

전자파 검출에 의한 전력기기 On-Line 열화 측정시스템 개발

강창원, 최길수, 이영상, 김창욱, 강대수\*  
 (\*주)피에스디테크, \*천안공업대학

Development of on-line system using electromagnetic wave for diagnosis of deteriorated power equipment

C.W.Kang, G.S.Choi, Y.S.Lee, C.W. Kim, D.S.Kang.

**Abstract** - This paper presents the development of electromagnetic wave detecting equipment for diagnosis of enclosed switchboard. High voltage power equipments are very important equipment of the key industries and the private enterprise. Power line accidents are national plans because of those set off casualties lose of power equipments and communication networks. Therefore the necessity of the development of detecting for power equipment diagnosis is demand for prevention of high voltage equipment accidents. This paper is the development of electromagnetic wave detecting equipment for diagnosis of high voltage equipment. This paper establishes the diagnosis method for high voltage power equipments, that secures original technique and possesses detecting technique for electromagnetic wave. By the study we developed electromagnetic wave detector, and we applied this equipment application tests at the place constructed high voltage equipments.

1. 서 론

현재 폐쇄 배전반의 열화 상태를 진단하는 방법이 학술적으로 연구되고 있으나 제한된 범위에서 사용하는 것으로 적용이 곤란하거나 신뢰성이 낮아 실제 현장에 적용할 수 없는 경우가 많다. 이러한 진단 방법들의 정확도가 떨어지는 가장 큰 이유는 폐쇄 배전반의 불량 정도가 어느 정도인지를 판별하기 위한 자료들이 정량적이지 못하다는데 있다. 즉, 폐쇄 배전반의 불량 정도가 어느 정도인지를 판별하기 위해서는 불량 또는 양품의 판단을 위한 객관적 기준을 만들어야 하고 이 기준은 이론적 근거가 명확해야 할 필요가 있다(2). 폐쇄 배전반의 고압부는 차단기, MOF, VCB, CT, PT, LA, COS, PF 및 변압기 등의 여러 전력 설비들을 포함하며, 저압부는 MCCB, CT, PT, CV cable 등의 전력 설비들을 포함한다(3)(4). 폐쇄 배전반의 운전상 주로 나타나는 이상 현상으로는 이들 전력 설비들의 열화에 따른 열화 사고와 접점 및 각 연결 부위의 접촉 불량에 의한 과열 현상 등이다(3). 이러한 현상들의 발생으로 인하여 방사 전자파가 발생되는데 본 연구에서는 폐쇄 배전반 내의 전력 설비들의 불량에 의해 부분 방전이 발생할 때 부분 방전에 의해 방사되는 전자파를 On-Line으로 검출하여 전자파를 펄스화하여 펄스간의 시간차를 이용한 펄스 도파 시간 확률 분포 알고리즘에 의거 폐쇄 배전반의 부분 방전 On-Line 감시 시스템을 개발하였다(1).

2. 본 론

2.1 폐쇄배전반의 열화

폐쇄배전반의 열화란 이미 위에서 언급한 폐쇄배전반내의 전력 기기들의 열화를 의미한다. 이들 전력 기기들의 열화가 진행되어감에 따라 전력 기기에서 부분방전현상이 발생하며 심각한 경우 전력 기기의 파손사고가 발생하여 전력계통내의 심각한 사고를 일으키기도 한다. 폐쇄배전반 내의 전력 기기에서 발생할 수 있는 부분방전으로는 내부방전, 연면방전, 코로나 방전 등이 있으며, 이와 같은 방전현상이 일어날 수 있는 기기들을 살펴보면 다음의 표 1과 같다.

표 1. 폐쇄배전반내의 전력설비 열화에 따른 부분방전

부분방전류	폐쇄배전반내의 열화기기
내부방전	TR, CT, PT 기기 내부 케이블 접속재 내부 MOLD 기기 충전 단락
연면방전	BUS 지지 애자 표면 파뢰기, SA 애자 표면 MOLD 기기 표면 케이블 접속재 skirt 표면
코로나	BUS, 케이블 접속부위 차단기 접속 부위 (고정자, 가동자) Mo 변압기 탭, 인출부위 DS, COS 등 개폐기 접속부위

2.2 폐쇄배전반의 열화감시 시스템 진단 원리

폐쇄 배전반내의 전력설비가 노후되거나 또는 외부환경에 의하여 열화되면 전력설비에서는 부분방전현상이 발생하게 되며, 부분방전현상에 의하여 방사 전자파가 발생된다. 전력설비에서 발생하는 부분방전현상은 교류전압의 첨두 부분을 중심으로 발생하며, 방전현상에 기인한 방사 전자파 역시 주기적으로 발생하게 된다. 그림 1은 60Hz의 교류 전압에 의하여 방전현상이 발생하는 경우의 방사 전자파 발생 구간의 해석 모형을 나타내었다. 그림 1에서  $V_{th}$ 는 전력기기에서 부분방전이 발생하는 임계전압이며,  $t_w$ 는 방전현상이 발생하는 구간의 시간이며 이 구간에서 방사전자파가 발생한다. 방사 전자파(또는 초음파)의 도착 시간 확률 분포는 부분 방전이 발생하는 개소에서 발생하는 방사 전자파 및 초음파 잡음이 교류 전압의 인가에 대해서 120Hz의 주기성

을 가진다는 것이다. 이에 따라 방사 전자파 및 초음파에 의해 유기 되는 잡음을 제곱 복조기의 구조를 이용해 펄스화 했을 경우 그 펄스의 도착 시간 간격이 특정한 확률 분포를 갖는다. 이를 이용하면 부분 방전의 유무 뿐만 아니라 부분 방전의 진행 과정도 진단할 수 있다. 즉 전력 기기에 인가되는 전압이 120Hz의 주파수를 가지고 해당 기기에서 부분 방전을 일으키고 있다면 부분 방전의 정도는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$t = \frac{8.33 - t_w}{2} \quad (1)$$

식 (1)에서  $t$ 를 절연체의 저항 등 다른 파라미터로 사상시키면 부분 방전의 유무는 물론 부분 방전의 진행 과정 및 부분 방전에 의한 고장의 예측까지도 가능하게 된다. (주)피에스디테크에서 개발한 폐쇄배전반의 부분 방전 On-Line 열화감시시스템 @TOM-E의 진단 원리는 부분방전 발생에 따른 전자파 발생의 주기적인 성질에 기인한 방사 전자파 도착 시간 확률분포 중심 계산 및 전자파의 세기 측정을 기본 원리로 하고 있다. 그림 2에서는 절연저항이 900MΩ과 500MΩ인 애자에 대하여 고전압을 인가하여 이 때에 발생하는 방사 전자파를 @TOM-E장비로 10초간 수신하여 계산한 전자파 도착 시간 확률 분포를 나타내고 있으며 절연저항의 크기가 클수록 방사 전자파 도착 시간 확률분포 중심의 시간은 늦어지게 되고, 절연저항이 작을수록 즉 열화가 진행될수록 전자파 도착 시간 확률분포 중심의 시간은 빨라지게 됨을 실험결과를 통하여 알 수 있다.

### 2.3 폐쇄배전반의 열화감시 시스템의 구성

방사 전자파의 도착 시간 분포 패턴은 특정 패턴의 단계적 변화를 거치게 됨을 실험을 통하여 알 수 있었다. 이러한 사실로부터 펄스화된 방사 전자파의 도착 시간 분포 패턴의 군 주기성을 검출할 수 있는 검출기를 PLL을 원형으로 하여 그림 3과 같이 @TOME-E 폐쇄 배전반 열화 감시 시스템을 제작하였다. @TOM-E는 전자파 수신부, 자동 이득 조정부, 포락선 검출기 및 필터, 주기성 판정부, 전자파 강도 표시부 등 6개의 기능 모듈로 구성되어 있다.

폐쇄 배전반에서 발생하는 전자파는 넓은 대역의 주파수 스펙트럼 분포를 가지며, 이를 수신하기 위해서는 광대역 증폭기를 사용하거나, 특정 도미넌트 주파수 대역의 동조 수신기를 사용하여야 한다. 수신 안테나로는 무지향성의 안테나를 사용하였으며, 검출 장치에서는 멀티플렉싱의 자동 이득 조정 회로를 채용하여 수신 거리에 따른 검출 장치의 오동작을 방지하였다.

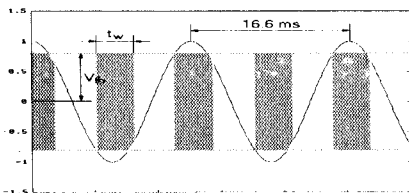
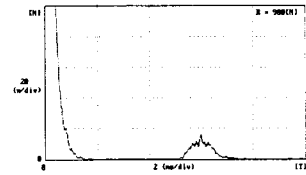
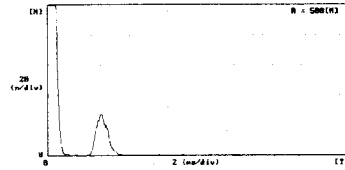


그림 1. 방사 전자파 발생 구간 해석 모형



(a) 절연저항 900MΩ



(b) 절연저항 500MΩ

그림 2. 방사 전자파 도착 시간 확률 분포

### 2.4 @TOM-E 시스템 개발

#### 2.4.1 개요

(주)피에스디테크에서 개발한 폐쇄배전반의 열화감시 시스템 @TOM-E는 폐쇄배전반내의 각종 전력기기의 절연 재료가 오손, 흡습, 접촉불량 등에 의하여 절연 이상에 의하여 부분방전 발생시 발생하는 전자파를 검출하여 폐쇄배전반내의 전력기기의 열화정도를 판정하는 시스템이다.

#### 2.4.2 장치사양

- 1) 센서부: 수신안테나 + 수신기
  - 주파수 대역: 30±0.5MHz
  - 무지향성 고이득 안테나
- 2) 검출부: 검출된 신호를 A/D 변환·계측·연산
  - A/D Converter: 20MS/S
  - 전송속도: 9600bps
  - Band Width: 29.5 ~30.5MHz
  - Filter: 전파정류회로 및 적분회로
  - Display: LED Lamp 및 LCD 창
- 3) 통신부: 각 검출부별 ID를 부여하고 취득한 데이터를 RS-485방식으로 통신
  - ID 부여: 센서부 및 검출부 설치시 개별 설정
  - 한계거리 초과시 수집기(LDPU) 사용으로 통신속도 개선 및 성능 확장
- 4) 분석부: 전력설비 상시 감시기능, 경보기능, Trend 관리기능, 기록관리기능, 보고서 기능으로 취득한 데이터를 분석 및 기기 성능 예측

#### 2.4.3 장치 외형도

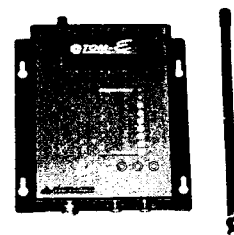


그림 3. @TOM-E 외형도

현재 개발된 @TOM-E는 폐쇄배전반내에 활선상태에서 설치가 가능하며 폐쇄배전반내의 전력설비에서 발생할 수 있는 부분방전 및 부분방전의 진행과정을 조기에 검출하여 On-Line을 이용하여 중앙관제실 또는 통제실에서 모니터링 시스템을 통하여 전력설비에 대한 열화 진행상황을 모니터링 할 수 있다. 그리고 폐쇄배전반내의 열화 상태를 판정하여 열화진행 상태가 심각한 배전반의 경우 기타 다른 진단 방법으로 보다 정밀한 검사를 통하여 폐쇄배전반내에서 전력설비의 교체 및 사고를 미연에 방지할 수 있다. @TOM-E와 모니터링 프로그램간의 통신은 RS-232 또는 RS-485 통신을 이용하며, 장비에 인가되는 전원은  $\pm 12V$ 를 이용하였다. 모니터링 프로그램의 주요 기능으로는 배전반의 열화상태 감시, 배전반내의 이상발생 기록, 경향관리 및 데이터베이스를 이용한 측정데이터의 보관 및 보고서 기능을 갖추었다. 그림 4~6은 배전반내에 설치하여 실제 현장에 적용된 @TOM-E를 나타내었다. @TOM-E는 크기가 작으며 배전반의 설치공간이 협소한 경우에도 설치가 가능하며, 또한 배전반내에 설치되더라도 전력기기에는 기타 다른 영향을 미치지 않는다.

## 2.5 현장설치 및 운영프로그램

### 2.5.1 현장 설치모습

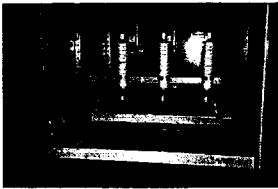


그림 4. Cable 및 LA 배전반 설치모습



그림 5. ACB 배전반 설치모습



그림 6. PT 배전반 설치모습

### 2.5.2 운영프로그램

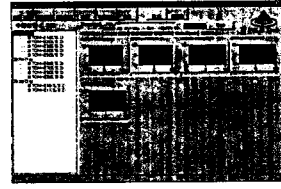


그림 7. 측정 초기화면

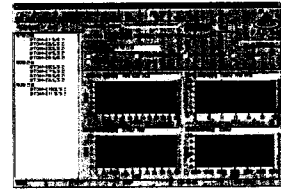


그림 8. Trend 관리화면

## 3. 결 론

본 논문에서는 (주)피에스디테크에서 개발한 폐쇄배전반의 열화감시 시스템에 대하여 논하였다. 폐쇄배전반 열화감시시스템 @TOM-E의 경우 방사전자파 측정으로부터 전력설비에서 발생할 수 있는 대부분의 부분방전 현상을 검출할 수 있으며 전력설비의 열화정도를 판정할 수 있는 신개념의 장비이다. 또한 폐쇄배전반 열화 감시 시스템 @TOM-E의 경우 전력계통의 사고 예방으로 인적, 물적, 경제적 손실을 최소화 할 수 있으며, 전력설비의 효율적인 관리를 가능하게 하여 불필요한 전력기기의 교체로 인한 경비 절감을 가능할 것으로 생각된다. 또한 폐쇄배전반내의 사고를 미연에 방지하여 신뢰성 있는 전력공급을 가능하게 하여 전력설비 산업의 신뢰성 및 안전성을 확보할 수 있다.

또한 @TOM-E의 진단원리를 이용하여 전력설비의 진단에 이용될 수 있는 분야로는 폐쇄배전반 이외에 가공배전선로의 애자 열화 및 이상검출분야, GIS tank내에서의 전자파 부분방전 검출 분야, 전차선로의 지지애자 열화 검출, 가공 수배전 선로의 열화 진단분야에도 적용이 가능하다.

### (참 고 문 헌)

- [1] 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, 1998, 10.
- [2] 기초전력공학연구소, "전력설비의 사고예방 및 진단기술(1차년도보고서)", 1992, 10
- [3] 김재철 외 3, "전력설비의 사고예방 및 진단시스템 개발", 광희로, 정찬수, 전희중, 김재철, 1993, 10.
- [4] 한국전기안전공사, "차단기 무정전점검기법 및 성능진단 연구(최종보고서)", 1993, 12.