

인텔리전트 변전소 시스템

최근 들어 전력자유화와 규제완화의 움직임에 전력수요의 신장 정체가 겹쳐 경쟁이 격화될 것으로 예상된다. 전력유통시스템에 있어서도 코스트압박이 커져 시스템 계획과 운용·자금 계획을 총합한 경영의 효율화를 도모하는 애셋 매니지먼트의 구상이 보다 중시되어 설비의 라이프사이클 코스트를 고려한 계획·운용이 주목을 받고 있다. 종래의 대용량·고신뢰도 지향에서 환경적합성도 포함하는 종합적인 운용을 고려한 변전소시스템의 구축을 목적으로 정보시스템과 기기의 통합을 도모한 인텔리전트 변전소시스템을 개발하였다.

개발항목은 다음과 같다.

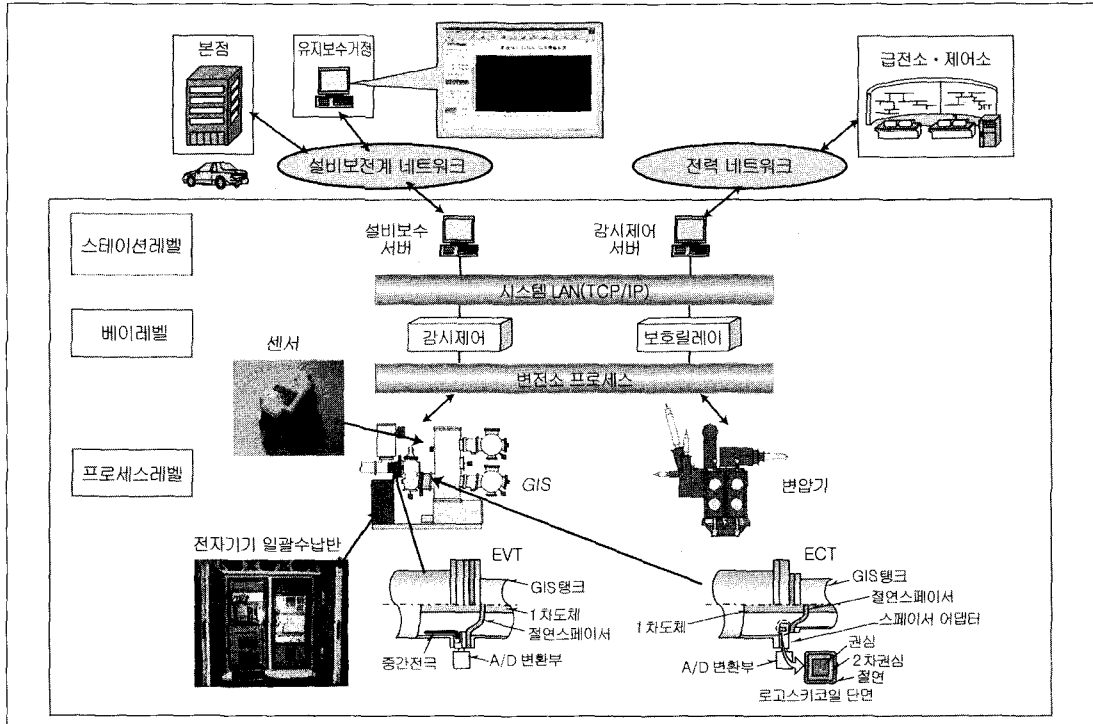
- ① 전력유통시스템 운용·관리에 적합한 변전소 정보시스템의 구축
스테이션레벨, 베이레벨, 프로세스레벨에서의 네트워크 구축
- ② 고도설비계획·보전 시스템
CBM(Condition Based Maintenance)에 대응한 기기감시시스템, 설비관리시스템
- ③ 정보시스템에 적합한 전압전류센서 및 기기센서 개발
변전소내 정보의 풀디지탈화에 대응
- ④ 콤팩트한 기기 개발
- ⑤ 전력시스템 운용효율화에 공헌하는 시스템 개발
기기의 스트레스를 경감하는 개폐극 위상제어기술

1. 머리말

경제의 고도성장기에는 전력수요의 급증에 대응하기 위하여 전원개발과 안정된 전력공급을 위한 유통시스템의 구축이 가장 중요한 과제였으며, 대용량송전에 대응하는 대용량기기의 개발과 계통안정화 시스템 등의 개발이 전력유통시스템 혁신의 원동력이었다. 또 수요증가에 따른 기설기기의 정격용량 부족 등의 원인으로 기기수명을

기다리지 않고 기기를 갱신하여 왔다.

최근에 이르러서는 전력자유화·규제완화의 움직임에 전력수요의 신장정체가 겹쳐 전력시스템의 계획·운용의 보다 효율화가 중시되고 있으며 종래의 대용량·고신뢰도 지향에서 환경적합성도 포함하는 토털운용을 고려한 변전소시스템의 구축이 중요하게 되었다. 여기서는 이와 같은 니즈에 대응한 인텔리전트 변전소시스템에 대한 구상을 개설(概說)해 보고자 한다.



〈인텔리전트 변전소시스템의 구성〉

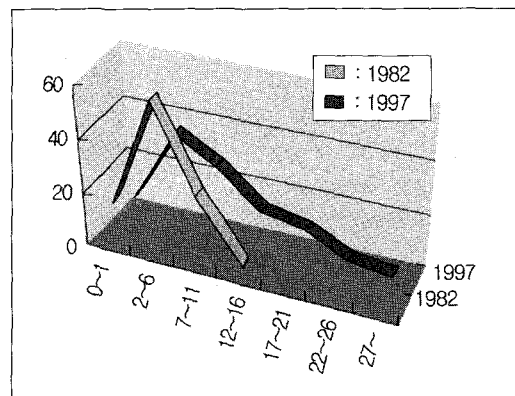
변전소내의 1차기에 가까운 레벨에 프로세스를 설치하여 기기의 전압전류정보, 기기의 제어출력과의 인터페이스를 시행한다. 또 스테이션 레벨에서는 상위계와 광역의 네트워크로 결합하여 변전소의 감시제어, 설비운용보전정보를 배신(配信)한다. 기기측에는 정보의 풀디지틀화에 대응하여 신형의 CT(Current Transformer)/VT (Voltage Transformer), 센서, 개폐극위상제어장치를 설치하고 있다

2. 계통을 둘러싼 환경변화에 따른 기술변동

가. 전력계통의 효율적운용

수요성장의 둔화로 설비투자는 억제되는 경향을 보이고 있으며, 전력자유화로 이러한 경향은 더욱 가속화되고 있다. 한편으로는 고도성장기에 연이어 신설된 설비가 고도성장기 때와 같이 용량부족으로 인해 갱신할 필요가 없어짐으로써 장기간 사용되는 경향이다. GIS의 경우 1980년대 후반부터 설비수의 증가가 현저해져서 그림 1에 표시하는 것과 같이 1997년도의 분포에서는 경년 2~6년인 설비의 비율이 감소되고 경년 17년 경과된 설비의 비율이 증가하여 경년이 커지고 있음을 알 수 있다.

기기의 고경년화(高經年化)는 CIGRE의 조사결과에서 보이는 바와 같이 세계적인 경향이다. 1950년대부터



〈그림 1〉 GIS의 경년분포

기기의 설치대수가 증가되고 있어 이후 10년간에 수명에 달하는 기기가 증가될 것으로 생각되고 있다.

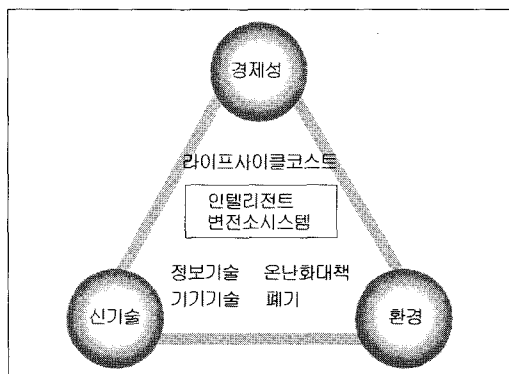
전력수요의 신장이 둔화되고 있는 가운데 전력시스템 운영에 코스트압박이 커져 시스템 계획과 운용·자금 계획을 총합한 경영의 효율화를 도모하는 애셋 매니지먼트 사고방식이 보다 중시되어 설비의 라이프사이클 코스트를 고려한 계획운용이 주목받고 있다.

고령년기기에 대한 조기갱신은 비경제적이고, 늦어지면 어베일러빌리티가 저하되어 사고로 이어질 가능성이 있다. 경년기기의 취급에 대한 고려는 기본 개념을 재검토하여 장래의 송배전에 적합한 새로운 개념의 도입기회라고 생각된다.

그림 2에 인텔리전트 변전소시스템에 대한 개념을 표시한다.

라이프사이클 코스트는 초기코스트와 운전개시 후의 운용코스트 및 나아가 폐기코스트를 고려한 것이다. 운용코스트에는 공급지장에 의한 손실코스트가 포함되므로 공급지장을 억제하는 유지보수활동이 중요하다.

설비 유지보수에 대한 생각도 비용억제의 관점에서 정기적으로 보수하는 TBM(Time Based Maintenance)에서 설비의 상태에 따라 보수하는 CBM, 나아가서는 RCM(Reliability Centered Maintenance)이 제안되고 있다.



<그림 2> 인텔리전트변전소 시스템의 개념

이것들은 수명연장을 위해 설비의 정보를 감시하여 기기의 상태·중요도에 따라 유지보수·갱신조치를 효과적으로 실시한다는 생각으로 기기의 모니터링과 정보의 관리가 앞으로 더욱 유효한 해결책이 된다.

나. 환경문제

최근 들어 환경의식이 높아짐에 따라 변전설비도 환경면에 대한 배려로서 “주위경관과의 조화”와 그리고 SF₆ 가스의 방출 억제를 검토하고 있다.

(1) 환경조화

변전소가 주위에 위압감을 주기(Visual Impact) 때문에 주위와 조화된 건물내에의 수납, 지하변전소 등의 대책이 취해지는데, 기기의 콤팩트화에 의한 부피 저감은 건설비를 억제하는 효과가 있어 유효한 대책이다.

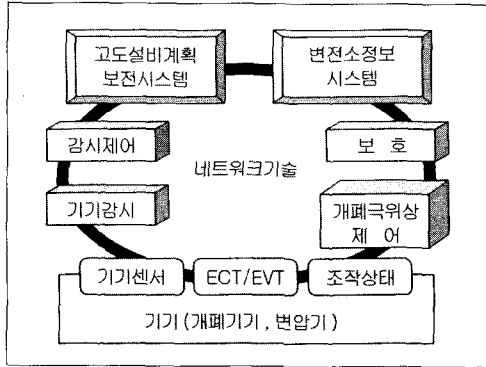
(2) 온난화가스

가스절연기기에 채용되고 있는 SF₆ 가스는 온실효과가 있기 때문에 대기중의 방출을 극력 억제하는 방침으로 되어 있다. 이에 대한 대책으로서 기기를 소형화하여 SF₆ 가스의 사용량을 억제하는 것이 유효하다.

또한 본고에서는 언급하지 않았으나 가스의 회수·재사용에 대해서도 지속적으로 기술을 개발하고 있다.

다. 기기·시스템 기술개발의 방향

앞으로 변전소시스템은 경제성·환경적합성을 배려하며 기술적으로는 소프트웨어와 하드웨어가 통합된다. 그림 3에 표시하는 것과 같이 전력유통시스템 운용·관리에 적합한 변전소 정보시스템의 구축 및 자산운용의 최적화를 도모하는 고도 설비계획·보전 시스템의 구축이 필요하며, 네트워크기술을 통하여 감시제어·보호와 기기 레벨의 신기술을 결합한다. 다음의 각 항목에 대하여 그 개요를 기술한다.



〈그림 3〉 기기·시스템 개발의 개념

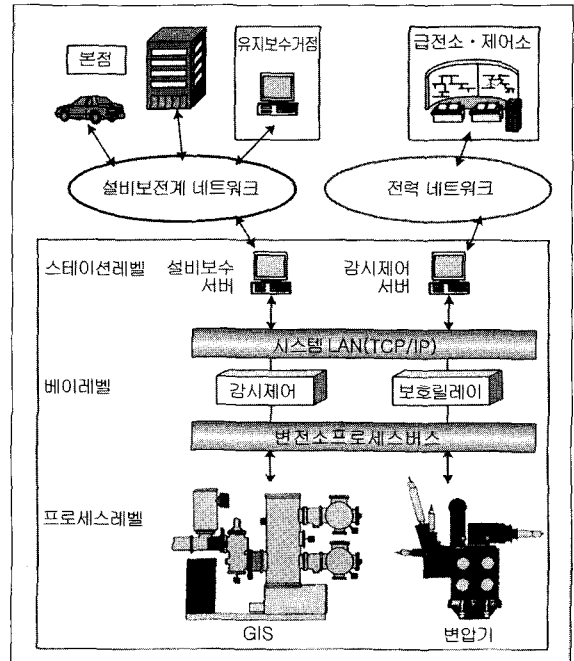
(1) 전력유통시스템 운용·관리에 적합한 변전소 정보시스템의 구축

광역화·복잡화되어 있는 전력유통망의 운용·보전에 관한 업무가 더욱더 집약화되어 고도화하는 동향으로, 업무의 신속한 실시를 위해서는 운용·보전시스템에 고도의 정보를 기초로 하는 자동화와 지원 등의 시스템이 중요하게 된다(그림 4 참조).

전력유통망의 운용에서 필요로 하는 감시제어는 변전소의 감시제어를 통하여 원격에서 행한다. 따라서 원격운용의 고도화에는 변전소 정보의 디지털화와 원격운용기점과의 고도의 정보결합이 중요하게 된다. 인텔리전트 변전소시스템은 자동화기능 등을 적절하게 변전소측에 분산시켜 시스템코스트의 저감과 고도의 원격운용 시스템의 구축을 도모하는 것이 필요하다. 또 시스템에는 국제수준의 사양에 준하도록 하는 것이 중요하게 된다.

(2) 고도 설비계획·보전 시스템

기기의 유지보수·갱신을 최적으로 실시하기 위하여 기기감시기술을 적용한 CBM이 크게 주목받고 있다. 그러나 라이프사이클 코스트를 고려하면 기기감시시스템의 기능을 복합화·통합화하여 코스트다운을 도모할 필요가 있다. 또 기기감시시스템은 변전소의 감시제어시스템과는 독립된 시스템으로 설치되는 것이 많았다. 그럼에도



〈그림 4〉 전력유통시스템에서의 네트워크 구성

불구하고 설비관리·자산관리를 종합적으로 시행하기 위해서는 전력회사 전체의 설비관리시스템과의 연대가 효과적이며 고장구간의 정도(精度) 향상이 요구된다. 또한 복구조작의 신속화를 위해서는 보호제어정보와 기기감시정보의 결합이 요구된다. 이 때문에 정보를 일원적으로 관리하는 시스템의 구축이 필요하게 된다.

(3) 정보시스템에 적합한 센서 개발(전압·전류 정보를 포함)

정보의 네트워크화에 대응하여 변전소내의 정보를 풀 디지털화함으로써 변압기·개폐기기 등에서 기기의 1차측, 2차측이 개별적으로 취급되고 있었던 것이 통합된다. 예를 들면 디지털릴레이에서는 릴레이동작의 연산(演算) 자체는 파워가 불필요하나 릴레이입력부까지는 아날로그 신호이기 때문에 CT, VT는 수십VA의 부담을 고려하여 설계해 왔다. 정보의 풀디지털화로 처음부터 디지털신호로 공급할 수 있을 경우에는 전압·전류의 검출방식도

ECT/EVT(Electric CT/VT)를 적용하여 소형·경량화를 도모할 수 있다. 또 구내의 네트워크를 통하여 디지털정보를 배신(配信)하면 종래의 와이어배선을 대폭 삭감할 수 있다.

(4) 콤팩트한 기기 개발

종래에도 기기의 콤팩트화를 지향하여 오긴 했지만 전력유통시스템의 효율적운용의 시대에 기기의 콤팩트화는 새삼 중요한 의의를 갖는다. 기기의 라이프사이클을 생각하면 기기 설계의 효율화, 기기설치, 운용기간의 단축 등이 중요하며, 기기의 단순한 콤팩트화에 머물지 않고 모듈화, 기기의 통합화가 앞으로의 나아가야 할 방향이라고 생각할 수 있다. 또 환경적합성에서도 콤팩트화는 중요하다.

(5) 전력시스템 운용효율화에 공헌하는 시스템 개발

기기·시스템의 유효활용을 위해서는 기기에 대한 스트레스 경감도 중요한 기술이 된다. 개폐기기 조작시의 주변기기예의 전압·전류 스트레스 또는 개폐기기 자체에 대한 스트레스 경감대책으로 개폐시간을 제어하여 전압·전류의 변화를 억제하는 개폐극위상제어(Control Switching)기술이 있다. 선로 투입 또는 조상설비 투입시의 스트레스 억제에 효과가 있으며, 이 기술은 전력품질 향상에도 공헌한다.

3. 인텔리전트 변전소시스템의 개념

가. 인텔리전트 변전소시스템에 대한 고려

인텔리전트 변전소시스템에 대한 기본적인 고려는 제어소 등의 상위시스템이 변전소를 “인텔리전트한 현지처리기능을 갖는 소형변전소 자동화서버”로서 취급할 수 있고, 각종 고도화와 자동화기능에 관한 상위계~변전소간의 토털코오디네이션을 기하고 국제수준의 사양에 의거한 것이다.

변전소시스템은 다음의 3계층으로 대략 분류된다.

- 변전소 전체를 취급하는 스테이션레벨
 - 송전선 등의 회선/유닛 단위의 베이레벨
 - 변전소의 1차기기에 가까운 프로세스레벨
- 이 각 계층간은 각각 필요한 정보전송속도, 터폴러지(Topology)에 의하여 적절한 네트워크로 결합된다.

(1) 스테이션레벨 시스템

변전소 감시제어의 중추로서 상위계와 광역네트워크로 결합되며 변전소의 감시제어, 설비운용보전 등 모든 정보는 스테이션레벨의 서버에서 배신된다. 그 때문에 상위시스템과의 결합에는 고도의 시큐어리티기능도 갖추고 있다.

이 스테이션레벨의 서버는 변전소 전체의 휴먼머신기능도 탑재하여 유인운전·보수점검시의 직접감시제어기능도 갖고 있다. 특히 변전소의 자동화기능(예를 들면 자동복구, 고장점 표정(標定), 자동조작 등)을 구비할 수 있는 변전소 감시제어시스템이다.

(2) 베이레벨

변전소의 감시제어·보호기능은 장치장해의 영향을 최소화하여 억제하여 종합적인 시스템신뢰성을 높이기 위해, 변전소의 기기, 회선단위로 분할·구성되며 베이레벨에 설치된다. 이들의 베이컨트롤러(BCU), 보호릴레이장치는 스테이션레벨의 서버와 다중화구성된 스테이션 LAN으로 결합되어 감시제어, 설비보전정보, 계통사고정보 등이 상위에 전달된다. 또 상위의 운용시스템에서의 제어지령과 원격운용·정정 등의 지령을 받아 실제의 기기와 스테이션레벨과의 인터페이스기능을 맡는다.

베이컨트롤러와 보호릴레이장치는 고속·광전송기술을 적용한 변전소프로세스버스를 통하여 기기와의 인터페이스용 기기근방설치 프로세스 I/O 노드와 RIO(Remote I/O)시스템과 결합되어 디지털네트워크기술로 기기정보를 수집하여 제어지령을 출력한다. 따라서 종래의 수천본이나 되는 제어케이블 대신, 광파이버 수본의 접속형태로 되어 대폭적인 코스트다운이 가능한 시스템으로 된다.

(3) 프로세스레벨

변전소의 1차기기(개폐기, 변압기 등)에 가장 가까운 레벨에 위치하여 직접기와 인터페이스하는 장치로 CT/VT 등의 전압·전류정보의 입력단말, 개폐기의 제어출력부, 각종센서와의 인터페이스부가 해당된다.

이 프로세스레벨의 장치와 베이레벨의 장치는 종래에는 수천본의 제어케이블로 접속되어 있었으나 금후의 변전소 형태에서는 광파이버 등을 사용한 고속 네트워크(프로세스레벨 LAN)가 사용된다. 그 결과 전력기기의 상세한 정보가 디지털정보로서 고정도로 수집될 수 있어 전력계통의 고도 운용·보전에 유효활용될 수 있다.

또한 통상적인 변전소건물에 설치되는 고도의 정보제어 기능을 갖는 베이컨트롤러와 보호릴레이의 입출력부를 분리하여 기기근방에 배치함으로써 건물스페이스의 삭감, 야간이나 풍우·강설 때도 장치 보수가 가능한 분산 시스템 구성을 적용할 수 있고 또한 설비구축 코스트의 대폭적인 저감을 도모할 수 있다.

이 프로세스레벨에는 라이프사이클기간이 긴 1차기기가 있는 기존변전소의 리뉴얼과 고도화어프로치에서부터 신설변전소까지 여러 가지 고도화어프로치가 있어, 인텔

리전트한 RIO 시스템에서 ECT/EVT로부터의 디지털 전압·전류정보 등의 시간동기기능을 갖는 국제표준 IEC에 준한 고속프로세스버스(Melplexus Bus)가 적용될 수 있다. 당연히 이것은 다중화구성도 가능하며 장래 RIO시스템에서 변전소프로세스 버스시스템으로의 이행·확장도 용이하게 할 수 있는 아키텍처를 갖고 있다.

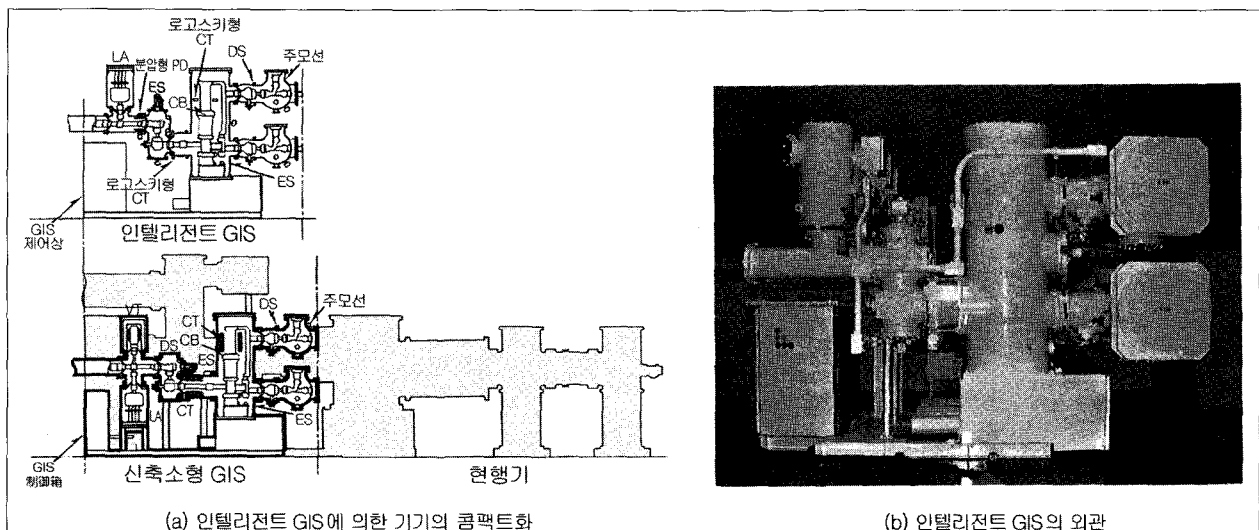
나. 인텔리전트 변전소시스템 구성

변전소기기와 구성전자기기(Intelligent Electric Device : IED), 보호장치, 프로세스버스 및 변전소자동화시스템을 조합한 통합시스템을 신축의 소형 300kV GIS에 적용하였다. 그 외형과 외관을 그림 5에 표시한다.

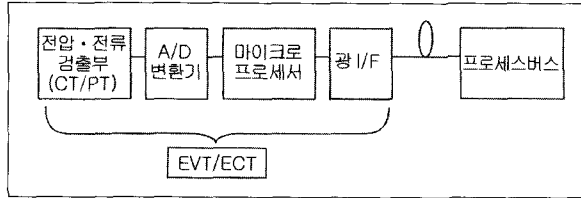
기기의 정보는 프로세스레벨에서 디지털화되어 필요한 정보는 변전소에서 커뮤니케이션 네트워크를 통하여 배신된다. 변전소의 전압·전류정보, 기기의 조작상황, 이상정보 등을 요구에 따라 가공·발신하며 기기의 상태에 따라 기기의 점검시기를 적절하게 정함으로써 기기관리 코스트를 종합적으로 삭감할 수 있다.

(1) 디지털네트워크 대응 소형 CT/VT

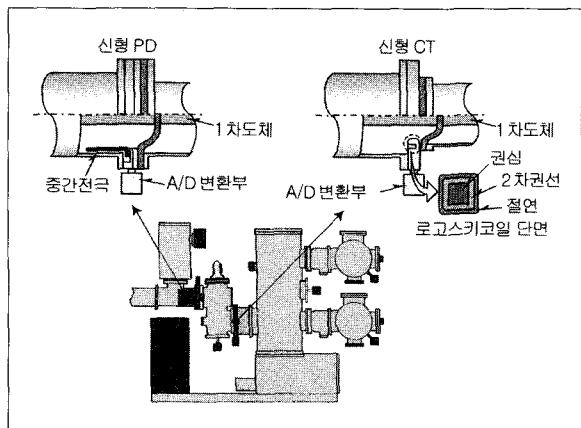
풀디지털화 대응을 위해 로고스키 CT 및 분압형 PD



<그림 5> 300kV GIS에의 적용형태



〈그림 6〉 CT/VT의 기능도



〈그림 7〉 CT/VT의 설치 형태

(Potential Device)를 채용하고 CT/PD 출력을 AD 변환하여 디지털신호로 하여 CT/VT의 부담에 대한 고려를 불필요하게 함으로써 소형화를 달성하였다. 디지털화된 전압·전류신호를 국제표준의 고속범용 네트워크 기술을 적용한 “변전소 프로세스버스”로 감시제어장치·보호장치에 전송한다(그림 6 참조).

설치 형태를 그림 7에 표시한다.

(2) 변전소 프로세스버스

그림 4에 표시하는 변전소 구내의 프로세스레벨의 네트워크로서 고속의 범용LAN 기술을 적용하였다. 이 네트워크에서는 Plug & Play, 시간동기기능이 가능하며, 전압·전류정보, 개폐기와 센서 등의 정보를 자유로이 배신한다. 네트워크는 광파이버로 결합되어 각 장치의 내환경성을 높여, 장치의 배치를 기기근방에서 제어건물까지 배치를 자유롭게 할 수 있도록 했다. 이번에 보호릴레이

와 조합하여 동작을 확인하였다.

(3) 개폐극위상제어차단기 개발

차단기의 개폐서지, 변압기투입시의 인러시전류 억제 등의 경제적인 수단으로서 차단기를 전압의 특정위상 또는 전류의 특정위상에서 개폐하는 개폐극위상제어(開閉極位相制御)차단기를 개발하였다.

(4) 기기센서의 소형화

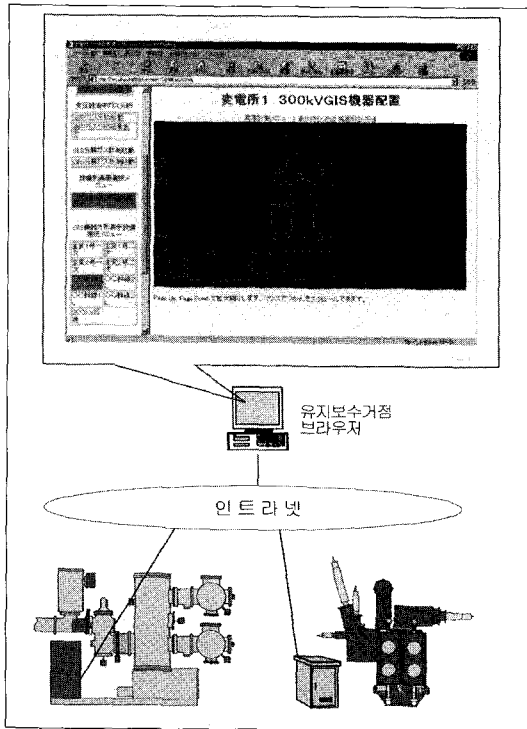
기기의 상태감시정보를 설비관리·공사계획에 반영하는 등 정보를 더욱 활용함으로써 경영의 효율화에 공헌할 수 있다. 기기감시방식으로서 각종 메뉴가 제안개발되어 왔으나 경년기기 대응을 고려하면 기설기기에 쉽게 설치할 수 있도록 하는 것이 중요하며, 기설변전소 등에서 변전소내의 정보시스템을 구축할 수 없을 경우에 리모트메인터넌스를 할 수 있도록 할 필요가 있다.

이들의 요구에 응하기 위하여 소형으로 기설기기에다 설치하기 쉬운 다음과 같은 센서를 개발하였다.

- GIS 하이브리드센서
- 변압기용 유증가스분석센서

(5) 설비관리지원시스템

기기모니터링 시스템은 CBM 적용에 의한 라이프사이클코스트 저감책으로 유효하고 또한 기기사고개소의 조기지정에도 유효하다. 사고개소의 인식에는 기기도면 데이터 등 각종 데이터베이스와의 결합으로 한층 더 효력을 발휘한다. 이번에는 모니터링시스템정보, 릴레이정보 및 도면정보를 유기적으로 조합하여 변전소서버에서 기기감시정보를 데이터베이스화하는 기능과 데이터를 시판 브라우저소프트웨어를 사용하여 표시하는 데이터생성기능이 있는 시스템을 개발하였다. 그림 8에 표시하는 것과 같이 인트라넷을 통하여 원격의 보수거점 등에서 CAD도면상에서의 사고구간의 표정결과 또는 센서의 검출치를 브라우저로 볼 수 있어, 정보의 조기수집과 대응의 신속



〈그림 8〉 사고구간 표정도 예

화를 기할 수 있다. 또 변압기의 유증가스분석장치를 원격에서 기동시켜 측정치, 진단결과를 볼 수도 있다.

(6) 소프트웨어 인터록

종래, 기기 개발시 등에 인터록은 기기접점의 조합으로 실현하고 있었다. 이 때문에 증설 등 구성변경시에는 보조접점의 추가와 결선의 추가가 필요하였다. 이번에는 RIO에 의해서 기기의 개발상황을 디지털정보화함으로써 소프트웨어로 인터록을 구성하는 방식을 채용하였다.

(7) 전자회로기기의 현지제어반에의 일괄수납

각종 전자회로기기를 현지반(盤)에 수납함으로써 결선량의 삭감과 제어건물스페이스의 삭감을 달성할 수 있다.

나. 운용의 유연성

기기의 유효활용 방책으로서 주위온도조건 등을 고려

하여 일시적으로 과부하운전을 하는 다이내믹로딩이 CIGRE에서 제안되고 있다. 주로 변압기에서 과부하운전 가능성이 검토되고 있는데, 이것을 실현하기 위해서는 부하의 계속 시간과 주위조건에 대한 모델의 구축과 리얼타임으로 주위조건을 검출하는 모니터링시스템이 필요하다. 이번에 변압기의 모델 개발과 시뮬레이션기술로 변압기의 과부하운전 검토시스템을 개발하였다.

4. 금후의 동향

이번에 인트라넷 등의 정보기술과 GIS 변압기 등의 기기기술을 종합적으로 검토함으로써 기기레벨에서 상위의 운용레벨까지 일관된 최적시스템을 구축하였다. 전력시스템의 운용은 에셋 매니지먼트의 관점에서 설비관리시스템, 공사관리시스템, 경리시스템과 변전소정보에서 한층 더 통합화가 도모되고 전력의 운용상황·품질정보도 차후 상세한 정보가 요구되리라고 생각한다. 그리고 인트라넷기술, 네트워크기술의 앞으로의 진보와 더불어 인텔리전트 변전소시스템은 더한층 효과가 나타날 것이다. 또 인텔리전트 변전소시스템에서 개발한 기술을 시설기기에 부분적용함으로써 운용의 효율화를 기하고 시설변전소의 고도화를 도모할 수 있다.

이번에는 GIS에의 적용을 중심으로 소개하였는데, 변전소의 동향을 보면 개폐기기는 세계적으로 볼 때 AIS(기중절연기기)가 많이 사용되고 있다. AIS시장에의 대응으로서 이번의 개발성과를 하이브리드형 GIS에 적용함으로써 인텔리전트 변전소기술의 광범위한 적용을 목표로 하고 있다.

이 원고는 일본 三菱電機技報에서 번역, 전제한 것입니다. 본고의 저작권은 三菱電機(株)에 있고 번역책임은 대한전기협회에 있습니다.