

무인 변전소 기술 기반의 차세대 경량전철용 전력감시제어 시스템의 개발

김인수*, 한동우*, 양항준*, 김경근*, 김홍식*, 홍정기*, 정상기**
 *(주) 효성 중공업연구소, **한국철도기술연구원

A Study on the Development of Supervisory Control And Data Acquisition System for Next Generation Light Rail Transit based on Unmanned Substation Technology

In-Su Kim*, Dong-Woo Han*, Hang-Jun Yang*, Kyung-Geun Kim*, Hong-Seok Kim*, Jung-Ki Hong*, Sang-Ki Jung**
 *Hyosung Corporation R & D Center, **Korea Railroad Reaserch Institute

Abstract- 지난 99년 이후 친환경적이며 경제적이고 효율적인 대체 교통수단의 개발이라는 목표 하에, 차세대 근거리 교통수단으로 각광받고 있는 경량전철 시스템 적용을 목표로 무인 변전소 기반의 전력감시제어 시스템(SCADA)을 개발하였다. 차세대 변전소 기술 적용이라는 취지 하에 각종 IED들과의 연계는 모두 통신으로 처리하여 시스템의 고기능화를 추구하였고, Network 이중화를 통하여 시스템의 신뢰성을 제고하였으며, CCTV 및 각종 보안센서를 적용하여 배전반의 무인화 운전 및 원격 상시 감시 기능을 구현하였다. 이로써 신뢰성 있는 시스템 기반의 무인 변전소 기술 확립이라는 측면에서 현재 진행되고 있는 변전소 자동화 기술에 일조하며, 나아가 향후 에너지 IT산업기술의 기반이 되리라 사료된다.

2003년 11월 부산 반송선의 시작으로 향후 지자체를 중심으로 한 수요의 증대가 확실하게 예상되는 부문이라 할 수 있겠다.

다음 표1을 통해서 경량전철은 기존의 중전철 형식의 지하철과 도로 교통 수단인 버스의 중간 형태로 건설비 및 수송 능력 등이 보다 경제적인을 알 수 있다.

표 1. 경전철·지하철·버스의 운송 수단으로서의 비교

구분	경전철	지하철	버스
시간당 수송력	5000~3만명	3만~5만명	5000명 미만
차량 편성	1~6량	6~10량	1대
양당 정원	40~80명	150~160명	80명
운행 간격	30초~2분	2~3분	7~10분
시중점간 실제 시속	35~40km	30~35km	18km(서울)
건설비(억원/km당)	200~400	600~900	680(4차로)

1. 서 론

경량 전철은 시간당 5천명 미만의 수송능력을 가진 버스와 3만~5만명의 수송능력을 가진 지하철(중전철)의 중간 규모의 교통수단으로서 보다 유연한 노선 계획이 가능한 도시환경 친화적인 첨단 궤도 교통 시스템이다. 최근에 이러한 경량전철은 90년대 후반부터 증가하는 운송수요에 대한 대안으로 제시되고 있고, 건설교통부를 비롯한 각 지방 자치 단체에서 관심을 가지고 추진되고 있으며, 그 효율성 및 사회, 경제적인 측면에서의 유리함이 입증되어 향후 수요증가가 확실시 되고 있는 유망 분야라 할 수 있다. 경량전철의 핵심 기술로는 '열차운행제어 관리장치' '자동열차 제어장치' '열차무선데이터 전송장치' 등 무인 운전을 담당하는 신호제어시스템과 더불어 차량 및 전체 시스템에 안정적이고 신뢰도 높은 전력을 공급하는 '전력 공급 시스템'이라 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 전력공급시스템을 개발하는데 있어서, 기존의 전력 공급과 그 상태의 모니터링에 초점을 맞추는 방식에서 탈피하여, 전체 시스템에서 IED들과의 연계를 통신으로 처리하고, Network 이중화를 적용 하며 CCTV 및 각종 보안센서를 설치하는 등 무인화 운전의 기반 기술을 적용하여 보다 안정적이고 신뢰성 있는 전력 공급 시스템을 개발하고자 하였다.

2. 경량전철 시스템 및 무인변전소

2.1 경량전철의 의미

기존의 중전철에 비해서 운송량과 크기 면에서는 작지만, 버스 등의 도로교통수단에 비해서는 훨씬 효율적인 중간형태의 운송수단으로 모노레일, 노면전차 등의 형태로 선진국에서는 이미 대중교통 수단중의 하나로 자리 잡고 있는 방식이다.

경량전철은 증가하는 운송수요에 대한 대안으로 자동차나 철도에 비하여 훨씬 경제적이며, 친환경적이고, 에너지 절약형 모델로 관심의 대상이 되어 왔으나 경험 및 기술 부족으로 국내의 상용화 실현이 미루어지던 중

2.2 경량전철 전력 공급 시스템의 구성

경량전철 전력 공급 시스템의 구성은 AC 배전반, 정류기용 변압기, 정류기, 회생용 인버터, DC 배전반, 제어 전원 장치, 전차선, 원방제어 시스템 및 기타 주변설비로 구성되어 있으며 다음 그림1은 이러한 설비의 구성을 나타내는 단선 결선도이다.

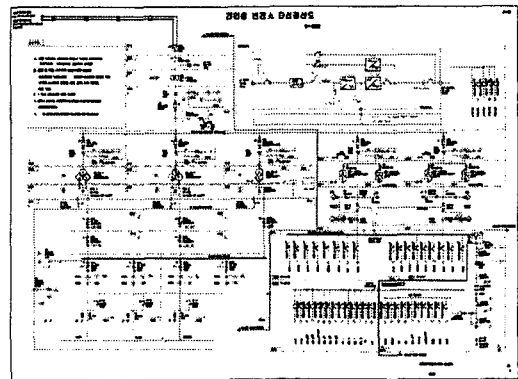


그림 1. 견인용 변전소 단선 결선도(시험선)

2.3 무인변전소

변전소 자동화 시스템(Substation Automation System)은 과거의 단순한 전력 감시 및 제어 기능으로부터 전력 품질을 관리 하는 기능, 설비의 온라인 상태 진단 및 수명을 예측하는 기능과 재해로부터 시설을 관리하고 침입자로부터 변전소를 보호하기 위한 보안방재 기능을 추가하여 수동적이거나 단순한 시스템이 아니라 진보된 능동적 지능형 시스템으로 발전하고 있다[2]. 변전소 자동화 시스템의 궁극적인 목표를 완전 무인화 운전으로 상정한다면 기존의 안정적인 전력 공급뿐만 아니라 다음의 두 가지 기능을 갖추는 방향으로 전개되어야

할 것이다. 첫째, 설비 진단의 패러다임을 설비의 현재 상태를 기반으로 하는 CBM(Condition-based Maintenance)에서 신뢰성을 기반으로 하는 RCM(Reliability-centered Maintenance)으로 전환하고, 그것을 가능하게 하기 위한 기술적인 뒷받침을 마련하는 것이다. 둘째, 변전소 운영에 필요한 다양한 정보를 바탕으로 변전소 운영에 관한 의사결정을 스스로 결정할 수 있어야 한다. 이를 위해, 이 분야에서는 의사결정 소프트웨어나 이를 담당하는 Agent 혹은 전문가 시스템을 구축하기 위해 활발한 연구가 진행중이다. 그러나 아직 이런 수준의 기능을 갖춘 변전소 자동화 시스템을 구축하기에는 축적된 기술이 미비할 뿐만 아니라 필요한 하드웨어나 소프트웨어의 인프라가 부족한 게 현실이다. 본 연구에서는 무인 변전소 운영을 위하여 시스템의 신뢰성과 무인 운영을 위한 보안 방재 기능의 확립을 목표로 하였으며, 이를 위해서 네트워크 이중화 시스템을 통한 신뢰성의 확보 및 최신 보안 방재 장비와의 연계를 통한 경량 전력용 전력 공급 시스템을 개발하였다.

3. 경량전철용 전력감시제어 시스템

3.1 전력감시시스템의 일반 사양(1)

안정적인 시스템을 구축하기 위해 각종 설비의 사양은 최신 사양을 적용하였으며 주요 내용은 표 2와 같다.

표 2. 시스템의 일반 사양

	종 류	비 고
H/W	HMI: Intel Pentium IV, 2.66 GHz, 512MB	전력감시
	HOST: Dual Intel Pentium III CPU card, Intel Pentium III, 1.26 GHz(Dual), ECC SDRAM 1GB	Database
	EWS: AIO full Size Pentium PCI CPU card, Intel Pentium IV, 2.8 GHz, 1GB	/보안방재
	FEP: PPC 5100 CPU X2	이중화
	RTU: KVME043 CPU X3X2, IO, SIO	이중화
S/W	각 변전소의 상태분석 S/W	SCADA 감시제어 (이중화 고려)
	시스템 관리 S/W, 유지관리 S/W	
	관계형 데이터베이스 관리 S/W	
	전력설비 기본 제어용 S/W	
	HMI(HUMAN MACHINE INTERFACE) S/W	
기타 원방제어에 필요한 S/W		

3.2 시스템 구성도

본 연구에서는 경량전철 공급 시스템에 무인 변전소 기반 기술을 적용하기 위해 다음 그림 2와 같이 각종 보호제어 IED들과 보안방재용 CCTV 및 센서 등으로 구성된 시스템을 설계하였다. 시스템의 신뢰성 확보를 위하여 비상시에도 데이터의 망실이 없이 안전한 설비 제어가 가능하도록 구성하였으며, 이를 위하여 상위 감시 시스템에서 하위 RTU까지 네트워크 이중화를 하였다.

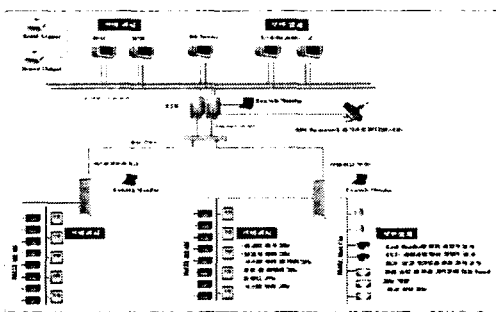


그림 2. 경량전철 공급 시스템의 구성도

3.3 각종 인터페이스(1)

3.3.1 Human Machine Interface(HMI)

사용자 인터페이스와 시스템 운영을 위한 HMI는 대부분 개방형 시스템으로 설계되어 외부의 시스템, 사용자 응용 프로그램, 상용 패키지들과의 데이터 교환을 지원하는 추세이다. 경량전철 전력공급시스템에 적용하는 SCADA 시스템의 전력감시용 HMI는 시스템이 수행하는 기능의 정도 및 변전소 및 전기실의 관리대상 기기의 수량으로 보아 연산량 및 사용이 방대할 것으로 예상되어 연산성능이 안정되고 대용량 데이터 관리에 유리한 고성능의 Server급 컴퓨터를 채용하였다. 또한 HMI의 주요한 목적은 사용자와의 원활한 인터페이스 이므로 그림 3과 같이 사용자에게 친숙하며 조작하기 쉽고 전체 계통을 일목요연하게 감시할 수 있도록 그래픽적인 메인 화면 및 각종 서브 메뉴 등으로 구축하였다.

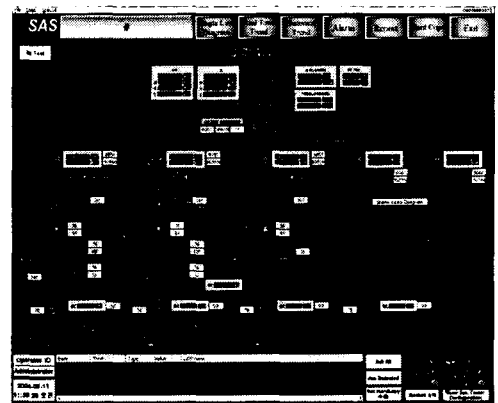


그림 3. 전력 감시 화면

3.3.2 Database Server

Database Server는 RAID방식을 채택하여 보다 빠른 처리속도와 MIRRORING방식에 의한 데이터 이중화가 가능하여 보다 경제적인 방법으로 시스템 신뢰성 향상에 기여할 수 있도록 구성하였다.

3.3.3 EWS 및 Security

또한, 출입자 감시, 침입자 감시 및 화재 등으로부터 각종 시설을 보호하기 위한 보안·방재 기능을 별도의 HMI로 구현하였고, RTU는 보안·방재용 각종 센서의 신호를 처리할 수 있는 충분한 성능을 구비하도록 하였다. 다음 그림 4는 보안방재용 HMI의 메인화면을 나타낸다.

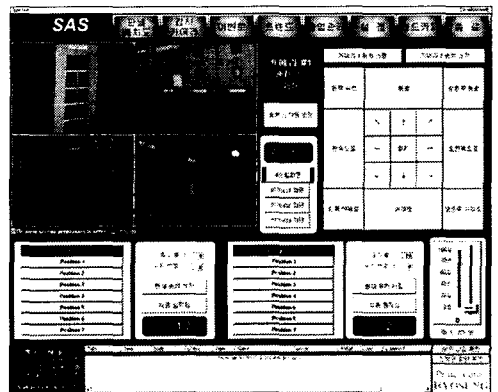


그림 4. 보안방재용 CCTV 감시 화면

설비의 원활한 감시를 위해서는 전체 설비감시를 위한 인터페이스와 설비에 이상이 생기거나 침입자가 발생하였을 경우 이상 및 침입자등의 이벤트를 표시해 줄 수 있어야 하며 다음 그림 5는 설비의 Layout과 이벤트 발생의 화면을 나타내고 있다. 설비에 이상이 생겼을 경우 해당 Layout의 설비의 화면의 색이 바뀌는 등 사용자에게 인지시키고 자동으로 해당 설비를 감시하는 CCTV의 화상정보가 감시 화면 HMI에 표시될 뿐만 아니라 이를 이벤트로 기록하게 된다.

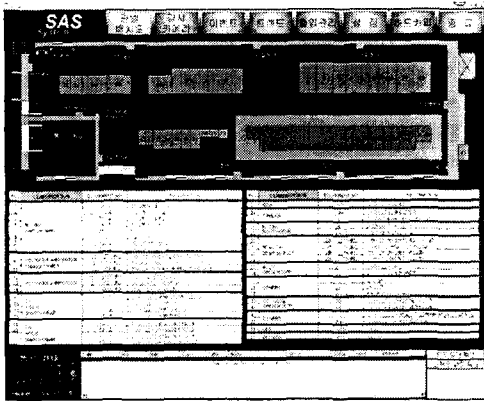


그림 5. Layout 및 이벤트

전력공급시스템의 직접 운전과는 별도로 시스템을 위한 Database 관리 및 유지보수를 위해서는 운전의 효율성 증대를 위한 각종 분석과 관계형 Database 관리 및 유지 보수를 위한 각종 관리 기능을 구비하고 있어야 한다. 또한 이를 보고서의 출력 등 사용자의 환경에 따라 요구하는 각종 관리기능을 수행할 수 있어야 한다. 따라서 본 전력공급시스템은 INTEL PENTIUM급 이상의 컴퓨터로 SCADA SYSTEM의 LAN에 연계되어 전력관련 각종 보고서 및 통계자료를 관리할 수 있도록 구성하였다. 다음 그림6은 이러한 통계자료를 관리하는 화면과 출력된 보고서를 나타내고 있다. 또한, 다음 그림 7처럼 이러한 통계 자료를 그래프형식으로 Trend를 볼 수 있도록 구성하였다.

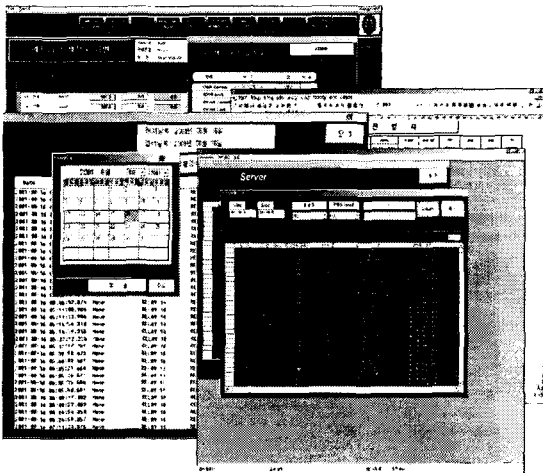


그림 6. 각종 통계자료 관리 보고서 출력

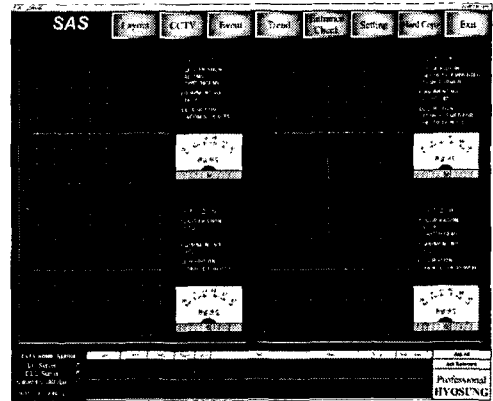


그림 7. Trend의 출력

3.3.4 통신제어장치

통신제어장치는 상위와 하위간의 정보교환을 원활히 수행하기 위한 장치로서 SCADA 시스템에 있어서 각 구성 기기 간 정보교환을 담당한다. 통신제어장치와 RTU간 정보 교환을 위한 매체로는 광을 원칙으로 하되 본 시스템의 환경조건 및 경제적인 요인을 감안하고, 시스템의 신뢰성을 저해하지 않는 범위 하에서 일부 Serial 방식을 채용하였다. 통신제어장치와 HMI간 정보 교환은 국제 표준인 Ethernet 통신방식(10/100Mbps 이상)을 사용하며, 정보교환을 위한 통신규약은 국제표준인 TCP/IP를 적용하였다. 한편, 무인 열차 운전 등을 위한 신호분야와의 인터페이스는 TCP/IP Ethernet 방식으로 구성되며, 주요 통신 내역은 구간별 전차선의 가압 정보 등이다.

3.3.5 Remote Terminal Unit(RTU)

RTU는 변전소 및 전기실의 각종 실시간 정보를 처리하기에 적합한 정보로 변환하고, 통신을 통하여 중앙제어실의 중앙제어장치에 전달하며 중앙제어장치의 각종 제어정보를 해당 기기에 적합한 신호레벨로 변환하여 전달하는 기능을 수행한다.

본 시스템에서는 상위 Network의 이중화를 고려하여, Network를 담당하는 CPU를 이중으로 별도 장착하였으며 IO Controller용 CPU로부터 현장의 데이터를 수수하여 상시 Standby 모드로 운전함으로써 데이터의 손실을 최소화하도록 설계하였다.

3.3.6 이중화 시스템

과거 시스템 개발의 주요 관심사는 기능(functionality)과 성능(performance)에 있었다. 그러나 최근의 마이크로 프로세서를 비롯한 하드웨어와 소프트웨어 및 고속 통신 기술의 발전은 과거의 성능과 기능을 포함하여 안정적이고 신뢰성있는 시스템을 개발 할 수 있는 토대를 제공해주고 있다. 표준 통신 프로토콜을 지원하는 장비의 보급으로 경제성 측면에 있어서도 많은 부담을 덜어 기능과 성능뿐만 아니라 안정성과 신뢰성이 시스템 구성 및 운영의 필요충분 조건이 되었다.

신뢰성 확보를 위해 시스템 측면에서 구현할 수 있는 방법은 시스템을 이중화하여 강건한 시스템(Robust system)을 추구하는 것이다. 이중화는 네트워크 라인의 이중화, 서버의 이중화, 통신 컨트롤러의 이중화 등으로 나눌 수 있는데, 이와 같이 이중화가 동시에 적용되었을 때 Fault에 tolerant한 시스템이라고 할 수 있을 것이다. 본 시스템에서는 상위의 Database 서버에서 하위 RTU까지의 Network 이중화를 적용하여 기존 시스템에 비하여 한 단계 높아진 신뢰성을 추구하였다.

3.3.7 보안 방제

변전소의 자동화 및 무인화를 위해 필수적으로 필요한 기술은 재해로부터 시설을 보호하고 변전소 전체를 안전하게 운용하는 기술이다.

(1) 상황 감시용 CCTV

감시카메라의 제어 및 화면 절체기능 등은 운용자가 주컴퓨터 장치에서 키보드와 마우스를 사용하여 간편히 수행할 수 있는 구조로 설계 하였다. 최근 IT 및 정보통신 분야의 비약적인 발전과 더불어 카메라 화상을 디지털로 변환하여 전송/저장/재생 기능을 가지는 DVR 시스템이 일반화 되고 있으며, 특히 DVR 시스템의 핵심 요소인 DVR 보드는 과거 한 채널(카메라 한대)당 수 프레임이었던 것이 현재 수십 프레임으로 향상되어 사람의 움직임을 완전한 연속화상으로 감시 가능하게 되었다. 본 시스템에서는 4분할 화면으로 모두 4대의 CCTV 영상을 한 화면에서 감시할 수 있도록 구성하였으며, 10 Frame/sec 기준으로 대당 3개월간의 데이터를 저장할 수 있도록 제작하였다.

(2) 출입자 감시용 CARD 판독기

변전소 출입자의 신원 파악과 사고 발생시 참고 자료로 사용할 수 있도록 변전소 출입구에 카드 리더를 설치하고, 변전소 출입구를 감시하고 있는 고정형 카메라로부터 화상을 전송 받아 출입자를 감시할 수 있도록 하였으며, 또한 최근 변전소 출입자의 리스트를 확인할 수 있도록 구성하였다.

(3) 침입자 감시용 적외선 센서

무인 변전소 개념하에서 신원이 불분명한 외부 침입자의 감지를 위하여 주요 설비가 설치된 변전소 내부 입구의 위치에 적외선 근접 센서를 설치하고, CCTV와 연동되도록 설계하였다.

(4) 화재 감지 센서

전력 공급 시스템 설비 중 화재의 위험이 있는 주요설비에 한하여 설비 내부에 화재감지가 가능한 센서를 설치하고, 이 센서의 신호를 RTU로 받아 보안 방재용 HMI상에서 감시할 수 있도록 구성하였다. 신호의 수수는 통신(Serial, Protocol고려)을 기본으로 하며, 센서의 설치는 해당 설비의 제작사에서 담당하되, 감지 방식(연기, 불꽃, 온도외)은 설비의 구조 및 특성을 고려하여 설비와 부합되도록 하였다. 아울러 화재상황을 감시하여 경보를 발생하는 동시에 CCTV와 연계하여 사령실에서 현장의 상황을 모니터링할 수 있도록 구성하였다.

4. 결 론

경량 전철 시스템의 핵심 구성 요소 중의 하나인, 전력 공급 시스템은 전체 시스템에 안정적이고 신뢰도 높은 전력 공급에 그 목적을 둔다. 이와 같은 시스템의 신뢰도 향상 추구와 더불어 무인 운전 기반의 기술들을 적용함으로써 시스템 운용상 보다 효율적이며, 경제적인 시스템의 구현을 목표로, IED들과의 연계를 통신으로 처리하고, Network 이중화를 적용하며, CCTV 및 각종 보안센서 등 최신의 보안방제 기술 적용을 통해 무인화 운전의 기반 기술을 확립하고자 하였다. 완전한 의미의 무인 변전소 실현을 위해서는 RCM 기반의 설비 진단 기술의 개발 및 변전소 운영에 관한 의사 결정 소프트웨어에 관한 연구가 계속 되어야 할 것이며, 아울러 Web 기반의 원방 감시 체계와 각종 설비의 현장 상태 등을 감시할 수 있는 예방진단 기능의 추가도 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] Dr. Alexander, “Distributed Intelligence in Integrated Substation Protection and Control Systems”, ALSTOM T&D document.
- [3] 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.