

광 LAN 을 적용한 765kV 변전소 감시제어 시범시스템 설계

Prototype design of Fiber Optics based 765kV Substation Control System

송인호*, 박종화*, °최종협**

*한국전력공사 정보시스템처(Tel: 550-5101,5120)

**한국전력공사 송변전건설처(Tel: 3456-8062; E-mail: jh5702@bora.dacom.co.kr)

Abstracts This paper introduces prototype design of 765kV Substation control system based on fiber optics LAN and distributed network protocol. Two major important facts, immunity of any surge which frequently occurs in Ultra High Voltage Substation and the most suitable communication protocol for substation control system, are considered on the system design conception. To meet the first fact, use of fiber optics cable and isolation transformer are considered, and to satisfy the second fact, DNP3.0(Distributed Network Protocol) which is IEC870-5 compatible is adopted.

Keywords GPR, Protocol, SCADA, Substation, Surge

1. 서론

765kV 급의 초고압 변전소를 위한 감시제어시스템 설계는 고전압 환경에 노출되지 않는 일반 제어시스템과는 달리 전기적인 과도현상으로 부터 시스템을 보호하기 위한 특별한 대책을 수립하고 전력설비의 고신뢰도 운전에 적합한 통신네트워크 구성을 고려하여야 한다.

본고에서는 당사의 765kV 변전소 감시제어용 시범시스템 설계시에 적용한 시스템보호대책과 통신네트워크 구성을 살펴보고 전체시스템에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

2. 전기적인 과도현상과 시스템 보호대책

2.1 일반적인 서어지 방지대책

전기적인 과도현상(서어지)로부터 컴퓨터와 같은 약전설비를 보호하는 방법으로는 그림 1 과 같이 서어지방지 회로를 서어지의 주 침투경로가 되는 각 장치의 입출력개소나 통신선에 부가 하는 것이 일반적이다.

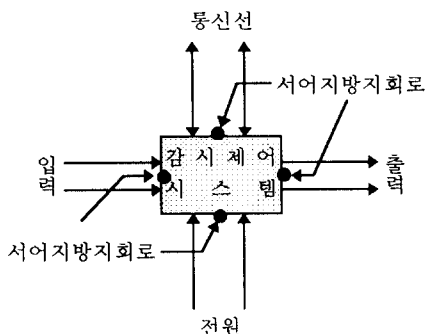


그림 1 일반적인 서어지방지대책

Fig 1 Typical surge protection

이러한 일반적인 서어지방지회로는 최악의 경우 서어지방지 소자 자체의 손상으로 시스템을 보호한다는 개념이기 때문에 항상 정상동작을 유지해야 하는 변전소 감시제어시스템의 보호대책으로는 완벽하다고 볼 수 없다.

2.2 전기적인 과도현상과 감시제어시스템에 미치는 영향

변전소에서 발생하는 전기적인 과도현상으로는 스위칭(개폐) 서어지, 낙뢰(뇌)서어지 및 대지전위 상승으로 대별할 수 있으며 시스템 설계시 이들의 특성을 고려하여야 한다.

● 스위칭 서어지

스위칭 서어지는 정상 운전중인 변전설비의 차단기를 차단하거나 투입할 경우 발생하는 서어지로 765kV 변전소의 차단기 조작시 발생하는 서어지의 양상은 그림 2 와 같다. 스위칭서어지는 주로 정전유도에 의해 현장 인터페이스 케이블을 통하여 감시제어시스템에 유입되며, 유입되는 서어지의 에너지는 넓은 주파수분포특성을 가지고 있고 수백볼트내지 수천볼트 정도로서 인터페이스회로의 정상신호레벨을 초과하여 신호교란을 일으키고 심한 경우 회로소자를 파괴시킨다.

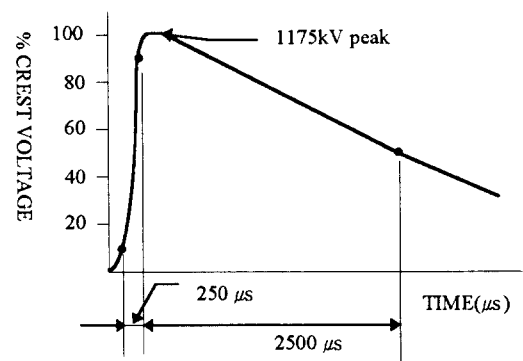


그림 2 765kV 변전소 스위칭서어지 파형

Fig 2 Switching surge wave of 765kV Substation

● 낙뢰(뇌)서어지

뇌 서어지는 스위칭서어지보다 파고치는 높고 시간은 짧은 특성(1/70 μs)을 가지고 있으며, 감시제어시스템에 미치는 영향은 스위칭서어지와 유사하고 정전유도에 의해 간접적으로 도래한다.

● 대지전위상승(GPR: Ground Potential Rise)

대지전위 상승은 전력선이 대지와 혼촉되어 사고전류가 대지를 통하여 귀로 될때 발생하며 변전소구내에서의 대지전위 상승은 그림 3 과 같이 나타난다.

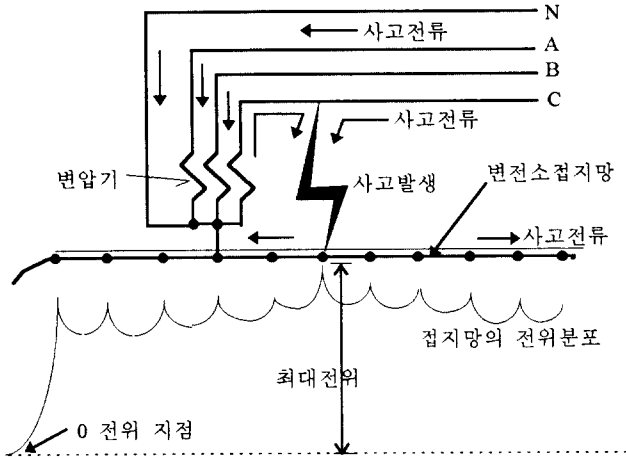


그림 3 사고시 대지전위상승의 양상

Fig 3 Ground potential rising on Ground fault in Substation

대지전위 상승은 사고지속시간이 3 ~ 4 사이클(50 ~ 60 ms)로 스위칭서어지나 뇌서어지에 비해 대단히 길며 전자유도에 의해 도래하고 에너지가 크기 때문에 서어지읍서버와 같은 일반적인 서어지 방지회로는 쉽게 소손되어 장치의 동작불능을 초래한다.

● 감시제어 시스템에 미치는 영향

감시제어 시스템에서 전기적인 과도현상에 가장 취약한 개소는 전원라인, 통신라인 및 현장인터페이스측이다.

표 1은 당사 감시제어 시스템의 현장 인터페이스 입출력 기준을 보인 것으로 전기적인 과도현상에 가장 취약한 개소는 소신호를 다루는 감시와 측정용 인터페이스임을 알 수 있다.

표 1 현장 인터페이스 입출력 규격

기능	모듈신호형식	제어용 케이블에 흐르는 전류크기
감시	드라이 접점	접점 ON 시 24V 5 ~ 10mA
제어	500ms 이상 펄스	조작시 24V 500mA
측정	± 1mA 전류	0 ~ 1mA 정전류

2.3 시스템 보호대책

사고시 변전소 설비를 정상적으로 제어하기 위해서 당사의 시범시스템에서는 다음 세가지 방법을 종합한 서어지 방지대책을 강구하였다.

- 무유도 재료 사용
- 절연트랜스 사용
- 일반적인 서어지 방지회로 부가

● 무유도 재료사용

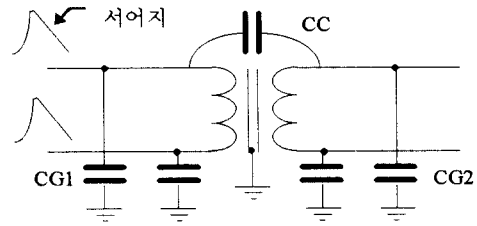
시범시스템에서는 전기적인 과도현상에 영향을 받지 않는 광섬유 케이블을 통신라인(네트워크)측에 적용하였으며, LAN을 이용한 분산형 방식으로 설계하여 현장 인터페이스용 케이블 길이를 수십미터 이내로 줄임으로써 유도를 경감하도록 하였다.

● 절연트랜스 사용

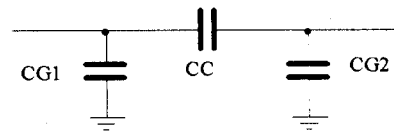
광 LAN을 이용 시스템을 분산화 하더라도 분산된 각 장치는 전원공급을 필요로 하기 때문에 전원공급을 위한 케이블 포설이 필요하다. 당사는 전원공급라인에 10kV 급의

내압특성을 지닌 절연트랜스를 적용하여 서어지 영향을 줄이도록 하였다.

이와 같이 절연트랜스를 사용함으로써 서어지 영향을 줄일 수 있음을 그림 4를 통하여 살펴보기로 한다.



(a) 절연트랜스구성과 분포용량



(b) 절연트랜스의 등가회로

그림 4 절연트랜스

Fig 4 Isolation transformer

그림 4의 (a)는 절연트랜스의 구성과 분포용량을 보인것이며 이것을 간략화한 것이 그림 4 (b)의 등가회로이다. 이 등가 회로에서 일차측에 가해지는 서어지 전압을 E_1 이라 하면 이차측에 전달되는 서어지 전압 E_2 는 식 1 과 같이 구해진다.

$$E_2 = E_1 \cdot \frac{CC}{CC + CG_2} \text{ (V)} \quad \text{식(1)}$$

위 식으로부터 일차측에 도래한 서어지는 결합용량(CC)과 분포용량(CG₂)에 의해 분압되어 이차측에 나타나므로 이차측에 전이되는 서어지가 경감됨을 알 수 있다.

● 일반적인 서어지 방지회로 부가

최악의 경우에도 서어지방지회로 소자의 소손 없이 시스템을 보호할 수 있도록 하기 위해 시범시스템에서는 일반적인 서어지 방지회로의 서어지 흡수능력을 ANSI/IEEE C37.90.1-1989의 SWC(Surge Withstand Capability)규격에 적합하도록 규정하였다.

그림 5는 위 세가지 시스템보호대책을 시범시스템 설계에 적용한 서어지 방지개념을 보인 것이다.

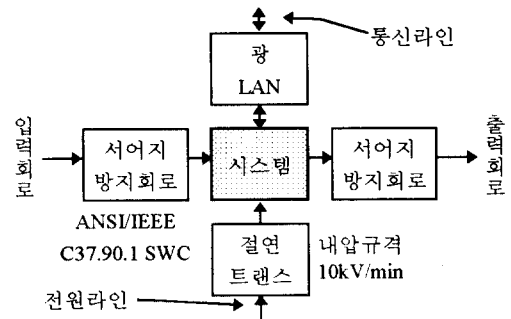


그림 5 시범시스템의 서어지방지개념

Fig 5 Surge protection for prototype system

3. 통신네트워크 구성

3.1 전력계통운전에 필요한 데이터

변전소 감시제어를 포함한 전력계통운전 시스템의 데이터 특성은 패킷의 단위길이가 짧고 수초주기로 부터 수십분주기로 네트워크상에 다양하게 발생한다.

● 감시데이터 전송량

감시데이터는 차단기, 단로기등 개폐기류와 보호계전기 등에 대하여 스캔시점에서의 현재 상태를 표시하기위한 정보이다. 765kV 변전소 최종 규모일 경우 감시점(Indication Point)은 약 2130 점 정도이며 이 모든 점에 대하여 상태 변화시 2 초 이내에 중앙 시스템이 인지하여 표시하여야 한다.

감시데이터 전송방법으로는 매 스캔 주기마다 모든 감시점의 데이터를 전송하는 경우와 변화된 감시점의 데이터만 전송하는 경우로 나뉘는데 각각의 특성은 표 2 와 같다.

표 2 감시점 데이터 전송방식에 따른 특성

데이터 전송방식 ¹⁾	메세지 소요량
매주기 모든 감시점 데이터 전송시	2937(bits)
변화된 정보만 전송시(평균 30 개변화) ²⁾	$30 \times (1 + \alpha) \times 11^{*2}$

¹⁾ 1bit/point, 1bytes/point, 11bits/byte(표준데이터형식)

²⁾ α 는 변화된 감시점의 위치 정보바이트수

변화된 데이터만 전송시 전송량이 대폭 적어짐을 알 수 있다. 시범시스템에서는 시스템초기화시에 표 2 의 첫번째 방법을 사용토록 하고 평상 전송시는 표 2 의 두번째 방법을 사용하도록 설계하였다.

● 제어데이터 전송량

제어데이터는 변전소 운전요원이 현장의 차단기나 개폐기류를 조작할 때 필요한 정보이며, 그림 6 에 시범시스템의 제어명령 실행개념을 보인다.

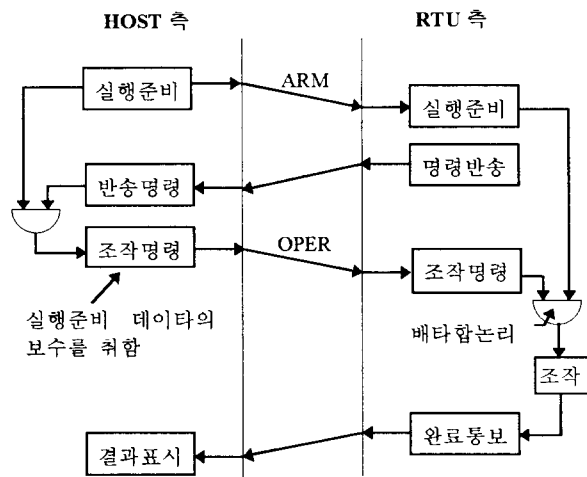


그림 6 제어명령 실행개념

Fig 6 Control command processing procedure

제어데이터에는 제어점의 위치정보와 제어정보가 포함되며 수바이트 이내로 구성된다.

● 측정데이터 전송량

측정데이터에는 유·무효전력, 전압, 전류 및 온도등이 포함되며 765kV 변전소 최종 규모의 경우 약 180 점 정도 예상된다. 한점의 데이터당 12 비트가 소요된다고 하면

데이터를 읽어오는 방식에 따라 표 3 과 같이 메세지소요량이 달라진다.

표 3 전송방식별 메세지소요량

데이터 전송방식 ¹⁾		메세지 소요량
매주기	감시데이터와 같이 전송시	6897(bits)
전송시	감시와 별도로 전송시	3960(bits)
변화된 정보만 전송시(평균 30 개변화)		$30 \times (2 + \alpha) \times 11^{*2}$

¹⁾ 12bits/point, 2bytes/point, 11bits/byte

²⁾ α 는 변화된 측정점의 위치 정보바이트수

표 3 의 변화된 정보만 전송하는 경우 α 를 1 바이트라 하고 180 개의 변화가 발생한다면 5940(bits)가 소요된다. 결국 감시와 측정 어느경우든 여분의 비트를 포함하여 한번의 스캔에 의해 전송되는 전체 메세지 소요량은 최대 6897(bits/scan period) 정도임을 알 수 있다.

3.2 통신프로토콜

시범시스템에서는 IEC870-5 의 표준 프로토콜을 기본으로 한 DNP3.0 프로토콜을 채택하여 네트워크환경에 알맞은 투명성을 보장하도록 하고 하드웨어 의존성을 낮추어 향후 하드웨어 교체시 시스템간의 이식이 쉽도록 하고자 하였다. 이 프로토콜은 ISO 의 OSI 7 계층 모델을 기본으로 한 것으로 실시간 처리에 지장이 되는 오버헤드를 줄이기 위하여 3 계층 모델로 그림 7 과 같이 축약시켜 구성되어 있다.

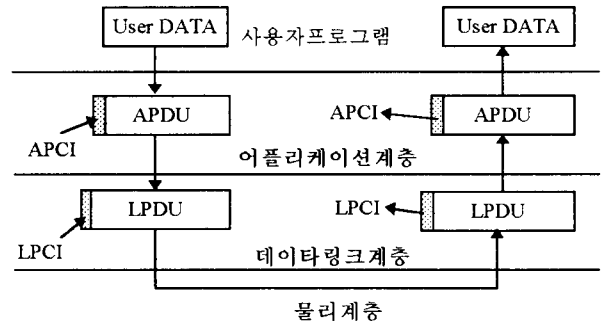


그림 7 DNP3.0 프로토콜 계층모델

Fig 7 DNP3.0 protocol layer model

이 프로토콜은 Connection Oriented 방식과 Connection Less 방식으로 모두 적용 가능한데 시범시스템에서는 실시간처리에 적합하도록 Connection Less 방식으로 하여 링크확립에 필요한 여분의 시간을 절약하도록 하였다.

3.3 통신네트워크

변전소 감시제어시스템의 전송특성은 짧은 데이터패킷이 네트워크상에 짧은 주기로 반복해서 발생기 때문에 CSMA/CD 방식을 사용하는 TCP/IP Ethernet 과 같은 표준 네트워크를 이용할 경우 링크확립과 절단등에 많은 시간이 소요되어 전송효율이 저하하는 문제가 발생한다. 시범시스템에서는 현장 인터페이스용 장치(RTU)에 250kbs 속도를 갖는 Connection Less 방식의 광 LAN 을 적용하고 중앙장치에 10Mbps 속도의 표준 LAN 을 적용하여 네트워크를 이원화하고 이 두 네트워크간을 9600bps 로 연결하였다. 여기서 9600bps 는 3.1 항에서 산출된 최대 메세지 전송량을 고려하여 충분한 여유를 두고 정하였다. 2 초 스캔 주기로 6897 비트를 전송할 경우 4800bps 면 이론적으로 충분하나 라운드트립타임 등의 제반 네트워크 지연요소를 감안하여 2 배인 9600bps 로 정한 것이다.

4. 시스템구성

4.1 중앙 컴퓨터장치 구성

그림 8은 중앙장치의 구성을 보인 것이며 장애에 대비하여 이중화로 구성되었다. CPU는 리얼타임 커널을 가진 UNIX 베이스의 워크스테이션으로 구성되고 운전원 조작터미널은 이더넷을 통하여 접속된다.

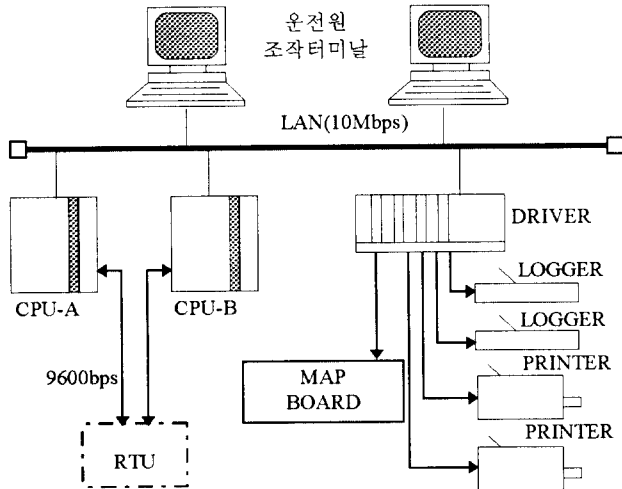


그림 8 중앙컴퓨터 장치 구성

Fig 8 Central Computer System configuration

4.2 원격소장치 구성

원격소장치는 통신제어장치(CCU: Communication Control Unit)와 현장제어장치(LCU: Local Control Unit)로 분산시키고 광 LAN을 통하여 그림 9와 같이 서로 연결한다.

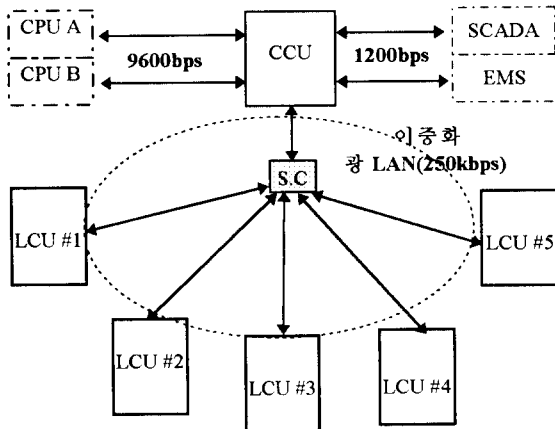


그림 9 분산형 원격소장치 구성

Fig 9 Distributed RTU configuration

통신제어장치는 중앙컴퓨터장치, SCADA, EMS, 현장제어장치 등과 인터페이스되어 네트워크제어와 프로토콜변환 기능을 처리한다. 모든 인터페이스는 고장에 대비하여 이중화 하였으며 주 경로 장애시 예비경로로 절체되도록 하였다.

현장제어장치는 현장설비의 상태를 통신제어장치로 전송하는 장치로써 현장기기 근처에 설치되는 관계로 가혹한 환경조건에서도 정상동작을 보증하기 위하여 표 5와 같은 동작환경조건을 정하였다.

표 4 현장제어장치 동작환경조건

동작 환경	정상 동작 조건
온도 및 습도	-25 ~ +70 °C 5 ~ 90 % (상대습도)
상용주파 절연내력	2.5kV(rms) 1분간
서어지 내력 (ANSI/IEEE C37.90.1)	OSC: ± 2.5 ~ 3kV(P-P) Fast Transient: 4 ~ 5kV

광 LAN은 신뢰도를 높이고 네트워크 장애시의 고장범위를 축소시키기 위하여 STAR 형으로 검토하였으며 표 6은 본 시험 시스템에 적용하게 될 광 LAN의 성능에 대한 것이다.

표 5 광 LAN 규격

항 목	특 성	비 교
전송속도	250kbps	
최대 전송 노드수	8 × 8 ¹	실적용시 32 × 32
LAN 구성방식	STAR 형	

¹ 시험시스템의 실 노드수: 5 × 5

결론

765kV 변전소 감시제어 시스템같이 고전압환경에서 상시 정상 동작해야 하는 시스템 설계시는 서어지에 강한 광섬유케이블 및 고내압 절연트랜스를 이용한 시스템 보호대책과 전력계통 운전에 적합한 통신 네트워크 구성을 고려할 필요가 있다.

본고에 소개한 당사의 시험시스템은 이 두가지 사항을 고려하여 설계되었으며 전기적인 과도현상이 빈번히 발생하는 환경에서 전력설비의 안정적인 운전에 획기적인 역할을 하리라 본다.

참고문헌

- [1] DNP User Group, "DNP V3.0 Protocol", DNP Product Documentation, 1995
- [2] IEC870-1, "The general considerations", Telecontrol equipment and systems, 1987
- [3] IEC870-2, "Operating conditions", Telecontrol equipment and systems, 1987
- [4] IEC870-4, "Performance requirements", Telecontrol equipment and systems, 1990
- [5] IEC870-5-1 ~ IEC870-5-601, "Transmission protocols", Telecontrol equipment and systems, 1990 ~ 1995
- [6] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Determining the Maximum Electric Power Station Ground Potential Rise and Induced Voltage from a Power Fault", IEEE Std 367-1979, pp.7 - 22
- [7] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for the Protection of Wire-Line Communication Facilities Serving Electric Power Stations", IEEE Std 487-1980, pp.66 - 74
- [8] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", ANSI/IEEE Std 80-1986, pp.17 - 53
- [9] IEEE Power Engineering Society, "IEEE Standard Surge Withstand Capability(SWC) Tests for Protective Relays and Relay Systems", IEEE Std 37.90.1-1989, Appendix C
- [10] 한국전력공사 송변전처, "765kV 변전소 절연설계 지침 및 해설서", 한국전력공사 발간 기술지침서, pp. 1 - 162, 1995