

GIS내부에 부분방전 측정에 관한 연구

윤정훈*, 구지윤*, 임윤석*, 연만승*, 강창원*
한양대학교*, (주)PsdTech*

A study on the measurement of Partial Discharge in Gas-Insulated Switchgear

Jeong-Hoon Yoon*, Ja-Yoon Koo*, Yoon-Seog Lim*, Man-Seung Yeon*, Chang-Won Kang*
HanYang Univ.*, (주)PsdTech*

Abstract - SF₆ 가스로 절연되는 GIS (Gas Insulated Switchgear)는 매우 우수한 신뢰성을 확보하고 있지만 사고 발생 시 파급효과가 매우 크므로 상시 감시할 수 있는 진단기술이 요구된다. 본 논문에서는 GIS 내부에서 발생하는 신호를 검출하기 위해서 전기적인 방법과 비전기적인 측정 방법을 통해 전자파, 초음파, 전류펄스를 측정하고 비교하였다. GIS 내부알루미늄도체에 침 결합을 고정시켜 전원전압 인가 시 발생하는 부분방전신호를 UHF, AE, CT센서로 검출하였다. 측정결과 UHF센서와 CT센서로 검출되어진 신호는 매우 유사하게 측정되었고 초음파와 전자파를 검출한 결과 진행속도 차이로 발생하는 시간지연현상이 발생되었다. GIS 내 부분방전발생 시 발생하는 전자파 스펙트럼 분석결과 650MHz에서부터 935MHz까지의 주파수대역이 측정되었다. 이후에는 현장에서 운전중인 GIS내부에서 발생하는 결합들을 실제와 가깝게 모델링하여 발생하는 부분방전신호를 스펙트럼 분석하여 대역에 맞는 UHF센서 개발에 노력하고자 한다. 또한 결합의 종류와 형태에 따라 다르게 발생하는 부분방전신호를 검출하여 측정하고 이를 진단하는 연구가 계속 진행되어야 할 것으로 사료된다.

Emission)센서를 통한 측정 방법을 사용하였다. AE센서는 piezoelectric 효과를 기반으로 만들어진 센서로서, piezoelectric효과란 기구 적인 변형이 전기장을 유발하는 원리이다. 따라서 부분방전에 의한 기계적인 응력과 그 응력을 AE센서의 앞단에 있는 crystal에 전달하고, 응력을 받은 재질은 그 압력에 의하여 변형을 일으킨다. 이러한 변형은 전기장을 유발하여 기계적인 파형을 전기적인 신호로 변환하게 되어 초음파를 감지하게 된다. 본 논문에서는 GIS내부에서 발생하는 전자파신호, 초음파신호, 전류신호를 검출하여 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치 구성

본 연구는 실 규모의 GIS 실험용 챔버(정격 170kV, 50kA, 1200A)를 사용하였고 실험장치구성은 그림1과 같다. 전원장치는 전원전압 단상교류 380V를 regulating transformer에 공급하여 전압 가변장치를 통해 2차 측에서 최대 100kV의 전압을 얻는 구조이다.

Key Words: GIS, 부분방전, UHF, AE, CT

1. 서 론

우리사회는 고도로 산업화되어 있고 전력공급에 있어서도 높은 신뢰성을 요구하고 있다. SF₆ 가스로 절연되는 GIS는 우수한 절연내력과 차단기능을 지니고 있어 높은 신뢰성을 가지고 있지만, 사고 발생 시 전력수급상의 문제등 사고 파급효과가 매우 크다. 따라서 부분방전 시 발생하는 UHF(Ultra High Frequency)대역의 신호를 측정하여 GIS내부의 상태를 상시 감시할 수 있는 진단기술이 요구된다. GIS내부에서 부분방전이 발생하게 되면 펄스형태의 방전전류, 음향신호, 전자파 방사현상 등의 여러 가지 물리적 현상을 수반하기 때문에 많은 부분방전 검출방법이 제안되고 있다[1]. GIS 절연진단 방법인 부분방전 측정 법에는 전기적인 방법과 비전기적인 방법이 있다[2-3]. 비전기적인 방법으로는 음파를 측정하는 초음파 측정방법이 있으며, 전기적인 방법으로는 UHF 부분방전측정법과 방전전류를 측정하는 방법이 있다[6]. SF₆ 가스 내에서 발생하는 부분방전 펄스는 1ns정도의 가파른 상승시간을 가진 펄스로 2GHz이상의 주파수 대역에 분포되어 있다고 잘 알려져 있다 [1][5]. 이 대역의 부분방전 신호를 검출하는 각종 UHF센서가 개발 및 실용화되고 있다. UHF부분방전 검출기법은 전자파 검출 방법으로 UHF대역의 센서를 GIS에 내장하거나 외장시켜 내부에서 발생하는 전자파 신호를 검출하는 방법이다. 본 논문에서는 전기적인 방법으로 외장형 UHF 센서를 통한 부분방전 측정법과 CT(Current Transformer)를 통한 방전전류 검출 방법을 사용하였다. 비전기적인 방법으로는 AE(Acoustic

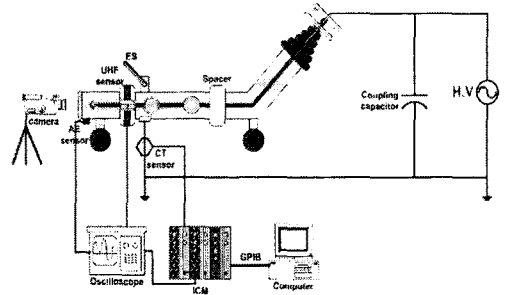


그림 1 실험장치 구성도

실험용 GIS챔버는 붓싱, 수동 ES (Earthing switch), particle 챔버로 구분이 되어 있다. 알루미늄 중심도체의 반경은 60mm이고 외경은 150mm이다. 챔버내부에서 일어나는 각종현상들을 관찰하기 위해 관측창 4개와 비디오카메라를 설치하였다. particle 챔버와 가장 인접한 스페이스에서 외장형 UHF sensor (PsdTech,450MHz대역)를 부착하여 전자파를 검출하였다. 접지부분에는 CT센서(2-20MHz)로 전류신호를 검출하고 pre-amp와 main-amp단에서 증폭하여 PC와 오실로스코프 (Lecroy, 2Gs/s)에서 측정하고 저장하였다. AE센서(150Khz대역)는 초음파신호를 검출할 수 있도록 그림 3과 같이 부착하였다[4]. 스펙트럼 분석기(Agilent E4404B, 30Hz-6.7GHz)를 통해 실험실 내부에 존재하는 외부 노이즈 주파수 대역을 측정하여 분석하였다(그림4)[2].

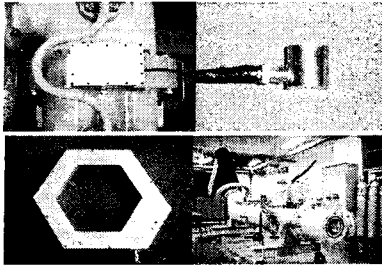


그림 2 센서 및 실험장치

2.2 실험방법

GIS내의 반경이 60mm인 내부Al도체에 ogura 칩(곡률반경:10um, 길이:5.9cm)을 도전성 실버 에폭시 접착제로 고정시켰다(그림3). GIS챔버 내부를 진공 펌프로 진공시킨 후 SF₆ gas(3kgf/cm²)를 채웠다. 스펙트럼 분석기를 사용하여 전압인가 하기전의 외부노이즈 스펙트럼과 전압인가 후의 부분방전 신호 스펙트럼을 측정하여 비교하였다(그림10). 방전이 개시 되었을 때(방전량이 작을때:약70-80pC)의 신호들과 인가전압을 상승시켰을 경우(방전량이 클경우:약0.7-1nC)의 신호들을 오실로스코프로 측정하여 비교하였다.

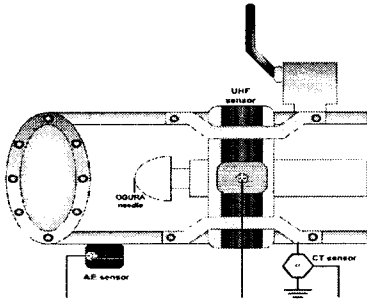


그림 3 칩 결합 및 측정 센서 부착 위치

3. GIS내 부분방전신호검출

3.1 실험실내부의 외부노이즈 측정

그림 4는 스펙트럼 분석기를 사용하여 실험실내부의 외부 노이즈 전자파 주파수 스펙트럼측정을 한 결과이다. 스펙트럼분석기의 attenuation은 5dB, reference level은 -30dBm, sweeping tim은 3s, resolution band width 3MHz로 설정하고 30Hz에서부터 1GHz까지의 주파수 대역을 측정하였다. 측정된 결과 marker1에서 2까지는 VHF-TV(ch7-11)주파수대역(174MHz-216MHz)의 전자파 주파수가 검출되었고 marker2에서 3까지는 CATV 순방향 Analog주파수대역(54-450MHz)이 검출되었다. marker4는 Digital cellular(기지국 송신용: 869MHz-894MHz)의 주파수대역이 검출되었다. GIS내 부분방전이 발생되기 전의 전자파 외부노이즈 주파수 대역(그림5)과 부분방전이 발생 되었을 때의 전자파 주파수대역을 비교할 수가 있다(그림 10). 그림5(b)는 내부Al도체에 칩을 고정시키지 않고 전원전압인가 장치로 100kV까지 전압을 상승시켰을 경우 발생하는 신호를 CT센서, AE센서, UHF센서로 검출한 신호파형이다. 그림5(a)는 CT센서로 검출되어진 신호를 증폭하여 GPIB통신을 통해서 PC에 전송되어진 화면이다. 그림5(b)의 1번채널 신호는 CT센서에서 검출되어진 신호이며 3번 채널 신호는 UHF센서, 4번 채널 신호는 AE센서에서 검출되어진 신호를

오실로스코프로 측정하여 저장한 파형이다.

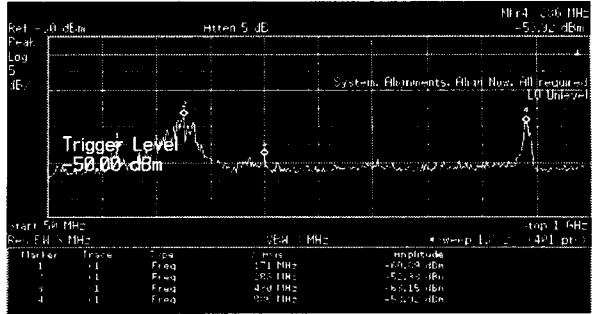
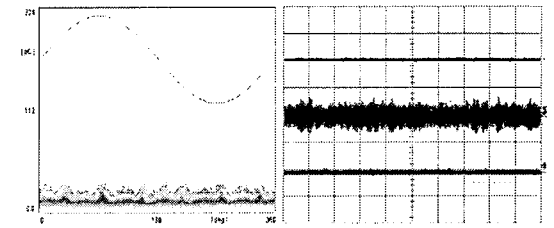


그림 4 실험실내부 외부노이즈 전자파 주파수 스펙트럼

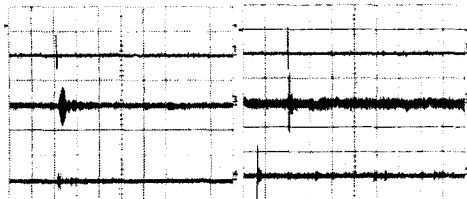


(a)CT로 측정된 PRPD 패턴 (b) 오실로스코프 파형
그림 5 내부 결함이 없을 때 전원(100kV) 인가 시 실험실내부 외부 노이즈 신호

3.2 GIS내 부분방전 발생 시 신호검출

3.2.1 방전량이 작은 경우의 신호검출

그림 6은 전압인가 장치를 통해 전압을 35kV까지 상승시켜 발생한 부분방전신호(약80pC)를 CT, AE, UHF센서로 검출하여 증폭기로 증폭되어진 신호를 오실로스코프로 측정된 파형이다. 채널1은 CT센서, 채널3은 UHF센서, 채널4는 AE센서로 검출하여 측정된 파형이다. CT센서는 calibrator(Haefely)를 사용하여 100pC으로 calibration을 시킨 후 측정하였으나 UHF센서는 전자파를 방출시켜주는 calibrator 장비를 보유하고 있지 않아 정확한 calibration을 시킬 수는 없었다. 오실로스코프는 그림 6(a) 1V/div(0.5ms), (b)1V/div(2ms)로 설정하고 측정하였다. CT센서(ch1)로 검출되어진 신호와 UHF센서(ch3)로 검출되어진 신호가 동일하게 측정되었다. AE센서로 검출되어진 신호는 UHF센서로 측정되어진 신호보다 시간지연현상이 발생됨을 확인할 수가 있다(그림6(b), 그림 8(a),(b)). 시간지연현상이 발생하게 되는 것은 전자파의 속도가 3×10⁸m/s의 속도로 진행하고 음파의 진행속도가 340m/s의 속도로 진행하게 된다. 따라서 같은 위치에서는 전자파의 진행속도가 음파의 진행속도보다 약88×10⁴m/s 만큼 빠르게 되어 생기는 현상으로 고려되어진다. CT센서로 검출되어진 신호를 preAmp와 mainAmp를 거쳐 증폭을 한후 오실로스코프로 측정된 화면은 그림 6에 채널1이고 PC로 전송한 화면은 그림7이다. 그림6(b)에 채널1에는 부극성신호가 측정되지 않았으나 그림7에는 부극성에도 신호가 측정되었다. 그 이유는 오실로스코프의 한 화면은 20ms로 측정되었고 P사 시스템의 한화면은 60s로 측정되어 오실로스코프의 한화면에 측정되어지는 신호가 P사 시스템에서는 3000번이 측정되어 저장되어지기 때문이다. 따라서 그림7에서 측정되어진 화면은 그림6의 채널1과 같은 신호들이 3000번 측정되어 저장되기 때문에 정극성에 나타난 신호와 부극성에 나타난 신호들 모두가 표현된 것이라 할수 있다.



6(a) 0.5ms, 1V/div 6(b) 2ms, 1V/div
 그림6 35kV전압인가시 발생되어진 부분방전신호(약 80pC)를 CT(채널1), UHF(채널3), AE(채널 4)센서로 검출하여 오실로스코프로 측정하여 저장한 신호파형

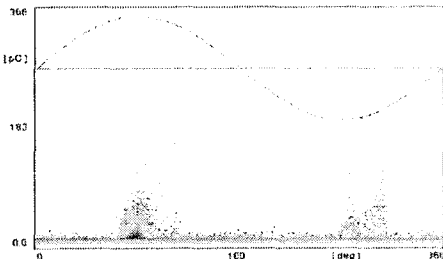


그림7 CT센서로 검출되어진 신호 PRPD 패턴

3.2.2 방전량이 큰경우의 신호검출

그림8은 40kV 전압인가시 발생하는 부분방전신호(약 1nC)를 위와 동일하게 측정된 파형이다. 오실로스코프는 Ch1은 2ms, 5V/div, Ch3는 2ms, 1V/div, Ch4는 2ms, 1V로 설정하고 측정하였다. 40kV 전압인가시 CT센서로 검출되어진 신호의 크기가 증가되었고 펄스수도 증가하였다. 그림9에서 측정되어진 신호의 형태와 그림8의 Ch1에서 측정되어진 파형이 유사함을 알수가 있다. UHF센서(Ch3)로 검출되어진 신호도 펄스수가 증가 되어진 것을 볼수가 있으며 CT센서와 UHF센서는 같은 구간에서 신호가 발생됨을 알수가 있다. AE센서에서 검출되어진 신호는 시간지연현상이 발생되었다.

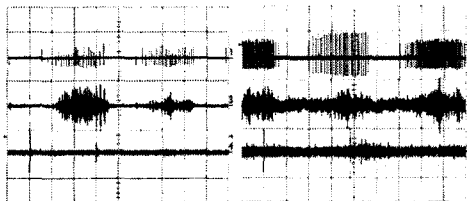


그림 8 40kV 전압인가 시 측정된 부분방전신호(약1nC) CT(채널1), UHF(채널3), AE(채널4)

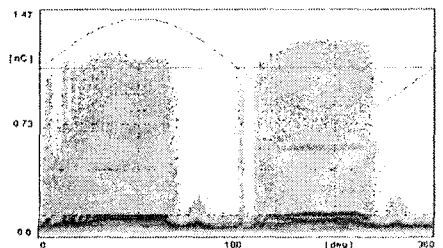


그림 9 CT센서로 검출된 PRPD패턴

그림 10은 GIS내부에서 부분방전이 발생하였을때의 주

파수 스펙트럼을 측정된 결과이다. 부분방전이 발생하지 않았을 경우의 주파수 스펙트럼(그림4)과 명확한 차이를 볼수가 있다. 653MHz에서부터 935MHz까지 전자파가 발생됨을 볼수가 있으며 448MHz부근에서도 발생됨을 확인할 수가 있다.

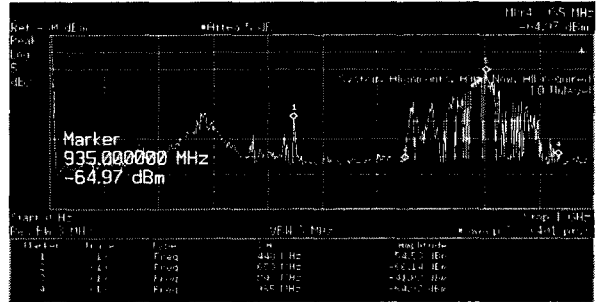


그림 10 부분방전 발생시 전자파 주파수 스펙트럼

4. 결 론

154kV GIS실험용챔버에 전압을 인가하여 침끝에서 발생하는 부분방전신호를 AE, UHF, CT센서로 검출하여 얻은 실험결과를 다음과 같다.

- 첫째, CT센서와 UHF센서에서 검출된 신호는 유사하게 측정되었다.
- 둘째, AE센서로 검출된 신호는 UHF센서에서 검출된 신호보다 시간지연현상이 발생되었다.
- 셋째, 방전 량이 작은 경우와 큰 경우를 비교한 결과, 방전 량이 클수록 펄스 수가 많이 검출되었다.
- 넷째, GIS내 부분방전 발생 시 전자파 스펙트럼은 653MHz에서부터 935MHz, 448MHz 부근에서 측정되었다.

마지막으로 GIS챔버 실험에 있어 UHF센서의 정확한 calibration방법과 넓은 주파수대역(600MHz-1GHz)을 측정할 수 있는 UHF센서의 필요성, 다양한 결합을 통해 발생하는 부분방전신호 검출과 측정법이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 중소기업청 2002년 중소기업 기술혁신사업의 일환으로 수행되었으며 한양대학교 전자재료 및 부품 연구센터에도 감사 드립니다.

[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]J.S Person, O.Farish, B.F. Hampton, M.D. Judd, D. Templeton "Partial Discharge Diagnostics for Gas Insulated Substations" IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 2 No. 5, October 1995
- [4]윤진열, 박기준, 구선근, 한상욱 "GIS 내 알루미늄 파티클의 거동에 따른 UHF 신호발생 특성" 2000년도 대한전기학회 추계부문학술대회 논문집, 2000. 11.25
- [5]박기준, 구선근, 윤진열 "극초단(UHF)부분방전 전류 측정" 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2001.7.18-20
- [6]최재규, 김익균, 김민규, 김익수, 김광화, 윤진열 "GIS이물진단을 위한 초음파 측정 적용기술연구(II)" 2001년도 대한전기학회하계학술대회 논문집 2001.7.18-20