

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 방전진전에 따른 방사전자파 특성

*박광서,*윤대희,*이현철,**김이국,***이동현,*김기재,*이광식
*영남대학교, **경일대학교, ***구미대학교

Characteristics of Radiated Electromagnetic Waves with discharge propagation in Model GIS being Insulation Particle

*K.S. Park, *D.H. Yoon, *H.C. Lee, **L.K. kim, ***D.H. Lee, *K.C. Kim, *K.S. Lee
*Yeungnam University, *Kyungil University, *Kumi College

Abstract - In this paper the imitated electric defect was simulated by insulation particle in the model GIS. This paper studied the distribution of frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves using antenna (30~2,000[MHz]) and spectrum analyzer.

From results of this study, a new method was introduced for measurement and analysis of the radiated electromagnetic waves in accordance with discharge progress of each defect in the model GIS.

It was confirmed that detecting partial discharge and estimating discharge progress can be possible in the model GIS.

제 GIS의 버스 바 모양을 모의하기 위해 원통형 바닥 위에 원통형 전극을 사용하였으며 원통형전극의 끝부분은 전기적 집중을 없애기 위해 반원형으로 처리하였다. 원통형 전극과 바닥과의 거리는 3[mm]~50[mm]까지의 조정이 가능하다.

모의 GIS의 한쪽부분은 내부 방전의 현상 관측을 용이하게 하기 위해 투명 아크릴를 이용하여 제작하였고 다른 한쪽 부분은 방사전자파의 투과가 다른 절연물에 비하여 감쇄가 적은 테프론을 이용하여 제작하였다.

SF₆ 가스를 주입하기 전에는 가스 챔버의 내부를 청소하고 로타리 펌프(Rotary Pump)를 사용하여 약 10⁻⁴[Torr]까지 진공을 시킨 후 모의 GIS 내부에 불순물이 없도록 조치 후 SF₆ 가스를 주입하였다.

원통형 바닥면과 모의 버스바 사이에 유전체 파티클을 놓아두었으며 gap 거리는 5[mm]이다.

1. 서 론

가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작된 이래 22kV급에서 765kV급까지 광범위하게 사용되고 있다. 따라서 GIS를 포함한 전력기기의 안정성 확보를 위한 절연진단 기술이 최근 발전되어가고 있다. 전기적 사고의 전기현상인 부분방전 검출의 한가지 방법으로 방사전자파에 의한 절연진단은 고전계가 집중된 곳에서 발생하는 부분방전펄스에 기인한 전자파를 비접촉센서인 안테나로 포착하여 주파수 영역에서 방사잡음의 스펙트럼을 분석하여 이상유무를 판정하는 것이 있다. 지금까지 전력설비내·외에서 모의 방전과 실험장에서의 적용 사례는 많지 않지만, 고전압설비 및 전력기기에서 주로 이 진단방법이 많이 연구되고 있다. 특히 GIS, 모의 송전선, 회전기, GIL 및 변전소 등 여러 분야에서 방사전자파에 의한 주파수영역에서의 절연진단 연구 사례를 볼 수 있으며, 그 중 기체절연체의 절연열화에 의해 발생하는 방사전자파에 대한 연구는 아직 미미한 실정이다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 현재 SF₆ 가스를 이용한 고압가스 절연개폐장치(GIS)에서 발생할 수 있는 다양한 전기적 이상 중에 내부의 유전체 파티클 존재시를 모의하였다. 각각 모의한 전기적 이상의 진전에 따른 방사전자파를 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정 분석하였다. 이렇게 측정된 데이터를 분석함으로써 부분방전의 발생과 방전진전 과정을 판단하려 하였다.

이러한 연구는 현장 GIS 및 SF₆ 가스절연 전력설비의 전기적 신뢰성 확보를 위해 고감도 UHF 안테나 센서 개발 및 UHF 범을 이용한 절연진단 시스템 개발에 중요한 역할을 할 것으로 사료된다.

2. 실험장치 및 방법

그림 2.1은 본 실험을 위해 설계 제작한 실험용 모의 GIS의 개략도와 사진이다. 모의 GIS의 최대 인가전압은 200[kV]이고 최대 압력은 10 기압까지 압력 상승 및 압력유지가 가능하도록 제작하였다. 실제 실험에서는 모의 GIS의 내부 압력은 4기압을 유지하였다. 또한 실

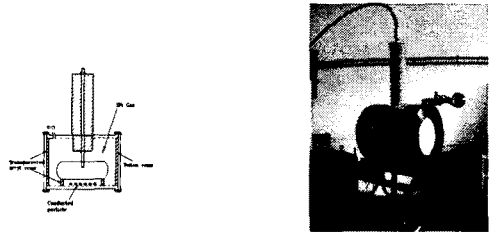


그림 2.1 모의 실험용 GIS의 개략도와 실물 사진

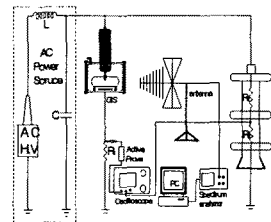


그림 2.2 실험장치의 개략도

그림 2.2는 실험 장치의 개략도와 사진이다. 점선 부분은 전원부분으로 교류 고전압을 사용하였다. 또한 입력 고전압을 측정하기 위해 분압기를 사용하였다.

R₁(50Ω)은 방전진전에 따른 부분방전의 전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 전류 파형의 측정은 Digital Oscilloscope(Lecroy 9350AL)와 미소전류를 측정하기 위해 증폭기가 내장된 Active probe를 사용하였다.

그리고 방전진전에 따라 방사되는 전자파의 측정과 분석을 위하여 EMI, EMC 측정용인 BiConiLog 안테나(EMCO3142) 및 스펙트럼 분석기 (Advantest

R3131A)를 이용하였다.

본 연구의 실험방법은 먼저 전압 인가속도를 약 1[kV/sec]의 속도로 일정하게 상승하여 전극간의 절연파괴전압은 5회 측정하여 평균한 전압 값을 구하였다. 각각 GIS 결합에 따른 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연 파괴 되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 3[kV]씩 상승인가 후, 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용한 다양한 기초실험을 통해 모의 GIS 내부에 부분방전 발생 및 진전에 따른 방사전자파의 측정에 유리한 안테나의 최적 측정주파수, 방사전자파 측정방법, 데이터 취득방법 등을 설정 후 실험을 행하였다.

방사전자파의 주파수 스펙트럼을 측정된 데이터를 스펙트럼 분석기에서 GPIB로 데이터를 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이 때 전극 중심부와 안테나 사이의 거리는 방사전자파의 감쇄특성 및 실험상 안전거리등을 고려하여 1[m]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전계강도를 측정하기에 유리하도록 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

본 실험에서 30~2000[MHz] 대역의 안테나를 이용하여 다양한 방법으로 관측한 결과 30~300[MHz] 대역과 300~1000[MHz] 대역을 나누어 데이터를 취득함이나 부분방전의 발생과 진전을 구분함이 유리하다고 판단되어 2가지 대역으로 나누어 방사전자파를 측정 분석하였다.

또한 실제 전력설비의 절연진단에 응용하기 위해서 노이즈가 존재하는 일상의 공간에서 부분방전시 방사전자파를 측정 분석하여 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 연구함이 필요할 것이다. 그러므로 방사전자파 측정시 주변환경의 기저 외부 잡음을 측정하여 방사전자파의 분석에 적용하고자 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 3.1은 안테나 인자를 고려한 측정주파수 대역에서 주변 노이즈의 전계강도를 측정한 그림이다.

그림 3.1의 (a)와 (b)에서 표시한 부분에 라디오와 TV 방송주파수 대역의 신호가 잘 나타나고 있다. 본 실험에서는 이러한 대역에서 부분방전 신호와 노이즈 신호 구별의 오류를 고려하기 위해 80~110[MHz], 180~190[MHz], 860~900[MHz]의 대역에서 방전진전에 따른 방사전자파의 신호를 무시하도록 하였다.

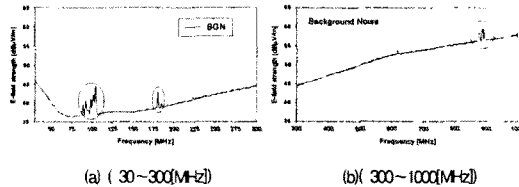


그림 3.1 주변 배경잡음

1회 측정된 데이터는 500개이고 데이터 취득 방법은 신호의 정의 값을 sweep time 5초 동안 10회 측정된 평균값을 취득하였다. 데이터 취득시간 50초간 실험실 주변의 기기에서 Switching 동작(on, off)이 발생하지 않도록 하였다. 그 밖의 미약한 노이즈 신호는 본 실험의 데이터 취득방법으로 제거가 가능하였다. 만약 스위칭 동작에 의해 주변에 불요 노이즈가 침입하더라도 불요 노이즈는 특히 강도가 크며 주기성을 갖지 않는 일회성의 신호임을 알 수 있어 부분방전 신호와 쉽게 구별되므로 다시 실험을 하여 데이터를 취득하였다.

본 실험에서 gap 간에 완전 절연파괴가 발생하는 평균절연파괴전압(이하 V_B)은 약 41[kV] 정도이다.

그림 3.2에서 14[kV]인가부터 최초의 부분방전 신호라고 판단되는 65[MHz] 부근에서 약 2~5[dB] 정도 전계강도가 증가한 데이터가 검출된다.

300~1000[MHz] 대역에는 23[kV] 인가까지 TV 방송대역인 860~900[MHz] 대역을 제외하고 부분방전 신호의 검출되지 않았다.

즉 모의 GIS 내에 유전체 파티클 존재시 최초의 방전초기 1단계인 부분방전 발생은 65[MHz] 부근에서 약 2~5[dB] 정도 증가한 데이터가 검출로서 판단할 수 있다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클의 미세한 움직임이 관측되었으며 미세한 방전 전류가 오실로스코프에 나타나기 시작하였다.

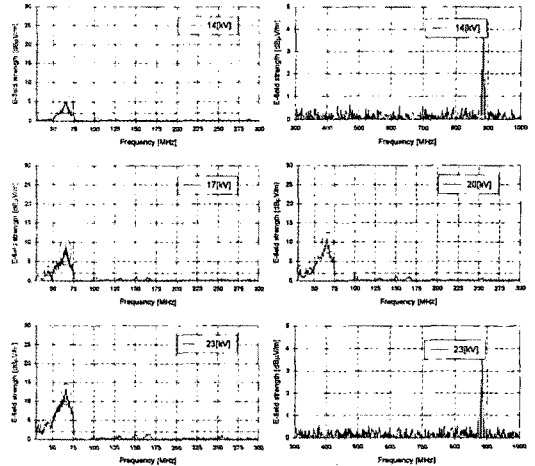


그림 3.2 14~23[kV] 인가 시 주파수 스펙트럼

17[kV] 인가는 14[kV]인가와 유사하나 전계강도가 약간 증가한 데이터가 65[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가하고 특히 45[MHz] 부근에 2~5[dB] 정도 증가한 데이터가 검출되기 시작한다.

즉 65[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터가 검출되고 특히 45[MHz] 부근에 2~5[dB] 정도 증가한 데이터가 검출로서 본 논문의 분석방법으로 방전진전 초기 2단계의 판단이 가능하다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클이 바닥면을 따라 좌우 이동을 미세하게 시작하였다.

20[kV] 인가는 17[kV] 인가와 유사하나 45[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터가 검출되었다. 특히 65[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가한 데이터와 32[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 이러한 단계를 모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 방전진전 초기 3단계라 판단하였다.

23[kV] 인가는 20[kV] 인가와 유사하나 약간 증가하여 32, 45[MHz] 부근에 2~5[dB], 65[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가한 데이터가 검출된다. 이러한 단계를 방전진전 초기 4단계라 판단하였다.

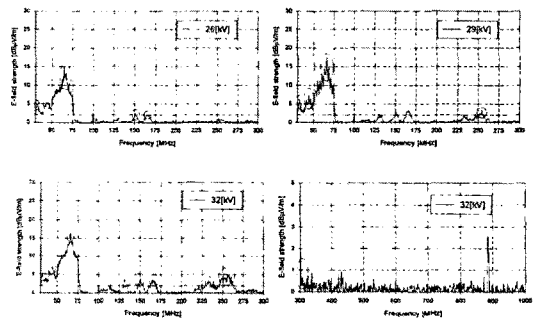


그림 3.3 26~32[kV] 인가 시 주파수 스펙트럼

그림 3.3에서 26[kV]인가는 23[kV] 인가와 유사하나 전계강도가 약간 증가하여 65[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가하고 특히 32, 45[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 또한 152, 167[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터도 검출되기 시작하였다.

즉 65[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터가 검출되고 특히 45[MHz] 부근에 5~10[dB], 152, 167[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터들의 검출로서 본 논문의 분석법으로 방전진전 중기 1단계의 판단이 가능하다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클이 바닥면에서 상하 진동을 미세하게 시작하였다.

29[kV]인가는 26[kV]와 유사하나 전계강도가 약간 증가하여 32, 45[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터와 152, 167[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터가 검출된다. 특히 65[MHz] 부근에는 15~20[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하고 또한 132, 260[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 이러한 방전진전 단계를 방전진전 중기 2단계의 판단이 가능하다.

32[kV]인가는 29[kV]인가와 유사하나 전계 강도가 약간 증가하여 32, 45[MHz] 부근에 5~10[dB], 65[MHz] 부근에는 15~20[dB], 132, 152, 167, 260[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터들이 검출된다. 특히 232[MHz] 부근에 2~5[dB] 증가한 데이터와 300[MHz] 부근에 1~2[dB] 증가한 데이터가 검출되기 시작하였다. 이러한 방전단계를 방전진전 중기 3단계라 판단하였다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클은 좌우 상하운동을 활발하였다.

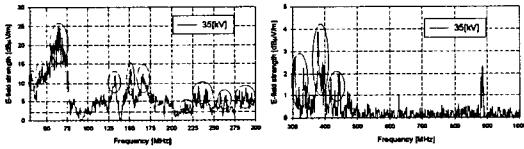


그림 3.4 35[kV] 인가 시 주파수 스펙트럼

그림 3.4에서 35[kV] 인가는 30~300[MHz] 전 영역에서 2[dB]이상의 데이터 신호가 검출된다. 특히 32, 45, 132, 152, 167[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가한 데이터가 검출되고 65[MHz] 부근에 20~25[dB] 증가한 데이터 검출과 232, 260, 280~195[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터가 검출된다. 특히 300, 340, 360, 380, 430[MHz] 영역에서 1~4[dB] 증가한 데이터들이 검출된다.

즉 30~300[MHz] 전 영역에서 2[dB]이상의 데이터 신호가 검출되고 32, 45, 132, 152, 167[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가와 65[MHz] 부근에 20~25[dB] 증가한 데이터 검출 그리고 232, 260, 280~195[MHz] 부근에 5~10[dB] 증가한 데이터가 검출되고 특히 300, 340, 360, 380, 430[MHz] 영역에서 1~4[dB] 증가한 데이터들이 검출되면 부분방전 말기 단계인 절연과파 직전의 단계라고 판단된다.

이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클이 바닥면에서 활발한 상하 진동을 하면서 파티클이 서로 대전되어 사다리 형태를 이루는 것이 관측되었다.

그림 3.5는 모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 방전진전에 따른 30~300[MHz] 대역에서 주변 배경 잡음보다 증가한 E_{ave} 를 나타낸 것이다. 인가전압 증가에 의해 방전진전을 시키면 E_{ave} 는 전체적으로 증가하는 경향을 나타낸다. 부분방전 발생과 방전초기 단계인 14~23[kV]인가의 경우 0.27~1.38[dB] 정도 증가하였다. 방전진전 중기단계인 26~32[kV]인 경우 1.6

8~3.64[dB] 정도 증가하였다. 방전진전 말기 단계인 35[kV]인가의 경우 5.13[dB] 정도 증가하였다.

즉 0.27~1.5[dB] 증가하면 부분방전 초기단계, 1.5~4[dB] 증가하면 부분방전 중기단계, 4~[dB] 증가하면 방전진전 말기단계의 판단이 가능하다.

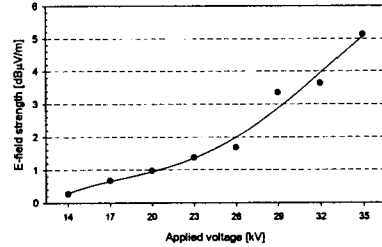


그림 3.5 방전진전에 따른 평균전계강도

4. 결론

본 논문에서 제안한 방법으로 모의 GIS 내에 유전체 파티클 존재시 방사전자파 측정과 분석방법을 이용하면 부분방전의 발생 및 방전진전 과정의 판별이 가능하였다. 본 논문의 방사전자파 스펙트럼 측정 및 분석방법은 아래와 같다.

안테나 인자를 고려한 배경잡음의 전계 강도를 측정하고 인가전압에 따라 측정된 방사전자파 스펙트럼에서 주변배경 잡음을 빼고 방송 및 통신 노이즈 대역에서 검출된 데이터는 고려하지 않는다. 측정 sweeping 시간은 5초이고 10회 측정하여 평균한다. 최초의 부분방전 신호는 2~5[dB] 증가한 데이터 검출로서 판단하고 중심 주파수 32, 45, 65, 132, 152, 167, 225[MHz] 대역에서 대역폭 5[MHz]까지 허용하여 0~2[dB], 2~5[dB], 5~10[dB], 10~15[dB], 15~20[dB], 20~25[dB], 25~30[dB] 증가한 데이터를 검출하여 각각 분류한다. 300~1000[MHz] 대역에서는 300, 340, 360, 380, 430, 470[MHz] 대역에서 대역폭 10[MHz] 범위에서 1~2[dB], 2~3[dB], 3~4[dB], 4~5[dB], 5~[dB] 증가한 데이터를 검출하여 각각 분류한다. 각 대역에서 분류된 스펙트럼 분포패턴을 이용하여 유전체 파티클 존재시 방전진전 단계의 판단이 가능하였다.

이러한 연구결과들을 활용하여 고 신뢰성의 UHF 안테나 센서 개발에 적용한다면 방전진전 초기에서 중기 단계까지의 방전진전 과정을 판별하려면 30~300[MHz] 대역의 안테나 센서를 개발함이 바람직하다. 300~1000[MHz]대역의 안테나 센서 개발은 방전진전 중기단계의 마지막 단계나 방전진전 말기 단계에 대한 판단을 가능하게 할 것이다

[참고 문헌]

- [1] 박광서 외 4인, "대기중 교류 방전진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성", 한국조명·전기설비학회 논문집 Vol. 17, No.2, pp.81~87, 2003년 3월
- [2] 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", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Vol.1, pp117~120, 1996
- [3] Hikita, M, Yamashita, H, Hoshino, T, Kato, T, Hayakawa, N, Ueda, T, Okubo, H, "Electromagnetic noise spectrum caused by partial discharge in air at high voltage substations", Power Delivery, IEEE Transactions on, Vol.13, Issue.2, pp 434~439, April 1998