

250 km/h급 전철설비의 비전기 기반 검측 기술 구현

An Implement of Vision based Measurement Technology for Traction Power System up to 250 km/h

박 영 식* · 나 경 민**,* · 박 영† **,*
(Young-Sig Park · Kyung-Min Na · Young Park)

Abstract - The traction power system is configured to transmit electricity to the vehicles through mechanical contact between the OCL (Overhead Contact Line) and the pantograph. The system measures the current collection performance of the OCL, or the OCL installation condition is examined through maintenance for commercial operation. Maintenance continues to check the conditions through visual inspection by walking and inspection vehicles. The current collection performance is divided into the percentage of arcing(%), the contact force, and the uplift. The percentage of arcing is composed of a vision based system and used to verify the performance of a new OCL. However, it is not always possible to measure the current collection performance during commercial operation, and maintenance based on human resources can not be replaced. This paper presents the minimum performance condition of video devices in the current collection system of commercial vehicles. In addition, a continuous arcing was measured, and current collection performance was examined on the traction power system at the 250 km/h. It was analyzed with a minimum duration of arc of 1 ms. The frame rate is then shown by comparing the number of frames in the image at the time intervals of the number of the arcing. It is expected that the result of this study can be used for examining the minimum performance of video devices depending on their purpose.

Key Words : Electric railway, Catenary system, Arc, Overhead contact line

1. 서 론

전철설비는 전기철도의 운영을 위한 핵심설비로 차량에 전기를 공급하기 위한 다양한 구조와 설비로 이루어져 있다[1,2]. 전차선은 차량에 접촉되는 전철설비의 핵심부품으로 조가선, 드로퍼, 애자류 등 부속설비와 연계되어 전기를 공급하며 다양한 검증을 통해 설치상태가 확인된다[2]. 국내의 유지보수는 각 운영기관의 유지보수 매뉴얼에 따라 높이, 편위 등 각 항목들을 통해 이루어진다[3]. 개인의 역량에 따라 양호, 육안으로 설비상태를 판단하는 것을 배제하기 위해 설비상태 4단계 판정기준 설정, 표준화된 매뉴얼에 따라 시설물 관리로 표준화 매뉴얼 점검기록부를 활용하고 있으며 전차선로 유지보수차량을 통해 검측한다[4]. 중국은 유지보수를 위한 전철검측차량을 보유하고 있으며 속도별 검측차량과 모니터링 항목 등 세부적으로 구성되며 일본과 유럽

도 이와같이 운영된다[5,6]. 국내의 전차선로 유지보수 차량은 전철시험차와 종합검측차 있으며 전철시험차는 비접촉 레이저 방식으로 전차선 편위, 높이, 마모 등을 측정하며 종합검측차는 라인 카메라와 레이저간의 삼각측정법을 적용하여 높이와 편위를 측정하도록 구성된다[7,8]. 그러나 전철설비 상태 판단을 위한 검측차량의 경우 상업운전 도중 발생하는 집전상태를 상시 검측할 수 없으므로 현재 도보 순회 등 인력위주의 유지보수를 완벽하게 대체할 수 없다. 국내의 경우 전철설비의 집전상태 검측방법은 압상량, 접촉력과 이선율(%)이 있으며 국내 기술기준에 따라 신규 차량의 성능과 신규 전차선로의 집전성능을 검증하고 있다[9,10]. 이선율(%)은 전차선과 팬터그래프간의 이선아크 발생으로부터 검측되며 이선아크는 전력 공급 장애, 전차선과 집전판의 마모, 선로 주변의 전자파 발생 등의 원인이 된다[3,10]. 중국의 경우 모든 상업운전차량의 집전상태를 비디오기반 모니터링 시스템을 운영하고 있다[5].

본 논문은 상업운행차량의 팬터그래프와 전차선간의 집전상태 상시모니터링이 가능한 비디오 장치의 최소성능조건에 대하여 나타내었다. 더불어 이선아크 검측과 함께 250 km/h급 전철설비의 집전상태를 확인하였으며 1ms의 최소아크지속시간으로 연속아크에 대하여 나타내었다. 특히 1ms의 이선아크 발생 간격으로부터 비디오 장치의 최소 초당 이미지(frame/sec)에 대하여 나타내었다. 본 논문에서 제안한 초당 이미지와 이선아크 분석결과의 상호 비교는 상시모니터링 시스템의 사용목적에 따른 최소성능조건

† Corresponding Author : Technology Commercialization Center, Korea Railroad Research Institute, Korea.

E-mail : ypark@krrri.re.kr

* Dept. of Railway System Engineering, Woosong University, Korea.

** Dept. of Railway System Engineering, University of Science & Technology, Korea.

***Smart Electrical & Signaling Division, Korea Railroad Research Institute, Korea.

Received : May 4, 2018; Accepted : June 20, 2018

의 선정에 활용 될 것으로 기대된다.

2. 본 문

2.1 전철설비의 비전기반 검측 시스템

전철설비의 집전상태는 전차선과 팬터그래프간의 이선아크를 검측하여 이선율과 모니터링을 통해 판단된다. 이선율은 아크지속시간(t_{arc})을 유효시간의 합계(t_{total})로 나누어서 백분율하므로 계산되며 운행속도, 팬터그래프 전류의 30 % 이상 값으로 유효시간을 측정한다. 아크지속시간은 국외 규격인 IEC62486에 따라 5 ms와 국내의 경부고속철도 시험기준인 10 ms 이상의 값으로 검측되며 1 ms 이상의 이아크는 상대적으로 증가하므로 연속아크가 많이 발생된다[10,12].

그림 1은 집전상태 상시모니터링 시스템의 구성을 나타내었으며 상시모니터링 장치와 운영 컨트롤러로 구분된다. 차량 상부에 설치되는 상시모니터링 장치는 카메라, 터널과 야간 모니터링이 가능한 조명, 이선아크 검측을 위한 광학센서로 구성되며 장치간의 간섭을 최소화하기 위해 각 장비의 형상에 따라 지그를 제작하였다. 카메라는 운영 프로그램의 호환성을 위한 720 × 480의 해상도, GigE 인터페이스 방식이며 49000 Lumens의 조명으로 구성하였다. 센서는 신뢰성 확보를 위해 EN50317의 따라 측정과장범위, 센서응답과 파워밀도($\mu W/cm^2$), 최소아크응답속도, 허용오차 시험을 수행하였으며 각 항목의 시험은 220 nm에서 225 nm까지의 파장대역의 반응, 광원에서 발생하는 빛의 파워밀도와 센서의 출력범위를 동일하게 교정, 100 μs 미만의 아크광 반응, 팬터그래프 작동범위에 따른 민감도의 허용오차가 10 % 미만인 되도록 수행하였다[13]. 차량 내부에 설치되는 운영 컨트롤러는 접이식 19 inch 슬라이딩 모니터 (1920 X 1080), I7-5930의 산업용 PC, 차량내의 무정전을 대비한 2 kVA의 UPS (Unwireless Power Supply)로 구성하였다. 아크 검측을 위해 차상시스템의 센서로부터 아크발생시간의 정보를 데이터 수집 보드를 통해 100k sample/sec로 전달 받았다. 속도와 전류는 차량 내의

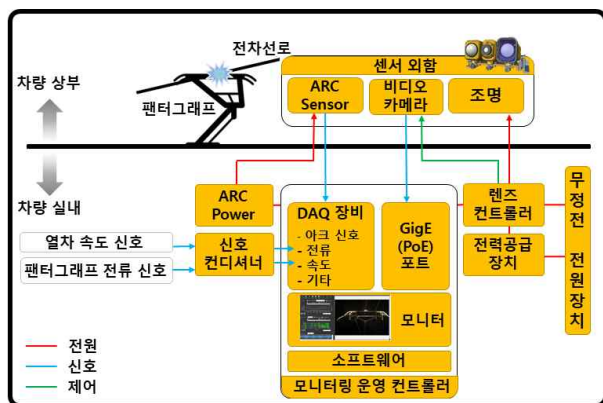


그림 1 집전상태 상시모니터링 시스템의 구성[10]
 Fig 1 Configuration of Overhead Contact Line Inspection System[10]

TCMS (Train Control and Monitoring System)로부터 데이터를 받도록 구성하였다. 또한 운영 컨트롤러의 10 Tb 이상의 저장공간을 확보하여 50 fps (frame/sec)의 고화질 영상을 획득하도록 구성하였다. 운영 프로그램은 연산 알고리즘을 적용하여 실시간 계측과 데이터 저장을 동시에 할 수 있다. 또한 팬터그래프 정격 전류의 30%, 시험속도, 출발위치 (Kilometric Position)를 직접 설정하도록 구성하였다.

그림 2는 KTX-산천의 설치된 상시모니터링 장치의 사진을 나타내었으며 차상의 설치된 모니터링 장치는 차량의 정상운행 상태를 검측하기 위해 운행 방향의 후방 팬터그래프와 전차선의 집전상태를 확인할 수 있도록 설치하였다. 또한 아크광으로부터 민감도를 높이기 위해 반복되는 터널과 개활지 구간의 전차선 높이 차이를 계산하였으며 그 결과 평균 집전높이인 약 2.4 m를 고려하여 이선아크 검측과 집전상태를 상시모니터링 할 수 있도록 설치하였다.



그림 2 KTX-산천의 설치된 상시모니터링 장치[14]
 Fig. 2 Vedio device of KTX-Sancheon[14]

2.2 250 km/h급 고속철도의 전철설비 현장시험

250 km/h급 고속철도는 34개의 터널로 구성되며 KTX-산천의 차량으로 운행된다. 전 구간 아크 분석을 위해 만종역을 출발하여 강릉역에 도착하는 하행방향의 데이터를 1 ms의 아크지속시간으로 분석하였다. 이 중 검측거리 긴 30.22 km의 아크 발생에 데이터를 바탕으로 총 21 km의 대관령 터널의 아크 발생을 속도 250 km/h, 전류 108 A의 운행조건에서 분석하였다. 또한 터널의 고속 강제전차로 Test-bed 구간을 고려하여 80 km부터 100 km까지의 거리의 아크를 분석하였다. 그림 3은 하행방향 대관령 터널의 5 ms 이상의 아크 발생을 나타내었으며 총 7개의 아크가 발생하였다. 최대아크지속시간은 86.38 km에서 약 7.8 ms이며, 그림 4는 전 구간 아크 검측 결과 중 국내 가장 터널인 대관령 터널의 1 ms 이상 아크 검측 결과를 나타내었으며 약 103 km에서 약 17 ms의 최대아크가 발생하였다. 그림 4는 하행방향 대관령 터널의 1 ms 이상 아크를 나타내었으며 최소아크지속시간은 거리 84.68 km에서 1 ms의 아크가 발생하였다. 거리가 약 83 km부터

약 87 km까지 48개, 약 88 km부터 약 91 km 까지 29개, 약 96 km부터 약 98 km까지 21개이며, 총 3곳에서 연속아크를 나타내었다.

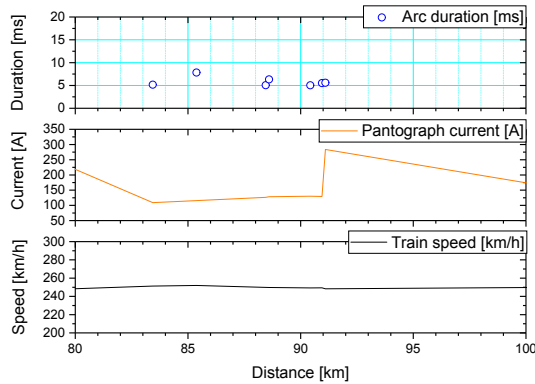


그림 3 하행방향 대관령 터널의 5 ms 이상 아크 검출 결과
 Fig. 3 Arc detection results over 5 ms in Daegwanryong Tunnel (From Manjong to Gangnueng)

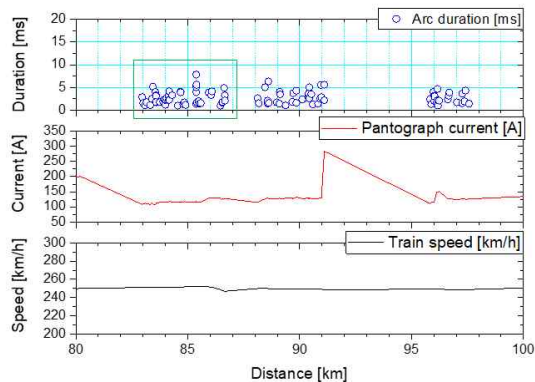


그림 4 하행방향 대관령 터널의 1 ms 이상 아크 검출 결과
 Fig. 4 Arc detection results over 1 ms in Daegwanryong Tunnel (From Manjong to Gangnueng)

2.3 250 km/h급 고속철도의 전철설비 모니터링 결과 분석

그림 3과 4와 같이 5 ms 이상과 1ms 이상의 아크횟수는 차이가 있다. 그러나 최소 200 fps의 비디오 모니터링 검출 사양이 필요하나 모든 차량에 상시모니터링을 위해 고속카메라를 설치하고 이를 저장하는 시스템을 구성하는 것은 한계가 있다. 국제 규격인 IEC62486에 따라 5 ms 이하의 아크의 경우 이선율 기준 값에 포함되지 않는다[11]. 따라서 상시모니터링 장치도 5 ms 이상의 아크지속시간만 측정하여도 된다. 그러나 본 논문은 비디오 시스템의 최소성능조건을 분석하기 위해 각 비디오 이미지 (frame)와 1 ms 이상 아크지속시간의 시간간격을 비교하였다. 표 1은 그림 4에 나타난 대관령 터널의 1 ms 이상 연속아크의 세부 결과이며 그림 4와 같이 연속아크가 3곳에서 발생하였으며 이

중 아크횟수가 많은 초록색박스 부분의 대한 결과를 나타내었다. 이미지 번호는 74235, 74541, 75028, 75527에서 각 2개의 이미지가 발생하였으며 아크지속시간을 제외한 속도, 전류 등 모두

표 1 태관령 터널 1 ms 이상 연속아크의 세부 결과

Table 1 Detailed result of continuous arc over 1 ms in Daegwanryong Tunnel

이미지	속도 [km/h]	전류 [A]	아크지속시간 [ms]	아크발생시간 [sec]
73790	250.98	108.25	2.875	266.84
73826	250.97	110.84	1.55	267.54
73897	251.19	112.33	1.075	268.92
73933	251.2	110.06	1.75	269.64
74049	251.12	108.49	1.1	271.88
74112	251.01	111.52	2.525	273.14
74139	251.33	109.16	5.175	273.66
74219	251.36	108.26	4.025	275.26
74235	251.45	110.94	1.725	275.52
74235	251.45	110.94	3.25	275.52
74236	251.38	111.43	3.125	275.54
74240	250.97	111.77	1.775	275.62
74362	251.2	115.23	1.8	278.06
74469	251	116.85	1.925	280.2
74505	251.21	115.41	2.35	280.92
74541	251.47	114.37	1.175	281.64
74541	251.47	114.37	2.2	281.64
74549	251.35	114.86	2.325	281.8
74576	251.14	117.45	2.675	282.34
74639	251.4	114.81	3.125	283.6
74648	251.35	116.04	2.225	283.78
74657	251.18	117.59	2.275	283.96
74660	251.25	117.68	4.15	284.02
74755	251.25	116.28	3.3	285.92
74933	251.48	116.03	1	289.48
75028	251.63	116.11	4.075	291.38
75028	251.63	116.11	3.925	291.38
75113	251.6	115.68	1.325	293.08
75139	251.85	117.78	1.725	293.6
75183	251.8	115.23	1.15	294.48
75526	251.99	117.43	3.95	301.34
75527	251.94	115.66	5.05	301.36
75527	251.94	115.66	7.825	301.36
75528	251.92	116.13	1.375	301.38
75531	251.84	115.74	5.6	301.44
75549	251.9	116.74	1.7	301.8
75598	251.8	114.59	1.975	302.78
75630	251.92	114.78	1.425	303.42
75666	251.84	116.17	1.55	303.42
75923	251.76	129.45	3.875	309.28
76003	251.35	128.78	3.325	310.88
76028	251.37	130.07	4.125	311.38
76299	248.63	128.66	1	316.8
76360	247.85	124.66	1.65	318.02
76362	247.81	125.49	1.8	318.06
76425	247.09	126.02	4.9	319.32
76444	246.85	126.38	3.25	319.7
76447	246.84	127.5	2.1	319.76

동일함을 나타내었다. 아크발생 후 다음 발생 시간은 평균 1.13 sec이며 최대 6.86 sec에서 최소 0.02 sec의 차이를 나타내었다. 이미지 간격을 평균 56.53이며 최소 1, 최대 343이며 평균 이미지와 시간 간격을 나누면 약 50 fps의 초당 이미지를 나타내었다. 표 2는 대관령 터널의 5 ms 이상 연속아크의 세부 결과이며 그림 3과 같이 1 ms 이상 조건보다 상대적으로 적은 아크가 발생하므로 대관령 터널의 전체거리의 대해 나타내었다. 아크 발생 시간 간격은 평균 11.5 sec이며 최대 26.38 sec에서 최소 0.08 sec의 간격을 나타내었다. 이미지 간격은 평균 689.5, 최소 4, 최대 2218이며 평균 이미지와 평균 아크 발생 시간 간격을 나누면 약 60 fps(720 × 480)의 초당 이미지를 나타내었다. 50 fps (720 × 480) 값을 최소성능조건으로 설정할 경우 상시모니터링을 통한 취약구간의 유지보수가 가능할 것으로 사료된다. 비디오 장치의 경우 25 ms 이상의 아크가 유지보수의 기준값이므로 5 ms 이상으로 분석된 50 fps으로 상시모니터링 하는 것이 바람직하다 [15].

표 3은 만중에서 강릉구간의 5 ms와 10 ms 이상 아크 발생 횟수이며 총 6번의 250 km/h 운행시험에서 10 ms 이상의 최대 아크 발생 횟수는 16개이며 각 각의 평균은 57개, 6개로 나타내었다. 아크 발생 횟수는 전차선로의 오버랩, 터널 등 구간별 시공 상태를 확인할 수 있으며 연속 아크 발생은 전차선과 접촉하는 팬터그래프의 집전판 마모에 영향을 주는 것으로 사료된다 [10,14].

표 2 대관령 터널 5 ms 이상 연속아크의 세부 결과

Table 2 Detailed result of continuous arc over 5 ms in Daegwanryong Tunnel

이미지	속도 [km/h]	전류 [A]	아크지속시간 [ms]	아크발생시간 [sec]
103	251.33	109.16	5.175	14.46
104	251.94	115.66	5.05	42.16
105	251.94	115.66	7.825	42.16
106	251.84	115.74	5.6	42.24
107	249.85	126.43	5.05	68.32
108	249.79	128.4	6.325	70.6
109	249.32	130.04	5.025	96.98
110	249.41	129.38	5.525	104.1
111	248.35	283.69	5.6	106.56

표 3 아크 발생 횟수 정리 (5 ms 및 10 ms 이상)

Table 3 Summary of number of arc (over 5 ms and 10 ms)

최고속도	5 ms 이상	10 ms 이상	합계
252.1	42	10	52
254.5	114	16	130
248.07	51	4	55
249.8	35	-	35
259.14	59	4	63
260.89	42	-	42

3. 결 론

본 논문은 전차선과 팬터그래프의 집전상태 상시모니터링 장치의 최소성능조건을 파악하기 위해 250 km/h급 전철설비의 모니터링과 이선아크 검측결과를 바탕으로 1 ms와 5 ms 이상 이선아크의 시간간격을 비교 분석하였다. 최소아크지속시간 1 ms 이상 조건에서 초당 이미지가 증가하고 각 이미지와 발생시간의 간격이 감소하는 것을 나타내었다. 이는 최소시간지속시간이 작아질수록 초당 이미지의 증가가 필요할 것으로 사료된다. 또한 최고속도인 250 km/h의 아크 발생 횟수를 분석하였으며 집전상태에 영향을 주지 않은 것으로 사료된다. 상시모니터링 장비는 전철설비를 점검하는데 있어서 편리하고 본 논문에서 제안한 시험결과를 토대로 이선율, 유지보수 등 사용목적의 따라 비디오 장치의 최소성능조건으로 활용 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] S. Y. Oh, S. H. Park, Y. Park, H. Y. Cho, J. T. Song, "Analysis of dynamic/electric characteristic assessment system implementation technology for overhead contact lines", *Fall conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1174-1179, 2009.

[2] Y. Park, K. Lee, S. Y. Park, J. Y. Park, W. S. Choi, "Implementation of Multi-functional Type Condition Monitoring System for Railway Catenary Systems", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 64, no. 9 pp. 1406-1410, 2015.

[3] Y. Park, S. K. Shin, K. Lee, J. Kim, W. Kim, "Analysis of Current Collection Performance using Real-time Measurement of Current for Overhead Contact Line on the Track-side", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 62, no. 4, pp. 573-576, 2013.

[4] H. J. Park, Y. Park, H. S. Jung, H. C. Kim, "A Comparative Study on the Railway Electricity Maintenance Management", *Fall conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1202-1207, 2011.

[5] Gao S.B, Liu Z, G. Yu L, "Detection and Monitoring System of the Pantograph-Catenary in High-speed Railway (6C)", *International Conference on Power Electronic System and Application*, pp. 1-7, 2017. 12.

- [6] K. S. Yoo, C. H. Lee, G. Y. An, J. T. Kim, "Investigation of Effective Maintenance System for the Infra on the Conventional Line Prepared for the Tilting Train Service", *Fall conference of the Korean Society for Railway*, pp. 79-87, 2008.
- [7] G. H. Jang, (2015), "A study on the Optimization for Automatic Inspection System of Catenary", Ph.D. Thesis, Woosong University, Daejeon, Republic of Korea, 151 pages.
- [8] S. G. Song, "Development of Catenary Stagger and Height Measurement System using Laser", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 11, no. 6, pp. 569-574, 2008. 12.
- [9] KRTS-VE-Part1-2016(R1), Minister of Land, Infrastructure and Transport, 2016.
- [10] Y. Park, K. 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.
- [11] Y. M. Gimm, Y. J. ju, J. S. Yoo, B. C. Koo "Measurement of EMI by High-Speed Train System", *Spring Conference of the Korean Society for Railway*, pp. 1157-1162, 2008. 11.
- [12] IEC 62486:2010, "International Standard, Railway applications-Current collection systems-Technical criteria for the interaction between pantograph and overhead line", 2010.
- [13] 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, pp. 2171-2175, 2011.
- [14] K. M. Na, Y. Park, Y. H. Cho, S. Y. Kwon, K. Lee, W. You, "Analysis of Current Collect Performance Depending on Installation Condition of Overhead Contact Line in Suseo High Speed Line", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 66, no. 4, pp. 727-732, 2017. 04.
- [15] UIC799-2002 Characteristics of a.c. overhead contact systems for high-speed lines worked at speeds of over 200 km/h. 2002

저 자 소 개



박 영 식 (Young-Sig Park)

1971년 5월 1일생.
2010년 3월 한밭대학교 전기공학과 졸업
2013년 3월 우송대학교 전기공학 석사
2015년 2월~현재 우송대학교 박사과정



나 경 민 (Kyung-min Na)

2015년 고려대 전자 및 정보공학부 졸업(공학학사), 2018년 과학기술연합 대학원대학교 철도시스템공학과 졸업(공학석사), 현재 동대학원 동학과 박사 과정



박 영 (Young Park)

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