 그림6. 45[kV] 인가시 방사전자파 및 방전전류

챔버 내부 SF₆ 가스의 기압을 3, 4, 5기압으로 변화시키며 각 인가전압에 의한 방사전자파를 측정된 결과, 배경잡음과 구분되는 방사전자파가 측정되기 시작하는 전압은 25[kV]였다.

챔버내에 인위적으로 만들어 넣은 금속 이물질은 3가지 기압에서 각각의 인가전압에 따라 거의 동일한 움직임을 보여 주었다. 무질서하게 놓여 있

던 금속 이물질이 25[kV]전압에서 수직으로 정렬하였고, 30[kV]에서는 1~2개 정도가 직립하였고, 35[kV]에서는 모든 금속이물질이 직립하였다. 또, 40[kV]에서는 미세한 유동이 관찰되었고, 45[kV]에서는 심하게 유동하면서 부상하여 원통형전극에 부착하는 금속이물질도 관찰되었다. 또한 30[kV] 이상의 인가전압에서 챔버내의 금속이물질들이 전계에 의해 직립하여 전극 갭을 줄여주는 역할을 함으로써 전계강도가 급격히 증가함을 볼 수 있다.

전류 파형을 비교해 보면 인가전압이 상승 할수록 접지측 저항을 통해 흐르는 방전전류 크기 역시 증가하고, 위상각이 점차 증가함을 알 수 있다. 그러나 방사전자파가 25[kV]에서 측정되기 시작한 반면 방전전류는 18[kV]에서부터 측정되기 시작하였다.

또한, 스펙트럼 아날라이저에서 측정된 방사전자파 파형이 SF₆ 가스 압력의 변화(3, 4, 5기압)에 따라 크게 차이가 없듯이, 전류 파형도 각각의 압력에서 큰 차이는 없었다.

그림7은 각 기압별로 인가전압에 따른 평균전계강도를 나타내고 있다. 챔버내부의 압력이 증가할수록 전계강도는 커지지만, 거의 유사한 값을 보이고 있다. 이것은 GIS 챔버의 전극간 갭이 짧기 때문에 SF₆ 가스 중에서 발생하는 부분방전이 압력의 영향보다 간극의 영향이 더 크게 작용하기 때문이라 생각된다.

표1은 각각의 기압 하에서 발생하는 방사전자파 중에서 52[dBuV/m]이상의 크기를 가지는 갯수를 비교해 본 결과를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 그림7에서 45[kV]에서의 평균전계강도가 40[kV]보다 작게 나타나는 이유는 45[kV]에서는 큰 방전보다 작은 방전들이 많이 일어나기 때문이라 생각된다.

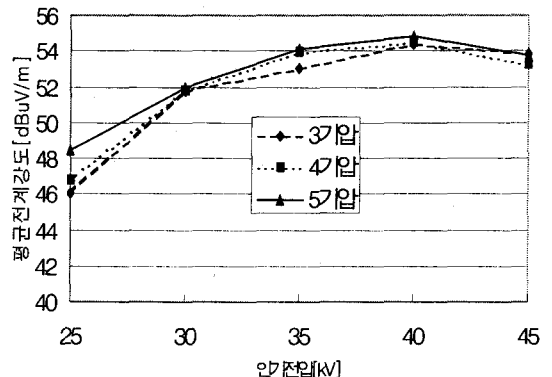


그림7. 인가전압에 따른 평균전계강도

표1. 52[dBuV/m]이상의 크기를 가지는 갯수

	3기압	4기압	5기압
40[kV]	372	384	393
50[kV]	340	310	327

이상의 실험 결과로부터 챔버내의 금속이물질이 인가전압에 따라 전계에 의해 직립 부상하여 gap 간극을 줄이고, 전계 집중부로 작용함으로 전극사이에서 미소 방전을 일으켜 SF₆의 절연내력은 현저히 떨어진다고 생각된다. 또한, 챔버의 내부 압력을 증가시키면 절연내력은 증가하지만, 전극 갭이 짧은 경우는 가스 압력이 크게 영향을 미치지 않았다.

4. 결 론

본 논문에서는 GIS의 고장 원인 중 하나인 내부 금속이물질 존재를 모의하고, GIS 챔버 내부의 SF₆ 절연가스의 압력변화에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성 및 방전전류 특성을 연구하였다. 그 결과 방사전자파는 인가전압 25[kV]에서, 방전전류 파형은 18[kV]에서 최초로 관측되었다.

부분방전에 의해 발생하는 방사전자파의 광범위한 대역 중에서 30[MHz]~80[MHz] 대역의 전자파를 측정하여 비교적 방전진전 과정의 초기에 부분방전을 탐지 할 수 있다는 것을 확인하였다. 또한 절연가스의 압력이 증가할수록 절연내력은 증가하지만, 갭 간극이 짧은 경우는 그 영향력이 미약함을 확인할 수 있었다.

이 연구는 SF₆ 가스를 이용한 전력설비의 절연 진단에 유용하게 사용되리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 電氣學會 超傳導 マグネット 調査 専門 委員會 “超傳導 電力機器의 開發 動向”, 電氣學會 技術報告(II部), 第192号 (昭 60-7)
- [2] H. Okubo, et “Electromagnetec Spectrum Radiated from Gas Discharge and its Relation to Partial-Discharge Characteristics” ETEP Vol.7, No.1. 1997
- [3] 김기재, 이광석, 이동인, 방사전자파에 의한 미소간극 방전원의 방전 전류 파형 추정, 한국전자파학회 논문지, Vol. 11, No. 1, 2002. 2월.[2] S
- [4] 이상훈 외 6인, 방사전자파 특성을 이용한 부분방전 검출의 기초연구, 대한전기학회 논문지 제49권 제7호 pp.412~417, 2000년 7월30일
- [5] Hikita, M, Hoshino, T. Kato, K. Hayakawa, N. Ueda, T, Okubo, H, “Discrimination of partial discharge electromagnetic signal in SF6 gas from external noise using phase gate control method”,