

SF₆ 가스중 방전진전과정에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포 특성

◇박광서, ◇김해준, ◆최병주, ○전영주, ●이동현, ◇이광식, ◇이동인
 ◇영남대학교, ◆서라벌대학, ○영진전문대학, ●구미1대학

The Frequency Spectrum Characteristics of Radiated Electromagnetic Wave by the Process of Discharge Progress in SF₆

◇K. S. Park, ◇H. J. Kim, ◆B. J. Choi, Y. J. ○Jeun, ●D. H. Lee, ◇K. S. Lee, ◇D. I. Lee.
 ◇Yeung-Nam university, ◆ Sorabol junior college, ○Yeung-Jin junior college, ●Ku-Mi1 junior college

Abstract - This paper simulated discharge progress and partial discharge using needle-plan electrodes system in SF₆, studied the distribution of frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves using biconical antenna and spectrum analyzer.

From results of this study, a method was introduced for measurement and analysis of the radiated electromagnetic waves in accordance with discharge progress in SF₆.

Besides, according to the consideration of the mutual relation between frequency spectrum of the radiated electromagnetic waves and discharge progress, it was confirmed that detecting partial discharge and estimating discharge progress in SF₆ can be possible.

1. 서 론

급격히 증가하는 전력수요에 대응하며 전력의 안정적 공급에 필수적인 전기적 사고의 미연 방지를 위한 절연 진단 기술이 중요하게 되었다. 따라서 보다 안정하고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위한 전력설비 및 기기의 유지 보수가 중요하게 되었고, 사고의 예방적인 차원에서 사고의 징후를 미리 발견하여 대형사고로의 확대를 미연에 차단할 수 있도록 하는 항상 감시 진단기술이 더욱더 중요한 위치를 차지하게 되었다.

따라서 본 논문에서는 현재 고압가스 절연개폐장치(GIS)에 가장 많이 사용되고 있는 SF₆ 가스를 이용한 전력설비나 전기 기기에 전기적 이상 발생시 수반되는 절연 파괴의 전구현상인 부분 방전을 침대 평판전극으로 모의하여 SF₆ 가스중 방전진전에 따른 방사전자파를 비접촉센서인 바이코니컬 안테나와 spectrum analyzer를 이용하여 주파수스펙트럼 분포특성을 연구하고 방전진전과정과 방사전자파의 상호관계를 고려함으로 GIS 내의 부분방전의 검출과 방전진전 상태의 예측에 관하여 연구하였다.

이러한 연구결과는 고압가스 절연 개폐장치의 절연진단 시스템 구축의 중요한 기초자료가 되리라 판단된다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

그림 1은 실험의 장치 회로도도를 나타낸 것이다. 인가 전원은 교류 고전압(Input : AC 200V 60Hz, Output: AC 50kV 60mA)을 사용하였다. 또한 출력되는 고전압을 측정하기 위해 High voltage divider (R₂ : R₃ = 5000 : 1)를 사용하였다. 회로도에서 R₁(50Ω)은 전류파형을 측정하기 위한 무유도 저항이며 방전시 전류 파형의 측정엔 Digital storage type oscilloscope (Lecroy 9350AL)와 Active probe(bandwidth : DC ~ 1GHz, Leroy AP020)를 사용하였다.

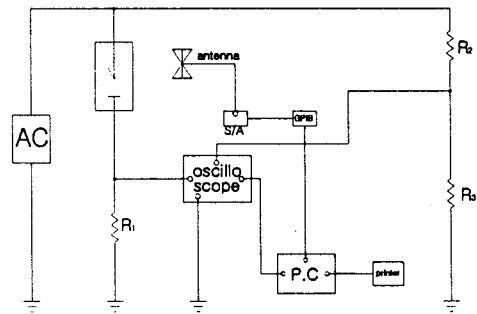


그림1. 실험장치 회로도

그리고 방전시 방사되는 전자파를 측정하기 위해서 biconical antenna (EMCO model 3110, 30~300(MHz)) 및 Spectrum analyzer (Advantest R4131D)를 이용하여 방사 전자파의 주파수 스펙트럼 분포를 관측하였다.

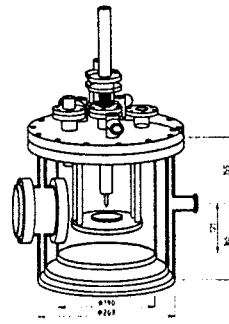


그림2 가압용 모의 GIS

그림 2는 설계 제작한 가압용 모의 GIS를 나타낸 그림이다. 모의 GIS의 내부에 4기압의 SF₆ 가스를 주입하여 기밀성을 유지하였으며 침대-평판 전극계 구조 가지고 있으며 Gap 간격은 4(mm)이다. 일반적으로 현장 GIS는 장치부분에 따라 조금 다르지만 대략 4기압을 유지하여 사용하고 있다.

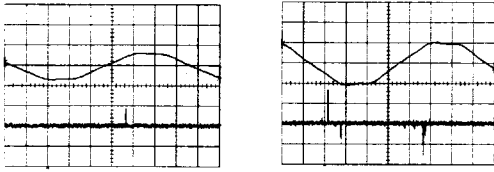
고압가스 절연 개폐장치의 부분방전을 모의하면서 부분방전의 발생에서 절연파괴 되는 단계별로 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 관찰하기 위해 제작한 모의 GIS 챔버 내에 SF₆ 가스를 4기압을 유지하면서 절연파괴전압 보다 낮은 전압을 서서히 상승인가 후, 안테나와 Spectrum analyzer를 이용하여 여러 기초실험을 통해 방사전자파의 측정에 유리한 안테나의 최적 측정주파수, 방사전자파 측정방법 등을 설정 후 실험을 행하였다.

Spectrum analyzer의 Sweeping Time은 10초이고 최대값을 축적하는 Max hold 방식을 채택하였다. 주파수 스펙트럼을 측정한 데이터를 Spectrum analyzer에서 GPIB로

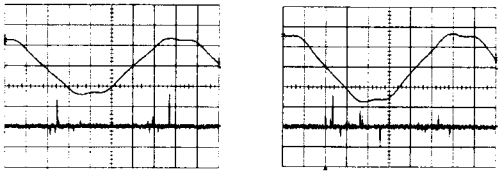
데이터를 컴퓨터에 전송하여 분석하였다.

이 때 전극 중심부와 안테나 사이의 거리는 1[m]로 고정하여 두고 실험을 하였다. 안테나의 각도는 전류의 흐름 방향과 동일하게 대지에 대하여 수직으로 배치하였다.

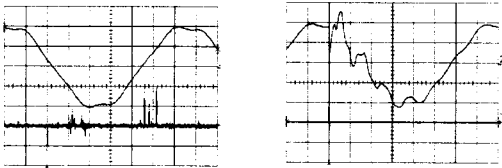
2.2 실험결과 및 고찰



2[ms/div]10[mA/div] 2[ms/div]10[mA/div]
(a) 12[kV] 인가 (b) 18[kV] 인가



2[ms/div]10[mA/div] 2[ms/div]10[mA/div]
(c) 24[kV] 인가 (d) 30[kV] 인가



2[ms/div]10[mA/div] 2[ms/div]1[A/div]
(e) 36[kV] 인가 (f) 42[kV] 인가

그림 3. SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 전압 전류 파형

그림 3은 SF₆ 가스중 부분방전의 발생에서 절연파괴 직전의 단계까지 전압전류 파형을 나타낸 그림이다. 4기압의 SF₆ 가스중 Gap 4[mm]의 침대 평판 전극사이 완전한 절연파괴의 평균 절연파괴전압은 약 43[kV] 정도이다. 그림 3의 (a)에서 12[kV] 인가의 경우부터 부분방전 전류 펄스가 발생하기 시작하였다. 일반적인 대기중의 부분방전 진전과 다르게 부분방전의 발생 초기 단계에서 부극성 전압부근에 부 펄스 전류파형이 나타나지 않았고 전류 펄스 파형의 크기도 약 5배정도 크게 나타났다. 이것은 일반 대기보다 절연내력과 방전 소호능력이 상대적으로 높은 고압의 SF₆ 가스 내에서 대기중과 같이 낮은 인가전압에 의해 트리첵 펄스 형태를 이루는 안정된 코로나를 유지하기 어렵기 때문이라 판단된다. 전압을 더욱 증가시켜 방전을 진전시키면 펄스의 발생빈도가 증가하고 펄스의 크기가 증가하였다. 그림3의 (e)와(f)의 단계에서 보는 바와 같이 Gap 간의 절연파괴는 일반적으로 대기중과 마찬가지로 급격한 정 펄스의 발생으로서 절연파괴가 이루어진다. 이러한 과정은 반복실험을 통하여 동일한 단계를 거침이 확인되었다.

그림 4는 고압의 SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 방사전자파의 주파수 스펙트럼을 나타낸 것이다. EMI, EMC 측정용 바이코니컬 안테나와 대수 주기 안테나 그리고 스펙트럼 분석기를 이용하여 30~1000(MHz) 전 대역에 걸쳐 다양한 주파수 대역과 데이터의 측정방법을 기초실험 하였다.

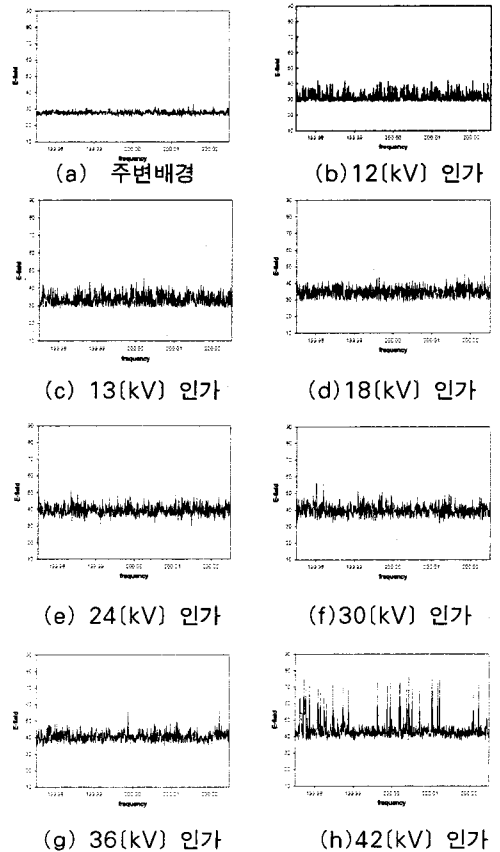


그림 4. SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 방사전자파의 주파수 스펙트럼

그 결과 그림 4와 같이 4기압의 SF₆ 가스 내에서 부분방전의 진전에 의한 방사전자파 측정 및 관측이 190~210(MHz)가 가장 적절하다는 판단을 하였다. 그 중 중심주파수 200(MHz)이고 대역폭이 50(kHz)인 주파수 대역이 본 실험에 가장 적절하다 판단되었다. 향후 실제 GIS 전력설비에 적용하기에는 주파수 대역을 좁힘으로 안테나를 소형으로 디스크 형 안테나 또는 Loop형 안테나의 제작이 용이하다.

그림 4의 (a)는 측정주파수 대역에서 주변 Background Noise 스펙트럼을 측정한 그림이다. 측정 대역에서 검출된 데이터는 스펙트럼의 Sweeping Time(10초)동안에 주변환경에 Switching 동작이 없으면 전계강도가 35dB 이상의 데이터가 관측되지 않았다. 이에 착안하여 전압을 서서히 인가함에 따라 부분방전의 진전을 모의할 때 부분방전의 발생과 부분방전의 초기단계임을 알 수 있는 35[dBμV/m]이상의 데이터 (이하 E_{35dB}) 검출과 부분방전이 어느 정도 진전된 단계라는 판단이 가능한 50[dBμV/m]이상의 데이터(이하 E_{50dB})검출, 평균전계강도(이하 E_{mean})등을 분석하였다.

그림 4의 (b)는 인가전압을 서서히 증가시킨 경우 12[kV] 인가의 경우부터 35dB 이상의 데이터가 100개정도 관측되기 시작하였으며 이는 부분방전의 발생을 의미한다. 전압을 더욱더 인가하면 E_{35dB}의 데이터 수는 증가한다. 즉 부분방전의 발생은 E_{35dB}의 검출로서 파악이 가능하다고 판단된다.

인가전압을 계속하여 증가시킬 때 그림 4의 (e)에서 24[kV] 인가의 경우부터 부분방전이 어느 정도 진전된 상태에서는 전계강도 50dB 이상의 데이터가 검출되기 시작하였다. 전압을 더욱더 인가할수록 E_{50dB}의 데이터

는 더욱더 증가하는 경향을 나타내었다. 즉 E_{50dB} 의 데이터 검출로서 부분방전이 발생하여 어느 정도 진전된 단계의 판단이 가능하다. 그림 4의 (h)의 경우 절연파괴 직전의 단계로서 E_{50dB} 이상의 데이터가 갑자기 증가하여 48개가 검출되기 시작하였다. 반복실험을 통하여 약 40개 이상 검출되기 시작하면 절연파괴 직전의 단계임의 판단이 가능하다

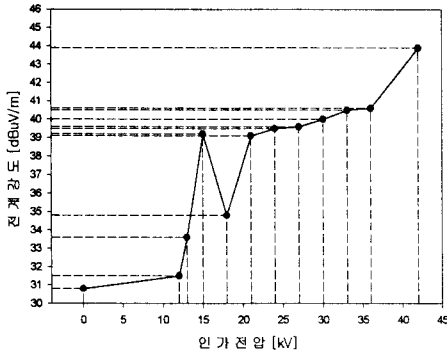


그림 5. SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 평균전계강도

그림 5는 4 기압의 SF₆ 가스중 인가 전압을 증가시켜 부분방전을 진전시킬 때 방사전자파의 주파수 스펙트럼 분포이다. 평균전계강도가 1dB 이상 증가하면 부분방전이 발생되었다고 판단되며 평균전계강도가 약 10dB 이상 증가되면 절연파괴 직전의 단계임의 판단이 가능하다.

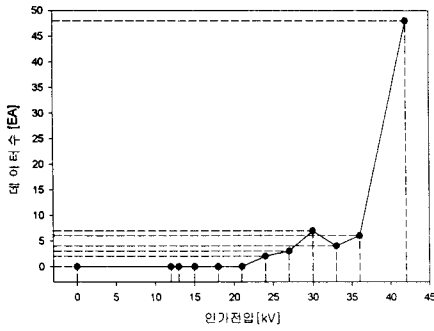


그림 6. SF₆ 가스중 부분방전 진전에 의한 E_{50dB} 이상의 데이터 수

그림 6은 고압의 SF₆ 가스중 인가전압을 증가시켜 부분방전의 진전을 모의 한 경우 방사되는 전자파의 주파수 스펙트럼 중 전계강도 50dB 이상의 데이터 수를 나타낸 것이다.

E_{50dB} 의 검출이 시작되면 부분방전이 어느 정도 진전된 단계라 판단되고 갑자기 증가하여 약 40개 이상의 데이터가 검출되기 시작하면 절연파괴 직전의 단계라는 판단이 가능하다.

3. 결 론

4기압의 SF₆ 가스 중 최대 평판전극을 배치한 후 절연파괴전압보다 낮은 교류고전압을 인가해서 부분방전의 발생과 방전진전 과정을 모의한 경우 본 실험의 방법으로 방전진전에 의한 방사전자파를 바이코니컬 안테나와 Spectrum Analyzer를 이용한 방사전자파의 주파수

스펙트럼 분포 특성과 데이터 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

SF₆ 가스중 부분방전의 발생에서 절연파괴까지의 단계를 관측하기 유리한 주파수 대역은 190~210(MHz) 대역이고 안테나 대역을 최대한 좁힐 경우 중심주파수가 200(MHz)이며 주파수 대역폭은 50(kHz)이다. 본 실험의 방법에 의한 방사전자파의 스펙트럼 분포 특성과 전계강도 35dB 이상의 데이터 수, 평균전계강도, 50dB 이상의 데이터 수 등을 고려하면 부분방전의 발생에서 절연파괴 직전 단계의 관측 및 판단이 가능함을 확인하였다.

이러한 결과는 안테나를 사용하여 방사전자파를 측정·분석에 의한 전력설비의 절연진단 시스템 개발에 중요한 기초 자료가 되리라 생각된다. 향후 위의 기초 실험을 통해 실제 전력설비에 적용 가능한 190~210(MHz) 대역의 안테나센서를 설계 제작하여 실제 모의 전력설비에 적용하기 위한 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Matumura et al., "Method of diagnostic detection by radiated magnetic fields", Tech. Report of IEE Japan, HV83-52, 1983.
- [2] Y.Takahashi, "Diagnostic Measurements at UHF in Gas Insulated Substation", IEE proceeding Vol. 135, PT.C, No.2, March 1988, pp 137~145.
- [3] Katsuo Okumura, "Investigation of VHF-noise caused by dc corona discharge in needle to plane air gap", T.IEE Japan, Vol.111-A, No.2, pp.89-96, 1991.
- [4] 한국공업표준협회, "전기·전자기기의 전자파 장해 - KS C 0262", 1992
- [5] Takashi Kimura 외3, "Diagnostic methods for GIS insulating systems using external antenna", T.IEE Japan, Vol.115-B, No.10, pp.1199-1207, '95.
- [6] H. Okubo, H. Yamashita, N. Hayakawa, T.Ueda, M. Hikita, "Electromagnetic Spectrum Radiated from Gas Discharges and its Relation to Partial-Discharge Characteristics", ETEP Vol.7, No.1, pp 57~63, January/February 1997.
- [7] 김기채, 이광식, 이동인, "1안테나법에 의한 미소간극의 방전전류파형 추정", 한국전자파학회논문지, 제9권 제4호, pp.499-504, 1998년 8월
- [8] Ki-Chai Kim, Kwang-Sik Lee and Dong-In Lee, "Estimation of ESD current waveshapes by radiated electromagnetic fields" IEICE Trans. commun., Vol.E83-B, No.3, pp.608-612, March 2000.