

GIS 부분방전 검출용 내장형 UHF 센서의 특성조사

구선근*, 박기준, 윤진열
한전 전력연구원 계통연구실

Studies of Internal UHF Partial Discharge Sensors for the Gas Insulated Switchgear

Sun-geun Goo*, kijun Park, jin Yeol Yoon
Power System Laboratory, Korea Electric Power Research Institute

Abstract - GIS(Gas Insulated Switchgear) 내부에서 부분방전 신호를 검출 할 수 있는 UHF(Ultra High Frequency) 센서를 제작하고 그 특성을 조사하였다. UHF 센서는 GIS 내부에서 전기적, 기계적으로 안정된 형태로 제작되었으며, 영국의 NGC(National Grid Company)에서 제시한 규격을 충분히 만족함을 확인하였다. 부분방전 신호가 발생하는 모형 GIS 내에 UHF 센서를 장착하여 실제 부분방전 신호가 잘 측정됨을 확인하였다.

다. 본 연구에서는 진술한 설계요소를 고려하여 그림 2와 같은 내장형 UHF 센서를 개발하였다.

1. 서 론

변전설비 용량의 급격한 증가에 따라 GIS의 예방진단에 대한 필요성이 강조되고 있다. 특히 부분방전시 발생하는 UHF 신호를 감지함으로써 GIS의 상태를 감시하는 UHF법은 부분방전량의 측정범위가 넓고, 외부 전파 잡음이 거의 없는 GIS의 환경에 적합하며, 이상발생위치 추적 및 결함원인 추정이 용이하여 GIS 예방진단기법으로 각광받고 있다[1][2]. 본 논문에서는 한전 전력연구원에서 UHF법에 의한 GIS 예방진단시스템용으로 개발한 내장형 UHF 센서의 특성을 조사하여 센서가 적절히 설계되었음을 보이고자 한다.

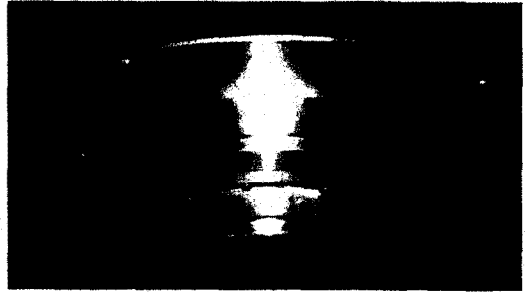


그림 2. 내장형 UHF 센서.

2. 본 론

2.1 내장형 UHF 센서의 제작

GIS의 헤치커버에 부착되는 내장형 UHF 센서는 그림 1과 같이 센서판(sensor plate), 접지판(ground plate), 그리고 절연체(insulator)로 구성되어 있다. 센서판은 부분방전신호를 직접 감지하며, 접지판은 부분방전 신호를 센서판에 집중시키는 역할을 한다. 절연체는 센서판과 접지판을 연결, 고정시킨다. 내장형 UHF 센서의 구성.

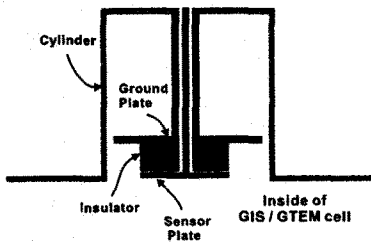


그림 1. 내장형 UHF 센서의 구성.

내장형 UHF 센서를 제작하기 위해서 많은 설계요소를 고려해야 한다. 부분방전 신호를 잘 감지하기 위해 각 구성요소의 크기 및 위치가 최적화 되어야 하며, GIS 내 전계분포를 왜곡시키지 않는 구조를 가져야 하고 GIS 수명동안 기계적 안정성 및 기밀이 유지되어야 한

2.2 내장형 UHF 센서의 특성조사

2.2.1 내장형 UHF 센서의 유효길이

M. D. Judd 등은 모노폴 안테나와 UHF 센서를 비교하여 센서의 성능을 측정하는 방법을 제안하였다 [3][4]. 모노폴 안테나에 입사된 전자파의 파장이 모노폴 안테나의 길이보다 길 때 모노폴 안테나에서 유기되는 전압신호(V)는 모노폴 안테나의 유효길이(H_e : Effective Height)와 전기장(E_r)의 곱으로 나타난다. 따라서 안테나의 유효길이가 길수록 신호전압이 높아져 성능이 우수하다고 할 수 있으므로 유효길이는 안테나의 성능을 가늠할 수 있는 좋은 변수이다. 따라서 UHF 센서의 감도를 아래의 방법을 통해 유효길이로 환산하여 정량적으로 측정할 수 있다.

- 그림 3의 GTEM(Gigahertz Transverse Electro-Magnetic) cell에 유효길이를 알고 있는 모노폴 안테나를 설치한 후 펄스 발생기를 통해 GTEM cell에 계단파 펄스를 인가한다.
- 모노폴 안테나로부터 측정된 펄스신호($V(t)$)를 FFT를 통해 주파수 영역으로 변환하여($V(\omega)$) 아래 식에 의해 GTEM cell 내부의 전기장($E_r(\omega)$)을 산출한다.

$$V(\omega) = E_r(\omega) H_e(\omega)$$

- GTEM cell에 교정을 위한 UHF 센서를 설치 후 펄스 발생기를 통해 GTEM cell에 동일한 계단파 펄스를 인가한다.
- UHF 센서에서 측정된 펄스신호($V(t)$)를 FFT를 통해 주파수 영역에서 변환하여($V(\omega)$) 위 식에 대입한 후 UHF 센서의 유효길이 $H_e(\omega)$ 를 산출한다.

영국의 NGC는 자사의 420 kV GIS에 장착되는 UHF 센서에 대해 0.5 - 1.5 GHz의 주파수 범위에서 표 1과 같이 평균유효길이가 6 mm 이상이고 유효길

이가 2 mm 이상인 주파수 영역이 전체 주파수 영역의 80 % 이상을 차지할 것을 요구하고 있다[4][5]. 본 논문에서도 NGC 규격을 센서의 감도판단기준으로 이용코자 한다. 개발된 내장형 UHF 센서의 주파수에 대한 유효길이의 분포는 그림 4와 같으며 이를 통해 계산한 평균유효길이와 유효길이가 2 mm 이상인 주파수 영역이 전체 주파수 영역에서 차지하는 비율이 표 1과 같이 각각 11 mm와 100 %로 NGC 규격을 충분히 만족시키는 우수한 성능을 나타내었다.

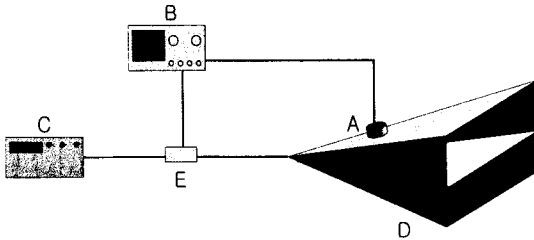


그림 3. UHF 센서의 특성평가를 위한 GTEM cell의 구성도. A: 모노폴 안테나 또는 UHF 센서, B: 오실로스코프, C: 펄스 발생기, D: GTEM cell, E: Power divider,

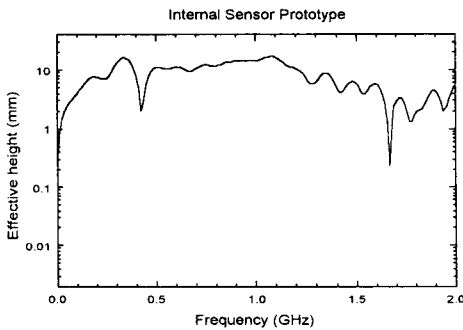


그림 4. 내장형 UHF 센서의 유효길이.

표 1. NGC의 UHF 센서 규격과 전력연구원 개발 UHF 센서의 성능.

	평균 유효길이	0.5 - 1.5 GHz 사이에서 유효길이가 2 mm 이상인 주파수 영역
NGC 규격	6.0 mm 이상	80 % 이상
한전 설계 UHF 센서	11 mm	100 %

2.2.2 GIS 모형에 의한 내장형 UHF 센서의 성능 검증

362 kV GIS와 같은 크기로 제작된 그림 5와 같은 모형에 내장형 UHF 센서를 장착한 후 그림 6과 같이 network analyzer로 S_{11} 을 측정하였다. network analyzer에서 주파수 sweeping되는 UHF 신호를 센

서에 인가한다. 이때 센서가 UHF를 잘 흡수하여 GIS 내부로 방출하면 센서에서 반사되어 network analyzer로 돌아가는 신호가 작고, UHF를 방출하지 못하면 입사된 신호가 모두 반사된다. network analyzer의 화면상에는 입사된 UHF 신호에 대해 반사된 신호의 비(S_{11})를 보여준다. 센서가 UHF 신호를 모두 반사하면 S_{11} 은 1(0 dB)이 된다. 일반적으로 센서에서 저항성분에 의한 에너지 손실이 없을 경우 UHF 신호를 잘 방출하는 센서가 UHF 신호를 잘 감지한다. 따라서 S_{11} 이 작게 나올수록 센서의 감도가 높다고 말할 수 있으며, S_{11} 은 센서가 GIS에 내장된 후 센서의 성능을 정성적으로 검증할 수 있는 좋은 변수이다.

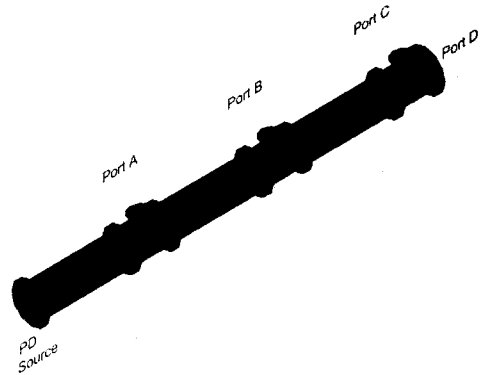


그림 5. GIS 모형

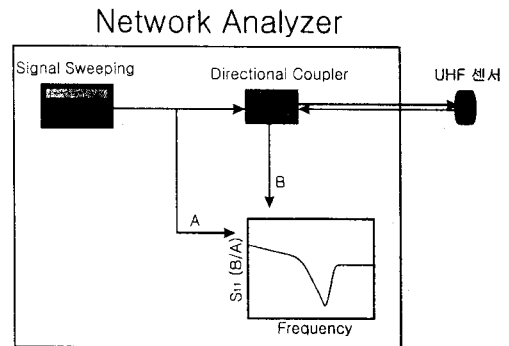


그림 6. 내장형 UHF 센서의 S_{11} 측정

GIS 모형의 port A에 센서를 장착후 그림 7과 같이 S_{11} 을 측정하였다. 그림 8과 같이 2 mm 알루미늄 구가 내장된 부분방전 발생장치를 GIS 모형에 삽입하여 부분방전을 일으킨 후 그림 7과 같이 내장형 UHF 센서로 방전신호를 측정하였다. 부분방전신호가 0.8 - 1.4 GHz 사이의 S_{11} 이 낮은 영역에서 잘 감지되었다. 따라서 S_{11} 이 센서의 감도를 간접적으로 나타냄을 알 수 있었다. 또한 센서의 감도가 높은 영역이 NGC 규격에서 제시한 0.5 - 1.5 GHz 사이에 위치하므로 센서의 조율이 적절함을 알 수 있었다.

센서로부터 측정된 부분방전신호를 그림 9와 같이 오실로스코프로 측정하여 실제 부분방전신호가 잘 감지됨을 확인하였으며 이때 센서에서 검출되는 부분방전 에너지는 약 0.25 pJ 이었다.

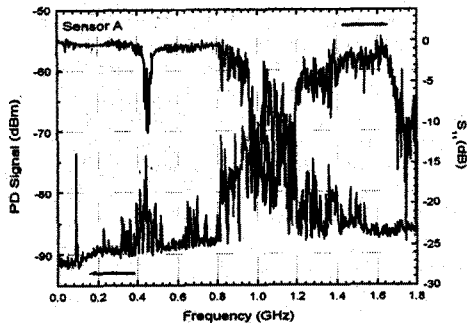


그림 7. 내장형 UHF 센서의 S₁₁과 센서에서 측정된 부분방전신호.

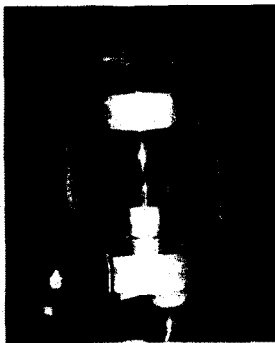


그림 8. 부분방전발생장치

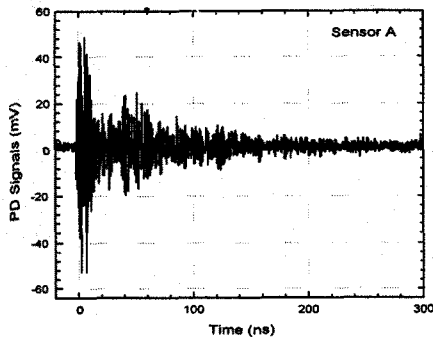


그림 9. 내장형 UHF 센서로 측정된 부분방전 신호.

3. 결 론

GIS 부분방전 감시를 위한 내장형 UHF 센서를 개발하였다. 개발된 센서의 유효길이는 8 mm이고, 유효길이가 2 mm 이상인 주파수 영역이 전체 주파수 영역에서 차지하는 비율은 100 %로 NGC 규격을 만족시켰다. 센서의 S₁₁은 0.8 - 1.4 GHz 사이에서 최소값을 가짐을 확인하였다.

4. 감사의 글

내장형 UHF 센서의 설계와 유효거리 측정을 도와주신 DMS사의 B. F. Hampton 박사, J. S. Pearson 박사와 University of Strathclyde의 M. D. Judd 박사께 진심으로 감사드립니다.

(참 고 문 헌)

- [1] B. F. Hampton and R. J. Meats, "Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations", IEE Proc., Vol. 135, Pt. C, No. 2, March 1988
- [2] CIGRE working group 15.03, "Diagnostic methods for GIS insulating systems", CIGRE task force 15/23-01, 30 August - 5 September 1992 Session
- [3] M. D. Judd, "Transient calibration of electric field sensors", IEE Proc. Science Measurement and Technology, Vol. 146, No. 3, pp. 113-116, May 1999
- [4] M. D. Judd, O. Farish and P. F. Coventry, "UHF couplers for GIS - sensitivity and specification", Proc. 10th Int. Symp. on High Voltage Engineering (Montreal), Vol. 6, August 1997
- [5] M. D. Judd, "Specifying UHF coupler sensitivity", http://homepages.strath.ac.uk/~cnbs89/uk_spec.htm, 1999