

# 전차선로 동적특성에 따른 설치상태 분석

## Analysis on Installation Condition According to Dynamic Characteristics for Overhead Catenary System

박 영\* · 이 기 원\*  
(Young Park · Kiwon Lee)

**Abstract** - The measurement of current collection performance between pantograph and contact wire of overhead catenary system is intended to prove the safety of operation and the quality of the current collection system. The results of interaction performance of current collection system are required for approving with commercial operation on railway lines. The methods of interaction performance of current collection system are defined on interactional standards such as IEC 62486 and EN 50317. In this paper, the interaction performance is evaluated by the percentage of arcing on Honam high-speed line and the results are used for adjustment of the overhead catenary line structure. The experimental results in Honam high-speed line confirm that the duration of an arc lasting longer 25 ms between pantograph and contact wire was depended on the conditions of overhead contact line after installation.

**Key Words** : Overhead catenary system, duration of an arc, Current collection system.

### 1. 서 론

최근 철도차량에 전기에너지를 공급하는 전차선과 집전장치와의 상호운행성능인 집전성능에 대한 예측을 위한 프로그램 개발, 검측 장치 개발 및 성능 인증 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. [1] 특히 고속철도차량의 운행 속도향상을 위해 400 km/h급 전차선로가 건설됨에 따라 가공선로에서 전기에너지를 차량에 전달하는 전차선로와 차량의 집전장치인 팬터그래프간의 집전성능의 향상을 위한 정확한 예측과 검증이 필요하다. [2,3] 집전성능은 전차선과 팬터그래프간의 상호운행 중 발생하는 기계적, 전기적 성능을 국내외 규격에 따라 수치적으로 나타낸 것이다. [4] 집전성능은 속도에 따라 팬터그래프와 전차선간의 균일한 접촉이 중요하지만 비접촉이 발생되면 전압차로 아크가 발생되고, 온도상승에 따른 재료의 변화가 발생되며 과도한 접촉은 전차선의 압상량 증가로 피로와 마모가 발생된다. [5] 최근 집전성능 향상을 위해 팬터그래프의 접촉력을 속도에 따라 제어하여 저속과 고속 구간에서의 능동적인 제어시스템을 구현할 경우 동적성능이 향상되어 최근 새로운 팬터그래프 시스템이 연구되어지고 있다. [6] 그러나 전차선과 팬터그래프간의 접촉상태는 정적 운영환경인 풍속, 궤도의 상태, 전차선로의 설치위치 및 설치 형상에 따라 높이와 집전위치의 변화가 가능하다. [7] 특히 전차선의 높이변화는

터널 입구와 출구변화에서 나타날 수 있고 이상 (different phase) 전원 구분을 위한 절연구분장치 및 온도상승에 따라 전차선의 장력을 균일하게 주기위한 장력개소에서 나타날 수 있다. [8] 본 논문은 전차선로의 정적 특성이 팬터그래프와 전차선간의 동적특성에 미치는 영향을 호남고속선 건설 후 전기철도 전차선로 높이 변화에 따라 발생하는 이선아크 시험으로 분석 하였다. 전차선의 높이변화에 따른 아크는 전차선의 교차개소와 고가교 구간에서 발생되었다. 본 논문에서 나타낸 전차선로 설치상태에 따른 이선 아크의 발생시간 변화는 향후 집전 성능검측기의 유지보수 활용 및 신규 전차선로 건설 후 정밀 조정에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 2. 본 론

#### 2.1 호남고속선 동특성 검측

전차선로의 속도 증가는 팬터그래프와 전차선간의 동적특성 이외에 전차선의 중량 증가개소인 곡선당김금구와 높이 변화개소에서 경점에 의한 이선이 발생할 수 있다. [9] 이선 (loss of contact)은 팬터그래프와 전차선간의 기계적 비접촉으로 발생되거나 전기적 불안전 접촉으로 인해 아크를 일으키고 이는 전차선의 마모, 온도상승에 일으켜 전기철도차량에 전력공급에 영향을 준다. [10] 팬터그래프와 전차선간의 접촉상태 검측방법은 팬터그래프의 접촉력과 이선율이 사용되고 있으며 일반적으로 200 km/h 초과 선로의 팬터그래프의 평균접촉력은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

† Corresponding Author : Dept. of High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea  
E-mail : ypark@krii.re.kr  
\* Dept. of High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea  
Received : May 9, 2016; Accepted : July 29, 2016

$$F_m = F_o \times \alpha V^2 \quad (1)$$

여기서,  $F_m$  = 평균 접촉력,  $F_o$  = 평균 접촉력,  $\alpha$  = 공력계수 ( $970 \times 10^{-6}$ ),  $V$  = 차량속도이다. 이선율은 식 (2)와 같이 계산되며 여기서  $t_{arc}$ 는 5 ms 이상의 아크 지속시간이며  $t_{total}$ 은 차량 정격 전류(nominal current) 30% 이상일 때의 시간이다. 식 (2)과 같이 이선율(NQ)은 아크 지속시간에 비례하여 증가되므로 아크의 발생시간이 길어지면 이선율도 커지게 된다.

$$NQ = \frac{\sum t_{arc}}{t_{total}} \times 100 \quad (2)$$

현재까지 집전성능은 신규 차량의 상용화 및 전차선로의 건설에 따라 표 1과 같이 기준 값을 속도에 따라 제안하여 상용운전 여부를 판단하는 기준으로 활용되고 있다. 또한 신규 전차선로 건설에 따른 집전성능 검증은 최고속도 운행 중 수행되므로 열차의 팬터그래프와 전차선간의 상호작용인 동특성을 검증하는 것으로 사용되고 있다. 특히 전차선로의 건설에 따른 건설 후 정특성인 전차선의 높이·편위와 시공 상태는 전차선로 건설 직후 집전성능 이전에 검측하며 집전성능과 별개로 검증되고 있다.

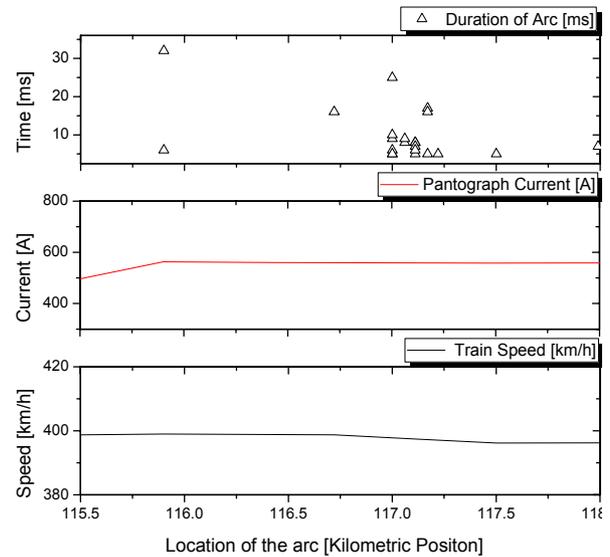
**표 1** 집전성능 허용 기준 값

**Table 1** Values for current collection performance between pantograph and OCL [10]

평가항목 (AC선로)	속도 [km/h]		관련근거
	허용값		
$F_m$ (N)	$\leq 200$	$> 200$	EN50318
평균접촉력	$60 b < F_m < 0.00047 \times v^2 + 90$ [N]	$F_m \leq 0.00097 \times v^2 + 70$ [N]	
이선율(%)	$\leq 250$	$> 250$	EN50318
	0.1% 이하	0.2% 이하	

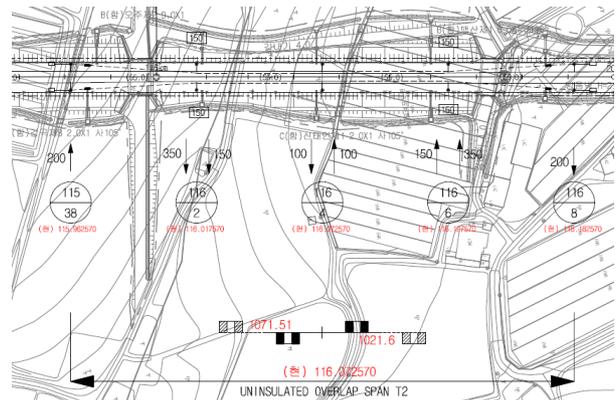
본 논문에서는 HEMU-430X (Highspeed Electric Multiple Unit - 430 km/h eXperiment)가 호남고속선 상업 운행 전 최고 속도 시험 중 이선시간의 변화를 검측하여 팬터그래프와 전차선간 아크 발생 시간을 분석 하였다. 이선율의 최소아크 기준시간의 신뢰성을 확보하기 위해 검측 센서는 EN50317에 따라 측정 파장, 반응속도를 교정하였으며 세부 내용은 보고한바 있다. [11] 그림 1에 HEMU-430X의 400 km/h 운행 중 호남고속철도 전차선로의 이선아크 검측결과를 나타내었으며 식 2에 나타난 바와 같이 5 ms 이상의 아크만을 나타내었다.

그림 1에서와 같이 390 km/h 이상 속도에서 KP 115.9 구간에서 아크지속시간이 32ms로 급격히 증가하며 KP 117.02 구간에서도 25 ms 이상의 아크가 발생되었다. 이선아크는 이선율(%)을 이용하여 신규 전차선로 건설에 따른 집전성능 평가가 가능하다. 이때 식 (2)와 같이 이선아크의 지속시간이 이선율에 비례하여 증가하여 증가된다. 이선율(%)의 아크 지속 시간은 최소 검출 시간을 5 ms로 규정하고 있으며 아크지속시간의 길이에 대한 제



**그림 1** 호남고속철도 HEMU-430X의 400 km/h 운행 중 이선아크 검측결과

**Fig. 1** Measurement results for arcing between pantograph on HEMU430X and OCL on Honam high-speed line



**그림 2** 호남고속철도 KP 115.9 구간 전주 배치

**Fig. 2** Mast distribution of Honam high-speed Line around KP 115.9

한사항은 나타나 있지 않다.[12] 그러나 최대아크 지속시간 대해서는 25 ms 이상의 아크에 대해 전차선과 팬터그래프간의 집전판 등에 손상 등으로 인해 별도로 규정하고 있다. [11]

**2.2 호남고속선 전차선로 아크발생구간 조정 결과**

본 논문에서는 HEMU-430X의 400 km/h 운행속도에서 나타난 호남고속철도 KP(Kilometric Position) 116 및 KP 117에서 나타나는 25 ms 이상의 아크지속 시간이 발생하는 전차선의 설치조건을 분석하였다. 그림 2에 호남고속철도 KP 115.9 구간의 전차선로 구조를 나타내었다. 그림 2와 같이 KP 115.9 구간은



그림 3. 호남고속철도 KP 115.9 이선아크 발생 영상

Fig. 3. Arcing image of Honam high-speed line base on KP 115.9

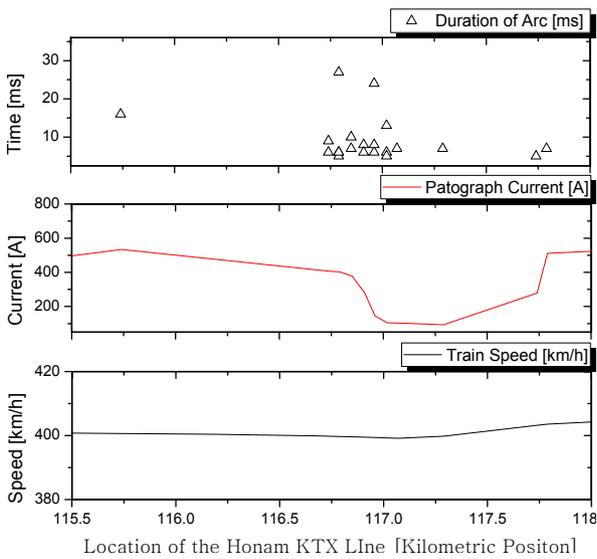


그림 4. 호남고속철도 KP 115.9 전차선 높이 조정 후 이선아크 시험결과

Fig. 4. Measurement results for arcing between pantograph on HEMU430X and OCL on Honam high-speed line after correction based on KP 115.9

이중오버랩으로 전차선의 높이 변화가 발생할 수 있다. 그림 3에 호남고속철도 KP 115.9의 아크발생 사진을 나타내었다. 그림 3과 같이 이중 오버랩에서 아크가 발생되며 2개의 전차선 중 1개의 접촉 개소에서만 아크가 발생되는 것으로 보인다. KP 115.9의 전차선로 현장 설치 분석 결과 2중 오버랩의 상호 높이차가 10 mm로 나타났다. 그림 4에 호남고속철도 KP 115.9에서의 오버랩 구간 높이 조정 후 HEMU 430X 운행에 따른 이선아크 결과를 나타내었다. 그림 4에서와 같이 KP 115.9의 전차선 높이 조정 후 따라 32 ms의 이선아크가 나타나지 않으나 KP 115.74에서 16 ms 아크 1개가 발생하였다. 본 논문에서 나타난 HEMU-430X 운행 중 열차의 위치는 이선아크 검출을 위해 임의의 출발점에 위치를 입력하여 속도에 따라 나타내므로 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 아크는 그림 1에서 나타난 오버랩 구간의 아크로 나

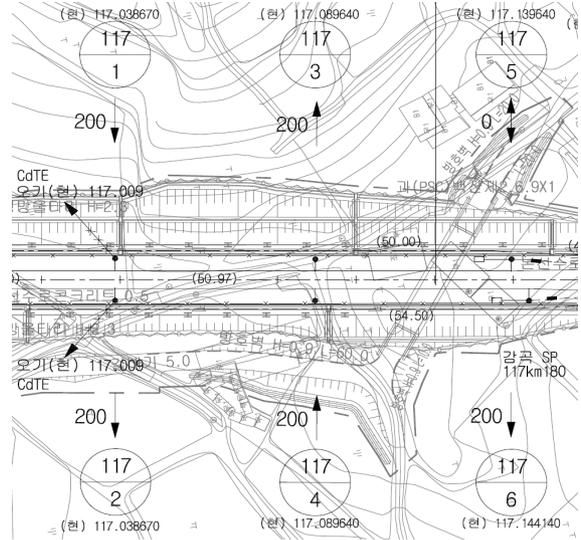


그림 5. 호남고속철도 KP 117 구간 전주 배치

Fig. 5. Mast distribution of Honam high-speed Line around KP 117



그림 6. KP 117에서 이선아크 발생 영상

Fig. 6. Arcing image of Honam high-speed line on KP 117

타하며 그림 1에서 나타난 2개의 이선아크가 전차선의 높이 조절에 따라 1개로 나타나는 것으로 보인다.

그림 5에 HEMU-430X의 호남고속철도 400 km/h 운행 중 그림 1과 그림 4에 각각 나타난 25 ms 이상의 아크 발생 구간인 KP 117의 전차선로 구조를 나타내었다. 그림 5에서와 같이 호남고속철도 KP 117 구간은 고가교 구간으로 고가 진입에 따른 선로 동특성에 영향을 미칠 수 있는 것으로 분석되었다. 그림 6에 HEMU-430X의 호남고속철도 운행에 따른 KP 117 지점의 이선아크 발생 영상을 나타내었다. KP 117은 현장 점검결과 고가교가 있는 선로에서 절연 조가선에 의해 동특성에 문제가 발생하는 것으로 분석되었다. 호남고속선 kp 117 구간에서는 첫번째 드로퍼 위치 조정 후 이선아크 분석결과를 그림 7에 나타냈다. 그림 7에서와 같이 이선아크의 발생시간은 기존의 25 ms 및 26 ms에서 10 ms 및 5 ms로 각각 변화 하였다. 전차선로의 동적특성은 팬터그래프와 전차선간의 상호작용에 의해 나타나고 열차의 속

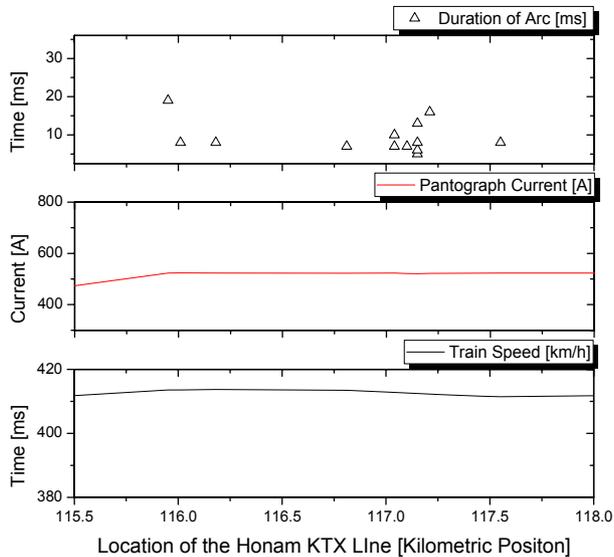


그림 7. 호남고속철도 KP 117에서 전차선 높이 조정 후 이선아크 시험결과

Fig. 7. Measurement results for arcing between pantograph on HEMU430X and OCL on Honam high-speed line after correction on KP 117

도, 온도 및 기상조건에 따라 성능의 차이가 있다. 그러나 본 논문에서와 같이 25 ms 이상의 아크지속 시간은 전차선의 높이차, 전차선로의 설치위치 변경에 따라 감소될 수 있는 것으로 나타났다. 특히 팬터그래프와 전차선간의 이선아크 검출에 따른 이선율(%)은 신규 전차선로 건설에 따른 동특성 평가를 위해 현재까지는 사용되고 있으나 본 논문에서와 같이 기준점 이상의 이선아크 발생 구간에 대한 전차선로의 정밀 조정에도 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 본 논문에서 나타난 25 ms 이상의 아크 지속 시간에 대한 기준은 전차선로의 영향에 대한 평가가 이루어지지 않았으므로 향후 이선아크 시간에 따른 전차선로와 팬터그래프간의 상호 영향을 분석하여 기준 시간에 대한 고찰이 필요하리라 사료된다.

### 3. 결 론

전기철도 전차선로 건설 후 집전성능 평가를 위해 최근 이선율(%) 검출 기술이 사용되어지고 있다. 본 논문에서는 이선율(%) 검출 결과를 분석하여 25 ms 이상의 아크 발생구간에 대해 현장에서 전차선로의 설치 상태분석을 수행하였다. 호남고속선 이선율(%)의 이선아크 지속시간 분석 결과 25 ms 이상의 아크발생 구간 2개소에 대해 높이 조정 및 드로퍼 위치 조정이 필요한 것으로 나타났다. 조정결과 아크 지속시간은 32 ms 및 25 ms에서 8 ms 및 미검출로 각각 아크 지속시간이 낮아졌다. 이러한 결과는 집전성능 검증 중 아크 지속시간 25 ms 이상은 전차선의 설치 상태를 조정 또는 변경이 필요한 것을 나타내며 집전성능 검

증 장치가 단순한 인증 장치이외에 신규 전차선로의 정밀 조정 또는 선로 유지보수에 활용될 수 있다는 것을 나타낸다.

### References

- [1] C. M. Park, Y. Park, K. W. Lee, S. Y. Kwon, Y. H. Cho, J. M. Kim, "Evaluation schedule for Current Collection Performance of 400km/h Catenary System in Honam high-speed line", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 16-18, 2014. 7
- [2] Y. Park, Y. H. Cho, H. C. Kim, K. W. Lee, C. B. Park, I. C. Kim, "Analysis of Performance Assessment for Current Collection Systems in Electric Railway", Korean Society for Railway, pp. 3402-3405, 2009, 11
- [3] Y. Park, S. Y. Kwon, K. W. Lee, Y. H. Cho, S. Y. Park, C. W. Lim, I. G. Yoon, "Testing Technology for Track-side measurement of New Catenary System up to 400Km/h", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 10-12, 2013. 7
- [4] 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.
- [5] Y. Park, K. W. Lee, C. M. Park, S. Y. Kwon, "Implementation of Optimization of the Uplift Amount Measurement System of Overhead Contact Line", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 6, pp. 886-890, 2013
- [6] Y. Park, C. M. Park, K. W. Lee, S. Y. Kwon, "Implement of Dynamic Performance Measurement System Between Pantograph and Contact wire in Tunnel", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 61, No. 11, pp. 1732-1736, 2012.11
- [7] Y. Park, Y. H. Cho, H. S. Jung, K. W. Lee, H. C. Kim, S. Y. Kwon, H. J. Park, W. h. Kim, "Implementation of Optical-based Measuring Instrument for Contact Wire Geometry in Electric Railway", Journal of the Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 21, No.9, pp. 868-871, 2008.10
- [8] K. W. Lee, H. S. Jung, Y. Park, H. R. Cho, S. S. Lee, "Development of Section Insulator with Improved Wear Characteristics", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62, No. 11, pp. 1633-1639, 2013.11
- [9] K. W. Lee, Y. Park, S. Y. Kwon, Y. H. Cho, H. S. Jeong, "Development of a Steady Arm for the Maximum Speed of 400 km/h", The Transactions of the Korean Institute

of Electrical Engineers Vol. 63, No. 12, pp. 1742-1746, 2014.12

- [10] EN 50317 : 2001, "The European Standard, [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", 2002.
- [11] Y. Park, Y. H. Cho, S. Y. Kwon, K. W. Lee, W. H. You, "Development of 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, pp. 2171-2175, 2011.11
- [12] Y. Park, K. W. Lee, S. Y. Kwon, C. M. Park, J. K. Kim, W. S. Choi, "Analysis of Percentage of Arcing between Pantograph and Overhead Contact Line as a Function of Duration of Arc", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 6 pp. 855-859, 2014.6

### 감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 저 자 소 개



### 박 영 (Young Park)

2004 성균관대학교 전자전기공학 박사  
현재 한국철도기술연구원 책임연구원  
Tel : 031-460-5434  
E-mail : ypark@krii.re.kr



### 이 기 원 (Kiwon Lee)

1997년 RIT(미) 기계공학(공학석사), 2009년  
성균관대 기계공학 졸업(공학박사), 현재 한  
국 철도기술연구원 책임연구원