

### 폐쇄형 배전반내의 안테나를 이용한 부분방전측정에 관한 연구

\*김영노, \*이영석, \*서인철, \*홍종석, \*김재철, \*\*강창원  
\*숭실대학교, \*\*피에스디테크

### A Study on the Partial Discharge Measurement using Antenna in Metal-Enclosed Switchgear

\*Young-no Kim, \*Young-suk Lee, \*In-chul Seo, \*Jong-Suk Hong, \*Jae-chul Kim \*\*Chang-won Kang  
\*Soong-Sil University \*\*PSDTEch

**Abstract** - This paper describes measurement and diagnosis methods for enclosed switchboards using antenna. In the laboratory partial discharges are generated on a needle-plate electrode configuration, the detected electromagnetic wave is analyzed by FFT. The detected electromagnetic wave in real enclosed switchboards is also analyzed by FFT, which is compared with frequency spectra of the laboratory to detect the partial discharge. The relationship between the partial discharge characteristics and the electromagnetic wave has been discussed.

#### 1. 서 론

산업 발달에 따른 전력수요 급증, 대도시 집중현상, 전력설비의 대용량화 추세 등에 따라 전력공급의 질적 향상이 크게 요구되고 있다. 국내의 경우 1960년대 후반부터 경제개발계획의 획일적인 추진에 의하여 전력설비가 증대되었으며, 그 중 폐쇄형배전반도 증가되어 왔다. 현재 이들 설비중 일부가 점점 노후화 됨에 따라 설비사고의 가능성이 증대되고 있다. 또한, 폐쇄배전반 내의 전력설비의 사고발생시 이로 인한 사회적 영향이 커지게 되었고, 전력설비들의 신뢰성은 전력공급의 안정화 면에서 매우 중요한 사항이 되었다[1]. 따라서 보다 안정적이고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위한 전력설비의 유지보수의 중요성이 증대되고 있다.

폐쇄형배전반의 증가에 따른 점검방법에는 여전히 일정기간이 지난 후에 사람이 직접 Off-Line상태에서 점검하고 있다. 그러나 사고의 예방적인 차원에서 이상 징후를 On-line으로 탐측하여 그것이 치명적이기 이전에 처리하는 예측보전 기술을 중심으로 점차 변하고 있다 [2]. 이에 따라 본 논문에서는 폐쇄형배전반 내에 안테나를 설치하여 On-Line상으로 상시 점검할 수 있는 방법을 제안하였다. 측정실험은 실험실내에서 부분방전을 발생시켜 전자파를 안테나로 측정하였으며, 안테나에서 측정된 파형을 주파수 스펙트럼 분석을 통하여 부분방전의 발생유무를 확인을 하였다. 이를 이용하여 실제 운전 중인 폐쇄형배전반 내에서 안테나로 부분방전을 측정하여 분석하였다.

#### 2. 폐쇄형배전반 내의 전자파 측정

##### 2.1 폐쇄형배전반

폐쇄형배전반은 외함속에 배전반의 기능에 필요한 모든 기기 즉 차단기, CT, PT, 보호계전기, 측정용 계기와 이에 필요한 보조기기등이 전부 취부 되어있고, 이들 기기가 배선으로 결선되어 있어 외부 접속만 제외하고 완성되어 있는 상태의 반을 말한다[3,4]. 폐쇄형배전반은 3가지의 종류로 구분되어지며 보통 급속피복 폐쇄형배전반, 격실 폐쇄형배전반, 큐비클 폐쇄형배전반으로 구분되어진다. [5] 폐쇄형배전반의 장치는 전압 및 용도

에 따라 구분되어지며 상부와 하부는 각각 고압측 전원과 저압부에 이용되고, 용도는 발전, 송전, 배전용으로 구분되어진다[1]. 폐쇄형배전반내의 고압측 정격전압은 3.6kV-7.2kV-12kV-36kV를 표준형태로 정의하고, 비표준 형태의 전압은 4.76kV-15kV-15.5kV-25.8kV를 정의되어져 있다[5]. 폐쇄형배전반내의 사고는 자연열화, 과부하, 부식등 기기 자체의 노후와 조수접촉, 풍우, 염해등 외 부요인에 의해서 발생한다[1]. 또한, 폐쇄형배전반은 폐쇄형배전반 자체에 설치된 환기구를 통하여 습기나 먼지 등이 반 내의 기기를 열화 시킬 수 있으므로 상시적인 보수 점검이 필요하다[3].

##### 2.2 전자파 측정을 위한 실험장치

실험장치의 구성은 안테나는 RF일반안테나를 사용하였고, 오실로스코프는 Lacory 9310A를 사용하여 측정된 파형을 IEEE-488(GPIB-488)인터페이스를 통하여 그림 파일과 데이터파일로 데이터를 취득하였다. 오실로스코프의 내부측정저항은 50Ω으로 측정하였고, 오실로스코프의 측정시간은 500nS와 100nS로 구분하여 측정하였다. 전자파발생시 안테나에서 측정되어진 파형을 오실로스코프에서 지원하는 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 주파수의 대역에서 확인하였으며, 이를 다시 컴퓨터를 사용하여 파형을 확인하여 보았다.

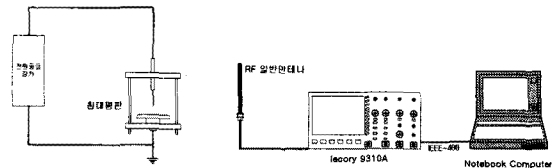


그림 1. 실험장치 구성도

그림 1의 실험장치는 IEC-270과 IEC-466을 참고로 설정하였다. 폐쇄형배전반내의 전력기기들은 스위치형태의 기기들로 구성되어 있으므로 침대평판전극을 사용하여 부분방전을 발생 시켰다. 전극에서 발생되어지는 방전의 형태는 대부분의 전력설비의 부분방전에 적용된다. [6] 침대평판의 전극의 간격은 20mm와 50mm를 구성하여 측정하였고, 인가전압과 최초방전전압을 달리 하여 파형을 변화를 확인하였다. 침대평판의 전극의 높이는 950mm에 두고 발생시켰다.

#### 3 전자파의 측정과 분석

##### 3.1 전자파 측정시 고려한 사항

부분방전측정시 고려해야할 성질은 폐쇄형배전반은 내부의 스위치형태의 전력설비가 많다는 것이다. 실제폐쇄형배전반에서 발생하는 많은 사고중 고압측에서 발생되어지는 경우가 많다[8]. 이러한 통계를 근거로 하여 고압측을 고려하여 부분방전을 측정하여야하며, 진단시험을 수행하는 현장에는 반송과 등 부분방전에 의하여 발

생되는 전자파 이외에 잡음성 전자파가 존재하므로 실제 부분방전에 의한 전자파만을 검출하기 위해서는 부분방전에 의하여 발생하는 주파수나 진폭을 분석할 필요가 있다(7). 일반적으로 부분방전에 의하여 발생되어지는 전자파의 주파수는 어떤 일정한 주파수만 발생하는 것이 아니고 조건에 따라서 변화한다(1). 실험실내의 HV와 EHV의 전자파를 측정시 부분방전 신호와 Noise 신호를 분리할 수 있으며, 전자파의 부분방전 측정 시 FFT를 이용하여 확인할 수 있다.

### 3.2 실험실 내의 전자파 측정

부분방전 측정의 정확한 파형과 발생유무를 확인하기 위해 로고스키코일을 사용하여 부분방전의 발생시기와 발생유무를 확인하였다. 로고스키코일을 접지선에 설치하여 부분방전시 흐르는 전류파형을 토대로 안테나에서 측정되어지는 전자파를 측정하였다.

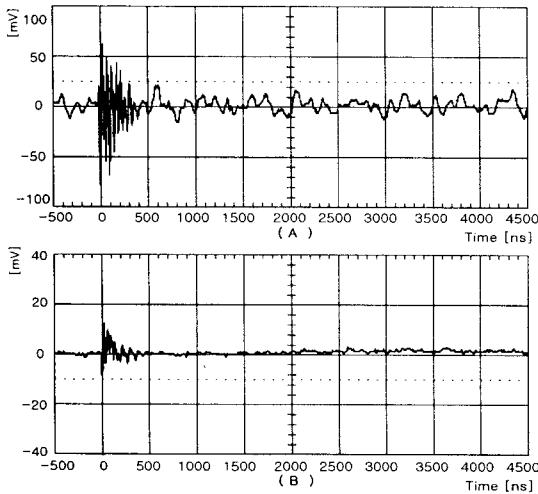


그림 2. 전자파 파형과 로고스키코일 파형

그림 2는 전자파와 로고스키코일에 측정된 접지선에 흐르는 전류 파형이다. 위의 그림 2의 (A)는 부분방전시 측정된 전자파의 파형이고, (B)는 로고스키코일에서 측정된 파형이다. 그림 2에서 부분방전시 측정된 전자파와 로고스키코일에서 측정된 파형과의 시간차가 없다는 것을 알 수가 있다.

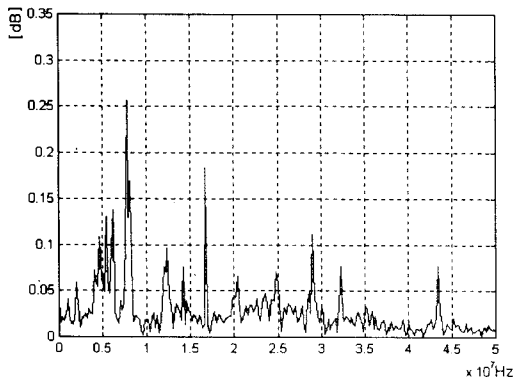


그림 3. 부분방전시 전자파의 FFT 파형

그림 3은 부분방전시 안테나에서 측정된 방사형 전자파 파형을 컴퓨터에서 FFT로 주파수분석을 한 파형이다.

그림 3은 50MHz의 영역내의 주파수의 특성을 보여주고 있다. 그림 3의 파형에서 나타나듯이 안테나로 측정된 파형은 특정한 주파수의 영역에서 나타나지를 않고, 전 주파수의 영역에서 분포된다.

### 3.3 실험실에서 측정된 전자파 분석

안테나로 측정된 전자파의 파형은 주파수의 영역에서 구분하였을때 전체 주파수대역에 걸쳐 분포되어있고, 각 주파수의 크기는 다르게 변화였다. 실험실내에서의 부분방전 측정실험은 여러 상황에 따라 부분방전 발생전극과 안테나와의 거리변화에 따른 주파수크기의 변화, 부분방전 발생기의 인가전압의 변화, 측정높이의 변화에 따른 주파수 크기의 변화를 측정하였으며 이를 그래프로 나타내었다. 인가전압에 따른 변화는 20mm간격의 전극에서 측정하였고, 3.7kV의 전압에서 초기방전이 발생하였다. 이후 방전전압의 10%씩 올려서 인가하였고, 측정된 파형을 FFT후 주파수 크기의 변화를 살펴보았다(8). 부분방전실험시 부분방전 전극의 인가전압의 증가는 방전량의 증가로 나타난다(8). 15MHz에서 20MHz의 영역의 주파수크기의 최대치 값을 기준으로 나타내면 그림 4, 5와 같다.

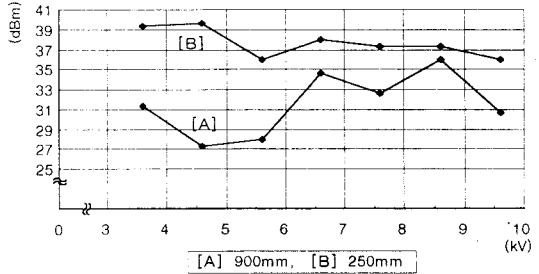


그림 4. 전압의 증가에 따른 dBm (500ns측정시)

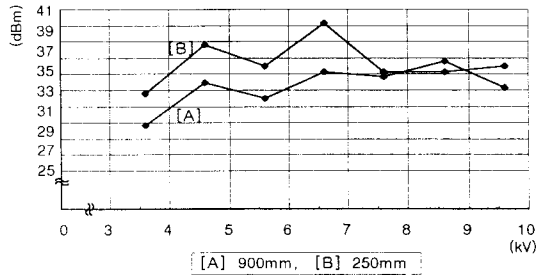


그림 5. 전압의 증가에 따른 dBm (100ns측정시)

그림에서 [A]는 전극의 정면부위인 지면으로부터 950mm의 높이에 두고 측정하였으며 [B]는 지면으로부터 250mm에 안테나를 두고 측정하였다. 오실로스코프내의 측정시간은 500ns와 100ns에 따라 측정하였다. 오실로스코프의 측정시간의 변화에 따라 FFT파형이 차이를 가지므로 이를 고려하여 오실로스코프의 측정시간을 달리하였다. 위의 그림에서 보는 것과 같이 전압의 인가에 따라서 안테나에서 측정된 파형의 주파수크기는 증가추세를 가짐을 알 수가 있다(1).

거리변화에 따른 주파수 크기의 변화를 측정하였으며, 전극과 안테나의 거리는 0.5m에서 2m까지 0.5m씩 증가시켜서 측정하였다. 이를 통해 배전반의 합 내부에서 발생하는 부분방전과 안테나의 거리에 따른 변화를 알 수가 있었다. 그림 6은 거리 변화에 따른 주파수 크기를 나타내었으며, 측정시 파형의 변화는 크게 변화하지 않으나 거리가 멀어짐에 따라서 dBm은 감소추세가 된다. 따라서, 전자파 측정이 일정거리 이상에서 측정하는 것을 피해야 한다는 것을 알 수가 있다.

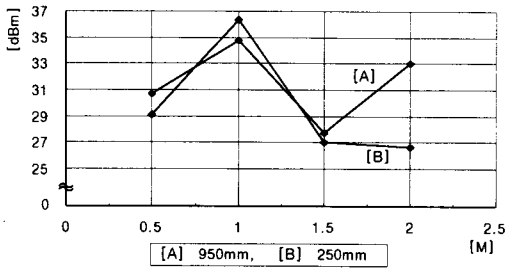


그림 6. 측정거리에 따른 dBm(500nS측정시)

### 3.4 폐쇄형배전반내의 부분방전 측정

폐쇄형배전반의 측정은 교내 폐쇄형배전반에서 측정하였고, 종류는 큐비클형 폐쇄형배전반이다. 외부에 안테나를 설치시 외부의 노이즈가 증가되어 안테나를 내부에 넣어 측정할 수 있도록 하였다[1]. 변전실의 고압측 전압이 22.9kV이기 때문에 실험실에서 전압을 22.9kV로 설정하여 부분방전을 발생시켰다. 그림 8과 9는 5mm 간격의 침대평판 전극에서 22.9kV의 전압을 인가한 후에 측정된 전자파의 파형과 FFT한 것을 나타낸다.

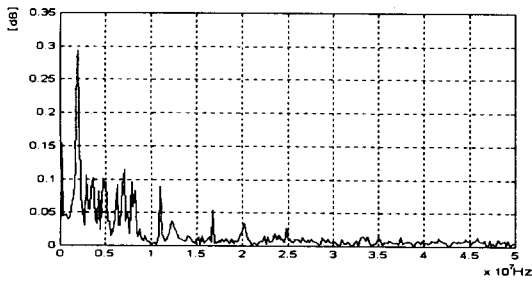


그림 7. 실험실내의 22.9kV 전자파잡음 FFT파형

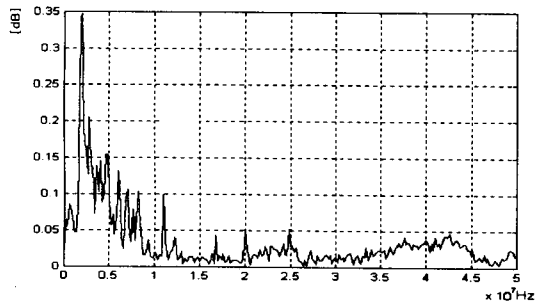


그림 8. 실험실내의 22.9kV 부분방전시 FFT파형

그림 7.8을 통해 일반적인 잡음과 부분 방전이 발생했을 때의 전자파의 주파수 대역을 볼 수 있다. 10 MHz 이하 영역에서는 일반적인 노이즈가 발생되기 때문에 부분 방전 유무와 상관없이 저주파 대역에서는 크기가 비슷하지만 고주파 대역으로 갈수록 부분 방전 발생시 크기가 커지는 것을 알 수가 있다[1,7]. 실험실에서 얻은 결과를 실제 변전실에서 얻은 전자파로도 확인할 수 있었는데, 그림 7은 변전실의 MOF(Metering Our Fit)에서 측정된 전자파를 주파수의 영역에서 분석한 것이다.

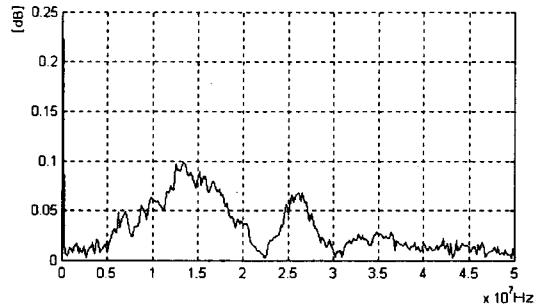


그림 7. 실제 변전실의 전자파 FFT파형

변전실 위치가 지하 2층에 있어 일반적인 노이즈가 차단되어 저주파 지역에서 실험실의 결과와 다르지만 고주파 대역에서는 실험실에서 부분 방전을 발생시켜 얻은 결과와 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 폐쇄형배전반의 실측 데이터만 충분히 확보한다면 배전반 내의 부분 방전 발생에 대한 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

## 4 결 론

본 논문에서는 폐쇄형배전반내부의 열화를 감시하고 부분방전을 측정할 수 있는 방법으로 안테나를 이용한 전자파의 측정방법을 제시하였다. 부분방전 발생기의 인가전압에 증가에 따라서 주파수의 대역에서 dBm이 증가하는 것을 볼 수 있었고, 안테나 측정거리의 변화에는 일정한 추세를 나타내나나 일정거리이상에서는 급격히 응답특성이 떨어짐을 알 수 있었다. 폐쇄형배전반에서의 측정에서도 실험실에서와 같이 15MHz에서 45MHz의 주파수의 영역의 변화의 특성이 비슷하여 주파수영역에서 분석시 부분방전의 발생여부를 알 수 있었다. 앞으로 노이즈 제거 필터와 충분한 현장 데이터를 축적하면 폐쇄배전반 내의 부분 방전 발생에 관한 기준을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 한국전기안전공사 "차단기 무정전점검기법 및 성능진단 연구" (최종보고서) 1993. 12
- [2] 기초전력공학연구소 "전력설비의 사고예방 및 진단기술"(1차년도보고서) 1992.10
- [3] 김정철 "자가용전기설비의 모든 것+", 기다이출판사
- [4] IEC-298, "AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltage above 1kV and up to and including 52kV" M.hikita, H.Okubo "Electromagnetic Noise Spectrum Caused by Partial Discharge in Air at High Voltage Substation" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, no. 2, April 1998.
- [5] KEMC-1106 "폐쇄배전반 한국전기공업협동조합표준 "A.C Metal-Enclosed Switchgear and Controlgear for Rated Voltages from 3.6kV to 36kV"
- [6] T.S.Sidhu, Gurdeep singh, M.S.Sachdev "Microprocessor Based Instrument for Detecting and Locating Electric arcs" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 13, no.4, October 1998
- [7] K.H.Weck, F.Weinel "Noise Reduction in On-Site Partial Discharge Measurement by the Use of the Transfer Function" ETEP Vol. 8, No 4, July/August 1998.
- [8] 한국전기안전공사 "전기설비 사고원인 분석조사" (최종보고서) 1994. 2.
- [9] IEC-270 "Partial discharge measurement"