

초고압 GIS용 부분방전 UHF 센서의 현장 성능시험 연구

김정배\*, 정재룡, 김민수, 송원표, 김맹현\*\*, 고희석\*\*\*, 최인혁\*\*\*\*  
 \*(주) 효성, \*\*전기연구원, \*\*\*경남대학교, \*\*\*\*전력연구원

Research about a Field Test of PD UHF Sensor's Sensitivity for a High Voltage GIS

J.B.Kim\*, J.R.Jung, M.S.Kim, W.P.Song, M.H.Kim\*\*, H.S.Ko\*\*\*, I.H.Choi\*\*\*\*  
 \*Hyosung.co., \*\*KERI, \*\*\*Kyungnam National University, \*\*\*\*KEPRI

**Abstract** - This paper suggest the field test method of PD UHF sensor's sensitivity for a high voltage GIS and prove a reliability of the field test method through the test results of UHF sensor.

1. 서 론

국내 최초로 변전소 예방진단 시스템이 적용되는 765kV 변전소에 있어서, GIS 부분방전 진단을 위하여 UHF 센서가 GIS에 취부되어 있다. UHF 센서에 대해서는, 변전소 현장에서 방전량 10pC이상의 부분방전이 각 센서의 감시영역인 센서와 인접센서 사이 영역 어느 곳에서 발생하더라도 센서 출력이 0.01μW(=-50dBm, 특성임피던스 50 Ohm기준)이상을 갖는지를 확인하도록 규정되어 있으므로, 감쇠율 데이터와 필스발생기를 이용해 UHF센서의 현장시험을 수행하였으며, 그 결과에 대해 논의 하고자 한다.

UHF 센서 성능시험은 초기 개발시험을 통해 자체 감도특성을 확인하였으며, 또한 실 GIS에 부착하여 얻은 감쇄율 데이터를 이용하여 GIS내 센서위치별 결정하여 취부가 완료된 상태이다. 그러나, 센서의 신뢰성 측면에서 실 변전소 현장에서의 성능확인 시험이 요구되고 있어, Maker와 수요자들간의 협의에 의하여, 별도의 현장 성능 확인 시험 방안이 제시되었는데, 이 시험은 연구실내 시험과 변전소 현장 시험으로 나누어진다. 연구실내에서는 Pulse Generator의 인가전압(V)과 부분방전량(dBm)의 관계를 찾아내어 변전소 센서위치별 인가전압을 계산하고, 실 변전소에서는 계산된 인가전압으로 각 위치별 센서에 전압인가 후, Spectrum Analyzer(S/A)로 측정하여 계산한 보정값(500MHz~1.5GHz 사이의 신호)과 오실로스코프로 측정한 데이터를 이용하여 측정된 신호의 Power를 계산하고, 기준치와 비교 검토 하였다.

2. 본 론

2.1 개요

UHF 센서의 현장 성능 확인 시험은 그림 1과 같은 과정으로 실시한다. 우선 Rolling Ball을 이용한 ERA 시험을 통해 센서의 pC-dBm 특성을 확인하고, Pulse generator의 인가전압 크기(V)에 따른 측정된 신호크기(dBm)의 관계를 구한후 변전소 센서 위치별 인가전압을 계산한다. 계산된 인가전압을 바탕으로 각 위치별 센서에 전압을 인가하여 오실로스코프로 측정된 데이터의 Power(μ)를 계산한다.

2.2 UHF 센서 특성 시험 (dBm-pC 환산)

부분방전의 크기는 pC 단위로 나타내어지는데 UHF 센서의 신호를 Spectrum Analyzer로 측정을 하므로 측정된 신호크기(dBm)를 부분방전량(pC)으로 환산할 수 있는 센서의 특성을 알아야 한다. 그래서 그림 2와 같이 센서 특성시험 위해 시험 장비를 구성하고, 시험을 실시 하였다. GIS Chamber에 부분방전을 모의할수 있는 Rolling Ball을 넣고 ERA 부분방전 측정기로 부분방전을 측정하고(pC), 같은 부분방전에 대해 Spectrum Analyzer로 동시에 측정하였다.(dBm)

측정결과를 표 1과 같다. 측정시 Rolling Ball에서 발생하는 PD가 일정하지 않고 약간의 변동이 있는데, 이때에 변동량은 약 ±2~3dB 가량 되었다.

측정된 값을 바탕으로 그림 4와 같은 센서 특성 그래프를 구할수 있었고, 센서 제작사에서 제공한 그림 5의 센서특성그래프와 비교했을때, 일치함을 알 수 있었다. 다만 센서 제작사에서 제공한 데이터의 경우 pre-amp 로 인한 증폭값을 보정해 주지 않아 당사에서 시험한 결과에 비해 20dBm 만큼 높은 값을 나타내고 있다. 따라서, pC-dBm환산을 위한 환산식은 식(1)과 같다.

$$x_{dBm} = -70.06 + 20.03 \log(x_{pC}) \quad (1)$$

여기서,  $x_{dBm}$ : Spectrum Analyzer 측정값 [dBm]

$x_{pC}$ : ERA 측정값 [pC]

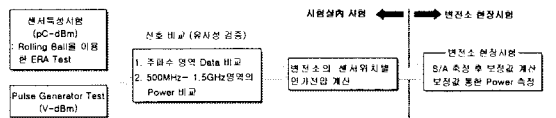


그림 1. UHF센서의 현장 성능시험 방법

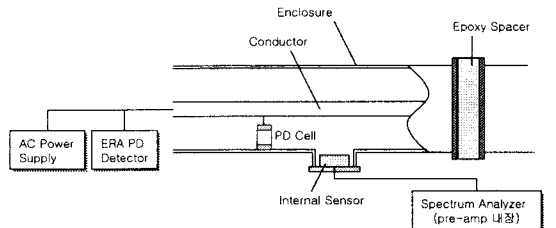


그림 2. UHF 센서 특성시험 구성도

표 1. UHF 센서 특성 시험 결과

인가전압	ERA 측정값	S/A 측정값
2.2kV	20pC	-44dBm(peak:750MHz)
3.2kV	100pC	-30dBm(peak:555MHz)

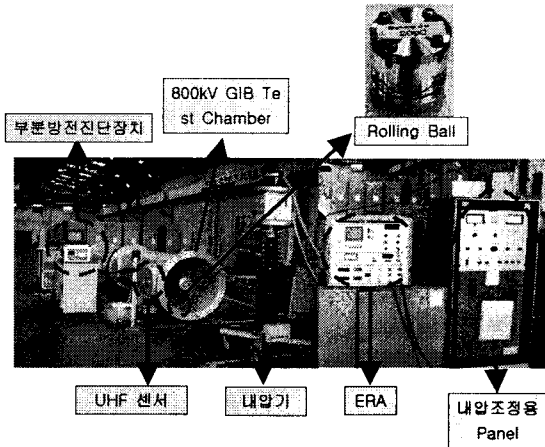


그림 3. UHF 센서특성시험 장비

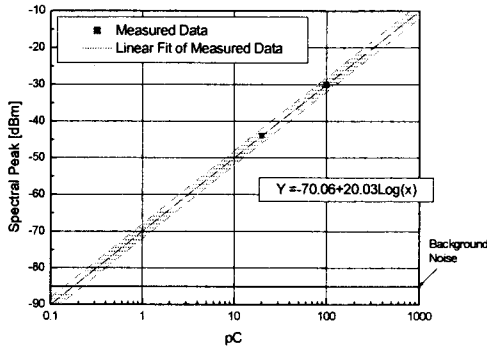


그림 4. UHF 센서 특성 곡선 (시험 데이터)

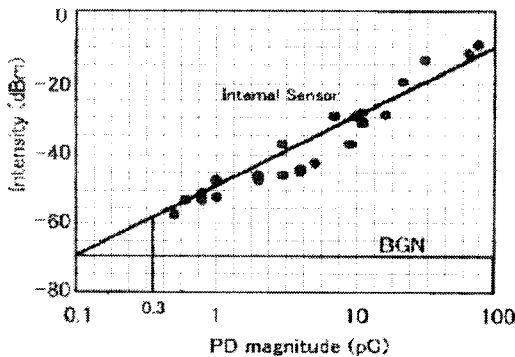


그림 5. UHF 센서 특성 곡선 (센서 제작사 제공)

### 2.3 UHF 센서 성능 확인시험

현장에 설치된 GIS의 경우 2.2절에서와 같이 Rolling Ball을 통해 부분방전을 모의 할수 없기 때문에, CIGRE TF 15/33.03.05[2]에서 설명하고 있는 현장에 설치된 UHF센서의 성능 확인시험 방안을 바탕으로 시험을 실시하였다. UHF 센서 성능확인 시험은 연구실 내에서 Pulse Generator를 이용해서 Pulse의 전압 크기에 따른 UHF sensor로 측정된 신호크기의 관계를 구한 후, 변전소 센서위치별 인가전압을 계산한다. 그리고, 변전소 현장에서 계산된 인가전압을 인가하여 오실로스코프로 측정된 power를 기준치와 비교하여

UHF 센서의 성능을 확인한다.

#### 2.3.1 연구실내 시험

1 부분방전 신호와의 유사성 검증

현장에서 GIS에 부분방전을 Rolling ball로 모의 할수 없기 때문에 Pulse Generator에서 발생한 Pulse로 부분방전을 모의 한 후 Rolling ball로 부분방전을 모의 했을때와 신호를 비교하여, 두 신호의 유사성을 검증한다.

유사성 계산은 CIGRE법에 따라 두 신호를 식(2)를 통해 Error율을 계산한다.

$$D = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_{ri} - y_{pi}}{y_{ri}} \right)^2} \quad (2)$$

여기서,  $y_{ri}$  : rolling ball signal

$y_{pi}$  : pulse signal

n : 총 데이터수

표 1을 바탕으로 그림6과 같이 시험을 실시 했을때, 인가 전압이 50V일때 -44dBm이 측정 되었고, 450V 일때 -30dBm이 측정되었으므로, 20pC의 Rolling Ball 시험 데이터와 50V 시험데이터, 100pC의 Rolling Ball 시험데이터와 450V 시험데이터를 비교 계산 하였다. 그림7은 두 시험데이터의 주파수역에서의 형태를 나타내고 있다.

식(2)를 이용하여 계산한 결과 20pC와 50V 시험데이터는 오차율이 19.9%이고, 100pC와 450V 시험데이터는 오차율이 30.92%로 나타났다.

오차율이 기준인 20%를 초과하고 있으나, 오차를 계산이 각각의 해당 주파수에서의 신호의 오차의 평균이기 때문에 500MHz~1.5GHz의 power를 통해 신호의 유사성을 검증해 보았다. 그 결과 표2와 같으며, 두 경우 모두 오차가 5dB 이하로 외부 노이즈, 측정오차, Pulse Generator의 인가전압 오차등을 고려했을때 두 신호의 유사성을 어느정도 입증 가능했다.

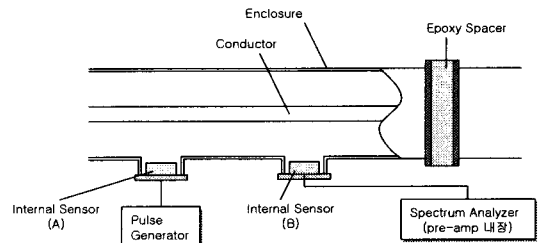
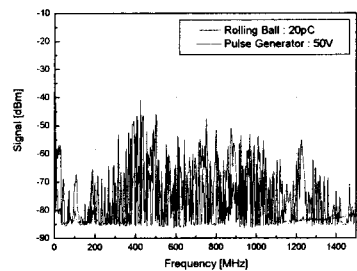
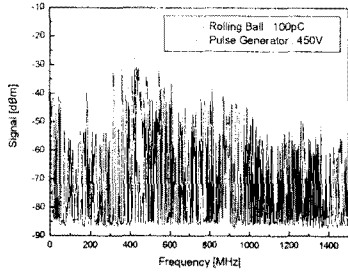


그림 6. Pulse Generator 시험 구성도



(a) 20pC-50V : D=19.9%



(b) 100pC-450V : D=30.92%  
 그림 7. 시험데이터 유사성 검토

표 2. 500MHz~1.5GHz 대역의 Power 크기 비교

구분	Rolling Ball	Pulse Gen.	Error
20pC-50V	-33.8 dBm	-35.9 dBm	2.1dB
100pC-450V	-23.5 dBm	-18.8 dBm	-4.7dB

② Pulse의 크기(V)-신호크기(dBm)의 관계

그림 6와 같이 시험 구성을 하여 Pulse Generator의 인가 전압을 10V~2000V까지 증가 시키면서 그때의 신호 크기를 측정하여 그림 8과 같은 그래프를 나타내고, 그 그래프로부터 최소자승법으로 식(3)과 같은 선형식을 구하였다.

$$x_{dBm} = -70.19 + 14.92 \log(x_V) \quad (3)$$

여기서,  $x_{dBm}$  : Spectrum Analyzer로 측정된 신호 크기 (Spectral Peak).  
 $x_V$  : Pulse 전압 크기

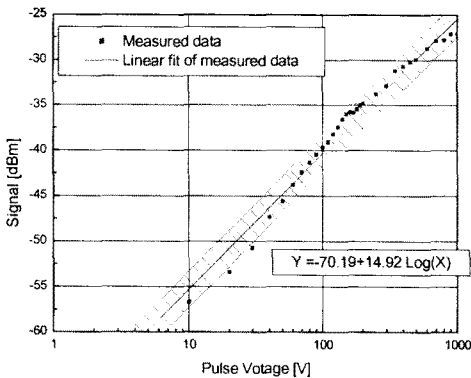


그림 8. V-dBm 관계 그래프

2.3.2 변전소 현장 시험

변전소의 GIS에 설치될 UHF센서의 위치 및 수량을 결정할 때 사용되었던 감쇄율 데이터를 바탕으로, 식(3)과 에러율 ±3dB를 이용하여, 각 센서별로 Pulse Generator로 인가했을때, 감쇄율이 중간이 되는 지점에서 10pC 발생되도록 인가전압의 범위를 계산하였다.

계산된 인가전압을 이용하여 변전소 현장에서 그림 9과 같이 시험장비를 구성하여 시험을 실시 하였다. 오실로스코프로 측정된 데이터는 0~1.5GHz의 전 대역의 신호가 측정되므로, Spectrum Analyzer를 통해 0~500MHz, 500MHz~1.5GHz대역의 power를 계

산하여 식(4)를 이용하여 계산된 보정값을 통해 오실로스코프로 측정된 power를 500MHz~1.5GHz의 power로 환산 하였다.

입력된 Pulse 파형은 펄스 폭이 10ns, 펄스 주기가 10ms이다.

S변전소에서 총 24개 구간에 대해 감쇄율 데이터를 바탕으로 인가전압을 계산한 후, 시험을 하여 오실로스코프로 측정된 신호의 power를 계산하여, 시험 기준인 -50dBm(=0.01μ)에 만족하는지 확인 하였다.

우선 변전소 현장에서의 노이즈를 측정하여 표 3과 같은 결과를 얻었고, 오실로스코프로 측정시 그림 10과 같은 노이즈 파형을 측정할 수 있었다.

표 4는 총 24개 구간에 대한 시험 결과를 나타내고 있다. 시험결과 전 구간에 대해 기준을 만족하고 있으며, 차단기(CB)를 통과하는 구간의 경우 다른 부분에 비해 신호 감쇄가 큰 것을 알 수 있었다.

그림 11은 측정 결과 예로써 구간 1에서 500V 인가시 오실로스코프로 측정된 파형이다.

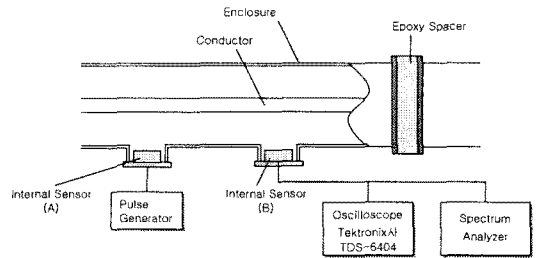


그림 9. 변전소 현장 시험 구성도

표 3. S 변전소 노이즈 대역

번호	주파수	비고
1	545MHz ~ 650MHz	TV
2	710MHz ~ 770MHz	TV
3	1200MHz ~ 1400MHz	레이더

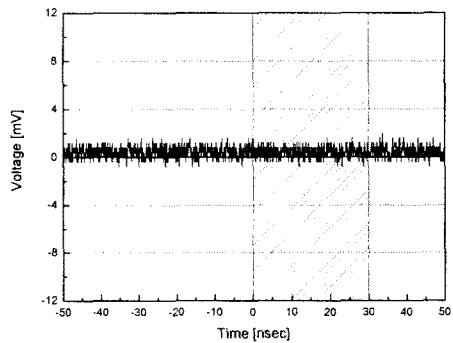


그림 10. 오실로스코프로 측정한 노이즈 신호

[참 고 문 헌]

- [1] J.B.Kim, M.S.Kim, K.S.Park, W.P.Song, D.S.Kim, "Development of Monitoring and Diagnostic System for SF6 Gas Insulated Switchgear", IEEE Conference record of the 2002 IEEE International symposium on Electrical Insulation, April 7-10, 2002, pp.453~456.
- [2] CIGRE TF15/33.03.05, "Partial Discharge Detection System for GIS : Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method", ELECTRA, No.183, April 1999.
- [3] Tatsuro Kato, Fumihiro Endo, Shingo Hironaka, "Sensitive Partial Discharge Monitoring System by UHF Method and Calibration Technique", SC15 Gas Insulated Systems Symposium, May' 9, 2001, pp.73~76.

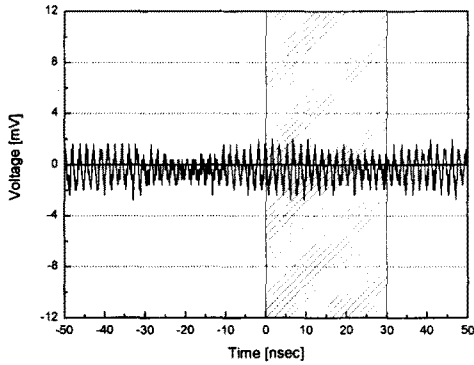


그림 11. 구간 1에서 500V 인가시 측정 결과

표 4. UHF 센서 현장 성능확인 시험 결과

번호	감쇄율 [dB]	인가전압 [V]	Avg. Power	Max. Power	보정값 [%]
1	37	500	-44.81	-36.02	96
2	40	450	-36.60	-30.36	99
3	37	500	-45.69	-36.20	91
4	25	200	-42.84	-34.44	92
5	36	480	-45.53	-36.03	98
6	36	480	-44.43	-36.02	98
7	37	500	-46.99	-37.21	95
8	35	300	-46.20	-34.32	95
9	37	500	-45.85	-36.99	97
10	52	1000	-43.98	-34.95	99
11	25	200	-44.95	-34.44	94
12	35	300	-44.81	-35.09	97
13	40	450	-37.01	-29.87	99
14	35	470	-41.67	-33.37	99
15	52	1000	-44.09	-34.95	99
16	47	680	-41.08	-34.20	99
17	35	450	-40.41	-33.47	97
18	43	500	-43.47	-32.84	97
19	43	500	-44.20	-34.32	95
20	27	240	-34.09	-38.54	99
21	47	680	-41.14	-33.37	99
22	27	240	-38.54	-28.24	97
23	26	150	-34.56	-26.25	88
24	26	150	-34.32	-26.25	88

3. 결 론

Rolling Ball을 이용한 ERA시험을 통해 pC-dBm 관계를 입증하고, Rolling Ball를 이용한 부분방전 모의와 Pulse Generator를 이용한 부분방전 모의가 서로 비슷함을 입증한 후 Pulse의 크기(V)에 따른 신호크기(dBm)의 관계를 구하였다. 구해진 관계식을 이용하여 변전소 센서 위치별 감쇄율에 따른 인가전압을 계산하여 해당 센서에 Pulse를 인가하여 power를 측정 하였다.

연구실내에서 GIS 각 파트 및 형태별 시험을 통해 얻어진 감쇄율을 바탕으로 현장시험을 실시한 결과 전 구간에서 기준에 만족하는 결과를 얻을 수 있었다. 본 논문에서 제시한 방법으로 UHF센서의 현장 성능 확인시험을 실시하고자 한다면, GIS Type, 주요 부분별 정확한 감쇄율 데이터를 측정하는 시험 또한 중요함을 알 수 있다.