



# LSIS 변전소 상시 감시 진단 시스템

□ 이용희, 강원중, 신양섭, 김영근, 신영준 / LS산전 전력연구소

## 서 론

산업의 고도화와 더불어 21세기 지식 정보화 사회로의 전환에 의한 정보 네트워크의 정비·확대, 도시 Lifestyle 변화 등에 의해 전력의 안정 공급, 고품질화, 고신뢰성에 대한 요구가 절실한 상황이다.

또한, 전력계통을 구성하는 주요설비의 노후화 또는 기능저항에 의한 사고의 발생은 대단위 광역정전을 유발하여 막대한 사회적, 경제적인 비용을 초래할 수 있다. 전력 설비의 운영 신뢰성을 확보하기 위하여 변전설비 보수의 방법도 비용 억제 및 고장의 사전 방지의 관점으로 일정한 주기에 따라 정기적으로 보수하는 시간 계획 유지보수(TBM: Time Based Maintenance)에서 설비의 상태를 예측하여 보수하는 상태기반 유지보수(CBM: Condition Based Maintenance)체계를 도입하여 효율적이고 경제적인 유지 보수 방안을 전략적으로 운영, 관리할 수 있는 첨단 기법이 도입되고 있다. 변전소 주요 설비(GIS, MTR, 피뢰기)의 상태기반 유지보수 전략을 위해서는 운전 중인 전력 설비의 상태를 진단하기 위한 변전소 예방진단 시스템의 보급이 필수적이다. 자사에서는 일찍이 전력설비 감시 진단 시스템의 필요성을 인지하고, 이들 시스템의 개발에 주력하여 왔다.

변전소 예방진단 시스템은 가스절연개폐장치(GIS), 유입식 변압기 및 피뢰기 등의 전력 설비의 상태를 진단하기 위한 고감도 지능형 센서 또는 IED(Intelligence Electronic Device)형 진단 장치와 실시간 데이터를 받아 가공, 처리하는 신호처리 장치 및 실시간 데이터 분석 및 사용자 운영 화면으로 구성되어 있으며, 설비의 상태를 상시 감시하여 이상 징후가 발생시 경보를 제공하여 불시 정전을 방지하며, 운영자에게 최적의 유지 보수 계획 수립, 이상 원인 및 위치를 판단하여 사고의 방지와 신속한 사고 복구를 목적으로 하고 있다.

본 기고에서는 당사에서 개발한 변전소용 상시감시 예방진단 시스템에 대한 기술을 소개하고자 한다.

## 본 론

변전소 예방진단 시스템은 가스절연개폐장치, 유입식 변압기 및 피뢰기를 대상으로 진단 항목별 기기의 상태 정보를 검출하는 센서부와 데이터를 취득하여 가공하고, 상위로 전달하는 데이터 취득장치인 DAU(Data Acquisition Unit) 및 각종 정보와 진단의 결과를 Visualization을 통하여 콘텐츠를 제공하는 HMI(Human Machine Interface)로 구성되어 있다. (그림 1)에 변전소 예방진단 시스템의 개략도를 나타내었

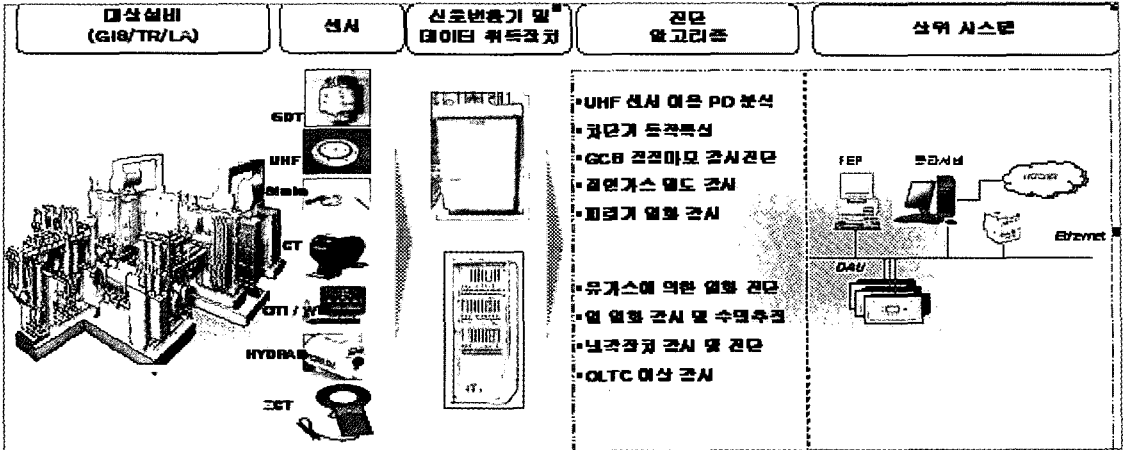


그림 1 변전소 예방진단 시스템 구성도

다. 변전설비에 대한 각 진단항목별 적용된 센서 및 시스템에 관한 설명은 설비별로 별도로 기술하고자 한다.

### GIS 감시진단

GIS 감시진단 항목은 크게 4부분으로 나누어져 있다.

- \* GIS 내부의 절연사고를 미연에 방지하기 위한 부분 방전 진단
- \* GIS의 절연매질인 SF6가스의 밀도 감시
- \* 차단기 소호실 내부의 주요 구성품인 아크 접점과 노즐의 마모상태
- \* 조작기의 동작특성 변화를 감시하기 위한 차단기 감시 진단으로 구별된다.

#### ■ GIS 부분방전(PD : Partial Discharges) 감시

##### ① PD 센서

GIS 내부 결함에서 발생하는 PD로 발생하는 전자파 (ultra-high frequency)를 검출하는 UHF 측정 방식으로 GIS의 절연이상 상태를 감시하게 된다. UHF 측정은 방식에 따라서 광대역과 협대역 방식으로 대별 되는데, 차폐구조 및 설치조건에 따라서 두 가지 방식 모두 적용 가능하도록 고려되었다. UHF PD 센서는 국내 최

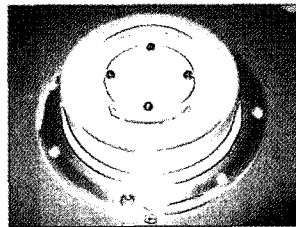


그림 2-a UHF 센서

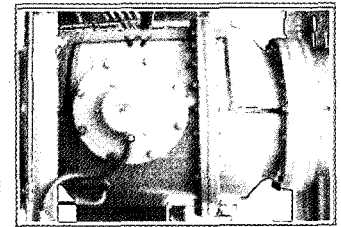


그림 2-b GIS에 설치된 센서(내장형)

초로 LIS 자체 개발한 센서로 GIGRE 권고사항인 5pC 이하의 감도를 가지고 있으며, 주파수에 무관한 Archimedean Spiral 안테나의 적용을 기본으로 하였다. 또한 PD 센서의 취부방식은 설치 대상기기의 조건에 따라 내장형과 외장형을 적용하고, 내장형 센서의 경우 흡습제와 함께 설치가 가능하도록 하였다. 내장형 센서의 경우 GIS 설계를 변경하지 않고 적용이 가능하도록 작업창 취부형으로 설계 하여 감도 및 사이즈를 고려하였으며, 실제로 본 센서는 추가 설계 변경 없이 핸드 홀 커버만 수정하였고, 흡습제 취부구조에 영향을 주지 않도록 설계하였다. 주요 사양은 아래와 같다.

- \* 검출 대역: 300 MHz ~ 1.5 GHz
- \* 최저 측정감도: 5 pC 이하
- \* 단자 종류: N-type connector

##### ② PD 신호처리 장치

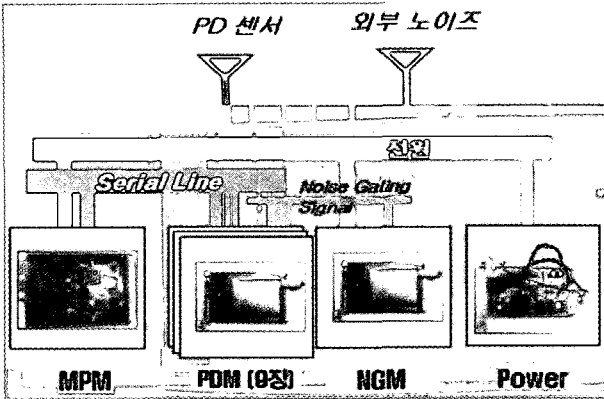


그림 3 신호처리장치 구성도

주파수 대역은 300~1500MHz의 신호를 처리할 수 있으며, 현장의 노이즈를 저감하기 위하여 PD 센서 이외에 Noise 신호를 동시에 받아서 사용할 수 있도록 하였다. 내부 블록은 MPM(Main Processor Module)을 Main으로 하여 PDM(Partial Discharge Module)과 NGM(Noise Gating Module)으로 구성된다. PDM은 최대 9채널까지 내장할 수 있으며, 내부는 <그림3>과 같이 Zero 검출, PD(RF) 검출, NGM 검출 로직, PD 데이터 검출, 데이터 송수신 부로 구성되어 있다.

전체 크기는 한전 승인 사양에 맞추도록 넓이와 높이를 표준 사이즈로 맞추었으며, 현장의 전자파 환경이 열악한 점을 감안하여 외부의 노이즈가 유입될 수 있는 LED 등의 요소들을 없앴다. PD DAU는 기본적으로 다음의 성능을 구비하고 있다.

2.1) PDM(Partial Discharge Module)

- \* 광대역 방식으로 처리
- \* 최소 검출 신호 : -55dBm(0.03uW) 이하
- \* 1개의 DAU에 9개의 PDM이 수용 가능함.
- \* 입력 : PD 신호입력단자 1개, Noise Gating을 위한 Digital 입력 1개, 위상 검출 신호입력 1개
- \* Data 송신 : 비동기 Serial 통신을 이용한 Multi-drop 방식 및
- \* BSF (Band Stop Filter)를 내장하여 특정 Noise

대역을 차단 선택 가능

2.2) NGM (Noise Gating Module)

- \* 외부 노이즈를 측정하여 동시에 신호발생 시 각 PDM 모듈에 현재 측정값은 무시
- \* 입력 : 외부 안테나 입력용 단자 1개
- \* 출력 : Noise의 존재 여부를 알려주는 Digital 출력

2.3) 전원부 및 Zero Crossing 부

- \* 입력 : AC 110V ~ 220V, 60 Hz
- \* 출력 : DC +5V, +12V, -12V

2.4) Backplane 및 Case

- \* 모듈간 데이터 전송라인과 전원 공급
- \* 9" 표준 sub rack 사용
- \* 높이 : 3U
- \* 폭 : 84HP (19")

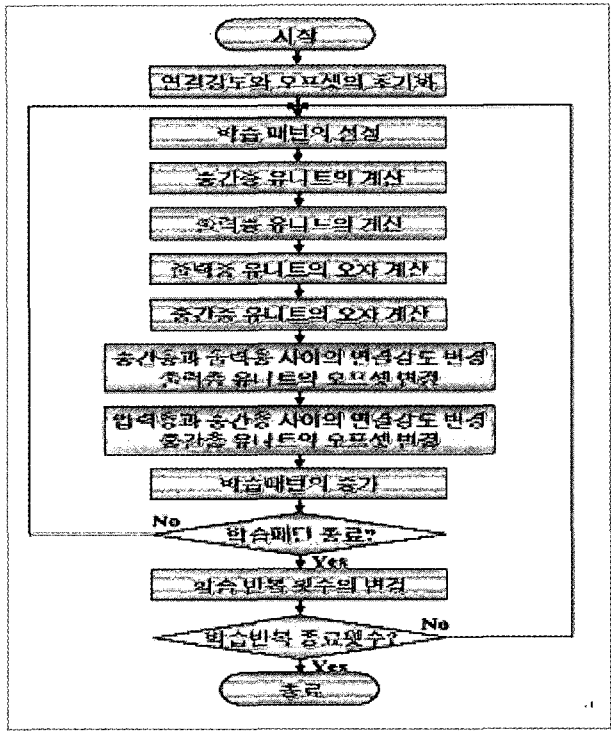


그림 4 BP Algorithm의 흐름도



표 1 차단기 감시진단 기능구성

측정대상	연산내용	Target
상상 전류 Stroke	상별 arcing time 연산	Arcing contact 마모상태추정
Operation Command Auxiliary contact ('a', 'b' contact) Tripping or Closing coil current	주요시점별 전류크기 및 구간시간간격 연산	Operating Mechanism의 전기적, 기계적 이상부분 추정
유압 주변온도 DC제어전압	허용범위와 비교연산	

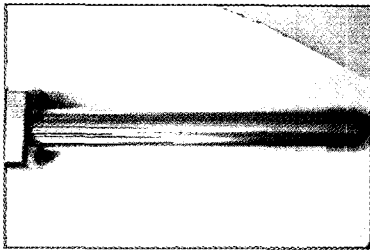


그림 5a 시험 전 고정 아크 접점

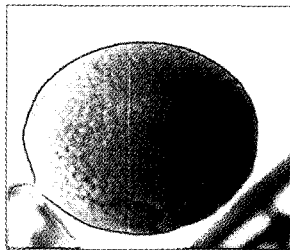


그림 5b 시험 후 고정 아크 접점

- \* 4가지 유형의 PD 유형 판정 (Floating, Surface, Needle to plane, Noise)
- \* 센서 별 PD 유형 및 이벤트 Filtering 기능
- \* Direct 보고서 생성/출력 기능 (Excel)
- \* 신호처리 장치의 제어(Thresh hold 값 제어)
- \* 실제 현장에 적용 중

### ■ 가스밀도 감시

GIS의 절연매질인 SF6가스는 GIS의 차단 성능 및 절연 유지에 중요한 역할을 담당하고 있다. GIS에서 SF6가스의 누기시에는 통전성능 불능, 차단 실패 및 절연사고로 직결될 수 있으므로 가스압력을 상시 감시의 필요성은 필수적이다. 가스밀도 센서를 GIS의 SF6가스 구획별로 설치하며, 센서는 온도보상 기능을 구비하고 있다. 센서의 전원은 GIS의 제어전원 회로로부터 DC24V를 입력받아 출력으로 DC 4 ~ 20mA의 선형적인 특성 신호를 상위로 전송한다.

PD DAU는 조립 상태에서 IEC-61000 규격에 의하여 기본적인 시험을 수행하였다.

### ③ PD 분석 소프트웨어(HMI)

통신부는 DAU에서부터 입력되는 펄스신호를 통신상 에러가 있는지 확인하고, 여러 개의 센서에 대한 상태를 확인하도록 구성되어 있다. 설정부는 H/W와 관련된 설정을 수행하며, 알람 레벨 등 소프트웨어에서 사용할 설정들을 수행한다. 측정부는 입력된 신호 중 이상 신호를 제거하고, 이들 신호를 PRPD법 PRPS등의 방식으로 수행한다. (그림 4)진단에 적용되는 BP 알고리즘의 흐름도를 표시한 것이다.

PD 분석 관련한 주요 기능은 아래와 같다.

- \* Neural Network/Fuzzy 알고리즘을 이용한 향상된 판정 알고리즘
- \* Phi-Q-n Chart 제공으로 Visual 분석 기능 향상

### ■ 차단기 감시

#### ① 아크점점 및 노즐의 감시

GIS 차단기의 이상동작으로 인한 사고를 미연에 방지하기 위해서는 차단기 소호실 내부의 구성품인 아크점점과 노즐의 마모상태와 조작기의 동작특성을 감시할 필요가 있다.

아크 점점 및 노즐의 감시를 위해 필요한 신호로는 차단기 동작시의 각상 전류신호와 각상의 아크시간 연산을 위한 스트로크 또는 트립코일 전류신호가 있다. 각상 전류는 일반적으로 CT를 사용하여 측정하고 후단의 셉트저항을 이용하여 전압신호로 변환시킨 후 DAU에 입력된다. <표 1>은 차단기 감시진단 기능구성을 표현한 것이다.

LSIS는 차단기 점점마모를 정량적으로 평가하기 위하여 아크시간, 아크전류의 크기 및 차단조건 등을 측정하여 점점마모를 감시 및 교체시기를 사용자에게 제

공하고 있다. 실제로 당사의 GIS에 합성시험설비를 이용하여 인가된 아크 에너지와 지속시간에 따른 점점의 용삭정도를 파악하였다. <그림 5a>와 <그림 5b>는 시험 전후의 아크 점점 상태를 나타낸 것이다.

② 조작기 동작특성 감시

트립코일 전류 신호외에 Closing코일전류 신호와 차단기 조작기와 기계적으로 연동되는 보조점점의 신호 그리고 주변온도, 동작제어전압 및 조작기 압력 등을 이용하여 조작기 동작특성을 감시한다.

변압기 감시진단

유입변압기에 arc 또는 부분방전과 같은 국부 과열 현상이 발생하면 이 열원과 접촉하고 있는 절연유나 절연지 등의 절연물은 열에 의해 열화 분해된다. 절연물의 열열화 현상은 화학반응에 의해 가스를 발생시키고 이 가스는 절연유중에 용해되기도 하고 일부는 유면 상의 공간에 방출된다. 일반적으로 열분해 가스는

수소, 저급 탄화수소(CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)가스, 일산화탄소, 탄산가스 등 10여종에 이른다. 이상의 종류에 따른 주요 열분해 가스를 다음의 <표 2>에 나타내었다. 이상의 종류에 따라 발생 가스가 다른 것은 이상 발생부의 재료 및 과열에 의한 온도가 상이한 데 기인하는 것이다. 또한 부분방전에 의한 열분해가스의 특징은 국부적인 높은 온도 때문에 다량의 수소가스와 아세틸렌 및 기타 탄화수소가스를 함유하며 arc에 의한 열분해가스는 다량의 아세틸렌 가스를 함유하는 것이 특징이다.

절연유에 용해된 가스를 실시간 분석하여 변압기의 이상을 조기에 발견하여 운전의 효율성을 높이고 고장을 사전에 예방하기 위한 기술이 전개되고 있다. ISIS 변전소 예방진단 시스템은 경제성의 관점에서 수소 단일 가스를 주 감시가스로 측정하고 있다. 또한 냉각장치 시스템의 구동을 전담하는 Fan 및 Pump의 동작상태를 상시적으로 감시하며, 변압기의 유일한 가동부인 OLTC 정보도 감시를 대상으로 하고 있다.

■ 유증가스 감시

변압기 내의 절연유 용존가스 중 수소가스를 주 감시 대상으로 측정하여 변압기의 초기 고장을 모니터링 하도록 한다. 절연유 중의 가스농도를 DC 4~20mA의 전기적 신호로 변환한 출력값을 상위로 전송한다. 수소 가스 농도의 시간별/일별/월별 증가치의 경향으로 변압기의 이상 유무를 판정하며, 이상으로 판정 시에는 다중가스 분석을 지원하는 시스템으로 구성되어 있다.

■ 외기온도/절연유/권선 온도

변압기의 열열화 이상을 상시적으로 감시하기 하기 위하여 절연유 온도 및 권선온도를 상시 측정 대상으로 한다. 변압기의 절연유는 냉각 효과 및 절연 효과를 구비하고 있으므로, 절연유의 과열은 변압기의 이상을 초래할 수 있다. ISIS예방진단 시스템은 외기온도를 측정하여 주위 온도에 따른 보상과 아울러 변압기의 Hot-spot온도를 추정하는 알고리즘을 탑재하고 있다.

절연유 및 권선온도 센서의 출력값은 Transducer를 통해 DC 4~20mA로 변환되어 상위로 전송된다.

표 2 이상의 종류에 따른 주요 발생가스 (밑줄은 특징가스를 나타냄)

이상의 종류	주요 발생가스
절연유의 과열	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
고체절연물의 과열	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , CO, CO <sub>2</sub>
절연유중에서의 방전	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>
고체절연물에서의 방전	H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> , CO, CO <sub>2</sub>



그림 6 변압기 유증가스 센서(HYDRAN)

### ■ OLTC / Fan / Pump 구동 감시

부하시 탭절환장치는 변압기 내부의 유일한 가동부 위로서 동작빈도가 많은 부분으로 감시의 필요성이 있다. OLTC 진단항목으로는 절환부의 구동시간, 구동전류 및 동작회수를 기본으로 한다. 냉각장치 시스템을 구동하는 Fan은 구동전류를 진단항목으로 설정하여 그 점점상태와 구동전류를 기본으로 설비의 가동유무를 판별하고, 구동전류가 기준치를 벗어나면 경보를 발생시키고, 전원이상, 모터 과손, 과부하, 과전압 등의 원인을 제시하는 알고리즘이 탑재되어 있다.

### HMI

HMI는 FEP로부터 실시간 센서 데이터를 수신하고, 필요시 데이터베이스를 액세스하여 자료를 가져올 수 있다. HMI는 실시간으로 센서 데이터를 감시할 수 있

는 화면을 제공하며, 실시간 트렌드, 이벤트 자료 및 과거의 자료를 조회할 수 있고, 센서 데이터의 이상 발생 시 분석을 통해 진단결과를 확인할 수 있다. 또한 데이터베이스에 저장된 측정 센서들의 값들을 활용해 엑셀 보고서를 생성할 수 있다.

### ■ 화면의 구성

HMI 주 화면은 <그림 7>같이 구성되며, 사용자에 의해 각 화면으로 이동할 수 있다. 센서 종류별 검색, 포인트별 검색 등의 검색 화면을 제공하고, 현재 기기 상태, 포인트 설정, H/W 설정, 실시간 트렌드, 분석, 보고서 등을 지원한다. 감시화면은 사용자에 의해 편집이 가능하며, 센서 값이 표시되는 부분은 정상, 주의, 경보의 3단계별로 정의된 색상으로 표시하여 사용자에게 시각적 인지를 제공한다. 또한 DAU의 통신 상태를 표시하여 DAU의 동작 여부를 알 수 있다. <그림 8>와 <그림 9>에 GIS와 변압기의 메인 화면을 나타내었다.

### ■ 진단 및 분석화면

진단 및 분석화면은 크게 GIS에 대한 PD진단과 MTR에 대한 다중유증가스 분석을 지원하고 있다. GIS의 UHF센서 측정 데이터를 Phi-Q-n으로 분리해서 차트 형태로 보여준다. 사용자는 이를 통한 통계적 데이터를 이용해서 GIS 진단을 수행하게 된다. 데이터의 형태는 방전 전하량, Phi 값이며 데이터베이스에 저장

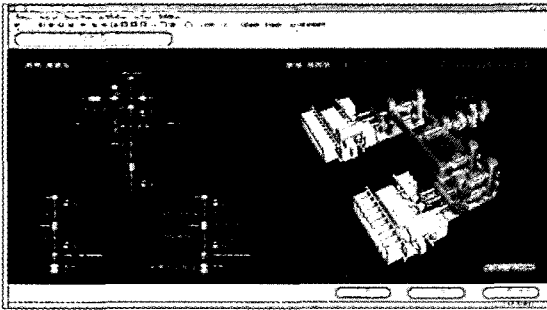


그림 7 변전소 감시진단 HMI 주 화면

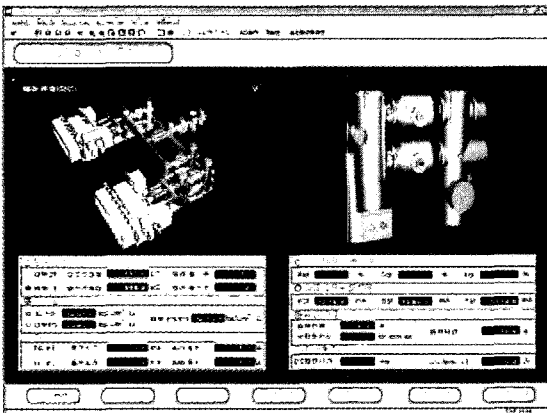


그림 8 GIS 메인 감시 화면

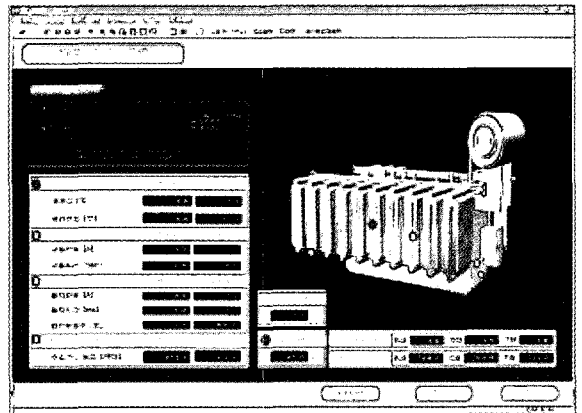


그림 9 변압기 메인 감시화면

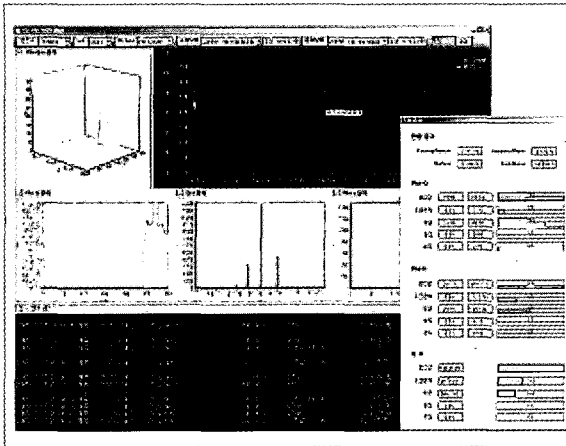


그림 10 GIS PD분석화면

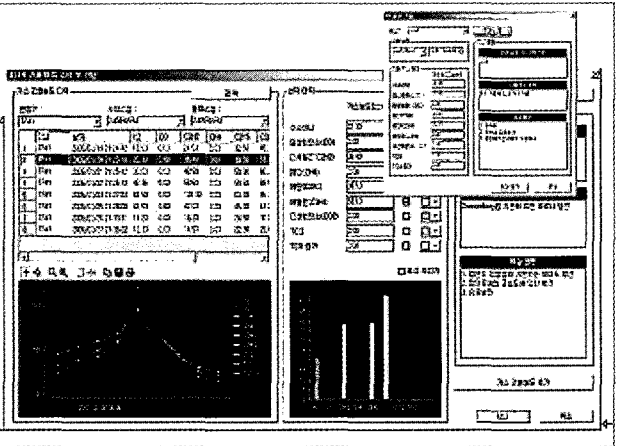


그림 11 MTR DGA분석화면

된다. 분석 및 진단 화면에서는 이 데이터를 근거로 지정된 시간대별로 Phi-Q-n 분석과 트렌드 및 이벤트를 표시한다. 진단은 신경회로망으로 학습된 데이터를 사용한다.

MTR에서는 수소가스 중심형 센서가 일정 기준 값을 초과할 경우 다중가스분석을 통한 진단 및 점검관리를 용이하게 하도록 지원하고 있다. 탑재된 알고리즘은 IEC code, Dornenburg 및 Duval법에 의한 분석 tool을 지원한다. <그림 10>와 <그림 11>에 진단 및 분석화면을 나타내었다.

## 결론

최근 변전소 예방진단 시스템이 한국전력공사 및 154kV수전 수용가에서 적용되면서 온라인 예방진단 시스템에 대한 관심이 보다 높아지고 있다. 예방진단 시스템은 전력설비의 상태에 관한 정확한 정보를 획득할 수 있으며, 설비의 건전성을 확보할 수 있으며, 설비의 상태에 따라 유지보수에 대한 전략을 마련할 수 있으므로 설비의 가용성과 신뢰성이 개선될 수 있다. 당사는 예방진단 시스템의 지속적인 소프트웨어 Upgrade 및 분석 알고리즘 개선을 통해 보다 신뢰도가 향상된 온라인 예방진단 시스템을 구축해 나갈 것이다.