

**초고주파 광대역 부분방전 센서를 내장한 지능형 스페이스 개발**

김동석, 황철민, 김영노, 최재옥, \*서왕벽, \*한봉수, \*최수현  
(주)피에스디테크, \*일진전기(주)

**A development of intelligent spacer built in the internal type UHF partial discharge sensor**

Dong-suk Kim, Chul-min Hwang, Young-noh Kim, Jae-ok Choi, \*Wang-byuk Seo, \*Bong-soo Han, \*Soo-hyun Choi  
PSD Tech, \*Iljin Electric

**Abstract** - In this study, we developed intelligent spacer built in the internal type UHF PD sensors. 3-Dimensional electro-magnetic simulations were performed to analyze electric-field distribution of the single-phase GIS and three-phase GIS. After considering the spacer's specification, Sensor structures were designed and analyzed using the 3-D EM Simulator. As a result of the simulation the internal type UHF PD sensors were built in. Performance of the sensor built into real scale GIS spacer was measured in terms of return loss and detected Max voltage. And we identified a character of the intelligent spacer by using 5pC partial discharge cell.

- 패치안테나의 구조
- 전계완화링과 패치 안테나 사이의 거리
- 내부 절연체의 비유전율( $\epsilon_r$ )

위의 설계요소를 고려하여, 원하는 주파수 대역에서 최적의 성능을 발휘할 수 있는 센서를 설계할 수 있었다. 스페이스 내장형 센서는 외장형 센서나 점검창 내장형 센서에 비해 스페이스 내부에 적용되어야 하기에 크기에 대한 제약이 매우 크다. 따라서 원하는 주파수대역을 적용하기 위해서는 효율적인 설계가 필요하며 본 논문에서는 3D EM Simulator를 이용하여 2종의 스페이스 내장형 안테나의 설계를 진행하였다.

**1. 서 론**

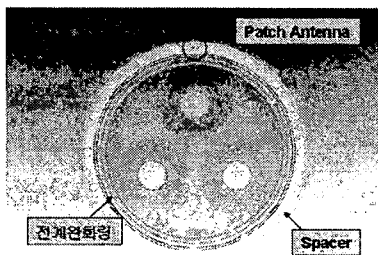
1970년대 국내 전력계통에 도입된 SF6 가스절연개폐장치(Gas Insulator Switchgear, GIS)는 산업의 발달과 경제력의 향상으로 인해 국내전력수요가 급증함에 따라 국내 변전설비 계통에서 차지하는 비중이 날로 증가되고 있다. 안정성, 신뢰성, 무공해성, 축소성 및 경제성 등의 측면에서 SF6 가스 절연방식은 이상적인 절연방식이라고 할 수 있으며, 외국에서는 GIT(Gas Insulated Transformer), GIL(Gas Insulated Line)등의 변압기, 케이블에도 적용하며 그 범위를 확대해 나가고 있는 실정이다. 하지만 이전의 공기절연 방식에 비해 고가이며, 변전설비의 대형화, 집약화로 인해 설비 사고 발생 시 사회 경제적인 손실이 막대하다. 따라서 가스절연개폐장치의 사고예방을 위한 수단으로서 GIS 내부에서 발생하는 극초단파(Ultra-High Frequency, UHF) 대역의 부분방전 신호를 측정할 수 있는 센서를 설치하여 전력기기의 상태를 감시할 수 있는 부분방전 진단분야가 매우 중요시 되고 있으며 현재 많은 GIS 설비에 적용되고 있다. 실제로 한국전력공사에서는 신규 GIS의 설치 시 내장형 센서를 적용하고 있으며, 기존의 GIS설비에는 외장형 센서 등을 적용하여 부분방전 상태감시 시스템의 구축을 진행하고 있다.

본 논문에서는 GIS 구조를 지탱해주며 내부의 전계완화 역할을 수행하는 스페이스의 기본적인 역할에 GIS 내부의 부분방전 상태감시 기능을 추가한 다목적 지능형 스페이스를 제작하였다. 3D EM Simulator를 이용하여 GIS 내부에서 결합 발생시 전자기파의 E-Field 분포특성을 분석하였으며, 170kV Mppk-up GIS의 E-Field 분포특성을 측정하였다. E-Field 분포특성 분석결과를 바탕으로 2종류의 센서를 3D EM Simulator를 이용하여 설계, 제작하였다. 제작된 센서를 GIS 스페이스에 내장하여 5pC의 부분방전 신호에 대한 각 센서의 성능을 비교하였으며, 센서 최적 배치를 위해 각 위치에 대한 최대전압값을 측정하였다.

**2. 본 론**

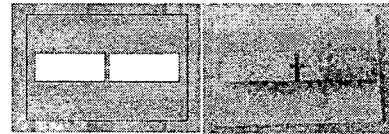
**2.1 삼상 170kV GIS 지능형 스페이스 내장형 센서 설계**

스페이스 내장형 센서는 스페이스가 제작되어지는 과정 중에 내부에 설치되어진다. 외장형 센서나 내장형 센서와는 달리 센서의 외관이 없이 패치 안테나가 스페이스 안에 내장되며 부분방전 데이터의 전송을 위해 N-type 컨넥터를 적용하여 외부로 돌출되도록 설계하였다.

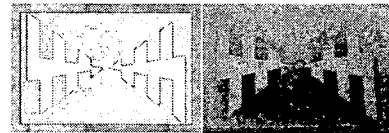


<그림 1> 지능형 스페이스 설치 구조 예

센서의 특성을 좌우하는 설계요소는 다음과 같다.

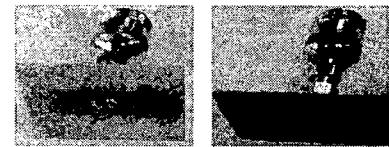


<그림 2(a)> Fat-Dipole



<그림 2(b)> Log-Periodic

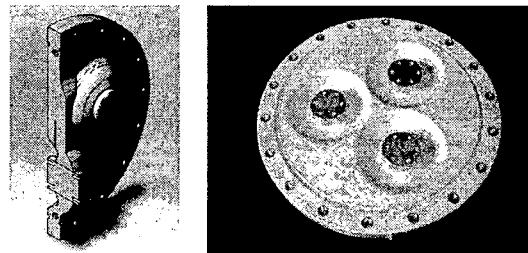
스페이스 내부에 적용하기 위해 FR4( $\epsilon_r=4.4$ )기판을 사용하였으며 상위단으로 부분방전 데이터를 전송하기 위하여 N-Type 컨넥터를 적용, 그림 3과 같이 시제품을 제작하였다..



<그림 3> 스페이스 내장형 센서

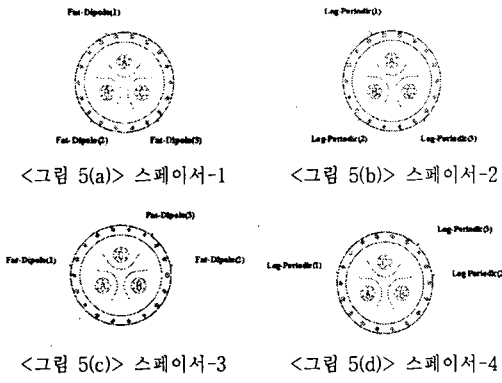
**2.2 삼상 170kV GIS 지능형 스페이스 제작**

센서의 특성을 고려하여 스페이스 내부에 취부할 수 있도록 울드링의 위치를 조절하였으며 강도증가를 위해 스페이스의 두께를 균일하게 적용, 그림 4와 같이 제작하였다.



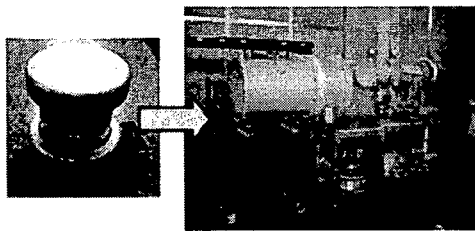
<그림 4> 센서가 내장된 스페이스 시제품

각 스페이스에는 패치안테나의 형태를 달리하여 종류별로 3종씩 총 6종의 패치안테나를 내장하였다. 또한 패치안테나의 성능 시험과 센서 최적 배치 시험을 위해 센서의 종류와 위치를 달리한 스페이스 4종을 제작하였으며 특성 시험을 통해 스페이스에 내장된 센서의 반사손실(S11)과 최대전압값(mV)을 측정하였다.



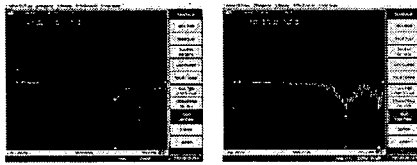
**2.3 성능 평가 시험**

삼상 170kV GIS 스페이서에 내장된 센서의 성능을 평가하기 위하여 모의 부분방전을 일으킬 수 있는 5pC PD Cell을 제작하여 그림 5와 같이 실험장치를 구성하였다.



<그림 5> 성능시험을 위한 실험장치

그림 6은 스페이서-1과 스페이서-2의 A상에 전압을 인가하여 센서별 반사손실별 측정된 결과이다. Fat Dipole 안테나의 경우 1 ~ 1.5 GHz의 광대역 우수한 주파수 특성을 보여줬으나, Log Periodic 안테나의 경우 심한 ripple 과 Fat Dipole 패치안테나보다 높은 주파수 대역 특성으로 인해 지능형 스페이서 내장형 센서로서 적합하지 않은 결과가 나타났다.



(a) Fat-Dipole (b) Log-Periodic  
<그림 6> 센서별 반사손실(S11)

표 1은 전압가압시 센서의 최대전압값을 나타낸 것이다. A, B, C 각 상별로 전압을 20여회 가압하여 센서별 최대전압값을 구한 후 평균값을 정리해 놓았다. 실험결과 Log-Periodic 센서가 Fat-Dipole 센서보다 전압값이 높다는 것을 확인할 수 있었으나 전압값의 변화폭이 커 일정한 성능을 발휘한다고 볼 수 없었다. 이에 비해 Fat-Dipole 센서는 Log-Periodic에 비해 결과값은 작게 나타났으나 일정한 전압값이 linear하게 나타나 보다 나은 성능을 보였다. 주파수 대역폭은 Log-Periodic(1.3GHz 이상)에 비해 Fat-Dipole(1.0GHz 이상)이 UHF대역을 측정하기에 적합한 것으로 나타났다.

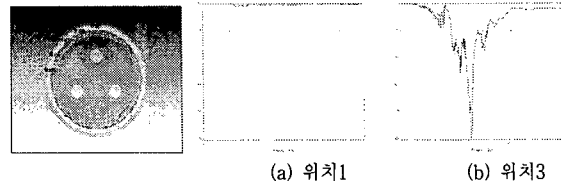
전압 인가 상	스페이서 1 & 3			스페이서 2 & 4		
	A	B	C	A	B	C
Fat-Dipole Max.Voltage(mV)	3.32	5.02	2.24	6.93	6.87	4.97
Log-Periodic Max.Voltage(mV)	5.25	2.30	4.18	6.51	5.75	7.06

표 1. 센서별 최대전압값 평균

삼상 170kV GIS 스페이서에 내장된 센서의 경우 앞서 3D EM Simulator를 이용한 시뮬레이션 결과 Fat-Dipole 안테나에 비해 Log-Periodic 안테나가 우수한 특성을 나타냈다. 하지만 실제 모의스페이서를 가지고 실험한 결과 Log-Periodic 안테나의 경우 심한 ripple과 높은 주파수 대역으로 인해 지능형 스페이서에 적용하기에 적합하지 않은 것으로 판명되었다. 이에 비해 Fat-Dipole 안테나의 경우 Log-Periodic에 비해 최대전압값 평균은 낮지만 1GHz 이상의 주파수특성을 보였으며 linear한 최대전압값 결과를 보여 줌으로서 지능형 스페이서에 적합한 센서로 선정되었다.

**2.4 센서 최적 배치를 위한 특성 시험**

지능형 스페이서에 센서를 적용하는데 있어 위치의 선택은 매우 중요한 사항이다. 어느 위치를 선정하는지에 따라 센서의 특성이 크게 변하기 때문이다. 그림 7은 3D EM Simulator를 이용하여 센서의 스페이서 위치별 반사손실(S11)을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 상과 상사이에 위치할 경우 가장 좋은 특성을 보였다.



(a) 위치1 (b) 위치3  
그림 7. 스페이서 위치별 반사손실(S11)

표 2는 실제 스페이서에는 어떤 위치에서 가장 좋은 특성을 보이는지 알아보기 위해 2.3 성능 평가 시험의 최대전압값 데이터를 스페이서 구간별로 정리하여 나타낸 것이다.

	Fat-Dipole Max. Voltage(mV)	Log-Periodic Max. Voltage(mV)
A	5.02	5.35
B	-	-
C	4.97	-
D	-	6.64
E	6.93	-
F	-	6.25
G	6.87	-

<표 2> 스페이서 구간별 최대 전압값

측정결과 상과 상사이에 구간인 E구간과 G구간에서 지능형 스페이서에 적합한 센서로 선정된 Fat-Dipole의 최대전압값이 높게 나타났으며 시뮬레이션 결과와 크게 다르지 않음을 확인할 수 있었다.

**3. 결 론**

본 논문에서는 삼상 170kV GIS 스페이서 내부에 패치안테나를 내장하여 기존의 스페이서 기능에 부분방전을 검출할 수 있는 기능을 추가한 다목적 지능형 스페이서를 개발하였다.

3-D EM simulator를 이용한 모의 설계 및 Simulation과정을 통해 삼상 170kV GIS 내부의 구조적 특성을 고려하였으며, 2종의 센서(Fat-Dipole, Log-Periodic)가 내장된 지능형 스페이서를 시험 제작하여 비교시험을 진행하였다. 또한 압력시험, 부분방전시험, 절연시험 등의 자체 시험과정을 통해 지능형 스페이서의 전기적 절연 성능과 기계적 강도에 관한 검증은 마쳤다. 내장된 센서의 특성 파악을 위해 PD Cell을 이용하여 반사손실(S11)과 최대 전압값을 측정하였으며, 그 결과를 바탕으로 센서와 최적위치를 선정하게 되었다.

지능형 스페이서의 적용을 통해 기존의 부분방전 상태 감시를 위해 점검장에 내장형 센서를 설치하거나 스페이서에 외장형 센서를 설치함으로써 추가되는 비용의 절감 및 GIS 설치공간의 협소화를 통해 기능집약적인 변전설비의 적용이 가능하리라 본다. 그리고 추후 현장 시범적용과 스페이서 소재 개발을 통해 추가적인 제품의 보완이 가능하며 국내 전력기기 생산업체의 국제경쟁력 강화 및 품질의 향상 등의 파급효과가 발생할 것으로 예상된다.

**감사의 글**

본 연구는 부분적으로 산업자원부 전력산업 연구개발사업 지원에 의해 수행된 연구 결과로 이에 감사드립니다.

**[참고 문헌]**

[1] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, "The Excitation of UHF PD signals by Partial Discharges in GIS", IEEE trans. on DEI., vol. 3, No. 2, p p 213-228, 1996  
 [2] M.D. Judd, O. Farish, B.F. Hampton, "Broadband couplers for UHF detection of partial discharge in gas -insulated substations", IEE proc.-Sci. Meas. Technol., vol. 142, No. 3, pp 237-243, 1995  
 [4] J. S. Pearson, et al, " Partial Discharge Diagnostics for Gas-Insulated Substations", IEEE Trans. On Die. And El Ins., Vol. 2, No. 5, 1995, pp. 893-90  
 [5] Micro Wave Studio V5.0, Coumputer Simulation Technology,2004.