

변전기기 절연매질에서 발생하는 부분방전신호 특성분석

한기선

한전 전력연구원

Study on Partial Discharge Characteristics under Insulating Material of Substation Facilities

Kiseon Han

Korea Electric Power Research Institute

Abstract - 변전기기의 주요 절연매질인 절연유 및 SF₆ 가스에서 절연불량으로 부분방전이 발생할때 방사되는 전자기파 특성을 측정, 분석하였다. 부분방전 발생기구로 부유전극을 제작하여 실험하였으며, 부분방전에 의한 전자기파 신호의 특성을 분석한 결과 변압기 주 절연물인 절연유에서 발생하는 부분방전신호가 크고 높은 주파수의 신호가 발생하였고, 가스절연개폐장치 주 절연물인 SF₆ 가스에서 발생하는 부분방전신호도 비교적 높은 주파수 신호가 발생하였다. 본 분석결과는 변전소 주요 설비인 변압기 및 가스절연개폐장치에서 발생가능한 절연이상을 진단하기 위한 전자기파를 이용한 부분방전 분석기술 개발에 응용할 예정이다.

1의 oscilloscope 2, Tektronix TDS74040)로 입력되어 전자기파 부분방전신호의 파형을 분석하고, 일부는 다시 power splitter를 거쳐 spectrum analyzer(Rohde & Schwarz, FSP7)에 입력하여 주파수 특성을 분석하였다. 표 2는 power splitter의 특성을 나타내고 있다.

1. 서 론

UHF(Ultra High Frequency, 극초단파) 대역의 전자기파를 이용한 부분방전 측정기술을 이용하여 변전소내 SF₆ 가스를 주 절연매질로 사용하는 가스절연개폐장치의 고장을 예방하기 위한 on-line 감시시스템이 345 kV 이상 변전소에 적용되고 있고, 최근에는 휴대형 장비가 개발되어 현장에서 간이 측정용으로 이용되고 있다[1]. 이러한 가스절연개폐장치에 적용한 기술을 활용하여 변압기에 적용하고자 하는 시도가 있었으나, 변압기의 주 절연매질인 절연유중에서 UHF 대역에서 전자기파 부분방전신호가 발생하는지에 대한 연구결과가 상이한 실정에 있다[2,3,4]. 따라서 본 논문에서는 대표적인 부분방전유형중의 하나인 부유전극(Floating Electrode) 부분방전 발생기구를 제작하여 절연유 및 SF₆ 가스를 충전하여 방전시키고, 전자기파 부분방전신호의 주파수 특성을 분석함으로써 절연유에서도 SF₆ 가스와 같이 강한 전자기파 신호가 발생함을 보임으로써 UHF 대역의 전자기파를 이용한 부분방전 측정기술을 이용하여 변압기의 예방진단도 가능함을 보이고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

변전기기 주 절연매질인 절연유 및 SF₆ 가스에서 부분방전이 발생할 때 방사되는 전자기파의 주파수 특성을 분석하기 위해 그림 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 부유전극에 대한 부분방전 발생기구를 그림 2와 같이 제작하였으며, 내부에 절연유 및 SF₆ 가스를 충전할 수 있도록 하였다. 표 1은 부유전극의 절연매질별 극간간격과 이에 따른 최소방전유지전압 및 최대방전량을 나타내고 있다.

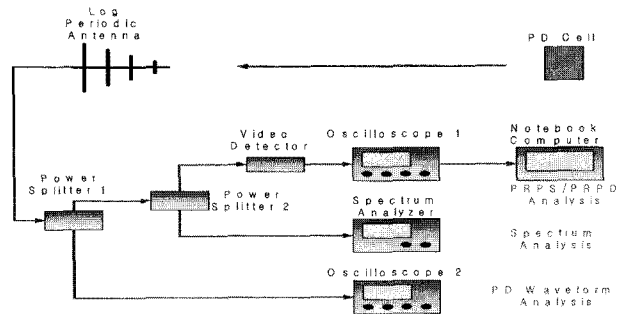
<표 1> 부분방전 발생기구별 방전특성.

매 질	Antenna 편극	극간간격 (mm)	최소방전유지 전압 (kVp)	최대 방전량
절연유	수직	0.05	6	600 nC
	수평	0.08	10	750 nC
SF ₆ 가스	수직	0.1	10	7.5 nC
	수평			

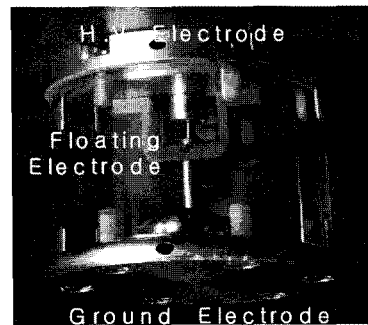
부분방전 발생기구에서 발생한 전자기파 부분방전신호는 그림 1에서와 같이 log periodic antenna를 이용해 측정 하였다. 전자기파 부분방전신호의 편파 특성을 확인하기 위해 안테나를 대지와 수평 혹은 수직으로 위치를 바꾸어가며 측정하였으며, antenna factor는 그림 3과 같다. Antenna에서 측정된 신호는 power splitter를 통해 일부 RF 전력은 video detector를 거쳐 oscilloscope(그림1의 oscilloscope 1, Tektronix7104)에 입력되어 부분방전신호의 PRPS(Phase resolved pulse sequence) 및 PRPD(Phase resolved partial discharge) 방법으로 가시화하여 분석하였다. Power splitter를 거친 일부 신호는 oscilloscope(그림

<표 2> Power splitter 특성

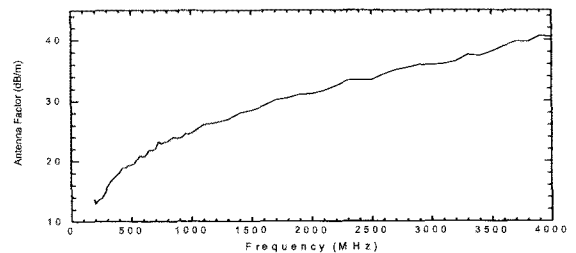
구 분	주파수 범위 (MHz)	Insertion Loss (dB)
Power Splitter 1	DC - 4,200	6.1
Power Splitter 2	10 -2,500	3.6



<그림 1> 실험장치 구성도.



<그림 2> 부유전극(Floating Electrode).



<그림 3> Antenna factor.

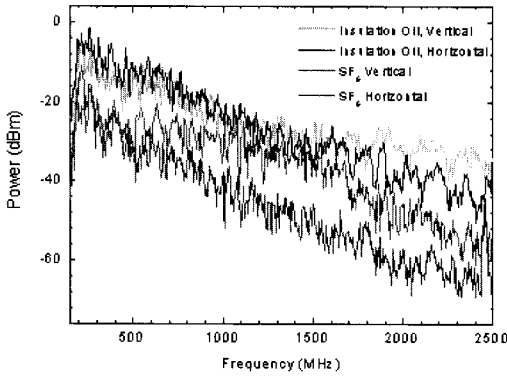
2.2 부분방전신호의 주파수 특성 및 PRPD

그림 4는 antenna에서 측정된 절연매질에 따른 전자기파 부분방전신호의 주파수 분포를 나타낸다. 부유전극의 극간 간격이 상이하어 절연매질에 따른 특성을 직접 비교하기는 힘들지만 절연유중에서 부분방전신호의 크기가 SF₆ 가스에서 부분방전신호의 크기보다 큼을 알 수 있다. 이는 표 1에서와 같이 절연유에서의 부분방전량이 SF₆ 가스에서의 부분방전량보다 크다는 사실에 잘 부합된다.

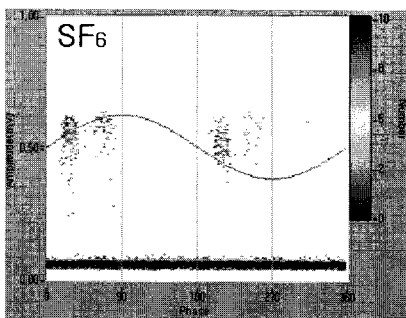
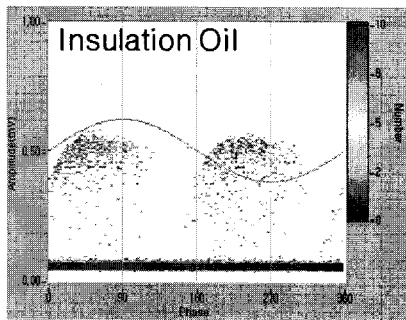
절연유에서 전자기파 부분방전신호의 주파수 분포는 UHF 대역에서 크고, 고른 분포를 보이고 있어, 절연유중에서 부분방전이 발생할 경우에도 UHF 대역에서 전자기파를 이용한 부분방전 분석기술을 효과적으로 적용할 수 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

전자기파 부분방전신호의 편극에 대해 분석하면 절연매질에 상관없이 500 MHz 이상부터 수직편파가 수평편파보다 큼을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 500 MHz 이하에서는 부분방전 발생기가 lumped element로 작용하여 편파특성이 없으나, 500 MHz 이상에서는 방전전류가 주로 수직방향으로 흐르고, 이로 인해 전자기파 부분방전신호도 주로 수직으로 편파됨으로써 기인한 것으로 추정된다.

UHF 대역에서 전자기파 부분방전신호를 PRPD로 가시화하면 그림 5와 같다. 절연유중 방전에서는 부분방전 발생기구의 인가전압 위상의 1, 3사분면에서 부분방전이 발생하지만, 다양한 크기의 부분방전신호가 발생하였다. SF₆ 가스 하에서의 PRPD도 부분방전 발생기구 인가전압 위상의 1, 3사분면에서 부분방전신호가 발생하지만, 비교적 고른 크기의 부분방전신호가 발생하여 절연유하에서의 PRPD와 약간 다른 모습을 나타내고 있다.



<그림 4> 전자기파 부분방전신호의 주파수 특성



<그림 5> 전자기파 부분방전신호의 PRPD.

2.3 부분방전신호의 파형 특성

그림 6은 전자기파 부분방전신호의 파형 특성과 누적된 에너지의 양을 나타내며, 누적된 에너지의 양은 아래의 식과 같다.

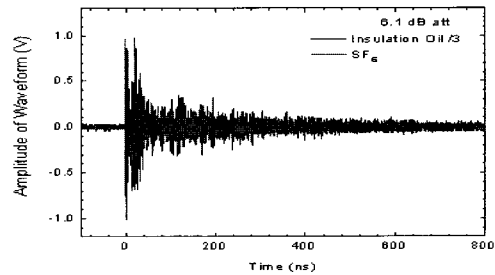
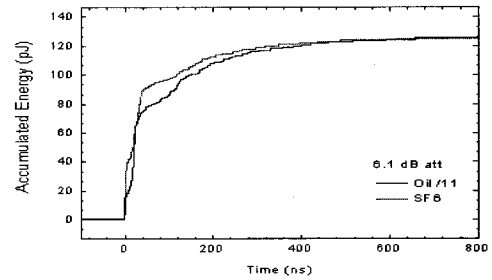
$$AE(T) = \int_0^T \frac{V^2(t)}{R} dt$$

AE(T): 시간 T 동안 안테나에 감지된 전자파신호의 누적 에너지 (J)

V(t): 시간 t에서 센서에 감지된 전자파 신호의 크기 (V)

R: Oscilloscope의 impedance, 50 (Ω)

절연유하에서 측정된 누적에너지의 크기가 SF₆ 가스에서 보다 훨씬 크게 나타났다. 절연유에서는 천천히 상승하는 반면에 SF₆ 가스에서는 급격히 상승함을 알 수 있었다. 이는 SF₆ 가스에서의 부분방전 전류의 상승시간이 절연유하에서의 상승시간보다 빠르다는 것을 간접적으로 보여주는 증거라 하겠다.



<그림 6> 전자기파 부분방전신호의 파형 특성

3. 결 론

변전기의 주요 절연매질인 절연유와 SF₆ 가스중에서의 전자기파 부분방전신호의 주파수 특성을 측정, 분석하였다. 절연유중에서의 부분방전신호도 SF₆ 가스 하에서와 같이 UHF 대역에서 큰 부분방전신호가 발생함을 확인하였다. 따라서 절연유를 사용하는 변압기에서도 UHF 대역에서 전자기파를 이용한 부분방전 측정기술을 적용하여 예방진단에 활용할 수 있음을 확인하였다.

그러나 절연유중에서의 전자기파 부분방전신호 PRPD는 SF₆ 가스 하에서의 부분방전신호 PRPD와 상이한 유형을 보였다. 따라서 변압기에 전자기파를 이용한 부분방전 분석기술을 적용하기 위해서는 절연유중에서 방전원인별 부분방전신호에 대한 다양한 유형에 대한 측정 및 분석이 필요함을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Sun-geun Goo et. Al., "Site test of UHF on-line partial discharge monitoring," in Proc. Of the 37th KIEE summer annual conference, APP-3.
- [2] K. Raja, F. Devaux & S. Lelaidier, "Recognition of discharge source using UHF PD signatures," IEEE Electrical Insulation Magazine, vol. 18, pp. 8-14, Sep., 2002.
- [3] G. P. Cleary & M. D. Judd, "Investigation of discharge in oil insulation using UHF PD detection," in Proc. Of the 14th ICDL 2002, pp. 341-344.
- [4] R. A. Jongen, P. Morshuis, S. Meijer & J. Smit, "Identification of partial discharge defects in transformer oil," in Proc. Of 2005 annual report conference on electrical insulation and dielectric phenomena, pp. 565-568