

## 디지털 보호계전기와 변전소 자동화 시스템 개발

이학성, 홍정기, 최영준, 김보형  
(주)효성 중공업 연구소 전력팀

### A Development of Digital Protective Relays and Substation Automation System

Hak-Sung Lee, Jung-Ki Hong, Young-Jun Choi, Bo-Hyoung Kim  
Hyosung Corporation, Power System Team, R&D Institute

**Abstract** - 컴퓨터 기술과 통신, 네트워크 기술의 발달로 전력설비의 보호방식은 단순한 보호 기능 외에 전체 시스템을 자동으로 보호, 제어하는 추세로 발전하게 되었다. 이러한 새로운 보호개념을 구축하기 위해서는 디지털형 보호계전기와 이를 네트워크로 엮는 통신 기술, 데이터를 취득 가공, 관리하는 데이터 처리 기술이 필수적이다. 본 논문에서는 변전소 자동화 시스템에 필수적인 디지털 보호계전기의 개발 사례와 변전소 자동화 시스템의 네트워크 구성 및 데이터처리 방법을 소개하고 있다.

## 1. 서 론

컴퓨터 기술과 통신기술의 발달은 전력시스템의 보호개념을 빠른 속도로 바꾸고 있다. 현재 보호 계전은 단순한 보호기능 외에 제어개념이 포함된 전력설비의 자동화 보호 시스템을 목표로 발전하고 있다. 이러한 새로운 보호개념을 구축하기 위해서는 디지털형 보호 계전기와 이를 네트워크로 엮는 통신기술, 데이터를 취득 가공, 관리하는 데이터 처리기술이 필요하다. 디지털 보호 계전기는 기존의 아날로그 보호 계전기에 비해 조작의 편리성 및 유지 보수의 용이함을 제공하고, 고장 데이터와 각종 이벤트의 저장능력과 통신기능 등 변전소 자동화에 필요한 새로운 기능으로 인해 점차 그 사용이 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 일반적으로 배전급 보호 시스템에 가장 많이 사용되고 있는 배전선로 보호용, Incoming 보호용, 변압기 보호용의 3가지 형태의 디지털 보호 계전기를 개발하고, 이를 사용한 변전소 자동화 시스템을 구축하였다. 변전소 자동화 시스템은 디지털 보호 계전기의 통신기능을 사용하여 원격지에서 단위 변전소 전체를 감시, 제어할 수 있으며, 디지털 보호 계전기로부터 상시 계속 정보를 취득하여 상위 HMI 시스템에서 처리할 수 있도록 개발하였다. 변전소 자동화 시스템은 데이터의 입출력을 담당하는 I/O Server 와 각종 이벤트, 고장발생 정보를 처리하는 Event Server로 구성되며, 그 외에 일별이나 월별로 보고서를 자동 생성해주는 Report Manager와 Event Log Printer 기능을 포함하도록 개발되었다.

본 연구를 통해 개발된 디지털 보호 계전기와 변전소 자동화 시스템은 실제 단위 변전소 내에 설치되어 운전 중이며 시스템의 신뢰성과 편리함을 인정받고 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 디지털 보호 계전기의 구조

디지털 보호 계전기는 일반적으로 크게 PT/CT부와 디지털 연산처리부, 입출력부의 3부분으로 나누어 진

다.

PT/CT부에서는 사고발생 시 전력설비에 나타나는 과도상태의 전압, 전류 파형을 왜곡과 지연 없이 디지털 연산처리부에 전달해 주어야만 하기 때문에 넓은 범위에서 우수한 선형성을 갖는 PT, CT를 사용해야 한다.

연산처리부는 디지털로 변환된 전류, 전압의 입력 신호를 실시간으로 처리해 실효값 및 위상 정보를 알아내야 하기 때문에 처리속도가 빠른 고속의 CPU가 사용되는 것이 일반적이다.

입출력부는 보호계전기의 출력 및 입력을 처리하는 부분으로 보호기능 외에 감시 기능을 위한 접점도 고려한 설계를 하여야 한다.

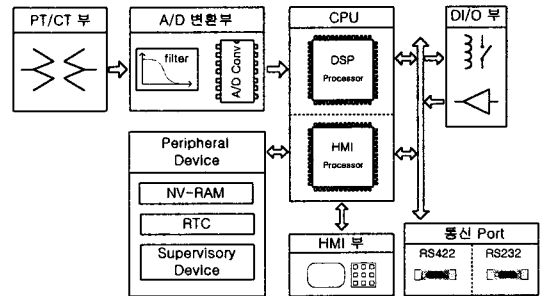


그림 1. 디지털 보호 계전기의 구성

본 연구에서 개발한 디지털 보호 계전기는 담당하는 기능에 따라 모듈화를 시켜 유지 보수의 편리성을 극대화하고, 아날로그 신호와 디지털 신호의 분리를 명확하게 해 줌으로써 외부의 노이즈나 서지 등에 오동작하지 않도록 하였다. 개발된 디지털 보호 계전기의 연산처리부는 샘플링된 전압, 전류의 디지털 신호 처리를 고속의 DSP(Digital Signal Processor)를 사용하고, 보호 계전기의 표시장치나 사용자 입력 장치와 같은 HMI부분은 별도의 HMI 전용 CPU를 사용하여 충분한 연산 처리시간을 확보할 수 있는 구조로 설계하였다. 연산 DSP와 HMI CPU와의 데이터 교환은 Dual Port Memory를 사용하여 처리속도에 최대한 영향을 받지 않도록 구성하였다. 또한 디지털 보호 계전기는 동작의 신뢰성이 매우 중요하므로 핵심 부분인 CPU의 동작 상태를 감시하고, 이상 발생 시 시스템을 재가동시키는 Microprocessor Supervisory 회로를 사용하여 보호 계전기 시스템의 신뢰도를 높이도록 하였다. 그리고, 변전소 자동화 시스템을 구성하는데 적합하도록 RS-422 방식의 통신포트를 장착하였고, 사고 데이터 및 이력을 정전시에도 보호 계전기 자체에서 저장하고 있도록 대용량의 비휘발성 메모리인 NV-RAM과 RTC (Real Time Clock) 등의 주변장치를 갖도록 설계하였다.

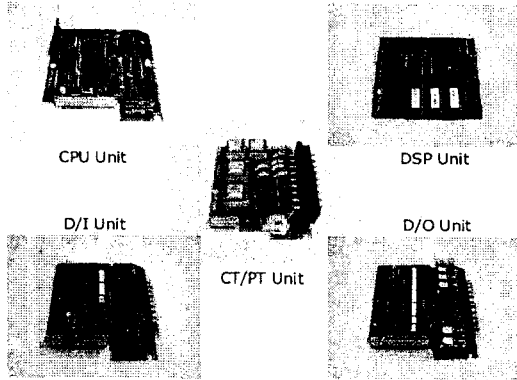
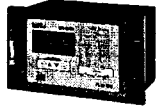


그림 2. 개발된 디지털 보호 계전기 내부 모듈

## 2.2 디지털 보호계전기 사양

본 연구에서 개발된 디지털 보호 계전기는 변전소 자동화 시스템을 구성하는데 적합하도록 보호 적용 대상에 따라 배전선로 보호용, Incoming 보호용, 변압기 보호용 등 다양한 형태로 개발되었다. 특히 배전선로 보호용의 경우는 접지 계통과 비접지 계통을 구분하여 사용할 수 있도록 구성하였다. 배전선로 보호용 디지털 보호 계전기는 과전류 및 지락과전류 보호기능을 가지고 있고, Incoming 보호용의 경우는 전류보호 요소외에 과전압, 저전압 보호등의 전압관련 보호요소를 가지고 있다. 변압기 보호용 디지털 보호 계전기는 차동전류계전요소를 가지고 있다.

| 개발 기종            | 보호 요소                       |
|------------------|-----------------------------|
| Incoming 보호 (MD) | OCR, OCGR<br>UVR, OVR, OVGR |
| 배전선로보호 (FD/G1)   | OCR, OCGR                   |
| 배전선로보호 (FD/S1)   | OCR, SGR                    |
| 변압기 보호 (TR)      | 비율차동, 순시차동<br>OCR, OCGR     |

표1. 보호요소별 개발사양

| 항 목 | 사 양   |
|-----|---|
| 1   | 계측 항목<br>전류, 전압, 주파수, 역률<br>유효전력/량, 무효전력/량      |
| 2   | 연산 방식<br>DFT 방식<br>(Discrete Fourier Transform) |
| 3   | 표시 장치<br>VFD (4 x 20)                           |
| 4   | 입 출 력<br>D/I : 10 점<br>D/O : 10 점               |
| 5   | 통 신<br>RS422 : 1 Port<br>RS232 : 1 Port         |

표2. 디지털 보호계전기 공통 사양

각 보호요소는 디지털 방식으로 정확하고 세밀한 정정이 가능하도록 되어 있다. 또한 고속의 A/D 변환과 디지털 연산을 통해 빠른 고장 판단과 정밀한 계측을 동시에 수행할 수 있다. 특히 변압기 보호 계전기의 경우 CT결선

은 보호대상 변압기의 권선 방식에 상관없이 Y-Y 결선으로 해주며, 보호 계전기 자체 변압기 권선 선택 메뉴에서 변압기의 권선 방식, 변압비, 변압기 용량 등의 정보를 선택해 주면 자동으로 보정이 이루어지게 되어 조작자의 편리성을 극대화하였다. 특히 전압, 전류의 영상분과 역상분의 크기도 계측해 보여주기 때문에 R, S, T상의 결선이 정상적으로 되었는지를 즉시 알 수 있도록 하였다.

## 2.3 디지털 보호계전기의 기능

디지털 보호 계전기는 일반적으로 하나의 몸체에 여러 가지의 보호요소를 동시에 탑재하여 각 보호요소마다 별도의 보호 계전기를 사용한 경우에 비하여 제품의 크기를 획기적으로 줄일 수 있다. 본 연구에서 개발된 디지털 보호 계전기도 다양한 보호요소를 탑재하고 있고, 특히 변전소 자동화 시스템에 적합하도록 정밀한 계측기능, 원격 제어기능, 통신 기능, 각종 이벤트 및 사고 이력 저장 기능, 고장발생시의 파형 저장기능 및 다양한 자기진단 기능을 가지고 있다.

### 2.3.1 계측 기능

본 연구에서 개발된 디지털 보호 계전기는 고속의 DSP를 사용하여 DFT(Discrete Fourier Transform)을 사용하여 입력신호의 크기와 위상을 계산하기 때문에 빠르고 정확한 계측을 할 수 있도록 되어 있다. 계측되는 항목은 전압, 전류, 유효/무효전력, 유효/무효전력량, 역률, 주파수 등을 0.5~1.0%이내의 오차로 계측해 표시해 주고, 이를 통신 기능을 통해 상위 시스템으로 전송해 줄 수 있어 별도의 메터를 설치하지 않고, 보호 계전기만으로 보호와 계측을 동시에 할 수 있는 장점이 있다.

### 2.3.2 통신 기능

변전소 자동화 시스템을 구성하는데 가장 필수적이라고 할 수 있는 부분이 바로 디지털 보호 계전기의 통신 기능이다. 일반적으로 상위 기기와의 통신에 사용되는 통신 프로토콜에는 Profibus, Modbus, DNP, UCA, CAN등 다양한 프로토콜이 소개되어 있지만, 본 연구에서는 산업체에서 널리 쓰이고 있는 Modbus 프로토콜을 채택하여 통신기능을 구현하였다. Modbus 프로토콜은 구조가 간단하며 16bit CRC를 통한 통신 Error 검출로 신뢰성이 높은 프로토콜이다. 사용한 Modbus 함수는 표3과 같다.

| 코드 | Modbus 기능          | 보호계전기 통신 기능        |
|----|--------------------|--------------------|
| 3  | Reading of N words | 상시 및 이벤트 Data Read |
| 5  | Writing of a bit   | Digital Out 포트 제어  |
| 6  | Writing of a word  | 정정치 Setting        |
| 16 | Writing of N Words | 정정치 Setting        |

표3. 디지털 보호 계전기에 사용한 Modbus 프로토콜 함수

개발된 디지털 보호 계전기는 전력감시 시스템과의 통신을 위해 RS-422 통신 포트를 가지고 있으며, 2400 bps에서 19200 bps까지 통신 속도를 조절할 수 있도록 하였다. 전체 시스템의 계측치 정보 취득과 계전요소의 정정치 변경 및 차단기 제어 등의 기능을 이 통신포트를 통해 원격에서 처리할 수 있고, 별도의 RS-232 포트를 제공하여 조작자가 각 보호 계전기에 1 대 1로 접속하여 정정치 변경과 고장전후의 전압, 전류 및 DI/O 저장 데이터를 전송 받을 수 있도록 구성하였다.

### 2.3.3 이벤트 및 고장데이터 저장기능

대용량의 NV(Non Volatile) RAM과 Real Time Clock을 디지털 보호 계전기 내부에 사용하여 각종 이벤트 이력과 사고발생 이력을 시간의 순서에 따라 저장할 수 있도록 하였다. 뿐만 아니라 사고발생 시, 사고 전 16 cycle, 사고 후 8 cycle의 전류, 전압 샘플링 데이터와 입출력접점의 상태를 저장하여, 사고발생시점의 과도 상태 분석을 통한 사고 원인 분석이 가능하도록 하였다.

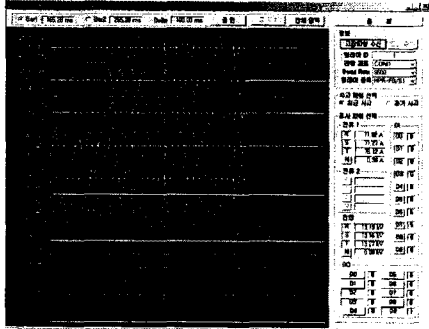


그림 3. 사고파형의 분석

PC로 전송된 고장 파형은 윈도우 기반의 분석 프로그램을 통해 샘플링 순간의 전압, 전류의 순시치 및 실효치, DI/O 상태를 추적해 가면서 관찰할 수 있고, 확대/축소 기능을 통해 특정 부분의 파형을 세밀히 관찰할 수 있도록 되어 있다.

### 2.3.4 자기진단기능

디지털 보호 계전기가 가진 장점 중의 하나는 자기 진단 기능으로 계전기 자체의 기능을 상시 감시하여 이상 상태를 미리 조작자에게 경고해 줌으로써 보호 계전기의 고장에 의한 오동작이나 오부동작을 미연에 방지하여 시스템의 신뢰도를 높일 수 있다. 디지털 보호 계전기의 자기진단은 대부분 software적인 방법에 의해 이루어진다. 본 연구에서는 A/D변환기 이상, 프로그램 ROM 이상, RAM 이상, 계전 요소 정정치 이상, 연산 DSP 이상 등을 진단할 수 있도록 설계하였다.

## 2.4 변전소 자동화 시스템의 설계

### 2.4.1 시스템 구성

변전소 자동화 시스템은 보호계통시스템에 설치된 디지털 IED (Intelligent Electronic Device) 장비인 디지털 보호 계전기, Demand Controller, 디지털 Meter 등을 하나의 통신 Network로 연결하여, 각 장비로부터 전송되는 정보를 취합하고 가공하여, 사용자가 전체 시스템의 동작상황을 실시간으로 한눈에 알아볼 수 있도록 설계되어야 한다.

그림 4는 창원소재의 A 공장에 적용한 변전소 자동화 시스템의 현장 사진이다. 현장 적용된 자동화 시스템은 총 36대의 디지털 보호 계전기와 함께 구성하였으며 PC와 디지털 보호 계전기의 통신 연결은 RS-422방식을 사용하였다. 사용된 디지털 보호 계전기의 종류 및 설치 판넬의 위치에 따라 계전기를 4개의 그룹으로 나누어 각각을 멀티-드롭(Multi-Drop) 방식으로 연결하

였다.

그림 5는 전력감시제어 시스템의 전체 구성도이다.

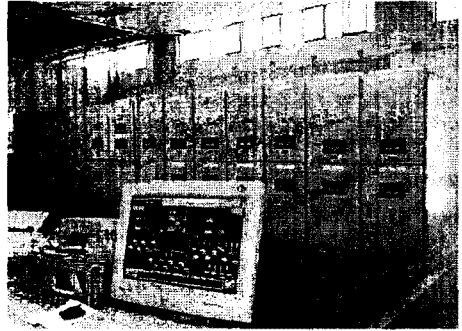


그림 4. 전력감시제어 시스템이 설치된 현장사진

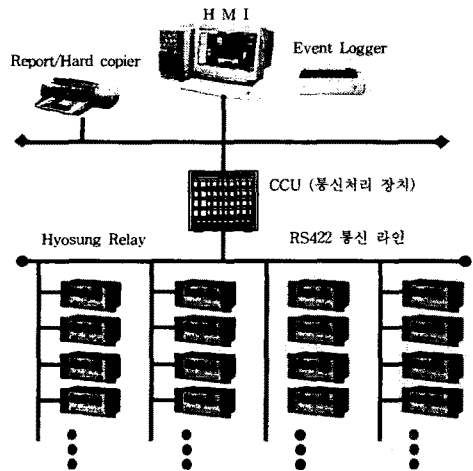


그림 5. 시스템 구성도

본 시스템에서는 계전기로부터 정보를 받아들이기 위해 멀티 직렬통신 포트를 갖고 있는 통신 처리장치를 사용하여 계전기와 통신을 4 그룹으로 나누어 처리하여 효율적인 데이터 처리가 가능하도록 하였다. 또한 시스템의 이벤트를 실시간으로 출력하기 위하여 Event Logger 및 일일 보고서 출력과 화면 Hard Copy를 위한 프린터를 설치하였다.

개발, 납품한 변전소 자동화 시스템은 서버 집중형으로 서버급 PC 1대로 모든 감시, 제어 기능을 수행한다. 각각의 릴레이로부터 송신되는 상시 계측 데이터 수집 및 차단기(CB)의 상태감시와 같은 일반적인 감시기능에서부터, 보안인증을 걸친 CB 원격제어기능에 이르기까지 모든 기능이 안정되게 PC에서 수행되어진다. 또한 서버 집중형이면서도 각각의 기능들이 독립적인 프로세스로 동작하므로 큰 시스템일 경우에도 유연하게 확장할 수 있는 특징을 가지고 있다.

계통이상 및 CB의 상태변화, CB 원격제어와 같은 기능에 대해서는 Event Server가 백그라운드 프로세스로 동작하여 따로 데이터베이스에 저장, 관리하게끔 하였다.

### 2.4.2 시스템의 사양 및 기능

표 4는 현장 적용 시험 중에 있는 변전소 자동화 시스템의 상세 사양이다.

| 세부항목        | 내 용                               |
|-------------|-----------------------------------|
| Relay       | Panel 22면 (Relay 총 36대)           |
|             | Incoming 보호용 : 9대                 |
|             | 배전선로 보호용 : 26대                    |
|             | 변압기 보호용 : 1대                      |
| PC          | Industrial PC, Pentium III        |
| - CPU       | 500MHz                            |
| - Memery    | 256 MB                            |
| - HDD       | 10 G                              |
| - I/O Board | Multi Serial Card                 |
| - Logging   | Event Logging용 Printer            |
| - Report용   | Report 및 Hard Copv용 Printer       |
| OS          | Windows NT4.0, SP5                |
| HMI         | NetView Package                   |
| 통신방법        | Relay : RS 422 Serial (Multidrop) |
|             | I/O Server <-> HMI : NetDDE       |
| 프로토콜        | Modbus                            |

표 4. 시스템 사양

기존 시스템과의 연계 기능 - 본 연구에서 개발한 자동화 시스템은 기존에 설치되어 있는 기타시스템(예를 들어 공조시스템 이나 모자이크 보드시스템)등과 Network을 이용한 데이터 전송이 가능하기 때문에 다른 감시제어시스템과 쉽게 연계시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.

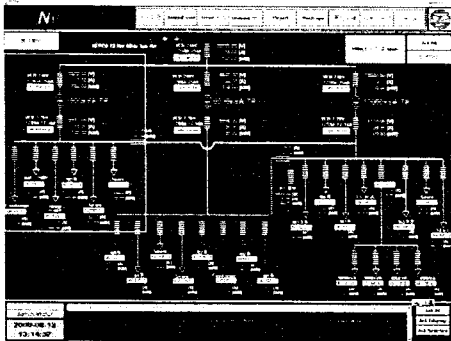


그림 6. HMI 메인화면

감시 기능 - 시스템은 전체 계통의 감시 및 CB의 ON/OFF상태를 나타낼 수 있으며, 각각의 CB를 마우스로 선택하면 해당 릴레이의 상세 정보화면이 나타나게 설계되어 있다. 주요 측정치는 계기판 형태로 표시되며, 데이터에 대한 알람치 및 현재치등을 확인할 수 있다.

알람 기능 - CB의 상태가 변하거나 릴레이에서 설정한 요소에 대한 이벤트가 발생하였을 때에는 운영자에게 이를 가청적인 알람으로 알려주며, 해당 이벤트의 저장 및 로깅 프린터로 내역이 출력되어진다.

제어 기능 - 통신을 통한 원격에서의 CB 제어는 2번의 보안인증을 거친 후 가능하며, 운영자의 ID와 내역 등이 데이터베이스로 저장된다.

데이터 베이스 및 보고 기능 - 주기적으로 데이터들을 저장하며 저장되어진 데이터들을 일보, 월보용 데이터로 가공하여 시간별 평균값, 최대값 및 최소값으로 계산되어 데이터베이스에 저장한다.

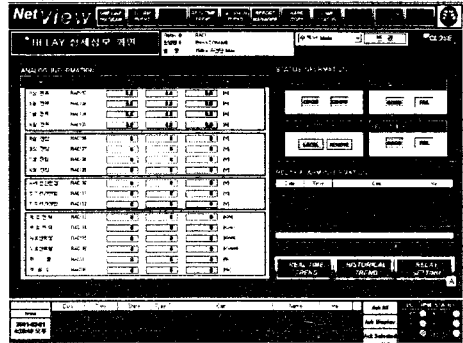


그림 7. 릴레이 세부 정보

이러한 데이터는 운영자가 쉽게 다룰 수 있는 EXCEL 파일로 저장되며, 매일 정해진 시간에 자동 보고서 출력이 행하여진다.

이력 관리 기능 - 실시간 트렌드 화면을 구성하여 데이터의 실시간 경향분석을 할 수 있으며, 사고 및 시스템 이상 시 원인분석을 위한 이력관리 전용화면을 구성하였다. 이력관리화면에서는 날짜별, 시간별로 임의의 데이터를 지정하여 이력을 분석할 수 있게 하였다.

또한 릴레이와의 통신상태를 실시간으로 감시하여 전송되는 데이터의 신뢰성을 감시하며, 이상발생 시 알람을 발생시키는 등 시스템의 안정성에 대하여 고려하였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 디지털 보호 계전기 및 변전소 자동화 시스템의 개발사례를 소개하고, 현장 적용을 통한 시스템의 신뢰성을 입증하고자 하였다. 디지털 보호 계전기는 기존의 아날로그 방식의 보호 계전기에 비해 보다 정확한 계측과 보호 동작을 제공하고, 조작성의 편의성을 제공하였다. 그리고, 전체 시스템을 하나로 묶는 변전소 자동화 시스템은 조작자가 원격지에서 모든 시스템 정보의 실시간 파악과 제어를 가능하게 하고, 다양한 경보기능 및 자동 보고서 출력기능 등 편리한 부가기능을 포함해 조작자의 수고를 크게 줄일 수 있었다. 향후 디지털 보호 계전기 및 전력감시제어 시스템의 적용 사례는 크게 증가할 것으로 예상되며, 현재 당사에서는 Web 기반의 시스템을 개발 중이다

#### (참 고 문 헌)

- [1] A. T. Johns, S. K. Salman, "Digital protection for power systems", Peter Pergrinus Ltd, 1995
- [2] Stanley H. Horowitz, Arun G. Phadke "Power System Relaying", Research studies press Ltd, 1992
- [3] 신대승, "보호계전 시스템 기술", 技多利, 1993
- [4] KEMC 1120, "디지털형 보호계전기", 한국전기공업협동조합규격
- [5] IEC 60255-22-1.2.3.4, "Electrical disturbance test"
- [6] 정해선 역, "노이즈방지 대책", 성안당
- [7] Floyd, "Basic operational amplifiers and linear integrated circuit", Merrill Ltd, 1994
- [8] C. Russell Mason, "The art & science of protective relaying", GE