

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 부분방전 진전에 따른 방사전자파의 특성

(Characteristics of Radiated Electromagnetic Waves with Partial Discharge Propagation in Model GIS being Insulation Particle)

박광서* · 김이국 · 김종환 · 주재현 · 송현직 · 이광식

(Kwang-Seo Park · Lee-Kook Kim · Jong-Wan Kim · Je-Hyun Ju · Hyun-Jig Song · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문에서는 모의 GIS 내부에 유전체 파티클 들을 놓아둠으로서 전하의 축적과 전계의 집중이 용이하도록 하여 부분방전을 모의하였다. 이때 부분방전 발생과 진전에 따른 방사전자파를 스펙트럼 분석기와 EMI·EMC 측정용 안테나(30~2000[MHz])를 사용하여 측정·분석하였다.

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재에 따른 부분방전의 검출과 방진진전 과정의 판단을 위한 절연진단의 방법으로서 본 논문에서 제안한 측정 주파수의 대역의 분리와 데이터 측정과 분석법을 이용하면 부분방전의 검출과 방진과정의 판단이 가능함을 확인하였다.

Abstract

In this paper partial discharge were simulated by insulation particle which could be easy accumulated charge and concentrated electric field in the model GIS. In this times this paper measured and analyzed the radiated electromagnetic waves by using spectrum analyzer and antenna(30~2,000[MHz]) for measurement of EMI·EMC in accordance with occurrence and propagation of partial discharge. This paper suggested the other method of detecting and estimating of partial discharge for insulation diagnosis of GIS being insulation particle by measurement and analysis of radiated electromagnetic waves.

From results of this study, it was confirmed that if the suggested method should be used for the diagnosis of insulation in the model GIS being insulation particle, detecting partial discharge and estimating discharge propagation will be possible.

Key Words : radiated electromagnetic waves, insulation particle, partial discharge, diagnosis.

* 주저자 : 영남대학교 정보통신연구소 연구원
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-850-7602
E-mail : aca28@yumail.ac.kr
접수일자 : 2004년 11월 26일
1차심사 : 2004년 11월 30일
심사완료 : 2004년 12월 13일

1. 서 론

가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작되어 현재 22[kV]급에서 765[kV]급까지 광범위

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 부분방전 진전에 따른 방사전자파의 특성

하게 사용되고 있다. 이러한 GIS를 포함한 전력설비의 안정성 확보를 위한 절연진단 기술이 최근 많은 주목을 받고있다[2],[3]. 전기적 사고의 전구현상인 부분방전 검출을 위한 한가지 방법으로서 방사전자파를 측정·분석하는 방법이 있다. 이것은 고전계가 집중된 곳에서 발생하는 부분방전펄스에 의한 전자파를 안테나 센서와 스펙트럼 분석기를 이용하여 방사잡음을 측정·분석함으로써 전기적 이상유무를 판정하는 방법이다. 이러한 방법은 현재까지 전력설비의 실제 현장에 적용한 사례는 많지 않지만 많이 연구되고 있다[4],[5].

현재 국내에는 외국의 UHF 안테나 센서를 도입하여 부분방전 신호 처리에 관한 연구가 주로 진행되고 있지만 절연진단 설비의 핵심부품인 신뢰성 있는 UHF 센서의 개발에는 취약점이 있다고 판단된다. 또한 현재 GIS 절연진단에 관한 연구 중에 도전성 파티클, 미소돌기, 연면방전 등의 존재시 GIS 절연진단에 관한 연구자료는 국내외의 많이 있으나 절연성 유전체 파티클 존재시 GIS 절연진단에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

절연성 유전체 파티클 등이 GIS 내부에 존재하면 유전율이 각각 다른 기체, 절연물, 금속체 사이의 경계점이 많이 생긴다. 이러한 곳에 고전압을 인가하면 전하의 축적과 전기력선 집중에 의해 경계점에서 먼저 부분방전이 발생합니다. 이러한 것은 전기기기의 전체적인 절연에 악 영향을 미칠 것이다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 현재 SF₆ 가스를 이용한 고압가스 절연개폐장치(GIS)에서 발생할 수 있는 일반적인 전기적 결합인 도전성 파티클과 미소돌기 존재시 아닌 GIS 내부에 절연성 유전체 파티클이 존재할 경우 부분방전의 발생과 진전에 따른 방사전자파를 신뢰성 있는 EMI·EMC 측정용 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정·분석함으로써 부분방전이 발생하는 주파수 대역을 설정하고 또한 부분방전의 발생과 방전진전 과정을 판단하려 하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험을 위해 설계 제작한 실험용 모

의 GIS의 개략도와 사진이다. 모의 GIS의 최대 인가 전압은 200[kV]이고 최대 압력은 10기압까지 압력 상승 및 압력유지가 가능하도록 제작하였다. 실제 실험에서는 모의 GIS의 내부 압력은 4기압을 유지하였다. 또한 그림 1에서 보는 바와 같이 실제 GIS의 버스바 모양을 모의하기 위해 원통형 바닥 위에 원통형 전극을 사용하였으며 원통형전극의 끝부분은 전계집중을 없애기 위해 반원형으로 처리하였다. 원통형 전극과 바닥과의 거리는 3~50[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.

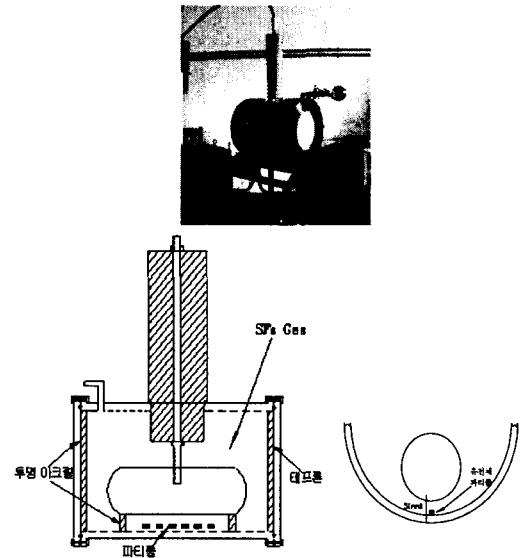


그림 1. 모의 GIS 실험용 챔버 사진과 개략도
Fig. 1. Picture of experimental chamber of model GIS and schematic Diagram

그림 2는 실험 장치의 개략도이다. 점선 부분은 전원부분으로 교류 고전압을 사용하였다. 또한 입력 고전압을 측정하기 위해 분압기를 사용하였다. $R_1(50[\Omega])$ 은 방전진전에 따른 부분방전의 전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 전류 파형의 측정은 Digital Oscilloscope(Lecroy 9350AL)와 미소 전류를 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.

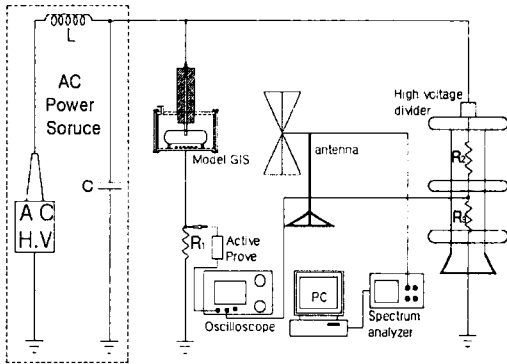


그림 2. 실험장치의 개략도
Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구의 실험방법은 먼저 전압 인가속도를 약 $1[\text{kV}/\text{sec}]$ 의 속도로 일정하게 상승하여 전극간의 절연파괴전압은 5회 측정하여 평균한 전압 값을 구하였다. 모의 GIS 내부에 유전체 들의 존재에 따른 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 $3[\text{kV}]$ 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 측정한 데이터를 스펙트럼 분석기에서 GPIB로 데이터를 컴퓨터에

전송하여 분석하였다.

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

본 실험에서 $30\sim 2000[\text{MHz}]$ 대역의 안테나를 이용하여 다양한 방법으로 관측한 결과 $30\sim 300[\text{MHz}]$ 대역과 $300\sim 1000[\text{MHz}]$ 대역을 나누어 데이터를 취득함이 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 3은 안테나 인자를 고려한 측정주파수 대역에서 주변 노이즈의 전계강도를 측정한 그림이다.

그림 3에서 표시한 부분에 라디오와 TV 방송주파수 대역의 신호가 잘 나타나고 있다. 본 실험에서는 이러한 대역에서 부분방전 신호와 노이즈 신호 구별의 오류를 피하기 위해 $80\sim 110[\text{MHz}]$, $180\sim 190[\text{MHz}]$, $860\sim 900[\text{MHz}]$ 의 대역에서 방전진전에 따른 방사전자파의 신호를 무시하도록 하였다.

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 분석기 화면상에 주기성을 갖지 않는 일회성의 신호임을 알 수 있어 부분방

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 부분방전 진전에 따른 방사전자파의 특성

전 신호와 쉽게 구별되므로 다시 실험을 하여 데이터를 취득하였다.

본 실험에서 gap 5[mm] 간에 완전 절연과피가 발생하는 평균절연과피전압(이하 V_B)은 약 41[kV] 정도이다.

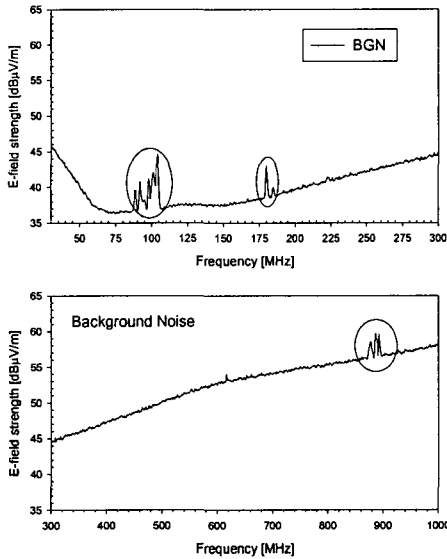


그림 3. 주변 배경 잡음
Fig. 3. Back ground noise

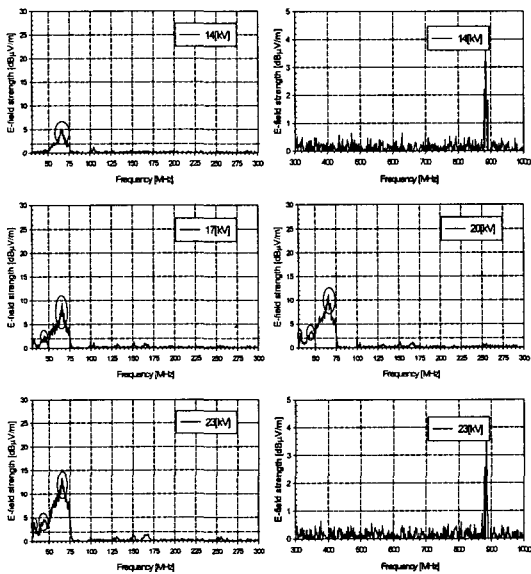


그림 4. 14~23[kV]인가 시 주파수 스펙트럼
Fig. 4. Frequency spectrum with 14~23(kV)

그림 4에서 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 신호가 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 8의 (a)).

17[kV]인가는 14[kV]인가보다 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 분석법으로 방전진전 초기 2단계의 판단이 가능하다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클이 바닥면을 따라 좌우 이동을 미세하게 시작하였다.

20[kV]인가는 17[kV]인가보다 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]인가보다 약간 증가하여 32, 45[MHz] 부근에 2~5[dB], 65[MHz] 부근에 10~15[dB] 증가한 데이터가 검출된다. 이러한 단계를 방전진전 초기 4단계라 판단하였다

이것을 요약 정리하면 표 1과 같이 된다. 즉 부분방전의 발생은 65[MHz]대역에 2~10[dB] 증가한 데이터 검출로 판단한다. 또한 방전진전 초기단계는 부분방전 발생의 데이터를 포함하고 65[MHz]대역에 10~15[dB] 증가와 32, 45[MHz] 대역에 2~5[dB] 증가한 데이터 검출로 판단이 가능하다.

표 1. 방전 초기단계의 스펙트럼 특성
Table 1. Spectrum of initial discharge stage

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|----------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 25-30 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-25 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | | | |
| 15-20 [dB] | | | | | | | | | | | 4-5 [dB] | | | | | | | | | |
| 10-15 [dB] | | | | | | | | | | | 3-4 [dB] | | | | | | | | | |
| 05-10 [dB] | | | | | | | | | | | 2-3 [dB] | | | | | | | | | |
| 02-05 [dB] | | | | | | | | | | | 1-2 [dB] | | | | | | | | | |
| 증가량 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|----------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 25-30 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-25 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | | | |
| 15-20 [dB] | | | | | | | | | | | 4-5 [dB] | | | | | | | | | |
| 10-15 [dB] | | | | | | | | | | | 3-4 [dB] | | | | | | | | | |
| 05-10 [dB] | | | | | | | | | | | 2-3 [dB] | | | | | | | | | |
| 02-05 [dB] | | | | | | | | | | | 1-2 [dB] | | | | | | | | | |
| 증가량 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|----------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 25-30 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-25 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | | | |
| 15-20 [dB] | | | | | | | | | | | 4-5 [dB] | | | | | | | | | |
| 10-15 [dB] | | | | | | | | | | | 3-4 [dB] | | | | | | | | | |
| 05-10 [dB] | | | | | | | | | | | 2-3 [dB] | | | | | | | | | |
| 02-05 [dB] | | | | | | | | | | | 1-2 [dB] | | | | | | | | | |
| 증가량 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|--|--|--|----------|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 25-30 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20-25 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | | | |
| 15-20 [dB] | | | | | | | | | | | 4-5 [dB] | | | | | | | | | |
| 10-15 [dB] | | | | | | | | | | | 3-4 [dB] | | | | | | | | | |
| 05-10 [dB] | | | | | | | | | | | 2-3 [dB] | | | | | | | | | |
| 02-05 [dB] | | | | | | | | | | | 1-2 [dB] | | | | | | | | | |
| 증가량 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | |

그림 5에서 26[kV]인가는 23[kV]인가보다 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 초기 1단계의 판단이 가능하다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클이 바닥면에서 상하 진동을 미세하게 시작하였다.

29[kV]인가는 26[kV]보다 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 초기 2단계의 판단이 가능하다.

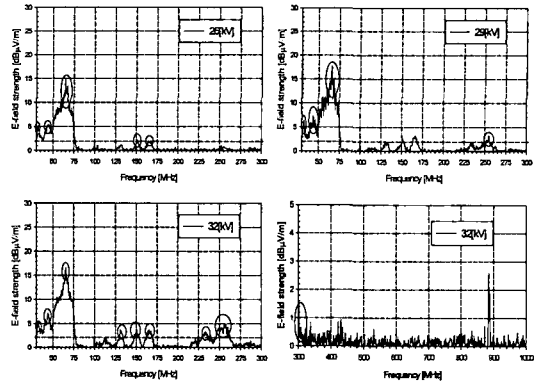


그림 5. 26~32(kV)인가 시 주파수 스펙트럼
Fig. 5. Frequency spectrum with 26~32(kV)

32[kV]인가는 29[kV]인가보다 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 초기 3단계라 판단하였다. 이때 모의 GIS 내부를 관측한 결과 유전체 파티클은 좌우 상하운동을 활발하였다. 이것을 요약 정리하면 아래 표 2와 같이 된다. 즉 방전진전 초기 단계는 방전진전 초기 단계의 데이터를 포함하고 65[MHz] 대역에 15~20[dB] 증가와 32, 45[MHz] 대역에 5~10[dB] 증가, 132, 152, 167[MHz] 대역에 2~5[dB] 증가, 252[MHz] 대역에서 2~10[dB] 증가한 데이터들의 검출로서 판단이 가능하다.

그림 6에서 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]

모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 부분방전 진전에 따른 방사전자파의 특성

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 절연과피 직전의 단계라고 판단된다.

표 2. 방전 중기단계의 스펙트럼 특성
Table 2. Spectrum of middle discharge stage

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|--|--|--|--|----------------|--|--|--|
| 25~30 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | 유전체 26 [kV] | | | |
| 20~25 [dB] | | | | | | | | | | | 4~5 [dB] | | | | | | | | | | |
| 15~20 [dB] | | | | | | | | | | | 3~4 [dB] | | | | | | | | | | |
| 10~15 [dB] | | | | | | | | | | | 2~3 [dB] | | | | | | | | | | |
| 05~10 [dB] | | | | | | | | | | | 1~2 [dB] | | | | | | | | | | |
| 02~05 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 증가량 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|--|--|--|--|----------------|--|--|--|
| 25~30 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | 유전체 29 [kV] | | | |
| 20~25 [dB] | | | | | | | | | | | 4~5 [dB] | | | | | | | | | | |
| 15~20 [dB] | | | | | | | | | | | 3~4 [dB] | | | | | | | | | | |
| 10~15 [dB] | | | | | | | | | | | 2~3 [dB] | | | | | | | | | | |
| 05~10 [dB] | | | | | | | | | | | 1~2 [dB] | | | | | | | | | | |
| 02~05 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 증가량 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|--|--|--|--|----------------|--|--|--|
| 25~30 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | 유전체 32 [kV] | | | |
| 20~25 [dB] | | | | | | | | | | | 4~5 [dB] | | | | | | | | | | |
| 15~20 [dB] | | | | | | | | | | | 3~4 [dB] | | | | | | | | | | |
| 10~15 [dB] | | | | | | | | | | | 2~3 [dB] | | | | | | | | | | |
| 05~10 [dB] | | | | | | | | | | | 1~2 [dB] | | | | | | | | | | |
| 02~05 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 증가량 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | | | | | | | | |

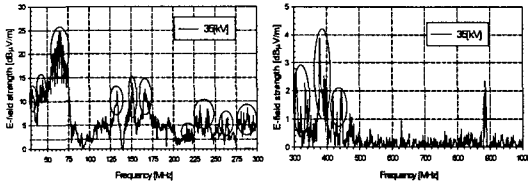


그림 6. 35(kV)인가 시 주파수 스펙트럼
Fig. 6. Frequency spectrum with 35(kV)

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

이것을 요약 정리하면 아래 표 3과 같이 된다. 즉 방전진전 말기단계는 250[MHz] 대역을 제외하고 방전진전 중기단계의 데이터를 포함하고 65[MHz] 대역에 20~25[dB] 증가와 32, 45[MHz] 대역에 10~15[dB] 증가, 132, 152, 167[MHz] 대역에 5~15[dB] 증가, 252[MHz] 대역에서 오히려 감소하여 2~5[dB] 증가한 데이터들의 검출로써 판단이 가능하다.

다.

또한 300[MHz] 대역에 2~3[dB] 증가, 340[MHz] 대역에 1~3[dB] 증가, 380[MHz] 대역에 1~4[dB] 증가, 430과 470[MHz] 대역에 1~2[dB] 증가한 데이터들의 검출로써 판단이 가능하다.

표 3. 방전 말기단계의 스펙트럼 특성
Table 3. Spectrum of end discharge stage

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|-----|--|--|--|--|----------------|--|--|--|
| 25~30 [dB] | | | | | | | | | | | 5~ [dB] | | | | | | | 유전체 35 [kV] | | | |
| 20~25 [dB] | | | | | | | | | | | 4~5 [dB] | | | | | | | | | | |
| 15~20 [dB] | | | | | | | | | | | 3~4 [dB] | | | | | | | | | | |
| 10~15 [dB] | | | | | | | | | | | 2~3 [dB] | | | | | | | | | | |
| 05~10 [dB] | | | | | | | | | | | 1~2 [dB] | | | | | | | | | | |
| 02~05 [dB] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 증가량 | 32 | 45 | 65 | 132 | 152 | 167 | 252 | | | | | | | | | | | | | | |
| 주파수 | | | | | | | | 300 | 340 | 360 | 380 | 430 | 470 | | | | | | | | |

그림 7는 모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 방전진전에 따른 30~300[MHz] 대역에서 주변 배경 잡음보다 증가한 평균전계강도(이하 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 중기 단계인 26~32[kV]인 경우 1.68~3.64[dB] 정도 증가하였다. 방전진전 말기 단계인 35[kV]인가의 경우 5.13[dB] 정도 증가하였다.

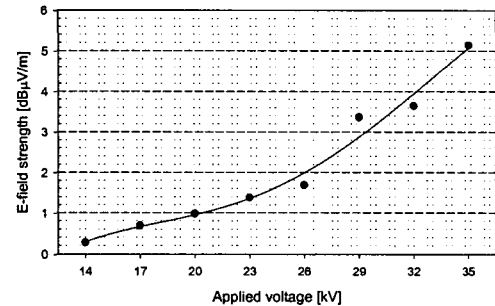


그림 7. 방전진전에 따른 평균전계강도
Fig. 7. Average electric field strength

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

그림 8은 모의 GIS 내부에 유전체 파티클 존재시 방전진전 과정에 따른 전압과 전류파형을 나타낸 것이다. 오실로스코프의 division당 시간, 전류, 전압의

크기는 5[ms/div], 20[mA/div], 50[kV/div]이다. 최초 부분방전의 발생의 시작은 인가전압이 14[kV]일 때부터 정극성 전압 부근에서 전류 펄스가 발생되기 시작하여 인가전압 증가에 따라 전류펄스 크기가 증가하고 20[kV]인가에서 부극성 전압 부근에서 미세한 전류 펄스가 발생하기 시작하였으며 인가 전압의 증가에 따라 전류펄스의 크기가 상승하였다.

특히 35[kV]인가부터 정극성과 부극성 전압부근에 급격한 전류 펄스가 발생되고 결국 부극성 전압 부근에 발생한 급격한 전류펄스의 크기가 상승하여 절연파괴에 이른다

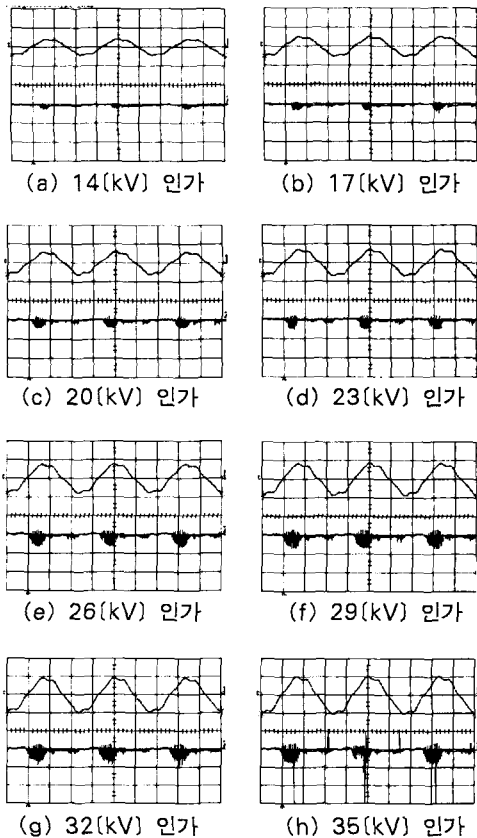


그림 8. 방전 진전에 따른 전압 전류 파형
Fig. 8. Voltage current wave form with discharge progress

위 결과를 보면 방전로에 직접 접촉을 통한 고성능 오실로스코프와 증폭기가 내장된 Active Probe

에 의해 관측되는 부분방전의 전압 전류 파형과 비접촉 센서인 안테나와 Spectrum Analyzer에 의해 방사전자파를 측정 분석하는 본 실험의 방법을 비교하여 볼 때 안테나와 스펙트럼 분석기를 이용하여 모의 GIS 내부에 유전체 파티클이 존재시 부분방전의 발생과 방전진전에 따른 방전상태의 예측을 위한 데이터를 검출하고 분석하는 본 논문의 실험방법에 대한 가능성을 확인하였다.

4. 결 론

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 분석방법으로 얻은 결론은 아래와 같다.

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 분포 패턴을 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

이러한 연구는 현장 GIS 및 SF₆ 가스절연 전력설비의 전기적 신뢰성 확보를 위한 고감도 UHF 안테나 센서 개발 및 UHF 법을 이용한 절연진단 시스템 개발을 위한 자료로서 활용될 것이다.

References

- [1] 박광서, 김기채, 이광식, 최병주, 김이국, “대기중 교류 방전진전에 따른 방사전파파의 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] H.Okubo, et, “Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharge and its Relation to Partial-Discharge Characteristics” ETEP Vol.7, No1. 1997.
- [4] M. D. Judd et al., “The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS”, IEEE Trans. DEI, Vol.3, No.2, pp.213-228, April 1996.
- [5] 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.

김이국 (金利國)

1946년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과(박사). 현재 경일대학교 전기공학과 교수.

김종환 (金鍾煥)

1959년 9월 19일생. 1984년 영남대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 동 대학원 수료(박사). 현재 경북교육청.

주재현 (朱宰賢)

1968년 5월 28일생. 영남대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 졸업(석사). 1997년 동 대학원 졸업(박사). 현재 거제대학 메카트로닉스계열 교수.

송현직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 동 대학원 석사과정 졸업(석사). 1997년 동 대학원 박사과정 졸업(박사). 2001~현재 구미1대학 컴퓨터응용전기전공 전임교수. 2004~현재 본 학회 의원.

이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 현재 한국조명·전기설비학회 부회장. 현재 영남대학교 전자정보공학부 교수.

◇ 저자소개 ◇

박광서 (朴光緒)

1970년 3월 23일생. 1997년 영남대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 졸업(석사). 2003년 8월 동 대학원 졸업(박사). 현 영남대학교 정보통신연구소 연구원.