

UHF법 부분방전 진단기법에 의한 가스절연 개폐장치의 성능검증

김정배, 박경수, 송원표, 김덕수, 김종화*
(주) 효성 중공업 연구소, *한국전력공사 송변전 건설처

Performance Verification of Gas Insulated Switchgear using UHF Partial Discharge Diagnosis Method

J.B. Kim, K.S. Park, Y.P. Song, D.K. Kim, J.H. Kim
Hyosung Corporation, KEPCO

Abstract - UHF method is very effective to diagnosis for partial discharge of GIS. In generally, inner UHF sensor can be attached on sheath cover of GIS under construction for periodic inspection. However, there is no inner UHF sensor for GIS of the domestic substation. We used the outer UHF sensor attached on spacer for GIS of existing substation. In this paper, we report the diagnosis result of partial discharge on 800kV GIS in domestic substation. From these results, we can find the quantity, reason and location of PD and certificate the performance of UHF method for partial discharge diagnosis of GIS.

즈와 구별하기가 어렵고, 2GHz이상의 전자파는 고가의 측정장비만이 측정이 가능하므로 일반적으로 500MHz~1.5GHz 대역의 UHF 대역의 신호를 측정함으로써 부분방전 유무를 검증하는 것이 일반적인 UHF 기법을 이용한 부분방전 진단기법으로 알려져 있다.

UHF법을 이용한 부분방전측정 시스템은 크게 센서, 증폭기, 주파수분석기와 같은 하드웨어와 모니터링 프로그램, 진단 알고리즘 등의 소프트웨어로 나누어진다. 본 시험에 이용한 부분방전 측정장치의 구성도는 그림1과 같다. UHF센서는 예폭시 스페이스에 취부되는 외장형과 GIS 내부에 취부되는 내장형이 있는데, 본 연구에서는 대상 GIS가 시설된 GIS이므로 외장형 GIS에 대해서만 고려하였다.

1. 서 론

GIS 내부에 도체이물이 존재하거나 스페이스 내에 공극 또는 균열이 존재하면 사고로 발전되기 전에 펄스형태의 부분방전이 발생하게 된다. 이와 같은 부분방전 펄스를 감지하게 되면 고압의 가스로 채워진 GIS 내부의 문제점을 예측할 수 있고, 문제의 정도를 파악해 사고를 미연에 방지할 뿐만 아니라, 적합한 보수 및 유지계획을 세울 수 있다. 이러한 부분방전을 측정하는 방법에는 UHF[1][2][3][4]법과 초음파법[5]이 적용되고 있다. 특히 UHF법은 이러한 부분방전을 측정하는 방법중 외부의 잡음을 상대적으로 적게 받는 UHF대역(300MHz~3000MHz)의 부분방전 펄스를 검출하여 GIS 내부의 이상 원인 및 정도를 예측하는 방법으로 현재 가장 신뢰성 있는 방법으로 알려져 있다.

부분방전 펄스는 1ns 이하의 급격한 상승시간(rise time)을 가지므로 전파하는 부분방전 펄스의 주파수특성은 거의 모든 주파수 대역에 걸쳐 나타나게 된다. 또한 부분방전 펄스는 GIS의 동축 부스바를 따라 전파하는 TEM모드와 TE, TM의 여러 고차모드의 전자파로 구성되는데 GIS 내부를 전파하면서 각종 불연속면을 만나 복잡하게 반사 및 굴절하게 되어 원래의 신호보다 훨씬 복잡한 형태를 띠게 된다. 이러한 복잡한 부분방전 신호를 외부에서 측정하기 위해서는, GIS 제작초기에 센서를 내장시키는 방식이 감도나 신뢰성면에서 우수하나, 국내 GIS에는 UHF 센서가 내장되는 방식이 도입되지 않아 내부의 절연상태를 효과적으로 확인할 수 없다. 그러나, 부분방전에 의해 GIS 내부에서 발생되는 전자파를 GIS의 가스구획 및 도체지지의 목적으로 설치되어 있는 예폭시 스페이스를 통해 감지하는 방법이 제안되고 있다.[6]

본 논문에서는 UHF 부분방전 진단기법을 실 GIS에 적용한 사례를 보고하면서, UHF 부분방전 진단기법의 감도와 신뢰성을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 UHF법에 의한 부분방전측정

상기의 4가지 부분방전 발생원인에 의한 부분방전이 발생하게 되면 전대역의 전자파가 발생하게 되는데, 이중 500MHz이하의 전자파는 변전소 내의 기중방전 노이즈와 구별하기가 어렵고, 2GHz이상의 전자파는 고가의 측정장비만이 측정이 가능하므로 일반적으로 500MHz~1.5GHz 대역의 UHF 대역의 신호를 측정함으로써 부분방전 유무를 검증하는 것이 일반적인 UHF 기법을 이용한 부분방전 진단기법으로 알려져 있다.

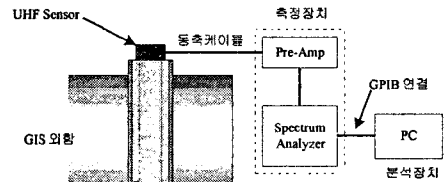


그림 1 부분방전 측정장치의 블록도

GIS에 부착된 외장형 센서에 의해 검출된 부분방전 전자파 신호는 동축케이블을 통해 증폭기에 의해 증폭된다. 증폭된 신호는 주파수분석기(Spectrum Analyzer)에 의해 크기 및 위상분석을 하게 된다. 주파수분석기와 노트북 PC는 GPIB로 연결되는데 노트북에 설치된 부분방전측정 프로그램은 얻어진 신호에 대해 크기 및 위상분석을 수행하도록 주파수분석기를 제어하고 얻어진 신호에 대해 진단을 수행한다. 진단 결과에 의해 GIS 내부의 부분방전의 크기 및 원인을 예측할 수 있으며 센서가 여러 개 있을 경우 결합의 위치도 찾아낼 수 있다. 따라서, 초기 부분방전 발생시 외부에서 발생유무를 확인할 수 있다면, 사고로 이어지는 절연과파를 미연에 방지할 수 있을 뿐만 아니라, GIS의 수명을 연장시켜 변전소 전체의 Total Management Cost를 절감할 수 있다.

외장형 센서는 센서와 고정용 벨트로 구성되며, 센서는 다이폴 안테나형으로 스페이스에 밀착되도록 되어 있다. 센서를 고정하는 벨트는 도전성고무로 만들어져 있으므로 스페이스를 통해 들어오는 외부노이즈의 영향을 최소화하도록 제작되었다.

2.2. 적용사례 : 800V GIS 현장점검시험

(주)효성에 의해 국내 최초로 개발되어 당진TP S/S, 신안성 S/S, 신서산 S/S에 납품된 800kV GIS는 개발시 형태를 통해 성능검증은 확인되었으나, 국내최초, 세계적으로 두 번째로 계통운영이 실시되는 고도의 기술을 요구하는 과제로 주기적으로 GIS의 운전상태 진단이 요구되고 있다. 이러한 관점에서 실제 3개 변전소에서 주기적으로 실시한 부분방전 진단사례를 보고한다.

2.2.1 기본 노이즈 측정

GIS가 설치되는 변전소 주위는 초고압 송전선로에 의

한 코로나뿐만 아니라 UHF TV, 무선통신(핸드폰, HAM, GPS, TRS 등)과 같은 다양한 외부 노이즈가 존재한다. 이러한 노이즈는 에폭시 스페이서를 통해 GIS 내부로 침입하여, 부분방전에 의한 전자파 신호와 혼합된다. 그러나, 부분방전은 일반적으로 매우 빠른 상승시간(Rise Time)을 가지고 광대역에 분포하는 경향이 있으므로 UHF 신호 검출영역(500MHz~1500MHz)에서 일부 노이즈영역을 강제적으로 제거함으로써 노이즈의 영향을 최소화 할 수 있다.

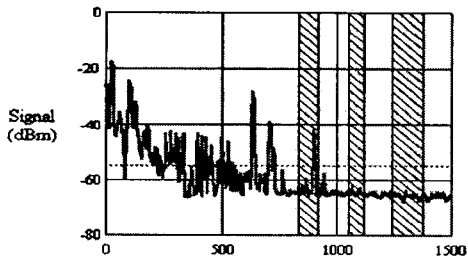
노이즈를 제거하기 위한 Mask 영역 설정은 센서를 취부하기 전에 측정된 외부 노이즈와 취부 후에 얻어진 신호를 비교하여 결정하였다.

UHF 대역의 노이즈중 통신용으로 사용되는 주파수는 UHF TV와 핸드폰, HAM 등의 이동통신기기의 주파수 대역이며, 이밖에 송전선로 등에 의한 현장 노이즈가 있다. 각 변전소에서 선정된 Mask 영역은 아래와 같다.

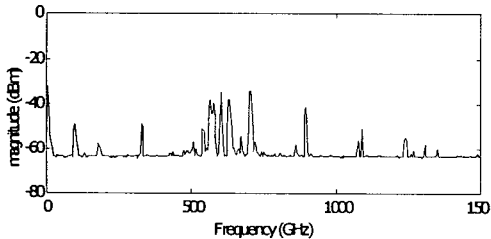
표 1. 765kV 변전소별 외부 노이즈 대역

	신안상S/S	신서산S/S	당진 T/P S/S
Regi on I	0~500MHz	0~650MHz	0~500MHz
Regi on II	500MHz~650MHz (UHF TV)	830MHz~920MHz (휴대폰 영역)	500MHz~750MHz (UHF TV)
Regi on III	830MHz~920MHz (휴대폰 영역)	1050MHz~1120MHz (무선 통신)	830MHz~920MHz (휴대폰 영역)
Regi on IV	1050MHz~1130MHz (무선 통신)	1240MHz~1380MHz (무선 통신)	1240MHz~1400MHz (무선 통신)

그림 2는 신서산 S/S에서 외부 노이즈 파형 예를 보여 주고 있다.



(a) 사례 I



(b) 사례 II

그림 2 신서산 S/S 외부 Noise 신호 파형

2.2.2. 1차 측정 결과

초기 765kV 변전소는 운영상의 이유로 당진 T/P에서 순차적으로 전압/전류가 인가되어, 일부하의 765kV 송전이 이루어지지 않고, 일부 송전구간에 대해서만 765kV 전압만을 인가하는 시험기간이 요구되었다. 이러한 345kV 변전소를 이용한 역송전에 의해 전압만 인가된 800kV GIS에서 측정된 전형적인 UHF 대역의 신호 예를 그림 3에서 보여주고 있다. 0~1500MHz 대역에 있어서 주파수 분석을 실시한 결과 Mask 영역을 제외한 진대역에서는 5pC 이상의 어떠한 부분방전도 존재하지 않음을 확인하였다.

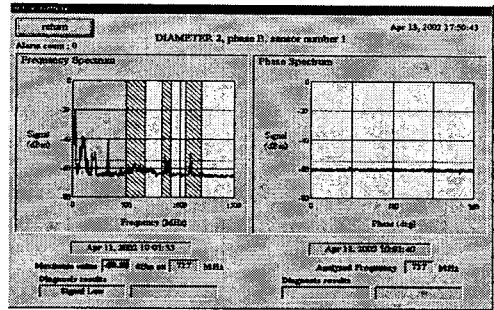
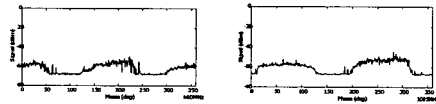


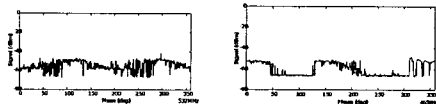
그림 3 측정된 전형적인 UHF 대역 신호 파형

Mask 대역을 제외한 대역에서 최대값으로 측정된 주파수에 대해 위상분석을 실시하여 여러 가지 원인에 의한 비교검증을 실시하였다. 시험실에서 인위적으로 여러 가지 형태의 부분방전을 모의하여 얻은 위상분석 사례를 그림 4에 나타내었다. 그림 4의 (a)는 스페이서 부착이물, (b)는 도체돌기, (c)는 자유 입자, (d)는 스페이서의 보이드에 의해 발생한 위상분석 예로서, 위상 파형에 따라 부분방전 원인분석이 가능함을 알 수 있다.



(a) 스페이서 부착이물

(b) 도체돌기



(c) 자유입자

(d) 스페이서의 보이드

그림 4 이물에 의한 부분방전시 측정된 위상분석 사례

2.2.3 2차 측정 결과

1차 측정에는 실제 부하가 걸려 있지 않았지만, 2차 측정에는 일부하(전류통전)가 걸려 있는 상태에서 시험을 실시하였다. 3개 변전소 전 영역에 대해서는 1차 측정 때와 같이 어떠한 부분방전도 측정하지 못하였지만, 특정구간에서 부분방전으로 예상되는 신호를 측정하여, 정밀조사에 착수하였다. 부분방전 신호가 계측된 구역은 그림 5의 붓싱 구간으로 그림에 표기된 5개의 스페이서를 통해 GIS 내부 부분방전 진단시험을 실시하였다.

부분방전으로 생각되는 파형이 그림 6와 같이 C상의 No.1 스페이서에서 검출되었다. C상의 No.1 스페이서 근처에서 측정된 외부노이즈는 그림 7와 같다. 그림 6의 신호가 그림7의 신호보다 크기 때문에 그림 6의 결과로부터 부분방전은 내부에서 발생됨을 알 수 있었으며, 이때의 방전량은 참고문헌 4)의 관계로부터 약 700pC의 부분방전 발생가능성을 진단하였다. 또한, 위상분석을 통해 부분방전 발생원인으로는 플로팅전극(Floating Electrode)으로 판단되었다. 스페이서 위치를 No.1에서 No.5로 점차적으로 이동할수록 미약하나마 신호감쇄가 확인되어 부분방전 발생위치는 붓싱밀의 도체 연결부로 예상되었다.

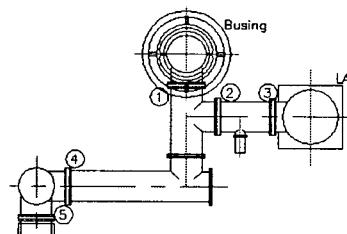


그림 5 부분방전시험 순서

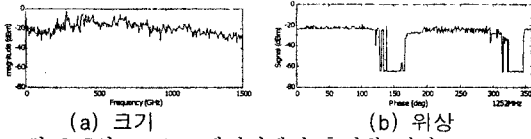


그림 6 C상 No.1 스페이스에서 측정된 결과

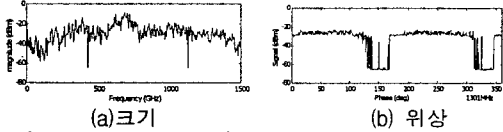


그림 7 C상 No.1 스페이스 근처의 외부 노이즈 신호

2.3 Discussion

C상에서 500 ~ 1,500 MHz 전대역에서 부분방전으로 예상되는 신호가 잡혔으며, No.1~No.5의 스페이스, B상과 A상에 대해 측정된 결과, 내부의 부분방전으로 진단되었다. 또한 C상의 결과에 비해 B상과 A상의 결과를 비교한 결과 신호가 점차적으로 감소되어 가는 현상을 확인하였으며, 이에 따라 C상의 내부 부분방전이 Bushing 애관을 거쳐 외부로 전파되는 것임을 알 수 있었다. 상기 특정구간의 GIS에 대해 내부정밀 점검을 실시한 결과, 붓상 도체 연결부위의 볼트가 전자력에 풀려져 있음을 확인하였다. 물론 풀어진 볼트 부위에는 부분방전에 의한 탄흔이 남아있었다. 문제부위에 대한 수정 후 C상 No.1 스페이스에서 No.5 스페이스에 걸쳐 부분방전 계측을 실시한 결과, 그림 8과 같이 1차 계측시 얻은 결과와 동일한 파형을 얻어 부분방전으로 인한 전파가 제거되었음을 확인하였다.

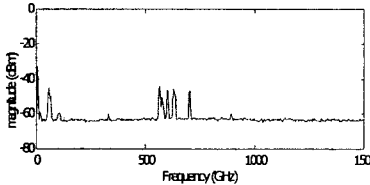


그림 8 부분방전 제거후 C상 No.1 스페이스에서 측정된 결과

3. 결론

GIS의 절연상태를 가장 효과적으로 진단하는 방식은 UHF법에 의한 부분방전 진단 방식이다. 일반적으로 신설변전소에 납품되는 GIS에 대해서는 내장형 UHF 센서를 내부 점검창에 부착하지만, 본 논문에서는 기존 변전소에 설치되어 있는 GIS에 대해 외장형 UHF 센서와 휴대용 진단장치를 적용한 사례를 보고하였다. 센서로부터 얻어진 신호는 주파수 분석과 위상분석을 실시하며, 실험실에서 수행하여 얻은 위상분석 Database를 이용하여 부분방전 발생원인에 대해서도 진단이 가능하였다. 국내, 최초로 운전중인 800kV GIS에 있어서 "플로팅 전극"에 의한 부분방전을 절연과피 전에 발생원인, 발생위치, 부분방전량 등을 진단하였으며 내부점검 결과로부터 충분한 신뢰성을 검증할 수 있었다.

당사는 국내 변전소 현장에 대한 노이즈 Database화, 부분방전 종류별 위험지수, 부분방전 진단 시스템 On-line화등에 대해서도 지속적인 연구를 수행하여, GIS의 신뢰성 향상에 이바지할 계획을 갖고 있다.

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, 453-456
 [2] M.D.Judd, O.Farish, B.F.Hampton, "The Excitation of UHF Signals by Partial Discharges in GIS", IEEE Trans. dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 3, No.

2, April 1996.

[3] R.Kurrer, K.Feser, "The Application of Ultra-High-Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations", IEEE Tras. on Power Delivery, Vol.13, No.3, July 1998
 [4] Fumihiro Endo, "Risk Assessment of Defects in GIS by PD Diagnostics", CIGRE WG15-03 TF15.03.09 Munchen Meeting, March, 2000
 [5] M.runde, T.Aurud L.E., Lundgaard, G.E.Ottesen, K.Faugstad, "Acoustic Diagnosis of High Voltage Circuit-Breakers", IEEE Trans. on Power Deliver, Vol.7, No.3, July 1992
 [6] C.Neumann, B.Krampe, R.Feger, K.Feser, M.Knapp, A.Breuer, V.Rees, "PD Measurements on GIS of different designs by non-conventional UHF Sensors", CIGRE 2000, 15-305