

# 전기철도 집전장치의 아크량에 따른 비디오 이미지 분석

## Video Image Analysis in Accordance with Power Density of Arcing for Current Collection System in Electric Railway

박 영<sup>†</sup> · 이 기 원<sup>\*</sup> · 박 철 민<sup>\*</sup> · 김 재 광<sup>\*</sup> · 전 아 람<sup>\*</sup> · 권 삼 영<sup>\*</sup> · 조 용 현<sup>\*\*</sup>  
(Young Park · Kiwon Lee · Chulmin Park · Jae-Kwang Kim ·  
Ahram Jeon · Sam-young Kwon · Yong Hyun Cho)

**Abstract** - This paper presents an analysis methods for current collection quality in catenary system by means of video image based monitoring system. Arcing is the sparking at the interface point between pantograph and contact wire when the electric trains have traction current values at speed. Percentage of arcing at maximum line speed is measurable parameters for compliance with the requirements on dynamic behaviour of the interface between pantograph and contact wire in accordance with requirement of IEC and EN standards. The arc detector and video is installed on a train aim at the trailing contact strip according to the travel direction. The arc detector presented and measured verity of value such as the duration and power density of each arc and the video image is measured a image when the arc is occurred in pantograph. In this paper we analysis of video image in accordance with power density of arcing from arc detector and compared with video image and power density of arcing so as to produce quality of arcing from image.

**Key Words** : Catenary, Video image, Percentage of arcing, Arc detector

### 1. 서 론

최근 전기철도의 속도향상에 따른 팬터그래프와 전차선간 집전성능 인증을 위한 다양한 기술들이 개발되어지고 있다 [1]. 집전성능은 전기철도차량의 집전장치인 팬터그래프와 전차선로의 상호 운영 특성으로 전차선의 압상량, 팬터그래프의 접촉력 및 팬터그래프와 전차선간 이선아크를 이용하여 성능평가가 이루어지고 있다[2]. 이 중 전차선과 팬터그래프간 이선아크는 팬터그래프와 전차선간에 기계적 비접촉시 발생하는 강한 아크이다[1]. 아크는 다양한 물리량의 복합체나 팬터그래프와 전차선간의 이선아크는 이중 광의 크기와 파장을 측정하여 검측 하는 것이 일반적이다[1,3]. 이선아크의 측정파장은 전차선의 재료인 구리의 전기적 아크 발생 파장인 220 nm ~ 225 nm에서 측정되고 있다[3]. 특히 팬터그래프의 집전판은 철계, 동계, 순탄소계 및 Cu-Carbon 등 다양한 재료가 사용되고 있으나 집전판의 종류에 관계없이 230 nm 정도에서 최대 파장을 나타낸다고 보고된바 있다[4,5]. 따라서 이선아크 검측을 위한 광센서는 중심파장을 자외선 영역으로 한 광센서를 이용하여 집전 상태를 판단하고 있다[1]. 이선아크를 이용한 집전성능 판단은 아크의 밀

도 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )와 아크 발생시간 (ms), 아크 발생구간, 아크 발생시 전류값을 각각 모니터링 하고 있다. 아크 발생시간과 팬터그래프 전류는 이선율(%)을 도출하기 위한 값으로 식 1과 같이 각각 사용되며 발생구간은 아크 발생 지점을 판단하는데 사용되게 된다[6]. 특히 이선율 검측을 위한 이선아크 검측 센서는 자외선 영역만을 선별하여 수  $\mu\text{s}$ 의 속도로 검측하여야 하므로 고가이며, 복잡한 알고리즘이 필요하고 아크 밀도를 위한 교정이 어렵기 때문에 집전성능의 인증을 위해서만 현재 활용되고 있다. 그러나 아크 밀도는 아크의 크기를 나타내는 물리량으로 검측 참고자료로만 사용되며 최종 시험결과 값은 무시되게 된다. 이러한 이유는 집전성능을 판단하는 이선율이 운행시간과 이선시간의 비율로 나타나게 되므로 아크의 밀도가 아닌 아크 발생 시간 값을 이선율의 지표로 사용되기 때문이다. 아크의 밀도는 아크의 세기로 표현이 되며 아크의 세기가 클수록 팬터그래프의 집전판과 전차선에 다양한 영향을 미칠 수 있기 때문에 다양한 연구가 필요 된다. 그러나 현재 이선아크 검측 시스템과 센서 이외에 아크 밀도를 측정하는 단순화된 방법은 보고된바 없다. 본 논문에서는 전차선과 팬터그래프간 이선시 발생하는 아크의 비디오 이미지를 분석하였다. 또한 아크 발생시의 비디오 이미지를 이용하여 아크 밀도와 비디오 이미지와의 비교를 통해 아크의 크기에 따라 발생하는 이미지를 순차적으로 분석하였다. 이를 위해 전차선의 아크량에 따른 다양한 현장시험결과를 분석하여 아크의 크기와 시간과의 관계 및 아크의 크기에 따른 비디오 이미지를 각각 분석하여 나타냈다. 본 논문에서 보고된 아크의 크기, 시간 및 비디오 간 분석결과는 아크의 발생에 따른 전차선 영향평가 및 이선율 판단기준 등 다양하게 활용될 것

\* High-speed Railroad Infrastructure Systems Research Team, KRRI, Korea

\*\* Metropolitan Transportation Research Center, KRRI, Korea

† Corresponding Author : High-speed Railroad Infrastructure Systems Research Team, KRRI, Korea

E-mail : ypark@krii.re.kr

Received : July 30, 2013; Accepted : August 20, 2013

로 기대된다.

## 2. 본 론

### 2.1 팬터그래프와 전차선 간 이선아크

전기철도에서 팬터그래프와 전차선간 집전성능 검측은 차상과 지상측정으로 구분된다[6]. 차상측정은 팬터그래프와 전차선간 접촉력과 이선아크를 측정하는 방법이며 지상측정은 전차선의 압상량을 평가하는 방법이다. 팬터그래프와 전차선간 이선아크는 집전에 따른 비 접촉상태를 수치적으로 나타내기 위해 식 1과 같이 표현되며 이를 이선율 (Percentage of arcing)이라고 한다. 식 1과 같이 이선율은 측정시간과 아크 발생시간의 백분율로 이때 집전 전류가 30% 이상 시를 측정시간으로 하여 실제 운행 조건에 따른 이선율을 수치적으로 나타내도록 하고 있다. 아크 발생시간은 양호한 집전 중에도 이물질, 서리, 기상상황에 따라 아크가 발생되므로 5 ms 이상의 값만을 아크 발생 시간에 포함되어 이선율 값에 적용되도록 하였다. 특히 아크의 발생 파장이 220 nm ~ 225 nm 의 파장값이 중심값이 되도록 하여 구리 또는 구리 합금에서 발생하는 아크의 최대 파장값이 측정되도록 제안된다[3]. 이때 이선율 값이 태양광이나 외부 광에 오작동 되지 않도록 가시광선 영역인 330 nm 이상의 파장에서는 반응하지 않도록 규격화 되어 있다[3]. 그림 1에 팬터그래프와 전차선간 이선아크 검측 시스템의 사진을 나타내었다. 그림

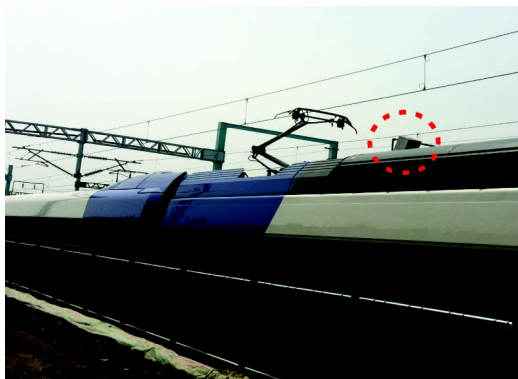
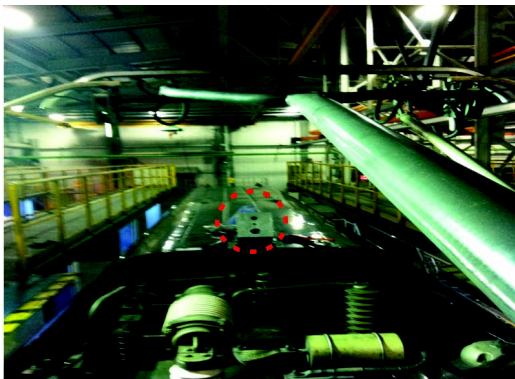


그림 1 전차선로 이선아크 검측 시스템의 현장적용 사진  
Fig. 1 The pictures of arc detector system installed on the roof

1과 같이 이선아크 검측을 위해서는 차량의 지붕에 이선아크 검측 센서와 비디오 모니터링용 장치가 각각 설치된다. 설치 방향은 열차 진행방향에 따라 팬터그래프 뒤편에 설치되며 이를 차내에서 식 1에 따라 이선율을 계산하게 된다.

그림 2에 이선율 모니터링을 위한 프로그램을 나타내었다. 그림 2와 같이 이선율 모니터링 장치는 이선아크 검측 센서의 값을 나타내는 그래프와 이때의 비디오 모니터링 결과 값, 집전전류값, KP, 속도 및 이선율 값이 표시되며 이선율은 검측 시간에 따라 실시간으로 계산된다. 이때 이선율 값은 식 1에 따라 계산되므로 비디오 이미지의 아크 발생 이미지와 이선아크 센서의 아크 밀도값은 참고사항으로 사용되며 최종결과에는 표현되지 않는다.

$$NQ = \frac{\Sigma t_{arc}}{t_{total}} \times 100 \quad (1)$$

여기서 식 1의  $\Sigma t_{arc}$ 는 최소아크지속시간의 총합으로 5 ms 이상 지속되는 아크의 총 발생 시간이다.  $t_{total}$ 는 총 측정시간으로 차량의 주변압기 2차측이 정격전류 30% 이상으로 운영되는 시간이다.

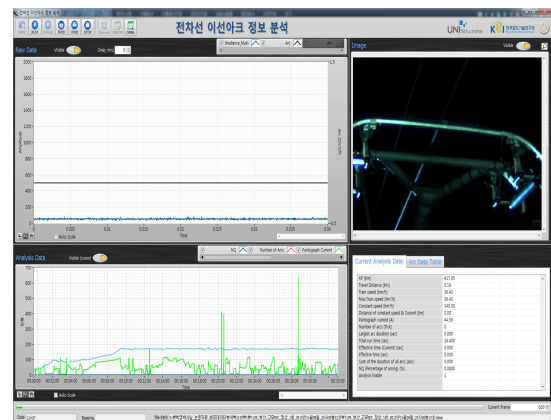


그림 2 이선율 모니터링 프로그램  
Fig. 2 The monitoring program for the percentage of arcing

### 2.2 아크량 분석을 위한 이선아크 검출 센서의 교정방법

팬터그래프와 전차선 간 발생하는 이선아크는 전차선과 팬터그래프의 유지보수와 집전성능 판단에 현재 활용된다. 그러나 검측시스템과 센서 구현이 복잡하므로 일반철도나 도시철도 등에는 비디오카메라를 이용하여 모니터링 한다.

본 논문에서는 전차선과 팬터그래프 간 비접촉에 따라 발생하는 아크의 밀도를 분석하여 아크의 크기에 따라 발생하는 이미지를 분석하는 것이다. 아크의 밀도는 빛의 크기에 따라 표현되어 단위는  $\mu W/cm^2$  이다. 본 논문에서는 아크 센서는 표준화된 물리량 측정 센서가 아니므로 신뢰성 있는 아크량 분석을 위해 아크량의 밀도를 나타내도록 교정하였으며 검측시험 방법은 논문에 보고된바 있다[7]. 아크 검출기의 물리량 교정을 위해 자외선 영역에서 교정된 램프를 사용하여 시간에 광량 오차를 최소화 하였다. 또한 교정 램프와 아크센서 간 거리를 정확하게 측정하기 위해 레일식의

표 1 거리에 따른 이선아크 교정 결과

Table 1 Results of calibration for arc sensor as a function of distance between calibrated lamp and sensor

Calibration 거리 : 0.4 m				
Calibration 광밀도 : 81.79 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$				
실측 거리 (m)	거리별 광밀도 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	광밀도 이론값 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	광밀도 실측값 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )	오차율 (%)
0.4	81.79	81.79	81.79	0%
0.6	54.18	121.91	122.85	0.77%
0.8	30.75	123.00	122.88	0.10%
1.0	18.73	117.09	117.06	0.03%
1.2	12.52	112.71	112.77	0.06%

가드를 사용하여 정밀도를 향상시켰다. 광밀도 측정은 표준 광램프와 아크 센서와의 거리 및 광량 측정계와의 거리를 각각 측정하여 식 2에 따라 계산하여 표 1에 정리하였다. 아크 센서의 출력은 전압 (V)으로 나타나므로 전압과 광량 측정기의 광밀도값 ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ )을 비교하여 아크 센서의 전압 출력값이 광밀도 값으로 나타내도록 식 2에 따라 비교식을 구하였다. 식 2의 비교식에 따라 획득한 결과는 모니터링 프로그램에 수식화 하여 이선아크 센서가 광밀도를 나타내도록 교정하였다.

$$x_d = x_y \frac{d^2}{y^2} \quad (2)$$

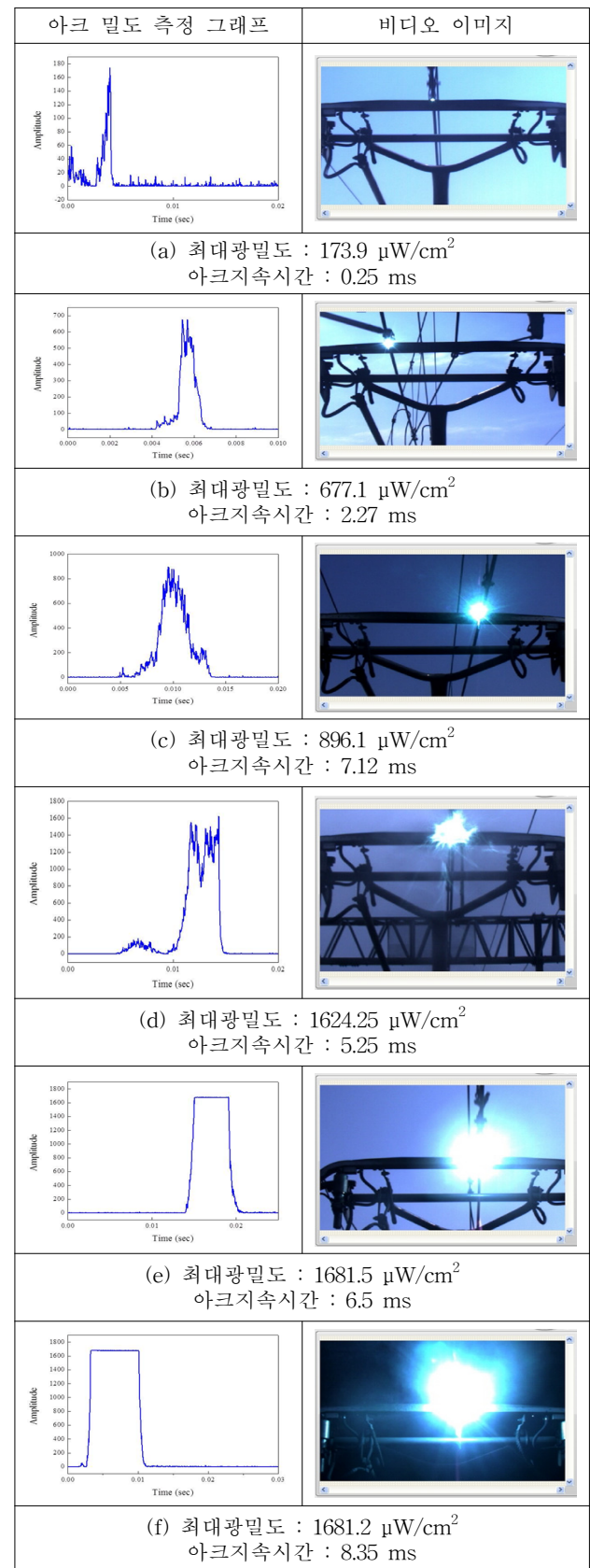
식 2는 차량운행 중 아크 측정시험에서 아크센서의 광밀도를 결정하는 식으로  $x_d$ 는 현장에서 운영되는 이선아크 검측 시스템의 광밀도이다.  $x_y$ 는 센서의 교정 광밀도,  $d$ 는 전기철도 차량의 팬더그래프와 센서간 거리,  $y$ 는 표준 광원과 이선아크 검측 센서와의 교정 거리이다.

### 2.3 아크 밀도에 따른 비디오 이미지 분석

팬더그래프와 전차선간 아크는 25 kV의 전압으로 집전에 따라 발생되며 이때 전류값은 1000 A 정도의 범위를 갖는다. 따라서 실제 전압과 전류를 모의시험장치를 이용하여 나타내기는 어렵기 때문에 본 논문에서는 현장시험 결과를 선로 조건에 따라 분석하였다. 표 2에 전라선 KTX 산천 운행에 따른 측정결과를 나타내었다. 검측 시 아크 밀도와 비교를 위해 아크 발생 이미지와 아크 밀도 측정 그래프를 각각 나타냈다. 비디오 모니터링 장치는 디지털 카메라를 이용하였으며 25 frame에 122\*222의 해상도를 갖고 있다. 이선아크는 수 ms의 짧은 시간에 나타나므로 본 논문에서 사용한 비디오 모니터링 장치를 이용하여 발생 시간의 측정은 불가능하다. 그러나 아크는 열, 빛 및 소리로 전파되므로 아크의 파장이 자외선 영역에서는 공중에 분산되므로 비디오 이미지를 이용하여 측정하는 것이 가능하다. 이러한 이유는

표 2 전라선 KTX 산천 운행에 따른 측정결과

Table 2 The KTX-II results of max power density and arc duration



분산된 아크의 빛이 발생 물리량에 따라 비디오 이미지가 다르게 나타나기 때문이다. 전기철도는 속도가 빠르고 전차선과 팬터그래프간 접촉 상태가 나빠져 이선 시간이 길어질 경우가 있다. 이선 시간과 비디오 이미지 결과에서도 이선 시간이 길어지면서 비디오 이미지의 아크 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 아크 발생 이미지에 따른 아크 밀도와 아크 발생시간을 집전상태 비디오 모니터링 결과와 각각 비교하여 식 2을 이용하여 교정 한 후에 비교가 가능하다. 집전상태 비디오 모니터링은 지하철, 일반철도 및 고속철도 등에 광범위하게 사용되는 방법이다. 그러나 아크 발생 유무를 판단할 뿐 아크 발생 시간과 밀도 등 구체적인 결과 판단이 어렵다. 본 논문에서 제안한 표를 이용하여 아크 발생시의 이미지를 비교하면 팬터그래프와 전차선간 발생 아크와 밀도 값을 구체적으로 알 수 있으리라 사료된다.

본 논문에서는 전라선 아크 발생 결과를 비디오 이미지와 비교하였으나 향후 아크 발생에 따른 비디오 이미지의 화소수를 이미지를 처리하여 이를 수치화 한다면 자동화된 방법으로 비디오 이미지를 이용하여 아크 발생 밀도와 시간 획득이 가능하리라 사료된다. 또한 통계적인 데이터 획득을 위해 다양한 구간에서의 시험이 필요하겠다.

### 3. 결 론

집전성능은 팬터그래프와 전차선간의 인터페이스 특성으로 현재 다양한 검측 시스템이 사용되고 있다. 그러나 검측 시스템이 고가이며 사용이 어렵기 때문에 현재 비디오를 이용하여 육안으로 확인하는 시스템이 철도 전반에 사용되고 있다. 본 논문에서는 비디오 이미지를 이용한 전차선과 팬터그래프 간 이선시 발생하는 아크의 밀도를 분석하였다. 전차선과 팬터그래프 간 이선아크의 밀도는 비디오 이미지와의 비교를 위해 아크 검출기를 이용하여 측정하였다. 전라선 이선아크 검측 시험 이미지 분석 결과 이선아크는 밀도가 커질수록 발생 시간도 높아졌으며 비디오 이미지의 아크 발생 범위도 커졌다. 본 논문에서는 아크의 밀도를 비디오 이미지를 이용한 팬터그래프와 전차선간의 거리에 따른 아크 발생 밀도 측정법을 제안하였다. 집전상태 비디오 모니터링은 설치가 쉽고 정밀한 교정이 필요하지 않아 현재 팬터그래프와 전차선간 모니터링에 광범위하게 활용되고 있다. 향후 아크 발생에 따른 비디오 이미지의 화소수를 이미지 프로세싱하여 이를 수치화 한다면 자동화된 방법으로 비디오 이미지를 이용하여 아크 발생 밀도와 시간 획득이 가능하리라 사료된다. 또한 본 논문에서 제안한 아크의 크기, 시간 및 비디오 간 분석결과는 아크의 발생에 따른 전차선 영향평가 및 이선을 판단기준 등 다양하게 활용될 것으로 기대된다.

### 감사의 글

이 논문은 국토해양부에서 지원한 "400km/h급 고속철도 인프라 시범적용 기술개발" 사업의 일환으로 수행되었습니다.

### References

- [1] Y. Park, S. Y. Kwon, J. M. Kim, "Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 8, pp. 1216~1220, 2012. 08.
- [2] T. Kobayasi, Y. Fujihasi, T. Tsuburaya, J. I. Satoh, Y. Oura, Y. Fujii, "Current collecting performance of overhead contact line-pantograph system at 425 km/h", Electrical Engineering in Japan, Vol. 124, Issue 3, pp. 73 - 81, 1998. 08.
- [3] 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.
- [4] T. Hayasaka, M. Shimizu, "Study on Mean to Detecting Ultraviolet Rays at Optical Measurement of Contact Loss," 2008 Annual Meeting Record IEE Japan, No.5-098, pp. 156-157 . 2008. 3.
- [5] K. Nezu, T. Hayasaka, F. Tanamoto, "Fundamental Examination of UV-Optical Type Contact Loss Measurement Equipment," 2008 Annual Meeting Record IEE Japan, No.5-098, pp.158-159 , 2008. 3.
- [6] IEC 62486:2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems- Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.
- [7] Y. Park, Y. H. Cho, S. Y. Kwon, K. W. Lee, W. You, "Development of an Arc Detector Assessment System by Loss of Contact Between Pantograph and Contact Wire in Electric Railway", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 11, 2011. 11.
- [8] "Development of Interface Technology on Vehicle/Track and Pantagraph/Catenary for High Speed Train", KRRI research report, 2010.
- [9] H. K. Na, Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, H. J. Park, S. Y. Oh, J. T. Song, "Characteristic Measurement by a Real-time Data Acquisition System in Overhead Contact Wire", Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 20, No. 3, pp. 281-285, 2007. 3.
- [10] S. Y. Oh, Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, S. Y. Kwon, H. C. Kim, J. T. Song, "Measurement technology analysis for current ratio characteristic assessment of catenary", 2010 Spring Conference of The Korean Society for Railway, pp. 1918-1923, 2010. 7.
- [11] Y. Park, Y. H. Cho, H. C. Kim, S. Y. Kwon, I. C. Kim, W. S. Choi, "The Technology of Measurement System for Contact Wire Uplift", 2009 Spring

Conference of The Korean Society for Railway, pp. 900-904, 2009. 5.

[12] Y. Park, Y. H. Cho, K. Lee, H. S. Jung, H. Kim, S. Y. Kwon, H. J. Park, "Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application", WCRR 2008, I.2.1.1, 2008.

## 저 자 소 개



**박 영 (朴 暎)**

2000년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2004년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 2004년~현재 한국철도기술연구원 선임연구원



**이 기 원 (李 基 源)**

1997년 RIT(미) 기계공학 졸업(공학석사), 2009년 성균관대 기계공학 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 선임연구원



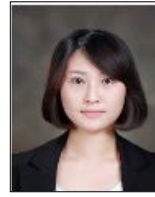
**박 철 민 (朴 哲 民)**

2004년 성균관대 전기전자컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 현재 한국철도기술연구원 선임연구원



**김 재 광 (金 在 廣)**

2012년 한밭대학교 전기공학과 졸업 (공학석사), 현재 한국철도기술연구원 석사후 연수 연구원



**전 아 람 (全 阿 람)**

2012년 한밭대학교 전기공학과 졸업 (공학석사), 현재 한국철도기술연구원 석사후 연수 연구원



**권 삼 영 (權 三 榮)**

1984년 한양대 전기공학과 졸업(공학석사), 2007년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사), 현재 한국철도기술연구원 책임연구원



**조 응 현 (趙 容 鉉)**

1992년 한국과학기술원 기계공학과 졸업(공학석사), 2008년 서울대학교 기계공학과 졸업(공학박사), 1997년~현재 한국철도기술연구원 수석연구원