

GIS 부분방전 검출을 위한 UHF 신호측정법 현장 적용

윤진열*, 박기준*, 구선근*, 조성훈*, 한삼옥**
*한국전력공사, **충남대학교 전기공학과

Partial Discharge Detection on Site GIS Using UHF Technique

Jin Yeol Yoon*, Ki Jun Park*, Sun-geun Goo*, Sung Hoon Jo*, Sang Ok Han*
*KEPCO, **Chung Nam National Univ.

Abstract - Laboratory experiments and on site measurements were conducted to detect partial discharges in GIS(Gas Insulated Switchgear) using the UHF(Ultra High Frequency) technique that has been applied many places in the world. Experimental results were in good agreement with calculation in locating a partial discharge source using mock-up GIS. Defect type and its location were inferred after a measurement on 345 kV GIS that showed some abnormal phenomenon. Precise examination inside the GIS coincided with the results inferred from the measurement. High reliability of UHF technique for site application was confirmed.

1. 서 론

근래에 와서 국내 대부분의 발·변전소 switching설비는 GIS로 건설되고 있다. GIS는 고유의 고 신뢰도와 maintenance free, 설치공간 축소, 기밀용기에 내장된 구조 등의 특징으로 인해 운전비용 측면에서 경제적이며, 도심지역이나 주변환경이 민감한 지역 등에도 건설이 가능한 점 등의 이점을 가지고 있다. 반면에, 설비 자체가 기존 open terminal type 변전설비에 비해 고가이고 사고 발생시 재산상의 손실이나 계통에 미치는 영향이 크며, 복구비용 많고, 복구시간도 장시간이 소요되는 등의 단점도 가지고 있다.

GIS는 구조의 특성상 사용전압이 높을수록 사고발생 빈도는 기하급수적으로 증가하는 특징이 있고[1], 사용전압이 높은 계통일수록 사고에 의한 영향이 클 수 밖에 없어 GIS 사고를 예방하기 위한 기술개발 노력이 현재까지 전 세계에 걸쳐 활발히 진행되어 왔다.

오늘날에 와서는 유럽이나 일본 등, 극소수 국가에서 개발된 예방진단기술이 현장에 적용되고 있기는 하지만 기술수준이 높고 최신기술에 해당하며 기술개발 역사가 짧아 완전한 현장적용에는 보완해야 할 부분이 있기 때문에 세계 모든 나라에서 적용할 만큼 보편화 되어 있지는 않다. 우리나라의 경우 GIS 건설시 수반되는 전기적인 시험과정에서, 혹은 상업운전 과정에서 발생할 수 있는 사고를 사전에 예방하기 위한 체계적 수단을 갖고있지 못해 사고 예방의 여지가 있음에도 불구하고 이에 대한 대책이 근본적으로 강구되지 않은 채 운전되고 있는 실정이다.

GIS 내부결함을 검출하기 위한 방안으로 지금까지 수많은 학자들에 의해 다양한 방법들이 제시되어왔다. 현장적용에 적합한 기술들을 선정하기 위한 기술검증 노력이 CIGRE를 중심으로 집중적으로 행하여져 왔고, 그 결과 CIGRE 해당 Working group에서는 전기적 방법으로는 UHF 진단법을, 기계적 방법으로는 음향신호 진단법을 추천하고 2종의 기술을 병행하여 사용할 것을 추천하고 있다.[2][3]

본 논문에서는 근래에 여러 나라에서 적용하기 시작한 UHF 진단기술을 이용하여 실험실에서의 연구내용과 345 kV 현장 GIS에서 측정된 결과를 제시함으로써 UHF 진단기술이 현장에서 활용되는 데에 충분한 신뢰도가 있음을 보이고자 하였다.

2. UHF 기술의 개요

2.1 원리

UHF기술은 GIS 내부에 결함이 존재할 경우 절연사고로 이어지기 전에 발생하는 부분방전 현상을 운전자가 인지하여 조치를 취할 수 있도록 하기 위한 수단으로 고안된 기술이다. GIS 내부에서 부분방전이 발생하게 되면, 펄스형태의 방전전류, 음향신호, 빛, 분해가스, 전자파 방사현상 등의 현상을 수반하게 된다.[4] UHF 기술은 전자파 검출법의 한 방법으로서 UHF 대역의 안테나 센서를 GIS에 내장 혹은 외장시켜 내부의 부분방전 현상을 검출하는 방법이다.

부분방전에 의해 발생하는 전자파는 주파수 대역이 0 Hz에서 수십 GHz 이상 대역에 이르기까지 광대역에 걸쳐서 분포되는 특징이 있다. 이들 전자파는 GIS chamber 내에서 다양한 mode의 전기적 공진현상을 일으켜 수백 ns 동안 지속되는 현상을 보이게 된다. 이 전자파를 UHF 센서를 통해 검출하므로써 GIS 내부에 부분방전 존재여부를 인지할 수 있게 된다.

전자파가 GIS chamber 내부를 전파해 갈 때 발생하는 손실은 스페이서 혹은 불연속 점을 무시할 경우, 이론적으로는 1 GHz에서 0.5 m 직경의 chamber 경우 3 ~ 5 dB/km 정도로 매우 작다. 그러나, 실제 GIS에서는 내부의 반사현상이나 불연속점들에 의해 약 2 dB/m 정도로 측정되고 있다.[5] 따라서, UHF 센서는 chamber 길이방향으로 약 20 m 간격으로 설치하는 방법을 채택하고 있다.

2.2 결함 위치계산

여러 개의 센서에서 검출되는 신호크기를 상대 비교하여 가장 크게 나타나는 센서 2 개 사이에 대부분의 결함이 존재하므로 이때 oscilloscope를 이용하여 두 신호간의 시간차를 측정하면 쉽게 결함위치를 산출해 낼 수가 있다. 즉, 부분방전 신호는 거의 동일한 파형을 유지한 채 GIS 길이 방향 양측으로 빛의 속도로 전파하게 되고, 방전점에서 가까운 거리에 위치한 센서가 먼 거리에 위치한 센서보다 신호가 빨리 도달하게 되는 원리를 이용한 것이다. 그림 1 은 위치계산 방법을 설명한 그림이다.

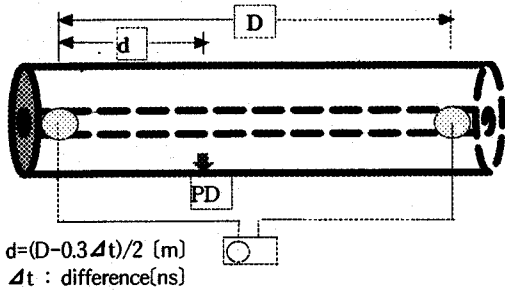


그림 1. 결함 위치계산 개념도
 Fig. 1 Locating a defect

3. 실험실 연구

3.1 실험장치 및 실험방법

실험실에서의 측정설비는 345 kV 급 mock-up GIS 1 set와 free conducting particle에 의한 부분방전 발생을 모의하기 위한 PD(Partial Discharge) cell 1 개, UHF 내장형 센서 4 개, 신호측정용 oscilloscope 1 set, PD free AC 시험용 변압기로 구성하였다. 실험에 사용한 센서감도는 주파수 대역 500~1,500 MHz 범위에서 average effective height는 11 mm 였으며, oscilloscope는 Tektronix TDS 684C(bandwidth 1 GHz, 5 Gs/s)을 사용하였다.

실험설비 구성은 그림 2 와같이 mock-up GIS 입구에 그림 3 에서 보이는 PD cell을 배치하여 AC 전압 9.1 kV 를 인가하고 부분방전을 발생시킨 상태에서 port A, B, C, D 지점에 UHF 내장형 센서를 설치하여 각 센서에서 측정된 UHF 신호를 측정하였다.

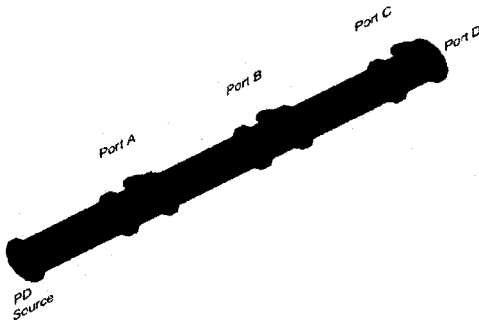


그림 2 345 kV Mock-up GIS 모형도
 Fig. 2 345 kV Mock-up GIS

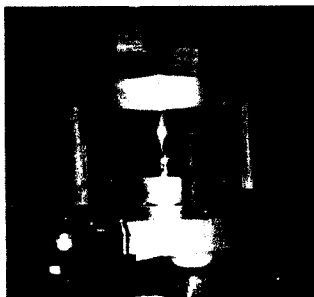


그림 3 Particle PD cell
 Fig. 3 Particle PD cell

3.2 실험결과

그림 4 는 측정된 각 센서의 파형을 나타낸 그림이고, 표 1 은 각 센서간 상호간격에 대해 실제거리와 계산에 의한 거리를 비교한 표이다. 센서에서 감지된 신호의 크기는 수십 mV로 나타났으며, UHF 센서의 위치에 따라서 서로 시간차를 두고 부분방전 신호를 감지하였는데 이는 UHF 신호가 GIS 내부로 진행하면서 각 센서에 도착하는 시간이 서로 다르기 때문이다. 표 1 에서 표시한 바와 같이 각 센서 사이의 거리와 실제 거리를 비교한 결과 오차범위는 5 % 이내로서 계산치와 실측치가 서로 잘 일치함을 알 수 있었다. 실험결과에서 알 수 있듯이 GIS 내부에서 부분방전이 발생할 경우 2개 이상의 센서를 이용하여 UHF 신호를 측정함으로써 GIS 내부에서 발생하는 부분방전 발생위치를 정확히 추정할 수 있음을 알 수 있다.

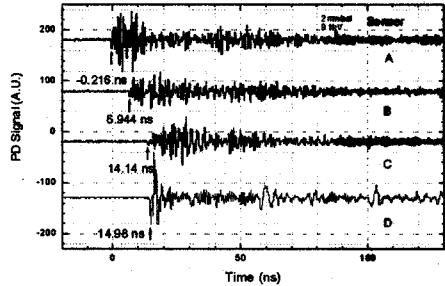


그림 4. 각 UHF 센서에서 측정된 부분방전 신호.
 Fig. 4 PD signals from each UHF sensors

표 1. 각 UHF 센서사이의 거리.

Table 1. Distances between each UHF sensors

구간별	AB	BC	CD
부분방전 신호의 시간차 (ns)	7.16	7.20	0.84
거리 (시간차 × 3×10 ¹⁰ cm/sec)	215	216	25
실제 거리 (cm)	225	225	26
오차 (%)	4.4	4.0	3.8

3. 현장측정 결과

UHF 신호측정법을 현장에 적용할 경우 신뢰도를 검증하기 위해 국내 345 kV GIS 중 이상음이 발견된 GIS 1개소에 대하여 현장측정을 시행하였다. 그림 5 는 현장 측정 구성을 개념적으로 표시한 그림이다. 본 측정에서 사용한 센서는 외장형 3개로서 센서감도는 주파수 대역 500~1,500 MHz 범위에서 average effective height는 8.4 mm로서 절연 spacer 외부에 취부하였으며, oscilloscope는 Tektronix TDS 684C 를 사용하였다. 또한 부분방전을 일으키는 결함의 종류를 알기 위해 영국 DMS사의 UHF portable monitor를 사용하였다. 측정결과 부분방전 발생위치는 계산에 의해 그림 5 에 표시하였듯이 B0 bay로부터 160±15 cm로 추정되었고, 결함 종류는 코로나 방전형태로 추정되었다. GIS를 개방한 후 점검한 결과 결함 발생 위치는 B0 bay로부터 155 cm 위치로서 support insulator를 지지하고 있는 볼트 2개중

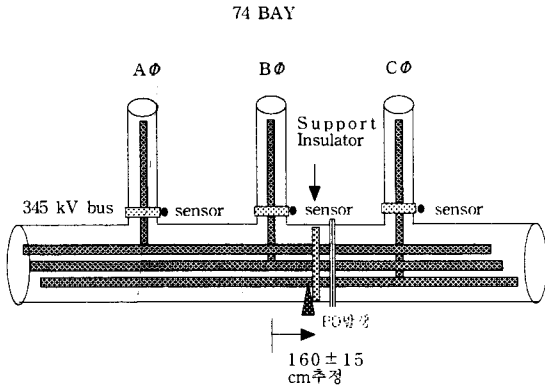


그림 5 현장측정 구성도
Fig. 5 Site GIS and the measurement

1개는 탈락, 1개는 탈락직전 상태에서 부분방전을 발생시키고 있음을 확인하였다. 그림 7 은 GIS 개방직후의 모습이다.

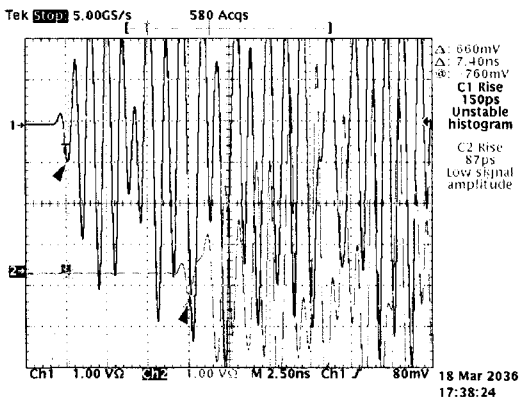


그림 6 측정된 신호파형(B-C상 시간 차 : 7.4 ns)
Fig 6. Measured signal

GIS 개방점검 결과에서 알 수 있듯이 UHF 신호 측정법에 의한 결함발생 위치 및 방전원 종류 추정 결과가 실제 내용과 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다. 그림 8 은 본 실험실 연구 및 현장측정에서 사용한 센서의 외관을 보이고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 GIS 예방진단 기술인 UHF 신호측정법을 현장에 적용하는 데에 있어서 신뢰성을 검증하기 위해 실험실 연구와 현장 측정을 시행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. UHF 방법으로 측정된 후 측정치로부터 GIS 내 결함의 종류와 위치를 추정된 결과는 GIS 개방 후 점검 결과와 잘 일치하였다.

2. 현장 GIS 내부사고를 예방하기 위한 수단으로서 UHF 신호 측정법은 주변의 극심한 노이즈 여건에서도 충분한 신뢰도를 가지고 있음을 알 수 있었다.

그러나, 실제 현장에서 UHF 측정법을 적용하는 데에는 이 분야의 전문인력 혹은 일정시간 훈련된 인력이 필요할 것으로 생각된다.

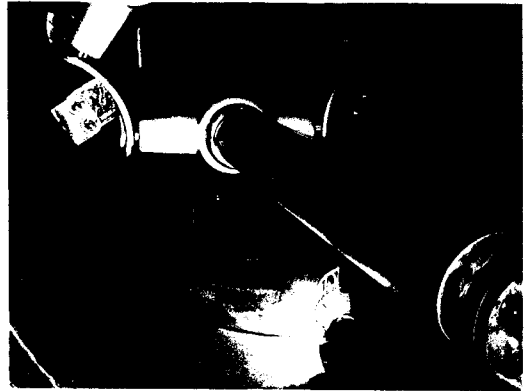


그림 7 GIS 내부 개방 직후 모습
Fig 7 Inside the GIS after opening

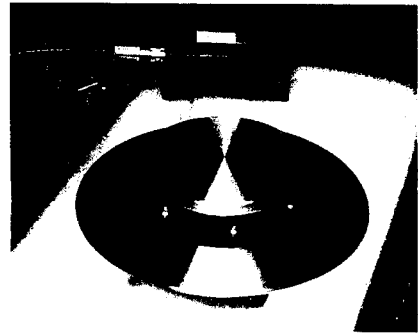


그림 8 내장형 및 외장형 센서
Fig 7 UHF sensors

(참 고 문 헌)

- [1] D. Kopetjkova, T. Molony, S. Kobayashi and I. M. Welch, "A Twenty-Five Year Review of Experience with SF6 Gas Insulated Substations", CIGRE Session Papers, 23-101, 30 Aug.-5 Sept., 1992.
- [2] "Insulation Co-ordination of GIS : Return of Experience, On Site Tests and Diagnostic Techniques", Joint Working Group 33/23.12, Electra No.176, pp 67-97, Feb. 1998.
- [3] "Partial Discharge Detection System for GIS : Sensitivity Verification for the UHF Method and the Acoustic Method", Task Force 15/33.03.05 of Joint Working Group 15.03 on behalf of SC15 & SC33, Electra No.183, pp 75-87, Apr. 1999.
- [4] J. S. Pearson, O. Farish, B. F. Hampton, M.D. Judd, D. Templeton, B. M. Pryor and I. M. Welch, " Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No. 5, pp 893-905, October 1995.
- [5] B. F. Hampton, J. S. Pearson, C. J. Jones, T. Irwin, I. M. Welch and B. M. Pryor, "Experience and Progress with UHF Diagnostics in GIS", CIGRE Paper 15/23.03, Paris, 1992.