

# 고압 수용가용 배전반의 intelligent화 연구

변영복\*, 조기연, 구원희  
한국전기연구소 전력전자연구부 전력전자연구팀

A Study on the Intelligent High Voltage Switchboard for Customer

Young Bok Byun\*, Ki Youn Joe, Koo Heun Hoi  
KERI

## ABSTRACT

This paper describes the design of a digital multifunction controller for the intelligent high voltage customer switchboard and proposes a relaying algorithm for high impedance faults using back-propagation neural network. The hardware design uses the three microprocessors and global memory architecture to achieve real time operation and control 4 feeders. The controller uses a 64-point radix-4 DIF FFT algorithm to measure the harmonic and relay parameters. Synthesized fault current waveforms are used to train and test the back-propagation network.

### 1. 서론

배전반의 기능을 크게 분류하면 개폐기능, 통전기능, 절연기능 등을 실현하는 주회로 기능과 제어회로 기능으로 나눌 수 있다. 최근 주회로는 절연기술의 진보로 가스절연, 복합절연 방식이 적용되어 배전반의 소형화가 추구하고 있다. 이에 부응하여 보호기능, 제어기능, 계측기능 등 배전반 운용에 필요한 모든 기능을 수행하는 제어회로는 마이크로프로세서를 중심으로한 전자기술의 진보로 각각 기능별로 정지형, 디지털형을 거쳐 단일 제어장치에 의한 복합기능형으로 발전되었고 최근에는 새로운 기능들을 추가하여 다양한 사용자들을 만족시킬 수 있는 Intelligent 배전반의 제어장치에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. [1]

본 연구에서는 고압 수용가용 배전반의 Intelligent화를 위하여 기존 배전반의 계측, 보호, 제어기능을 모두 수용하면서 향후 수용가의 고조파 규제에 대응하기 위한 조파분석기능을 추가하고, 역전파 신경회로망에 의한 보호계전 방안을 제시하였다. 또한 경제성을 위하여 4Feeder를 하나의 제어장치로 운용할 수 있게 설계하였다.

조파분석은 DSP칩을 이용한 64-Point, Radix-4 DIF FFT에 의해 수행되며, 역전파 신경회로망에 의한 보호계전을 위해서는 DC성분에서 9조파 성분까지의 10개의 입력데이터를 이용하여 여러가지 신경회로망 모델에 대하여 실험하여 그 가능성을 검토하였다. 본 연구의 제어

장치를 구성하기 위하여 TMS320C25 DSP칩과 80960KB 32비트 마이크로프로세서 및 8096BH 16비트 마이크로콘트롤러를 적용하였다.

본 논문에서는 먼저 Intelligent 배전반시스템의 설계 개념을 제시하고 이를 실현하기 위한 제어장치의 하드웨어 및 소프트웨어와 역전파 신경회로망에 의한 고저항 지락 보호계전 방안을 기술한다.

### 2. Intelligent 배전반 시스템 개념 설계

배전반의 Intelligent화를 위해서는 배전반 제어장치의 기능향상과 함께 수변전 종합감시제어장치와의 Network이 필요하다. 그림1은 Intelligent 배전반 시스템 구성도이다. 각 Feeder의 배전반에 취부되는 제어장치는 그 Feeder의 부하에 적합한 보호계전기능을 수행하면서 계측, 제어기능 및 자기진단 기능을 가지며 수변전설비의 통합을 위하여 필요한 Feeder에는 Power Factor Control

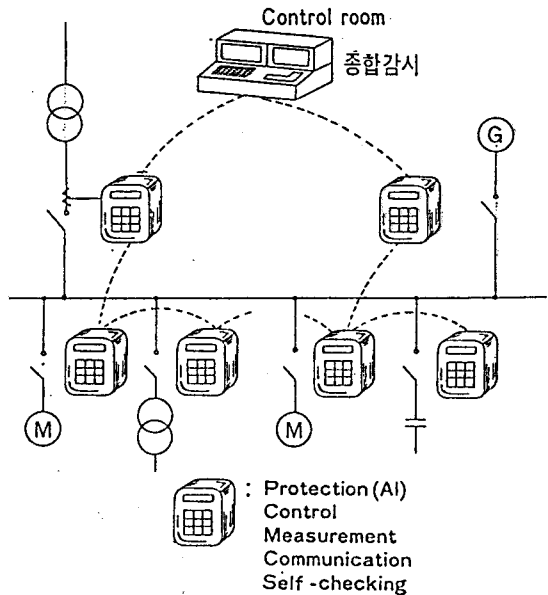


그림1. Intelligent 배전반 시스템 구성도

및 Demand Control 기능을 수행할 수 있다. 특히 보호 계전기기능에 AI기법을 도입하여 사고판단의 정확성을 기한다.

이러한 각 Feeder의 제어장치는 수변전 종합감시제어장치와 Network되며 수변전 종합감시제어장치는 Feeder의 제어장치로부터 전송되는 데이터의 수집, 관리 및 표시, Feeder 제어장치의 제어기능을 수행함과 동시에 이상의 조기발견에 의한 사고의 미연방지, 이상부위의 원인추정, 진전예측, 사고장해시의 응급복구, 사고장해발생시의 대응 훈련등의 Expert 기능을 수행할 수 있다. 이러한 통신 Network는 Transducer 및 신호전송선이 제거되며 Feeder간의 보호협조가 용이하다.

CT,PT의 포화특성을 제거하고 계측의 정확성을 위하여 광 CT, PT를 적용하며 디지털 입출력 신호의 에러를 방지하기 위하여 Fiber Optic link Component를 적용한다.

### 3. 제어장치의 설계

#### 3.1 제어장치의 수행기능

Intelligent 배전반 시스템을 구성하기 위한 배전반 제어 장치의 수행기능은 다음과 같다.

- 보호기능 : 순시과전류, 한시과전류, 방향성 과전류, 과전압, 부족전압, 지락과전류, 지락과전압, 지락방향, 고저항지락, 고주파수, 저주파수, 전동기 보호, 2단자 전류차 등
- 계측기능 : 상전류, 영상전류, 최대전류, 전압, 영상전압, 유효전력, 무효전력, 유효전력량, 무효전력량, 역율, 주파수, 고조파 분석
- 제어기능 : 차단기 제어, 경보, 자기진단, 중앙감시반과의 통신
- MMI : 키 입력, 표시, 프린터등 주변장치

특히 본 연구에서는 고조파 분석기능을 부가하여 향후 수용가의 고조파 규제에 대응할 수 있게 하였고, 신경회로망에 의한 고저항 지락계전기능을 수행한다. 또한 경제성 및 보호협조의 신뢰성을 위하여 4Feeder를 하나의 제어장치에서 제어케 하였다.

#### 3.2 하드웨어 및 소프트웨어

그림2는 본 연구에서 설계한 제어장치의 전체 구성도이다. 크게 기능별로 나누어서 Data Acquisition 및 FFT 등 신호처리를 DSP칩(TMS320C25)이 담당하고, 보호계전 및 계측연산등의 주 알고리즘과 신경회로망 알고리즘을 32비트 Embedded processor(80960KB)가 처리하며, 키입력, 표시, I/O제어, 통신 등 MMI기능을 16비트

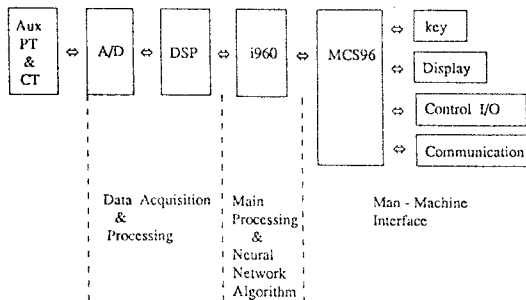


그림2. Intelligent 배전반 제어장치 구성도

Embedded Controller (8096BH)가 담당케 함으로서 시스템의 기능을 극대화 시키게 하였다. 설계시의 주요개념은 첫째, A/D변환부가 Auto Conversion기능을 가지게 함으로서 DSP의 부담을 최소화시키고, 둘째, A/D변환 데이터를 버퍼를 통하여 데이터 불러므로 DSP에 전달함으로써 Data Acquisition 시간을 줄이며, 셋째, DSP와 80960KB 사이와 80960KB와 8096BH 사이에 공용 메모리를 이용한 DMA 방식에 의해서 데이터를 전송함으로써 다량의 데이터 전송에 소요되는 시간을 최소화 하며, 넷째, 실행시간이 많이 소요되는 I/O기능을 저가의 8096BH에 전달시킴으로서 80960KB는 주기능만 수행하여 Real Time 처리에 충분한 성능을 가지게 하였다.

본 제어장치는 4Feeder를 동시에 제어할 수 있으므로 제어 Feeder수에 따라 A/D변환 보드 및 I/O제어보드를 Feeder수 만큼 부착할 수 있다. 1개의 A/D변환 보드는 1Feeder의 8채널 입력신호를 A/D변환하며, 각 A/D변환 보드를 동기화 시키기 위해서 DSP보드에서 동기 클럭을 보낸다. 그림3은 본 제어장치의 시작품이다.

DSP 프로그램은 실행시간을 최소화 하기 위해서 어셈블리로 작성되었으며, 80960KB 프로그램은 어셈블리와 C, 8096BH는 PL/M으로 작성되었다.

#### 3.3 신호처리 알고리즘

각 종 전기량 및 보호계전 연산을 위해서는 전압, 전류의 기본파 성분 혹은 특정 성분을 추출하여야 한다. 기본파 성분 추출을 위해서는 Fourier, Walsh, Harr 알고리즘 등이 이용되며, 연산시간을 줄이기 위해서는 Heptagonal Wave와의 Cross - Correlation에 의한 알고리즘도 이용된다. [2] 그러나 본 제어장치는 고조파 성분을 분석하여 고조파 계측 및 신경회로망에 의한 보호계전 기능의 입력 데이터로 이용하여야 하므로 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 적용하였다. 본 제어장치에 적용된 FFT 알고리즘은 64Point Radix-4 DIF (Decimation-In-Frequency) FFT이다. [3]

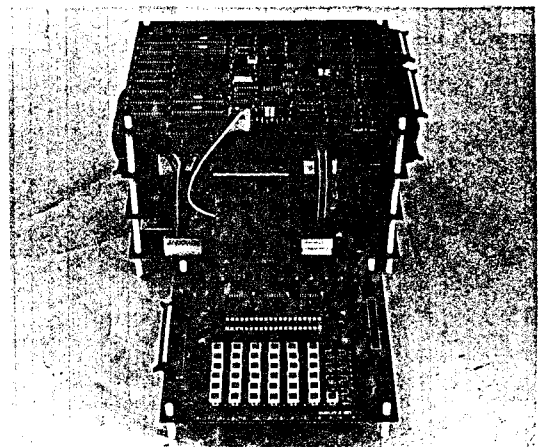


그림3. Intelligent 배전반용 제어장치 시작품

#### 4. 역전파 신경회로망을 이용한 보호계전

본 연구에서는 신경회로망을 이용한 보호계전 가능성을 검증하기 위하여 일반 보호계전기로 검출할 수 없는 고저항 지락보호계전기능에 역전파 신경회로망을 적용하였

다. 고저항 지락사고를 검출하기 위한 여러가지 알고리즘이 제안되었지만 대부분 고저항 지락사고시의 특정 현상만을 고려하였기 때문에 신뢰성 있고 범용적인 방법이 되지 못하고 있다.

본 연구에서는 신경회로망을 이용해 문제를 해결하기 위한 시도로서 Russell의 연구결과를 토대로 그 가능성을 검증하였다. Russell의 연구 문헌[4]에 따르면 아아크 고장의 경우 120Hz와 240Hz의 주파수 성분이 급격히 변화하고, 정상부하의 변동인 캐피시터 뱅크의 동작시에는 180Hz와 300Hz의 성분이 급격히 증가하였다. 따라서 표 1과 같은 75개의 학습데이터를 생성시켜 5개의 신경회로망 모델에 대하여 학습시킨 다음 표 2와 같은 300개의 테스트 데이터가 실험되었다. 신경회로망 입력변수는 DC에서 9조파까지 고려하여 모두 10개이다. 표 3은 5가지 신경회로망 모델에 대해 실험한 결과를 종합한 것이다. 표 3에 나타난 결과를 분석해 보면 해당고조파 성분이 다른 고조파 성분보다 큰 경우에는 완벽하게 분류되었으며 임의의 중첩고조파에 의해 영향을 많이 받으면 Error가 발생하는 경우가 있었다. 본 연구에서 시행한 실험결과는 실제용 적용시의 신뢰성은 문제만 있지만 신뢰성 있는 학습 데이터가 얻어진다면 신경회로망의 적용가능성을 보였으며 아아크 고장에 대한 정보용으로 적용가능할 것으로 판단된다.

### 5. 결론

고압 수용가용 배전반의 Intelligent배전반 설계 개념에 따라 배전반 제어장치의 하드웨어 및 소프트웨어를 설계하고 고저항 지락보호계전 기능에 역전파 신경회로망을 적용하여 그 가능성을 검토하였다. 단일 제어장치로 4Feeder의 보호, 개측, 제어 기능을 모두 수행하면서 고조파 분석, 신경회로망 알고리즘들을 수행시키기 위해서 DSP, 80960KB, 8096BH등 3개의 프로세서로 제어장치를 구성하였다. 고조파 분석을 위한 신호처리 알고리즘은 64-Point, Radix-4 DIF FFT를 적용하였다. 신경회로망에 의한 고저항 지락 보호계전 실험결과는 실제용 적용시의 신뢰성은 문제가 있지만 적용가능성을 보였다. 향후 사용자가 필요로하는 부가기능들을 계속 수용하면서 신뢰성 향상을 위한 시험 및 Field Test가 뒤따라야 하며, 신경회로망에 의한 보호계전기능을 개선하기 위하여 신뢰성 있는 학습데이터를 얻기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

표 1. 학습데이터

정상전류(25개)	정현파 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩
고장전류 (아아크고장 : 25개)	정현파+2조파+4조파+정현파 및 각 조파에 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩
고장과 유사한 정상전류 (콘덴서 뱅크 스위칭 : 25개)	정현파+3조파+5조파+정현파 및 각 조파에 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩

표 2. 테스트 데이터

정상전류(100개)	정현파 +Random(2~16)조파+정현파 및 각조파에 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩
고장전류 (아아크고장 : 100개)	정현파+2조파+4조파+Random조파+정현파 및 각 조파에 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩
고장과 유사한 정상전류 (콘덴서 뱅크 스위칭 : 100개)	정현파+3조파+5조파+Random조파+정현파 및 각 조파에 $\pm 0.1$ 의 Random노이즈 중첩

표 3. 여러가지 신경회로망 모델의 실험 결과

#of Layers	#of hidden Layers	#of unit	Errors			Iterations
			Normal	capacitor Bank Operation	Arcing	
3	1	10+10+1	0	7	2	40
4	2	10+10+8+1	1	4	3	66
4	2	10+15+5+1	0	4	3	45
5	3	10+15+15+10+1	1	2	2	93
6	4	10+15+20+15+10+1	0	2	1	609

### 참고문헌

1. 阿部俊範, "配電盤のインテリジェント機能", 電氣計算, 1989年 7月號, pp57-64
2. Y. G. Paithankar, "Fast(1-shift) Orthogonal Functions for Extraction of the Fundamental Frequency Component for Computer Relaying", Electric power System Research, 14(1988), pp233-236
3. Digital Signal Processing Application with TMS320 Family, Texas Instrument, 1992
4. B. D. Russell, R.P.Chinchali, and C.J.Kim, "Behaviour of Low Frequency Spectra During Arcing Fault and Switching Events", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol.3, No.4, Oct. 1988, pp1485-1491.