

전자파 측정기법을 이용한 폐쇄 배전반내 부분방전 검출

서인철*, 김재철, 김영노, 전영재
 송실대학교 전기공학과

**Detection of Partial Discharge in the Metal Clad Switchgear
 Using the Electromagnetic Technique**

In-Chul Seo*, Jae-Chul Kim, Young-No Kim, Young-Jae Jeon
 Dept. of Electrical Eng., Soong-Sil University

Abstract - This paper presents the detection method of partial discharge in metal clad switchgear(MCS) using electromagnetic technique. Two antennas are located in the inside and outside of the MCS, and electromagnetic waves detected by these antennas are analyzed and compared by FFT method in order to identify an insulation abnormality. As a result of the experiment by the proposed method, we show the detection possibility for partial discharge in the MCS. The proposed method is expected to apply to insulation condition observation and an accident prevention in the MCS effectively.

1. 서 론

산업의 발달에 따른 전력수요 급증, 대도시 집중현상, 전력설비의 대용량화 추세 등에 따라 전력공급의 질적 향상이 크게 요구되고 있다. 국내의 경우 1960년대 후반부터 경제 개발 계획의 추진에 의해 전력설비가 증대되었으며, 그 중 일반 수용가에 직접적인 영향을 미치는 폐쇄 배전반의 수도 함께 증가되어 왔다. 현재 이들 설비중 일부가 점점 노후화 됨에 따라 설비사고의 가능성이 증대되고 있다. 폐쇄 배전반 내에서의 전력 설비 사고는 산업적으로 큰 영향을 미치기 때문에 폐쇄 배전반 내의 전력설비들의 신뢰성은 배전 시스템의 전력 공급의 안정화 측면에서 매우 중요한 사항이다[1,2]. 따라서 보다 안정적이고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위해서는 간단하면서도 정확하게 폐쇄형 배전반 내의 전력설비의 상태를 점검하여 사고 이전에 발생 원인을 제거 하는 것이 필요하다.

폐쇄 배전반에서 전력설비의 절연 이상이 발생하면 부분방전을 수반하게 되며 부분방전에 의한 절연 열화가 진전되면 절연파괴 사고로 진전하게 된다. 따라서 절연 이상이나 열화 상태에서 발생하는 부분방전을 검출하는 것이 사고를 미연에 방지하는 효과적인 방법이라 할 수 있다.

폐쇄 배전반 내의 사고는 자연열화, 과부하, 부식 등 여러 요인에 의해서 발생하며, 이를 위해 현재 정전상태에서 내전압 시험, 누설전류 시험, 절연저항 측정, tan δ 측정, 부분방전 시험 등이 적용되고 있다. 하지만 폐쇄 배전반의 진단 방법은 사고 후에 정전상태에서 점검하는 것이 아닌 사고의 예방적인 차원에서 이상 징후를 On-line으로 검출하여 그것이 치명적이기 이전에 처리 하는 예측보전 기술에 대한 연구가 필요하다.

이에 따라 본 논문에서는 폐쇄 배전반의 운전 상태에서 부분방전 검출법인 전자파 측정기법을 이용하여 부분방전 발생 전·후의 검출된 신호의 비교 분석을 통해 이상 징후에 대한 상시 감시가 가능한 사고 예방진단기법을 연구하였다. 이를 위해 본 논문에서는 헬리컬 안테나를 폐쇄 배전반의 내·외부에 설치하여 부분방전 발생 전·후의 안테나에서 검출되는 신호들의 주파수 분석을 통한 크기를

비교 분석함으로써 정상 및 이상 상태를 판별하였다. 실험실 내 폐쇄 배전반에서 전압을 직접 인가하여 부분방전을 발생시켰고, 사례연구를 행함으로써 향후 폐쇄 배전반의 이상상태를 판단할 수 있는 진단 방안의 가능성이 보였다.

2. 폐쇄 배전반내 전력설비의 절연열화

2.1 폐쇄 배전반내 전력설비의 열화 원인과 현상

폐쇄 배전반(Metal Clad Switchgear)은 외부 접속을 제외한 차단기, 단로기 등 전력용 개폐기, 계기용 변압 변류기, 모선 및 접속 도체의 감시제어에 필요한 기구 등의 집합체를 접지된 금속체로 폐쇄 조립한 배전반을 말한다.

고압이상 폐쇄 배전반은 배전반 차단기, MOF, VCB, CT, PT, LA, COS, PF, MOLD TR, BUS bar 등 여러 가지의 전력설비들을 내장하고 있으며, 저압반은 MCCB, CT, PT, CV 캐이블등을 포함하고 있다.

이러한 폐쇄 배전반내 기기들의 사고는 장기 사용에 따른 기기 열화에 의한 사고, 접점 및 각 연결 부위의 접촉 불량에 의한 방전, 과열현상, Surge, 고장전류 등에 의한 순간단락으로 인한 사고 등을 생각할 수 있다.

일반적으로 폐쇄 배전반이 현장에 설치될 때는 여러 환경조건이 있어 열화를 촉진시키며 이러한 열화 환경 요인으로는 온도, 습도, 부식성 가스, 통풍량, 먼지, 염해 입자등이 있다.

일반적인 폐쇄 배전반내의 기기들에 의한 열화 요인 및 현상은 표 1과 같다.

표 1. 폐쇄 배전반내 전력설비의 열화의 원인과 현상

열화 요인	물 질	열화 현상	
광의의 산화열화	유기물 (예:세유, 물드, 절연유)	절연열화	
		소모	
	금속	분해	
스트레스에 의한 열화	금속, 유기물	건식부식	
		효식부식	
	기계적 스트레스 (진동)	금속, 유기물	피로파괴
			마모
열 적 스트레스	금속, 유기물	열피로	
		느수함	
전기적 스트레스 (전압)	절연물	부분방전	
기 타 (부착,오염, 흡습, 절로등)	절연물	트래킹	
		절연파괴	
	접점	접촉불량	

2.2 폐쇄 배전반내 전력설비에서의 부분방전

폐쇄 배전반 내부에 설치되어 있는 각종 기기의 절연 재료가 오손, 흡습, 먼지등에 의해 절연이상이 발생되면 표면 방전이나 내부방전, 코로나 등에 의한 부분방전이 수반된다. 대부분의 경우 이러한 부분방전은 절연재료에

악영향을 미치고 이것에 의한 절연열화가 진전되어 최악의 경우에는 절연파괴의 사고로 진전된다.

따라서 이 절연이상이나 열화상태에서 발생하는 부분방전을 조기에 검출하여 감시함으로써 사고를 미연에 방지하는 것이 사고 예방의 최선의 방법이라 할 수 있다.

폐쇄 배전반내 전력설비에서 부분방전이 발생 가능한 대상을 표 2에 나타내었다.

표 2. 폐쇄 배전반에서의 부분방전

부분방전 종류	폐쇄 배전반 내의 부분방전 대상
내부 방전 (보이드 방전)	Mold (Tr, CT, PT) 기기 내부 케이블 접속재 내부 Mold 기기 충전 단락
연면 방전	Bus 지지대자 표면 피뢰기, SA 애자 표면 Mold 기기 표면 케이블 접속재 Skirt 표면
코로나 방전	Bus, 케이블 접속 부위 차단기 접촉 부위 (고정자, 가동자) Mold 변압기 탭, 출부위 DS, COS 등 개폐기 접속부위

3. 전자파 측정법을 이용한 폐쇄 배전반의 이상상태 판별

3.1 전자파를 이용한 부분방전 검출법

일반적으로 전력설비의 내부에서 부분방전이 발생하면 방전의 크기가 작음에도 불구하고 방전 펄스 전류, 초음파, 진동, 방사전자파, 광, 가스 발생 등의 여러 가지 현상을 수반한다. 부분방전시 발생하는 이와 같은 여러 현상은 센서 또는 계측기를 이용하여 검출할 수 있으며 이러한 부분방전을 검출하는 방법에는 초음파 측정법, 전기 신호 측정법, 진동 측정법, 방사 전자파 측정법등 여러 가지 방법이 있다.

이러한 부분방전 검출 방법 중 전자파 측정 기법은 부분방전 발생시 주변의 전계 변화에 따른 방사 전자파를 안테나를 이용하여 검출하는 방법으로 다른 센서에 비해 검출 감도가 좋고, 검출 범위가 넓으며 하나의 센서로 다수의 기기 감사가 가능하므로 경제적인 방법이라 할 수 있다. 또한 On-line 상태에서 절연 진단이 가능하며 사용 목적에 맞게 안테나의 모양과 크기를 다양하게 적용이 가능한 방법이다[3].

이러한 이점으로 인해 전자파 측정기법은 내부에 여러 전력설비가 밀집되어 설치되어 있는 폐쇄 배전반에 적합한 부분방전 검출 방법이라 할 수 있다.

3.2 폐쇄 배전반에서의 이상상태 판별

폐쇄 배전반이 이상적으로 차폐되어 있다면 폐쇄 배전반의 내부 및 외부의 전자파는 폐쇄 배전반을 통과하여 전달되지 않지만 실제 폐쇄 배전반의 경우 접지선, 케이블 인입부, 폐쇄 배전반 door gap, 폐쇄 배전반 외함(도체)등을 통해서 전자파가 폐쇄 배전반 내부에서 외부로 또는 외부에서 내부로 전달될 수 있으며 이때는 전자파 신호의 감쇄가 발생한다[4].

이와 같은 현상을 이용하여 폐쇄 배전반 내부와 외부에 안테나를 설치하여 이 둘 안테나에서 검출된 전자파 신호를 주파수 분석을 통한 최대 크기 값을 분석 비교하면 폐쇄 배전반내의 이상상태 및 정상상태를 판단할 수 있다.

즉, 내부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값과 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값의 차가 양의 값이면 폐쇄 배전반 내부에서 부분방전이 발생하고 있음을 나타내므로 이상상태로 추정할 수 있고, 음의 값이면 외부 노이즈의 영향이 더 큰 것을 나타내므로 이는 정상상태로 추정할 수 있다[4.5].

4. 사례 연구

4.1 실험 장치 구성

본 연구에 이용한 실험 장비 및 구성은 그림 1과 같다.

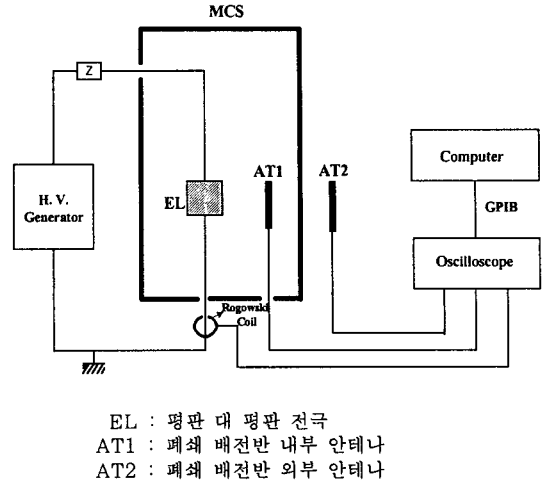


그림 1. 실험 장치 구성

육내형 저압 폐쇄 배전반(W800×H2350×D1570)이 실험에 사용되었으며, 부분방전 발생을 위하여 평판 대 평판 전극을 예폭시 절연체와 직렬 배치하여 폐쇄 배전반 내부에 설치하였다.

부분방전 발생 전·후의 방사전자파를 검출하고 분석하기 위해 폐쇄 배전반 내부와 외부에 헬리컬 안테나(30±0.5MHz)를 설치하였으며 이 둘 안테나에서 검출된 신호는 오실로스코프(Lecroy 9310A)와 컴퓨터를 통해 저장 및 분석되었다.

4.2 실험 방법

부분방전은 폐쇄 배전반 내부에 평판 대 평판 전극을 설치하여 전압을 서서히 인가시키면서 연면방전을 모의하였으며 접지선에 로고스키 코일을 연결하여 부분방전 발생 유무를 확인하였다.

일반적으로 안테나와 전극사이의 거리가 가까울수록 방사전자파의 측정에 유리하나 너무 가까우면 안테나로 절연파괴의 경로가 발생할 위험이 있으므로 본 논문에서는 평판 대 평판 전극과 폐쇄 배전반 내부 및 외부 안테나의 이격 거리는 100cm로 하였으며 안테나의 높이는 지상에서 70cm로 고정하였다[2,3].

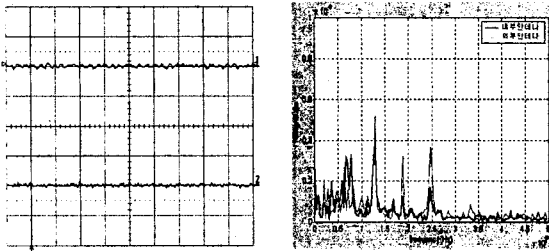
부분방전이 발생하기 전의 방사전자파를 분석하기 위해 전압을 인가하지 않은 상태에서 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 주파수 분석하여 크기를 비교하였다. 또한 부분방전 발생시 방사전자파를 분석하기 위해 전압(0kV-12kV)을 인가하여 부분방전을 발생시키면서 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 주파수 분석하여 신호의 크기를 비교하였다.

4.3 실험 결과 및 검토

앞에서 제시한 폐쇄 배전반내 정상상태 및 이상상태를 판단하기 위해 부분방전 발생 전·후의 폐쇄 배전반 내부와 외부에 설치된 안테나에서 검출된 신호들을 분석하였다. 먼저 부분방전이 발생하기 전의 전압이 인가되지 않은 상태에서 폐쇄 배전반 내·외부의 안테나에서 검출된 신호 및 주파수 분석은 그림 2와 같다.

그림 2(b)에서 부분방전이 발생하기 전에는 외부의 노이즈 성분으로 인해 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값이 내부 안테나에서 검출된 신호의 최대

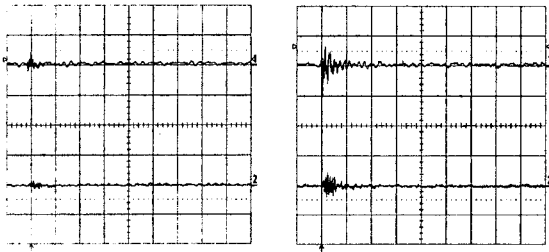
크기 값보다 큰 것을 알 수 있으며 이때는 정상상태로 추정하였다.



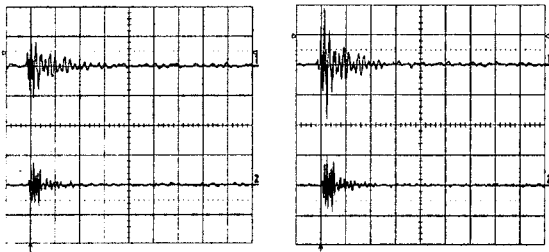
(a) 부분방전 발생전 안테나에서 검출된 신호 (b) 부분방전 발생전 검출된 신호의 주파수 스펙트럼

그림 2. 부분방전 발생전(전압이 인가되지 않은 상태) 폐쇄 배전반 내·외부의 안테나에서 검출된 신호

그림 3은 전압을 인가하여 부분방전이 발생했을 때 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 나타낸다. 이 때 부분방전 개시전압은 AC 2.9kV이었다.



(a) AC 2.9kV 인가시 (b) AC 6kV 인가시



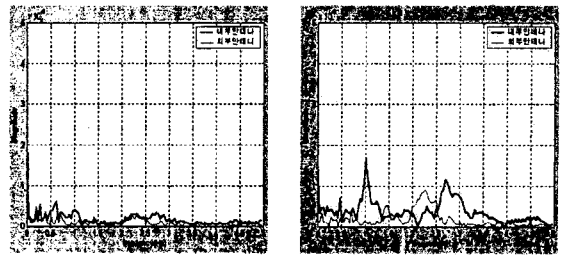
(C) AC 9kV 인가시 (d) AC 12kV 인가시

CH1 : 내부안테나(AT1)에서 검출된 신호
CH2 : 내부안테나(AT2)에서 검출된 신호
Time/div : 0.5μs, Volt/div : 20mV

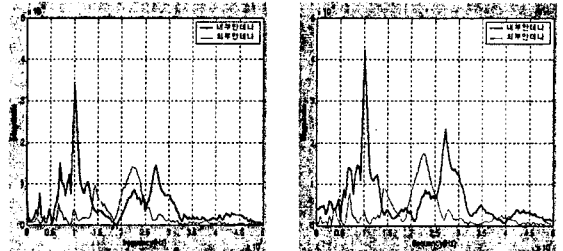
그림 3. 전압의 인가에 따른 폐쇄 배전반 내·외부의 안테나에서 검출된 신호

그림 3에서 인가전압이 상승함에 따라 외부 안테나에서 검출된 방사 전자파 신호는 내부 안테나에서 검출된 신호에 비해 파형의 크기가 감소되는 것을 알 수 있다.

그림 4는 전압의 인가에 따른 부분방전시 검출된 그림 3의 방사전자파를 주파수 분석한 그림이며 전압이 상승할수록 폐쇄 배전반 내부 안테나의 경우 약 10MHz, 27MHz의 신호값이, 외부안테나의 경우는 약 15MHz, 23MHz의 신호값이 증가하는 것을 알 수 있다. 또 부분방전 발생 시 폐쇄 배전반 내부 안테나와 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 값의 차는 양의 값을 나타내었으며 이 때는 폐쇄 배전반 내부의 이상상태로 추정하였다.



(a) AC 2.9kV 인가시 (b) AC 6kV 인가시



(C) AC 8kV 인가시 (d) AC 12kV 인가시

그림 4. 전압의 인가에 따른 방사전자파 신호의 주파수 스펙트럼 분석

이와 같이 부분방전이 발생하기 전에는 주파수 분석을 통한 폐쇄 배전반 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값이 내부 안테나에서 검출된 신호의 크기보다 크지만, 폐쇄 배전반 내부에서 부분방전이 발생 시에는 내부의 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값이 외부 안테나에서 검출된 신호의 크기 값보다 큰 것을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 방법으로 폐쇄 배전반을 상시 감시한다면 부분방전과 같은 이상징후가 발생 시 이를 검출하여 사고를 미연에 방지할 수 있으리라 기대된다.

5. 결 론

본 연구에서는 폐쇄 배전반의 내부와 외부에 안테나를 설치하여 부분방전 전후의 신호를 검출하여 이들을 주파수 분석을 통해 분석된 신호의 최대 크기 값을 비교함으로써 폐쇄 배전반내의 정상상태 및 이상상태를 판단할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 제시한 방법으로 실험실에서 폐쇄 배전반에 적용하여 실험한 결과 폐쇄 배전반내 이상징후인 부분방전 탐지가 가능함을 입증하였으며 제안한 부분방전 검출 방법은 폐쇄 배전반의 절연 상태 감시 및 고장 방지에 효율적으로 적용할 수 있으리라 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김재철 외, "폐쇄 배전반내의 방전 현상 연구 및 측정기에 의한 기준 제시", 숭실대학교(최종보고서), 2000
- [2] 전영갑 외, "차단기 무정전 점검기법 및 성능진단 연구", 한국전기안전공사(최종보고서), 1993
- [3] 박광서 외, "기중방전 진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성", 한국 조명 전기설비학회 학술대회 논문집, pp.285~289, 1999, 11
- [4] J.Ozawq et al., "Ultra High Frequency Electromagnetic Wave Detector for Diagnostic of Metal Clad Switchgear Insulation" IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.9, No.2, pp.675~679, 1994, 4
- [5] B G Stewart et al., "Detection and Characterisation of Partial Discharge Activity on Outdoor High Voltage Insulation Structures by RF Antenna Measurement Techniques" High Voltage Engineering, Eleventh International Symposium, Vol.5, pp.188~191, 1999