

## 실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정

### Characteristic Measurement by a Real-time Data Acquisition System in Overhead Contact Wire

나해경<sup>1</sup>, 박 영<sup>2</sup>, 조용현<sup>2</sup>, 이기원<sup>2</sup>, 박현준<sup>2</sup>, 오수영<sup>1</sup>, 송준태<sup>1,a</sup>  
(Hae-Kyung Na<sup>1</sup>, Young Park<sup>2</sup>, Yong-Hyeon Cho<sup>2</sup>, Ki-won Lee<sup>2</sup>, Hyun-Jun Park<sup>2</sup>,  
Su-Young Oh<sup>1</sup>, and Joon-Tae Song<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Facilities of electric railway should be maintained only at night and it is necessary to maintain by human power because facilities are installed at a high place. This paper presents the development and application of a real-time data acquisition system for the characteristics measurement of overhead contact wires in electric railway. The system is designed to perform in the telemetry environments that developed to store data by wireless in a live wire state of 25 kV power source. The field test results show that the proposed technique and the developed system can be practically applied to measure characteristics of temperature, displacement, and strain on overhead contact lines.

**Key Words** : Electric railway, Telemetry, Real-time data acquisition, Overhead contact wire

#### 1. 서 론

현재 전기철도는 고속철도 개통과 함께 전철전력설비의 급격히 증가하고 있으며 국가 계획에 따라 2006년 약 50 %의 전철화 구간을 21세기 국가철도망 구축계획에 따라 2010년까지 기존선 및 신규철도노선의 70 %의 전철화를 목표로 건설 중에 있다. 이러한 운영환경의 변화는 차량고속화로 전차선로의 기계적, 전기적 불안전요인의 증가와 장애발생 시의 사회적 파장이 크고 복구에 많은 시간이 소요 되는 문제점이 있다[1,2]. 특히 전철설비는 전기차량의 운행이 종료되는 야간에만 시설물 유지보수가 가능하고 시스템 특성상 높은 곳에 설치된 시설물을 인력으로 유지보수 하여야 하므로 새롭고 검증된 자동화된 진단기술과 철도시스템에

적합한 종합 진단기술의 확보가 시급하다[3]. 이러한 진단시스템은 감시대상에 대한 열화 상태 및 경향 관리 기법 확보가 필요하며, 특히 열차운행 중 활선상태에서 센서로부터 물리량을 얻어야 하므로 텔레메틱스와 같은 무선네트워크기술이 필수적이다[4]. 또한 감시시스템에서 얻어진 열화진단 및 유지보수 관련 자료의 D/B 구축에 의한 활용가치 제고와 경향관리를 통해 설비의 취약점을 도출하고 문제점을 개선 강화하며 운전 중에 실시간으로 감시 및 진단이 가능한 기술 자동화, 지능화를 위해 무선네트워크를 이용한 전기설비 진단기술 및 종합감시시스템을 시급히 요구된다[5]. 독일의 경우 전기철도에서의 차량 측에 있는 집진계 특성 측정을 전파를 사용한 전기절연방식과 광센서를 이용한 방식이 개발되었고, 다른 철도 관계자들에 의해 사용되어 왔다[6]. 국내의 경우 한국형 고속열차인 G7 열차의 팬터그래프 특성 측정에 일부 적용되고 있다[7]. 본 논문에서는 전기철도의 전차선로에 25 kV의 전원이 공급되는 활선상태에서 전차선로의 전기적, 재료적, 기계적 특성을 측정하고 이를 무선으로 저장하기 위한 시스템을 국내 최초로 개발하고 현장시험을 수행하여 전차선로의 온도, 변위, 가속도 등의 특성을 평가하였다.

1. 성균관대학교 정보통신공학부  
(경기도 수원시 장안구 천천동 300)
2. 한국철도기술연구원  
a. Corresponding Author : jtsong@ece.skku.ac.kr  
접수일자 : 2007. 1. 3  
1차 심사 : 2007. 1. 18  
2차 심사 : 2007. 2. 12  
심사완료 : 2007. 2. 16

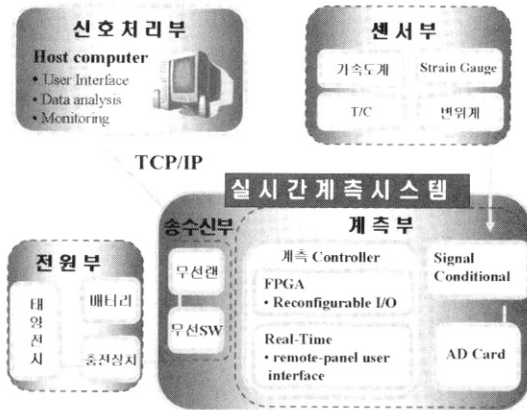


그림 1. 실시간 계측시스템의 구성.  
Fig. 1. Configuration of the real-time data acquisition system.

## 2. 실험

### 2.1 시스템의 구성

그림 1에 전차선로 실시간 계측시스템의 구성을 나타내었다[8]. 시스템은 전차선로 측에 가선의 데이터를 수집할 수 있는 센서부, 입력신호를 받아 처리하는 계측부, 데이터를 무선으로 수신하는 송신하는 데이터 송수신부, 지상에서 데이터를 받고 처리하여 모니터링하는 지상신호처리부 및 전원부로 구성된다.

센서부에서는 변형계 (Strain Gauge), 가속도 센서, 열전대 (Thermocouple), 변위계로 구성하며 전차선의 상태량인 온도, 가속도, 응력, 변위, 변형률, 힘을 측정한다. 센서에 의해 측정된 전차선로의 상태량은 계측부로 입력되며 센서는 전차선 혹은 조가선에 직접 부착하였다.

계측부에서는 계측시스템을 전차선로에 부착하여 센서의 입력을 받아 이를 증폭, 처리하여 이를 지상에 송신하는 부이며 실시간 계측 제어기 (Controller)를 장착하였다. 또한 최대 1000 sample/s, 16채널 입력이 가능하며 신호처리를 위한 A/D 변환기 및 Signal Conditioner로 구성하였다. 데이터 송수신부에서는 무선랜을 이용하여 데이터를 송수신하며 무선랜, 안테나 케이블, 송신용 외장형 안테나, 수신 안테나 및 수신 장치로 구성된다.

계측부에서 처리된 데이터는 출력신호를 무선랜을 통하여 지상의 신호처리부로 보내며 이 때 안테나가 필요하다. 수신안테나 및 수신 장치는 무선랜 (IEEE 801b/g)을 이용하여 수신 받고 수신 받

은 신호를 모니터링 할 수 있도록 구성하였다. 전원부는 배터리를 이용하여 계측장비 전체에 전원을 공급한다. 무선 스위치를 이용하여 장비 동작시에만 전원을 사용 할 수 있도록 하여 전력을 최소화 하였으나, 배터리나 전원을 주기적으로 공급하기에는 어려움이 있다. 또한 태양전지를 이용하여 자체적으로 배터리를 충전할 수 있도록 설계하였다.

### 2.2 프로그램의 구성

센서로부터 입력된 신호는 Signal Conditioning을 통해 AD 변환기 (Analog to Digital Converter)로 디지털화 된다. FPGA (Field-Programmable Gate Array) 통해 Real-Time 프로세서와 PCI 버스 (bus)로 고속으로 처리된다. 운영프로그램은 NI (National Instruments)사의 LabVIEW 프로그램을 기본으로 사용하였고, 장비를 구동하고 계측하기 위한 프로그램으로 데이터 계측 및 송신 프로그램과 모니터링 프로그램으로 나누어 사용하였다.

데이터 계측 및 송신을 위한 계측 프로그램은 데이터 측정 및 전송, 통신 프로토콜 점검, 장비 점검과 전원동작 시 자동 로딩 (Loading) 및 실행하도록 구성하였다. 계측 및 송신 프로그램 중 FPGA 프로그램은 독립적 (Stand-alone)으로 동작하기 위해 센서로부터 데이터를 수집하여 데이터 측정, 채널의 구성, 데이터 버퍼구성 및 측정 속도를 정의하도록 구성되었다. 또한 실시간 운영체제 (LabVIEW RT) 프로그램은 FIFO (First In First Out)를 지정해주고 신호처리부의 데이터 전송, 데이터 연산, 채널 교정 (Calibration)을 담당하고 있다.

모니터링 프로그램은 데이터 수신, 데이터 모니터링, 데이터 저장을 할 수 있게 구성되어 있다. 계측의 시작/끝, 데이터 저장은 신호처리부의 지령에 따라 수행되며 모든 신호의 현시와 이상여부의 확인이 가능하다. 또한 저장된 데이터를 처리할 수 있도록 측정데이터를 텍스트 파일로 저장하였다.

## 3. 시험 결과

제작한 전차선로 실시간 계측시스템의 현장시험을 위하여 충북선 토공 구간에 시스템을 설치하여 현장 적용성 여부와 안전성 등을 확인하였다.

현장 시험의 경우 25 kV의 활선상태에서는 계측 시스템을 장착할 수 없으므로 열차가 운행되지 않는 시간에 그림 2와 같이 실시간 계측시스템을 설치하였다.

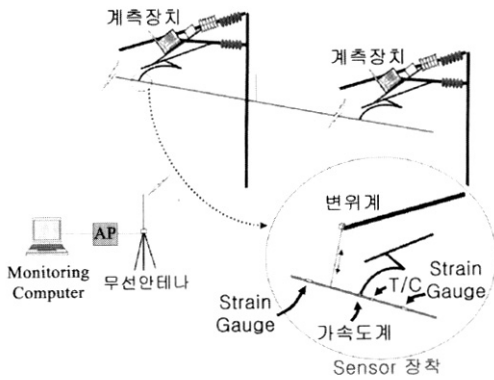


그림 2. 현장시험을 위한 전차선로 실시간 계측시스템의 설치방법.  
 Fig. 2. Installation method of real-time data acquisition system for a field test.

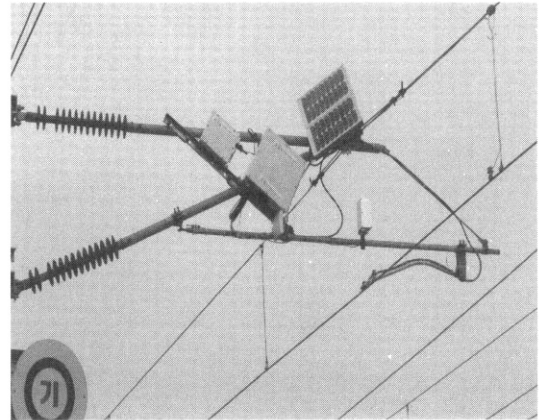


그림 3. 실시간 계측시스템의 사진.  
 Fig. 3. Picture of the real-time data acquisition system.

표 1. 센서의 사양.

Table 1. Specification of sensors.

센서 수량	주요 사양
가속도 센서 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>저항: 입력 - 121.1 Ω, 출력 - 124.7 Ω</li> <li>허용온도범위: -10 ~ 60 °C</li> <li>정격출력: 0.5 mV/V</li> </ul>
변형계 (Strain Gauge) 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>무위도 게이지</li> <li>Gauge Factor: 1.99±1 %</li> </ul>
열전대 (Thermocouple) 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>J 타입</li> <li>최고연속 허용온도: 260 °C</li> </ul>
변위계 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>저항: 입력 - 194.1 Ω, 출력 - 596.8 Ω</li> <li>정격출력: 5 mV/V</li> <li>고정계수: 0.200 mm/1×10<sup>-6</sup></li> </ul>

시스템 설치를 위하여 전차선로의 일정 구간을 단전시켜 안전을 확보하였고, 전차선로 계측부의 케이스 및 배터리는 가동 브래킷에 고정, 설치하였다. 또한 전차선로의 전기적, 기계적, 재료적 특성을 파악하기 위하여 표 1과 같은 사양의 센서를 부착하여 계측시스템과 연결하였다. 그림 3에 현장시험에서의 전차선로 실시간 계측시스템의 사진을 나타내었고 그림 4에 시스템 설치 후 모니터링 프로그램에 의한 출력 파형을 나타내었다.

그림 4와 같이 설치 후 25 kV의 전력 입력과 열차 운행에 따른 전기적, 기계적인 문제점은 발생하

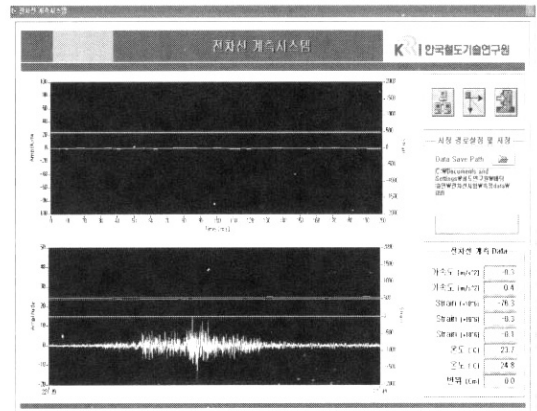


그림 4. 모니터링 프로그램에 의한 출력 파형.  
 Fig. 4. Output waveform by monitoring program.

지 않았고 실시간으로 12시간 이상을 배터리에 의해 연속 동작하여 데이터를 수집할 수 있었다. 신호는 60 Hz의 고조파 (Harmonics)에 의한 전기 잡음과 간섭 없이 2.4 GHz 대역에서 측정 하였다. 또한 측정결과를 현장에서 즉시 모니터링 하여 그 결과를 지상의 신호처리부에서 확인하였고 측정된 값은 데이터로 저장하여 결과를 측정 한 이후에도 분석이 가능하였다. 그로인해 측정값이 노이즈의 간섭 없이 측정할 수 있음을 입증할 수 있었다.

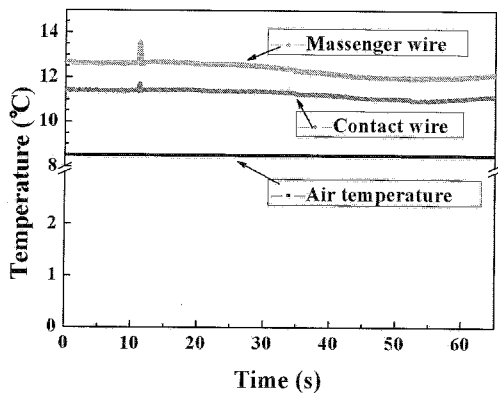


그림 5. 전차선과 조가선의 온도특성.

Fig. 5. Measured results of temperature characteristics of overhead contact wire and messenger wire.

그림 5에 전차선로 실시간 계측시스템을 이용한 전차선과 조가선의 온도특성을 나타내었다. 그림 5에서 보는바와 같이 전차선로에 25 kV의 전압인가로 전차선과 조가선의 온도가 외부 온도에 비하여 각각 3 °C, 4 °C 씩 증가하였음을 알 수 있다. 전차선의 온도 변화는 열차 운행시 전류의 변화에 따라 나타나며 주변의 온도, 풍속, 습도 등 다양한 외부조건과의 수치해석적 방법으로 추론과 분석이 가능하지만 본 연구에서는 활선상태에서의 전차선로에 직접 J-type의 열전대를 부착하여 이를 실시간으로 측정할 수 있는지를 평가하는 것이 목적이므로 분석을 위한 추가 연구가 필요하겠다[9]. 특히 온도 분석을 위한 이러한 활선상태에서의 온도 측정은 하절기 및 동절기에 전기차량의 안전한 운행을 위하여 필수적으로 측정하여야 한다. 온도를 측정하기 위해 이전에는 비접촉식의 열화상 카메라를 이용하였지만 열화상 카메라의 오차 범위와 열차 운행 중의 현장 접근 등의 문제점이 있었다 [10]. 전차선로 온도의 경우 열차 운행중에 전차선 및 조가선에 분담된 전류량을 측정할 수 있는 유일한 방법이므로 향후 본 시스템을 이용한 전차선과 조가선의 전류비 측정에 활용되어 전류량에 따른 재료적, 물리적 변화를 실시간으로 파악할 수 있을 것으로 기대된다.

열차의 속도가 증가함에 따라 열차에 장착된 팬터그래프의 양력이 증가하여 전차선의 압상량이 증가하고, 허용 압상량 이상으로 전차선이 올라갈 수 있다. 그림 6에 변위 측정 결과를 나타내었다. 전차선의 지지 및 편위를 주는데 사용되는 금구인

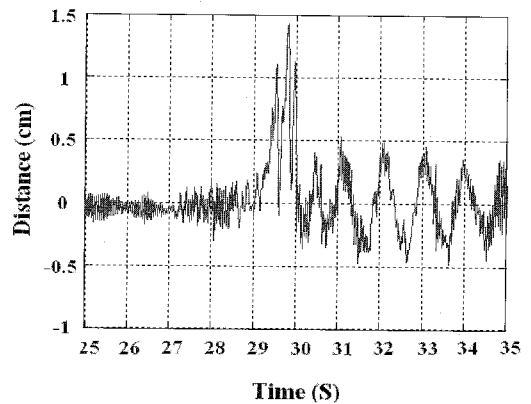


그림 6. 변위 측정 결과.

Fig. 6. Measurement results of displacement for overhead contact wire.

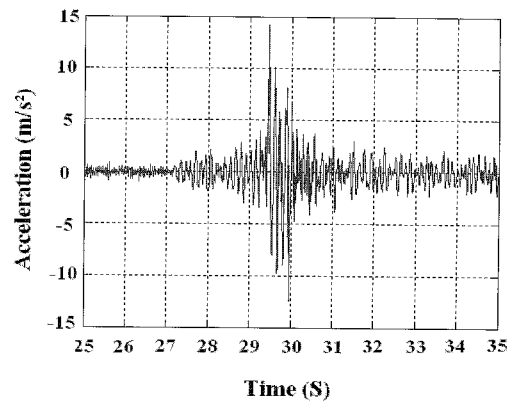


그림 7. 가속도 측정 결과.

Fig. 7. Measurement results of acceleration for overhead contact wire.

곡선 당김 금구에서의 압상량은 약 1.5 cm로 나타났고, 전차선의 허용 압상량이 10 cm 인데 비해 93 km/h로 운행하는 열차의 안전성을 확인할 수 있었다. 또한 팬터그래프의 통과 이후 자유 진동이 나타났고 주기가 1 sec인 전차선의 고유진동수는 약 1 Hz 임을 알 수 있었다. 따라서 전차선로 실시간 계측 시스템을 이용하여 측정된 압상량 측정 결과는 전차선로 시스템 설계 시, 팬터그래프와 곡선 당김 금구에서의 충돌 가능성을 평가하기 위한 압상량 제한 등의 목적으로 향후 사용 될 수 있을 것으로 기대된다.

또한 현장시험에서의 가속도의 결과를 그림 7에 나타내었고, 곡선 당김 금구에서의 가속도는 약  $\pm 15 \text{ m/s}^2$ 임을 알 수 있다. 팬터그래프가 70 m 이내

로 접근했을 경우 미세한 진동이 시작되고, 팬터그래프 통과 시 진동이 급격히 증가하였다, 여러 개의 피크가 발생하는 이유는 사구간 (Dead Section)에 의한 파동반사에 기인하는 것으로 보인다. 변위 측정 시와 달리 가속도 측정 시에는 팬터그래프의 통과 이후 진동이 계속 지속되는 것을 볼 수 있다. 따라서 가속도의 측정은 팬터그래프에 의한 전차선의 진동특성을 평가할 수 있음을 확인하였고, 분석을 위한 추가 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

전차선로를 정확하게 감시하기 위해서는 열차 운행 중 동적 및 정적 상태량의 측정이 필수적이지만 가선의 높은 전압으로 인하여 활선상태에서의 측정이 제한적이었다. 전차선로 실시간 계측시스템은 활선상태에서 측정이 가능하고 진동이나 아크 등의 전기적, 기계적 잡음을 고려하여 가선 데이터 수집이 가능하도록 구현하였고, 효율적인 데이터 수집 설계방법을 제시하였다. 특히 텔레메트리 방식으로 지상에서 대상 설비의 온도, 변위, 가속도 등의 특성을 측정할 수 있도록 하였고 현장시험을 통해 전차선의 특성을 노이즈의 간섭 없이 측정할 수 있었다. 전기철도에서의 전차선로의 재료적 특성은 활선상태에서 운행중에 파악하여야 하지만 현재까지는 그 특성 파악에 어려움이 있었으므로 향후 본 연구에서 개발한 전차선로 실시간 계측시스템을 이용하여 열차 운행중의 재료적 변화 및 상태를 파악하여 교체, 개량 주기 및 사고예방에 활용될 것으로 기대 된다.

#### 참고 문헌

[1] 한봉석, “한국전기철도의 현황과 발전전략”, 철도웹진, 56호, 2005.

[2] 한영재, 양도철, 장호성, 최종선, 김정수, “고속철도차량용 전기장치의 온도특성에 관한 연구”, 전기전자재료학회논문지, 16권, 12S호, p. 1210, 2003.

[3] 김정훈, 조형준, 홍재승, “전차선로 급전계통 해석을 통한 전기철도부하의 정, 동태 특성에 관한 연구”, 과학기술연구논문집, 10권, 2호, p. 51, 1999.

[4] F. Al-Sulaiman, A. Baseer, and A. Sheikh, “Use of electrical power for online monitoring of tool condition”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 166, No. 3, p. 364, 2005.

[5] 박 영, 조용현, 이기원, 권삼영, 박현준, 장동욱, “전차선로 검측을 위한 실시간 화상처리 시스템 구현”, 한국전기전자재료학회 2006하계학술대회논문집, p. 543, 2006.

[6] F. Kiessling, R. Puschmann, and A. Schmieder, “Contact Lines for Electric Railway”, Publicis, p. 468, 2001.

[7] 서승일, 박춘수, 조용현, 최강운, 목진용, “한국형 고속전철 집전장치의 성능 계측 및 평가”, 한국철도학회논문집, 6권, 2호, p. 94, 2003.

[8] 나해경, 박 영, 조용현, 정호성, 박현준, 송준태, “FPGA를 이용한 전차선로 실시간 계측시스템 구현”, 한국전기전자재료학회 2006하계학술대회논문집, p. 531, 2006.

[9] 정호성, 권삼영, 박 영, “기존선 해빙시스템을 위한 해빙진류 예측기법 및 구성절차에 관한 연구”, 한국철도학회논문집, 9권, 2호, p. 237, 2006.

[10] 박 영, 권삼영, 정호성, 박현준, 조용현, 안병립, 원우식, 이 주, “해빙 시스템을 이용한 전차선 온도 특성에 관한 연구”, 한국전기전자재료학회 2005하계학술대회논문집, p. 601, 2005.