

변전소 자동화 시스템의 구성 및 개발 사례

이 학 성

(주)효성 중공업연구소 전력팀장

1. 머리말

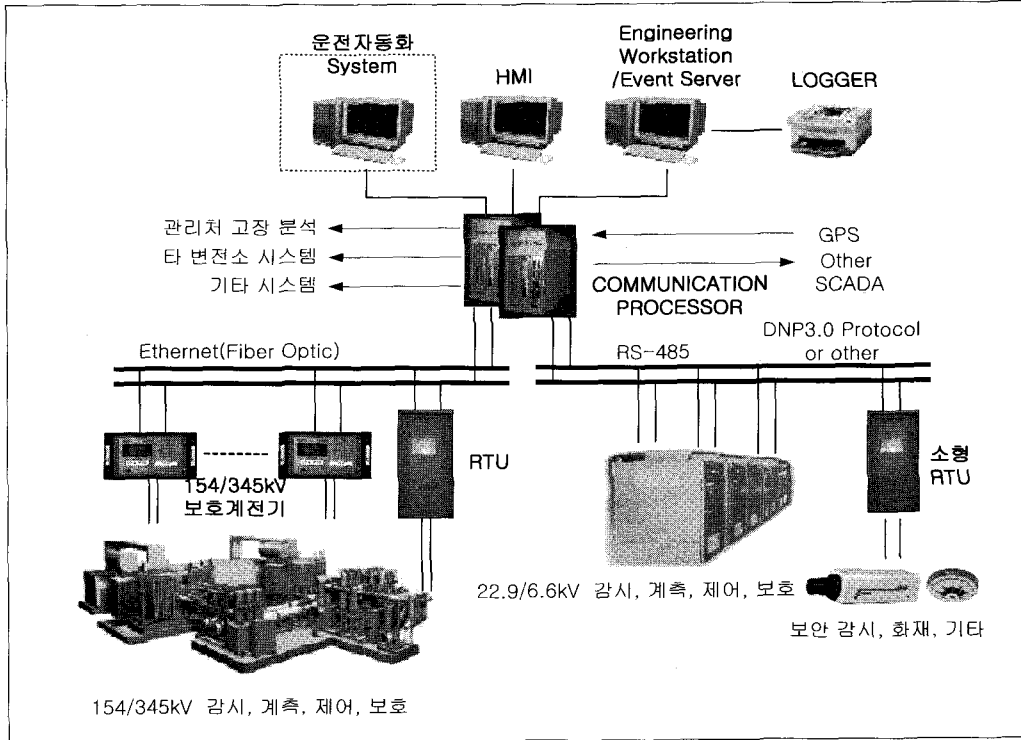
최근의 전세계적인 비즈니스 환경의 변화는 기업 환경에 있어서 다운사이징(down sizing), 리사이징(resizing) 및 구조개편(restructuring)을 요구하고 있다. 이러한 변화는 전력 유틸리티 분야에도 예외 없이 영향을 미치고 있으며 이미 북미 전력시장에서 독과점 철폐 및 자율경쟁 정책(Deregulation)으로 나타난 바 있다. 이는 향후 국내 전력시장에도 강력한 시장 경쟁체제로의 전환이 불가피한 것임을 예고한다고 할 수 있다.

이러한 유틸리티의 변화된 환경에서는 경쟁력 확보가 가장 중요한 요소라 할 수 있으며, 원가 절감과 함께 대량 정보의 신속한 실시간 처리 가능 여부가 이러한 경쟁력을 확보하는 핵심 요소라 할 수 있다. 이러한 필요조건을 충족시키기 위해 현장에서는 이미 새로운 개념의 변전소 자동화 시스템(SAS-Substation Automation System)이 도입되고 있다.

SCADA 시스템(Supervisory Control And Data Acquisition System)은 컴퓨터와 네트워크 기술의 발달에 의해 가능하게 된 실시간 정보 수집·처리·분석 및

제어 기능들을 다양한 산업 현장에 적용하여 경제적이고 안전하게 설비를 종합 운용하도록 해주는 시스템으로 자동화의 기반이 되는 시스템을 말한다. 이러한 SCADA 시스템을 변전소의 전력공급 시스템에 적용하는 경우, 이를 전력 SCADA 시스템 또는 전력 감시제어 시스템이라 한다. 전력 감시제어 시스템은 크게 현장의 다양한 기기들로부터 데이터를 취득하여 상위로 전달하는 부분(FEP-Front End Processor 또는 I/O 서버)과 감시 및 데이터 처리와 사용자 인터페이스를 담당하는 마스터 스테이션(Master Station) 부분 및 두 부분의 원활한 데이터 교류를 가능하게 하는 통신부로 구성되어 있다. 최근의 디지털 프로세스 기술의 발전은 신뢰성 있는 고속의 보호 제어 기능 및 통신 기능을 갖춘 지능형 디지털 보호계전기(Digital Relay)의 등장을 가능하게 하였으며 이러한 디지털 보호계전기의 등장은 고속의 설비 보호, 신뢰성 있는 기기 제어 및 변전소의 실시간 운전 정보 취득을 가능하게 하였다.

변전소 자동화 시스템이란 디지털 보호 계전기를 포함하는 디지털 IED(Intelligent Electronic Device)와 감시 제어 시스템을 주축으로 변전소 운전 정보 취득과



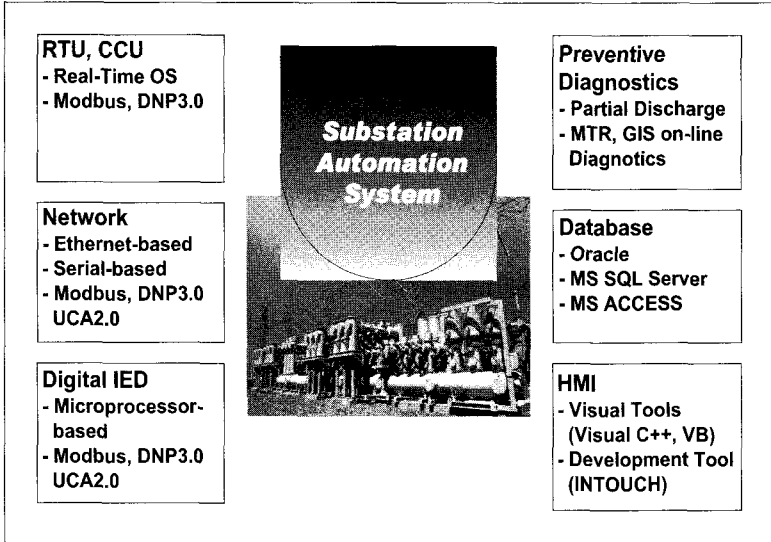
〈그림 1〉 표준 변전소 자동화 시스템

감시제어 설비 및 자동 운전 프로그램을 연계하여 인력 수요를 최소화하는 변전소의 종합 자동화 운전 체제 구축을 위한 시스템으로 변전소 운영의 의사 결정(operational decision)을 위한 실시간 정보 취득 및 관리 시스템으로 정의될 수 있다. 기존의 전력 SCADA 시스템이 데이터 취득(data acquisition)을 위한 시스템인 것에 반하여 변전소 자동화 시스템에서는 이러한 기능이 변전소 내의 데이터 취득을 포함한 종합적인 데이터 관리(Data Management)로 확장된다. 그림 1은 일반적인 변전소 자동화 시스템의 구성도를 나타내고 있다.

기존의 변전소 자동화는 이미 자동 개폐(automatic reclosing), 자동 버스 분할(automatic bus sectionalizing), 자동 부하 전환(automatic load transfer) 및 콘덴서 스위칭(capacitor switching) 등의 여러 기능들

을 수행해 왔다. 과거의 이러한 기능들은 제어 패널, 다수의 릴레이, 스위치, 미터, 변류기(Transducer) 등의 아날로그 기기 조합과 복잡한 케이블 연결을 통하여 구현되었다.

최근의 마이크로프로세서 기술과 IT기술의 발전은 변전소 자동화 시스템에 있어 디지털 릴레이로 대표되는 디지털 IED의 출현과 이를 간략하게 하나로 묶을 수 있는 고속 통신망을 가능하게 하였다. 이러한 마이크로 프로세서 기반의 지능 디바이스와 새로운 통신 기술은 앞서 살펴보았던 기존의 기능들을 한단계 뛰어 넘어, 이미 더욱 많은 정보에 대한 보다 신속한 처리를 가능하도록 하여 변전소 자동화 시스템의 성능 및 신뢰도를 향상시키는 견인차 역할을 하고 있다. 그림 2는 이러한 변전소 자동화 시스템의 주요 구성 요소를 나타내고 있다.



〈그림 2〉 변전소 자동화 시스템의 주요 구성 요소

변전소 자동화 시스템은 궁극적으로 빠르게 변화하는 시장 환경속에서 비용 절감을 통한 경쟁력 확보를 목표로 하고 있다. 이를 위해 내부적으로 향상된 데이터 접근을 통한 신속한 사고인지 및 의사 결정이 가능하도록 하여야 하며, 외부적으로는 개방형 시스템(Open System)을 추구하여 유지 보수 및 확장이 용이하도록 하여야 한다. 본고에서는 변전소 자동화 시스템의 각 구성 요소별 최신 기술 동향에 대해 살펴보고 실제 개발되어 현장에 적용되는 시스템에 대한 소개를 통해 그 이해를 돕고자 한다.

2. 변전소 자동화 시스템의 구성 요소

앞서 살펴본 바와 같이 변전소 자동화 시스템을 구성하는 핵심 요소는 다음과 같이 세 가지로 요약될 수 있다.

첫째는 디지털 IED로 변전소의 다양한 운전 정보를 취득하고 제어 및 보호하는 역할을 담당한다. 디지털 IED는 디지털 보호계전기(Digital Relay), 디지털 미

터(Digital Meter), 디멘드 컨트롤러(Demand Controller) 등의 필드 디바이스들을 포함한다.

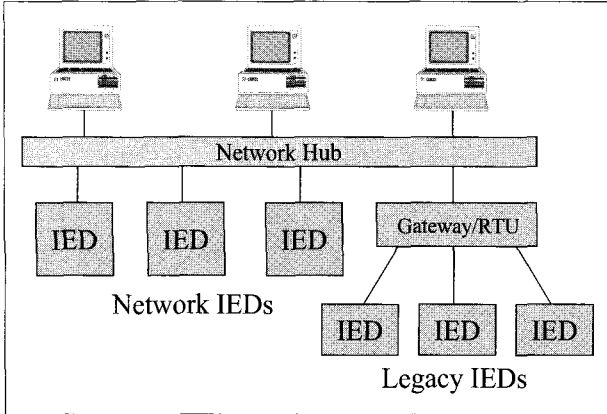
둘째는 감시 제어 시스템으로, 현장의 다양한 IED를 통해 취득된 정보를 상위로 전송하는 네트워크 통신망과 이를 사용자가 인지할 수 있도록 표시해주는 사용자 인터페이스로서의 HMI(Human and Machine Interface), 데이터 저장과 이벤트 및 보고서 관리를 위한 데이터베이스 서버(Database Server) 등을 포함한다.

셋째는 자동 운전 프로그램으로 취득된 변전소의 운전 정보 및 상태 데이터를 토대로 변전소 전체의 운영을 통합 관리할 수 있는 지능형 S/W로 구현된 전문가 시스템이라 할 수 있다.

변전소의 완전한 무인 운전을 위한 궁극의 변전소 자동화 시스템은 위 세 가지 요소가 모두 구현된 시스템이어야 하나 일반적으로는 보호, 감시 제어 측면에서 IED와 감시제어 기능만을 결합한 시스템을 변전소 자동화 시스템이라 정의하고 있다. 또한, 마이크로 프로세서의 발달로 IED상에서의 복잡하고 다양한 기능(multi-functionality) 및 로직들의 구현이 가능함에 따라 분산 지능(Distributed Intelligence)의 개념으로 이와 같은 접근이 더욱 설득력을 얻어 가는 추세이다.

가. Digital IED(Intelligent Electronic Devices)

마이크로프로세서 기반의 IED는 크게 데이터 획득, 기기 보호, 계측 그리고 제어의 기능을 갖는다. 이러한 기능들은 변전소 자동화를 이루기 위한 필수 기능들이라 할 수 있으며, 최신 보호계전기들은 보다 빠른 속도의 보호 제



〈그림 3〉 네트워크 IED를 채용한 변전소 자동화 시스템

어기능 외에도 이벤트, 폴트(fault)와 왜란(disturbance)에 대한 저장 및 분석 기능과 자기진단 기능을 제공하고 있다.

IED에 관한 최근의 기술 동향은 UCA2.0과 같은 객체지향 통신 기능 지원을 통한 상호 운용성(interoperability) 증대를 통해 RTU를 중심으로 한 집중형 지능 시스템이 아닌 LAN에 직접 연결된 분산형 지능 시스템(Distributed Intelligent System)이 가능하도록 함으로써 보다 많은 편의성 및 확장성(scalable system)을 제공하면서도 시스템 성능을 최대화할 수 있는 방향으로 이루어지고 있다.

하드웨어와 소프트웨어 기술의 발전은 네트워크 IED라는 차세대 IED의 등장을 가능하게 하였으며, Ethernet과 계전기 간 통신(peer-to-peer communication)을 기본적으로 지원하는 이러한 IED들은 변전소 자동화 시스템의 중간 계층을 흡수하여 보다 간략하고 확장이 용이하면서도 신뢰성 높은 시스템 구성을 가능하게 할 것으로 예상된다(그림 3 참조).

나. FEP(Front End Processor)

FEP는 하위 기기와 상위 시스템간 통신 기능 및 프로

토콜 변환 기능을 담당하는 통신 프로세서(Communication Processor)의 일종이라 할 수 있다. FEP의 구현은 I/O 서버 형태의 PC기반 시스템 또는 CCU(Central Communication Unit) 형태의 실시간 OS를 채택한 전용 프로세서 기반의 시스템 구성이 가능하다. 데이터 가공 능력 및 유연성과 확장성 측면에서는 전자쪽이, 통신 속도와 신뢰성 및 효율성 측면에서는 후자쪽이 유리하다고 할 수 있다. 이는 적용 대상에 따라 선택 가능하며 최근의 PC 기술의 발전은 성능 및 안정성 측면에서의 많은 발전을 보여주고 있다.

FEP의 구현을 위해서는 MODBUS, DNP3.0, UCA2.0 등의 표준 통신 프로토콜 및 아키텍처의 적용에 대한 연구와 표준 통신 드라이버에 대한 연구가 필요하다.

다. RTU(Remote Terminal Unit)

RTU는 현장에 설치되어 시스템 말단의 디지털 보호 계전기, 디지털 미터의 각종 IED 그리고 상태 접점(DI)으로부터의 각종 정보 및 아날로그 데이터(AI)를 수집하고 가공하여 이를 상위 시스템으로 전송하는 데이터 수집 및 입력 기능(data acquisition and input)과 상위로부터의 제어 및 기타 명령을 하위 IED로 전달하는 데이터 출력 기능(data output)을 담당하며 디지털 보호계전기와 함께 변전소 자동화 시스템을 구성하는 가장 일반적인 장비라 할 수 있다.

이러한 RTU의 I/O 기능은 최근 네트워크 IED의 등장으로 점차 축소되어 가고 있으며 점차 단일 DB에 이종의 기존 IED 및 접점 정보를 하나로 묶는 데이터 집중(Data Concentration) 유닛으로서의 기능이 강화되고 있는 추세이다.

라. HMI

대규모 시스템의 경우 다양한 하드웨어 및 소프트웨어

의 구성으로 이루어질 수 있으며 이의 통합 및 관리는 매우 중요하다고 할 수 있다. 사용자 인터페이스와 통합된 시스템 운영을 위한 HMI는 대부분 개방형 시스템으로 설계되어 외부의 시스템, 사용자 응용 프로그램, 상용 패키지들과의 데이터 교환을 지원하는 추세이다.

PC를 기반으로 하는 OLE(Object Linking and Embedding) Automation으로 대표되는 개방형 시스템의 이점은 이러한 시스템에 대해 유연성과 확장성을 제공한다는 것이다. 프로그래밍 기법에 있어서도 소프트웨어의 컴포넌트 오브젝트화와 함께 OLE 기술의 발전이 두드러진다. DDE(Dynamic Data Exchange)를 기반으로 시작되어 OLE1과 OLE2로 개선된 이 시스템은 COM(Component Object Model)으로 발전되고 다시 COM+ /DCOM(Distributed COM), ActiveX 컨트롤이라는 표준화된 기술로 적용되고 있다. 인터넷에 대한 관심의 증대와 함께 JAVA, XML을 사용한 인터넷 지원도 보편화되고 있는 추세이다.

HMI의 개발 방법은 크게 Visual RAD Tool (Visual C++, Visual Basic)을 사용하여 개발하는 방법과 상용 개발툴(InTouch 등)을 이용하여 개발하는 방법으로 나누어 볼 수 있다.

HMI의 최신 기술 동향을 정리하면 다음과 같다.

- 객체지향형 설계방식의 채용
- 개방형 시스템에 적합한 표준 기술의 사용
- 인터넷/인트라넷 환경의 지원
- 확장성을 고려한 기능별로 모듈화된 시스템 구현
- 사용자 편의성과 안정성을 우선 고려

마. 시스템 이중화

과거 시스템 개발의 주요 관심사는 기능(functionality)과 성능(performance)이었다. 그러나, 최근의 H/W 기술의 발전은 개발자로 하여금 이러한 과거의 강박관념에

서 어느 정도 벗어나 안정성에 보다 많은 관심을 기울일 수 있는 환경을 제공해 주게 되었다. 아울러, 표준 통신 프로토콜을 지원하는 장비의 보급으로 경제성 측면에 있어서도 많은 부담을 덜어 안정성이 시스템 구성 및 운영의 가장 중요한 척도가 되었다.

안정성 확보를 위해 시스템 측면에서 접근할 수 있는 방법은 시스템을 이중화하는 것이다. 이중화는 고속의 대용량 네트워크의 발전과 함께 시스템의 안정성을 확보하기 위한 중요한 요소로 인식되고 있다.

이중화는 크게 네트워크 라인의 이중화, 서버의 이중화, 컨트롤러의 이중화로 나눌 수 있는데, 이 세 가지 요소가 모두 만족될 때 진정한 이중화 시스템이 구축되었다고 할 수 있다.

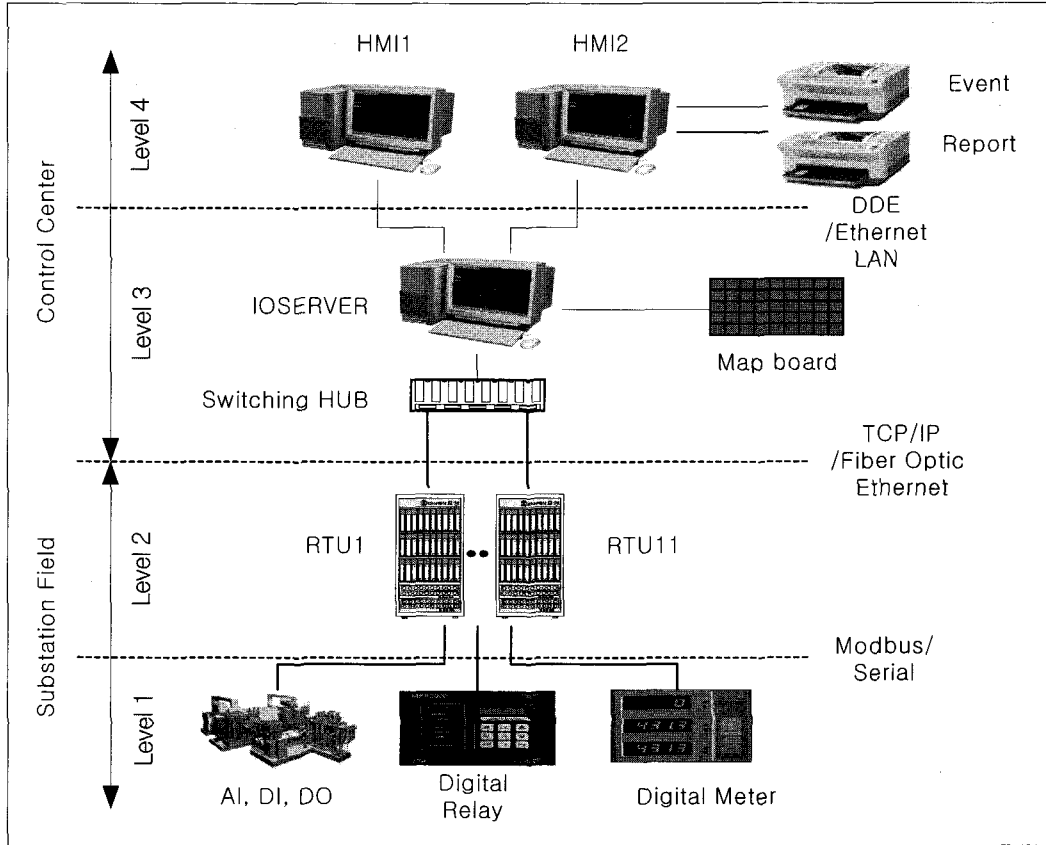
3. 변전소 자동화 시스템 개발

가. 전체 시스템 구성

MTR 2bank, 154kV급의 변전소에 적용된 개발 시스템의 전체 구성도는 그림 2와 같다. 시스템의 주요 요구 조건은 다음과 같다.

- 기존 아날로그 시스템과의 호환성 유지
- 디지털 보호계전기 및 미터는 RS485통신을 지원
- 각 지역 변전소를 사령실에서 통합 관리
- 모자이크보드와의 인터페이스
- 외부 호스트 서버와의 인터페이스

시스템은 그림 4와 같이 전체 4계층으로 구성되며 표 1과 같은 사양을 갖는다. 레벨1 계층과 레벨2 계층은 지역 변전소에 설치된 부분이며 레벨3과 레벨4는 변전소 사령실(그림 5 참조)에 위치한다. 디지털 보호계전기 및 디지털 미터와 RTU와의 통신은 MODBUS 프로토콜의 시리얼 통신을 사용하였으며 필드와 사령실 간의 통신은 최대 1km 정도의 거리와 현장의 노이즈로 인한 데이터

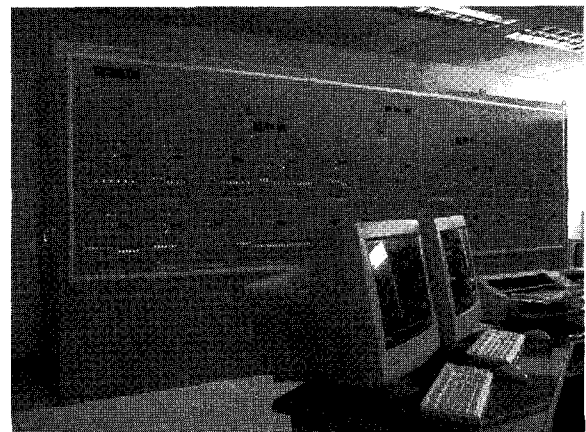


〈그림 4〉 전체 시스템 구성도

〈표 1〉 시스템 사양

항 목	수 량	비 고
Digital Relay	70ea	P&B
Digital Meter	57ea	Circuitor
RTU	11ea	MC68040+MC68360
IOSERVER	1set	IPC PIII-800
HMI	2set	IPC PIII-800
전체 Pt. 수		3370Pts.

손실을 막고 신뢰성을 확보하기 위해 광 Ethernet으로 연결되었다. 사령실 내의 기기간 연결은 스위칭 허브를 통해 TCP/IP Ethernet LAN을 사용하고 있다.



〈그림 5〉 사령실 내부 모습

나. RTU(Remote Terminal Unit)

시스템 말단의 디지털 보호계전기, 디지털 미터의 IED 그리고 상태 접점(DI)으로부터의 각종 정보 및 아날로그 데이터(AI)를 수집하고 가공하여 이를 상위 시스템(I/O 서버)으로 전송하며 상위로부터의 제어 및 기타 명령을 하위 IED로 전달하는 기능을 한다. 본 시스템에는 디지털 보호계전기 및 미터가 장착되어 있는 패널의 설치장소 및 포인트 별로 총 11대의 RTU가 사용되었다. 본 시스템에 적용된 RTU는 모두 6개의 통신 포트를 가지고 있으며 하위와는 시리얼 기반의 MODBUS, 상위와는 Ethernet 기반의 TCP/IP 통신을 지원하고 있다.

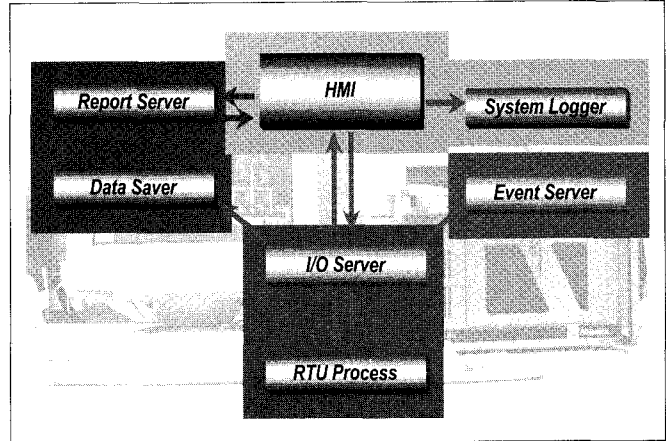
다. I/O 서버

IPC(Industrial PC)로 구현된 I/O 서버는 하위 RTU와 상위 HMI간 통신 기능 및 프로토콜 변환 기능을 수행한다. 또한, RTU로부터 전송되는 Raw 데이터를 가공하여 HMI 및 기타 다른 클라이언트로 전송하는 기능을 담당한다. I/O 서버의 기능을 요약하면 다음과 같다.

- HMI로 태그별 각종 계측 정보 전송
- Raw 데이터 가공(scaling 및 data processing)
- 프로토콜 변환
- 맵보드와의 인터페이스
- 호스트 시스템과의 인터페이스
- 이벤트 서버와의 인터페이스
- 각종 스케줄링 기능 수행

라. HMI 및 Event Server

HMI는 통신을 통해 전송된 각종 계측 및 CB On-



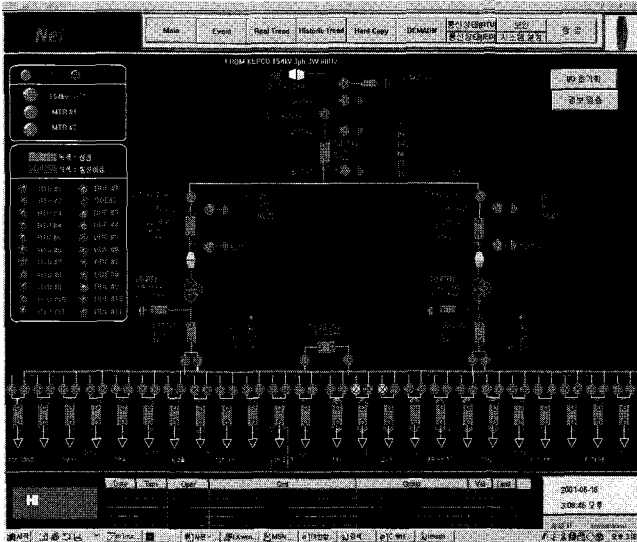
〈그림 6〉 HMI의 분산 프로세스

Off 등의 상태 정보를 화면에 표시하여 그림 6과 같은 분산 프로세스를 통해 전체 시스템을 감시할 수 있는 기능과 통신을 통한 원격 CB 제어 기능을 제공한다. 또한, 실시간 트렌드 화면을 통하여 데이터의 실시간 경향을 분석할 수 있으며 이력 트렌드 화면을 통해 사고 및 시스템 이상 발생시 그 원인 분석이 가능하다.

- 계통 단선도 화면(그림 7, 8 참조)
- 알람/이벤트 표시 화면
- CB 이벤트/사고 실시간 이력 화면
- 아날로그 데이터 실시간/이력 트렌드 화면
- 릴레이 상태/정보화면 및 시스템 상태 정보화면
- 디멘드 표시 화면
- 리포트 관리 화면

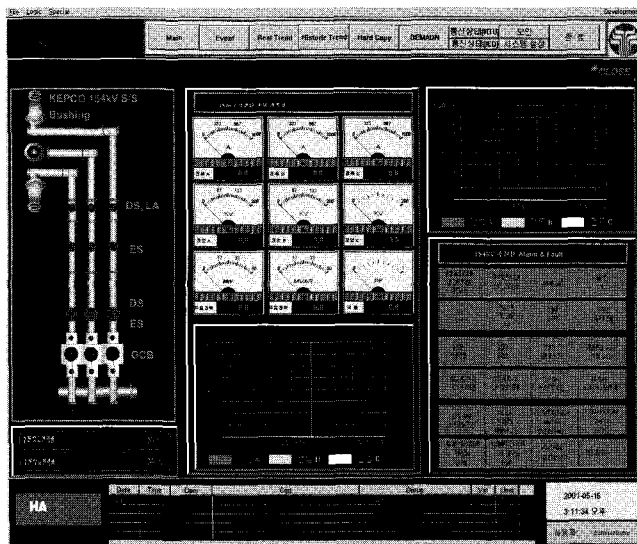
이벤트 서버(Event Server)는 보호계전기의 주요 이벤트 및 Fault 발생시 이를 실시간으로 운영자에게 알려 인지시키고 이를 데이터베이스에 저장함으로써 이벤트에 대한 검색 및 체계적인 관리가 가능하도록 한다.

데이터 서버는 각종 계측 및 상태 정보를 주기적으로 데이터베이스에 저장하여 일보/월보 등의 각종 보고서를 위한 데이터를 제공하는 역할을 담당한다. 아울러 리포트



〈그림 7〉 HMI 메인 GUI

관리자(Report Manager)는 데이터베이스에 저장된 데이터를 사용자가 지정한 일보/월보 양식에 맞게 출력해주는 기능을 담당하며 양식에 대한 사용자 편집 기능을 제공한다.



〈그림 8〉 154kV 수전단 서버 GUI

마. 디멘드 컨트롤러(Demand Controller)

이 시스템은 자체적으로 최대 수요전력 제어기라 불리는 S/W 기반의 디멘드 컨트롤러를 내장하고 있다. 디멘드 컨트롤러는 사용중인 전력을 15분 단위로 모니터링하여 목표전력을 초과할 가능성이 있는 경우 경보를 출력한다. 또한, I/O 서버의 전력 데이터를 분석하여 운영자에게 그래픽으로 분석 내용을 표시하며 디멘드값을 변경하는 경우 HMI에 신호를 보내어 운영자가 수동 또는 자동으로 부하량을 조절할 수 있도록 할 수 있다. 일시적인 대부하가 발생하여도 디멘드 시한의 나머지 시간 동안에 부하 저감을 하면 디멘드를 목표값에 수납할 수 있다.

4. 맺음말

본고에서는 변전소 자동화 시스템을 정의하고 시스템을 구성하는 중요 요소와 최신 기술 동향에 대해 살펴보았다. 아울러 현장에 적용된 변전소 자동화 시스템의 실례를 소개하여 이에 대한 구체적 이해를 돕고자 하였다. 변전소 자동화 시스템은 지능형 분산 시스템과 강력한 네트워크 통신을 지원하는 IED의 등장으로 기존의 단순 감시 제어만을 목적으로 하는 SCADA 시스템에서 변전소의 무인 운영을 위한 종합 감시제어 시스템으로 발전되어 가고 있다고 할 수 있다. 아울러 이러한 시스템의 구현을 위해서는 표준 통신 프로토콜을 도입하고 계전기 간 상호운용성(interoperability)을 증대시킬 수 있는 신뢰성 있는 어플리케이션의 개발이 필요하다고 할 수 있다.