

**변전소 자동화 시스템의 구성 및 개발 사례**

유정식, 이관한, 최대희, 최용범, 이학성  
(주)호성 중공업연구소 전력팀

**A Structural Approach and Deployment of a Substation Automation System**

Jeong-Sik You, Kwon-Han Lee, Dae-Hee Choi, Yong-Bum Choi and Hak-Sung Lee  
Hysong Corporation, Rower System Team, R&D Institute

**Abstract** - This paper describes the definition of a substation automation system and presents core components and its layered structure based on the modular approach. Also it introduces the implementation and deployment of our substation automation system which was adopted to the field recently.

**1. 서 론**

SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition System) 시스템은 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 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 보호계전기의 등장을 가능하게 하였으며 이러한 디지털 보호계전기의 등장은 고속의 설비 보호, 신뢰성 있는 기기 제어 및 변전소의 실시간 운전 정보 취득을 가능하게 하였다. 변전소 자동화 시스템(SAS-Substation Automation System)이란 이러한 디지털 보호계전기를 포함하는 디지털 IED(Intelligent Electronic Device)와 감시 제어 시스템을 주축으로, 변전소 운전 정보 취득과 감시제어 설비 및 자동 운전 프로그램을 연계하여 인력 소요를 최소화하는 변전소의 종합 자동화 운전 체제 구축을 위한 시스템이라 할 수 있다.

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 미터(Digital Meter), 디맨드 컨트롤러(Demand Controller), 베이 컨트롤러(Bay Controller) 등의 펠드 디바이스들을 포함한다.

둘째는 감시 제어 시스템으로, 현장의 IED를 통해 취득된 계측 정보를 상위로 전송하는 네트워크 통신과 이를 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 운영을 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. 본 논문에서는 이와 같은 변전소 자동화 시스템을 구성하는 요소들에 대해 자세히 살펴보고 실제 개발되어 현장에 적용된 시스템에 대한 소개를 통해 그 이해를 돕고자 한다.

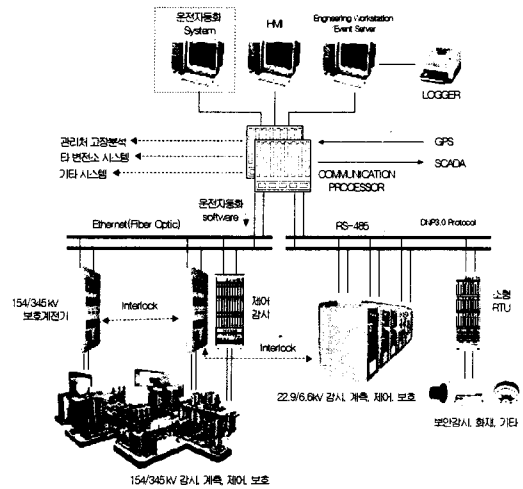


그림 1. 표준 변전소 자동화 시스템

**2. 본 론**

**2.1 변전소 자동화 시스템의 구성 요소**

**2.1.1 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 제어기능 외에도 이벤트, Fault 와 왜란(disturbance)에 대한 저장 및 분석 기능을 제공한다. IED에 관한 최근의 기술 동향은 UCA2.0과 같은 객체

지향 통신 기능 강화를 통한 상호 운용성(interoperability)의 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 유연성을 제공하면서도 시스템 성능을 최대화할 수 있다는 것으로 요약될 수 있다.

하드웨어와 소프트웨어 기술의 발전은 네트워크 IED라는 차세대 IED의 등장을 가능하게 하였으며, Ethernet을 기본적으로 지원하는 이러한 IED들은 변전소 자동화 시스템의 중간 계층을 흡수하여 보다 간략하고 확장이 용이하면서도 신뢰성 높은 시스템 구성을 가능하게 할 것이다.

### 2.1.2 FEP(Front End Processor)

FEP는 하위 기기와 상위 시스템간 통신 기능 및 프로토콜 변환 기능을 담당한다. FEP의 구현은 I/O 서버 형태의 PC기반 시스템 또는 CCU(Central Communication Unit) 형태의 실시간 OS를 채택한 전용 프로세서 기반의 시스템 구성이 가능한데, 데이터 가공 능력 및 유연성과 확장성 측면에서는 전자쪽이 통신 속도와 신뢰성 및 효율성 측면에서는 후자쪽이 유리하다고 할 수 있다. 이는 적용 대상에 따라 선택 가능하다. FEP의 구현을 위해서는 MODBUS, DNP3.0, MMS, UCA2.0 등의 표준 통신 프로토콜 및 아키텍처의 적용에 대한 연구와 통신 드라이버에 대한 연구가 필요하다 할 수 있다.

### 2.1.3 HMI

사용자 인터페이스와 시스템 운영을 위한 HMI는 대부분 개방형 시스템으로 설계되어 외부의 시스템, 사용자 응용 프로그램, 상용 패키지들과의 데이터 교환을 지원하는 추세이다. 대규모 시스템의 경우 다양한 하드웨어 및 소프트웨어의 구성으로 이루어 질 수 있으며 이의 통합은 매우 중요하다고 할 수 있다. 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 적용되어지고 있다. 인터넷에 대한 관심의 증대와 함께 JAVA를 사용한 인터넷 지원도 보편화되고 있는 추세이다. HMI의 최근 발전 동향은 다음과 같이 정리될 수 있다.

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

## 2.2 변전소 자동화 시스템 개발

### 2.2.1 전체 시스템 구성

154kV급의 변전소에 적용된 개발 시스템의 전체 구성도는 그림 2와 같다. 이 시스템은 전체 4계층으로 구성되어지며 표 1과 같은 사양을 갖는다. 레벨1 계층과 레벨2 계층은 변전소 필드에 설치된 부분이며 레벨 3과 레벨 4는 변전소 사령실에 위치한다. 디지털 보호계전기 및 디지털 미터와 RTU와의 통신은 MODBUS 프로토콜의 시리얼 통신을 사용하였으며 필드와 사령실 간의 통신은 현장의 노이즈로 인한 데이터 손실을 막고 신뢰

성을 확보하기 위해 광 Ethernet을 사용하여 TCP/IP로 연결하였다. 사령실 내의 기기간 연결은 스위칭 허브를 통해 TCP/IP Ethernet LAN을 사용한다.

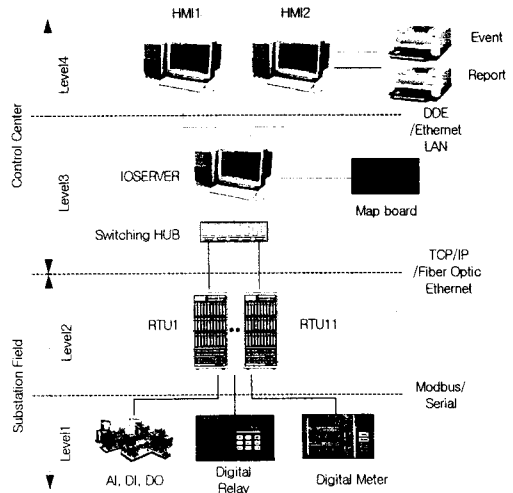


그림 2. 전체 시스템 구성도

표 1. 시스템 사양

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

### 2.2.2 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 판넬의 설치장소 및 포인트 별로 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.

### 2.2.3 I/O 서버

IPC로 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

### 2.2.4 HMI 및 Event Server

HMI는 통신을 통해 전송된 각종 계측 및 CB ON/OFF 등의 상태 정보를 화면에 표시하여 전체 시스

템을 감시할 수 있는 기능을 제공하며 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 발생 시 원인 분석이 가능하다.

- 계통 단선도 화면
- 알람/이벤트 표시 화면
- CB 이벤트/사고 실시간 이력 화면
- 아날로그 데이터 실시간/이력 트렌드 화면
- 릴레이 상태/정보 화면 및 시스템 상태 정보 화면
- 디멘드 표시 화면
- 리포트 관리 화면

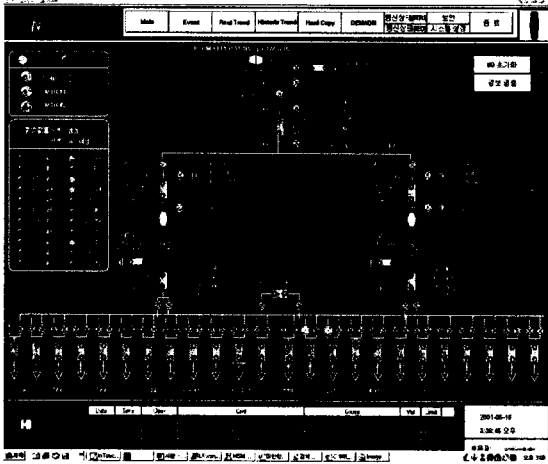


그림 3. HMI 메인 화면

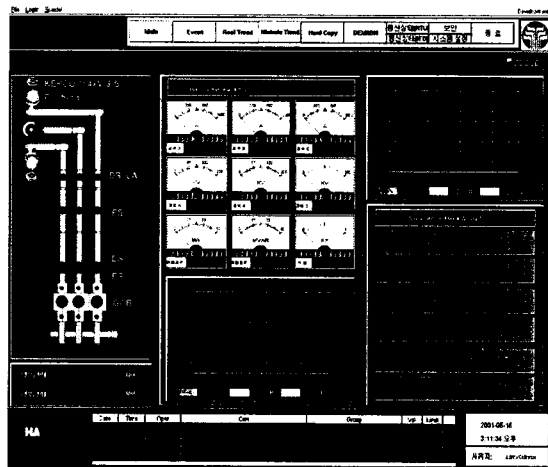


그림 4. 154kV 수전단 서버 화면

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

HPR Event Monitor

Event/Fault 발생시간 표시      Event: 비특정      Fault: 비특정

시작시간: 2001-02-19 15:00:00      종료시간: 2001-02-19 15:00:00      Filter: ALL      검색조건:      검색시작:      검색종료: 22      검색결과: 22      검색조건: 전신으로 구성함LID.

일련	시간	장	이벤트명	장	이벤트명	장	이벤트명
2001-02-19	15:01:14	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	154kV	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:11:36	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	03R 50	Current Trip, "LOCK"	
2001-02-19	15:48:37	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	03R 52	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:48:37	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	03R 53	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:38:08	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	03R 50	Current Trip, "LOCK"	
2001-02-19	15:38:08	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	03R 50	Current Trip, "LOCK"	
2001-02-19	15:38:31	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	03R 50R	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:30:23	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	03R 52R	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:24:42	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	03R 53R	TRIP, "LOCK"	
2001-02-19	15:18:45	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	Power ON	None, None	
2001-02-19	15:18:45	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	Power ON	None, None	
2001-02-19	15:18:45	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	Power ON	None, None	
2001-02-19	15:18:45	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	Power ON	None, None	
2001-02-19	15:18:45	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	Power ON	None, None	
2001-02-19	15:18:45	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	Power OFF	None, None	
2001-02-19	15:18:36	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	Power OFF	None, None	
2001-02-19	15:18:36	3	ER-154 R2	154kV No. 2 FEEDER	Power OFF	None, None	
2001-02-19	15:18:36	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	Power OFF	None, None	
2001-02-19	14:58:13	18	3R-13	22 kV No. 2 MTR VCB	3R 13	None, "LOCK"	
2001-02-19	14:58:12	25	3R-11	FEEDER VCB #6	3R 11	None, "LOCK"	
2001-02-19	14:58:12	2	ER-154 R1	154kV No. 1 FEEDER	3R 11	None, "LOCK"	
2001-02-19	14:58:12	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	3R 11	None, "LOCK"	
2001-02-19	14:45:16	4	ER-TR1	154kV/22 kV MTR #1	CB OFF	None, "LOCK"	

그림 4. Event Recorder 화면

### 3. 결 론

본 논문에서는 변전소 자동화 시스템을 정의하고 시스템을 구성하는 중요 요소에 대해 살펴보았다. 아울러 현장에 적용된 변전소 자동화 시스템의 실례를 소개하여 이에 대한 구체적 이해를 돕고자 하였다. 변전소 자동화 시스템은 분산 지능형 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 계전기간 상호 운용성(interoperability)을 증대시킬 수 있는 어플리케이션의 개발이 필요하다.

### (참 고 문 헌)

[1] 이학성, 홍정기, 최영준, 김보형, "디지털 보호계전기와 변전소 자동화 시스템 개발", 전기학회 춘계 학술대회, p.266 ~p.269, 2001

[2] Dr. Alexander, "Distributed Intelligence in Integrated Substation Protection and Control Systems", ALSTOM T&D document