

Gas Insulated Switchgear(GIS) 내부 부분방전 측정을 위한
Barrier coupler-type UHF센서 개발에 관한 연구

*황철민, *구자윤, **이영삼, ***윤진열,
*한양대학교 전기공학과 SMDT연구실, **(주)피에스디테크, ***전력연구원

A study for development of Barrier coupler-type UHF sensor for Partial Discharge measurement
in GIS(Gas Insulated Switchgear)

*Chul-min Hwang, *Ja-yoon Koo, **Young-sang Lee, ***Jin- yul Yoon

*SMDT Lab., Dept. of Electrical Engineering, Hanyang Univ.
PSDTech, *Korea Electric Power research Institute,

Abstract -본 논문에서는 Barrier coupler type UHF 센서의 현장적용 및 감도개선을 위해 외부잡음의 차폐방법과 광대역 안테나를 Barrier coupler type UHF센서에 적용시켜 센서의 성능을 개선시켰다. GIS 내부에서 발생하는 부분방전 신호를 검출하기 위하여 UHF대역(0.3~3GHz)의 전자파 신호의 검출이 가능한 광대역 Rectangular 패치 안테나를 barrier coupler type UHF 센서에 적용 설계하였으며, Rectangular patch antenna를 배열(array) 했을 때의 특성들을 비교하였다. 이를 위해 상용화된 EM Simulator를 이용하여 센서의 방향성과 감도 특성을 검토하여 설계 및 제작하였다. 개발된 센서의 실제 특성을 분석하기 위해서 network analyzer로 센서의 특성을 분석하였고, 실규모의 GIS 챔버를 사용하여 다양한 결합에 대한 센서의 감도와 특성을 평가하였다. 본 연구의 결과로서 제작된 barrier coupler type UHF센서가 가스절연기기(GIS)의 부분방전 신호를 검출할수 있음을 입증하였고, 광대역 외장형 센서의 경우 patch antenna의 구조에 크게 상관하지 않음을 알 수 있었다. 향후에는 GIS 내장형 센서와 비교 연구를 통해 barrier coupler type 센서의 성능을 개선하고자 한다.

Key Words: GIS, 부분방전, Battier coupler type UHF센서, rectangular patch antenna

1. 서 론

SF₆ 절연 GIS는 우수한 절연내력과 차단성능을 지니고 있어 높은 신뢰성이 높지만, 사고 발생시 전력수급상의 문제 등 사고 파급효과가 증대되어진다. 부분 방전 시 발생하는 UHF(Ultra High Frequency)대역의 신호를 측정하여 GIS내부의 상태를 상시 감시할수 있는 진단기술이 요구되어지고 있다. 이러한 부분방전 신호를 검출하기 위한 방법으로 UHF 대역의 센서를 GIS 내장하거나 외장시켜 내부에서 발생하는 전자파 신호를 검출하는 UHF 부분방전 기법이 있다.[1][2] 국내외 연구 결과에 따르면 각종 형태의 내·외장 UHF 센서가 개발되어 부분적으로 실용화 되고 있다.[3][4][5] 외장형 UHF 센서는 GIS의 스페이서(barrier)를 통해 누설되는 UHF 부분방전 신호를 스페이서 외부에 설치된 패치 안테나(patch antenna)를 통해 감지하는 형태이다. 본 논문에서는 외장형 UHF 센서에 적용되는 패치 안테나의 구조에 따른 센서의 측정감도(sensitivity)와 특성(characteristic)에 대한 연구를 하였으며, 이를 위해 EM simulator를 이용한simulation을 통해 자체 센서를 개발하였다. 실 제작된 센서들의 측정감도 비교를 위하여, 가스절연차단기(Gas Insulated switchgear)에 다양한 결합의 부분방전이 발생하도록 floating 결합(금속 이물)으로 인한 방전과 절연 결합(고체 절연체)으로 인한 방전을 일으킨 후 각 센서를 통해 측정된 결과를 비교하였다.

2. 본 론

2.1 센서 설계제작 및 감도 측정

2.1.1 EM Simulator를 이용한 센서 설계

본 연구에서는 GIS 내부에서 발생하는 여러 가지 결합에 의한 방전을 검출하기 위해 패치 안테나(patch antenna)의 구조에 따

른 센서의 감도 및 특성을 비교 하였다. 이를 위해 각각의 구조에 따른 특성 검증을 위해 현재 상용화된 전자계 시뮬레이션 프로그램인 EM Simulator를 이용하였다.

그림 1에서는 광대역(wide band-0.5~3GHz) 특성을 갖는 rectangular 패치 안테나를 단일소자, 2-소자 배열, 4-소자 배열로 구분하여 각 소자에서 나타나는 반사손실(Return loss)를 보여주고 있다.

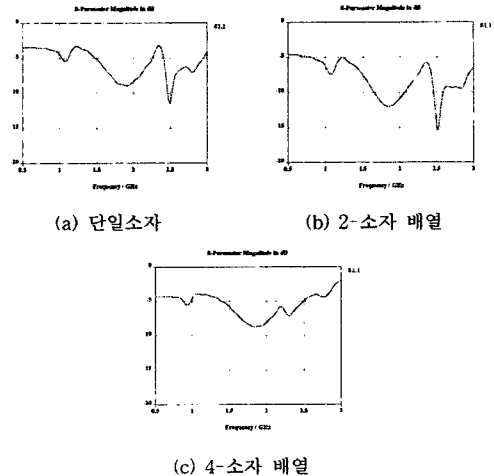
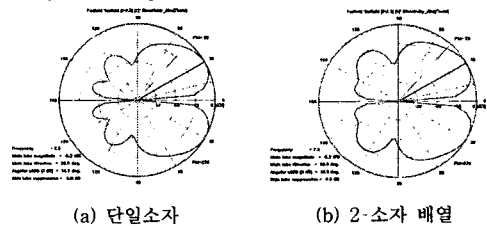


그림 1. EM simulation을 이용한 각 센서의 반사손실 특성

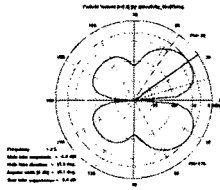
그림 1에서 센서에 적용된 모든 안테나 구조는 1.2GHz, 1.8GHz, 2.5GHz, 2.8GHz에서 공진(resonance)점을 가지며, 1.8GHz(bandwidth(3dB):0.7GHz)에서 광대역 특성을 나타냈다.

그림 2에서는 최대 공진 주파수 대역인 2.5GHz에서의 지향성(directivity) 및 이득(gain)을 보여준다.



(a) 단일소자

(b) 2-소자 배열



(c) 4-소자 배열

그림 2. 2.5 GHz 에서의 지향성(directivity) 및 이득(gain)

그림 2에서 각 센서의 Main lobe direction은 30deg.에서 최대가 되며, Angular width(3dB)는 38deg.로 patch 안테나가 스페이스에 취부 되는 방향으로의 전자파 수신이 가능하다. 센서의 이득 특성(gain)은 단일소자와 2-소자 배열 안테나의 경우 -0.2dBi, 4-소자 배열 안테나는 -6.0dBi 로 나타났다. 4-소자 배열 이상으로 안테나를 배열 시켰을 때는 UHF 대역에서의 센서의 감도와, 이득 특성이 낮다. simulation 결과 2-소자 배열 안테나를 센서에 적용 시켰을 때가 가장 우수한 반사손실(RL)특성을 나타냈다.

2.1.2 센서 제작 및 감도 측정

EM simulator를 이용한 simulation 결과를 토대로 센서를 제작하였으며, 그림 3과 그림 4는 자체 제작된 센서를 보여준다.



그림 3. 170kV용 외장형 센서

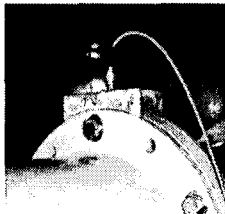


그림 4. GIS barrier에 취부된 외장형 센서

센서의 sensing part는 광대역 특성의 rectangular 패치 안테나(단일소자, 2-소자 배열, 4-소자 배열)를 적용하였으며, sensing part와 ground plane 사이의 절연을 위하여 epoxy(유전율: 2.2) molding을 했다. 또한 외부의 잡음으로부터의 고립(isolation)을 위하여 센서의 외관은 금속으로 차폐(shield) 시켰으며, GIS 스페이스의 밀착을 위하여 취부면을 유선형으로 제작하였다.

Transmission line은 sensing 된 신호의 손실을 줄이기 위해 초고주파 대역의 신호를 전송할 수 있는 semi 리드드 케이블(RG400)을 사용하였다.

그림 5 에서는 제작된 센서의 특성을 비교 분석하기 위하여 network analyzer로 측정된 각 센서의 반사손실(Return Loss) 특성을 보여주고 있다.

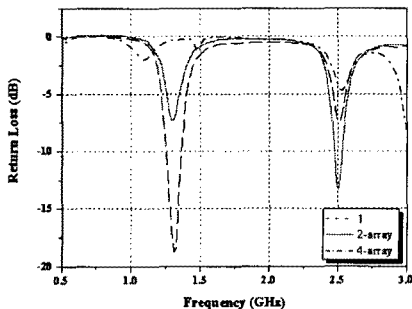


그림 5. network analyzer로 측정된 각 센서의 반사손실 특성

network analyzer 측정 결과 단일소자와 2-소자 배열 안테나의 경우 1.3GHz와 2.5GHz대역에서 공진점을 가지며, 낮은 반사손실을 보인데 비해 4-소자 배열 안테나의 경우에는 1.1GHz, 1.5GHz, 2.5GHz, 3.1GHz에서 공진점을 갖지만, 높은 반사손실을 보였다.

그림 5에서 센서의 특성은 패치 안테나의 배열 개수가 증가함에 따라 센서의 최대 공진점이 고주파 방향으로 이동함을 보여준다.

simulation 결과와 비교해 볼 때 실제 제작된 센서는 전체 주파수 대역(0.5 - 3GHz)에서 반사 손실의 level 약 4dB 정도 올라갔으며, 1.3GHz와 2.5GHz 주파수 대역에서 공진이 같게 나타났지만, simulation 결과에서 나타난 1.8GHz 공진점은 나타나지 않았다. 이는 센서의 제작 공정상의 문제로 여겨진다.

2.2. GIS 내부 결함에 의한 부분방전 측정

2.2.1 실험장치 및 방법

제작된 센서의 실제 부분방전 감도 측정을 위하여 모의 실험용 GIS mock up(정격 170kV, 50kA, 1200A)을 사용하였으며, 전자파 차폐를 위해 모든 실험은 shield room(electric field 1kHz-1GHz : 100dB)내에서 이루어졌다. 실험장치구성은 그림 8과 같다. 전압원으로는 Haefely Trench 사의 noise free High-voltage transformer(PZTL 100-0.25)를 사용하였다.

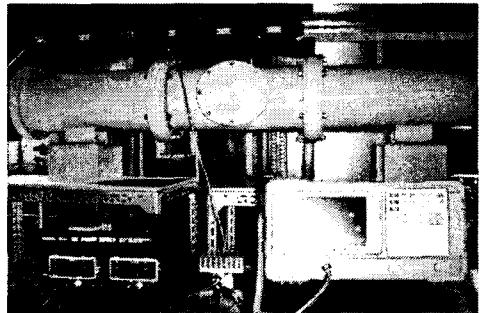
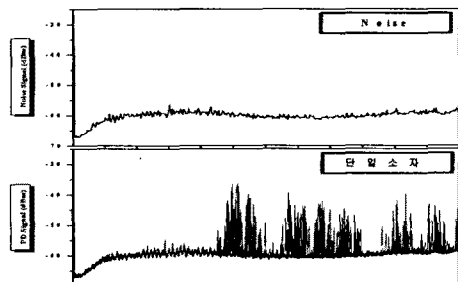


그림 6. 실험 장치 구성도

UHF 센서는 결함 부위와 가장 인접한 스페이스에 취부하였고, 미소한 전자파 신호의 증폭을 위하여 0.3-3GHz의 광대역 Microwave GaAs FET Amplifier(Gain: 30dB)를 transmission line에 연결하여, 스펙트럼분석기(Agilent E4404B, 30Hz-6.7GHz)로 측정하였으며, Amplifier의 Bias 전압(15V)을 인가하기 위해 power supply를 amplifier에 연결하였다. 또한 IEC60270 규격의 partial discharge detector TE571을 이용하여 방전량을 측정하였다. 또한 각 결함의 부분방전 발생 주파수 대역을 분석하기 위하여 동일한 조건하에서 실험을 반복하여, 얻은 data 값을 누적시켰다.

2.2.2 floating 결함에 의한 부분방전 측정

그림 7은 인가전압이 25kV일때, GIS 내부의 floating 결함으로 인해 발생하는 부분방전 신호를 스펙트럼 분석기로 측정된 결과이다.



3. 결 론

본 연구에서는 가스절연기기(GIS)에서 발생하는 부분방전 신호 검출을 위한 외장형(barrier coupler type) UHF센서를 설계 제작하였으며, 센서에 적용되는 patch 안테나의 구조에 따른 부분방전 측정 감도를 비교하여 다음과 같은 결과를 도출해 내었다.

1. EM simulator를 이용한 센서의 설계 방법의 신뢰성을 얻었다.
2. 외장형 UHF 센서에 적용되는 patch 안테나의 구조에 따른 센서의 감도(sensitivity)는 배열 구조의 개수가 증가할수록 공진 주파수가 고주파 대역으로 이동함을 알 수 있었다.
3. GIS내의 다양한 결함에서 발생하는 부분방전 실험을 통해 측정된 센서의 감도는 광대역 센서의 경우 센서의 공진 주파수 대역에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

이와 같은 결과들로부터 본 연구실에서 설계된 외장형 UHF 센서가 GIS 등의 고전압기기에서 UHF 대역의 부분방전 신호를 검출할 수 있음을 입증하였고, 광대역 외장형 센서의 경우 패치 안테나 구조에 따른 센서의 감도 특성은 크게 고려되지 않을 것으로 생각된다. 향후 내장형 UHF 센서를 개발하여, 외장형 센서와의 비교 연구를 통해 외장형 및 내장형 센서의 감도 및 특성을 개선하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부(과제번호: R-2002-0-307)와 한양대학교 전자재료 및 부품연구센터의 지원에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

[1]Deltv Gross and Markus Soeller "Partial Discharge Monitoring and Breakdown Location on GIS Equipment" Draft, Paper1.19,submitted to ETG 'Diagnostik Elektrischer Betriebsmittel', Berlin, February 26-27, 2002
 [2]NICHOLAS DE KOCK, BRANKO CORIC and RALF PIETSCH "UHF PD Detection in Gas-Insulated Switchgear Suitability and Sensitivity of the UHF Method in Comparison with the IEC270 Method" IEEE Electrical Insulation Magazine
 [3]Jin Yeol Yoon and Sang Ok Han, "GIS 내 금속입자의 부상진압과 부분방전특성 연구"Trans. KIEE. Vol. 50C, No.9, SEP. 2001
 [4]윤정훈, 구자운, 임용석, 연만승, 강창원 "GIS 내부 부분 방전 측정에 관한 연구" 2002년도 대한전기학회 하 계학술 대회 논문집 2002. 7. 10-12
 [5]R.Kurrer, K. Feser "The Application of Ultra-High Frequency Partial Discharge Measurements to Gas-Insulated Substations" Ieee Transactions on Power Delivery, Vol.13, No.3, July 1998

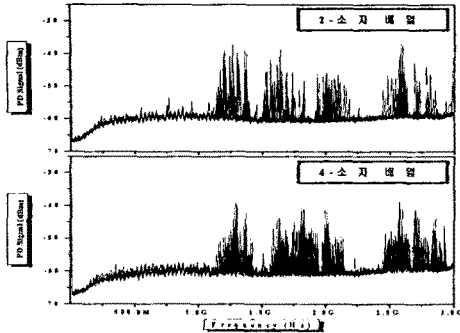


그림 7. GIS 내부 floating 결함으로 인한 부분방전 스펙트럼 비교(인가전압: 24kV, 방전량: 150~200pC)

floating 결함으로 인한 부분방전 발생시 전자파는 1.3GHz이하의 주파수 대역에서 거의 발생하지 않았으며, 1.3~1.4GHz, 1.6~2.2GHz, 2.4~3GHz의 특정 주파수 대역에서 측정되었다. 각 센서에 측정된 부분방전 스펙트럼은 전체 측정 주파수 대역에서 거의 비슷한 측정 감도를 보였으며, 단일 소자 안테나의 경우 1.3~1.4GHz의 주파수 대역에서, 4-소자 배열 안테나의 경우 2.5GHz 이상의 주파수 대역에서 조금 더 높은 측정 감도를 보였다.

2.2.3 절연 결함에 의한 부분방전 측정

그림 8은 인가전압이 4kV일때, 내부 도체의 고체 절연체에 의한 절연 결함으로 인해 발생하는 부분방전 신호를 스펙트럼 분석기로 측정된 결과이다

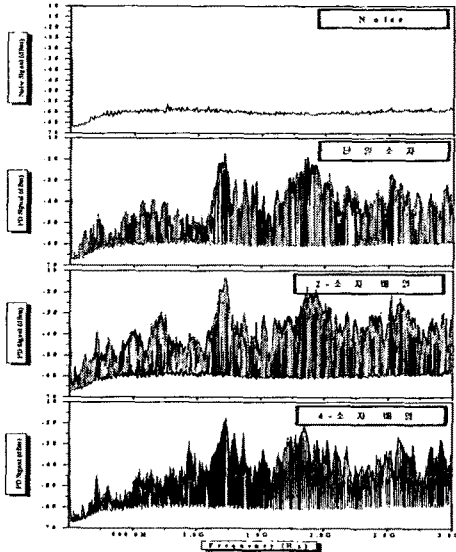


그림 8. 내부 도체에 고체 절연 결함으로 인한 부분방전 스펙트럼 비교(인가전압: 4kV, 방전량: 200~450pC)

절연 결함으로 인한 부분방전 발생시 전자파는 전체 측정 주파수 대역(10kHz~3GHz)에서 광범위 하게 나타났으며, 1.3GHz, 1.6GHz, 2.6GHz 주파수 대역에서 큰 신호들이 측정되었다. 각 센서로 측정된 부분방전 스펙트럼은 전체 측정 주파수 대역에서 거의 유사하게 나타났다.