

**경량전철 전력 SCADA의 신뢰성을 위한 이중화 기술**

김인수\*, 양형준\*, 최대희\*, 한동우\*, 정상기\*\*  
 \*(주) 효성 중공업연구소, \*\*한국철도기술연구원

**A Study on the Redundancy Technology to Guarantee Reliability of Light Rail Transit's Power SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)**

In-Su Kim\*, Hang-Jun Yang\*, Dae-hee Choi\*, Dong-Woo Han\*, Sang-Ki Jung\*\*  
 \*Hyosung Corporation R & D Center, \*\*Korea Railroad Reaserch Institute

**Abstract-** 경량전철 시스템은 1990년대 후반부터 증가하는 운송수요에 대한 대안으로 제시되고 있고, 유연한 노선 계획이 가능한 도시환경 친화적인 첨단 궤도 교통 시스템이다. 본 연구에서는 이러한 차세대 근거리 교통 수단으로 각광받고 있는 경량전철 시스템에 이중화 기술을 적용하여 기존 시스템에 비해 한 단계 높아진 신뢰성을 확보한 전력 SCADA 시스템을 다루고자 한다. 과거 각종 시스템 개발의 초점이 Functionality와 Performance에 있었다면, 무어의 법칙이 말해주듯이 마이크로프로세서를 비롯한 하드웨어, 소프트웨어 및 고속 통신 기술의 발전을 통해 현재의 시스템 개발은 과거의 관심사를 포함하여 안정성 및 신뢰성의 확보가 중요한 관건중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 기술을 토대로 시스템의 중단을 최소화하여 보다 Robust한 전력 SCADA 시스템에 적용된 이중화 기술을 소개하고자 한다.

한 만큼 차량, 선로구축, 전력공급 및 신호제어와 이들을 연계하는 종합시스템 엔지니어링 분야로 나누어 볼 수 있다. 그림 1처럼 경량전철 전력공급 시스템은 AC 배전반, 정류기용 변압기, 정류기, 회생용 인버터, DC 배전반, 제어전원 장치, 전차선, 원방제어 시스템 및 기타 주변설비로 구성된다.

**1. 서 론**

경량전철은 시간당 5천명 미만의 수송능력을 가진 버스와의 3만 ~ 5만 명의 수송능력을 가진 지하철(重量전철)에 비해 중간 규모의 교통수단으로서 보다 유연한 노선 계획이 가능한 도시환경 친화적인 첨단 궤도 교통 시스템이다. 최근에 이러한 경량전철은 1990년대 후반부터 증가하는 운송 수요에 대한 대안으로 제시되고 있고, 건설교통부를 비롯한 각 지방 자치 단체에서 관심을 가지고 추진되고 있으며, 그 효율성 및 사회, 경제적인 측면에서의 유리함이 입증되어 향후 수요증가가 예상되는 유망한 분야이다[1].

현대 산업사회의 발달로 인해 전력공급 시스템은 점점 복잡하고 다양해지므로 고성능과 고신뢰성을 확보하기는 상당히 어려운 문제로 대두되어 왔다. 이러한 여러 가지 어려운 여건에서 전력공급 시스템의 핵심역할을 하는 제어시스템은 아주 중요한 위치에 있으며, 정보통신 기술의 발달로 인해 기능과 성능적인 우수성뿐만 아니라 얼마만큼의 신뢰성을 확보하느냐가 시스템의 우수성을 평가하는 잣대가 되고 있는 실정이다[2]. 따라서 본 연구에서는 시스템의 중단을 최소화하여 보다 높은 신뢰성을 확보하기 위해 전력 SCADA 시스템에 적용된 이중화 기술을 소개하고자 한다.

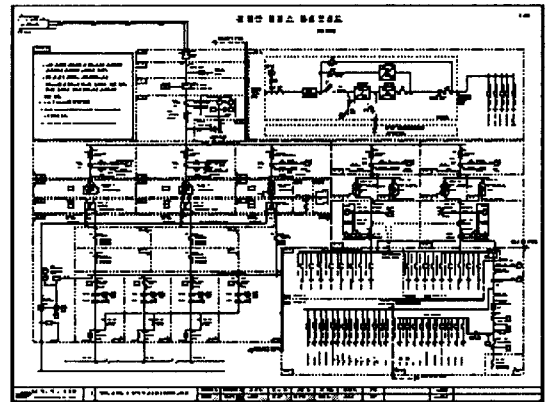


그림 1. 견인용 변전소 단선 결선도(시험선)

**2.2 경량전철 전력 SCADA 시스템의 특징**

일반적으로 전력공급 시스템은 안정적이고 신뢰성 있는 전력을 공급하는 것이 주요한 목적이지만, 경량전철용 전력공급 시스템에서는 그러한 목적 외에 차량이라는 부하의 특수성과 관련된 부분에 대하여 추가적으로 고려해야만 한다. 즉, DC 750V로 운전되는 차량의 전력공급을 위한 직류급전계통의 설계 및 관련된 계통 보호 협조, 정류기 및 인버터 등에서 발생하는 고조파 대책 등이 그것이다.

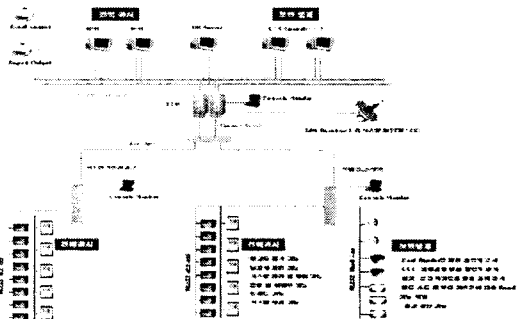


그림 2. 경량전철 전력 SCADA 시스템의 구성도

**2. 경량전철 전력공급 시스템**

**2.1 경량전철 전력공급 시스템의 구성**

경량전철은 기존의 중량전철에 비해서 운송량과 크기에서는 작지만, 버스 등의 도로교통수단에 비해서 효율적인 중간형태의 운송수단으로 모노레일, 노면전차 등이 있으며 선진국에서는 이미 대중교통 수단중의 하나로 자리 잡고 있다.

경량전철 시스템은 필요로 하는 기술이 다양하고 특수

경량전철용 전력 SCADA 시스템은 이러한 전력공급

시스템을 안정적이고 효율적으로 관리하는 한편 기기의 운전 정보를 단순하게 모니터링 하는데 그치지 않고 운전정보의 취득은 물론 제어 기능을 강화하고 신호 시스템과 선로 가압정보를 주고받는 등 다른 시스템과의 연계를 통해 양방향성 관리를 가능하게 함과 동시에 운영의 효율성과 편의성을 극대화하고자 하였다.

또한, 보안 방재 시스템을 적용하여 외부의 침입과 위협으로부터 기간 시설인 경량 전철운행을 위한 전력 공급 시스템을 보호할 수 있도록 하였고, 그림 2와 같이 네트워크와 통신 기기를 이중화하여 시스템의 중단을 최소화하여 신뢰성을 극대화하였다.

### 3. 이중화 시스템

과거 시스템 개발의 주요 관심사는 Functionality와 Performance에 있었다. 그러나 무어의 법칙이 말해주듯이 최근의 마이크로프로세서를 비롯한 하드웨어와 소프트웨어 및 고속 통신 기술의 발전은 과거의 Functionality와 Performance를 포함하여 안정적이고 신뢰성 있는 시스템을 개발 할 수 있는 토대를 제공해주고 있다. 표준 통신 프로토콜을 지원하는 장비의 보급으로 경제성 측면에 있어서도 많은 부담을 덜어 Functionality와 Performance 뿐만 아니라 안정성과 신뢰성이 시스템 구성 및 운영의 필요충분 조건이 되었다.

#### 3.1 이중화 구현 방법

##### 3.1.1 I/O Device 또는 통신 프로세서의 이중화

RTU나 CCU의 이중화를 지칭하는 것으로 Primary Device의 고장 발생 시 Standby Device로 자동 전환되는 Auto Fail-over 기능을 기본적으로 지원하여야 한다. 다음 그림 3과 4는 Switching Logic을 사용하는 경우와 CCU간 통신을 사용하는 경우를 각각 나타내고 있다.

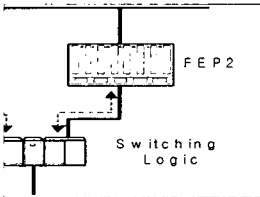


그림 3. Switching Logic

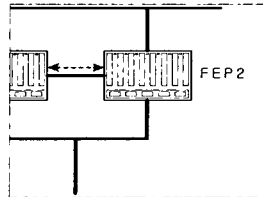


그림 4. Heartbeat

##### 3.1.2 네트워크의 이중화

하위 기기 및 상위 시스템과의 네트워크 Physical Frame을 Dual로 장착하고 이를 이중화된 프로세스에 의해 각각 제어하도록 한다. SCADA 시스템에서처럼 LAN이 일반화되어 있는 환경에서는 LAN의 이중화라고도 한다.

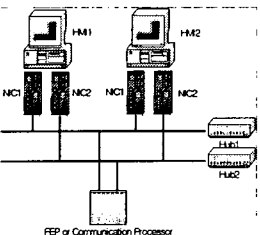


그림 5. 한개의 NIC 카드

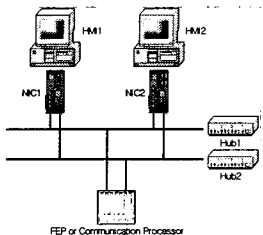


그림 6. 두개의 NIC 카드

##### 3.1.3 PC의 이중화

PC를 사용하는 상위 HMI나 Database 서버의 이중화를 지칭하는 것으로 Standby PC는 고장 발생시 자동으

로 Primary PC의 제어 및 모니터링 기능을 수행하게 된다. Primary가 정상 동작하기 전에 Standby의 모든 실시간 트렌드 및 이력 데이터는 Primary로 업데이트되어 프로세스 간 Gap이 발생하여서는 안된다. 각각의 Database를 사용하는 경우(2-Node Cluster Configuration, 그림 7), 하나의 Database를 공유하는 경우(Shared-file Cluster Configuration, 그림 8), 이중화된 Database를 사용하는 경우로 나눌 수 있다.

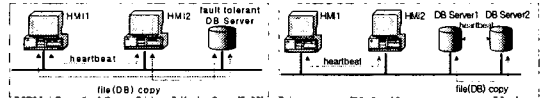


그림 7. 개별 Database

그림 8. 이중화 Database

#### 3.2 이중화 구현 레벨

이중화의 가장 낮은 레벨로서 데이터 경로의 이중화를 시작으로 PC의 이중화, I/O Device(통신 프로세서의 이중화), 네트워크의 이중화, 하위 I/O 및 IED의 이중화, 내부 모듈의 이중화로 그 단계를 분류 할 수 있다. 본 연구에서는 그림 9처럼, 상위의 HMI에서 CCU 및 RTU 까지 각 기기 및 네트워크를 이중화하여 기존 시스템에 비하여 한 단계 높아진 신뢰성을 추구하였다.

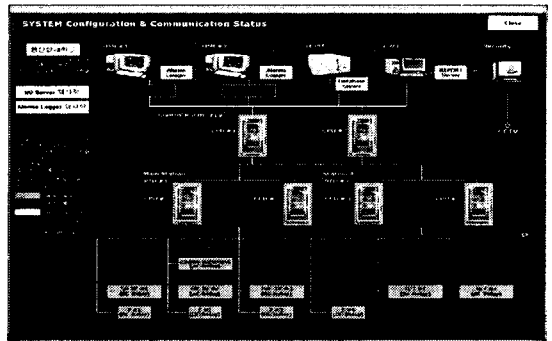


그림 9. 이중화 시스템의 구현

### 4. 구현 결과

#### 4.1 Bay Level

##### 4.1.1 Remote Terminal Unit (RTU)

RTU는 변전소 및 전기실의 각종 실시간 정보를 처리 하기에 적합한 정보로 변환하고, 통신을 통하여 중앙 제어실의 CCU로 전달하며 중앙제어장치의 각종 제어정보를 해당 기기에 적합한 신호레벨로 변환하여 전송하는 기능을 수행한다. 본 시스템에서는 실시간 현장 데이터의 신뢰성 향상을 위하여 Network의 이중화를 고려하였으며, 이를 위하여 Network를 담당하는 CPU를 이중으로 별도 장착하였다. 각각의 Network용 CPU는 IO Controller용 CPU로부터 동기된 현장 데이터를 전송받아, 상시 Hot Standby 모드로 운전되며, 따라서 하나의 CPU 고장시 상위모듈의 선택에 의해 자동 절체되어 데이터의 손실을 없도록 설계하였다.

상위와 연계된 CPU 모듈(Master)에서는 데이터의 수집이 외에 데이터의 전송과 각종 이벤트 처리 모듈 등이 운영되는 반면, Standby상태의 CPU모듈(Slave)에서는 데이터의 수집과 상위 명령 대기모듈만이 운영된다. Master 모듈의 고장시, Slave 모듈은 상위의 전송명령을 받음과 동시에 Master모듈로 전환되어 데이터 처리를 수행한다. 한편, 고장난 모듈은 전원 차단 없이 분리, 보수가 가능하며, 보수 후 장착시 자동으로 Slave모드로 동작하게 된다.

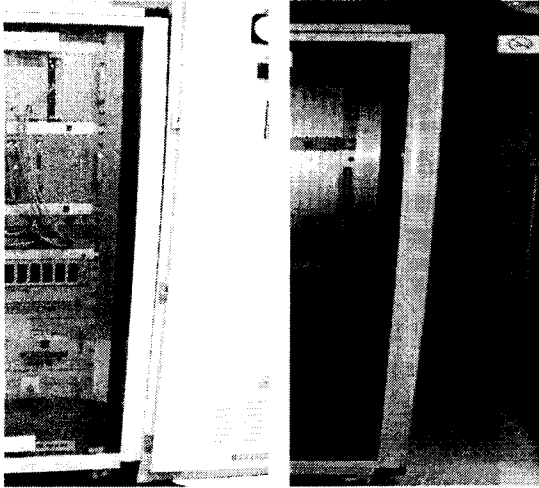


그림 10. 이중화된 RTU

그림 11. 이중화된 CCU

#### 4.1.2 Communication Control Unit(CCU, 혹은 FEP)

CCU는 상위와 하위간의 정보교환을 원활히 수행하기 위한 장치로서 전력 SCADA 시스템에 있어서 각 구성기기 간 정보교환을 담당한다. CCU와 RTU간 정보 교환을 위한 매체로는 광을 원칙으로 하되 본 시스템의 환경조건 및 경제적인 요인을 감안하고, 시스템의 신뢰성을 저해하지 않는 범위 하에서 일부 Copper-cable을 채용하였다. CCU와 HMI간 정보 교환은 국제 표준인 Ethernet 통신방식(10/100 Mbps 이상)을 사용하며, 정보 교환을 위한 프로토콜은 TCP/IP를 적용하였다. 한편, 시스템의 Fault발생 시 시스템의 안정성을 확보하기 위한 Fault-Tolerance 방식으로 이중화를 선택하여 두 대의 CCU를 운영하며 CCU사이에는 Database를 공유하기 위한 전용의 라인을 가진다. 두 대의 CCU는 동일한 기능을 수행하도록 Dual로 운영되며 완전한 기능을 모두 수행하고 있는 Master에서 이상이 발생하는 경우 Stand-by를 Master로 설정하며 모든 기능을 이관시키게 된다. Stand-by는 전용의 라인을 통해 데이터를 고속으로 동기화하고 있으며 따라서 절체시에도 데이터를 누락시키지 않도록 운전된다.

### 4.2 Station Level

#### 4.2.1 I/O Server

I/O Server는 Bay Level로부터 전송되는 IED(Intelligent Electronic Device)와 Hard-wiring Analog Input Module, Digital Input Module의 정보 데이터를 Ethernet기반의 TCP/IP 통신으로 수신하여 HMI가 처리할 수 있도록 재가공하는 PC 기반 통신 프로그램이다. I/O Server와 상위 HMI와는 DDE(Dynamic Data Exchange) 프로토콜 방식을 사용하지만 경우에 따라서는 공유 메모리를 사용하는 경우도 있다. 데이터의 손실을 최소화하고 시스템의 중단 가능성을 제거하기 위해서 I/O Server는 항상 Bay Level의 Processor를 감시하여 Master가 Shutdown되거나 통신 Failure 상태가 되면 자동으로 Stand-by로 재접속을 시도하게 된다. 이를 위해서 Heartbeat 방식을 통한 Bay Level Processor 감시 모듈을 구현하였다.

#### 4.2.2 Human Machine Interface (HMI)

사용자 인터페이스와 시스템 운영을 위한 HMI는 대부분 개방형 시스템으로 설계되어 외부의 시스템, 사용자 응용 프로그램, 상용 패키지들과의 데이터 교환을 지원한다. 경량전철 전력 SCADA 시스템에 탑재되는 HMI는 사용자와의 원활한 인터페이스를 위해서 사용자에게 친숙하며 조작하기 쉽고 전체 계통을 일목요

연하게 감시 및 제어할 수 있도록 그래픽적이고 인터랙티브한 메인 화면 및 각종 서브 메뉴 등으로 구축하였다. 두 대의 HMI는 사용자와의 인터페이스를 담당하는 특성 때문에 Dual 방식을 채택하였고 전력공급 시스템을 동일하게 감시 및 제어하게 된다.

## 5. 결 론

경량전철 시스템의 핵심 구성 요소 중의 하나인, 전력 공급 시스템은 전체 시스템에 안정적이고 신뢰도, 높은 전력 공급에 그 목적을 두고 있기 때문에 데이터의 손실과 시스템의 중단을 최소화하기 위해 이중화 기술을 적용하여 보다 Robust한 시스템을 구현하였다. 본 연구에서 소개한 이중화 기술은 상위의 HMI에서 CCU 및 RTU까지 각 기기 및 네트워크를 이중화하여 기존 시스템에 비하여 한 단계 높아진 신뢰성을 추구하였으며, 향후 완전한 의미의 무인 변전소 실현을 위해서는 전문가 시스템이나 의사 결정 소프트웨어 등에 관한 연구를 계속 진행해야 할 것이며, 아울러 Web 기반의 원방 감시 체계와 각종 설비의 현황 상태 등을 감시할 수 있는 실시간 진단 기능도 추가적으로 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 건설교통부의 “경량전철용 전력공급 시스템 기술개발” 과제로 이루어진 연구입니다.”

### [참 고 문 헌]

- [1] 철도연, “경량전철시스템 기술 개발 사업 5차년도 연구결과보고서(분야: 전력공급시스템)”, 5차년도, pp. 184-197, 2003. 12.
- [2] George Coulouris, “Distributed Systems Concepts and Design”, Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition, 1994.
- [3] Andrzej Goscinski, “Distributed Operating Systems The Logical Design”, Addison-Wesley Publishing Company, Second Edition, 1991.
- [4] Dr. Alexander, “Distributed Intelligence in Integrated Substation Protection and Control Systems”, ALSTOM T&D document.
- [5] International Council on Large Electric Systems, “The automation of new and existing substations: why and how”, CIGRE Study Committee B5, pp.3-15, Aug. 2003.