

변전소 종합 보호제어 시스템의 기술동향

윤 남 선

LG 산전(주) 연구소 시스템연구실 연구개발팀장

1. 서론

전력 수요의 증대와 더불어 전력 계통이 복잡화, 대용량화 되는 한편 전력의 질적 향상에 대한 인식이 점점 고조되면서 기존의 계통 운용 설비로서는 충족하기 어려운 여러가지 요구들이 변전소의 보호, 제어 및 감시분야에 발생하고 있다. 즉 사고검출의 다양화 및 신속화, 감시제어 항목의 증대, 보수점검의 합리화 및 자동화, 전력설비의 고신뢰도 등의 요구가 그것이다. 현재까지 변전소의 송변전 설비를 보호, 제어 및 감시하는 장치들은 대부분 아날로그 방식으로 되어 있어서 이러한 새로운 요구들을 충족시킬 만큼 기능을 다양화하거나 성능을 향상시키기가 어렵게 되어 있다. 또 이러한 재래식 설비들은 설비 자동화 및 무인화에 적지않은 장애요인으로 작용하며 EMS, SCADA 등과 같은 원방 중앙 집중 감시제어 장치들과의 원활한 협조를 어렵게 하기도 한다. 이러한 이유로 전력설비의 보호·제어·감시 장치의 Digital화는 필수적인 요건이 되었다.

해외 선진국에서는 1975년을 전후하여 디지털 릴레이 시스템에 관한 연구가 시작되었으며 최근 Digital 기술과 정보통신 기술의 급속한 발전으로 현재 전력 계통 및 기기에 대한 거의 모든 보호 장치들이 Digital화 되었고 통신 기능의 부가로 전력소 내의 모든 데이터 수집, 경보 기능, 상태 감시 및 제어가 한 개의 시스템으로 집속되고 있다. 나아가서는 전력소간에도 상위 시스템으로 연결되어 완전한 Computer화가 진행되고 있다. 대표적인 예로서 미국의 GE나 스웨덴의 ABB, 일본의 Toshiba, Hitachi, Mitsubishi, 3사에서는 각종 Digital 보호장치의 개발에 이어 이들 장치들을 한개의 시스템으로 통합한 독자적인 발전소 Digital 종합 보호제어 시스템을 개발하여 실계통에서 운전하기에 이르렀다.

한편 국내의 디지털 릴레이 및 종합 보호제어 시스템의 개발은 한전을 중심으로 1985년부터 시도하였으며 그동안 22.9kV 배전용 디지털 릴레이와 154kV 송전선로용 디지털 릴레이를 개발 완료하여 상품화 단계에 들어섰다. 그리고 '89년부터 한전기술연구원과 기초전력공학공동연구소가 공동으로 종합 보호제어 시스템을 연구 개발하여 그 시제품을

영서전력소에 설치하여 시험한 바 있다. 그리고 '93년부터 자사 연구소와 몇개 제조업체가 참여한 가운데 실용화를 위한 연구를 계속 진행하고 있다. 한편은 이 연구의 결과와 외국의 운용사례를 검토하여 '98년 2개의 신설 변전소에 종합 보호제어 시스템을 시범 적용하고 신뢰도를 평가를 한 다음, 신설되는 변전소에 확대 적용할 계획을 갖고 있다.

본고에서는 이러한 변전소 종합 보호제어 시스템의 주요 기술동향을 소개하고자 한다.

2. 설비별 보호제어 장치

가. 보호제어 장치의 구성

최근 전력설비에 대한 보호, 제어, 감시 기능들이 한개의 Digital 시스템으로 통합되어 감에 따라 장치의 기능이나 H/W 구성도 유사해지고 있다. 차이가 있다면 장치의 구조적인 면이나 세부적인 보호제어 Algorithm일 것이다. 여기에서 보호제어 장치의 대표적인 기능구성과 H/W 구성에 대해 간단히 소개하고자 한다.

(1) 보호제어 장치의 기능

○ 보호계전 기능 : 송전선로나 전력기기 등에서 어떤 원인으로 사고가 발생하였을 때 그를 검출하여 신속히 차단하는 역할을 하는 기능이다. 이는 설비 특성에 따라 사고검출 방식이 각기 다르며 그 방식에 따라 복잡하거나 많은 양의 연산을 요하기도 한다. 설비별 주요 보호기능은 앞으로 보다 자세히 설명할 것이다.

○ 기기제어, 상태 감시 기능 : 현장 또는 원방에서 지령에 의하여 기기를 조작할 수 있고 해당기기의 운전상태를 표시하는 기능이다.

○ 계측 기능 : 전류, 전압, 전력, 역률, 전력량 등 각종 전기량을 계산하여 제공한다.

○ 자기진단 기능 : 보조기능에 불과하지만 무인화, 자동화 추세와 신뢰성측면에서 굉장히 중요시되고 있는 기능이

다. 이는 마이크로 프로세서가 장치내의 모든 H/W 부분을 스스로 점검하여 이상이 검출되면 운전원에게 경보해줌으로써 장치를 점검하는데 드는 비용을 줄여준다.

○ Event/Fault Recording : 계통에 사고가 발생하였거나 기기의 조작, 기기상태의 변화, 장치의 이상 발생 등 장치 내외부의 모든 변화에 대해 그 발생시각과 함께 원인 등의 상세한 정보가 순차적으로 기록 저장된다. 특히 계통의 사고에 대해서는 사고지점을 전후로 충분한 기간동안 전류, 전압 등의 신호는 물론이고 장치 내부요소의 동작상태 변화까지 Sample별로 기록하여 중앙 Computer 나 Portable PC 등으로 사고를 다양하게 해석할 수 있도록 한다.

○ Man-Machine Interface : 장치의 조작이나 표시를 위한 기능으로 기본적으로 장치에 부착되어 있는 Panel에서 조작, 표시가 가능하게 되어 있으며 RS232C, 또는 Network Interface를 함께 구비하여 Portable PC 나 Host Computer 등에서 조작, 표시를 할 수 있게 되어 있다.

○ Network Interface : 통신기술의 발전으로 변전소내의 Link 는 광 LAN 이 일반화되고 있다. Message Protocol도 국제적인 표준화를 꾀하고 있다.

자세한 내용은 뒤에 별도로 기술하고자 한다.

(2) 보호제어 장치의 H/W 구성

보호제어 장치의 H/W는 크게 분류하면 전류, 전압신호를 Digital로 변환하여 사고판정을 위한 처리를 하고 그 결과로 기기의 조작을 지령하는 Digital 프로세서부와 보조 CT/PT, 접점 입출력, 절연회로 등으로 구분된다.

여기서는 장치의 전부라고도 할 수 있는 Digital 프로세서부 만을 설명하고자 한다.

마이크로 프로세서의 발달에 힘입어 보호제어 장치의 프로세서로 RISC형의 32-bit 프로세서들이 많이 사용되기 시작했고 연산의 용도로 DSP도 거의 필수적으로 사용되고 있다. 또한 다양한 기능이 한 시스템으로 집적되기 시작함에 따라 시스템의 성능이나 유연성을 키우기 위해 다중 프로세서 구조를 많이 채택하고 있다. 가장 일반화되고 있는 H/W 구성을 그림 1에 나타내었다.

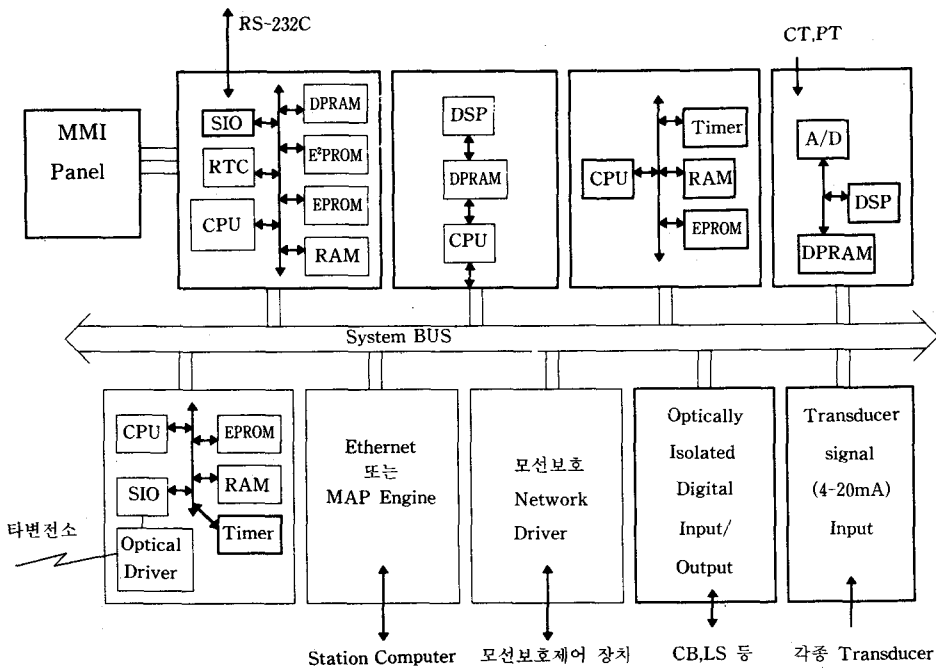
○ System Processor Module : 보호제어 장치의 전

기술동향

체적인 관리를 하는 프로세서로 설정치 보관을 위한 E²PROM, Event Recording RTC(Real-Time Clock), 외부 사용자 Interface인 Serial Port, 다중 프로세서 관리를 위한 Common Shared Memory 등으로 구성된다.

○연산 Processor Module : 각종 보호, 제어, 계측, 기능에서 요구되는 연산을 수행하는 Module로 주로 DSP와 Memory로 구성된다. 다른 프로세서와의 Data교환 등 부수적인 기능 수행을 위해 일반 프로세서를 추가하여 이중 프로세서 구조로 구성할 수도 있다.

최소로 조정하기 위한 Calibration회로 등이 필요하지만 최근 이 Module에 DSP를 사용하여 별도의 Calibration회로 없이 오차를 연산을 통하여 보상하고 있다. 각 신호마다 필요했던 S/H도 없애버리고 Sampling에 따른 위상오차는 DSP에 의해 보상하며 Analog Filter도 DSP에 의한 Digital Filter로 대체하여 H/W를 대폭 간소화하고 부품 특성 변화에 따른 시스템의 성능변화를 최소화하는 추세이다. A/D Converter도 16 bit급을 사용하므로 고정밀도를 추구하는 경우가 많아지고 있다.



〈그림 1〉보호제어장치의 Processor부 H/W 구성도

○Sequence Processor Module : Digital 입출력 관리, 기기 제어, Trip Sequence에 의한 차단기조작, 차단 실패 보호, 자동재폐로, 변압기의 경우 OLTC제어와 같은 Sequence처리를 전문적으로 하는 Module로 프로세서의 기본구조인 CPU, Timer, RAM 등으로 구성된다.

○A/D 변환 Module : Aux. CT, Aux. PT를 통하여 소신호로 변환된 전류, 전압신호를 입력받기 위한 Module로 Anti-aliasing Filter, Sample-and-Holder, Mux, A/D converter 등으로 구성된다. 이밖에 H/W의 오차를

○Digital Input/

Output Module : Photo Coupler에 의해 외부와 전기적 절연을 한다. 이 Module은 기기를 조작하고 상태를 입력받기 위한 장치의 손과 눈에 해당하는부분으로 H/W의 이상유무를 프로세서가 상시에 점검할 수 있도록 구성한다. 일반적으로 Digital 입력부는 이중으로 받아들여 그를 비교하는 식이고 출력의 경우 점점사이의 전압과 전류를 Feedback받는 식으로 그 이상 유무를 점검하고 있다.

○Transducer Interface Module : 이 Module은 설비들의 상태를 감시하기 위하여 각종 Sensor들로부터의 물리량을 4~20mA 표준 Analog신호로 받기 위한 Module이다. 무인화와 관련하여 감시하고자 하는 항목의 증가를 예상할 수 있는데, 그러면 이 Module과 Sensor 사이의 Cable이 증가하게 되어 장치가 복잡해질 수 있다. 이런 점을 고려하여 보호제어 장치와 Sensor들 간의 Interface를 Bus형태의 직렬통신으로 대체하는 것도 좋은 방법이 되리라 생각

한다. 이런 Interface는 산업분야 자동화와 관련하여 국제 표준형태로 개발된 상태에서 추후 System의 확장이 용이하게 되었다.

• 이밖에 구성요소로서 Network Interface Module, 타 변전소와의 통신 Interface Module 등이 있는데 뒤에서 다시 설명하기로 한다.

나. 송전선로 보호제어 장치

계통의 다단자화, 부하전류의 증대, 또 Cable 계통이나 장거리 송전선로의 증대로 보호에 대한 장애요인이 많이 생겨나고 있다. 전송전류 차동계전방식은 송전선의 각 단자에 설치된 보호장치끼리 전류의 Sample 치를 통신매체를 통하여 주고 받아 차전류로 사고를 판정하는 방식으로 송전선 보호방식 중 그 원리가 단순하면서 계통의 조건변화에도 가장 정확히 사고를 검출할 수 있는 방식이다. 최근 정보통신 기술의 발전과 OPGW(광통신선이 내장되어 있는 가공지선)의 보급으로 이 방식이 송전선로의 주보호 방식으로 선호되고 있는 추세이다.

전송전류 차동계전 방식의 구현에 있어 중요한 내용은 다음과 같다.

(1) 각 단자에서 동일한 시각에 전류, 전압 신호를 Sample 하도록 하는 동기방식이 필요하다. Sampling 동기오차는 계전요소의 정확도에 영향을 미친다.

(2) 최대 단자(대부분 5단자 이내임)구성의 선로에서 Sampling data의 전송지연은 계전요소의 동작시간이나 Security에 영향을 주게 된다.

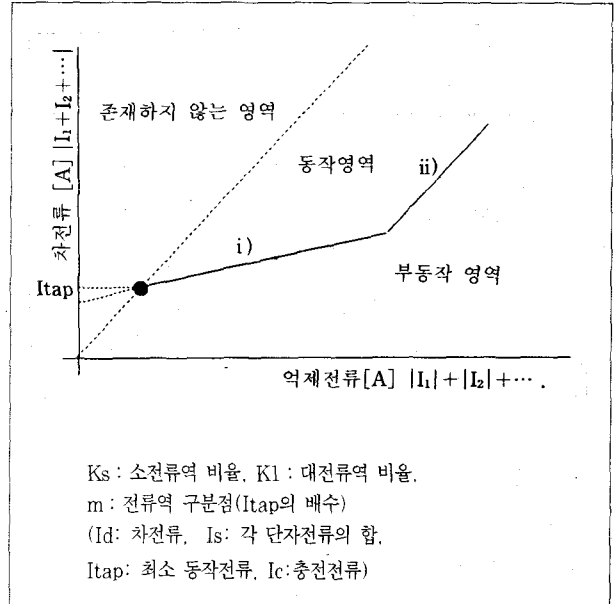
(3) 사고전류 계산시 선로 Capacitance에 의한 충전전류를 정확히 보상함으로써 계전요소의 정확도를 향상시킨다.

(4) 각 단자의 CT비율 보정.

(5) CT/PT 및 장치 입력부에서의 오차와 CT포화를 고려한 보호특성 설정.

(6) 각 단자의 3상 전류치와 차전류치 등의 많은 연산을 Sampling 주기내에 끝내기 위해서 고속의 실효치 연산법이 사용되어야 한다.

(1) 보호특성



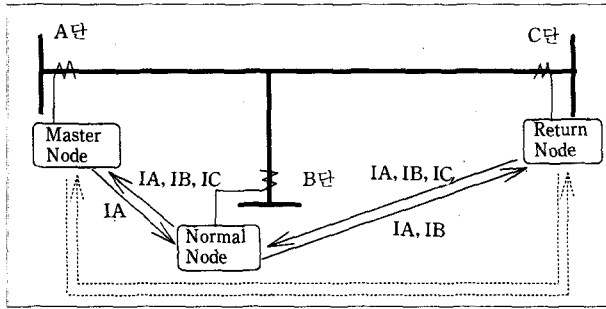
〈 그림 2 〉 전송전류 차동계전의 비율차동 특성

보호특성은 그림 2와 같은 각 단자전류의 합과 차전류간의 비율차동 특성이다. 비율은 CT 포화영역과 비포화 영역을 구분하여 다르게 한다. 비포화 영역(그림 2에서 i)구간의 비율을 결정하는 요소는 CT의 오차, 장치의 Analog 입력부 오차, Sampling 동기 오차, Digitizing 오차, 연산 오차 등이 포함된다. CT의 오차는 통상 10% 이내이며 장치의 오차는 5% 이내이기 때문에 비포화 영역의 비율은 15% 이내가 가능하다. 사용하는 CT 및 장치의 정밀도에 따라 이 비율은 15%보다 적게 하여 사고판정 능력을 향상시킬 수 있다. 포화영역에서는 CT포화에 따른 차전류가 커져 이로 인한 오동작이 일어날 수 있으므로 비율을 크게 설정할 수 있도록 한다.

또한 고저항 지락사고를 민감하게 검출하기 위하여 각 단자 영상전류를 사용한 비율차동 특성을 별도로 구비한다.

기술동향

(2) 통신사양



〈그림 3〉 3단자 선로의 경우 전송선로 구성

전송선로 구성의 예를 그림 3에 나타내었고 보호제어 장치와 변전소 간 통신 중계장치 사이의 접속사양의 한 예를 표 1에 나타내었다.

〈표 1〉 광전송 사양

| | |
|----------|----------------|
| 전송 속도 | 1.544 M Bps |
| 광 전송로 | GI 62.5/125 um |
| 발광 소자 | LED |
| 발광 파장 | 820 ± 45nm |
| 발광 Level | Min. -15.0dBm |
| 수광 소자 | PIN-Diode |
| 수광 Level | Max. -30.0dBm |
| 광 코넥터 | ST |
| 부호 형식 | DMI |

현재 자사에서 개발중인 송전선로 보호제어 장치의 기능 구성을 Processor 별로 표 2에 요약하였다.

다. 변압기 보호제어 장치

변압기 보호의 일반적인 기능구성을 그림 4에 나타내었다. 전류차동 계전을 주보호로 하고 있으며 3 권선 변압기 까지 적용 가능하게 되어 있다. 권선비 보정이나 결선에 따른 위상차 보정은 별도의 하드웨어 없이 소프트웨어적으로

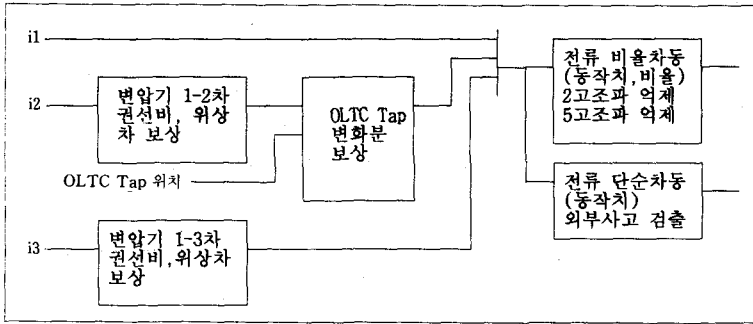
처리되며 여자 돌입전류나 과여자에 의한 고조파로 오동작을 하지 않도록 억제요소를 구비하고 있다. 또 별도로 단순 차동요소를 구비하며 이는 외부사고시 CT포화에 의한 오동작이 없도록 되어 있다. 그리고 OLTC의 Tap Position에 따른 권선비의 변화까지 소프트웨어적으로 보상하여 사고 검출 감도를 최대한 높게 하고 있다. 이런 사고검출 기능 외에 부하를 감시하여 변압기의 사고 및 수명을 예측하는 기능, 각종 Sensor에 의한 기기 진단, 부하에 따라 변압기의 Tap을 자동적으로 절환해 주는 자동 전압제어 기능 등이 한 개의 Digital 시스템으로 통합되어 설비 축소는 물론이고 앞으로 새로운 기능의 부가도 용이하게 하고 있다.

〈 표 2 〉 송전선로 보호제어 장치의 기능 요약

| Processor 구분 | 기 능 |
|--------------------|---|
| System Processor | Setting Data 관리 자기진단 계측 기기 제어, 감시 Event/Fault Recording (Fault Oscillograph) Man-Machine Interface |
| 보호연산 Processor | 단락지락 거리계전, 동기탈조 검출 방향 과전류, 지락 과전류 계전 선택 지락계전 (비접지계) 선로단선 검출 Fault Detector, 사고상 구분 고장점 표정 |
| Sequence Processor | Trip 출력 Sequence 자동 재폐로 차단실패 보호 |
| 전송 전류 차동 Processor | 1.544 MBPS 광통신의 타 단자와의 Sample Data 전송교환 |
| Bus Net Processor | 모선보호용 단말, sample data 송신 |
| SU Net Processor | Station Unit 과의 감시제어 Network 접속 |

라. 모선 보호제어 장치

모선상의 사고검출은 모선에 연결된 선로나 변압기로 유입 또는 유출되는 전류를 알아야 하는데 기존의 보호방식은 각 단자의 CT로부터 3상 전류신호를 선으로 끌어다 차동 전류를 만들어 사고를 판정하는 식이었다. 또 모선 외부의



〈 그림 4 〉 변압기 보호 기능 설명도

지근단 사고로 CT가 포화되어 계전요소가 오동작하는 것을 막기 위하여 복잡한 방법이 사용되었다.

이제 고속 광 Network을 사용하여 수 많은 신호선을 몇 가닥의 광선로로 바꾸어 설비 및 공수의 절감은 물론 전기적인 Noise의 영향을 줄여 신뢰성을 높일 수 있게 되었다. 또 보호방식도 대부분 S/W적으로 처리 가능하여 외부사고 시 CT포화검출도 용이해졌으며 전체적인 보호성능을 크게 향상시킬 수 있게 되었다. 아직까지 세계적으로 이 보호 방식이 극히 제한적으로 적용되고 있지만 이제 더이상 기존방식을 적용할 수 없는 단계에 이르렀다. 또한 프로세서의 이점을 최대한 활용하여 자동재폐로, 모션 절체 등의 복잡한 Sequence를 단지 S/W만으로 얼마든지 추가 할 수 있게 되었다. 다음에 모션보호 Network의 구성에 대해 간단히 소개한다.

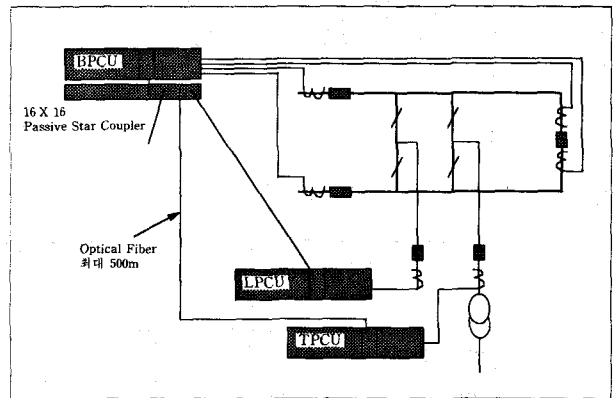
(1) 모션보호 Network

그림 5와 같이 모션보호 Network은 모션 보호제어 장치 (BPCU)와 모선에 연결된 선로(LPCU), 변압기 보호제어 장치(TPCU)와의 광 Network을 말한다. 이는 전류차동방식의 모션보호를 함에 있어 BPCU가 Network 상의 Master가 되어 Sampling 주기별로 모선에 연결된 LPCU, TPCU 들에게 신호를 주면 그에 동기를 맞추어 LPCU, TPCU 들이 자기단의 전류신호를 Sampling하여 BPCU로 보낸다. BPCU는 이들로부터 전송받은 Sample

치를 상별로 더하여 고장전류를 얻어낸다. 여기서 사용하는 Star Coupler는 빛을 그대로 분기시켜 주는 Passive 장치로 전기적인 입력이 필요없고 PCU에서 PCU까지 광신호로만 접속되어 신뢰성이 높다.

마. 기타 보호제어 장치

앞에서 기술한 보호제어 장치 외에 배전선로 보호제어 장치, 조상설비인 리액터 뱅크와 커패시터 뱅크의 보호제어 장치가 있을 수 있으나 그 보호방식은 앞의 장치들에 비해 단순하며 기능구성도 유사하므로 여기서는 자세한 설명을 하지 않는다.



〈 그림 5 〉 모션보호 Network 구성

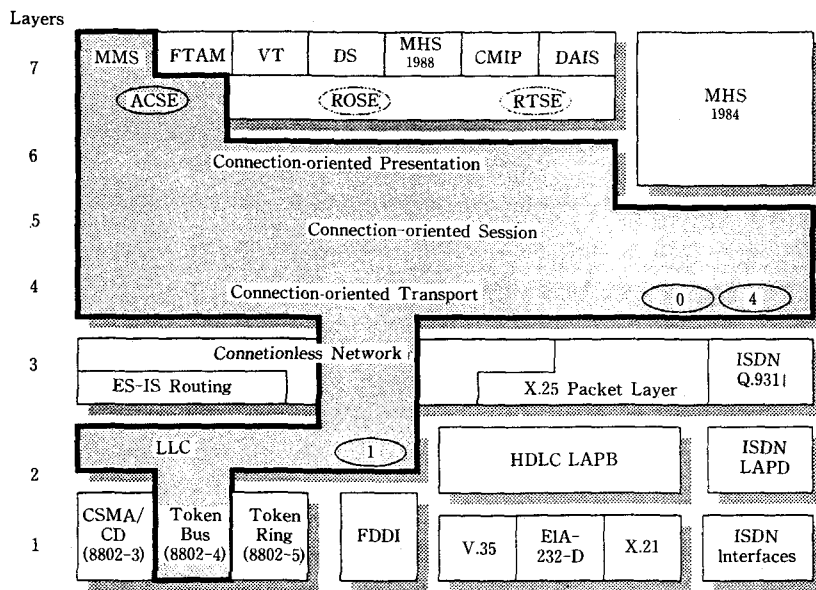
3. 변전소 종합 감시제어 시스템

기존의 보호제어 장치나 시스템 구성으로는 자동화, 무인화와 설비축소의 사회적 요구에 대응하기에는 이미 한계에 이르렀다고 생각된다. 장치나 제어 케이블의 증가, 그로 인한 공기의 연장, 운전보수의 어려움 등 많은 문제가 발생하고 있는 것이다. 이제 앞에서 언급한 Digital 시스템의 보호제어 장치들을 기기 근처에 설치하고 이 장치들과 변전

기술동향

소의 Control Room에 있는 Station Computer간을 몇가닥의 통신선으로 연결하여 장치의 모든 동작상태 및 기기의 상태를 집중 감시하고 기기들을 원방에서 제어할 수 있는 종합 보호·제어·감시 시스템이 필요하게 되었다. 또 EMS, SCADA 등의 상위 전력소 시스템과도 원거리 통신 기술을 이용하여 연계함으로써 보다 넓은 범위의 전력계통 자동화, 무인화도 가능하게 되었다. 여기서는 앞에서 이미 언급했던 보호기능을 제외한 종합 감시제어를 위한 Network와 중앙 Station Computer의 기능에 대해 간단히 소개한다.

(1) 감시제어 Network



〈그림 6〉 7-layer UCA model profile

Network 기술의 발달로 변전소 설비의 감시제어를 위해 필요한 성능이나 신뢰성 등의 기술적 문제는 없어졌다고 본다. 이제는 호환성, 경제성의 이유로 국제적인 표준화 움직임이 활발하게 진행되고 있다. 현재는 북미를 중심으로 한 EPRI/UCA 표준과 유럽을 중심으로 한 IEC 870-5가 전력계통 분야에서 두드러진 표준으로 자리잡고 있으며 이들

을 하나로 통합하려는 노력이 있기 때문에 머지않아 그 결실이 있으리라 본다. 그림 6에 IEC 870-5-101이 제시하는 7-layer UCA(Utility Communication Architecture) Stack의 Profile을 나타내었고 그림 7에 자사가 개발한 광 LAN을 사용한 변전소 감시제어 Network의 구성을 나타내었다.

(2) Station Computer

Station Computer는 Control Room의 많은 자리를 차지하였던 기존의 조광식 감시제어 Panel의 역할 뿐이 아니고 각종 Data의 수집, 보관, 보고자료 작성, 장치의 원격 정정, 사고해석 등 수 많은 기능을 수행할 수 있게 되었으며 나아가서는 Expert System이나 AI 기술을 응용하여 운전자가 해야 할 지적판단까지 신속하고 정확히 해줌으로써 운전자의 부담을 줄여주고 있다. Computer의 성능발전과 함께 Multi-tasking OS, 각종 S/W Tool의 급속한 보급확대로 원하는 기능을 구현하기가 갈수록 쉬워지고 있다.

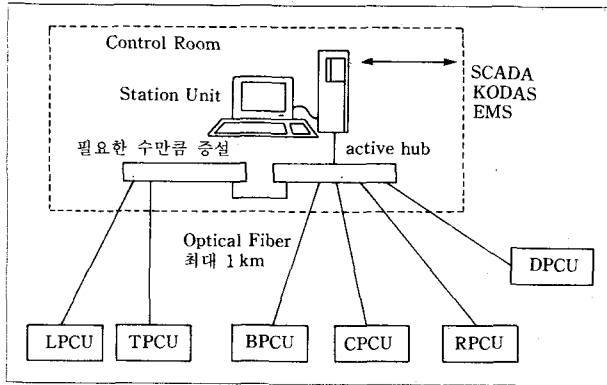
여기서는 GE사의 변전소 Host Computer의 사양을 요약하는 것으로 구체적인 설명을 대신하고자 한다.

• H/W :

산업용PC(386-33MHz), 12MB RAM 120MB HDD, Color Graphic Monitor, Keyboard, Optional Printer, 8-serial channel communication boards, built-in modem, 표준시 동기를 위한 IRIG-B interface board (optional), DC-to-AC converter

• S/W : UNIX, X-window/Motif GUI,

구입가능한 Database Package



〈그림 7〉 변전소 감시제어 Network

4. 결 론

이상 변전소 종합 보호제어 시스템의 기술과 그 동향에 대해 간단하게나마 소개하였다. 최근 마이크로 프로세서와 광통신 기술의 급속한 발전으로 선진국에서 이런 형태의 시스템이 많이 개발되고 있으며 이미 실계통에서 운전중인 시스템도 있다. 앞으로 신설되는 변전소는 물론이고 기존 변전소에도 이런 시스템의 적용을 적극적으로 계획하고 있다.

또 전력계통 분야의 향후 여러 가지 기술개발에도 이 시

스템이 기본이 되리라 예상된다. 국내에서도 한전의 적극적인 변전소 자동화, 무인화 계획에 따라 시스템의 개발을 계속 추진하고 있다. 앞으로 이 시스템의 개발에 있어 가장 중요한 요소로 생각되는 것은 장치의 신뢰성을 확보하는 것과 국제적인 표준화 동향에 맞추어 가는 것이라고 본다.

〈참고 문헌〉

1. "변전소 종합 보호제어 시스템의 설계 및 제작기술의 개발 (중간 보고서)", 1995. 6. 한국전력공사 기술연구원
2. "21세기를 향한 변전소 건설 및 기술방향", 1993.2. 한국전력 송변전처
3. "전력계통 보호제어 시스템의 기술동향", 1991.6. THE HITACHI HYORON
4. "The Intergration of Protection, Control and Monitoring in a High Voltage Transmission Substation", 1993.4. GE, 47th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference
5. "Utility Communication Protocol Standardization. IEC 870, a Migration Towards the Utility Communications Architecture?", 1994, Siemens Energy & Automation, Inc.

♣ 전화번호 변경안내

귀사의 일익번창 하심을 기원합니다.
금번 폐사의 전화번호가 아래와 같이 변경됨을
알려 드립니다.
아울러 귀사의 변함없는 지도편달을 바랍니다.

▷ 변경일시 : 1995年 12月 11日(月)

利川電氣工業(株)

▷ 변경안내

| 구 분 | 변경 전 | 변경 후 |
|-------|----------|----------|
| 회장실직통 | 569-2467 | 동 일 |
| 대 대 표 | 528-2100 | 566-2257 |
| F A X | 528-2120 | 566-2267 |