

# 팬터그래프-전차선간 아크 검측 장치의 신뢰성 분석

## Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire

박 영\* · 권 삼 영\*\* · 김 재 문†

(Young Park · Sam-young Kwon · Jae-Moon Kim)

**Abstract** - The current collection between pantograph and contact wire is a more critical component for need to train speed up in electric railway. The basic purpose of this paper is to establish a measure of determining arc by developing an arc detector assessment system. The system was designed under conditions of EN 50317 and simulations were conducted using the developed device. According to the results, it was possible to conduct certification tests following regulations of international standards. To check the validity of our approach for the intended application, we analysis contact loss of catenary system using developed arcing measurement system in Korea. The proposed arcing measurement system is expected to enhance precision of current collection quality performance assessment methods at high-speed lines and conventional lines.

**Key Words** : Arcing measurement system, Contact loss, Contact wire, Pantograph

### 1. 서 론

최근 철도시스템이 고속화됨에 따라 전차선과 차량간의 집전분야에 중요성이 증대되고 있다[1]. 전차선과 팬터그래프 사이의 집전성능 평가는 검측장치를 전차선에 고정하고 열차의 통과 전후를 측정하는 선로변 측정기술과 차량에 검측시스템을 구축하여 측정하는 차상 검측시스템으로 나눌 수 있다. 선로변 측정기술은 전차선의 압상량, 변위, 진동 및 온도를 측정하는 기술이 대표적이며 차상측정은 이선아크, 접촉력, 동편위, 비디오 모니터링 등이 있다. 이선아크 측정 방법은 열차의 운행에 따라 전차선과 팬터그래프 사이의 기계적 비접촉 상태일 때 발생하는 아크를 광학적 방법으로 측정하여 평가하는 기술로 일본 및 프랑스 등에서 널리 사용되고 있다[2-5]. 이선아크 측정법은 팬터그래프의 집전판과 전차선간 접촉력이 0이하 일 때 집전판과 전차선간에서 발생하는 빛을 광학적 센서를 이용 전기적 신호로 처리하여 측정하는 것이 일반적이다[6].

이때 전차선과 팬터그래프간 이선아크는 구리합금에서 발생하는 아크의 파장범위를 측정하여 판독 하는 것이 일반적이다[6]. 시험장치는 차량계측시스템과 실내 계측 시스템으로 구분되며 차량계측기 시스템의 경우 아크검출기, 비디오 모니터링장치 등이 있으며 실내계측시스템은 센서와 비디오를 실시간으로 저장 모니터링하는 장치와 속도, 전류 검출장치 등이 있다[6]. 이중 아크검출기는 광학적 빛을 전기적 신호로 변환하는 장치로 팬터그래프와 전차선간에 발생하는

빛을 효과적으로 검측하기 위해 빠른 응답속도와 충분한 민감도가 요구되고 있으나 국내에서는 현재까지 신뢰성 있는 시스템개발이 이루어지지 않고 있다[7]. 특히 광학기반 시스템은 오차율과 노이즈의 제거가 어렵고 정밀한 조정 등 관련규격사항인 EN 50317의 요구사항에 적합한 시스템 개발이 이루어지지 않고 있다[6]. 본 논문에서는 팬터그래프-전차선간 이선 검측시스템 구현과에 관하여 기술하였다. 또한 이선아크 검측장치의 신뢰성 확보를 위해 수행하여야할 성능시험에 대하여 기술하였다. 이를 위해 이선아크 검측장치의 요구사항을 분석하였으며 이선아크 검측장치를 이용한 결과를 나타내었다. 세부적으로는 아크발생 모의시험을 통하여 시스템의 신뢰도를 분석하였으며 현장적용시험 중 이선아크 검측을 위한 검측장치의 요구사항과 신뢰성 획득방안에 대하여 나타내었다. 본 논문에서 나타난 이선아크 검측장치의 분석 결과는 집전성능 인증과 반복되는 이선아크 검측을 통해 시설물의 유지보수에도 활용될 것이다.

### 2. 본 론

#### 2.1 팬터그래프와 전차선간 이선검측 장치 요구사항

이선검측장치는 팬터그래프와 전차선간 이선 중 발생하는 아크를 검측하여 이를 전기적 신호로 바꾸어 물리적 양을 측정하는 것이다. 이선아크 검측을 위한 일반적인 요구사항은 이선 시간이 수백  $\mu$ s 이하도 판별이 가능하도록 빠른 반응 속도여야 하며 팬터그래프 작동범위에 반응하도록 충분한 시계를 갖도록 하여야 하는 것이다[6]. 특히 전차선과 팬터그래프간 이선아크는 구리합금에서 발생하는 아크의 파장범위를 측정하여 판독하고 열차 주행 시에 측정되며 시험장치는 차량상부에 검측센서 등을 설치하고 실내에서 검측하며 시험기준은 EN 50317등이 사용된다[6]. 최근 국내에서

\* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 선임연구원

\*\* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 책임연구원

† 교신저자, 정회원 : 한국교통대학 철도전기전자공학과 부교수

E-mail : goldmoon@ut.ac.kr

접수일자 : 2012년 5월 4일

최종완료 : 2012년 7월 2일

도 검측시스템이 EN 규격사항등에 합당한지를 시험하기 위한 인증 시험 장치를 보고한바 있으나 이선울 검측장치의 신뢰성 분석은 구체적으로 보고되지 않고 있다[8]. 검측시스템의 일반 요구사항은 과장범위, 가시광선에 대한 비 반응, 민감도, 반응속도, 출력값의 교정사항이다. 특히 센서 등을 포함한 계측시스템의 신뢰성 확보를 위해 4가지 사항인 측정 과장 범위시험, 팬터그래프 작동범위에 따른 민감도 시험, 센서 응답과 과워밀도 시험, 최소아크 응답속도 시험을 각각 예비 성능시험을 수행하도록 되어있다. 측정 과장 범위 시험은 전차선의 소재인 구리류에서 발생하는 아크의 과장을 220 ~ 225 nm 또는 323 ~ 329 nm로 규정하여 이에 합당한지를 분석하는 시험으로 이때 330 nm이상의 가시광선에서는 반응하지 않도록 한다. 팬터그래프 작동범위에 따른 민감도 시험은 전차선 편위에 따른 팬터그래프 전체 집전영역에서 발생하는 아크를 검측 하는 것으로 시험을 통하여 허용오차는 10% 미만이다. 센서 응답 [V]과 과워밀도 [ $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ] 시험은 시험장비의 교정사항에 대한 것으로 출력을 과워밀도로 표시하도록 하고 팬터그래프와 검측기간 거리에 따른 과워밀도 교정은  $1/d^2$  법칙을 이용하여 교정 하도록 하는 것이다. 최소 아크 응답속도 시험은 100  $\mu\text{s}$ 미만의 아크에 해당하는 조건으로 반응하도록 센서를 교정하는 것을 말하며, 총 4 개에 대하여 별도의 시험기를 제작하여 이선아크 검측장치를 개발하여 관련 내용을 보고한 바 있다[8].

표 1 팬터그래프 전차선간 이선아크 검측센서 요구사항 [6]

Table 1 Requirements for measurement sensor of arcing between pantograph and contact wire [6]

항목	EN 50317 요구사항	평가기준
측정과장	220 nm ~ 225 nm	323 nm ~ 329 nm
허용오차	10%	팬터그래프 동작범위 내
반응속도	100 $\mu\text{s}$	최소반응속도
태양광 반응여부	330 nm	가시광선 영역 반응여부

## 2.2 이선아크 검측장치 요구 사항 분석

이선아크 검측장치는 팬터그래프와 전차선간의 상호작용에 대한 집전성능을 평가하는 가장 구체적이고 정확한 방법이다. 특히 접촉력 등과 달리 터널내에서 측정이 용이하고 아크 발생개소를 정확하게 판단하여 실시간 유지보수에 적용이 가능하므로 현재는 일본, 중국 등에서 개발하여 활용중에 있다.

그림 1에 팬터그래프와 전차선간 이선아크 검측 순서도를 나타내었다. 이선아크 검측시스템의 최종 결과인 이선율은 선로조건인 속도와 센서조건인 과장등에 따라 다르므로 이선아크 검측절차와 이에 따른 규격을 판단하여 야 한다. 또한 센서는 제작 이후에 과장범위시험, 태양광 반응시험, 팬터그래프 동작 범위 시험과 아크 반응 속도시험을 수행하여

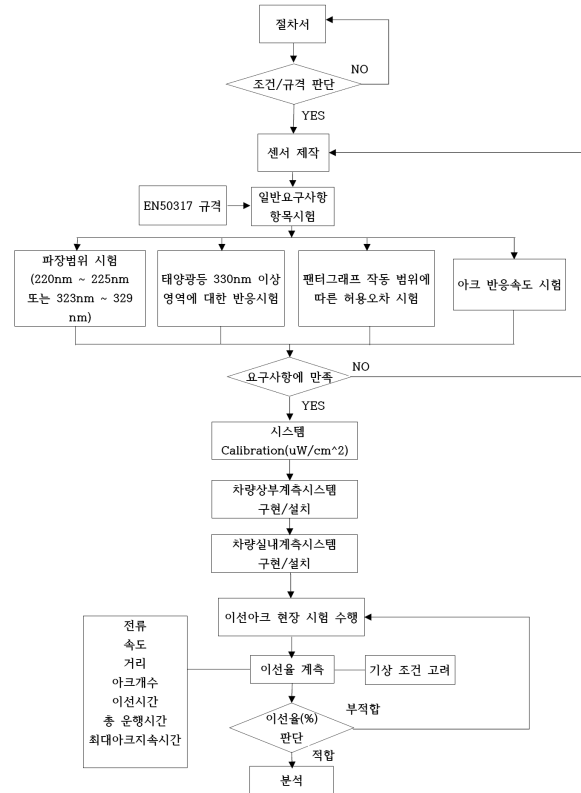
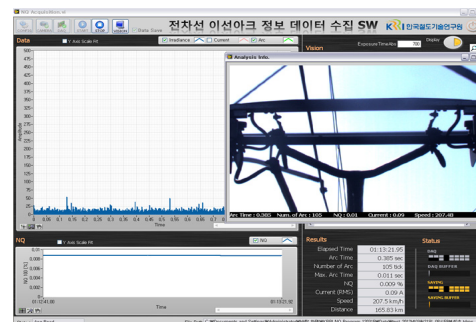
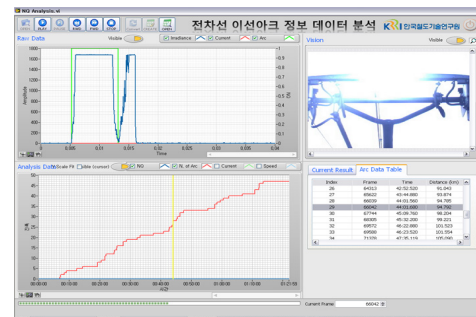


그림 1 이선아크 검측센서 구성도

Fig. 1 Picture of measurement system of arcing between pantograph and contact wire.



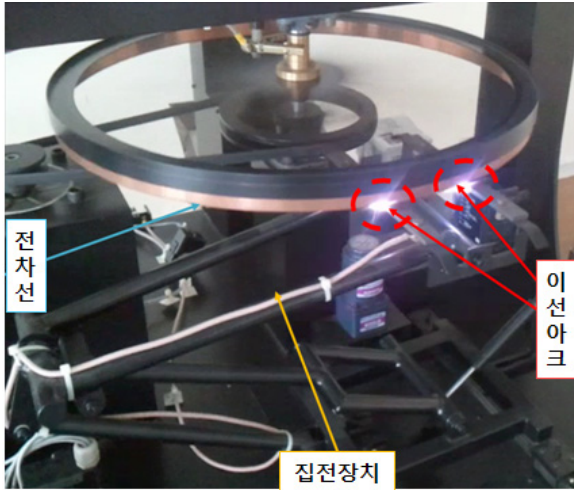
(a) 모니터링 프로그램



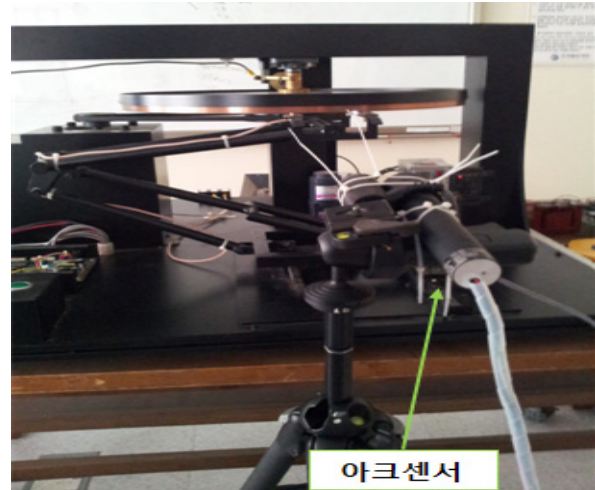
(b) 분석 프로그램

그림 2 팬터그래프 전차선간 이선아크 검측 프로그램

Fig. 2 measurement program of arcing between pantograph and contact wire



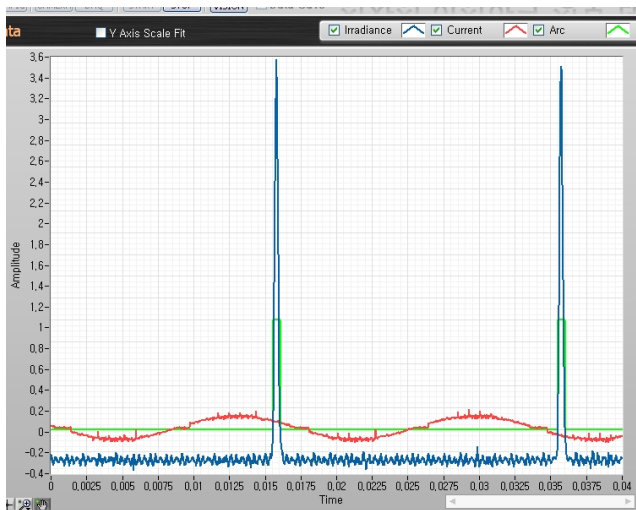
(a) 아크 모의 실험장치를 이용한 아크발생 장면



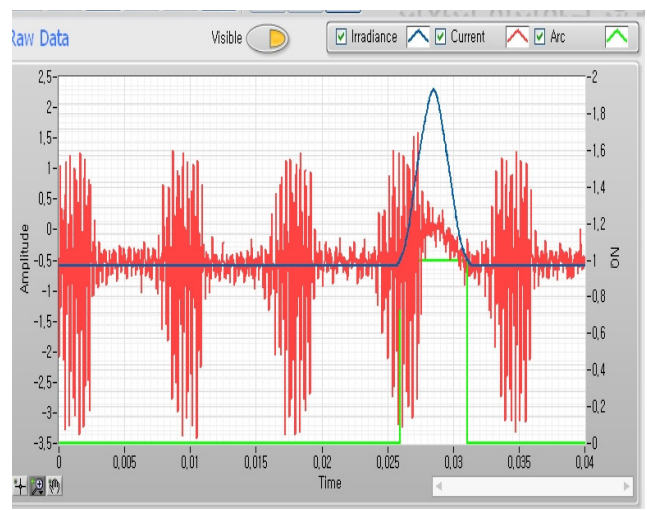
(b) 아크센서를 이용한 아크 측정

그림 3 아크발생 및 측정 모의시험 사진

Fig. 3 Picture of arcing test facility and detector assessment system



(a) 연속 아크 측정



(b) 아크 발생 시간측정 화면

그림 4 모의시험장치를 이용한 이선아크 검증시험 결과

Fig. 4 Result of arcing test facility using arcing detector assessment system

야 한다. 이후 센서를 캘리브레이션하여 파워밀도로 표현하게 하고 차량상부의 계측시스템과 차량 내부의 계측시스템을 구현 및 설치하여야 한다. 마지막으로 현장시험을 수행하여 이선율을 계측 하며 최종적으로 요구사항에 적합한지를 판단하여 분석 하게 된다.

이선아크 검측을 위한 프로그램은 집전성능 인증을 위한 이선율, 이선시간 등을 실시간으로 분석 처리하여야 하며 유지보수를 위해서는 이선아크의 발생 개소, 이선시간을 정확하게 분석하여 한다. 그림 2에 이선검측장치의 프로그램의 모니터링 화면을 나타내었다. 그림 2에서 보는바와 같이 차량속도, 아크 발생 횟수, 이선시간, 최대 아크 발생시간, 총 측정시간, 검측시스템 총 운영시간, 이선율 (%)를 실시간으로 표시하며 아크 발생 시 신뢰성있는 데이터를 위해 별도

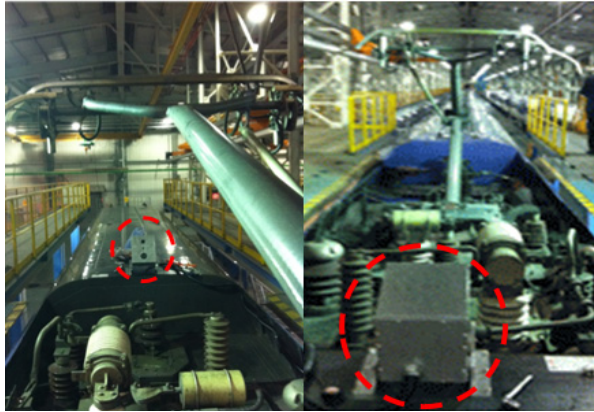
의 비디오 측정결과를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 프로그램이다. 또한 분석 프로그램을 구성하여 이선아크 검측 시험 후 아크발생 개소 등을 자동적으로 편집이 가능하게 하여 유지보수에 적극 활용할 수 있도록 구성하였다.

### 2.3 팬터그래프와 전차선간 이선검측장치의 모의시험

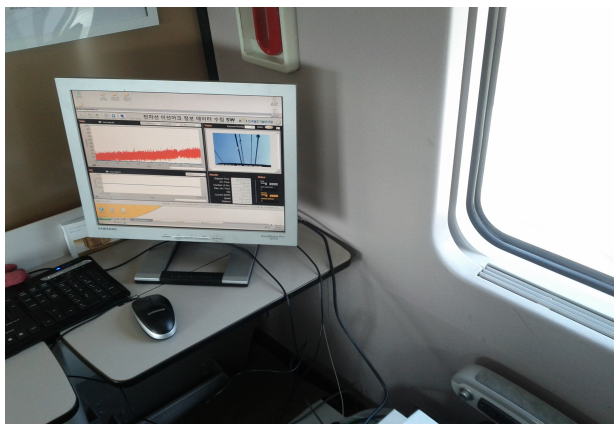
팬터그래프와 전차선간 이선아크 검측은 현장적용을 위한 실내 모의실험과 KTX 산천 상부에 시스템을 설치하여 현장시험을 각각 수행하였다. 그림 3에 실내 모의시험 시스템을 나타내었다.

그림 4에 이선아크 모의시험 결과를 나타내었다. 그림 4의 (a)는 연속되는 2개의 아크가 발생하였을 때 모니터링

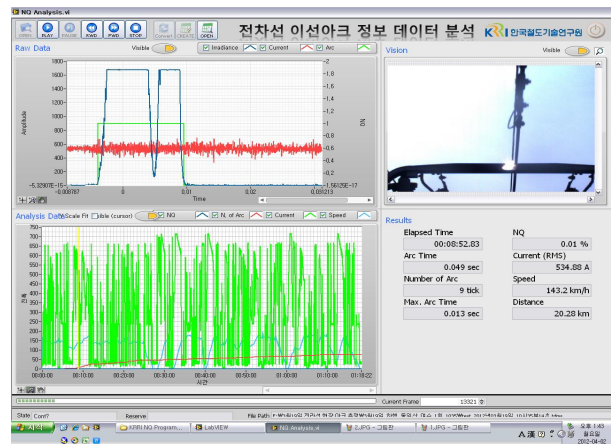




(a) 이선아크 검측장비 사진



(b) 이선아크 실내계측기 사진



(c) 13 ms 아크검측 결과 캡처사진

그림 5 이선아크 현장시험 분석

Fig. 5 Analysis Result of field tests using arcing measurement system

되는 결과이며 그림 4에 (b)의 경우 1개의 아크 발생 시 아크간격에 대한 모니터링 시험결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 아크측정 시 기준값 이상의 아크 신호를 분석하여 아크를 성공적으로 모니터링을 구현한 것을 볼 수 있으며 아크의 시작점과 끝점을 정확하게 나타낼 수 있다. 그림에서 녹색선(구형파)은 아크 센서의 모니터링 값을 분석하여 아크의 시작점과 끝점을 구형파 형태로 표현한 것이다. 아크의 경우 최초 발생시점과 소멸시점을 정확하게 모니터링 하여 이선시간 값을 나타내는 것이 가장 중요하다. 이러한 이유는 이선율이 식 (1)과 같이 나타내기 때문이며 노이즈 레벨값 이상에서 자동으로 아크를 분석하여 식 (1)의 이선시간에 포함하여야 하기 때문이다.

$$\text{이선율}(\%) = \frac{\sum t_{\text{arc}}}{t_{\text{total}}} \times 100 \quad (1)$$

여기서  $t_{\text{arc}}$ 는 이선시간,  $t_{\text{total}}$ 은 측정시간이다.

그림 5에 이선검측장치의 현장시험 사진을 나타내었다. 현장시험은 KTX 산천 상부에 아크센서와 비디오 계측기를 지그에 의하여 고정하고 실내에 속도, 전류 검출기와 분석시

스템을 이용하여 수행하였다. 본 현장시험은 검측을 위한 시스템구성과 프로그램의 동작 여부를 판단하기 위한 것으로 광센서의 경우 별도의 센서를 활용하였다. 현장시험결과 이선아크 검측장치는 태양광의 일사직선에 반응하지 않았고, 검측기는 100 $\mu$ s 미만의 아크에도 반응하며, 팬더그래프의 동작 전범위에서 동작하는 것을 확일 할 수 있었다. 검측 시 특이사항은 차량전류 측정을 위한 시험차에서 별도 측정된 전류값 출력에 노이즈가 입력되어 이선아크 센서에 영향을 미치는 경우가 발생하였다. 그러나 측정결과를 면밀히 분석하여 노이즈 구간을 제거할 수 있었으며 차량 자체의 노이즈 저감대책에 대한 향후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 3. 결 론

본 논문에서는 팬더그래프-전차선간 이선율 검측시스템 구성 및 신뢰성 분석에 관하여 기술하였다. 특히 이선아크 검측센서의 신뢰성 확보를 위해 수행하여야 할 성능시험에 대해 기술하였으며 현장시험 구성결과를 나타내었다. 팬더그래프-전차선간 이선아크 검측시스템의 신뢰성 확보를 위

해 측정과장, 허용오차, 응답속도 및 태양광 반응여부를 수행하였으며 수행결과 모두 EN규격사항 등에 적합한 것으로 판단되었다. 검측 프로그램의 경우 집전성능 인증과 유지보수가 동시에 가능하도록 프로그램을 실시간 모니터링 할 수 있고 이선유를 실시간으로 나타내도록 구성하였다. 본 연구의 결과는 현재 국내에서 개발된 이선아크 검측 시스템의 센서와 프로그램을 국제규격에 적합한지를 판단하는 기술자료와 분석 자료이므로, 향후 현장시험 경험을 바탕으로 이선유 검측 기준이 재 적립될 것으로 보인다. 또한 그동안 실시간 집전 상태 평가가 접촉력을 주로 수행하였으나, 단순하고 간편하며 이선아크 개소를 실시간으로 판단할 수 있는 시스템인 아크검측 시스템의 국내 기준과 시스템 만족사항이 있는 만큼 다양한 집전성능 평가에 활용될 것으로 기대된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Kiessling, Friedrich, Puschmann, Rainer, Schmieder, Axel, Schneider, Egid "Contact Lines for Electric Railways. Planning, Design, Implementation, Maintenance"
- [2] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, "실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정", 전기전자재료학회논문지, 제 20권, 3호, pp. 281-285, 2007.
- [3] 박영, 조용현, 이기원, 김형준, 김인철, "고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 시스템 개발", 전기전자재료학회논문지, 제 22권, 10호, pp. 864-869, 2009.
- [4] 박영, 조용현, 조철진, 김원하, "고속카메라를 이용한 전차선 마모 검측 영상처리 알고리즘 개발", 전기전자재료학회논문지, 제 23권, 8호, pp. 632-637, 2010.
- [5] 박영, 조용현, 정호성, 이기원, 김형철, 권삼영, 박현준, 김원하, "전기철도의 전차선로 형상검측을 위한 광학기반 검측 장치 구현", 전기전자재료학회논문지, 제21권, 9호, pp. 868-872, 2008.
- [6] EN 50317:2001, "The European Standard, Railway applications - Current collection systems - Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line", 2001.
- [7] O. Bruno, A. Landi, M. Papi, L. Sani, "Phtotube sensor for monitorring the quility of current collection on overhead electrified railways, Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 215, Part F, pp. 231-241, 2001.
- [8] 박영, 조용현, 권삼영, 이기원, 유원희, "전기철도 팬터그래프-전차선간 이선아크 검측 평가 기술 개발", 전기학회 논문지, 60권, 11호, pp.2171-2175, 2001.

## 저 자 소 개



### 박 영 (朴 暎)

1973년 11월 3일생. 2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원  
Tel : 031-460-5424  
Fax : 031-460-5289  
E-mail : ypark@krri.re.kr



### 권 삼 영 (權 三 榮)

1962년 8월 22일생. 1984년 2월 한양대 전기공학과 졸업(석사). 2007년 2월 동대학원 전기공학과 졸업(박사) 현재 한국철도기술연구원(책임연구원)  
Tel : 031-460-5425  
Fax : 031-460-5289  
E-mail : sywond@krri.re.kr



### 김 재 문 (金 才 文)

1994년 성균관대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 졸업(석사). 2000년 2월 동대학원 졸업(공박). 2000년~2004년 현대모비스(주) 기술연구소 선임연구원. 2004년 3월~2012년 2월 한국철도대학 철도차량전기과 부교수, 2012년 3월~현재 한국교통대학 철도전기전자공학과 부교수  
Tel : 070-8855-1664  
Fax : 031-462-2944  
E-mail : goldmoon@ut.ac.kr