

# 350km/h 전차선로 집전성능 시험 및 결과 분석

## Analysis of Current Collection Performance Testing and Result of 350[km/h] Catenary System

허용석\* · 이인희\*  
 (Yong-Seok Heo · In-Hee Lee)

**Abstract** - The 350[km/h] catenary system was successfully opened in Honam high speed line. This 350[km/h] catenary system is firstly constructed in South Korea. Therefore the current collection performance of this system should be tested and evaluated by the authority. This paper describes the testings by running of HEMU-430X train and the evaluation criteria and result analysis to determine whether the performance of the catenary is good or not as a verification of catenary-pantograph interface. In detail, the contact force by pantograph, arcs by loss of contact and uplift amount of the catenary support were measured and discussed as a category of the current collection performance.

**Key Words** : 350[km/h] catenary, Current collection performance, Contact force, Loss of contact, Uplift

### 1. 서 론

본 논문에서는 운영속도 350[km/h] 전차선로의 집전성능을 판단하기 위한 성능검측기준과 실험 결과를 나타내었다. 특히 열차의 팬터그래프와 전차선간의 집전성능 검측기준을 국내에 적용하기 위한 성능기준을 검토하여 나타내었다.

전차선로의 집전성능은 전류 집전품질을 통해 확인할 수 있으며, 전류집전 품질은 가공전차선로와 팬터그래프의 동특성을 분석하여야 하며, 이러한 분석을 통해 전류집전 품질을 확인할 수 있다[1, 2, 4, 5]. 전류집전 품질은 팬터그래프의 압상력과 이선울에 의해 정의된다[3, 4]. 이는 국제규격 IEC 62486 과 유럽규격 EN 50119 에 정의된 기준을 적용한다. 기존에 국내 고속철도 구간에서는 KTX 12호에 설치된 고속검측설비(광학렌즈를 부착한 카메라를 이용한 실시간 모니터링설비)를 사용하였고[1, 2, 6, 7], 일본, 중국 등에서는 광센서를 이용한 이선아크 검측장치를 개발하여 활용 중에 있다[7].

본 논문에서 집전성능 시험결과는 팬터그래프와 전차선간의 이선울 및 전차선 지지점 압상량을 HEMU-430X를 이용하여 운영속도 350[km/h]에서 검측하였다. 검측결과 350[km/h] 급 전차선로의 집전성능은 성능검증 기준 이내로 나타났으며 본 시험결과는 국내 신규 전차선로 건설 및 운영 중 성능검증 기준과 측정기술로 활용될 것으로 기대된다.

### 2. 본 론

#### 2.1 350[km/h]급 전차선로 집전성능 기준 분석

전기철도에서 차량과 시설물간의 운행특성은 차량과 선로, 차량과 신호간 및 차량과 전차선로간으로 구분되며 집전성능은 차량의 팬터그래프와 전차선간의 상호 운영성능을 판단하는 기준으로 속도 향상에 따라 중요성이 증대되고 있다. 유럽 규격 EN 50367 : 2009(Railway applications-Current collection systems-Technical criteria for the interaction between pantograph

**표 1** EN 50367 : 2009에 따른 접촉력 및 전차선 압상량 허용 기준

**Table 1** Tolerance limit for the contact force and uplift according to EN 50367 : 2009

범 주	열차속도 $\geq 200$ [km/h]	비 고
평균접촉력 [N]	$F_m = 970 \times 10^{-6} \times v^2 + 70$	320[km/h] 이상시 국가별 개별 기준 적용
최대 속도에서의 최대 표준편차 [N]	$0,3 F_m$	
전차선 압상량	경부 및 호남고속철도와 같이 곡선당김급구가 압상량 구속을 하지 않는다면 설계 허용 압상량의 50[%]이하	

\* Corresponding Author : Dept. of Railroad Electricity system, Woosong University, Korea  
 E-mail : ihlee3323@kr.or.kr

\* Dept. of Railroad Electricity system, Woosong University, Korea  
 Received : September 22, 2015; Accepted : January 8, 2016

and overhead line to achieve free access)에 유럽 각국의 열차가 다른 나라의 전차선로에서 상호 운전하기 위하여 접촉력은 다음 요건을 만족할 것을 요구하고 있다.

전 세계적으로 전차선로 설계 지침으로 활용되고 있는 EN 50119 : 2009에 따르면 열차속도가 200[km/h]를 초과시 허용되는 접촉력의 통계적 최대 접촉력(평균 + 표준편차 × 3배)은 350[N] 이하이어야 하고, 통계적 최소 접촉력(평균 - 표준편차 × 3배)은 양수이어야 한다.

**표 2** EN 50119 : 2009에 따른 통계적 최대 및 최소 접촉력 허용기준

**Table 2** Tolerance limit for the statistical maximum and minimum of contact force according to EN 50119 : 2009

통계적 최대 접촉력	통계적 최소 접촉력	비 고
350[N]	> 0[N]	-

한편, 이선에 있어서는 유럽 규격 EN 50367 : 2009는 다음 기준을 제시하고 있다.

**표 3** 이선율 정의

**Table 3** The definition of the ratio of loss of contact

요 건	열차속도 ≥ 250[km/h]	비 고
최대 노선 속도에서 아크 비율 (5[ms] 이상되는 아크만 고려)	≤ 0.2[%]	정상 운행 팬터그래프가 고장시 비상 팬터그래프를 사용하여 정상 운행을 할 경우 이선율은 0.5보다 낮아야 함. 정상 속도에서의 운행이 필요하지 않을 경우 열차는 이선율 기준을 만족할 수 있는 수준의 속도로 운행되어야 함.

시설물 관리주체는 접촉력 혹은 아크 중에서 어느 것을 선택할지를 결정해야 한다. 만약 접촉력 혹은 아크 기준 중의 하나와 전차선 압상량 기준을 만족하면 상호 운전을 위한 허용기준을 만족하는 것으로 본다[6]. 본 논문과 시험에서 고려하는 중련 운전의 경우에는 집전 성능이 가장 안 좋은 팬터그래프에 대하여 앞의 기준을 적용하여 성능을 평가할 것을 요구하고 있다.

운행 열차의 속도기준을 보면 350[km/h] 이하의 경우에는 통계적 최소 및 최대 접촉력의 조건을 EN 50317에서 정의하고 있으므로 접촉력의 기준을 국내에서도 별도의 정의 없이 적용이 가능하나, 이선율의 경우 속도에 따라 이선율 값이 급격히 증가하므로 300[km/h]급까지는 0.2[%] 이하의 기준 적용이 가능하나 이후 속도대역에서는 시험을 통한 기준 확정이 필요할 것으로 고려된다. 그러나 국외의 경우 이선율 검측시스템의 신뢰도 확보가 어려워 성능인증을 위한 시험 결과가 많지 않기 때문에 본 논문에서는 350[km/h]급 전차선로에 열차운행에 따른 이선율(%) 특

성을 나타내어 이를 분석하였다.

## 2.2 350[km/h]급 전차선로 집전성능 평가

### 2.2.1 차상부 집전성능 평가

팬터그래프와 전차선간 이선아크 측정시스템은 팬터그래프와 전차선간 이선시 발생하는 아크를 220~225[nm] 파장, 5[ms] 이상 지속시간의 아크를 최고속도 ±10[km/h]와 정격전류 30[%] 이상일 때 검출하여 식에 따라 검출하였다. 팬터그래프와 전차선간 이선율시험은 시험열차 출발지점인 모암IEC에서부터 KP128까지 운행속도 340[km/h] 이상의 속도를 기준으로 1차 분석하였다. 아래 표에 호남고속선 모암IEC-KP128 구간 이선율 측정 상세결과를 나타내었다. 이선율은 0.1808로 운행속도가 350[km/h]임에도 양호한 특성을 나타낸 것을 볼 수 있다. 특히 세부 분석 결과 발생된 아크의 시간이 최고 15[ms]인 것을 알 수 있었다.

**표 4** 이선율 측정기준 및 측정 분석 결과

**Table 4** Measuring criteria of the percentage of loss of contact

이선율 시험장치	측정시간	이선시간	이선율 [%]
	정격전류 30[%] 이상	최소 아크 지속시간 총합	이선율(%) = $\frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100$

**표 5** 이선율 측정 분석 결과

**Table 5** Analysis result of the percentage of loss of contact

측정 분석 결과			
항목	단위	계측값	비 고
이선율 측정 거리	km	31.86	-
열차 속도	km/h	362.79	최고시속
분석 기준 속도	km/h	340	이상의 속도에서 이선율 적용
기준속도 운행 거리	km	11.06	누적거리 총합
아크 발생 횟수	개	26	-
최대 아크 시간	sec	0.01527	-
총 시험 운행 시간	sec	475.04	전구간 전류에서 분석
기준전류 측정 시간	sec	384.84	정격전류 30[%] 이상
유효 검측 시간	sec	112.88	$t_{total}$
유효 이선 시간	sec	0.2041	$\sum t_{arc}$
이선율	%	0.1808	$\frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100$

아래의 표는 앞에서 언급한 바와 같이 모암IEC(KP136.25)에서 KP 128.05 지점까지 이선율 측정 결과를 보여준다. 이선시 발생

되는 아크를 220~225[nm] 과장, 5[ms] 이상 지속시간의 아크를 최고속도 ±10[km/h]와 정격전류 30[%] 이상일 때 만 검출한 결과를 각 영상(Frame Index) 단위로 구분하고 그때의 현장 위치(KP)별 최대 아크 시간은 15[ms] 인 것을 알 수 있었다.

아래 표 6에 운영속도 350[km/h]급 접촉력 시험결과를 나타내었다. 접촉력 시험은 접촉력 측정 장비에 의하여 측정된 접촉력에 공력특성시험 결과를 추가하여 전체 접촉력을 산출하였으며 전체구간 측정 데이터에서 분석 평가를 위한 선택구간에서 개활지 주행 구간 데이터를 추출하고 20[Hz] 저역통과 필터를 적용하여 분석하였다. 다음의 그래프는 전체구간과 상세(선택)구간에서의 시간(Sec) 경과에 따른 속도와 접촉력의 크기를 보여준다.

검측결과 운영속도 350[km/h]급에서도 양호한 특성을 나타내고 있으며 특히 통계적 최소 접촉력이 27.3[N]으로 양호한 특성을 보이고 있다.

표 6 이선율 측정 결과

Table 6 Result of the percentage of loss of contact

Index	Frame Index	Pantograph current [A]	Train speed [km/h]	KP [km]	Arc duration [Sec]
1	9765	292.51	348.72	136.25	0.006
2	9767	291.87	348.62	136.21	0.011
3	10246	218.76	350.21	134.36	0.007
4	10571	219.41	348.55	133.1	0.007
5	10681	301.25	348.81	132.66	0.007
6	10712	344.9	349.04	132.57	0.01
7	10771	350.48	349.39	132.32	0.006
8	10775	350.48	349.39	132.32	0.007
9	10780	350.42	349.46	132.27	0.015
10	10805	348.99	349.98	132.18	0.008
11	10817	352.13	350.22	132.13	0.005
12	10911	508.54	351.74	131.84	0.006
13	10923	506.85	351.99	131.79	0.009
14	10924	506.85	351.99	131.79	0.015
15	11026	508.33	354.35	131.34	0.005
16	11073	509.36	355.12	131.2	0.006
17	11085	508.95	355.46	131.15	0.008
18	11158	510.45	356.84	130.85	0.005
19	11259	511.58	358.69	130.45	0.01
20	11411	508.5	361.3	129.85	0.006
21	11440	509.04	361.5	129.7	0.005
22	11780	506.12	360.95	128.35	0.007
23	11807	505.54	361.1	128.25	0.01
24	11810	505.54	361.1	128.25	0.005
25	11824	507.54	361.53	128.15	0.005
26	11858	509.47	362.06	128.05	0.01

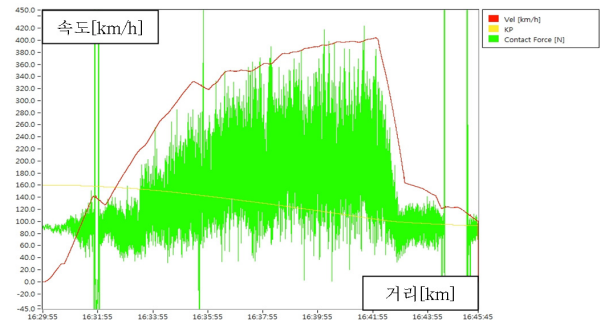


그림 1 전체구간에서의 접촉력의 크기(KP 160~94)

Fig. 1 The contact force in the section(KP 160~94)

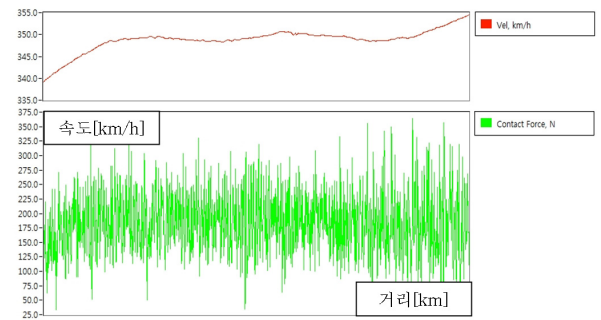


그림 2 상세구간에서의 접촉력의 크기(KP 139.0~131.3)

Fig. 2 The contact force in the detail section(KP 139.0~131.3)

이선아크 검측장치는 팬터그래프와 전차선간의 상호작용에 대한 집전성능을 평가하는 가장 구체적이고 정확한 방법이다. 특히 접촉력 등과 달리 터널내에서의 측정이 용이하고 아크 발생개소를 정확하게 판단하여 실시간 유지보수에 적용이 가능하므로 현재는 일본, 중국 등에서 개발하여 활용 중에 있다[7]. 광센서를 이용한 이선아크 검측장치의 센서는 팬터그래프와 전차선간의 이선 중에 발생하는 아크 과장인 220[nm]에서부터 225[nm]까지를 검출하도록 대역 필터를 이용하였으며 센서의 증폭을 위하여 별도의 앰프를 이용하였다. 또한 열차 지붕의 열악한 환경에서 계측장치를 보호하기 위해 별도의 지그를 이용하여 고정하였고 이때 팬터그래프 동작 범위 측정이 가능한 비디오 모니터링 장치를 설치하였다. 차량계측시스템의 경우 센서의 신호를 받아들이는 DAQ (Data Acquisition) 장치와 이선아크를 판정하기위한 연산 알고리즘을 거쳐 모니터링 프로그램에 출력하도록 하였다. 또한 속도, 차량전류를 검출하는 장치를 연산알고리즘에 포함하여 모니터링하도록 하였다. 이선아크 검측을 위한 프로그램은 집전성능 인증을 위한 이선율, 이선시간 등을 실시간으로 분석 처리하여야 하며 유지보수를 위해서는 이선아크의 발생 개소, 이선시간을 정확하게 분석하여 한다. 광센서를 이용한 이선검측장치의 프로그램은 차량속도, 아크 발생 횟수, 이선시간, 최대 아크 발생 시간, 총 측정시간, 검측시스템 총 운영시간, 이선율(%)을 실시간으로 표시하며 아크 발생 시 신뢰성있는 데이터를 위해 별도의 비디오 측정결과를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 프로그램이다.

### 2.2.2 지상부 집전성능 평가

팬터그래프가 전차선 지지점 통과시 압상량을 시험하는 측정시스템은 한국철도시설공단이 보유한 “전차선로 지상부 상태모니터링 시스템”을 사용하였으며, 장소는 아래 그림과 같이 400[km/h] 급 전차선로 Test-bed가 끝나는 지점에서 100[m] 떨어진 350[km/h]급 전차선로 가선구간에서 시행하였다. 시험차량은 차상시험과 동일하게 HEMU-430X가 운행되는 상태에서 4단계의 속도대역(170[km/h], 230[km/h], 300[km/h] 및 350[km/h])으로 측정하였으며 측정 결과는 표 7과 같다.

표 7 측정 결과

Table 7 Results of Measuring

항 목	기 준[N]	결 과[N]
평균접촉력(Fmean)	≤ 200	183.3
통계적 최소 접촉력 (Fmean-3σ)	≥ 0	27.3
통계적 최대 접촉력 (Fmean+3σ)	≤ 350	339.3
평균주행속도 [km/h]		348.8

측정 결과는 EN 50317 : 2012(Railway applications Current collection systems-Requirements for and validation of measurements of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line)에서 규정하는 압상량 120[mm] 이내를 만족하고 있으며, 350[km/h]급 시스템 개발 시 검토되었던 최대 압상량 64.1[mm](50[m]경간)보다 낮게 측정되었고 이는 350[km/h]급

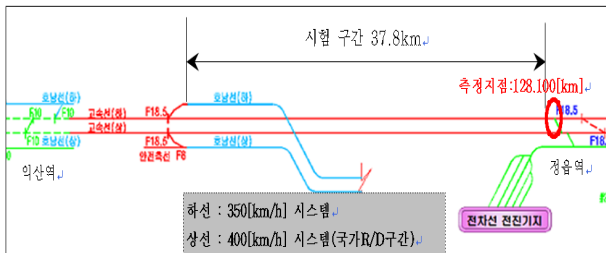


그림 3 운행구간 : 호남고속철도(익산~광주) 상선

Fig. 3 Train operating section : Homan high speed line (Iksan-Kyangju), T2

표 8 지상시험 결과 : 압상량

Table 8 On track test result : uplift amount

측정일	측정속도	압상량
2014.12.12	170[km/h]	11.6[mm]
2015.01.23	226[km/h]	18.8[mm]
2014.12.12	310[km/h]	24.9[mm]
2014.12.12	336[km/h]	39.1[mm]
2015.01.23	365[km/h]	38.7[mm]

▶ 압상량 기준 : 120[mm]이내

개발연구 시 HEMU-430X 차량의 팬터그래프 공압에 의한 압상력 등을 예측치로 반영하여 검토된 결과와 실제 개발 완성모델의 팬터그래프 특성이 상이하여 압상량 측정값의 차이가 발생하는 것으로 분석되었다.

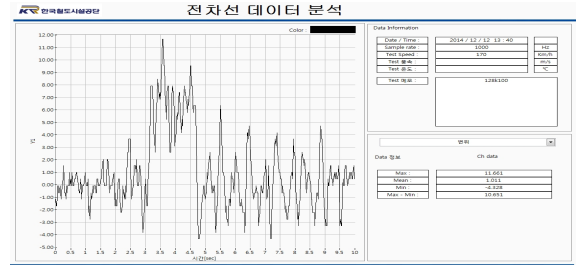


그림 4 170[km/h]에서의 압상량

Fig. 4 Uplift amount of 170[km/h]

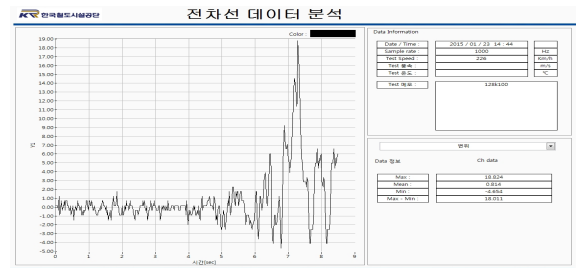


그림 5 226[km/h]에서의 압상량

Fig. 5 Uplift amount of 226[km/h]

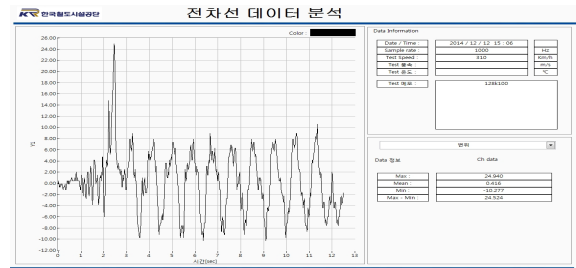


그림 6 310[km/h]에서의 압상량

Fig. 6 Uplift amount of 310[km/h]

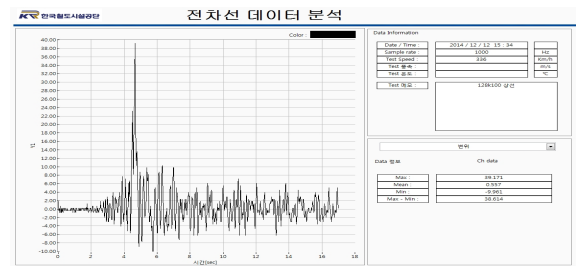


그림 7 336[km/h]에서의 압상량

Fig. 7 Uplift amount of 336[km/h]

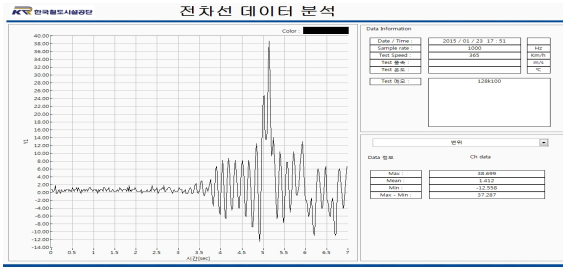


그림 8 365[km/h]의 압에서 상량  
 Fig. 8 Uplift amount of 365[km/h]

### 3. 결 론

본 논문에서는 350[km/h]급 전차선로의 집전성능 평가기준과 성능평가 결과를 나타내었다. 성능평가기준 분석 결과 팬터그래프의 접촉력은 350[km/h] 이하의 경우에는 통계적 최소 및 최대 접촉력의 조건을 EN 50317에서 정의하고 있으므로 접촉력의 기준을 국내에서도 별도의 정의 없이 적용이 가능하나 이선율의 경우 속도에 따라 이선율 값이 급격히 증가하므로 300[km/h]급까지는 0.2[%] 이하의 기준 적용이 가능한 것으로 분석되었다. 350[km/h]급 집전성능 검측결과 이선율의 경우 0.1808[%]를 나타내었으며 통계적 최소 접촉력은 27.3[N]으로 이선율에 비해 양호한 특성을 나타내었다. 이선율 검측기는 광센서를 이용하여 차량의 팬터그래프와 전차선간의 아크 과장을 측정하게 되므로 접촉력과 달리 속도에 따라 민감도가 향상 된다. 본 논문에서 나타낸 바와 같이 같은 속도대역에서 이선율은 국외의 기준인 EN 50317의 0.2[%]에 근접하였으나 접촉력의 경우 기준값은 0 미만에 비해 양호한 특성을 나타낸다. 특히 이선율 세부 분석결과 전차선에 영향을 줄 수 있는 최대아크의 시간이 15[ms]로 나타나고 있다. 이와 같은 이선율 측정 결과는 350[km/h]급 전차선로 시스템에 대하여 국내에서 최초로 시도되어 도출된 결과로서, 국내 건설기준에 따른 350[km/h]급 전차선로의 집전성능과 성능평가 결과 국내 350[km/h]급 전차선로가 EN 50317에 적합하고 또한 양호한 특성을 확인하였고, EN 50317에 의한 이선율과 접촉력에 대한 기준 대비 실 검측결과 접촉력에 대한 적정 기준값을 수립할 필요가 있음을 알 수 있다. 즉, 이선율이 접촉력에 비해 과도한 기준값을 나타낸 것으로 보이며 국내에 적용시에는 속도대역에 따른 기준 값을 다양한 속도 시험을 통해 비교 평가할 필요가 있겠다. 이와 같은 결과는 다른 속도대의 타 건설사업에도 즉시 적용이 가능할 것으로 보인다.

또한, 지상부 측정시스템은 공단에서 사양을 확정하고 구입 확보하고 있는 장비로 향후 개통사업 또는 유지관리 대상선로에서 전차선로 동특성을 모니터링하여 유지보수의 효율성을 향상시킬 것으로 기대된다.

### 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] 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.

[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] EN 50119 : 2001, "Railway applications - Fixed installations - Electric traction overhead contact lines", 2001.

[5] IEC 62486 : 2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems-Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.

[6] 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.

[7] 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



### 허용석 (Yong-Seok Heo)

2014년 우송대학교 철도전기제어공학과 졸업(공학석사). 2011년 8월~현재 동명전기 이사



### 이인희 (In-Hee Lee)

2014년 우송대학교 철도전기제어공학과 졸업(공학석사). 1983년 7월~2003년 12월 철도청 고속철도건설공단. 2004년 1월~현재 한국철도시설공단 부장