

GIS용 UHF 부분방전검출장치의 감도 측정법

구선근, 박기준, 윤진열
한국전력공사 전력연구원

A Sensitivity Verification Method for the UHF Partial Discharge Detection System in the Gas Insulated Switchgear

Sun-geun Goo, Kijun Park, Jin Yul Yoon
Korea Electric Power Research Institute (KEPRI)

Abstract - 네트워크 분석기를 이용하여 GIS용 UHF 부분방전 검출장치가 CIGRE 권고안을 만족시킴을 보일 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 운전중인 GIS에서도 활용이 가능하며 주파수 영역에서 GIS 내 부분방전신호의 감쇠율을 정확히 측정할 수 있고 측정 시스템의 개별부품에 대한 교정이 필요치 않다. 또한 측정된 GIS의 구간별 감쇠율을 이용해 센서의 종류와 부분방전검출장치 및 GIS의 구성에 따라 센서의 위치를 손쉽게 결정할 수 있다.

1. 서 론

변전설비 용량의 급격한 증가에 따라 GIS(Gas-insulated Switchgear, 가스절연개폐장치)의 예방진단에 대한 필요성이 강조되고 있다. 특히 부분방전시 발생하는 UHF(Ultra High Frequency, 극초단파) 신호를 측정하여 GIS의 상태를 감시하는 UHF 부분방전검출기법은 부분방전량의 측정범위(dynamic range)가 넓고, 전파잡음이 거의 없는 GIS 내부의 환경에 적합할 뿐만 아니라, 이상발생위치 및 결함원인의 추정이 용이하여 GIS 예방진단기법으로 각광받고 있다 [1][2]. 본 논문에서는 한전 전력연구원에서 UHF 부분방전검출기법을 위해 개발한 센서 및 센서가 장착될 GIS의 특성을 조사하여 부분방전검출장치의 감도를 측정하고, 센서의 배치간격을 결정할 수 있는 새로운 방법을 제안코자 한다.

CIGRE는 UHF 부분방전 검출장치가 GIS 내부에서 IEC60270법에 의한 최소 5 pC의 결보기방전량 이상을 검출할 수 있는 감도를 가질 것을 권고하고 있으며, 이를 펄스발생기를 이용하여 검증하는 방법을 제안하였다 [3]. 이 방법은 비교적 간단하여 실제 GIS에서 적용하기 쉬우나, UHF 센서에 수십 V 이상의 전압을 인가해야 하며, 펄스발생기가 5 pC 부분방전신호와 동등한 펄스를 발생하도록 교정해야 하고, 측정된 신호를 푸리에 변환해야 주파수에 대한 특성을 알 수 있다. 그러나 네트워크 분석기를 이용해 교정절차 없이 1 V 이하의 신호를 UHF 센서에 인가하여 비교적 간단하게 UHF 부분방전 검출장치의 감도와 GIS에서의 전자파 손실을 정확히 측정할 수 있었으며 이를 이용해 센서의 배치간격이 CIGRE의 권고안을 만족하는 조건을 도출할 수 있었다.

2. 네트워크 분석기를 이용한 UHF 부분방전 검출장치의 감도 측정법

네트워크 분석기를 이용하여 UHF 부분방전 검출장치가 CIGRE 권고안을 만족함을 확인하는 방법은 세 단계로 구성되어 있다.

2.1 5 pC 부분방전에 대한 UHF 신호크기 측정

그림 1에서 GIS 내부의 한쪽 끝단에 표준방전량(5 pC) 발생장치를 설치한 후 근접한 곳에 UHF 센서를 설치한다. GIS의 다른 끝에는 UHF 신호의 반사를 막기 위해 전자파 흡수체(RF Absorber)를 장착한다. 표준방전량 발생장치에서 5 pC 부분방전을 발생시킨 후 UHF 부분방전 검출장치(그림 1의 UHF 센서와 오실로스코프)에서 이때의 UHF 전력 P_{5pC} (단위: W)을 측정한다. 측정된 전력은 센서의 특성에 따라 다른 값을 가진다.

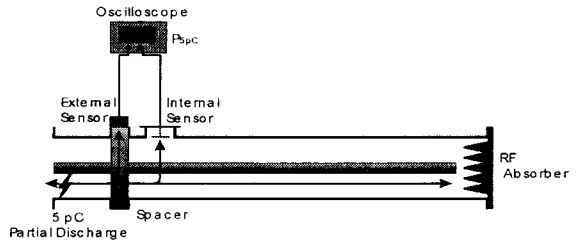


그림 1. UHF 센서를 이용한 5 pC 부분방전 전력 측정

2.2 GIS 내 UHF 신호의 감쇠특성 측정

그림 2와 같이 GIS에 UHF 센서 A, B, C를 장착한 후 센서 A를 통해 네트워크 분석기로부터 UHF 신호를 GIS 내부로 주입한다. 주입된 신호의 크기는 센서 B와 C 사이의 구간 M을 거치면서 P_b 에서 P_c 로 감쇠된다. 이때 각 센서의 특성이 같고, GIS 내부의 UHF 전력에 대해 센서에 검출되는 전력의 비를 k 라 하면 센서 B와 C에서 측정된 UHF 신호전력은 kP_b 및 kP_c 가 되며, kP_b/kP_c 는 GIS내 센서 B와 센서 C사이에서의 UHF 신호 감쇠율 P_b/P_c 과 같다. UHF 신호 감쇠율(A)은 아래 식과 같다.

$$A (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{kP_b}{kP_c} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_b}{P_c} \right) \quad (1)$$

P_b : 감쇠율을 측정코자하는 GIS구간(그림 2의 M)에 입사되는 UHF 신호의 크기 (W)

P_c : 감쇠율을 측정코자하는 GIS구간을 통과한 UHF 신호의 크기 (W)

k : $\frac{\text{UHF 센서에서 검출되는 전력}}{\text{GIS 내부에서의 UHF 전력}}$

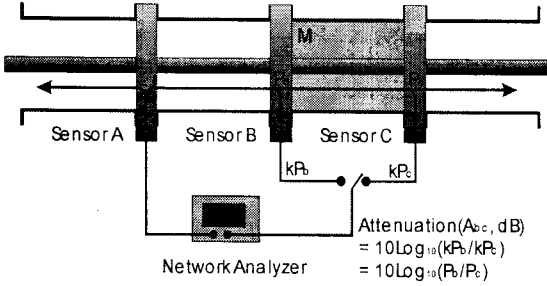


그림 2. 네트워크 분석기와 외장형 센서를 이용한 GIS 내 구간 M의 UHF 신호 감쇠율 측정.

2.3 UHF 센서의 배치간격 결정방법

그림 3에서 임의의 구간 M에서 최소 5 pC 부분방전을 검출함은 물론 방전위치까지 산출하기 위해서는 구간 내 한 끝의 센서 B 근방에서 발생한 부분방전 신호를 구간의 다른 끝에 설치한 센서 C에서 검출할 수 있어야 한다. 이때 센서 C에 검출되는 전력 P_{CIGRE} 는 식 2에서와 같이 P_{5pC} 에 측정구간 M에서의 감쇠율 A를 뺀 값이 된다. 이 값이 UHF 부분방전 검출장치의 최소 검출가능 전력 P_{min} 이상이 되면 배치된 센서 및 부분방전 검출장치는 CIGRE의 권고안을 만족시킨다.

$$\begin{aligned}
 10\log_{10}P_{CIGRE} &= 10\log_{10}P_{5pC} - A & (2) \\
 &= 10\log_{10}P_c (P_b = P_{5pC}) \\
 &\geq 10\log_{10}P_{min}
 \end{aligned}$$

P_{CIGRE} : P_{5pC} 의 방전신호가 GIS내 전파구간에서 감쇠된 후의 전력(W)

P_{min} : UHF 부분방전 검출장치의 최소 검출가능 전력(W)

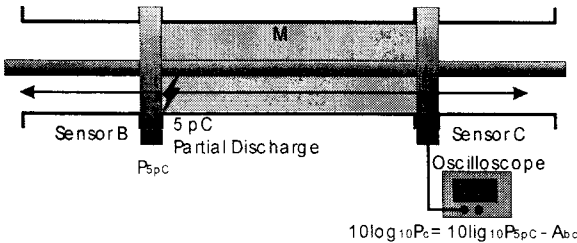


그림 3. UHF 센서의 배치간격 결정

3. 적용사례

3.1 5 pC 부분방전에 대한 UHF 신호호기 측정

5 bar SF₆ 가스 분위기에서 10 kV의 전압을 인가했을 때 최대 5 pC의 결보기 방전량을 발생시킬 수 있는 Hampton cell[1]을 제작한 후 그림 1과 같이 362

kV 배이급 모의 GIS(중양도체 외경=120 mm, 외함 내경=496 mm)의 한쪽 끝단에 설치하고 cell 가까이에서 전력연구원에서 개발한 외장형 센서(External sensor) 및 내장형 센서(Internal sensor)를 각각 장착하였다. 먼저 측정 주파수 대역을 0.5 GHz에서 1.6 GHz사이로 정한 후 표준방전량 발생장치로부터 5 pC 부분방전을 발생시킨 후 오실로스코프(Tektronix, 694C)로 방전신호를 측정하였다. 이를 이용해 계산한 내장형 센서의 P_{5pC} 는 -20 dBm (9 μW)이고, 외장형 센서의 경우는 -28.8 dBm (1.30 μW)으로 나타났다.

3.2 GIS 내 UHF 신호의 감쇠특성 측정

운전중인 362 kV급 GIS에서 UHF 신호의 감쇠를 외장형 센서로 측정하였다. 그림 4와 같이 Γ자-CB-Γ자로 구성된 section CB(Circuit Breaker)에서 스페이스 S11에 외장형 센서를 장착한 후 네트워크 분석기로부터 UHF 신호를 GIS 내부에 주입한 후 스페이스 S12, S13, S14에서 동일한 외장형 센서로 주입된 신호를 측정하였다. 스페이스 S12에서 측정된 신호에 S13에서 측정된 신호를 빼면 그림 5와 같이 CB 구간에서 주파수 영역에서의 UHF 신호 감쇠율을 알 수 있다. 똑같은 방법으로 스페이스 S13에서 측정된 신호에 S14에서 측정된 신호를 빼면 Γ자 구간에서 UHF 신호 감쇠율을 알 수 있다. CB 구간의 평균 감쇠율은 7 dB, Γ자 구간은 7 dB로 측정되었다.

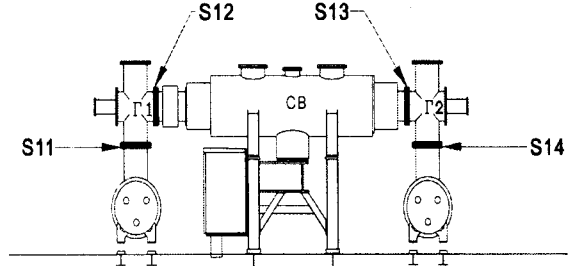


그림 4. Section CB의 형상, S11, S12, S13, 14: 외장형 센서의 취부위치.

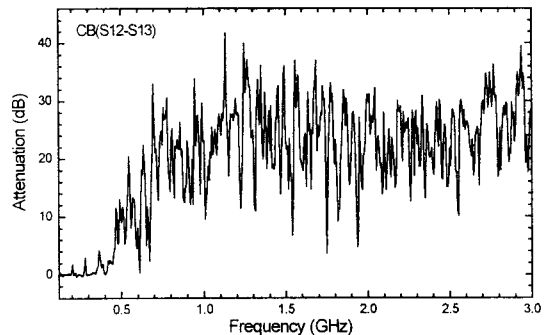


그림 5. CB 구간에서의 감쇠율

(참 고 문 헌)

CB에서의 UHF 신호의 감쇠율을 살펴보면 표 1과 같이 감쇠율이 특히 높은 주파수가 존재한다. 이는 특정 주파수 대역에서 GIS내부에 정상파가 나타날 수 있고, GIS가 반사필터 역할을 하기 때문이다. 협대역으로 부분방전을 측정할 경우 이들 주파수를 사용하지 않아야 정확한 방전신호를 측정할 수 있다.

[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 Task Force 15/23-01 of CIGRE Working Group 15.03, "Diagnostic methods for GIS insulating systems", CIGRE 1992 Session, 30 August - 5 September, 1992.
 [3] CIGRE Task Force 15/33.03.05 of Working Group 15.03, "Partial Discharge Detection System for GIS: Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method", Electra, No. 183, pp. 75 - 87, April, 1999

표 1. CB에서 감쇠율이 높은 주파수 대역.

주파수(GHz)	1.13	1.25	1.35	1.49	1.56	1.69
감쇠율(dB)	41.7	39.9	36.0	36.0	37.0	36.9

3.3 UHF 센서의 배치기준

측정된 각 센서의 P_{5pC} 과 GIS 기본구간별 감쇠율 A를 식 2에 대입하여 CIGRE 권고안을 만족시키는 센서의 배치간격을 결정할 수 있다. 그림 4와 같이 Γ 자-CB- Γ 자로 구성된 GIS 구간에서 스페이스 S11에 외장형 센서가 배치되었다면 S11으로부터 각 구간별 P_{CIGRE} 는 표 3과 같다. 따라서 UHF 부분방전검출장치의 최소 검출 가능 전력 P_{min} 이 -59 dBm인 검출장치를 사용한다면 스페이스 S13이 외장형 센서를 부착하기 위한 최적의 위치가 되며, P_{min} 가 -66 dBm인 검출장치의 경우 스페이스 S14에 외장형 센서를 부착하는 것이 CIGRE 권고안을 만족시키면서 센서의 간격을 늘릴 수 있는 최적 조건이다. P_{min} 은 부분방전검출장치의 제조사에 따라 다르며, 사용하는 신호증폭기 및 기타 부속품에 의존한다.

표 2. 외장형 센서에 대한 각 구간별 P_{CIGRL}

GIS 구간	외장형 센서의 $10\log_{10}P_{5pC}$ (dBm)	감쇠율 A (dB)	$10\log_{10}P_{CIGRL}$ (dBm)
Γ 1 (S11-S12)	- 28.9 dBm	7	-35.9
Γ 1-CB (S11-S13)		30 (7+23)	-58.9
Γ 1-CB- Γ 2 (S11-S14)		37 (7+23+7)	-65.9

4. 결론

네트워크 분석기를 이용하여 GIS에 적용된 UHF 부분방전 검출장치가 CIGRE 권고안을 만족시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 운전중인 GIS에서도 활용이 가능하며 특히 주파수 영역에서 GIS 내 부분방전신호의 감쇠율을 정확히 측정할 수 있다. 또한 주파수 스위핑 방식이므로 작은 출력의 UHF 신호로 감쇠율을 측정할 수 있어 센서 및 계측기에 무리를 가할 필요가 없으며, 측정 시스템의 개별부품에 대한 교정이 필요치 않다. 또한 측정된 GIS의 구간별 감쇠율을 데이터베이스화 하여 이를 이용해 사용하는 센서의 종류와 부분방전검출장치 및 GIS의 구성에 따라 센서의 위치를 손쉽게 결정할 수 있다.