

팬터그래프와 전차선간 최소 이선아크 지속시간에 따른 이선율 변화량 분석

Analysis of Percentage of Arcing between Pantograph and Overhead Contact Line as a Function of Duration of Arc

박 영* · 이 기 원* · 권 삼 영* · 박 철 민** · 김 재 광* · 최 원 석†

(Young Park · Kiwon Lee · Sam-Young Kwon · Chulmin Park · Jae-Kwang Kim · Won Seok Choi)

Abstract - Quality criteria for interaction between a pantograph and overhead contact wire is a most important requirement to assess of the performance for the current collection system. Interaction performance between pantograph and catenary system is subject to approval by the infrastructure manager when a new design and contraction of overhead contact line and pantograph are installed. Among the various performance, percentage of arcing at maximum line speed is a simple test method compared with contact force of pantograph due to direct sensing of pantograph, calibrations, installations of train, and etc. On the other hand, percentage of arcing is need to reliable arcing detector and general requirements with accordance with EN 50317. In this paper, percentage of arcing are investigated on the function of duration of arc and proposed which is satiable of percentage of arcing. As a results, we proposed which duration of arcs are unsuitable from infrastructures point of view as performance testing for quality of current collection.

Key Words : Arc detector, Loss-of-contact, Current collection, Contact wire, Pantograph

1. 서 론

팬터그래프와 전차선간의 집전성능은 전차선과 차량의 인터페이스 성능으로 기계적, 전기적 검측이 이루어지고 있다 [1,2]. 특히 신규 전차선로나 팬터그래프, 차량개발에 따라 집전성능을 인증하고 검측을 위한 다양한 요구사항과 방법, 시험절차, 결과 분석 방법이 세부적으로 구체화 되어 있다 [3,4]. 상호작용 인증을 위한 집전성능 검증항목은 접촉력 또는 이선율과 전차선 지지점 압상량을 시험하여 평가되며 팬터그래프의 성능과 전차선로의 상태 및 운영조건에 따라 다르며 속도대역에 따라 성능기준 값을 달리 하고 있다. 이 중 팬터그래프의 접촉력 (F_m , Mean Contact Force)과 이선율 (NQ, Percentage of Arcing)은 차장에서 검측 되는 집전성능 인증항목으로 검측 방법에 따라 다양한 검측방법이 활용되고 있다[5]. 팬터그래프 접촉력 검측방법은 팬터그래프에 가속도계 부착 하여 검측하므로 집전에 따른 고전압 환경으로 설치와 검측이 어렵고 교정에 많은 시간이 소비된다. 최근에는 이러한 단점을 보완하고자 비접촉 방식의 이미지 프로세싱기법의 접촉력 검측기술이 개발되고 있다[6]. 이선율 검측은 팬터그래프와 전차선간의 기계적 비접촉에 의해 발

생된 아크를 광학적 방법으로 측정하게 되므로 비교적 단순하나 인증을 위해서는 검출기의 요구사항과 검측방법 및 차량 정보인 전류, 차량속도, 위치 및 검출기의 출력 값 교정 등 다양한 요구사항을 만족하여야 한다. 특히 이선율은 아크 발생 시간의 총 합이므로 아크의 발생시간을 정확하게 정의하고 측정하여야 한다. 국내외 규격의 경우 최소 아크 지속시간을 5 ms 및 10 ms로 별도로 규정하고 있다[7,8].

본 논문에서는 이선율의 최소 아크 지속시간에 대하여 분석하였다. 이선아크의 최소 지속시간은 전차선에 미치는 영향에 따라 아크시간을 정의 한 것이므로 현장시험 결과의 분석을 통해 아크지속시간에 따른 이선율 변화를 분석하여 나타내었다.

2. 본 론

2.1 팬터그래프와 전차선간 이선율 판단 기준

이선율은 팬터그래프와 전차선간의 집전성능 판단기준으로 속도대역에 따라 기준 값이 다르다[9]. 이선율 판단을 위한 규격은 EN50367, IEC62486, EN50317, EN50119가 있다. 이 때 이선율은 식 (1)과 같이 계산되며 최소아크 기준시간은 5 ms이다. 팬터그래프와 전차선간에 발생하는 아크는 전차선과 팬터그래프 집전판의 급격한 마모 및 차량의 동력계에 영향을 미치는 것으로 보고된다. 아크의 물리량은 광 밀도 ($\mu\text{w}/\text{cm}^2$)가 사용되고 있으나 광 밀도의 크기는 최소응답 기준으로만 활용되고 있다[4]. 따라서 이선율에서 식 (1)과 같이 최소아크기준 시간에 따라 차이가 발생되므로 팬터그래프와 전차선간 아크발생 시간이 5 ms 이상만이 문제시

* High-speed Railroad Infrastructure Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, Korea

** R&D Strategy Division, Korea Railroad Research Institute, Korea

† Corresponding Author : Department of Electrical Engineering, Hanbat National University, Korea

E-mail : wschoi@hanbat.ac.kr

Received : April 1, 2014; Accepted : May 1, 2014

된다고 가정하여 설정된 것으로 사료된다. 그러나 현재의 규격에서 이선율을 판단할 때에 운행시간에 따른 최소아크발생시간의 총 합이므로 5 ms 이상의 아크 중 최대 및 최소 아크에 대한 규정이 없이 전체 이선율 (%)만을 판단하게 된다. 이러한 규정은 이선아크 발생의 원인이 차량과 전차선간의 기계적 비접촉에 의해 발생되나 인증시험을 위해 차량과 전차선간의 상호 운영에 대한 적합한 기준만 설정되었을 뿐 차량의 집전장치 또는 전차선의 변형이나 결함에 대해서는 판단하지 않기 때문인 것으로 사료된다. 표 1에 속도에 따른 이선율 판단기준을 나타내었다. 250 km/h 이상의 속도에서는 0.2% 이하의 이선율이 기준 값이며 일반적으로 인증을 위해서는 열차 또는 선로 최고속도 대비 ± 10 km/h 속도대역에서의 최소아크기준시간 이상의 총합을 구하여 식 (1)에 따라 이선율을 구한다. 이 때 기준거리를 10 km 이상으로 하여 통계적으로 신뢰성을 가질 수 있도록 하고 있다.

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

여기서 t_{arc} 는 5 ms 이상의 아크 이속시간 이며 t_{total} 은 차량 정격전류 30 % 이상 일 때의 측정값이다.

표 1 속도에 따른 이선율 판단기준 [10]

Table 1 Requirements for dynamic behaviour and current collection quality [10]

Requirement [km/h]	$v \geq 250$	$250 > v > 160$	$v \leq 160$
Percentage of arcing at maximum line speed. NQ(%) (minimum duration of arc 5ms)	≤ 0.2	≤ 0.1 for AC systems ≤ 0.2 for DC systems	≤ 0.1

식 (2)에 경부고속철도 이선율 기준 값을 나타내었다. 식 (2)과 같이 국내는 경부고속철도 계약서와 일반(고속화)·고속철도 등 철도종합시험 4.3항목에 이선율 기준이 있으며 이 때 최소 아크기준은 식 (2)와 같이 10 ms 이상을 기준으로 두고 있다. 이선율 검측을 위한 시험 방법은 국내의 모두 EN 50317의 세부 규격에 따라 검측하고 있으며 시험 방법은 보고된 바 있다[7,8]. 특히 이선율 기준인 1% 이하여도 100 m 이내에서 1개 이상의 10 ms 이상의 아크가 발생될 경우와 시험 중 25 ms 이상의 아크가 발생에 대한 성능인 증 기준을 별도로 명시하고 있다. 25 ms 이상의 아크에 대한 성능 인증기준은 전체 시험구간에 대해 25 ms 이상의 아크는 전차선과 팬터그래프의 집전판에 심각한 손상이 발생될 수 있기 때문에 별도로 정의하는 것이다.

$$NQ = \frac{\sum \text{이선시간(최소아크지속시간} > 10\text{ms)}}{\text{총검측시간}} < 1\% \quad (2)$$

경부고속철도 기준은 국내 최초의 고속철도 건설 및 운영에 따라 상호 작용을 입증하는 것으로 향후 유지보수와 철도차량의 운영을 모두 포함한 규격으로 사료된다. 이러한 이

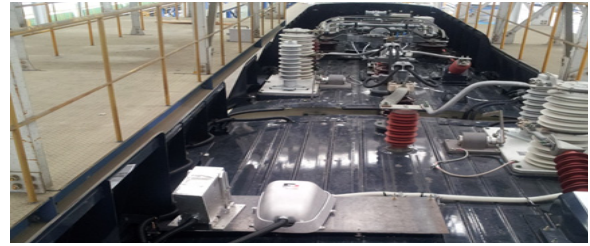


그림 1 HEMU-430X의 이선율 검측장치 설치사진
Fig. 1 Picture of arc detector system installed on the HEMU-430X

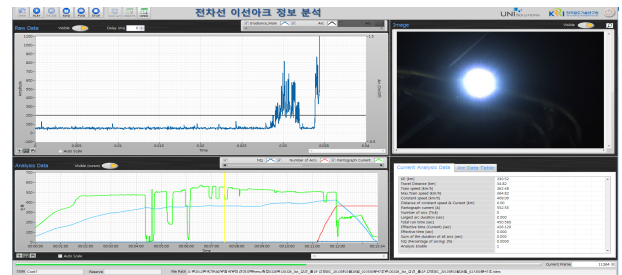


그림 2 HEMU-430X의 이선율 검측프로그램
Fig. 2 The percentage of arcing monitoring program of HEMU-430X

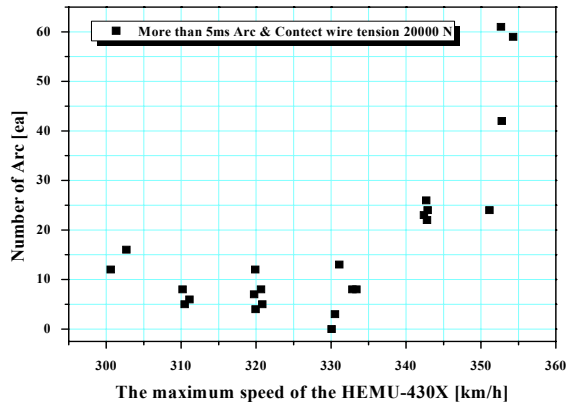
유는 이선율이 1% 미만으로 현재의 인증기준보다는 다소 높으나 100 m 이내에 1개의 아크발생과 최대 25 ms의 아크 발생이 있을 경우 부적합을 나타내기 때문이다. 본 논문에서는 팬터그래프와 전차선간 이선율 검출을 위한 이선아크의 최소 응답기준을 식 (1)과 식 (2)와 같이 국외 및 국내 규격사항을 속도에 따른 이선율 변화량을 분석하였다.

2.2 팬터그래프와 전차선간 이선율 획득 시험

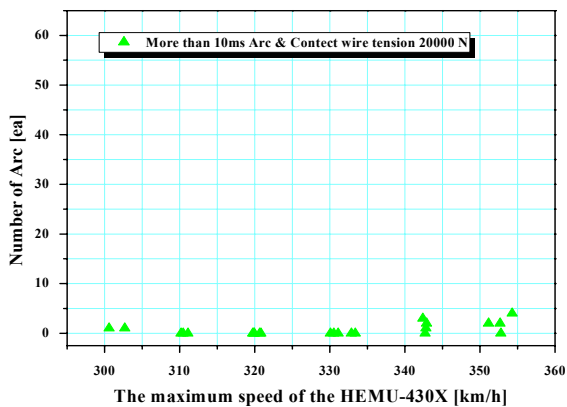
팬터그래프와 전차선간의 이선율 시험은 신규차량, 신규 전차선로 및 속도향상을 위한 집전성능 평가를 위해 수행되는 것이 일반적이다[10,11].

본 논문에서는 이선율의 최소아크 기준시간을 현재의 인증규격인 5 ms와 경부고속철도 기준인 10 ms로 분석을 수행하기 위해 HEMU-430X (Highspeed Electric Multiple Unit - 430 km/h eXperiment)의 증속에 따른 이선율 결과를 분석하였다[12]. 이선율의 최소아크 기준시간의 신뢰성을 확보하기 위해 검측 센서의 측정파장은 220~ 225 nm로 교정하였으며 태양광에 둔감하도록 하였다. 또한 팬터그래프의 집전범위에 따라 신뢰성 있는 검출 DATA를 획득하기 위해 가선 최저높이 4600 mm 및 가선 최고높이 5400 mm간의 좌우 800 mm (± 400 mm)으로 교정하고 검측기의 응답 (V)을 파워밀도 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$) 로 교정하여 설치 이후 동작거리 에 따라 파워 밀도를 d^2 의 법칙을 이용하여 교정하였고 관련 세부 신뢰성 평가는 보고되고 있다[13].

그림 1에 HEMU-430X의 이선율 검측장치 설치 사진을 나타내었다. 검출 센서의 샘플링 주파수는 시험의 신뢰성을 위해 40 kHz로 관련규격의 10 kHz 보다 높게 측정하였으며 아크 발생 이미지를 저장할 수 있도록 비디오카메라를 이용



(a) 5ms 이상의 아크 발생 횟수



(b) 10ms 이상의 아크 발생 횟수

그림 3 HEMU-430X의 속도에 따른 최소아크 시간에 따른 아크 발생 횟수

Fig. 3 The number of arc according to speed and minimum arc for HEMU-430X

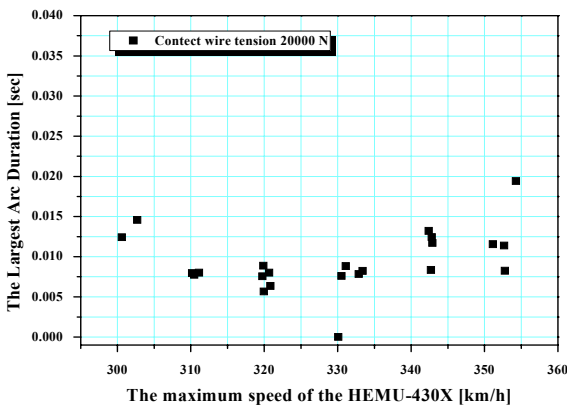


그림 4 HEMU-430X의 최대 아크지속시간

Fig. 4 The maximum arc duration of the HEMU-430X

하여 초당 30장의 이미지를 실시간으로 저장 할 수 있도록 구성하였다.

그림 2에 HEMU-430X의 이선울 검측프로그램을 나타내었다. 그림에서와 같이 비디오 이미지와 아크센서의 검출값을 실시간으로 나타낼 수 있도록 구성하였고 차량의 운행정



그림 5 HEMU-430X의 최고속도 운행이후 집전판과 전차선 현장점검 사진

Fig. 5 The spot inspection of pantograph and contact wire after maximum speed running for HEMU-430X

보와 검출 속도에 따른 이선울 값이 실시간으로 검출 될 수 있도록 구성하였다. 시험 시에는 최소 아크시간을 5 ms로 고정하였고 속도 대역에 따라 증속 목표속도 대비 ± 10 km/h의 대역값만을 기준속도로 하였으며 이 때 전류 값이 30% 이상인 값만을 검출시간으로 계산하였다.

2.3 팬터그래프와 전차선간 이선울 계산을 위한 최소아크 지속시간 분석 결과

그림 3에 HEMU-430X의 속도에 따른 최소아크 시간에 따른 아크 발생 회수를 나타내었다. 그림 3과 같이 5 ms 이상의 경우 속도향상에 따라 아크 발생 수도 증가하였으나 10 ms 이상의 아크의 경우 340 km/h 이상의 구간에서 다소 증가함을 알 수 있다. 그러나 5개미만으로 이선울 계산을 위해서는 통계적 수치가 상대적으로 적었다.

그림 4에 최대 아크 지속시간을 나타내었다. 그림에서와 같이 최대 지속시간의 아크는 약 19 ms로 나타났으나 속도 증가에 따라 증가 경향은 보이지 않는다. 이러한 원인은 시험구간인 경부 2단계 고속철도 구간은 장력이 20 kN으로 상업운행 속도가 300 km/h 이나 HEMU 430X의 경우 최고속도가 430 km/h급으로 설계되어 안정적인 집전이 이루어지지 않은 결과로 사료된다. 그림 5에 HEMU-430X의 최고속도 421.4 km/h 운행 이후의 집전판과 전차선 현장점검 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 집전판과 전차선에 별다른 영향은 발견되지 않았으며 최고 운행속도 당시의 최대아크 지속시간 분석결과 19.59 ms 로 25 ms 이상의 아크가 발생되지 않았던 것으로 분석되었다.

3. 결 론

본 논문에서는 팬터그래프와 전차선간의 이선울 검측에 따른 최소 아크 지속시간에 대하여 분석하였다. 이선아크의 최소 지속시간은 전차선에 미치는 영향에 따라 아크시간을 정의 한 것이다. 최소 아크 지속시간의 국제 기준 분석 결과 이선울은 팬터그래프와 전차선간의 미치는 영향중에 5 ms 이상이나 이선울 이외에 최대 아크에 대한 기준은 없었다. 경부고속철도 1단계는 최소 아크 지속시간은 10 ms이나 25 ms 이상의 아크가 발생 시에는 이선울 결과에 관계없이 인 증기준에 미달 되도록 별도로 정의하고 있다. HEMU-430X

의 속도에 따라 최소 아크 기준시간을 5 ms와 10 ms로 각각 분석한 결과 5 ms는 속도에 따라 증가 경향을 나타내었으나 10 ms는 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 최대 아크 지속시간도 20 ms 이하로 나타났으며 팬터그래프 집전판과 전차선 현장점검 결과 아크에 결함은 발견되지 않았다. 본 논문에서 HEMU-430X의 속도에 따른 아크 발생회수 및 최대아크 지속시간 분석결과 이선율은 5 ms의 최소 아크 지속시간을 사용될 경우 속도에 따른 증가 경향이 나타나므로 인증시험에 적합한 것으로 분석되었다. 그러나 유지보수 등 아크의 크기에 따른 전차선과 팬터그래프의 집전판에 결함이 발생할 수 있는 아크지속시간은 25 ms 이상에서 영향이 있을 것으로 예측되고 있으나 본 논문에서 검출된 최고 지속시간인 20 ms 정도의 아크에서는 특이 사항은 발견되지 않아 전차선과 집전판의 결함이 발생하는 아크시간에 대해서는 별도의 연구가 필요한 것으로 사료된다.

References

- [1] S. Midya, D. Bormann, A. Larsson, T. Schutte, R. Thottappillil, "Understanding pantograph arcing in electrified railways - influence of various parameters", Electromagnetic Compatibility, 2008. EMC 2008. IEEE International Symposium on, 2008.
- [2] Analysis of electrical interferences related to the current collection quality in pantograph - catenary interaction Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F- Journal of Rail and Rapid Transit-2011-Bucca-483-500
- [3] EN 50119:2001, "The European Standard, Railway applications-Fixed installations-Electric traction overhead contact lines", 2001.
- [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. H. Cho, "Analysis of the Major Design Parameters of a Pantograph-Railway Catenary System for Improving the Current Collection Quality", Journal of the Korean Society for Railway vol. 17, no. 1, pp. 7~13, 2014. 2.
- [6] T. Koyama, M. Ikeda, K. Nakamura, S. Tabayashi, M. Niwakawa, "Measuring the contact force of a pantograph by image processing technology", Computers in Railways XIII: Computer System Design and Operation in the Railway and Other Transit Systems, vol. 127, pp. 189~198. 2012.
- [7] Y. Park, Y. H. Cho, S. Y. Kwon, K. 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] Y. Park, S. Y. Kwon, Y. H. Cho, K. Lee, C. M. Park, "Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Catenary", Annual Spring conference of Society of electrical facilities of KIEE, p. 185, 2012.04.
- [9] "A study on improvement of railway test standard about normal (high speed) and high speed rail", KRRRI research report, 2011.
- [10] IEC 62486:2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems- Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.
- [11] Korean Railway Standards, "Enforcement guidelines for a comprehensive examination Railway", 2012.08.
- [12] EN50367:2006, "Railway applications-Current collection systems - Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line (to achieve free access)", 2006.
- [13] S. Y. Kwon, C. M. Park, Y. Park, K. Lee, Y. H. Cho, K. T. Eum, S. W. Kim, H. K. Oh, "Comparative review of the current collection quality parameters between catenary and pantograph by measuring the contact force and arcs simultaneously during new Korean high speed train trial runs", WCRR, 2013.
- [14] 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.

저 자 소 개



박 영 (朴 暎)

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



이 기 원 (李 基 源)

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



권삼영 (權三榮)

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



박철민 (朴哲民)

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



김재광 (金在廣)

2010년 한밭대학교 전기공학과 졸업(공학사), 2012년 동대학원 동학과 졸업(공학석사)



최원석 (崔源錫)

2001년 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 졸업(공학석사), 2006년 동대학원 동학과 졸업(공학박사), 2007년~현재 국립한밭대학교 전기공학과 부교수