도시철도 변전소의 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템 구현

논 문
59P-1-12

Implementation of a Real-Time Data Acquisition System Based on Wireless Communication for Urban Rail Transit Substation

정 호 성† · 박 영* · 김 형 철**
(Ho-Sung Jung · Young Park · Hyung-Chul Kim)

Abstract - This paper is focused on implementing a real-time data acquisition system that checks power facility status by applying network based technology to Urban Transit substation power facilities and the results of its on-field tests. This system is composed of a sensor part, a measurement part, a transceiver part, a host computer, and a power source part. The system is designed to collect, save, analyze, and display the online state power facility AI (Analog Input). This system measures voltage and current from positive feeders and negative feeders where it is possible to check abnormalities of the substation's main power facilities. By monitoring abnormal data of the Urban Transit power facilities real-time and analyzing stored data, establishing procedures of optimized maintenance is possible.

Key Words : Real-Time Data Acquisition System, Urban Rail Transit Substation, Wireless Communication

1. 서 론

도시철도는 전기에너지를 열차의 추진 동력으로 사용하는 대중교통수단으로 기후변화로 인한 저탄소 녹색성장 시대에 자동차 대비 에너지 소비량과 탄소 배출량이 매우 적어 가장 안전하고 정확한 운송수단이며 현재에는 버스와의 환승 네트워크 구성 환경이 좋아져 도심의 중요 교통수단으로 자리 잡고 있다. 이러한 도시철도 전력설비는 열차에 전력을 공급하는 주요 설비로 전력설비의 사고 발생은 사고의 파급효과 범위가 넓어지고 사고로 인한 인명피해나 재산피해 등 직접적인 손실이 증가함은 물론, 사고로 인하여 장기간 열차의 전력공급에 차질을 빚어 도심의 교통 대란을 일으킬 우려가 있다. 하지만 도시철도 변전소 전력설비는 1971년 서울지하철 운영을 시작으로 장기간 사용으로 인한 노후화가 진행되고 있으며, 일부 전력설비는 내구연한이 도래하고 있어 각 전력설비의 상태를 실시간 감시, 진단하는 시스템의 구축이 필요하다[1~3].

따라서 본 논문에서는 무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템을 구현하여 일반 전력설비와 건설 환경 및 기기의 형태가 다른 도시철도 변전소 환경에서 현장시험하고 그 결과를 나타내었다[4~6]. 이 시스템은 센서부, 계측부, 송・수신부, Host Computer, 전원부로 구성하여 활선상태인 전력설비의 전압, 전류를 실시간 감시, 저장, 분석하도록 설계 하였다. 또한 본 시스템의 검증을 위하여 NI(National Instrument)사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)를 이용하여 시스템의 정확성을 확인하였다.

이와 같이 본 논문에서는 유선 시스템에 비하여 이동성 및 유연성이 보장되고 시스템의 설치 및 유지보수가 간편한 특징을 갖는 무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 장치를 개발하였으며, 향후 본 시스템의 연구를 바탕으로 부분방전 측정, 이미지 측정, 초음파 분석 등 각 전력설비에 알맞은 진단기법을 추가로 적용한다면 도시철도 변전소 전력설비의 상태를 실시간 감시하고 축적된 데이터로부터 최적의 유지보수 방안을 수립하는데 기여할 수 있을 것이다.

2. 본 론

2.1 실시간 데이터 취득 시스템

2.1.1 실시간 데이터 취득 시스템의 개요

도시철도 변전소의 실시간 데이터 취득 시스템은 도시철도 변전소 전력설비에 무선 네트워크 기술을 이용하여 운행중인 도시철도 전력설비에 전압, 전류의 데이터를 실시간으로

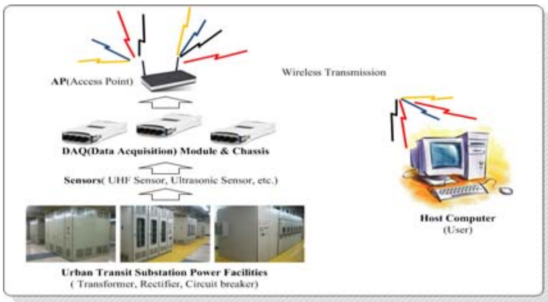

그림 1 실시간 데이터 취득 시스템의 구성
Fig. 1 Scheme of real-time data acquisition system

† 교신저자, 정회원 : 한국철도기술연구원 전철전력연구실 선임연구원・공박
E-mail : hsjung@krri.re.kr
* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 전철전력연구실 선임연구원・공박
** 정 회 원 : 한국철도기술연구원 전철전력연구실 실장・공박
접수일자 : 2010년 1월 15일
최종완료 : 2010년 2월 22일

감시하는 시스템이다. 본 시스템은 WLAN의 IEEE 802.11 기술표준방식을 적용하여 현재 운영되고 있는 전력설비에 추가의 케이블 작업 없이 전력설비의 전력데이터를 실시간 감시 할 수 있는 시스템으로 유선 계측 시스템에 비하여 이동성 및 유연성이 보장되고 시스템의 설치 및 유지보수가 간편한 특징을 갖는다. 그림 1은 실시간 데이터 취득 시스템의 구성을 나타낸다.

2.1.2 하드웨어의 구성

도시철도 변전소의 실시간 데이터 취득 시스템은 크게 5개의 부분으로 구성하였다. 첫째는 전력설비로부터 데이터를 수집하는 센서부, 둘째는 입력신호를 받아 처리하는 계측부, 셋째는 데이터를 송신하고 수신하는 데이터 전송부, 넷째는 데이터를 저장, 분석, 디스플레이 하는 Host Computer, 마지막으로 계측부 전체에 전원을 공급하는 전원부로 구성되어 있다.

그림 2는 도시철도 변전소에 무선 네트워크 기반 전압, 전류의 데이터를 실시간 감시하는 시스템의 구성도를 나타낸 것으로 각 구성요소 별 세부적인 기능은 다음과 같다. 센서부는 전력설비의 물리적 현상인 전압, 전류를 DAQ 시스템(Data Acquisition System)이 측정 할 수 있는 전기적 신호로 변환하는 것으로 전력설비 및 계통의 보호를 위해 기존에 설치되어 있는 계기용 변압기(Potential Transformer, PT)센서와, 계기용 변류기(Current Transformer, CT)센서를 이용하였다. 계측부는 센서로부터 입력 신호를 받아 DAQ 장치가 측정하기 적합하도록 데이터를 증폭, 처리하여 부분으로 본 시스템에서는 하나의 모듈 당 4채널까지 확장 가능하고, 각 채널마다 하나의 증폭기와 하나의 A/D Converter로 구성되어 컨디셔닝(Conditioning)하는 NI(National Instrument)사의 전압 모듈을 사용하였으며 이더넷 전송방식의 섀시에 담아 각각의 전력설비 내부에 설치하였다. 송・수신부는 이더넷 기반의 계측부로부터 획득한 데이터를 AP(Access Point)를 통해 원거리의 Host Computer까지 데이터를 송, 수신 하는 부분으로 무선규격 802.11b/g/n을 지원하고 전송속도는 최대 10/100Mbps까지 데이터를 전송하는 AP를 사용하였다. Host computer는 계측부의 각 채널 설정을 돕는 채널설정 부분과 AP로부터 수신된 데이터를 실시간 저장 및 분석, 디스플레이 하는 부분으로 본 시스템의

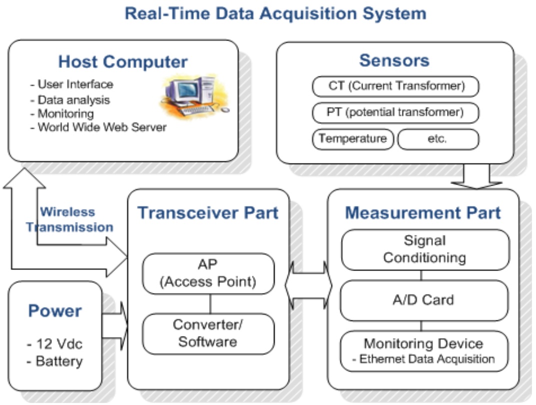

그림 2 실시간 데이터 취득 시스템의 구성도

Fig. 2 Scheme of real-time data acquisition system

구현에서는 노트북과 상용프로그램인 Labview 8.6을 이용하였다. 마지막으로 전원부는 계측 시스템 전체에 전원을 공급하는 부분이다.

2.1.3 소프트웨어의 구성

본 논문에서 구현한 소프트웨어는 Labview 8.6을 이용하여 제작하였으며 소프트웨어는 크게 3개의 화면으로 구성된다. 첫째는 채널설정 화면으로 계측 시 사용하는 채널의 사용 유, 무 또는 정확한 계측을 위한 채널의 설정을 담당하는 부분이다. 둘째는 채널설정 값을 기초로 실제적인 계측 및 데이터를 저장하는 계측 및 저장화면이다. 마지막으로 시험을 통하여 계측된 데이터를 사용자가 분석하게 하기 위한 계측 분석 화면이다. 그림 3은 온라인 전력데이터 취득 시스템의 계측 설정을 담당하는 채널설정 부분이다. 본 시스템의 데이터 취득 채널은 최대 12채널로 구성되어 있으며, 각 전력설비로부터 전압 및 전류의 신호를 각 6개씩 획득 할 수 있게 하였고, 특히 하드웨어에서 획득한 ±10V 범위안의 데이터로 calibration 할 수 있도록 구성 하였다.

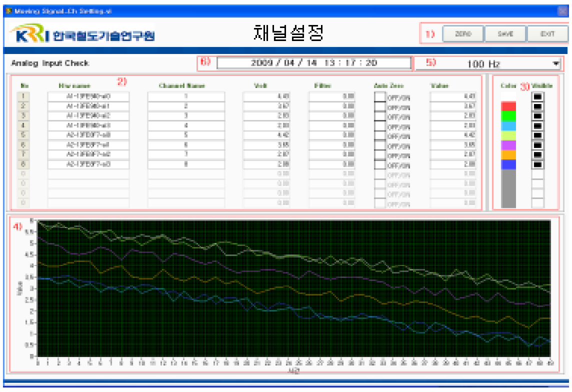

그림 3 채널설정 화면

Fig. 3 Captured screen of channel configuration

그림 4는 하드웨어로부터 읽어 들어온 전압, 전류의 신호를 계측 및 저장 하는 부분이다. 계측은 그림 4에서 보는 것과 같이 계측되는 데이터를 실시간 감시 할 수 있도록 프로그래밍 하였다. 또한 획득되는 데이터는 시간영역과 주파수영역에서의 실시간 데이터 파형을 분석 할 수 있게 구성

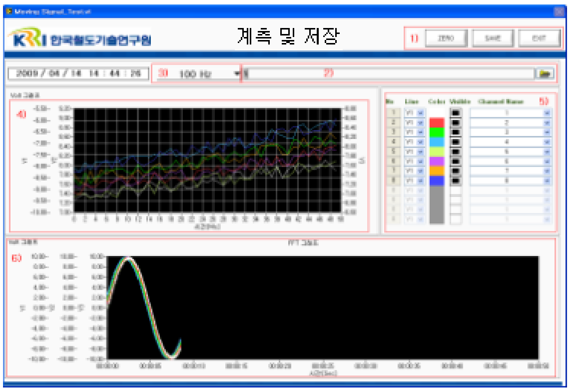

그림 4 계측 및 저장 화면

Fig. 4 Captured screen of measurement and save

하였고 계측되는 실시간 데이터는 일반적인 데이터 파일로 저장할 수 있다.

그림 5는 측정된 데이터를 분석하는 계측 분석 부분으로 계측된 데이터는 불어오기를 통하여 파일을 열어볼 수 있게 하였다. 계측 분석 화면에서는 계측된 데이터의 그래프 및 측정된 데이터의 범위를 설정하여 정확한 파형의 트렌드를 확인 할 수 있게 하였고, 계측된 전력데이터를 일반적인 텍스트 파일로 변환 할 수 있게 하여 다른 상용 프로그램에서도 데이터를 분석 할 수 있도록 하였다.

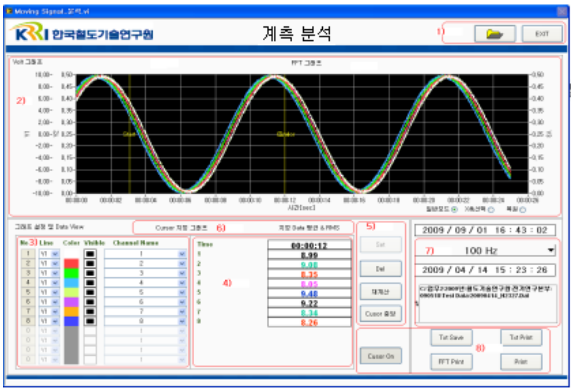

그림 5 계측 분석 화면

Fig. 5 Captured screen of analyzing measured data

2.2 실시간 데이터 취득 시스템의 현장시험

2.2.1 현장시험의 개요

무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템은 광주도시철도공사의 옥동변전소에서 현장 설치하여 그 성능을 확인하였다. 뿐만 아니라 본 시스템에서 취득한 데이터의 정확성을 확인하기 위하여 기존 철도 급전계통에서의 시험용으로 주로 사용되어 그 성능이 확인된 유선 계측장치를 이용하여 실시간 데이터 취득 시스템과 동시에 데이터를 취득한 후 그 결과를 비교하였다. 그림 6은 옥동변전소의 급전계통으로 본 논문에서 구현한 시스템의 계측위치를 나타낸 것이다.

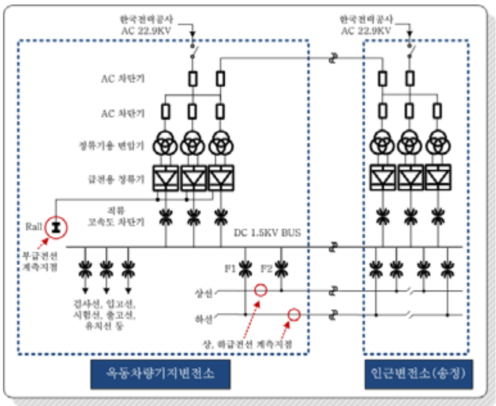

그림 6 옥동변전소의 전력 계통도

Fig. 6 Diagram of electric power system at Ok-dong substation

2.2.2 시스템의 설치

본 논문에서 구현한 시스템은 열차에 전기 동력을 공급하는 상, 하 급전선과 귀선로인 부급전선에서의 각 전력데이터를 총 6개의 채널에서 획득 하였다. 현장시험 시 사용된 실시간 데이터 취득 시스템의 센서로는 옥동변전소 전력설비에 기 설치되어 있는 PT(Potential transformer), CT(Current Transformer) 센서를 이용하였다. 각 라인 별 PT, CT센서의 변압, 변류비는 상, 하 급전선의 경우 2000:5, 8000:5이며, 부급전선의 경우 2000:5, 24000:5의 비율을 갖는 PT, CT를 사용하였다. 계측기의 외함은 고압 전력설비로부터 유기 되어지는 전압이나 기계기구의 절연이 파괴되었을 때 안전사고를 대비하여 부급전선의 메인접지에 연결하였다. Host Computer에서의 데이터 저장 및 디스플레이하기 위해 Sampling rate는 1초에 5개의 데이터를 취득 하였다. 그림 7과 그림 8은 무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템의 현장설치 사진을 나타낸다.

그림 7 급전선의 전압, 전류 계측지점

Fig. 7 Measurement point of voltage and current at positive feeder

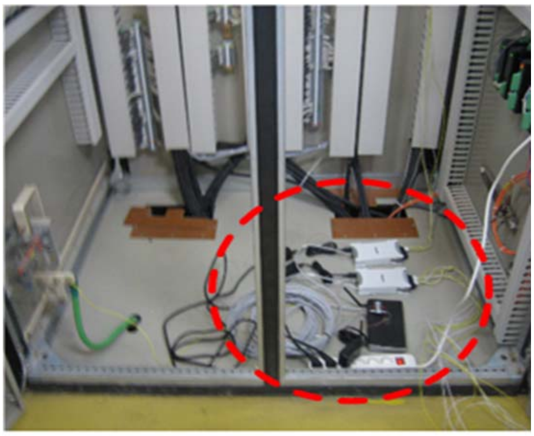

그림 8 데이터 취득 시스템의 설치

Fig. 8 Installation of real-time DAQ system at metro substation

2.2.3 시스템의 검증

무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템의 정확성을 확인하기 위한 시스템의 구성은 그림 9와 같다. 본 논문에서 구현한 실시간 데이터 취득 시스템과 철도 급전계통에서 계측에 많이 사용되어 성능이 확인된 계측장치인

NI(National Instrument)사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)를 동일 지점에서 동시에 전압, 전류의 데이터를 계측하여 그 결과를 비교 분석 하였다. 그림 10과 그림 11은 시스템 검증을 위해 수행한 현장시험 사진을 보여준다.

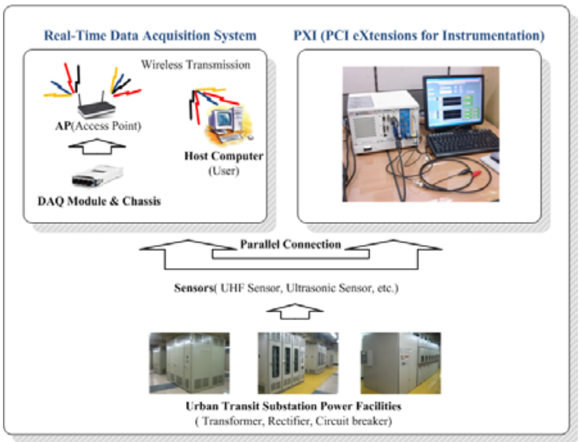

그림 9 시스템 검증을 위한 구성도

Fig. 9 Scheme of real-time DAQ system verification

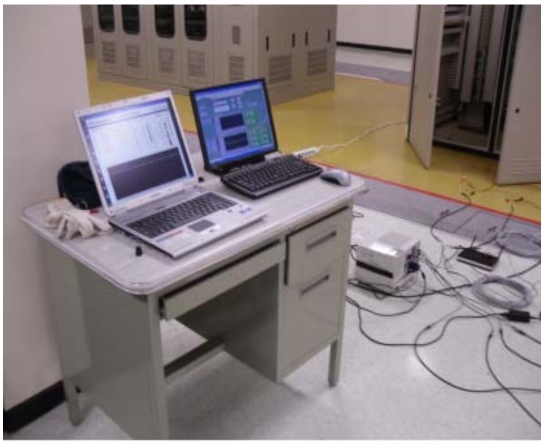

그림 10 유, 무선 계측기의 모니터링 사진

Fig. 10 Application of wired and wireless monitoring instruments

그림 11 시스템 검증을 위한 계측 시스템 전경

Fig. 11 View of verifying real-time DAQ system

2.3 계측 분석

2.3.1 실시간 데이터 취득 시스템과 PXI의 계측데이터 비교분석

그림 12와 그림 13은 광주도시철도공사 옥동변전소에서 오전 11시 3분부터 오전 11시 8분까지 5분 동안 실시간 데이터 취득 시스템과 유선 계측기인 PXI에서 취득한 데이터를 그래프로 나타낸 결과이다. 본 논문에서 구현한 시스템에서 취득한 데이터는 AP의 끊김 현상으로 인하여 유선 계측기에서 취득한 데이터에 비해 다소 노이즈 형태의 잡음이 포함되어 계측됨이 확인 되었다. 하지만 계측되는 데이터의 값의 패턴은 동일하고 섞여 있는 잡음이 지속적이지 않고 매우 짧은 시간 주기로 나타나기 때문에 전반적으로 계측에 있어 신뢰성을 확인할 수 있다. 따라서 현재 운영 중인 도시철도 지하 변전소 환경에서 복잡한 케이블 작업 없이 각 전력설비의 전압, 전류의 패턴을 알아보기 위해 간편하게 시스템의 설치 및 해체하는 방법으로 본 논문에서 구현한 시스템을 적용할 수 있을 것이다.

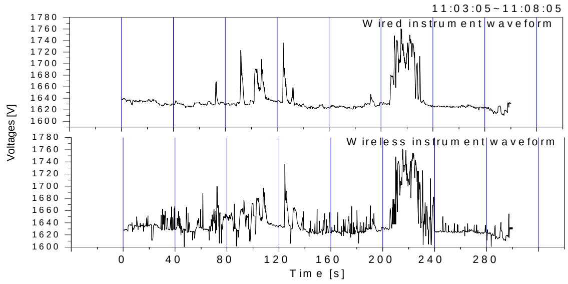

그림 12 실시간 데이터 취득 시스템과 유선 계측기의 전압 파형

Fig. 12 Voltage waveform comparison of wireless and wired instrument

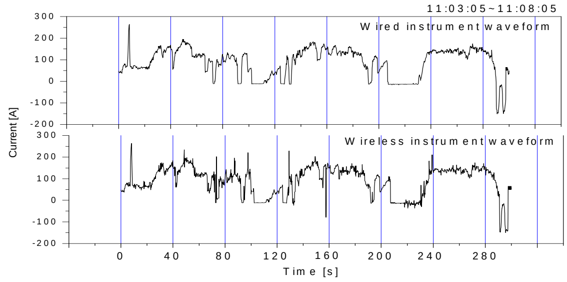

그림 13 실시간 데이터 취득 시스템과 유선 계측기의 전류 파형

Fig. 13 Current waveform comparison of wireless and wired instrument

2.3.2 철도 급전 계통 전압, 전류 패턴 분석

그림 14~19는 15시 27분부터 15시 37분까지 약 10분 동안 상, 하급전선과 부급전선에서 취득한 전압, 전류의 데이터를 나타낸다. 일반적으로 열차는 기동, 타행, 제동, 정지의 패턴을 갖고 운행하며 광주광역시 도시철도공사의 역간 운행 소요시간은 약 2분 정도이다. 계측된 전압 그래프는 역간 운행 소요시간과 동일하게 약 2분정도의 주기를 갖고 회생과 역행을 반복하는 것으로 확인된다. 전류의 경우도 전압의 경우와 마찬가지로 열차의 기동시 전류를 많이 소모하고 제동

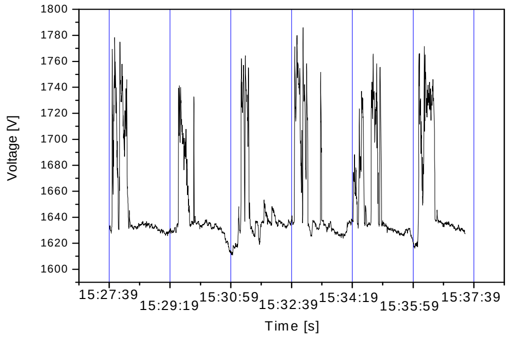

그림 14 급전선(1)의 전압파형

Fig. 14 Voltage waveform of positive feeder(1)

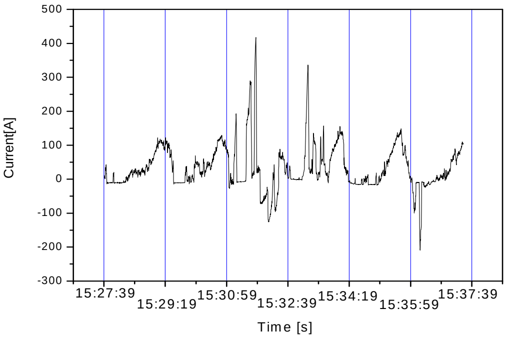

그림 15 급전선(1)의 전류파형

Fig. 15 Current waveform of positive feeder(1)

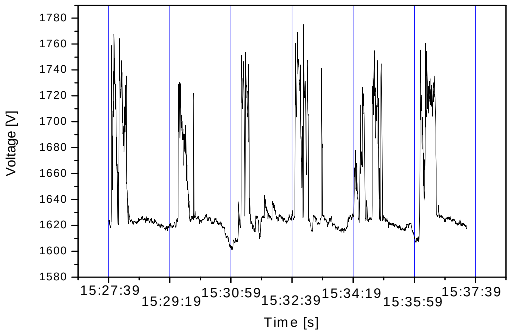

그림 16 급전선(2)의 전압파형

Fig. 16 Voltage waveform of positive feeder(2)

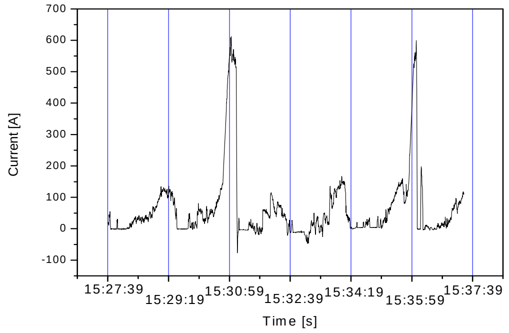

그림 17 급전선(2)의 전류파형

Fig. 17 Current waveform of positive feeder(2)

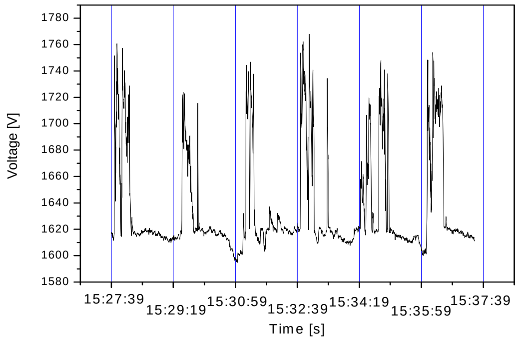

그림 18 부급전선의 전압파형

Fig. 18 Voltage waveform of Negative feeder

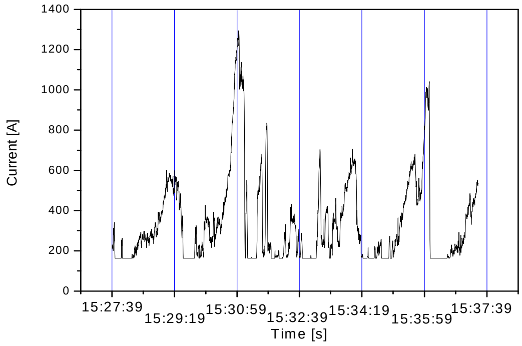

그림 19 부급전선의 전류파형

Fig. 19 Current waveform of Negative feeder

시 회생 에너지가 발생하는데 다음의 전류파형에서도 동일한 패턴의 데이터 파형이 확인되며 추가로 부급전선은 열차의 귀선로로서 상, 하급전선의 전류가 합쳐져 들어옴을 알 수 있다. 그리고 상, 하 급전선과 부급전선의 전압 데이터 패턴이 거의 유사하게 파악되는데 이는 철도 급전 계통 특성상 각 라인의 모선을 동일 모선을 사용하고 있는데 기인한다.

3. 결 론

도시철도 변전소에는 전력설비의 상태를 실시간 감시, 진단하는 시스템의 도입이 필요하다. 하지만 국내・외의 감시 및 진단기술을 도시철도 전력설비에 바로 적용하는 것은 도시철도 전력설비가 직류급전방식을 채택, 사용하고 있고 변전소의 위치가 주로 지하에 건설되어 전력설비의 형태가 소형, 밀폐형인 등 일반 전력설비와 상이하여 바로 적용하기가 힘들고 경제성도 고려해야 한다. 따라서 본 논문에서는 무선 네트워크 기반 기술을 이용하여 실시간으로 데이터를 취득할 수 있는 시스템을 구현하여 일반 전력설비와 건설 환경 및 기기의 형태가 다른 도시철도 변전소 환경에서 현장시험하고 그 결과를 나타내었다. 이 시스템은 센서부, 계측부, 송・수신부, Host Computer, 전원부로 구성하여 활선상태인 전력설비의 전압, 전류를 실시간 감시, 저장, 분석하도록 설계 하였다. 또한 본 시스템의 검증을 위하여 NI(National Instrument)사의 PXI(PCI eXtensions for Instrumentation)를 이용하여 시스템의 정확성을 확인하였

다. 현장시험 결과, 무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 시스템에서 획득한 데이터는 AP의 끊김 현상으로 인하여 유선 계측기에서 취득한 데이터에 비해 다소 노이즈 형태의 잡음이 포함되어 계측됨을 알 수 있었다. 하지만 계측되는 데이터의 값은 유사한 패턴을 나타내었고 섞여있는 잡음이 지속적이지 않고 매우 짧은 시간 주기로 나타나 현재 운영중인 도시철도 변전소 전력설비에 추가의 케이블 작업 없이 각 전력설비의 유지보수를 위한 간편한 시스템의 설치 및 해체하는 방법으로 적용하는 데에는 매우 적합하다.

이와 같이 본 논문에서는 유선 시스템에 비하여 이동성 및 유연성이 보장되고 시스템의 설치 및 유지보수가 간편한 특징을 갖는 무선 네트워크 기반 실시간 데이터 취득 장치를 개발하였으며, 향후 본 시스템의 연구를 바탕으로 부분방전 측정, 이미지 측정, 초음파 분석 등 각 전력설비에 알맞은 진단기법을 추가로 적용한다면 도시철도 변전소 전력설비의 상태를 실시간 감시하고 축적된 데이터로부터 최적의 유지보수 방안을 수립하는데 기여할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

[1] 김도윤, 정호성, 박영, 이상빈, “도시철도 전기설비 온라인 상태진단 기술”, 한국전기전자재료학회 하계학술대회논문집, pp. 500, 2008.

[2] 김도윤, 정호성, 박영, 한석윤, 이상빈, "도시철도용 몰드변압기 상태감시를 위한 사례조사 연구", 한국철도학회 추계학술대회논문집, pp. 235~240, 2008.

[3] Doyoon Kim, Young Park, Sang Bin Lee, Hosung Jung, "Implementation of a Network-based Online Monitoring System for Substation Power facilities in Urban Rail Transit", INTELEC, 2009.

[4] Swain, N.K.; Anderson, J.A.; Ajit Singh; Swain, M.; Fulton, M.; Garrett, J.; Tucker, O.; “Remote data acquisition, control and analysis using LabVIEW front panel and real time engine”, SoutheastCon, 2003. Proceedings. IEEE, 2003

[5] Prommee, W.; Somchaiwong, N.; Jeenawong, S.;“The low-cost instrument with LabVIEW And DB25”, SICE-ICASE, 2006.

[6] D. P. Buse and Q. H. Wu, “IP Network-based Multi-agent Systems for Industrial Automation”, Springer, pp.127~155.

저 자 소 개

정 호 성 (鄭 澔 聖)

1971년 10월 4일생. 1998년 성균관대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2002년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 전철전력연구실 선임연구원

Tel: 031-460-5116

Fax : 031-460-5459

E-mail : hsjung@krri.re.kr

박 영 (朴 暎)

1973년 11월 3일생. 2000년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사). 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 전철전력연구실 선임연구원

Tel: 031-460-5424

Fax : 031-460-5459

E-mail : ypark@krri.re.kr

김 형 철 (金 炯 徹)

1967년 9월 30일생. 1993년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국철도기술연구원 전철전력연구실 실장

Tel: 031-460-5450

Fax : 031-460-5459

E-mail : hckim@krri.re.kr