

# 수용가 변전소의 디지털 보호 계전 시스템 개발

김영남, 허노재, 백정현, 김진기, 김희용, 이진, 김일선  
 현대중전기(주) 기술연구소

## Development of the Digital Protection System for Customer Substation

Y.N.Kim, N.J.Heo, J.H.Baek, J.K.Kim, H.Y.Kim, J.Lee, I.S.Kim  
 HYUNDAI Electrical Engineering Co.,Ltd. R&D Center

### Abstract

This paper deals with Digital Protection System which has been developed at R&D Center of HYUNDAI Electrical Engineering Co.. This system consists of supervisory control part and digital measuring and protection units. RS-485 network connects the units to supervisory control part. This paper go into detail about the specification of each part and the analysis results of digital measuring and protection unit.

### 1. 서론

배전반은 전력 계통상의 고장을 검출하여 조속히 그 고장을 판단 제거함으로써, 건전 계통으로 고장이 파급되는 것을 방지하는 계전기, 각종 전기량(전압, 전류, 전력, 무효전력, 전력량, 무효전력량, 역률, 주파수등)을 계측하는 계측기, 차단기 및 단로기로 이루어진 기기들의 집합체이다. 그러나 이러한 기기들이 대부분 아날로그형으로 이루어져 있어 전력수급의 대규모화와 안정성 요구가 증가하는 요즘에는 각 기기간의 결선이 복잡하여지고, 대형의 배전반 제작이 불가피 하게 되었다. 특히 전력계통의 안정화 요구에 만족스런 재기능을 수행 할 수 없고, 계통 자동화 시스템 구성에 아주 취약한 문제점이 야기되고 있다. 이러한 아날로그형 배전반(1), (2)의 문제점 해결과 성능 향상을 위해서 1960년(4), (7) 부터 선진 외국에서는 Microprocessor를 이용한 디지털 계전기(3)를 개발하기 시작하였고, 최근에는 통신 기술과 컴퓨터 기술을 이용하여 각 디지털 계전기를 통신으로 통합한 자동화 시스템이 개발되고 있다.

### 본 논문은

첫째 : 16 bit Microprocessor (8086), 통신 전용 LSI (8250), 각종 주변 장치(LCD, 조작 KEY)를 이용한 H/W 개발과 계측, 감시, 제어 및 보호 기능 수행을 위한 S/W 개발로 디지털 보호 계전기 3종 (MOTOR용 계전기, 변압기용 계전기, 선로용 계전기)을 개발하고,

둘째 : 250대의 디지털 보호 계전기와 IBM-PC/AT 간에 RS-485 통신을 할 수 있는 통신 CONTROLLER 와 관련된 S/W를 개발하고,

셋째 : SCADA 기능 수행을 위한 D.B, Graphic Editor (한글 표시 가능), DISPLAY 프로그램 및 Report Generator를 개발 하여, 수용가 전력 계통의 완전한 자동화를 이룩한 HIMAP (Hyundai Intelligent Measuring and Protection) 시스템에 대한 소개와 실무하 테스트를 통한 실험 결과 고찰에 관한 논문이다.

### 2. 본론

#### 2.1 시스템 구성

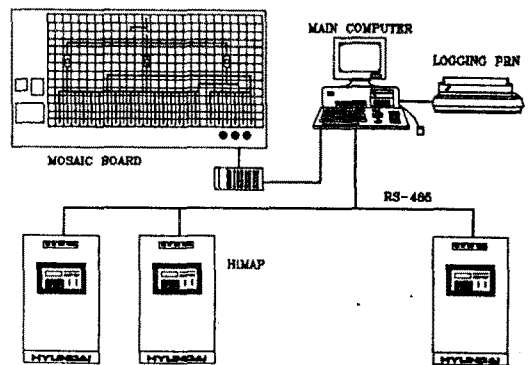


그림 1. HIMAP SYSTEM 구성

#### 2.2 중앙감시 시스템

중앙 감시 시스템은 마이크로 컴퓨터와 각종 주변 장치(컬러 모니터, 프린터, 마우스, 모자이크 판넬)로 구성되어 있다. 디지털 계전기에서 수집된 데이터를 중앙장치로 전송하여 컬러 모니터의 그래픽 화면이나 모자이크 판넬 등을 통하여 각 변전소 및 배전반 등의 상태를 감시, 제어하며 경보, 트랜스 기능 등을 갖추도록 하였다. 이 시스템의 기능은 크게 나누어서 감시, 계측기능, 설정기능, 기록 보관기능, 제어기능 등으로 나누어지며, 사용자의 편리성을 위하여 키보드 및 마우스를 이용한 매뉴선택 및 그래픽 구성 등을 할 수 있도록 했다. 대부분의 기능을 사용자가 구성하는 것이 가능 하도록 하였기 때문에 사용자의 필요에 따라 쉽게 데이터의 변경만으로 각 기능을 구성, 사용할 수 있다. 표 1.에 시스템의 기능을 나타내었다.

#### 2.3 디지털 계전기

디지털 계전기의 구성은 그림 2와 같이 되어 있다. 계통의 전기량을 받아들여 절연이나 레벨 변환을 하는 변성부, 아날로그량을 샘플링하여 디지털치로 변환하는 A/D 변환부, 샘플링된 디지털데이터를 계측 및 보호 관련 연산을 하는 연산처리부, 설정치 입력 및 조작 명령등을 입력하는 KEY BOARD 조작부, 계측치 및 사고 상태를 표시하는 표시부, 차단기 등의 외부 기기를 제어하는 출력부, HOST COMPUTER와 통신을 위한 통신 제어 부동으로 구성되어 있다.

- 변성부 :

계통의 전압, 전류를 입력으로 내부의 HOLE SENSOR 및 TRANSFORMER를 이용하여 외부의 계통 입력과의 절연 및 레벨 변환을 하는 곳이다.

- A/D 변환부 :

입력된 아날로그 신호를 파형 정형하는 LPF 회로, 복수의 필터 출력의 순시치를 순번대로 변환하는 멀티플렉서, 아날로그 데이터를 주기적으로 샘플링하여 아날로그 디지털 변환이 끝날때까지 데이터를 유지하는 샘플홀드 회로 및 아날로그 데이터를 디지털로 변환하는 A/D 변환회로로 구성되어 있다. A/D 변환기는 12 비트로 정밀도 및 변환속도에 뛰어난 측차 비교형을 사용하였다.

- 연산 처리부 :

디지털 보호 계전 관련 ALGORITHM 처리, 사고판단 등을 처리하는 곳으로써, CPU (8086-2), ROM, NVRAM, PIT (8253) 등으로 이루어져 있다.

- 표시부 :

입력된 계통 신호의 전압, 전류등 각종 전기량의 DISPLAY, 보호 계전의 상태 및 시스템의 상태를 표시하는 곳이다.

- 입·출력부 :

사고 발생시 차단기 및 부저를 조작하는 디지털 출력 회로, 외부 장치의 상태를 인식하기 위한 디지털 입력 (8점)회로, 변성부를 통하여 입력된 아날로그 전기 신호를 받아 들어오는 아날로그 입력 (8점) 회로로 구성되어 있다.

- KEY 조작부 :

ALPHA NUMERIC KEY (각종 계전기의 PARAMETER 설정용), FUNCTION KEY (조작 명령 수행용), CB ON/OFF KEY (수동으로 CB ON/OFF 용), LOCAL/REMOTE KEY (제어권 설정용) 으로 구성되어 있으며, 인간 공학적으로 설계되어 편리하게 사용할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 잠금 KEY 를 두어 오조작 방지를 강화했다.

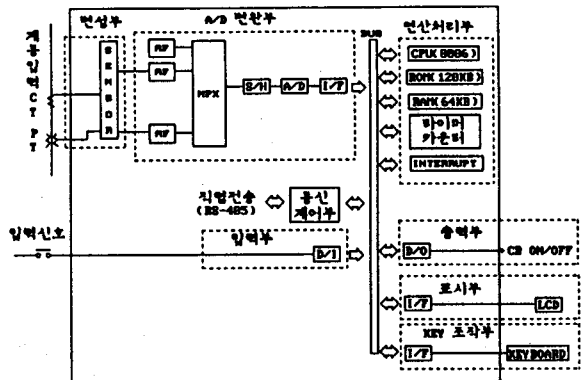
표 2에 디지털 계전기의 기능을 나타내었다.

표 2. 디지털 계전기의 기능

기능	항 목	내 용	비 고
계 측 기 능	전류 전압 전력 무효전력 전력량 무효전력량 주파수	각상 전류, 영상 전류, 역상 전류 선간 전압, 상 전압 3상 전력 3상 무효 전력 누적치/1분 누적치/1분 3상 역률	실효치 실효치
	설정 기 능	CT 비 PT 비 계전기 전원 방식	임의의 비 설정 가능 " " " " 각종 계전기Type, Delay time, Threshold 설정, 단상, 3상3선식, 3상4선식 선택
보 호 기 능	MOTOR용	49, 46, 51LR, 66, 37, 51N, 51G, 5050HD	ANSI CODE
	변압기용	50/51, 51, 50G/51G, 50N/51N, 67G, 67N	" "
	선로용	50/51, 51, 50G/51G, 50N/51N, 67G, 67N, 27, 59, 59G, 67, 37P, 37Q	" "
제 어 기 능	CB on/off	CB를 수동으로 ON/OFF 제어	잠금 키를 두어 CB 오조작 방지
	Remote/Local	CB제어권을 Remote/Local로 설정가능	

표 1. 중앙 감시 시스템의 기능

기능	항 목	내 용	비 고
감 시 계 측 기 능	그래픽 디스플레이 (Graphic Display)	최대 100 그래픽 페이지 설정가능 최대 100 포인트/페이지 그래픽 에디터를 이용하여 화면 편집/애니메이션 가능 페이지 리스트를 이용한 그래픽 선택 가능 그래픽 오브젝트의 선택에 의한 포인트 정보 디스플레이	전압(V) 전류(A) 유효전력 무효전력 전력량 온도 역률
	경보 디스플레이 (Alarm Display)	최근 경보에서 부터 최대 256개의 경보상황 리스트	
	트렌드 디스플레이 (Trend Display)	2초, 6초, 30초, 1분, 5분 단위의 트렌드 구성 가능 최대 150일 까지의 데이터 저장	
	전력량 그래프 (KWH Graph)	전력량 데이터와 그래프 표시 최대 10페이지 구성(4 pt/page)	
설정 기 능	데이터 베이스	최대 1000 포인트 설정 가능 1 노드당 최대 64 포인트 데이터 베이스 에디터 등에 의한 데이터 관리	경보설정 상한설정 하한설정 시간설정
기 록 기 능	일별 보고서	출력 양식 및 포맷 설정	
	월별 보고서	일반적인 한글 에디터로 양식설정	
기 능	감시 메시지 기록	발생한 모든 경보를 날짜별 경보 확립에 저장	
제 어 기 능	원방 제어	차단기 ON/OFF 제어	



AF : 아날로그 필터 SH : 샘플 홀드 MPX : 멀티 플렉서  
A/D : 아날로그 디지털 변환기 I/F : 인터페이스 CPU :  $\mu$ -프로세서  
RAM : 랜덤 액세스 메모리 ROM : 리드 온리 메모리 D/I : 디지털 입력  
D/O : 디지털 출력 LCD : 액정 디스플레이

그림 2. 디지털 계전기의 구성도

2.4 통신

HIMAP의 통신 규칙은 전기적 신호는 RS-485를 사용하고 있다. RS-485는 RS-232C에 비하여 전송거리가 길고 전기적 노이즈에 강하므로 산업제어 분야에서 가장 폭넓게 사용되는 통신 방식이다. HIMAP은 32개의 드라이버와 32개의 리시버를 멀티 드롭(Multi-Drop)으로 연결 가능 하며 이때의 전송 거리는 1.2 km 이다. 그러나 최대 10개의 중계기(Repeater)를 사용할 수 있으므로 중계기를 사용한 최대의 전송거리는 12 km 이다. 전송 속도는 거리에 반비례 하게 되나 세그먼트(Segment)간의 거리가 최대 1.2 km 일때 56 k bit/sec 이다.

8250의 기능을 이용하여 Data Link 계층의 규격을 구현하였다. HIMAP은 최대 전송속도가 56 k bit/sec 이고, RS-485 의 통신 규격을 만족하므로 PC 및 워크스테이션과의 접속이 원활하다. 또한 전이중 방식으로 통신하므로 통신 장에서 해당 노드만을 통신 네트워크에서 제거하여 시스템의 안정성과 신뢰성을 증가시켰다.

HIMAP에서 사용한 비동기 전송 방식은 HDLC 나 SDLC 와 같은 동기 전송 방식에 비하여 메시지를 주고 받는 송·수신 프로세스간의 동기가 소프트웨어에 의하여 이루어져야 하므로 절차가 복잡하지만, 송·수신 프로토콜을 별도로 설계하고 프로토콜을 수신하는 프로시저어를 최적화 함으로서 신뢰성과 전송 성능을 향상 시켰다.

다음은 HIMAP 에서 사용한 송·수신 프로토콜의 형태이다.

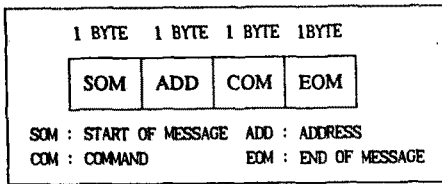


그림 3. HIMAP 의 수신 프로토콜 형태

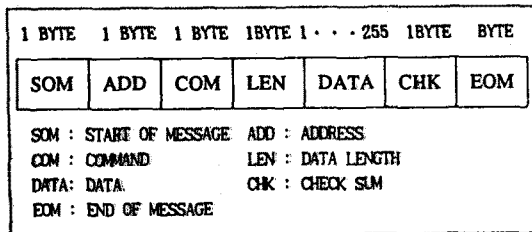


그림 4. HIMAP 의 송신 프로토콜 형태

HIMAP 의 통신 프로토콜 중에서 시스템의 신뢰성과 성능에 많은 영향을 주는 것은 수신 프로토콜이다. 그러므로 프로토콜을 시스템 특성에 맞추어 간단하고 처리 시간이 최대한 단축 되도록 설계하였다. 그림 3. 에서 보듯이 수신 프로토콜은 4 BYTE 로 이루어져 있고 ADD 및 COM 필드의 값이 250 이하의 값을 가지도록 하고 나머지 5가지의 값은 제어 문자로 사용 함으로서 수신 프로토콜 인식이 간편하도록 하였다. 그러므로 한 HOST 컴퓨터에 연결 가능한 HIMAP 의 노드수 및 통신 명령어 수는 250개 이다. 그러나 대부분의 PC 나 워크스테이션이 여러개의 통신 포트를 제공할 수 있으므로 프로토콜로 인한 네트워크의 규모 제한은 염려하지 않아도 된다.

송신 프로토콜은 HOST 컴퓨터의 수신 프로시저어의 동기가 단순하므로 REAL-TIME 제어에 크게 영향을 주지 않는다.

### 3. 시험 결과 및 고찰

#### 3.1 계속 시험

시험은 RL 부하기에 380V 전압을 가하고 부하를 변경 시켜 가면서 3회 실시 하였으며, 단상, 3상 3선, 3상 4선 결선으로 실시 하였다.

시험 결과는 표 3에서와 같이 주파수를 제외한 모든 전기량의 오차가  $\pm 1\%$  이내 였다.

표 3 3상 4선의 계속 시험 DATA

항 목	시 험 DATA			
	1차	2차	3차	오차범위
전 류 (A)	Ia	4.4	12.1~12.2	17.4~17.7 $\pm 0.85\%$
	Ib	3.3~3.4	11.1~11.2	16.3~16.6 $\pm 0.9\%$
	Ic	3.3~3.4	11.0~11.2	16.6~16.9 $\pm 0.9\%$
전 압 (V)	Vab	221.4~224.3	219.9~222.3	219.2~224.0 $\pm 1.0\%$
	Vbc	221.0~223.6	219.8~224.4	220.1~224.1 $\pm 0.9\%$
	Vca	223.1~225.7	221.8~224.7	222.4~226.3 $\pm 0.85\%$
전력(KW)	2.437~2.471	7.606~7.698	11.18~11.39	$\pm 0.94\%$
무효전력 (KVAR)	0.001	0	0	0%
전력량(Wh)	40.1~41.6	125.4~128.9	185.3~189.0	$\pm 0.99\%$
무효전력량	0	0	0	$\pm 0.99\%$
역률	0.99	1.0	1.0	0%
주파수	55~60	55~60	55~60	4.5%

#### 3.2 디지털 계전기 특성 시험

각종 디지털 계전기의 특성 곡선은 그림 6과 같다. 특성 시험 은 전압·전류 Generator 와 Chronoscope 를 그림 5 와 같이 결선하여 실시 하였으며, 시험 결과 각종 계전기의 동작 오차는 5% 이내 이었다.

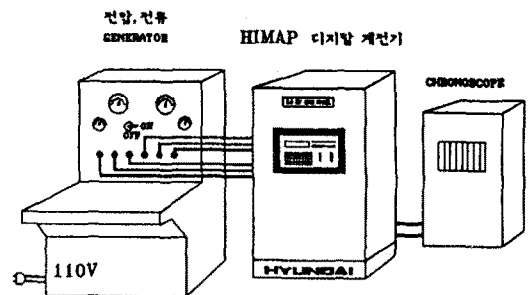


그림 5 시험 장치 결선도

표 4 동작 시험 DATA

계전기	과전류비	전류(A)		동작 시간(sec)		오차 (%)
		설정치	ACTUAL값	표준시간	ACTUAL시간	
온도계전기 (49)	2.75	5.0	13.8	148.0	150.0	+1.35
	5.25	"	26.3	38.0	37.0	-2.6
	6.24	"	31.2	26.0	27.0	+3.8
	7.54	"	37.7	18.0	17.0	-5.55
	T.C =15 Min	9.0	"	45.0	12.0	12.0
	12.46	"	62.3	6.6	7.0	+3.0
51LR	6.0	5.0	30.0	30.0	29.99	-0.03
	3.0	"	15.0	60.0	59.75	-0.41
역상계전기 (46)	2.5	20.0	50.0	8.96	8.19	-8.5
	2.9	"	58.0	7.8	7.8	0
	3.98	"	79.7	6.75	6.97	+3.25
과전류 계전기 (50/51)	1.44	5.0	7.2	16.0	16.5	+3.12
	6.0	"	30.0	2.0	2.04	+2
	9.14	"	45.7	2.0	1.96	-2
부족전류 계전기 (37)	0.72	5.0	3.6	10.0	9.66	-0.4
	0.58	"	2.9	10.0	9.68	-3.2

3.3 통신 시험

38.4KBPS에서 8250의 에러율이 0이므로 시험은 38.4 KBPS에서 실시 하였으며, 10 만회에서 1번 통신 에러가 발생 하였다. 통신 에러 발생시 해당 노드만을 네트워크에서 제거하여 시스템의 안정성과 신뢰성을 증가 시켰다.

3.4 항온, 항습 및 NOISE 시험

온도 -10~60°C와 습도 80% 하에서 4시간 시험을 하였으며 시험 결과 정상 동작 되었다.

NOISE 시험은 PULSE WIDTH = 1μs, 주기 200 ms, PEAK VALUE = 2,000V의 IMPULSE 를 가하여 시험 하였으며 1분간 정상 동작 되었다.

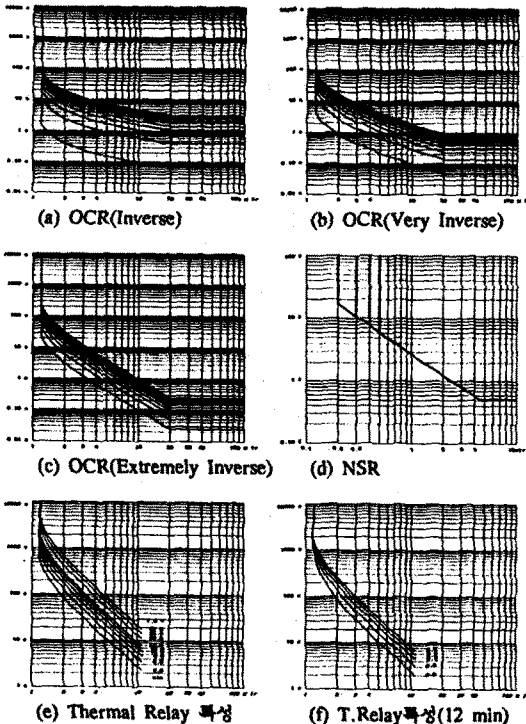


그림 6 디지털 계전기의 특성곡선

4. 결론

4.1 중앙 감시부

마이크로 컴퓨터와 각종 주변 장치를 이용하여 수송가 변전소의 자동화를 이룩 하였으며, 특히 한글 처리가 완벽하게 되어 국내 사용자에게 편리한 시스템으로 개발 되었다.

4.2 디지털 계전기

각종 아날로그 계전기를 마이크로 프로세서를 이용하여 디지털화 하고 성능 시험을 거쳐 상품화 하였다. 보호 대상(모터, 트랜스포머, 선로)에 따라 전문성을 갖는 3종의 계전기를 개발하여 엔지니어링의 간편화를 이룩 하였다.

4.3 통신

RS-485 통신으로 250대의 디지털 계전기를 중앙 감시부와 연결 가능하게 개발 하였다.

참고 문헌

1. 보호 계전 시스템, 이 상호역, 도서출판 새화.
2. 전력 제어 시스템의 접속도 1, 2, 3, 기전 연구사.
3. 마이크로 프로세서를 이용한 전자식 배전반 개발 (II), 한국 전기 연구소.
4. Gabriel Benmouyal, Sylvain Boismenu Member, "A Field Programmable Time Overcurrent Relay", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No. 3, July 1986, pp.376-384.
5. M.M. Mansor, G.W. Swift, M.F. salem, I.E. Helal, "A Multi-Function Microprocessor-Based Relay", IFAC Symposium on Power Systems and Power Plant Control, Seoul, 1989, pp.891-95.
6. IEEE Committee Report, "Computer Representation of Overcurrent Relay Characteristics", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.4, No.3, July 1989, pp.1659-1667.
7. Gabriel Benmouyal, "A Log-Table Based Algorithm for Implementing Microprocessor Time-Overcurrent Relays", IEEE Trans. on PAS, Vol.101, No.9, 1982, pp.3663-3567.
8. E.O. Schweitzer, A. Aliaga, "Digital Programmable Time-parameter Relay Offers Versatility and Accuracy", IEEE Trans. on PAS, Vol.99, No.1, 1980, pp.152-157.