

터널구간 팬터그래프와 전차선간 동적성능 검측장치 구현

Implement of Dynamic Performance Measurement System Between Pantograph and Contact wire in Tunnel

박 영* · 박 철 민* · 이 기 원* · 권 삼 영*

(Young Park · Chulmin Park · Kiwon Lee · Sam-young Kwon)

Abstract - To increase speed up of train, in the field of catenary system, it is necessary to develop of new monitoring methods for dynamic interaction between pantograph and contact wire. Also, there is a need to develop technologies that constantly measure are from various railway structure such as uplift of contact wire, vibration of catenary, dynamic strain of contact line in tunnel. In this paper condition monitoring systems for dynamic performance of catenary systems in tunnel were proposed. An advanced method and results of field tests using high speed camera for monitoring of vertical upward movement of the grooved contact wire due to the force produced from the pantograph were presented. The proposed uplift measurement system of contact wire is expected to enhance precision of current collection quality performance assessment methods at high-speed lines.

Key Words : Uplift of contact wire, Catenary system, Condition monitoring system

1. 서 론

팬터그래프와 전차선로 사이의 동적 상호작용 평가는 열차의 안전운행과 신뢰성 확보를 위한 가장 중요한 성능지표이다[1,2]. 전차선로의 동적성능은 팬터그래프의 집전판과 전차선이 접촉된 상태에서의 집전성능으로 평가되며, 차상측정과 지상측정으로 구분된다[3]. 차상에서의 동적성능 검측은 팬터그래프의 접촉된 상태를 측정하는 접촉력과 팬터그래프의 집전판과 전차선간에 비접촉으로 발생하는 이선아크를 측정하는 기술이 있다[4]. 지상 측정은 전차선로 가동브라켓에 검측설비를 구축하고 팬터그래프가 검측지점의 전차선을 통과 할 때 전차선의 상하 변위를 측정하는 압상량 검측 기술이 있다[5]. 이상과 같이 동적특성측정은 IEC와 같은 규격에 따라 신규 열차가 도입되거나 신규선로 건설이후 인증시험을 통해 국내에서도 검증되고 있다[6]. 특히 전차선로변 모니터링 기술은 상태모니터링 장치를 이용하여 전차선의 압상량, 진동, 응력, 온도 등을 측정하고 있다[1]. 그러나 전차선로 상태모니터링을 위한 측정방법은 전차선로가 25 kV의 고전압이고 5 m 이상의 높이에 위치하며 열차운행 중 접근이 불가능 하다. 또한 전차선로 상태모니터링 장치는 야간 열차운행과 선로의 전기를 차단하고 유지보수 차량을 이용하여 4시간정도의 설치가 필요하며 상태모니터링 장치의 전원인 배터리 교체 등 운영에 어려움이 있다[7]. 또한 전차선로 동적특성 측정은 개활지나 교량의 전차선로 브라켓에 설치하게 되므로 터널구간이나 특이구간에 설치가 어려워

현재까지 측정된 사례가 보고되지 않아 관련 검측 시스템과 기술개발이 필요한 실정이다.

본 논문에서는 터널구간이나 특이구간에 위치한 전차선로의 동적특성 검측을 위해 비접촉식의 모니터링장치를 구현하였다. 이 시스템은 고속카메라를 이용하여 검측지점에 마커를 설치하여 전차선로의 동적상태를 실시간으로 저장한 이후 이를 이미지 처리하여 동적특성을 분석하도록 구성하였다. 특히 현장에서 측정이후 동적특성값인 압상량 값의 모니터링이 가능하도록 분석프로그램을 개발하였으며 여수-익산간 전차선로에서 현장시험을 통해 그 성능을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 터널구간 전차선로 동적검측 장치는 지상과 터널구간 등 모든 구간에서 비 접촉식으로 측정이 가능하다. 기존 시스템에 비해 측정이 용이하고 설치·철거 시간이 단축되며 배터리 교체를 위한 별도의 단전없이 반복측정이 가능하다. 본 논문에서 구현한 터널구간 전차선로 동적 특성검측장치는 속도향상과 신규전차선로의 인증과 동적 특성측정에 보다 단순한 방법으로 지속적인 활용이 기대된다.

2. 본 론

2.1 전차선로 동적 성능 검증을 위한 실험방법

열차의 속도향상에 따라 팬터그래프와 전차선 사이의 접촉력이 과도하게 증가하여 곡선당김금구가 위치한 지지점에 전차선 압상량이 증가하게 되면 전차선 피로 누적에 의한 파단 사고가 발생할 수 있으며, 팬터그래프와 곡선당김금구와의 충돌사고가 또한 발생할 수 있다[8]. 따라서 열차 최고 속도 운행 시 전차선 곡선당김금구 압상량을 모니터링 하여 전차선로 사이의 동적 인터페이스의 안전성능이 평가되고 있다. 현재까지 전차선 압상량 검측은 개활지에 위치한 전차선로의 가동 브라켓에 변위계를 포함한 압상량 검측 시스템

* 정 회 원 : 한국철도기술연구원 첨단고속철도연구실

† 교신저자, 정회원 : 한국철도기술연구원 선임연구원

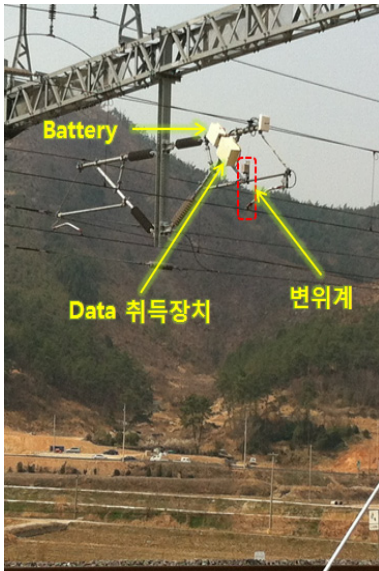
E-mail : ypark@krii.re.kr

접수일자 : 2012년 9월 5일

최종완료 : 2012년 10월 8일

을 설치하여 측정하는 방법이 일반적이다[1]. 그러나 속도향상에 따라 터널구간이 증가되고 있어 최고속도 시 압상량 측정을 위해 터널구간에서 정밀한 방법으로 압상량 측정기술개발이 필요하다.

본 논문에서는 전라선 익산-여수 구간에서의 전차선로 속도향상을 위해 터널구간과 개활지의 전차선로 동적 특성을 2가지 방법으로 각각 측정하였다. 그림 1(a)에 개활지에서의 전차선로 동적상태 측정을 위한 전차선 상태모니터링 장치 사진을 나타내었다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 개



(a) 개활지 전차선 상태모니터링 장치
(a) Condition Monitoring System at Open Area



(b) 터널구간 비접촉 압상량 검측 장치
(b) Condition Monitoring System in Tunnel

그림 1 전라선 익산-여수구간 개활지 및 터널구간 압상량 검측을 위한 시스템 설치 사진

Fig. 1 Image of Condition Monitoring System at Open and Tunnel Area on Iksan-Yeosu section

활지에서의 동적 특성 검측은 측정하고자 하는 가동브라켓에 배터리, 모니터링장치를 설치하고 열차 통과시의 변위계의 상하 값이 측정된다. 측정된 값은 무선으로 지상부의 측정위치에 전송하게 되며 전기적 절연은 별도의 전원으로 운영하여 지상부 모니터링 장치와 구분된다. 그림 1(a)와 같은 방식은 현재 국내에서는 유일하게 측정되는 방식이나 전원용량이 24시간 정도이고 모니터링 장치를 전차선로에 설치·철거하기 위해 야간 단전 이후에 유지보수 차량을 이용하여 야하며 이때 많은 시간과 인력이 필요하다. 또한 터널구간과 같은 협소한 공간에서는 가동브라켓에 모니터링 장치의 설치공간이 부족하여 현재 시스템으로는 측정이 불가능 하다.

그림 1(b)에 본 논문에서 제안한 터널구간 동적 특성을 위한 이미지 처리 기반의 터널구간 전차선 압상량 검측 사진을 나타내었다. 그림 1(b)에서 보는바와 같이 터널부 벽면에 고속카메라를 고정하고 열차 운행에 따라 고속카메라를 이용 초당 500 frame/sec 이상으로 이미지를 저장하고 획득된 데이터를 이미지 프로세싱 기법으로 수치화 하여 압상량을 구한다.

이때 고속카메라는 전차선로와 최대한 평행하게 설치하여 이미지의 왜곡을 최소화 하여 오차를 줄였으며 터널구간에서 선명한 고속이미지 획득을 위해 spotlight 조명을 이용하였다. 그림 1과 같이 개활지와 터널구간에 각각 설치된 동적 특성 검측 장치는 KTX 운행에 따라 설치 지점을 통과할 때 팬터그래프에 의한 전차선의 압상량 값을 각각 검측 하였다.

2.2 전차선로 동적 성능 검증을 위한 실험결과

열차 운행에 따른 전차선의 압상량 검측은 선로에서 검측되므로 열차의 팬터그래프가 검측 지점을 통과하기 전 5초 전부터 통과 후 10초까지의 값을 저장하고 시간에 따른 전차선의 압상량 값을 수치화된 그래프로 나타내는 것이 일반적이다. 일반적인 압상량 측정을 위한 검측 기준은 검측 장치가 측정결과 값 변화에 3% 이상 영향을 주지 않도록 하며 전차선 압상량 검측장치의 오차는 5 mm 이하여야 한다.

또한 측정시스템의 정확도는 검측된 진폭의 10%이하이거나, 10 mm 이하이어야 한다. 이와 같은 전차선로 동적 성능 검측장치의 정밀도등의 세부사항은 국내외 규격사항에 일반적으로 나타나 있다. 본 논문에서 사용한 전차선로 상태모니터링 장치의 세부사항은 표 1에 나타냈다[1,7].

표 1 전차선로 상태모니터링 장치 세부구성
Table 1 Criteria of Condition Monitoring System

구 성	무선기반 상태모니터링 장치	터널구간 상태모니터링 장치
압상량 검측	변위계 (Strain type)	고속카메라
	입력 184.1Ω, 출력 596.8Ω	최고 20,000 fps (frames/sec)
	정격출력 : 5mV/V	Mega Pixel Sensor
	고정계수 : 2m	BMP, JPG, AVI 제공 비접촉식 측정(Marker 이용)
계측부	가동브라켓에 고정	
송·수신부	2.4 GHz 무선전송	TCP/IP data 전송
지상신호 처리부	무선수신이 가능한 모니터링부	고속카메라와 Lan 연결 모니터링부

터널구간에서 사용한 상태모니터링 장치는 고속 영상처리를 이용하여 터널내 전차선 상부에 설치한 마커를 열차 통과 전후에 비디오를 측정하고 이를 영상 처리하여 상하 변위값을 추출하는 장치이다.

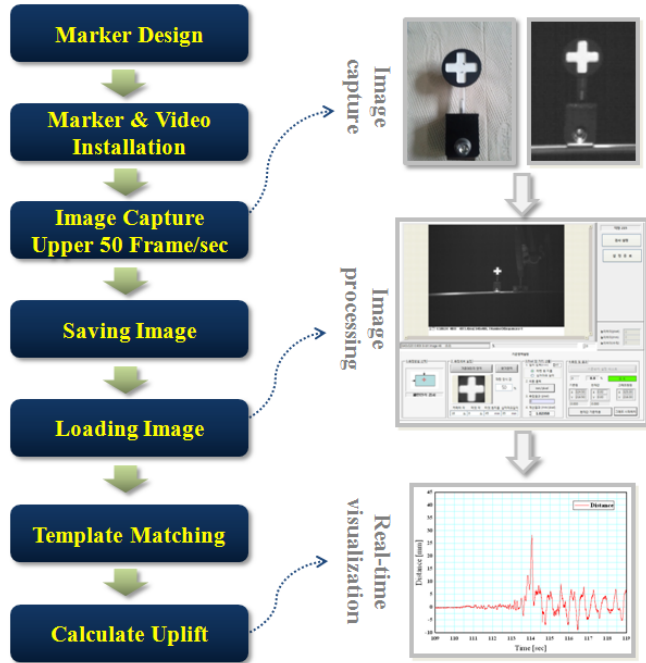


그림 2 터널구간 전차선로 동적 특성 검측을 위한 순서도
Fig. 2 Flow Chart for Dynamic Condition Monitoring System of Catenary in Tunnel

이때 마커의 넓이를 실제 비디오 영상의 상하 변화량과 연계하여 열차가 통과하는 동안의 변위를 계산하는 것이며 관련된 세부 기술은 보고한바 있다[7]. 그림 2에 터널구간 전차선 동적 성능 검측을 위한 순서를 나타내었다.

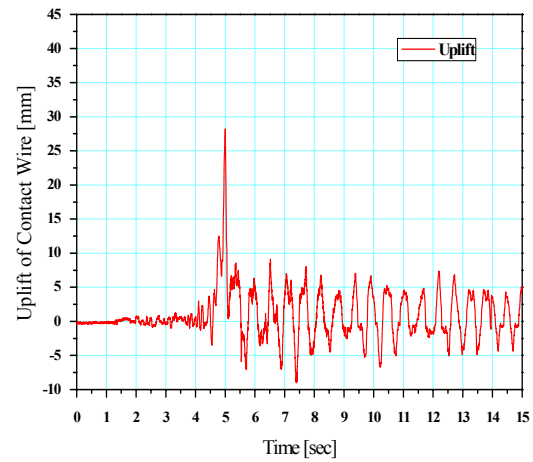
본 논문에서는 열차 통과 전후에 압상량 검측을 위해 원형모양의 마커를 설치한 이후 고속비디오 카메라를 이용하여 1000 fram/sec로 마커설치위치에 팬터그래프 통과 전후의 이미지를 저장하였다. 저장된 이미지는 고속카메라에 일시 저장되며 TCP/IP를 통해 현장에서 컴퓨터에 저장된다.

저장된 이미지는 한 프레임씩 프로그램에서 불러들여 팬터그래프 통과 이전의 고정된 이미지 프레임과 비교하는 Template Matching을 수행 하게 된다. Template Matching은 마커의 넓이와 위치를 기준 이미지와 비교하여 변경된 화소 수 만큼을 좌표로 나타나게 하여 변화량을 추출하는 기술이다. 이때 마커의 실제 넓이를 알고 있으므로 1개 화소와 실제량간의 상관관계를 Template Matching을 통해 정확한 변화량을 얻게 되는 것이다. 그러나 고속카메라와 전차선간의 높이차로 인해 마커의 모양이 좌우 외곡 될 수 있으므로 각도를 미리 계산하여 교정이 가능하지만 본 현장시험에서는 전차선의 마커영상 획득을 위한 고속카메라와 마커간의 각도가 거의 평행하고 실제 이미지에서 좌우 외곡이 나타나지 않았으므로 별도의 보정은 하지 않았다.

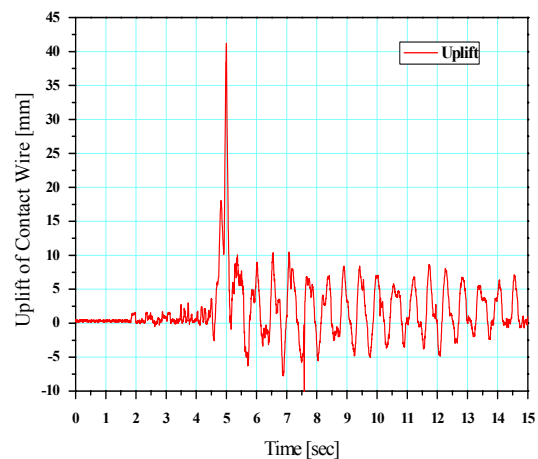
이러한 이유는 현장에서 터널구간등의 동적특성 평가를 위해 본 논문에서 제안한 시스템이 활용될 경우 전차선의

장력과 이도등에 따라 마커의 기울기등이 변화 할 수 있고 현장에서의 각도 조정이 어렵기 때문이다. 또한 터널구간의 경우 벽면에 비교적 자유롭게 고속카메라를 전차선과 평행한 위치에 설치가 가능하기 때문에 마커의 기울기에 따른 보정이 필요치 않다고 판단된다. 그림 3에 변위계를 이용하여 개활지에서 측정한 익산-여수구간 전차선로의 압상량을 나타냈다. KTX가 측정위치 통과 전 5초부터 통과 후 10초까지, 초당 2,000 Sampling으로 측정 및 저장하고 그래프에서는 이를 초당 100 Sampling으로 낮추어 그래프에 나타냈다.

전차선로의 곡선담김급구 압상량의 기준 값은 전차선로 설계시의 최대 허용 압상량 기준을 따르나 스토퍼가 있는 경우 안전율 1.5를 스토퍼가 없는 경우 안전율 2.0을 적용하



(a) KTX 산천 200 km/h 운행 중 압상량 측정결과
(a) The Result for Uplift of Contact Wire (200km/h_KTX- II)



(b) KTX 산천 216 km/h 운행 중 전차선 압상량 측정 결과
(b) The Result for Uplift of Contact Wire (216km/h_KTX- II)

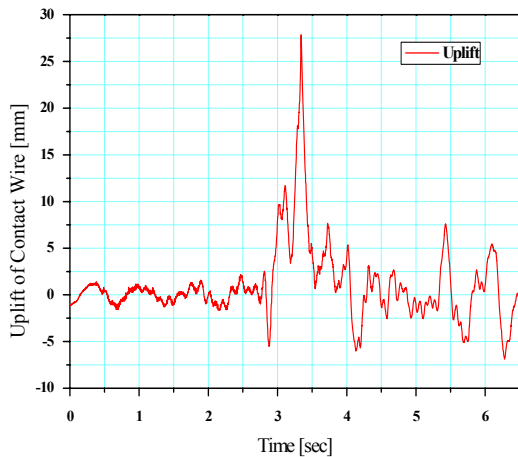
그림 3 상태모니터링을 이용한 개활지 KTX 운행에 따른 전차선 압상량 측정결과

Fig. 3 The KTX-II Results of Uplift using Condition Monitoring System at Open Area in Track Side

는 것이 국내의 기준 값이다[9].

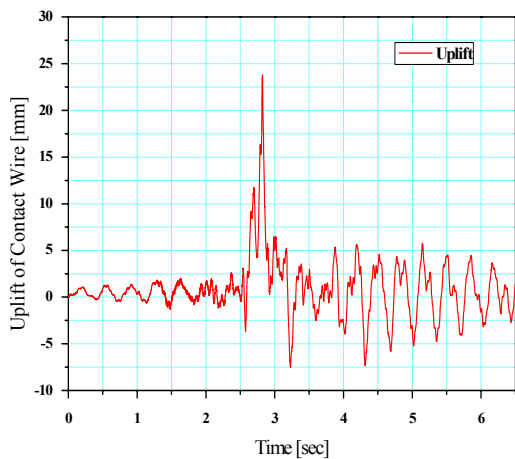
그림 4에 익산-여수 구간의 터널내에서의 전차선로 압상량 결과를 나타냈다. 터널내에서의 전차선의 압상량 검측은 고속카메라를 이용하여 획득한 이미지를 처리하여 나타낸 것으로 초당 1,000개를 저장한이후 그림 2의 과정을 통해 계산한 다음 그래프는 초당 100 Sampling으로 나타내도록 하였다. 그림 4에서 보는바와 같이 전차선의 압상량 값과 진동에 의한 영향이 개활지와 비교하여 정확히 표현된 것을 알 수 있으며 카메라의 흔들림등에 의한 노이즈는 나타나지 않았다.

이러한 결과는 본 논문에서 제안한 터널구간의 동적 상태



(a) KTX 산천 215km/h 운행 중 터널구간 압상량 측정결과

(a) The Result for Uplift of Contact Wire in Tunnel (215km/h_KTX-II)



(b) KTX 산천 216 km/h 운행 중 터널구간 전차선 압상량 측정 결과

(b) The Result for Uplift of Contact Wire in Tunnel (216km/h_KTX-II)

그림 4 고속카메라를 이용한 터널구간 KTX 운행에 따른 전차선 압상량 측정결과

Fig. 4 The Results for Uplift of Contact Wire Using High Speed Camera in Tunnel

측정 방법을 이용할 경우 안정적인 동적 성능 평가가 가능한 것을 나타내는 것이다. 특히 전차선로 가도가 작아 변위계 설치가 어려운 터널이외의 측정에도 본 장치가 활용 될 것으로 기대된다.

3. 결 론

본 논문에서는 터널구간이나 특이구간의 전차선로의 동적 특성 검측을 위해 새로운 상태검측시스템을 개발하였다. 그리고 이 개발된 시스템을 이용하여 전라선 익산-여수 구간의 전차선로에서 터널구간과 개활지에서 전차선로 동적 특성을 기존 측정 기술과 병행해서 측정하였다.

전차선로 가동브라켓에 검측장치를 설치하고 변위계를 이용하여 동적 상태를 취득하는 방법은 터널구간의 낮은 가도로 인해 설치가 어려운 것으로 나타났다. 터널구간 동적 특성을 위한 이미지 처리 기반의 모니터링 장치는 고속카메라를 전차선로와 최대한 평행하게 설치하여 오차를 최소화 하였으며 고속이미지 획득을 위해 스포트라이트 조명을 이용하였다. 현장시험은 익산-여수구간 전차선로의 개활지와 터널구간에 2가지의 시스템을 각각 설치하여 측정하였으며 시험결과 두 시스템 모두 정밀한 동적상태(압상량) 결과를 획득하였다. 특히 터널구간에 설치한 전차선로 동적 특성장치의 경우 전차선로의 상하 변위값을 정확하게 표현된 것을 알 수 있으며 카메라의 흔들림등에 의한 노이즈는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 본 논문에서 제안한 터널구간의 동적 상태 측정 방법을 이용할 경우 안정적인 동적 성능 평가가 가능한 것을 나타내는 것이다. 특히 전차선로 가도가 작아 변위계 설치가 어려운 터널이외의 측정에도 본 장치가 활용 될 것으로 기대된다.

전차선로 가동브라켓에 검측장치를 설치하고 변위계를 이용하여 동적 상태를 취득하는 방법은 터널구간의 낮은 가도로 인해 설치가 어려운 것으로 나타났다. 터널구간 동적 특성을 위한 이미지 처리 기반의 모니터링 장치는 고속카메라를 전차선로와 최대한 평행하게 설치하여 오차를 최소화 하였으며 고속이미지 획득을 위해 스포트라이트 조명을 이용하였다. 현장시험은 익산-여수구간 전차선로의 개활지와 터널구간에 2가지의 시스템을 각각 설치하여 측정하였으며 시험결과 두 시스템 모두 정밀한 동적상태(압상량) 결과를 획득하였다.

특히 터널구간에 설치한 전차선로 동적 특성장치의 경우 전차선로의 상하 변위값을 정확하게 표현된 것을 알 수 있으며 카메라의 흔들림등에 의한 노이즈는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 본 논문에서 제안한 터널구간의 동적 상태 측정 방법을 이용할 경우 안정적인 동적 성능 평가가 가능한 것을 나타내는 것이다. 특히 전차선로 가도가 작아 변위계 설치가 어려운 터널이외의 측정에도 본 장치가 활용 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, “실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정”, 전기전자재료학회논문지, 제 20권, 3호, pp. 281-285, 2007.

[2] 박영, 조용현, 권삼영, 이기원, 유원희, “전기철도 팬터 그래프-전차선간 이선아크 검측 평가 기술 개발”, 전기 학회논문지, 60권, 11호, pp.2171-2175, 2001.

[3] L.-M. Cléon A. Bobillot A. Collina O. Mohamed V. Loverre. “Pantograph-Catenary: A European Couple”, WCRR 2006, T3.2.2, (2006).

[4] 박영, 조용현, 정호성, 이기원, 김형철, 권삼영, 박현준, 김원하, “전기철도의 전차선로 형상검측을 위한 광학기 반 검측 장치 구현”, 전기전자재료학회논문지, 제21권, 9호, pp. 868-872, 2008.

[5] EN 50119:2001, “European Committee for Electro-technical Standardization, Railway applications - fixed installations - electric traction overhead contact lines”, 2001.

[6] IEC 62486 :2010, “Railway applications - Current collection systems - Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)”, 2010.

[7] 박영, 조용현, 이기원, 김형준, 김인철, “고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 시스템 개발”, 전기전자재료학회논문지, 제 22권, 10호, pp. 864-869, 2009.

[8] 조용현, 권삼영, 이기원, 박영, 김정수, 이기천, “속도향 상에 따른 가선설비 개량방안 연구”, 철도기술연구개발 사업 1단계 최종보고서. 건설교통부 한국건설교통기술 평가원, p. 41, 2007.

[9] 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.



이 기 원 (李 基 源)

1970년 9월 26일생.
1997년 RIT(미) 기계공학과 졸업(공학석사). 2009년 성균관대학교 기계공학과 졸업(공학박사)
현재 한국철도기술연구원 선임연구원



권 삼 영 (權 三 榮)

1962년 8월 22일생.
1984년 한양대학교 전기공학과 졸업(공학석사). 2007년 동대학원 동학과 졸업(공학박사)
현재 한국철도기술연구원

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 선임연구원



박 철 민 (朴 哲 民)

1976년 10월 9일생.
2004년 성균관대학교 전기전자컴퓨터 공학부 졸업(공학석사).
현재 한국철도기술연구원 주임연구원