

가스절연 개폐장치의 내부절연 성능검증을 위한 UHF 협대역 부분방전 진단법

論 文

54C-9-5

UHF Narrow Band Type Partial Discharge Diagnosis Method for the Internal Insulation Performance Verification of the Gas Insulated Switchgear

宋元杓[†] ·金正培^{*} ·金旼秀^{**} ·鄭載龍^{***} ·朴勝哉[§] ·高羲石^{§§}
(Won-Pyo Song · Jung-Bae Kim · Min-Soo Kim · Jae-Ryong Jung)

Abstract - A method for partial discharge diagnosis based on UHF narrow band type for GIS has been developed and calibrated. In generally, PD cannot be directly measured under on-line condition, but we can indirectly measure the electromagnetic wave made by PD using the high-frequency antenna. Compared with VHF band, electromagnetic waves of UHF band have a low influence for external noise in high-voltage substation. Therefore, we can detect the real abnormality with several pC in GIS using UHF narrow-band type method. For the case of no internal UHF sensor for GIS of the domestic substation, it has applied to use the external UHF sensor attached in spacer in GIS of existing substation. In this paper, we firstly described the technique of the partial discharge measurement using frequency analysis and phase analysis in UHF band. Secondly, we presented the results of sensitivity test, the relationship of dBm-pC and diagnosis result of the cause of PD source by phase analysis. And then, we report the diagnosis result of partial discharge on the real GIS in domestic substation. These results make above method applicable for measurement of quantity and cause of PD for real operation GIS in high-voltage substation.

Key Words : GIS, UHF method, Partial Discharge Diagnostic, Frequency Analysis, Phase Analysis

1. 서 론

최근, 국내의 변전소에 일반적으로 적용되고 있는 가스절연개폐장치 (GIS : Gas Insulated Switchgear)는 비정상적인 부하의 급격한 상승으로 인한 지락, 뇌등으로부터 전력계통을 보호하는 장치로 만의 하나 기기에 이상이 발생하게 되면 전체 전력 계통에 매우 심각한 피해를 줄 수 있다. 또한 GIS는 20년 이상의 내구성을 보장하도록 설계가 이루어지지만 실제로는 내부부품의 불량, 절연물의 경년열화, 가혹한 운전환경등의 이유로 내부절연 파괴가 발생하고 있다. 게다가, 국내에는 20년 이상 운전되고 있거나, 혹은 도래되는 GIS도 상당수 있어 내부절연사고가 예견되고 있으며, 새로 설치되는 변전소의 경우는 무인화 및 자동화가 빠르게 진행되고 있으므로 기기의 상태나 이상을 사고가 발생되기 전에 인지하는 감시/진단 기술이 요구되고 있다. 이러한 배경과 더불어 GIS의 보수점검 방식은, TBM(Time Base Maintenance) 방식에서 CBM(Condition Base Maintenance)

방식으로 바뀌고 있으며, 향후에는 RCM(Reliability Centered Maintenance)방식으로 전환될 것으로 예상되면서, 변전소 전체의 수명연장과 운전비용 절감의 측면에서 예방진단 기술의 도입이 긍정적으로 검토되고 있으며, 일부 변전소에서는 부분적으로 적용이 되고 있다. 상기의 기술적 배경으로 GIS의 감시/진단 기술은 국내에서는 국공립연구소, 대학, 기업체를 중심으로 차단기의 동작특성, 파괴기의 열화, 가스누기 감시, 부분방전의 측정 등을 대표적인 진단항목으로, On-line 진단에 대한 기술이 연구되고 있다. [1][2]

실제 GIS사고 원인에 대해 CIGRE 23-102(1998)과 국내 전력회사에서 발표한 자료[3]에 따르면, 그림 1에서와 같이 GIS 사고의 50%이상이 절연파괴가 원인인 것으로 발표하고 있다. GIS 내부에 도체이물이 존재하거나 스페이스 내에 공극 또는 균열이 존재하면 내부 절연파괴로 연결되는데, 사고로 발전되기 전에 펄스형태의 부분방전이 발생하게 된다. 이때의 펄스는 350[ps]~3[ns]의 상승시간과 1[ns]~5[ns]의 펄스주기를 갖게 되어 수[Hz]~수[GHz]의 넓은 주파수 대역의 전자파를 발생시키며, 이러한 부분방전 펄스에 의한 전자파를 고주파 안테나에 의해 사전에 감지하게 되면 고압의 가스로 채워진 GIS내부의 문제점을 예측할 수 있고, 문제의 정도를 파악해 사고를 미연에 방지할 뿐만이 아니라, 적합한 유지·보수계획을 세울 수 있다.

이러한 부분방전을 측정하는 방법에는 UHF[4][5][6]법과 초음파법[7]이 적용되고 있다. 특히 UHF법은 최근들어 세계 각국의 연구그룹들에 의해 검증된 부분방전을 측정하는 기법으로, 외부 잡음의 영향을 상대적으로 적게 받는 UHF대역(300MHz~3000MHz)의 부분방전 펄스를 검출하여, GIS 내부의 이상 원인 및 정도를 예측하는 현재 가장 신뢰성 있는

[†] 교신저자, 正會員 : (주)曉星 電力PU 任員

E-mail : wpsong@hyosung.com

^{*} 正會員 : (주)曉星 重工業研究所 首席研究員

^{**} 正會員 : (주)曉星 重工業研究所 責任研究員

^{***} 正會員 : (주)曉星 重工業研究所 先任研究員

[§] 正會員 : 韓國電氣研究員 先任研究員

^{§§} 正會員 : 慶南大學校 電氣電子工學部 教授

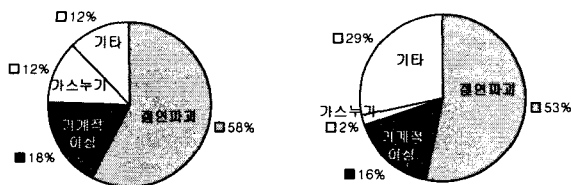
接受日字 : 2005年 7月 15日

最終完了 : 2005年 8月 20日

는 방법으로 알려져 있다.

부분방전 펄스는 GIS의 동축 부스바(금속용기)를 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 띄게 된다. 이러한 복잡한 부분방전 신호를 외부에서 측정하기 위해서는, GIS 금속용기를 통과하지 못하는 UHF 대역의 전자파 특성 때문에, GIS 제작초기에 센서를 내장시키는 방식이 감도나 신뢰성면에서 우수하다. 하지만, 국내 GIS에는 UHF 센서가 내장되는 방식이 현재 일부 GIS에 대해서만 도입되어 있어 내부의 절연상태를 효과적으로 확인할 수 없는 상황이다. 그러나, 최근 들어서는 부분방전에 의해 GIS 내부에서 발생하는 전자파가 유기물을 관통한다는 특성을 이용하여, GIS의 가스구획 및 도체지지의 목적으로 설치되어 있는 에폭시 스페이서를 통해 감지하는 방법이 제안되고 있다.[8]

본 논문에서는 UHF범 주파수 분석 및 위상분석을 실시하는 Narrow Band 기법을 제안하며, 이 방식에 의한 국내 최초로 개발된 휴대용 시스템을 이용하여 UHF 센서의 감도특성과 UHF 부분방전 진단기법의 신뢰성 검증연구를 기초로 실제 운전중인 변전소의 GIS에 적용한 시험 결과를 보고 하고자 한다. 우선, UHF 부분방전 측정법에 의한 측정 메커니즘을 소개하고, UHF 센서의 특성시험을 통해 센서의 감도를 측정하여 부분방전 측정에 적합한 센서인지 판단한 후 부분방전의 원인에 따른 위상 패턴을 분석하여 부분방전 진단의 신뢰성을 입증하였다. 그리고, 외장형 UHF 센서와 측정장비를 이용하여 국내에서 운전중인 변전소의 GIS에 시험한 결과에 대해 보고한 후 3장에 결론을 기술하였다.



(a) CIGRE 보고서에 의한 사고비중 (b) 국내전력회사 보고서에 의한 사고비중(최근 5년간)

그림 1. GIS 사고원인
Fig. 1 Fault Cause in GIS

2. 본 론

2.1 UHF법에 의한 부분방전 측정 메커니즘

GIS 내부에 부분방전이 발생하게 되면 전대역의 전자파가 발생하게 되는데, 이중 500MHz이하의 전자파는 변전소내의 기중방전 노이즈와 구별하기가 어렵고, 2GHz이상의 전자파는 고가의 장비만이 측정 가능하므로, 500MHz~1.5GHz UHF 대역의 신호를 측정함으로써 부분방전 유무를 검증하는 것이 일반적인 UHF 기법을 이용한 부분방전 진단기법으로 알려져 있다. [6]

UHF법을 이용한 부분방전 측정 시스템은 크게 센서, 증폭기/주파수분석기와 같은 하드웨어와 모니터링 프로그램

등의 소프트웨어로 나누어진다. 본 논문에서 이용한 부분방전 측정장치의 구성도는 그림 2와 같다. UHF 센서는 에폭시 스페이서에 취부되는 외장형과 GIS 내부에 취부되는 내장형이 있는데, 본 논문에서는 대상 GIS가 기설치된 GIS이므로 외장형 UHF 센서에 대해서만 고려하였다.

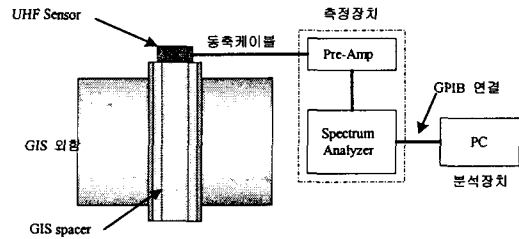


그림 2. 부분방전 측정장치의 블록도
Fig. 2 Block Diagram of Partial Discharge Measurement System

GIS에 부착된 외장형 센서에 의해 검출된 부분방전 전자파 신호는 25dB의 증폭도를 갖는 증폭기(Agilent 8447D)에 의해 증폭된다. 증폭된 신호는 주파수 분석기(Spectrum Analyzer : Agilent E4402B)에 의해 주파수 및 위상분석을 하게 된다. 주파수 분석기와 노트북 PC는 GPIB로 연결되는데 노트북에 설치된 부분방전 측정 프로그램(Portable iPDM Version 1.6 : (주)효성)은 센서에서 측정된 신호에 대해 주파수 및 위상분석을 수행하도록 주파수 분석기를 제어하고, 얻어진 신호를 저장하는 기능을 갖는다. 또한, 측정 결과에 의해 GIS 내부의 부분방전 원인을 예측할 수 있다.

Endo박사의 측정메커니즘[6]을 근거로 본 연구진에서 제안된 부분방전 측정메커니즘은 다음과 같다. 외장형 UHF 센서에 의해 측정된 전자파 신호는 그림 3 (a)와 같이 먼저 주파수 분석을 실시 한다. 일반적으로, 변전소내의 기중방전 주파수는 500MHz이하 이므로, 500MHz~1.5GHz 대역에 대해 주파수 분석을 실시한다. 그러나 500MHz~1.5GHz 대역에도 외부노이즈가 존재하므로, 사전에 변전소 노이즈 신호를 측정하여 노이즈 대역을 부분방전 측정 프로그램에 저장시킨후, 이 노이즈 대역은 판단에서 제외시킨다. 상기와 같이, 변전소 노이즈 대역 이외의 대역에서 일정크기 이상의 전자파 존재유무를 확인하는 주파수 분석을 통해 GIS 내부에 부분방전이 발생하고 있음을 판단할 수 있다. 또한 부분방전 신호로 측정된 전자파 신호중 가장 큰 값을 갖는 주파수에 대해 그림 3 (b)와 같이 위상분석을 실시한다. 위상분석은 GIS 운전전압과 동일한 위상을 같도록 위상보정 후 실시되는데, 이 위상분석에 의한 신호크기 및 위상패턴에 의해

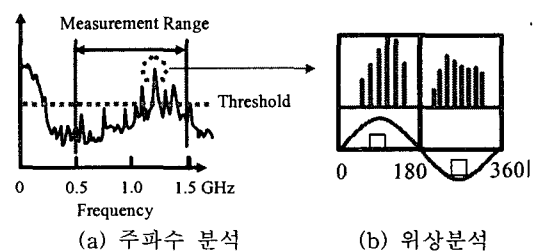


그림 3. 주파수 분석 및 위상분석에 의한 부분방전 측정 메커니즘
Fig. 3 PD Detection Mechanism by Frequency and Phase Analysis

GIS 내부 부분방전 신호임을 재확인 할 수 있으며, 참고문헌[9]에 설명되는 바와 같이 부분방전 발생 원인에 대해서도 추정이 가능하다.

2.2 UHF 센서의 감도 특성

UHF 센서로 부분방전을 측정할 경우, UHF 센서에서 측정된 신호는 주파수분석기로 분석되어 각 주파수대역에 대해 dBm의 크기로 표시되어진다. 이렇게 dBm으로 측정된 신호에 대해 일반적인 부분방전량 표시 방법인 pC과의 상관관계를 알 수 있다면, 운전중인 GIS의 위험도 평가의 수단으로 활용할 수가 있다. 또한 UHF 센서 감도 특성의 동일성을 주기적으로 확인하기 위해 다음과 같은 일련의 시험을 수행하여, 변전소 현장에서 사용할 외장형 UHF 센서의 감도 특성에 대한 신뢰도를 확인하였다.

센서 감도특성을 시험하기 위해 그림 4와 같은 시험 장치를 구성하였다. AC Power Supply는 Noise-free 변압기를 사용하였으며, ERA 방식의 PD Detector (Robinson사)를 통해 걸보기 부분방전량 단위인 pC으로 부분방전량을 확인하였다. 또한, PD Cell은 10pC, 20pC, 100pC이 발생되는 Rolling Ball 형식으로 각각 수제작[9]되었으며, Pulse Generator는 NoiseKen사의 INS-4001를 사용하였다. 상기 시험의 기본방식은 CIGRE TF 15/33.0305에서 제시한 기법을 적용하였다. [10]

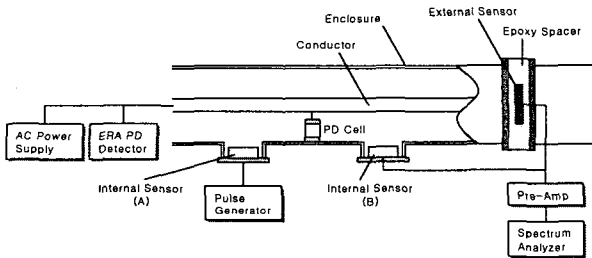


그림 4. UHF센서 감도특성시험 구성도
Fig. 4 Schematic of the Sensitivity Test of UHF Sensor

2.2.1 UHF 센서로 측정된 부분방전량의 pC 환산

AC Power Supply를 이용하여 Rolling Ball Type의 10pC PD Cell, 20pC PD Cell과 100pC PD Cell에 각각 5~10kV 전압을 인가하여, 10pC, 20pC, 100pC 부분방전을 발생시킨다. 이때 ERA PD Detector로 부분방전량이 각각 10pC, 20pC, 100pC이 발생되는지를 시각적으로 확인 후 인가전압을 고정시켰다. 발생된 부분방전에 대해 그림 4의 플랜지에 의해 장착된 Internal Sensor(B)와 External Sensor로 부분방전량을 측정하여, 각각의 부분방전에 대해 출력(dBm)을 확인하였다. 또한, PD Cell의 측정위치는 UHF센서와 최단 거리에 위치시켜 센서와의 거리에 따른 신호감쇄율은 무시하였다.

측정된 Internal Sensor(B)의 UHF 부분방전 신호를 종축에, ERA 방식의 PD Detector로 확인한 부분방전량을 횡축에 표현하여 그림 5에 나타내었다. 동일한 기법으로 External Sensor에 대해서도 실시하여, 측정된 결과를 그림 5에 동시

에 기입하였다. 측정에 사용된 Internal/External UHF 센서가 500MHz~1.5GHz 대역에서 동일한 주파수 응답 특성을 갖고 있지 않고, 10pC, 20pC, 100pC 세종류만의 시험결과를 통해 얻은 Data로, 그림 5의 시험결과에는 오차를 내포하고 있으나, 일반적으로 pC-dBm은 선형관계가 있음이 알려져 있으므로[6], 식(1)의 관계식은 신뢰성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{내장형 센서} : Y[\text{dbm}] &= 20\log(X[\text{pC}]) - 50 \\ \text{외장형 센서} : Y[\text{dbm}] &= 20\log(X[\text{pC}]) - 70 \end{aligned} \quad (1)$$

상기 측정 시스템의 Background Noise가 약 -65dBm 정도이므로, 상기의 측정기법으로는 Internal Sensor로는 최대 약 0.3pC, External Sensor로는 약 3pC까지는 측정이 가능함을 알 수 있다. 또한 그림 5의 측정결과로부터, 변전소 현장에서 측정된 UHF 부분방전신호(dBm)를 부분방전량(pC)으로 환산이 가능하게 되었다.

2.2.2 UHF 센서 감도특성의 동일성과 위상분석

UHF 센서는 제작상의 오차, 다 빈도 사용에 따른 특성 변화 등의 이유로, 최초 제작완료후 및 변전소 현장 측정시마다 감도 특성을 확인할 필요가 있다. 그러나, 그림 4와 같은 시험 구성도로 매번 실시할 경우 소요시간 및 장비 확보의 문제로 다음과 같은 간이적인 방법으로 동일성 시험을 실시하였다.[9]

그림 4에서, AC Power Supply, PD Cell, ERA PD Detector를 제거한후, Internal Sensor(A)에 Pulse Generator를 이용하여 10pC, 50pC, 100pC에 해당하는 부분방전량을 발생시킨다.[11] 즉, 임의의 Internal Sensor를 Internal Sensor(A)에 설치하고, 2.2.1에서 ERA법으로 센서 감도(10pC시 -30±1dBm)를 확인한 표준 Internal Sensor(B)를 점검창에 설치한 후 표준 Internal Sensor(B)의 출력이 그림 5의 10pC, 50pC, 100pC 과 동일한 에너지가 나오도록 Pulse Generator의 인가전압을 확인한다. 상기와 같은 방식으로 확인된 Pulse Generator의 인가전압으로 Internal Sensor(A)에 10pC, 50pC, 100pC 부분방전을 발생시킨 후, 감도 동일성을 확인하고자 하는 피시험 UHF 센서를 그림 4의 Internal Sensor (B) 혹은 External Sensor 위치에 부착하여 출력신호를 측정하였다. 측정된 결과가 그림 5의 출력 dBm에 대해 ±10%의 오차범위 내에서는 감도특성의 동일성으로 인정 하였다. 표 1은 본 연구에서 사용한 External Sensor에 대해 측정된 감도특성 시험 결과를 보여주고 있다. 표 1의 결과로부터 변전소 현장시험용 External Sensor의 성능은 표준 External Sensor 대비 ±10%이하 이므로, 센서의 신뢰성은 확인 되었다. 상기의 간이 프로세스에 의해 확인된 외장형 UHF 센서에 대해 변전소에 운전중인 GIS에 대해 부분방전 진단을 실시하였다.

GIS 내부의 부분방전은 다양한 원인에 의해 발생하지만, 대표적인 원인으로는 금속이물질, 도체돌기, 스페이서 부착이물질, 스페이서 공극(void), 도체 체결부위의 풀림 혹은 접촉불량등과 같은 플로팅 전극 등이 있다. 동일한 부분방전량을 갖는 부분방전이라도 원인에 따라 GIS에 미치는 위험도에는 차이가 있으므로, 부분방전 원인을 정확히 해석한다면, 그 결과에 따라 GIS의 정밀점검 시기를 결정할 수 있다.

UHF 센서로 측정된 신호로 부분방전의 원인을 진단하기 위해, 참고문헌 [9]에 의해 각 원인별 비교기준을 마련하였다.

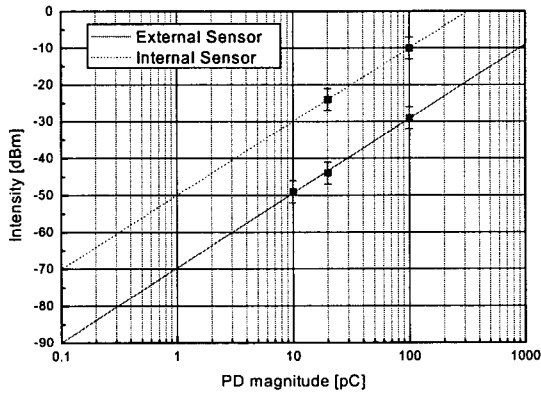


그림 5. 외장형 UHF센서의 pC-dBm 상관관계 특성
Fig. 5 Relationship of pC-dBm in External UHF Sensor

표 1 외장형 UHF센서의 감도특성시험 결과
Table 1 Results of the sensitivity test of external UHF sensor

Pulse Generator	Test 1	Test 2	Test 3	Mean
10pC	-50.2dBm	-50.0dBm	-50.6dBm	-50.27dBm
50pC	-36.4dBm	-36.0dBm	-36.3dBm	-36.23dBm
100pC	-29.3dBm	-30.0dBm	-30.2dBm	-29.83dBm

2.3 국내 변전소 현장시험

국내 메이커에 의해 개발되어 제작된 초고압 GIS는 개발 시험을 통해 성능검증은 확인되었으나, 실제통에서 운전되는 GIS로써 주기적으로 운전상태 진단이 요구되고 있다. 이러한 관점에서 실제 3개 변전소에 대해 외장형 UHF센서를 이용하여 주기적인 부분방전 진단을 실시하였다.

2.3.1 기본 노이즈 측정

GIS가 설치되는 변전소 주위는 초고압 송전선로에 의한 코로나 뿐만 아니라 UHF TV, 무선통신(핸드폰, HAM, GPS, TRS등)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 UHF신호 검출영역(500MHz~1500MHz)에서 2.1절에 서술한 바와 같이 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, HAM등의 이동통신기기의 주파수 대역이며, 이밖에 송전선로 등에 의한 현장 노이즈가 있다. 각 변전소에서 선정된 Mask영역은 표2 와 같다.

표 2 국내의 변전소의 외부 노이즈
Table 2 External noise in Domestic Substation

	A 변전소	S 변전소	D 변전소
I	0~500MHz	0~750MHz	0~500MHz
II	500~650MHz (UHF TV)	830~920MHz (휴대폰 영역)	500~750MHz (UHF TV)
III	830~920MHz (휴대폰 영역)	1050~1120MHz (무선 통신)	830~920MHz (휴대폰 영역)
IV	1050~1130MHz (무선 통신)	1240~1380MHz (무선 통신)	1240~1400MHz (무선 통신)

그림 6는 S S/S에서 측정된 외부 노이즈 파형 예를 보여 주고 있다. 그림 6 (a)는 외장형 UHF센서를 대기중에 노출하여 측정된 결과이고, 그림 6 (b)는 외장형 UHF센서를 에폭시 스페이서에 부착후 측정된 결과를 보여주고 있다. 외장형 UHF 센서를 통해 부분방전 신호측정시에는, 주위의 외부노이즈가 에폭시 스페이서를 통해 GIS 내부로 침입되지 않도록 근처의 에폭시 스페이서에 대해 도전성 고무 벨트로 차폐를 시켰지만, 차폐되지 않은 에폭시 스페이서를 통해 외부 노이즈가 여전히 침입되어 PD 신호와 혼합될 가능성이 있음을 알 수 있었으며, 상기의 Masking 기법으로 외부 노이즈를 상당부분 제한시킬 수 있음을 알 수 있다.

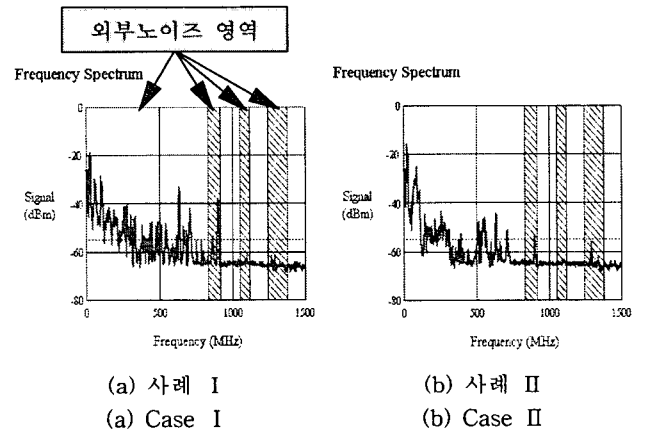


그림 6. S 변전소의 외부 Noise 신호 파형
Fig. 6 Signal of External Noise in S Substation

2.3.2. 1차 시험 결과

신설 변전소는 운영상의 이유로 D S/S에서 순차적으로 전압/전류가 인가되어 일부하의 송전이 이루어지지 않고, 일부 송전구간에 대해 전압만을 인가하는 시험기간이 요구되었다. 이 기간에 측정된 UHF 대역의 신호를 그림 7에서 보여주고 있다. 500~1500MHz 대역에 있어서 주파수 분석을 실시한 결과 Mask 영역을 제외한 전대역에서는 5pC 이상의 어떠한 부분방전도 존재하지 않음을 확인하였다.

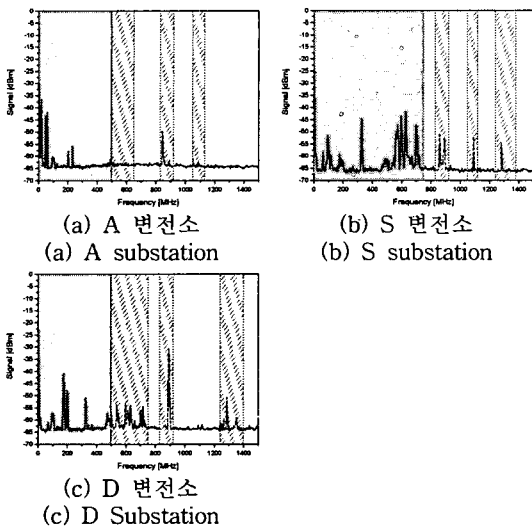


그림 7 GIS에서 측정된 전형적인 UHF대역 신호파형
Fig. 7 General Signal Pattern of UHF Band in GIS

2.3.3 2차 시험 결과

1차 시험에는 실제 부하가 걸려 있지 않았지만(전압만 인가되고 전류는 통전되지 않음), 2차 시험에는 GIS에 실부하(전류통전)가 연결되어 있는 상태에서 즉, 발전소의 전압/전류가 계통에 연계되어 실전력계통으로 운전을 시작한 후에 부분방전 측정시험을 실시하였다. 3개 변전소 전 영역에 대해서는, 1차 시험 때와 같이 어떠한 부분방전도 측정되지 않았지만, 특정구간에서 부분방전으로 예상되는 신호가 측정되어, 정밀조사에 착수하였다. 부분방전 신호가 계속된 구역은 그림 8의 붓싱 구간으로 그림에 표기된 5개의 스페이서를 통해 GIS 내부 부분방전 측정시험을 실시하였다. 또한, 외부 노이즈가 스페이서를 통해 GIS내부로 들어갈 확률을 제거하기 위해 그림 8에 표기된 에폭시 스페이서에 대해서는 도전성 고무로 된 벨트를 취부하여 외부노이즈를 차폐하였다.

부분방전으로 생각되는 파형이 그림 9과 같이 C상의 No.1 스페이서에서 검출되었고, 이때, C상의 No.1 스페이서 근처에서 측정된 외부노이즈는 그림 10와 같다. 그림 9의 신호(Max:-19.6dBm)가 그림 10(Max:-23.9dBm)의 신호보다 전대역에서 특히 1GHz 대역 이후에서는 높은 출력 신호를 나타내기 때문에 그림 9, 10의 결과로부터 부분방전은 내부에서 발생됨을 알 수 있었으며, 이때의 방전량은 그림 5의 외장형 UHF 센서의 감도특성 그래프로부터 약 200pC의 부분방전 발생가능성을 진단하였다. 또한, 스페이서 위치를 No.1에서 No.5로 점차적으로 이동할수록 미약하나마 신호감쇄가 확인되어 부분방전 발생위치는 붓싱 밀의 도체 연결부로 예상되었다. 그림 9에서 측정된 파형의 500~1500MHz 대역중 가장 큰 신호를 갖는 주파수 대역(705MHz)에서 위상 분석을 실시하여 그림 9의 위상 파형을 얻었다. 위상분석시에는 Spectrum Analyser의 전원과 GIS 인가전압은 위상차를 갖고 있으므로, 위상측정기를 이용하여 위상차를 측정 후 위상보정을 실시하였다. 그림 9(b)의 파형을 실험을 통해 구해진 부분방전 원인별 위상 패턴[9]과 비교한 결과 부분방전 발생원인으로는 플로팅전극(Floating Electrode)으로 판단하였다.

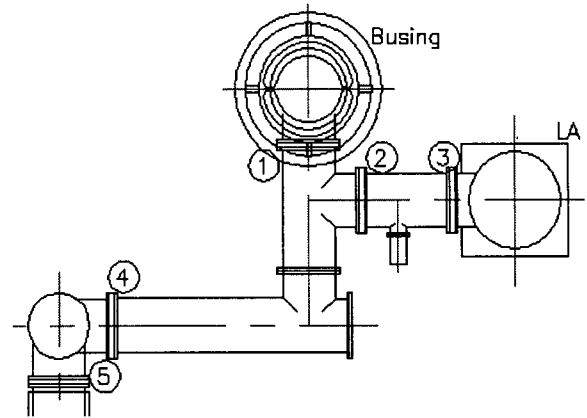


그림 8 부분방전측정시험용 에폭시 스페이서 위치
Fig. 8 Location of Epoxy Spacer for PD Measurement Test

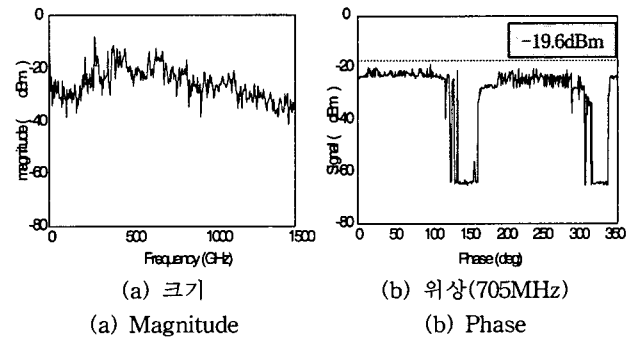


그림 9 C상 No.1 스페이서에서 측정된 결과
Fig. 9 Measurement result of No.1 spacer in C-phase

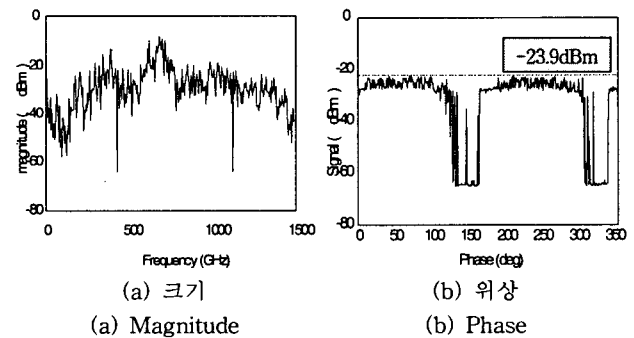


그림 10 C상 No.1 스페이서 근처의 외부 노이즈 신호
Fig. 10 External Noise of Near in No.1 spacer of C-phase

그림 11과 그림 12과 같이 인접한 B상과 A상의 붓싱 하부에서 측정된 부분방전 측정결과로부터 C상에서 발생된 부분방전 전자파가 B상(Max:-52dBm), A상(Max:-55dBm)을 거쳐 점차적으로 감소되어 가는 현상을 확인할 수 있고, 이 결과로부터, C상의 내부 부분방전이 Bushing 애관을 거쳐 외부로 전파되는 사실을 알 수 있었으며, 그림 10의 노이즈 신호가 부분방전과 유사한 신호로 측정된 결과에 대해서도 추론이 가능하였다.

부분방전발생이 예상되는 구간의 GIS에 대해 내부정밀 점검을 실시한 결과, 붓싱 도체 연결부 부위의 볼트가 전하력에 풀려져 있음을 확인하였다. 물론 풀어진 볼트 부위에

는 부분방전에 의한 탄흔이 남아있었다. 문제부위에 대한 수정후 C상 No.1 스페이스에서 No.5 스페이스에 걸쳐 부분방전 계측을 실시한 결과, 그림 13과 같이 1차 계측시 얻은 결과와 동일한 파형을 얻어 부분방전으로 인한 전자파가 제거되었음을 확인하였다.

UHF법에 의한 부분방전진단 결과를 근거로 실제 GIS를 분해하여 정밀 점검한 결과, 진단결과와 동일한 결과를 얻었으며, 따라서 UHF법에 의한 부분방전진단이 실제 변전소 현장점검에서도 적용가능할 만큼 신뢰성이 높다는 것을 입증한 시험이었다. 또한, 무부하운전에 실시한 1차 PD 진단시험시에는 느슨하게 조여진 볼트에서 PD가 발생되지 않았으나, 부하운전 중에는 전류에 의한 전자력에 의해 볼트가 물러지면서 PD가 집중적으로 발생하였음을 알 수 있었다.

3. 결론

GIS의 절연상태를 가장 효과적으로 진단하는 방식으로, 최근들어 UHF법에 의한 부분방전 진단 방식이 도입되고 있다. 본 논문에서는 부분방전 측정장비의 감도특성, dBm-pC 환산관계 및 신뢰도를 현장시험 실시전에 시험실에서 수행한 시험결과를 통해 제시하였으며, 동일 측정시스템을 이용하여 실제 운전중인 GIS에 적용한 사례를 보고하였다.

일반적으로 신설변전소에 납품되는 GIS에 대해서는 내장형 UHF 센서를 내부 점검창에 부착하지만, 본 논문에서는 기존 운전중인 GIS 스페이스 외벽에 부착할 수 있는 외장형 UHF 센서와 휴대용 진단장치에 대한 연구내용을 제시하였다. 센서로부터 얻어진 신호는 주파수 분석과 위상분석을 실시하여, 주파수분석을 통해 부분방전 발생유무와 방전량을 알 수 있었으며, 위상분석 결과에 대해 Database를 이용하여 부분방전 발생원인에 대해서도 진단이 가능하였다. 또한, 부분방전 신호로 측정된 전자파(단위 dBm)의 크기를 일반적인 부분방전량 단위인 pC으로 환산할 수 있는 관계식을 제시하였으며, UHF 센서의 신뢰성 검증 결과도 보고하였다.

국내 메이커에 의해 개발되어 운전중인 GIS에 있어서 "플로팅 전극"에 의한 부분방전을 절연과피 전에 발생원인, 발생위치, 부분방전량 등을 진단하였으며 내부점검 결과로부터 충분한 신뢰성을 검증할 수 있었다.

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

참고 문헌

- [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] 김정배, 김민수, 송원표, 김덕수, 전찬석, 길경석, "가스 절연개폐장치용 감시시스템 적용에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, Vol.51C, No.1, Jan 2002.
- [3] 이동철, "초고압 GCB/GIS 성능 및 품질 향상 대책", 전력용 개폐장치 연구회 제1차 기술발표회 및 토론회 자료, 2000.07, p.5-10.
- [4] 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.
- [5] 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
- [6] Fumihiko Endo, "Risk Assessment of Defects in GIS by PD Diagnostics", CIGRE WG15-03 TF15.03.09 Munchen Meeting, March, 2000
- [7] M.runde, T.Aurud L.E., Lundgaard, G.E.Ottesen,

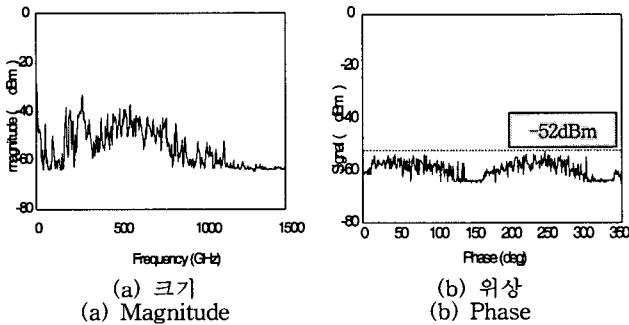


그림 11 B상 1번 스페이스에서 측정한 결과
Fig. 11 Measurement Result of No.1 spacer in B-phase

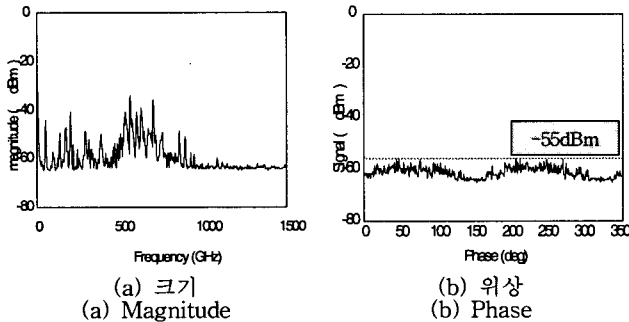


그림 12 A상 1번 스페이스에서 측정한 결과
Fig. 12 Measurement Result of No.1 spacer in A-phase

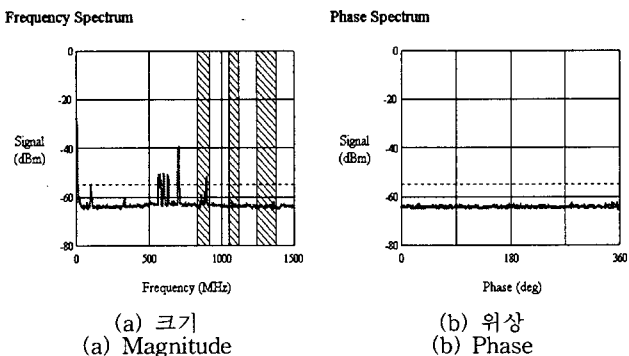


그림 13. 부분방전 발생원 제거 후 C상 No.1 스페이스에서 측정한 결과
Fig. 13 Measurement Result of No.1 spacer in C-phase after clearing of PD Source

K.Faugstad, "Acoustic Diagnosis of High Voltage Circuit-Breakers", IEEE Trans. on Power Deliver, Vol.7, No.3, July 1992

- [8] 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
- [9] 김정배, 정재룡, 김민수, 송원표, 김맹현, 고희석, 최인혁, "UHF 부분방전 진단법에 의한 가스절연 개폐장치의 성능검증", 2004년도 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회, 2004.05, p.132-135.
- [10] 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.
- [11] 김정배, 정재룡, 김민수, 송원표, 김맹현, 고희석, 최인혁, "초고압 GIS용 부분방전 UHF 센서의 현장성능시험 연구", 2004년도 대한전기학회 전기설비전문위원회 춘계학술대회, 2004.05, p.121-122.



김민수 (金旻秀)

1971년 1월 24일 생.
 1997년 한양대 전기공학과 졸업.
 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 2000년~현재 (주)효성 중공업연구소 책임연구원.
 Tel : 055-268-9917
 Fax : 055-268-9928
 E-mail : mskim57@hyosung.com



정재룡 (鄭載龍)

1976년 7월 6일 생. 1999년 부산대 기계공학부 졸업. 2001년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(석사). 2003년~현재 (주)효성 중공업연구소 선임연구원
 Tel : 055-268-9917
 Fax : 055-268-9928
 E-mail : jrjung@hyosung.com

저 자 소 개



송원표 (宋元杓)

1958년 9월 23일 생
 1981년 서울대 원자핵공학과 졸업
 1991년 경남대 전기공학과 졸업
 1985년~현재 (주)효성 전력PU 임원
 Tel : 055-268-9007
 Fax : 055-268-9488
 E-mail : wpsong@hyosung.com



박승재 (朴勝哉)

1966년 10월 18일생. 1989년 광운대 전기공학과 졸업. 2000년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년~현재 한국전기연구원 선임연구원
 Tel : (055) 280-1525
 Fax : (055) 280-1596
 E-mail : parksj@keri.re.kr



김정배 (金正培)

1966년 10월 12일 생. 1989년 한양대 전기공학과 졸업. 1991년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 일본 규슈대학 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년~현재 (주)효성 중공업연구소 수석연구원.
 Tel : 055-268-9916
 Fax : 055-268-9928
 E-mail : hico-jbkim@hyosung.com



고희석 (高羲石)

1942년 8월 21일생. 1966년 부산대 전기공학과 졸업. 1979년 동아대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년 중앙대 대학원 전기공학과(박사). 현재 경남대 전기전자공학부 교수
 Tel : (055) 249-2628
 E-mail : powersys@kyungnam.ac.kr