

전자파 측정을 이용한 폐쇄 배전반의 사고예방진단 기법에 관한 연구

(A Study on the Diagnostic Method for Fault Prevention of Metal Clad Switchgear Using Electromagnetic Detection Techniques)

김재철* · 서인철 · 김영노 · 전영재

(Jae - Chul Kim · In - Chul Seo · Young - No Kim · Young - Jae Jeon)

요 약

본 논문에서는 전자파 측정기법을 이용하여 부분방전 발생 전·후에 검출된 신호를 분석하여 폐쇄 배전반의 이상 징후를 상시 감시할 수 있는 사고 예방진단기법을 제시하였다. 폐쇄 배전반의 정상 및 이상상태 판단을 위해 배전반 내부 및 외부에 헬리컬 안테나를 설치하여 이들 안테나에서 검출된 부분방전 발생 전·후의 신호를 주파수 스펙트럼 분석을 통해 크기를 비교 분석하였다. 본 논문에서는 부분방전 발생 전·후에 폐쇄 배전반 내부 및 외부에 설치된 안테나에서 검출된 신호들을 이용하여 정상상태 및 이상상태를 판별하는 방법을 적용하여 좋은 결과를 얻었으며, 향후 폐쇄 배전반의 절연 상태 감시 및 사고예방에 효율적으로 적용할 수 있으리라 기대된다.

Abstract

This paper presents the diagnostic method for fault prevention in metal clad switchgear(MCS) through comparison of signals before and after detecting the partial discharge using electromagnetic detection technique. Electromagnetic waves detected by antennas of the inside and outside of MCS are analyzed and compared by frequency spectrum analysis method, which can estimate an insulation abnormality and normality of MCS. As a result of the experiment by the proposed method, we can detect the insulation abnormality as partial discharge in MCS and these results can be applied to preventive diagnosis of MCS.

Key Words : Electromagnetic Wave, Metal Clad Switchgear(MCS), Partial Discharge

1. 서 론

산업의 발달에 따른 전력수요 급증, 대도시 집중현

상, 전력설비의 대용량화 추세 등에 따라 전력공급의 신뢰도 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 있으며, 이러한 폐쇄 배전반 내에서의 전력 설비 사고는 산업적으로 큰 영향

* 주저자 : 송실대 전기공학과 교수
Tel : 820-0647, Fax : 817-0780
E-mail : jckim@ee.ssu.ac.kr
접수일자 : 2002년 5월 17일
1차심사 : 2002년 5월 21일
심사완료 : 2002년 7월 19일

을 미치기 때문에 폐쇄 배전반 내의 전력설비의 신뢰성은 배전 시스템의 전력 공급 안정화 측면에서 매우 중요한 사항이다[1-3]. 따라서 보다 안정적이고 신뢰성이 높은 전력을 효율적으로 공급하기 위해서는 간단하면서도 정확하게 폐쇄형 배전반 내의 전력설비의 상태를 점검하여 사고 이전에 발생 원인을 제거하는 것이 필요하다.

폐쇄 배전반에서 전력설비의 절연 이상이 발생하면 부분방전을 수반하게 되며, 부분방전에 의한 절연 열화가 진전되면 절연과피 사고로 진전하게 된다. 따라서 절연이상이나 열화 상태에서 발생하는 부분방전을 검출하는 것이 사고를 미연에 방지하는 효과적인 방법이라 할 수 있다[4,5].

국내의 경우 폐쇄배전반과 관련한 진단 시스템의 알고리즘 및 운용기술은 아직까지 미약한 실정이며, 현재 실시하고 있는 주기적인 점검에 의해서는 사고 직전의 상태를 검출하기가 어려운 실정이다. 이에 따라 본 논문에서는 전차파 측정기법을 이용하여 부분방전 발생 전·후의 신호를 비교 분석하여 이상 징후에 대한 상시 감시가 가능한 사고 예방진단기법을 연구하였다. 이를 위해 본 논문에서는 헬리컬 안테나를 폐쇄 배전반의 내·외부에 설치하여 부분방전 발생 전·후에 안테나에서 검출되는 신호들의 주파수 분석을 통한 크기를 비교 분석함으로써 정상 및 이상 상태를 추정하였다.

실험실 내 폐쇄 배전반에서 결함을 모의한 전극에 전압을 직접 인가하여 부분방전을 발생시켰고, 사례 연구를 행함으로써 향후 폐쇄 배전반의 정상상태 및 이상상태를 판단할 수 있는 폐쇄 배전반의 사고예방 진단 방안을 제시하였다.

2. 폐쇄 배전반내 전력설비의 열화

2.1 전력설비의 열화원인과 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[3,6]. 이러한 폐쇄 배전반내 기기들의 사고는 장기간 사용에 따른 기기 열화에 의한 사고,

접점 및 각 연결 부위의 접촉 불량에 의한 방전, 과열 현상, Surge, 고장전류 등에 의한 순간단락으로 인한 사고 등을 생각할 수 있다. 일반적으로 폐쇄 배전반이 현장에 설치될 때 온도, 습도, 부식성 가스, 통풍량, 먼지, 염해 입자 등의 열화 환경 요인들에 의해 열화가 촉진된다. 일반적인 폐쇄 배전반내의 기기들에 의한 열화 요인 및 현상은 표 1과 같다.

표 1. 전력설비의 열화의 원인과 현상
Table 1. Causes and signs of electrical equipment deterioration

열화 요인	물 질	열화 현상
광의의 산화열화	유기물 (예:섬유,물드, 절연유)	절연열화 소모 분해
	금속	진식부식 효식부식
스트레스에 의한 열화	기계적 스트레스	금속, 유기물
	열적 스트레스	금속, 유기물
	전기적 스트레스	절연물
기타 (부착, 오염, 흡습, 결로 등)	절연물	트래킹 절연과피
	접 점	접촉불량

표 2. 폐쇄 배전반에서의 부분방전
Table 2. Partial discharge in metal clad switchgear

부분방전 종류	폐쇄 배전반내 부분방전 대상
내부 방전 (보이드 방전)	물드(Tr,CT,PT) 기기 내부 케이블 접속재 내부 물드 기기 충전 단락
연면 방전	버스 지지여자 표면 피뢰기, SA 애자 표면 물드 기기 표면 케이블 접속재 Skirt 표면
코로나 방전	버스, 케이블 접속 부위 차단기 접촉 부위 물드 변압기 탭, 출부위 DS, COS 등 개폐기 접촉부위

2.2. 폐쇄 배전반내 전력설비의 부분방전

폐쇄 배전반 내부에 설치되어 있는 각종 기기의 절연재료가 오손, 흡습, 먼지 등에 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 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.

3. 전자파 측정법을 이용한 폐쇄 배전반의 이상상태 추정

3.1 전자파를 이용한 부분방전 검출

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, 방사전자파 측정법 등 여러 가지 방법이 있다.

이러한 부분방전 검출 방법 중 전자파 측정 기법은 부분방전 발생시 안테나를 이용하여 주변의 전기 변화에 따른 방사 전자파를 검출하는 방법으로 다른 센서에 비해 검출 감도가 좋고, 검출 범위가 넓으며 하나의 센서로 다수의 기기 감시가 가능하므로 경제적인 방법이라 할 수 있다. 또한 On-line 상태에서 절연 진단이 가능하며 사용 목적에 맞게 안테나의 모양과 크기를 다양하게 적용할 수 있는 방법이다[3,7,8]. 이러한 장점으로 인해 전자파 측정기법은 내부에 여러 전력설비가 밀집되어 설치되어 있는 폐쇄 배전반에 적합한 부분방전 검출 방법이라 할 수 있다.

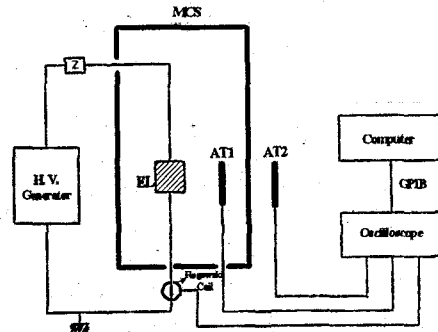
3.2. 폐쇄 배전반의 이상상태 추정 방법

폐쇄 배전반이 이상적으로 차폐되어 있다면 폐쇄

배전반의 내부 및 외부의 전자파는 폐쇄 배전반을 통과하여 전달되지 않는다. 그러나, 실제 폐쇄 배전반의 경우 접지선, 케이블 인입부, 폐쇄 배전반 문틈(door gap), 폐쇄 배전반 외함(도체)등을 통해서 전자파가 폐쇄 배전반 내부에서 외부로 또는 외부에서 내부로 전달될 수 있으며 이때는 전자파 신호의 감쇄가 발생한다[9]. 이와 같은 현상을 이용하여 폐쇄 배전반 내부와 외부에 안테나를 설치하여 이들 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[9,10].

4. 사례연구

4.1 실험장치의 구성



EL : 평판 대 평판 전극
 AT1 : 폐쇄 배전반 내부 안테나
 AT2 : 폐쇄 배전반 외부 안테나

그림 1. 실험 장치 구성
 Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구에 사용한 실험장치는 크게 전원부, 폐쇄 배전반, 계측부로 구성된다. 계측부는 헬리컬 안테나, 오실로스코프, GPIB 인터페이스 및 퍼스널 컴퓨터로 구성되며, 전원부는 고전압을 인가하기 위한 고전압

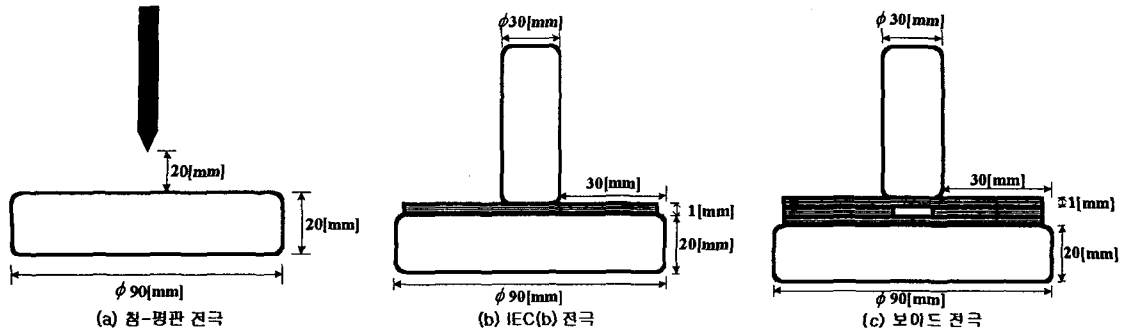


그림 2. 실험에 사용된 모의전극
Fig. 2. Model electrode used to the experiment

발생장치 및 제어장치로 구성되어 있다. 그림 1은 폐쇄 배전반내의 부분방전 발생 전·후의 전자파 신호를 측정하기 위한 실험장치 구성도이다. 본 실험에서 사용한 폐쇄 배전반(W800 × H2350 × D1570[mm])은 전후면 문 두께 3.2[mm]인 열간 압연 강판으로 제작된 옥내형 저압 폐쇄 배전반이다. 부분방전 발생 전·후의 방사전자파를 검출하고 분석하기 위해 폐쇄 배전반 내부와 외부에 헬리컬 안테나 (30±0.5[MHz])를 설치하였으며 이 둘 안테나에서 검출된 신호는 오실로스코프(Lecroy 9310[A])와 컴퓨터를 통해 저장 및 분석되었다.

4.2 실험 방법

폐쇄 배전반의 정상상태 및 이상상태를 추정하기 위해 전압을 인가하지 않은 상태에서 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 주파수 분석하여 크기를 비교하였으며, 부분방전 신호를 분석하기 위해 전압을 인가하여 부분방전을 발생시키면서 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 주파수 스펙트럼 분석하여 신호의 크기를 비교하였다.

폐쇄 배전반내 전력설비의 결함으로 인해 발생될 수 있는 부분방전을 모의하기 위하여 침대 평판 전극, IEC(b) 전극, 보이드 전극을 폐쇄 배전반 내부에 설치하여 전압을 서서히 인가시키면서 부분방전을 발생시켰으며 접지선에 로고스키 코일을 연결하여 부분방전 발생 유무를 확인하였다.

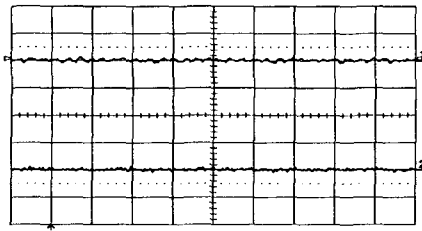
그림 2는 폐쇄 배전반내 전력설비에서 발생될 수

있는 대표적인 형태의 결함을 모의하기 위하여 제작된 모의 전극이다. 그림 2(a)는 전력설비의 제작·공정·조립시에 발생할 수 있는 돌출부 결함 및 차단기 접촉부위, 몰드 변압기 탭, COS등의 개폐기 접촉부위 등에서 발생할 수 있는 코로나 방전을 모의하기 위한 전극, 그림 2(b)는 폐쇄배전반에서 버스 지지대 표면, 피뢰기, 몰드 기기 표면, 케이블 접속재 skirt표면에서 발생 가능한 연면 방전을 모의하기 위한 전극, 그림 2(c)는 폐쇄배전반에서 몰드(TR, CT,PT) 기기 내부와 케이블 접속재 내부 등에서 발생할 수 있는 내부 방전을 모의하기 위한 전극이다.

일반적으로 안테나와 전극사이의 거리가 가까울수록 방사전자파의 측정에 유리하나 너무 가까우면 안테나로 인한 절연파괴 경로가 발생할 위험이 있으므로 본 논문에서는 모의 전극과 폐쇄 배전반 내부 및 외부 안테나의 이격 거리는 100[cm]로 하였으며 안테나의 높이는 지상에서 70[cm]로 고정하였다.

4.3 실험 결과 및 검토

본 논문에서는 폐쇄 배전반내 정상상태 및 이상상태를 판단하기 위해 부분방전 발생 전·후에 폐쇄 배전반 내부와 외부에 설치된 안테나에서 검출된 신호들을 분석하였다. 이를 위해 폐쇄 배전반 내부와 외부에서 부분방전이 발생하지 않았을 때의 주변 잡음 신호와 전압을 점차 인가하면서 결함에 따라 발생하는 부분방전 신호를 검출하고, 검출된 신호들을 주파수 스펙트럼 분석을 통해 폐쇄 배전반 내부신호와 외부신호를 비교하고 분석하였다.



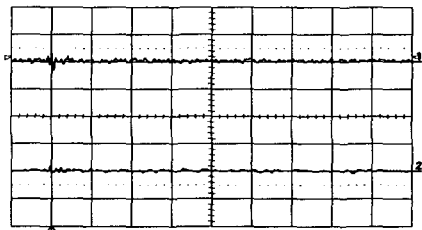
(a) 부분방전 발생전 안테나에서 검출된 신호



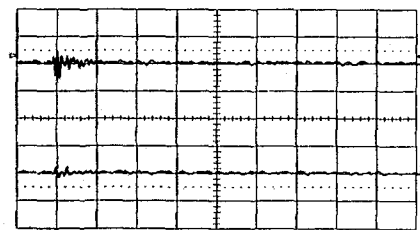
(b) 부분방전 발생전 검출된 신호의 주파수 스펙트럼

그림 3. 부분방전 발생전 검출된 전자파 신호

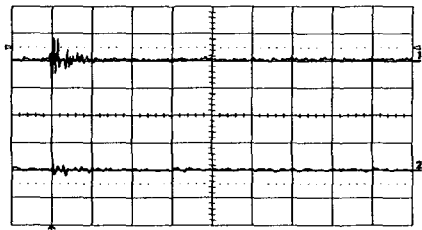
Fig. 3. Detected electromagnetic signals before and after partial discharge



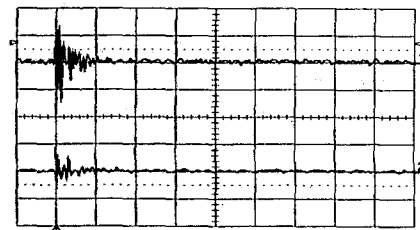
(a) AC 7.9[kV] 인가시



(b) AC 10[kV] 인가시



(c) AC 12[kV] 인가시



(d) AC 14[kV] 인가시

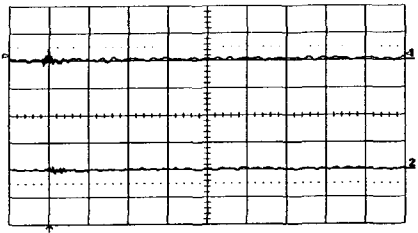
CH1 : 내부안테나(AT1)에서 검출된 신호
 CH2 : 외부안테나(AT2)에서 검출된 신호
 Time/div : 0.5[μs], Volt/div : 20[mV]

그림 4. 안테나에서 검출된 부분방전 신호(보이드전극)

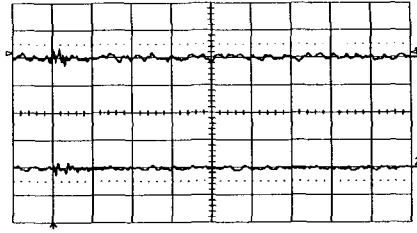
Fig. 4. Detected partial discharge signals in antennas (in the void electrode case)

그림 3은 부분방전 발생 전에 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호와 주파수 스펙트럼 분석을 나타낸 것이다. 그림 3(b)에서 부분방전이 발생하기 전에는 외부의 잡음성분으로 인해 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값이 내부 안테나에서 검출된 신호의 최대 값보다 큰 것을 알 수 있으며 이 때는 정상상태로 추정하였다.

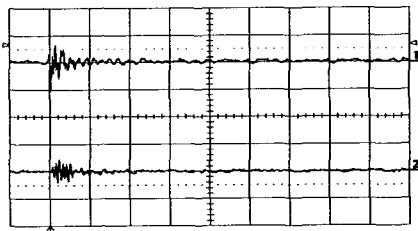
폐쇄 배전반내 결함에 따른 모의전극을 설치하여 부분방전을 발생시키고 부분방전 개시전압으로부터 2~3[kV]씩 전압을 상승시켜가며 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 신호를 비교 분석하였다. 보이드 전극, IEC(b) 전극, 침-평판 전극을 설치하였을 때 폐쇄 배전반 내부와 외부의 안테나에서 검출된 부분방전 신호를 그림 4, 5, 6에 나타내었다.



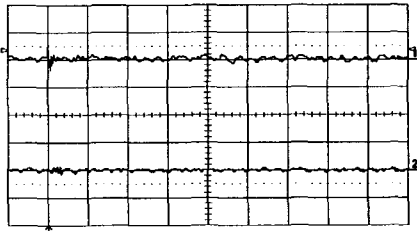
(a) AC 3.8[kV] 인가시



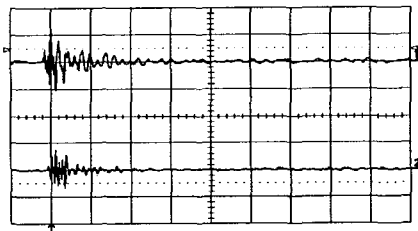
(a) AC 5.2[kV] 인가시



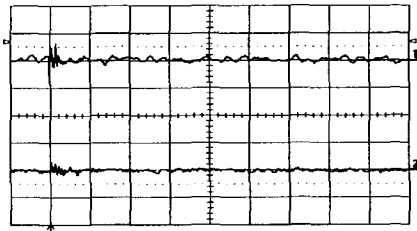
(b) AC 6[kV] 인가시



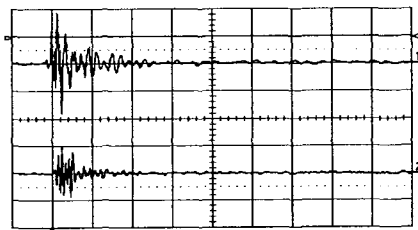
(b) AC 7[kV] 인가시



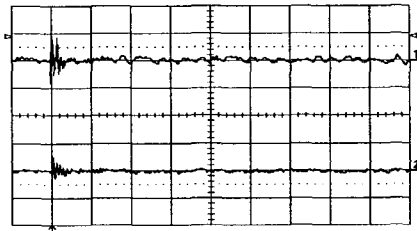
(c) AC 9[kV] 인가시



(c) AC 9[kV] 인가시



(d) AC 12[kV] 인가시



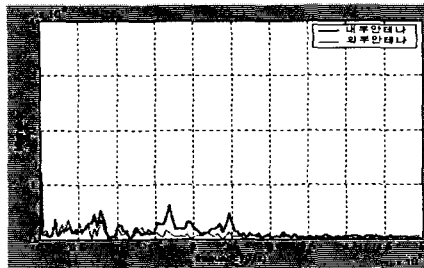
(d) AC 12[kV] 인가시

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

CH1 : 내부안테나(AT1)에서 검출된 신호
 CH2 : 외부안테나(AT2)에서 검출된 신호
 Time/div : 0.5[μs], Volt/div : 10[mV]

그림 5. 안테나에서 검출된 부분방전 신호(IEC(b) 전극)
 Fig. 5. Detected partial discharge signals in antennas (in the IEC(b) electrode case)

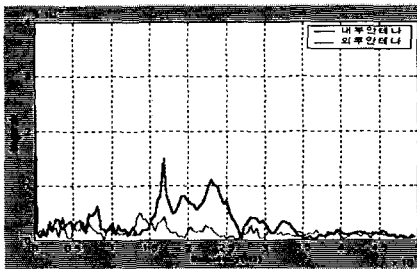
그림 6. 안테나에서 검출된 부분방전 신호(침-평판 전극)
 Fig. 6. Detected partial discharge signals in antennas (in the needle-plane electrode case)



(a) AC 7.9[kV] 인가시



(b) AC 10[kV] 인가시



(c) AC 12[kV] 인가시



(d) AC 14[kV] 인가시

그림 7. 검출된 부분방전 신호의 주파수 스펙트럼 (보이드 전극)

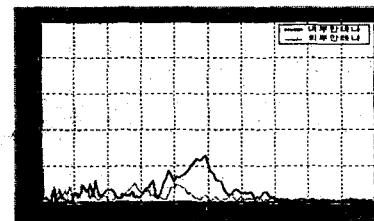
Fig. 7. Frequency spectrum of partial discharge signals (in the void electrode case)

인가전압이 상승함에 따라 내부 안테나에서 검출된 방사 전자파 신호는 외부 안테나에서 검출된 신호에 비해 파형의 크기가 커지는 것을 알 수 있다.

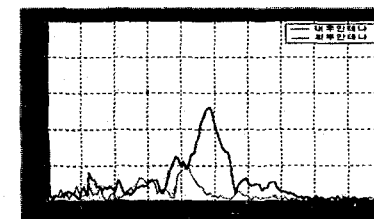
그림 7, 8, 9는 부분방전시 전압의 인가에 따라 안테나에 검출된 그림 4, 5, 6의 부분방전 신호를 주파수 분석한 그림이다. 그림 7, 8, 9에서 전압이 상승할수록 보이드 전극에 의한 부분방전의 경우 폐쇄 배전반 내부 안테나에서 약 17~25[MHz]의 신호 값이, IEC(b) 전극에 의한 부분방전의 경우 약 20~30[MHz]의 신호 값이, 그리고 침-평판 전극에 의한 부분방전의 경우 외부안테나에서 약 17[MHz], 22~30[MHz]의 신호 값이 증가한다. 또한 각 경우에 대해 내부 안테나의 최대 크기 값과 외부 안테나의 최대 크기 값의 차이가 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 부분방전 발생시 폐쇄 배전반 내부 안테나와 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 값의 차는 양의 값을 나타내었으며 이 때는 폐쇄 배전반 내부의 이상상태로 추정하였다.



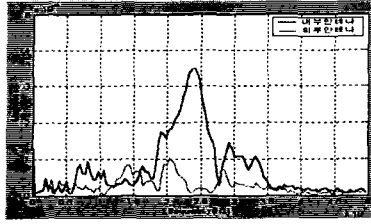
(a) AC 3.8[kV] 인가시



(b) AC 6[kV] 인가시



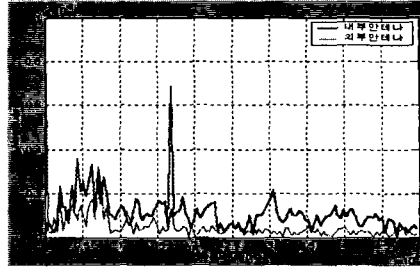
(c) AC 9[kV] 인가시



(d) AC 12[kV] 인가시

그림 8. 검출된 부분방전 신호의 주파수 스펙트럼 (IEC(b) 전극)

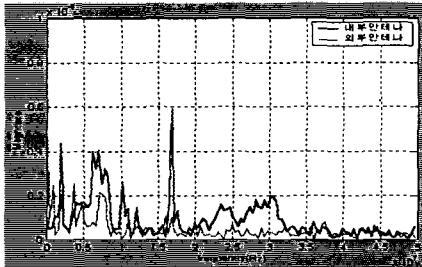
Fig. 8. Frequency spectrum of partial discharge signals (in the IEC(b) electrode case).



(d) AC 12[kV] 인가시

그림 9. 검출된 부분방전 신호의 주파수 스펙트럼 (침-평판 전극)

Fig. 9. Frequency spectrum of partial discharge signals (in the needle-plane case)



(a) AC 5.2[kV] 인가시



(b) AC 7[kV] 인가시



(c) AC 9[kV] 인가시

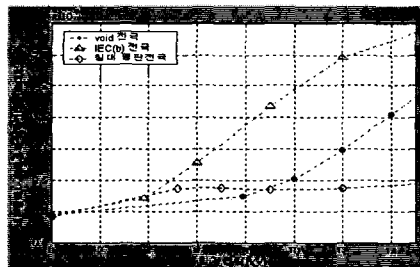


그림 10. 부분방전 발생 전·후의 검출된 안테나 신호들의 최대값

Fig. 10. Maximum value difference of detected antenna signals before and after the partial discharge

그림 10에서와 같이 부분방전이 발생하기 전에는 폐쇄 배전반 내부 안테나에서 검출된 신호의 주파수 스펙트럼을 분석한 최대 크기 값과 외부 안테나에서 검출된 신호의 크기 값의 차가 음의 값을 나타내지만, 폐쇄 배전반 내부에서 부분방전 발생 시에는 내부의 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값과 외부 안테나에서 검출된 신호의 최대 크기 값의 차가 양의 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 부분방전 발생전의 주변 노이즈 신호나 부분방전시 발생하는 전자파

신호가 폐쇄 배전반 내부에서 외부로 또는 외부에서 내부로 전달될 때 폐쇄 배전반의 접지선, 케이블 인입부, 폐쇄 배전반 door gap, 폐쇄 배전반 외함(도체) 등으로 인해 전자파 신호의 감쇄가 발생하여 외부 및 내부 안테나에서 측정된 신호의 구별을 가능하게 한다고 생각된다. 따라서 이와 같은 방법으로 폐쇄 배전반을 상시 감시한다면 부분방전과 같은 이상징후가 발생시 이를 검출하여 사고를 미연에 방지하는 폐쇄 배전반 사고예방진단에 유용하게 적용할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 전자파 측정기법을 이용하여 부분방전 발생 전·후에 검출된 신호를 분석하여 폐쇄 배전반의 이상 징후를 상시 감시할 수 있는 사고 예방진단 기법을 제시하였다. 폐쇄 배전반의 정상 및 이상상태 판단을 위해 배전반 내부 및 외부에 헬리컬 안테나를 설치하여 이들 안테나에서 검출된 부분방전 발생 전·후의 신호를 주파수 스펙트럼 분석을 통해 크기를 비교 분석하였다. 폐쇄 배전반에서의 발생 가능한 부분방전을 모의하기 위해 침대 평판 전극, IEC(b)전극, 보이드 전극을 설치하여 부분방전을 발생시켰다. 이러한 실험을 통하여 부분방전이 발생되지 않은 상태에서는 주위 노이즈 신호들로 인해 외부 안테나 신호의 최대 크기 값이 내부 안테나의 최대 크기 값보다 크게 분석되었으며, 이를 정상상태로 추정하였다. 반면에 폐쇄 배전반 내부에 부분방전을 발생시킨 상태에서는 내부 안테나의 신호 최대 크기 값이 외부 안테나의 최대 크기 값 보다 크게 분석되었으며, 이를 이상상태로 추정하였다. 본 논문에서는 부분방전 발생 전·후에 폐쇄 배전반 내부 및 외부에 설치된 안테나에서 검출된 신호들을 이용하여 정상상태 및 이상상태를 판별하는 방법을 적용하여 좋은 결과를 얻었으며, 향후 폐쇄 배전반의 절연 상태 감시 및 사고예방에 효율적으로 적용할 수 있으리라 기대된다.

References

(1) 김재철 외, 폐쇄 배전반내의 방전 현상 연구 및 측정기에 의한 기준 제시, 숭실대학교(연구 보고서), 2000.
 (2) 전영길 외, 차단기 무정전 점검기법 및 성능진단 연구,

한국전기안전공사 (연구 보고서), 1993.
 (3) R. Vanhaeren et al., "Preventing Failure in Outdoor Distribution-Class Metal-Clad Switchgear", IEEE Transaction on PAS, Vol. 109, No. 10, pp. 2706~ 2712, October 1985.
 (4) 곽희로, 정찬수, 전희종, 김재철, 전력설비의 사고 예방 및 진단시스템 개발, 기초전력공학공동연구 소, 1992.
 (5) G.C.Stone, "Partial Discharge-Part VI: Practical Techniques for Measuring PD in Operating Equipment", IEEE Electrical Insulation Vol. 7, No. 4, pp. 9~19, July 1991.
 (6) KEMC-1106, 폐쇄 배전반(A.C Metal-Enclosed Switchgear and Controller for Rated Voltages from 3.6kV to 36kV), 한국전기공업협동조합.
 (7) 박광서 외, "기중방전 진전에 따른 방사전자파의 주파수 스펙트럼 특성", 한국 조명 전기설비학회 학술대회 논문집, pp.285~289, 1999년 10월.
 (8) 최길수 외, 22.9kV 배전용 전자파 불량해자 검출기 개발연구, 한국전력공사 전력연구원(연구 보고서), 2001.
 (9) J.Ozawa 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, April 1994.
 (10) 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, 11th International Symposium, Vol. 5, pp. 188~191, 1999.

◇ 저자소개 ◇

김재철 (金載哲)

1955년 7월 12일생. 1979년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 서울대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대 전기공학과 교수. 주 관심분야: 신뢰도, 분산형 전원, 전력설비 진단.

서인철 (徐寅喆)

1974년 5월 15일생. 1997년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한국동서발전(주) 발전부 근무. 주 관심분야: 전력설비 진단.

김영노 (金泳魯)

1974년 1월 14일생. 1999년 서남대 전기공학과 졸업(학사). 2002년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 (주)피에스디테크 연구원. 주 관심분야: 전력설비 진단.

전영재 (田永在)

1972년 6월 30일생. 1995년 숭실대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국전력 전력연구원 위촉연구원. 주 관심분야: 배전계통 최적화, 전력설비진단.