

## 전력선 통신을 이용한 지하공동구 종합감시제어 시스템 개발

주성호, 이태영, 박병석, 임용훈, 유동희  
한전 전력연구원

### Development of Monitoring and Control System of Utility-Pipe Conduit(Power Tunnel) using PLC

Seong-Ho Ju, Tae-Young Lee, Byung-Seok Park, Yong-Hoon Lim, Dong-Hee You  
Korea Electric Power Research Institute

#### ABSTRACT

기존의 지하 공동구 감시 시스템은 광케이블, 누설 동축케이블(LCX), 각종 제어케이블을 사용하여 통신 선로를 구축하기 때문에 시설비가 대단히 고가이며, 여러 가지 통신선로의 이용에 따른 유지보수가 어렵고 시공기간이 길어 시설 확대에 어려움이 있었다. 따라서 통신케이블의 설치 없이 기존에 설치된 공동구의 전등용 저압 전력선을 통신선로로 그대로 이용할 수 있는 전력선 통신 기술을 적용하여 유지보수가 용이한 저비용의 지하 공동구 감시제어시스템을 개발하는 것이 바람직하다. 본 논문에서는 공동구에서의 전력선 통신의 특성을 조사, 시험시스템 설계·제작, 현장실증시험을 통한 성능시험 및 분석을 수행하여 전력선 통신을 적용한 안정적인 공동구 감시제어 시스템을 제안하고자 한다.

#### 1. 서 론

최근 도심지 전력 수요 증대에 따른 송배전 선로 지중화와 전력 공급 신뢰도 향상 및 공급력 확보 등을 위하여 장거리 지하 전력구가 시설 운용되고 있다. 그러나 전력구는 지하에 시설된 관계로 위험하고 열악한 환경 상태와 전파 불감 현상에 의한 통신 불능으로 출입자 안전 및 전력구 관리상 여러 가지 문제점이 존재하고 있다. 따라서 이와 같은 전력구 환경에서 예상되는 각종 사고를 미연에 방지하고 지중 전력 설비의 신속한 유지 보수와 전력구의 효율적 운용 및 출입자의 안전 관리를 도모하며 시설 방호 관리 체계 수립을 위한 전력구내 및 내·외간 통신 시스템과 각종 설비의 운전 상태를

제어실 또는 원격지에서 집중적으로 감시할 수 있는 감시제어 시스템을 구축하여 운용하는 것이 필요하다. 하지만 현재 운용되고 있는 전력구 통신 및 감시제어시스템은 광케이블, 누설 동축케이블 및 각종 제어케이블을 사용하여 통신 선로를 구축하기 때문에 설치하는 데에 시간과 비용이 많이 들고 유지보수하기에도 어려움이 많으며, 이런 시스템은 고가여서 확대보급이 곤란한 상황이라 대부분의 전력구 감시제어는 인력에 의한 순회점검에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 최근에 많이 연구가 되고 있는 전력선 통신을 이용한 종합 감시제어시스템을 개발·운용하여 전력구를 관리하는 것이 바람직하다.

본 논문에서는 공동구에서의 전력선 통신의 특성 조사, 시험시스템 설계 및 제작, 현장 실증시험을 통한 성능시험 및 분석을 통하여 전력선 통신을 적용한 안정적인 공동구 감시제어시스템을 개발한다.

첫째, 공동구의 각종 설비에 대한 단순 기기감시 및 조작뿐만 아니라 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있도록 광대역의 데이터 전송이 가능하고 다양한 설비에 대한 데이터 전송이 가능한 고속 및 저속 PLC모형을 개발한다.<sup>[1]</sup>

둘째, 지하 공동구 환경에 적합한 통신 프로토콜을 설계하기 위하여 각종 통신 프로토콜을 조사, 분석한 결과를 이용하여 신뢰성이 높고 호환성이 높은 DNP 프로토콜을 공동구 특성에 맞게 최적화한다.

셋째, 잡음 및 감쇄에 의한 데이터 손실을 보상하여 장거리의 공동구에서도 적용이 가능하게 하는 전력선 통신 중계 장치(Repeater)와 다양한 현장설비로부터 원활한 데이터 수집을 위한 데이터 집중장치(RCU)를 개발하여 통신채널을 보다 효율적으로 운영이 가능하도록 한다.

넷째, 각종 계측 및 감시용 센서로부터 정보를



감지 정보의 저장 및 관리를 위한 DVR 서버 등으로 구성된다. 본 연구에서 설계된 모든 서버는 TCP/IP기반의 환경에서 동작하도록 하여, 사내 데이터통신 망과 연계하여 원격지의 사무실에서도 시스템에 접속하여 전체 시스템의 운영 상황을 파악할 수 있도록 하였다.

### 3. 지하 공동구내 전력선 통신의 특성

본 연구에서 제안하는 시범시스템은 강동전력구에 설치되며, 전력구는 길이 1.2km로서 154kV 송전선 및 22.9kV 배전 선로가 포설되어 있다. 강동 전력구의 동력용 전원선을 따라서 전력선 통신시험을 수행하고, 관련 특성을 측정하였다. 주요 거리는 120m, 600m, 800m 및 1km 지점에서 통신 시험과 잡음 측정 시험을 수행하였다(그림 3). 우선 지하 전력구내의 잡음 측정에 사용된 기기는 Agilent E7402A EMC Analyzer와 고주파 전력선 신호

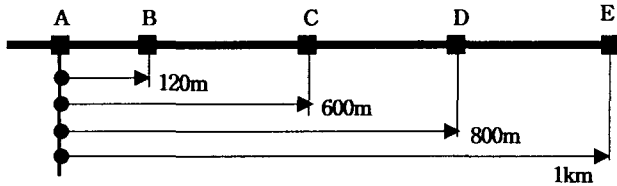


그림 3. 전력선 통신 시험 측정 위치

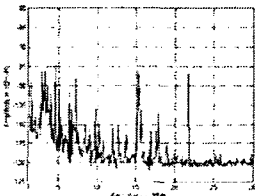


그림 4. A 지점의 전력선 잡음

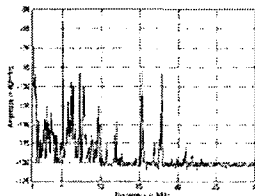


그림 5. B 지점의 전력선 잡음

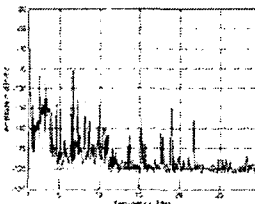


그림 6. C 지점의 전력선 잡음

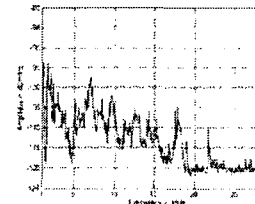


그림 7. D 지점의 전력선 잡음

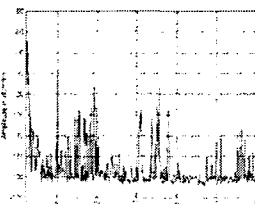


그림 8. E 지점의 전력선 잡음

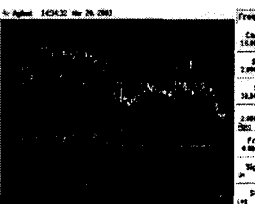


그림 9. 전력선통신 신호의 세기

coupler를 이용하였다. 그림 4 ~ 8에는 측정된 잡음 스펙트럼 밀도를 나타내었다. 전반적으로 잡음 특성은 -80dB이하로 양호한 특성을 보였으며, 낮은 주파수 대역의 잡음이 강하고 고주파영역으로 갈수록 잡음이 약한 특성을 보였다. 15MHz에서 일정하게 나타나는 신호는 단파방송이나 아마추어 무선신호등 다른 전파신호가 일직선인 전력선에 유도되어 나타나는 것으로 판단된다. 데이터 통신 시험은 시험 지점의 양 끝단에 전력선 모델을 장착하고 2대의 노트북 컴퓨터를 각각의 전력선 모델에 연결한 뒤 한대는 FTP 서버로 운영하고 한대는 FTP Client로 설정하고 동작시켜 TCP/IP계층에서 통신 가부 및 전송 속도를 측정하였다. A지점에 FTP Server를 고정시키고 FTP client를 각 지점 간에 이동하며 측정하였다. 통신 시험에 사용된 모델은 Home Plug규격을 만족하는 Intellon사의 valuation Modem을 이용하였다. 시험 결과, 대략 600m 정도의 거리 구간에서 안정적인 동작을 보여주었다. 600m이상의 거리로 전력선 통신망을 확장하기 위해서는 전력선 통신 중계기의 도입이 필요할 것으로 판명되어, 전력선 통신 중계기를 이용하여 전력선 통신 시험을 수행하였다. 그림 9에서 전력선 모델의 통신 신호(상위선)를 나타내었다. 전력선 통신과 기존의 사용주파수 대역과의 간섭을 피하기 위하여 신호 주파수 대역 중간 중간에 통신 신호의 세기가 Notch 형태를 보이고 있다.

### 4. 실증시험 시스템 설계 및 제작

#### 4.1 지하 전력구 감시제어 시스템

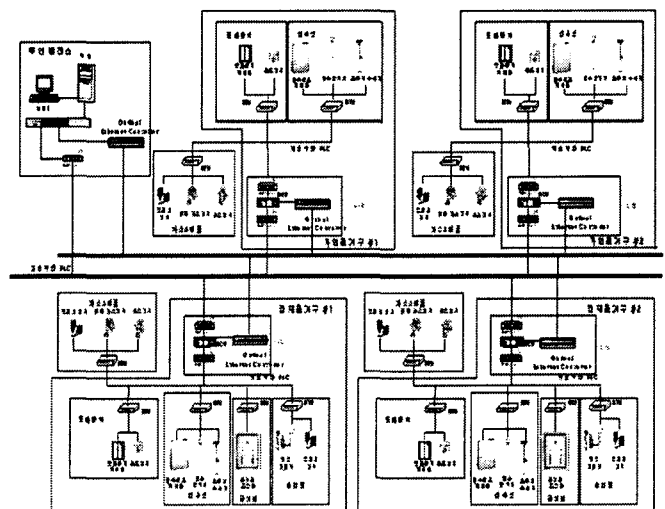


그림 10. 감시제어시스템의 기본 구성도

그림 10에는 실제로 전력선 통신을 이용한 지하

공동구 감시제어 시스템이 설치될 강동전력구의 상황에 맞추어 설계된 감시 제어시스템의 전체 시스템의 구성도를 나타내었다. 기존의 시스템이 음성과 기기 감시 제어만을 지원하면서도 별도의 통신 회선을 이용하도록 구성되는 것에 반하여, 본 연구에서 설계된 시스템은 별도의 통신회선 없이 전력선만을 이용하여 기기 감시제어, 음성 통신, 화상감시 등의 우수한 기능을 수용하도록 하였다.

#### 4.2 장거리 전력선 통신 기술

일반적인 지하 공동구는 수백m에서 수십km 정도의 거리로 전력선 통신을 지하 공동구의 제어 통신망으로 적용하고자 하는 경우에, 장거리 구간에 걸친 전력선 통신 중계 장치가 필수적으로 필요하며, 일정 구간별로 분리된 전원계통을 하나의 전력선 통신망으로 연계하기 위한 신호 브릿지(혹은 Phase Coupler)가 필요하다. 여기서 제작된 전력선 통신 중계 장치는 증폭기, 신호 검출기, 신호 송출기 등의 기능이 포함된 모듈로 일반 통신 3R Repeater를 의미한다.

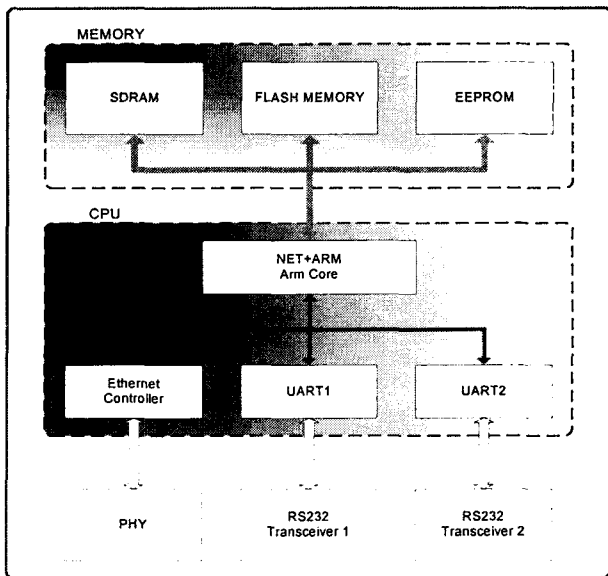


그림 11. RCU의 주요 구성

#### 4.3 원격 집중 장치(RCU)

RCU는 중앙감시제어시스템(CCU)와 원격터미널의 사이에서 감시·제어 데이터의 전달을 담당하며, 화상 및 음성 데이터의 전달자 역할도 수행한다. RCU는 CCU와 고속 PLC로 연결되어 데이터 통신을 하며, RCU와 RCU간은 고속 PLC에 의한 멀티드롭 방식으로 연결되어 각종 데이터(제어/감시 데이터, 화상 및 음성 데이터)를 전송한다. RCU는 저속 PLC에 의해 센서와 RCU간을 RTU를 통해 멀티드롭으로 연결하며, 이를 통하여 센서로부

터 실시간 데이터를 취득한다.

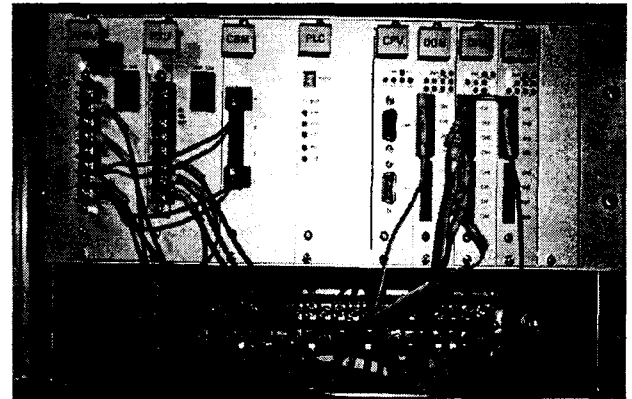


그림 12. 지하 공동구에 설치된 RTU

#### 4.4 원격 단말 장치(RTU)

전력선 통신 계위의 최 말단에 존재하여 제어 대상기기들과의 인터페이스를 담당한다. 원격 터미널은 저속 전력선 모뎀과 입출력 포트 구성되어, 제어대상기기의 아날로그, 디지털 특징을 가지는 물리적인 신호를 전력선 통신을 통하여 양방향 전송하는 기능을 한다. 시스템의 높은 건전성을 위해서는 장치의 신뢰성과 안정성이 특히 높게 요구된다. 이러한 요구사항을 충분히 반영하여 설계하였으며, 현장 설치 전 장기간에 걸친 시범운전을 통하여 내구성을 높였다.

#### 4.5 전력선 통신 모듈을 내장한 센서·입출력기기

전력선 통신을 중단의 센서 및 각종 제어기기까지 적용하여 기존의 제어 케이블의 사용범위를 최소한의 범위로 하여, 제어용 케이블 포설에 따른 시설 공사비를 줄이고, 아날로그 및 디지털 입출력의 오동작을 방지하는 것이 필수 조건이다. 주요 감시 제어 항목으로는 집수정 수위감시, 집수정 배수펌프 구동장치, 환기팬 구동장치, 환기팬 감시장치, 조명 제어장치, 유해 산소 감지센서, 화재 감시센서 등이다.

#### 4.6 감시 제어용 전력선 통신 프로토콜 개발

감시제어용 프로토콜은 기본적으로 frame relay communication을 지원하는데, 그 중에서 지속적인 버전 업그레이드 중이며, 표준화가 진행된 프로토콜을 기준으로 DNP v3.0, UCA v2.0, IEC 870-5-10를 비교, 분석했다. 분석 결과 IEC와 UCA 그리고 DNP 프로토콜은 각각의 장단점이 있어서 어느 특정한 프로토콜이 나쁘다고 할 수는 없다. 왜냐하면 IEC는 현존하는 국제 표준이며, UCA는 기술적인 잠재력이 가장 뛰어나며 IEC 표준이 되는 과정에 있기 때문이다. 그러나 비록 IEC와 UCA가 이런 장점을 가지고 있지만, DNP의 경우

SCADA 시스템에 최적화 되었다는 장점을 바탕으로 가장 많이 사용되고 있으며, 그 사용자 또한 계속 증가하는 추세이다.<sup>[2]</sup> 따라서 DNP 3.0과 호환되는 프로토콜로 디자인하는 것으로 결정하였다. 설계된 프로토콜은 말단의 센서 및 입출력기기, 장거리 전력선 중계기, 전력선 집중장치, 중앙 제어장치 등의 주요 네트워크 구성 장치 간에 계층적이고도 유기적인 연결을 지원하여 시스템의 원활한 운영에 핵심적인 역할을 수행한다.

#### 4.7 사용자 인터페이스(MMI) 설계

기존의 시스템이 가지는 비효율성을 제거하고, 현재 발전되고 있는 기술을 적용, 특히 전력선을 이용한 모뎀을 이용하여 지하 전력 공동구 감시의 효율을 극대화하고 비용 절감 방향으로 시스템을 분석하기 위해 인터넷 환경의 웹 베이스로 개발하였으며, 기존의 사용자 컴퓨터 환경에 따라 상이한 프로그램 사용법 등이 통일되어 친숙한 그래픽 인터페이스로 구현되고 사용자 등급에 따라 구동 소프트웨어가 다르게 구현되어 있다. 웹 브라우저 환경에서 실행되며 데이터베이스 편집기, 감시·제어

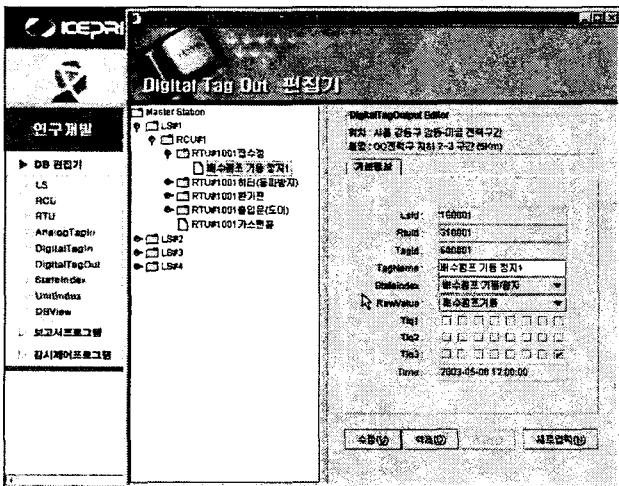


그림 13. DB Editor 실행화면

프로그램, 보고서 프로그램 등의 세 가지 종류로 나뉜다.

##### 4.7.1 데이터베이스 편집기

LS, RCU, RTU, 아날로그 센서, 디지털 센서 등의 속성과 데이터 값을 추가, 수정, 삭제해 주는 프로그램으로서 사용자 등급에 따라 일반 사용자는 조회만 가능하고 관리자일 경우에는 수정 및 삭제가 가능하게 구현되어 있다.

##### 4.7.2 감시·제어 프로그램

예전의 프로그램은 도표 상에서 경보 및 이벤트를 팝업창의 문자 베이스로 구현되어져 있었으나,

계통도에 맞게 센서와 RTU, RCU 정보를 정확히 표시하고 상태 변경시 센서 컴포넌트들의 표시를 통해 확인하는 프로그램이다.

#### 4.7.3 보고서 프로그램

센서 및 지하 전력구 내부의 상태 변화시 데이터 베이스에 저장되어진 정보를 월별/년별로 확인 가능한 프로그램으로, 특히 지하 전력구 내의 온도 변화 등과 같은 통계 데이터를 통해 데이터를 전략적 정보로 활용가능하게 한다.

#### 4.8 음성 통신 및 보안 시스템

기존의 공동구 감시시스템에서의 음성 통신은 고가의 LCX 케이블을 공동구 전체에 포설하여 구축되므로 시설 기간이 길고, 시설비가 매우 높아진다. 따라서 LCX 케이블을 쓰지 않고 지향성 안테나와 중계시스템을 효과적으로 설계하여 적용한 음성 통신 시스템을 개발하여 시설비와 자재비를 줄이며, 향후 유지보수가 용이하도록 하였다. 아울러 출입자 감시·통보·확인 등의 보안 시스템과 주요 개소에 감시용 DVR을 설치하여 주기적인 감시를 통해 시설의 보안과 관리의 편리성을 크게 높였다.

### 5. 결 론

기존의 공동구 감시 시스템은 광케이블과 누설 동축케이블(LCX)에 의한 통신 선로를 구축하여, 시설비가 대단히 고가일 뿐만 아니라, 공동구의 열악한 환경에 취약하여 장비의 내구 수명이 짧고 잦은 고장으로 인한 유지 보수비용이 매우 높은 실정이다.

본 논문에서는 저렴한 전력선 통신 방식을 지하 전력구 감시 시스템의 제어 통신에 적용하여, 공동구 감시 시스템을 널리 보급하고 확대함으로써, 공동구 감시 및 유지를 위한 인력 및 비용을 절감하고, 공동구의 화재나 누수 등에 의한 설비의 파손 및 계통 장애를 미연에 방지하며, 공동구의 건전성 확보에 기여하였다. 이는 향후 유사 설비의 종합 감시를 위해 전력선 통신을 이용한 제어 시스템 연구 개발 시 기초 자료로서도 활용가치가 높을 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

[1] D. Raphaeli, E. Bassin, "A Comparison Between OFDM, Single Carrier, and Spread Spectrum for high Data Rate PLC", *ISPLC'99*, pp. 162-168, April, 1999.  
 [2] Phillips, John, "Transporting DNP 3.0 over Local and Wide Area Networks", Foxboro Australia Pty Limited, version 0.1, September 23, 1998.