

전기철도 전차선로의 설치 상태 판단을 위한 복합검측 기술 구현

Implementation of Multi-functional Type Condition Monitoring System for Railway Catenary Systems

박 영* · 이 기 원* · 박 신 영** · 박 준 영*** · 최 원 석†

(Young Park · Kiwon Lee · Shin Young Park · June Young Park · Won Seok Choi)

Abstract - The railway catenary systems consist of a complex structure, electrical and mechanical conditions are exposed to dangerous environment due to current collection between pantograph and catenary systems. These two types of conditions for the catenary systems are critically assessed for management and are becoming increasingly more dependent on reliable inspection system. In this paper, a new measurement system which enables inspection of catenary faults was studied and implemented. The system uses wavelength band of ultraviolet (UV) and IR (Infrared) to measure the insulation of corona and temperature of catenary wire. In order to determine the sensitivity of implemented system, the performance test such as distance detection range of UV camera and temperature resolution of IR camera were conducted, respectively. The field test of development system was also conducted in metro and high-speed line using mobile type UV and IR multi-composited measurement systems.

Key Words : Inspection car, Railway infrastructure, Maintenance equipment

1. 서 론

전차선로는 차량에 전기에너지를 전달하는 전기철도의 핵심 설비로 전차선, 애자, 브라켓, 장력장치 등 다양한 부품으로 구성된다[1]. 최근 전차선로의 속도향상에 따라 팬터그래프와의 안정적인 접촉을 위해 장력이 34 kN으로 향상되고 고속철도의 속도가 400km/h 급으로 향상됨에 따라 전차선로의 부품별 중요도가 높아지고 있다[2]. 특히 전차선로는 단선으로 구성되어 있으며 속도향상에 따라 기계적, 전기적 상태변화가 나타날 수 있어 다양한 검측기술이 요구된다[3-5]. 전차선로 검측기술은 차량과 전차선간의 운영 특성을 평가하여 집전성능을 판단하는 기술과 각 부품의 성능을 검측하여 상태를 판단하는 기술로 구분할 수 있다[6, 7]. 그러나 전차선은 기계적 피로와 전기적 가압 상태이므로 각 부품의 상태를 판단하기 위해서는 기계적인 성능과 전기적인 성능을 동시에 판단하여야 한다. 현재 전기철도의 상태를 탐지 위해서는 기계적, 전기적 결함을 동시에 판단하기 위해 적외선 카메라를 이용하여 온도변화를 모니터링 하는 기술

이 사용되고 있다[8]. 그러나 애자 등은 온도변화 이외에 전기적 방전에 의해 발생하는 자외선을 검측하고 있다[9].

본 논문에서는 전차선로의 설치 상태 판단을 위해 온도와 전기적 방전 특성을 동시에 검측이 가능한 모니터링 시스템 구현에 대해 나타내었다. 온도 특성은 적외선 검측시스템을 전기적 방전특성은 자외선 검출장치를 통합하여 실화상과 연계된 복합장치를 구현하였다. 특히 복합 판단이 가능한 소프트웨어를 개발하여 고속과 도시철도 구간에서 전차선로가 부설된 현장에서 검측한 결과를 나타내었다. 본 논문에서 제안된 복합검측 장치는 절연물이 포함된 전차선로의 기계적, 전기적 특성을 동시에 판단할 수 있는 특성이 있어 실질적인 상태 판단에 도움이 될 것으로 사료되며 특히 신규 전차선로 부품 개발 및 적용에 따른 상태를 효과적으로 판단할 것으로 기대된다.

2. 본 론

2.1 적외선 및 자외선 검측장치 구현

본 논문에서는 전차선로 상태를 복합적으로 검측하기 위해 적외선 및 자외선 검측장치를 각각 구현하여 이를 동시에 검측이 가능하도록 구성하였다. 표 1에 복합 구현된 전차선로 상태모니터링 장치의 세부사양을 나타내었다. 적외선 해상도는 320 × 240 픽셀로 제작하였으며 검측 온도범위는 -20℃ ~ 120℃ 검측하도록 개발하였다. 특히 온도 분해능은 0.1℃ 이하로 측정이 가능하도록 개발하였다. 자외선 검측장치는 185 ~ 260 nm 대

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

E-mail : wschoi@hanbat.ac.kr

* Dept. of High-Speed Railroad Research Center, Korea Railroad Research Institute, Korea

** Department of institute of Technology Hansung Heavy IND.CO.LTD

*** CNC AID CO.LTD

Received : July 30, 2015; Accepted : August 18, 2015

표 1 전차선로 복합 검측장치 세부 사양

Table 1 Equipment specifications of multi-function fault inspection system for railway catenary systems

장치	항 목	단 위	목 표
적외선	1. 해상도	픽셀	320×240이상
	2. 검출 온도 범위	섭씨	-20°C~120°C
	3. 온도 정확도	섭씨	±5°C
	4. 온도 정밀도	섭씨	0.1°C
	5. 프레임율	FPS	30
자외선	6. 센서	Type	광증배관
	7. 검출영역	nm	185-260
	8. 공급전압	V	400~500
실영상	9. 센서	Type	CMOS
	10. 해상도	Pixel	1280*720
	11. 프레임율	FPS	30
기타 시스템	12. 저장방식		JPG, BMP
	13. 표시방식		7인치 TFT-LCD Monitor
	14. 통신방식		USB, RS485
	15. 크기	mm	180*302*215
	16. 중량	kg	1.5
	17. 배터리	시간	2시간

역을 검출 할 수 있도록 구성하였으며 태양광의 자외선에서는 반응하지 않도록 구성하였다. 공급 전압은 400 V에서 500 V로 구성하였고 민감도는 1,000 CPM이다. 검측장치는 장거리의 전차선로를 도보 순시 중 사용이 가능하도록 휴대용으로 디자인 하였다. 특히 4시간 동안 사용이 가능하도록 배터리 용량을 확보하였으며 복합 검측 중 실제 영상이 저장 가능하도록 CCD 타입의 카메라를 복합 하여 적외선, 자외선 및 실영상 값이 저장되도록 구성하였다. 그림 1에 전차선로 복합 검측장치 사진을 나타내었다. 복합검측장치는 그림 1에서와 적외선 검출부, 적외선 검출부 및 실영상 검출부로 구성된다. 또한 각 검출 부에서 DB를 수집하고 이를 처리하여 화면에 표시하며 저장하도록 구성하였다. 자외선 검출 부는 전기적 결함에 의해 발생하는 자외선을 검출하며 자외선 신호의 세기, 및 횟수를 측정하여 처리한다. 실영상은 진단 대상을 실영상 데이터로 수집하여 저장함으로 보고서 작성 및 현장 사진 등 비교를 위해 사용하도록 구성 하였다. 적외선 검출 부는 전기적 결함에 의해 발생하는 적외선을 검출하여 사용자 화면에 영상으로 구현하며 영상에는 최고 온도 자동 표시와 그 외 최고 10개 Spot에 대한 온도 정보를 비교 분석할 수 있도록 사용자 화면에 표시할 수 있도록 구성하였다. 검측시스템 후면은 7인치 화면에 모든 측정 데이터가 표시될 수 있도록 구성하였으며 개폐 구조로 운용이 용이하게 구성하였다. 그림 2에 적외선 및 자외선 복합검측 장치의 프로그램 운영 화면을 나타내었다. 프로그램은 날짜, 시간, 작업구간, 기자재번호, 온도, 습도와 같은 진단 장소 및 환경에 대한 사항 입력이 가능하도록 사용자 입력



그림 1 전차선로 복합검측장치 사진

Fig. 1 Picture of multi-function fault inspection system for railway catenary system



(a) 운영화면

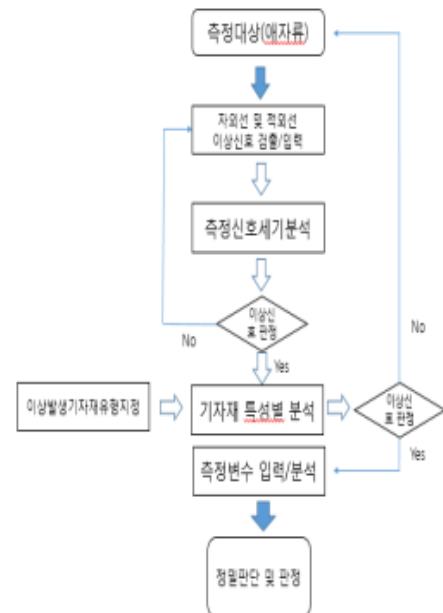


그림 2 적외선 및 자외선 검측시스템 운영화면 및 측정 순서

Fig. 2 Picture of operation windows for UV and IR inspection systems and measurement processing of inspection system

가능이외에 작업구간 등을 입력이 가능하도록 구성하였으며 영상 보정 및 조정, 최대 10값 온도 표시 마커 등의 기능을 수행하도록 구성하였다. UV Chart는 코로나, 아킹, 트랙킹 등에 의해 발생하는 자외선을 검출하여 그래프를 나타낼 수 있도록 하였고, Temp Chart는 영상에 표시된 온도값을 최대 10 Point까지 그래프로 표시하여 온도변화 트렌드 분석이 가능하도록 하였다. 적외선 및 디지털카메라를 선택하여 화면에 표시하며 줌 기능을 통해 화면을 확대하여 볼 수 있도록 구성하였다. 그림 2(b)에 자외선 및 적외선 검출 순서도를 나타내었다. 이상 발생 시 3회 이상 이상신호를 재 측정하도록 하여 각 부품의 특성에 따라 검출이 되도록 구성하였다.

2.2 전차선로 적외선 및 자외선 검측장치 성능 평가

본 논문에서 개발된 전차선로 적외선 및 자외선 검측장치는 기계적 전기적 특성을 온도와 코로나 등 자외선 발생을 복합 검측 장치로 구성하였다. 성능 검증은 자외선의 경우 고속철도 전차선로 400 km/h 선로에 구성된 폴리머타입의 애자를 이용하여 성능을 평가하였다. 폴리머 애자의 경우 임의로 오염 및 회손 시키고 절연저항계 10 kV용을 이용하여 절연저항을 측정하였다. 3개의 폴리머애자는 절연 저항값은 각각 1.79 TΩ, 16.8 GΩ 및 564 MΩ으로 각각 나타났으며 그림 3에 절연성능 시험 사진을 나타내었다. 절연 저항이 측정된 애자류는 본 논문에서 제안한 자외선 센서를 이용하여 13.4 kV 및 22.9 kV 인가 시 최고 검출되는 거리를 측정하였다. 검측결과 절연 저항 1.79 TΩ, 16.8 GΩ 및 564 MΩ 애자의 13.4 kV 인가 최소 검측거리는 미 검출, 1.5 m 및 0.45 m 결과로 나타났으며 표 2에 결과를 나타내었다. 절연저항에 따라 애자의 거리가 일정하지 나타나지 않은 이유는 임의 훼손에 따른 위치 및 성능변화로 판단되며 성능기준을 별도로 축출하기 위해 절연성능 500 MΩ의 애자를 13.5 kV 인가에 따라 코로나 검출 양을 시험하였다. 시험결과 14 m의 진단거리에서는 71 UVP가 검출되었으며 20 m의 진단거리에서는 53 UVP가 검출되었다. 이러한 결과는 일반적인 검출 거리에 따라 자외선 검출이 용이하게 검출 되는 것을 나타낸다. 복합검측장치의 적외선 성능시험은 적외선 검출 성능 시험을 통해 적외선 검출부의 온도 분해 능력을 평가하였다. 분해능 시험은 적외선 온도 분해능 시험 ASTM E-1213 규격에 따라 시험하였다. 시험결과 온도분해능은 0.07℃로 나타났으며 이러한 결과는 일반적인 요구사항인 0.1℃에 비해 매우 낮은 수치이다. 그림 4에 호남고속철도 정읍, 익산구간에서의 400 km/h 전차선로 결합탐타를 위한 세부 사진을 나타내었다. 그림에서와 같이 호남고속철도 전차선로의 애자류 및 금구류 이상 발생에 대해서 적외선 및 자외선 복합검측장치를 이용하여 검출하였다. 세부 시험방법은 적외선의 경우 단상 온도비교법을 이용하여 상대온도차이(5℃ 이하 일 때 절대 온도차이(20℃ 때 각각 정상치로 판단하였으며 방전검출은 1분 회 5회 미만일 때에 정상으로 판단하였다. 호남고속철도의 경우 총 5개소 시험결과 적외선 및 자외선 관련 이상온도와 방전은

검출할 수 없었다. 이러한 결과는, 400 km/h급 전차선로의 경우 안정된 전력이 공급되고 있음을 나타낸다.



그림 3 절연성능 시험 사진

Fig. 3 Picture of insulation performance testing



그림 4 호남고속선 정읍-익산간 Test-bed 현장 시험 사진

Fig. 4 Picture of multi-function fault inspection system on OCL (Overhead Contact Line) in Honam high-speed Line

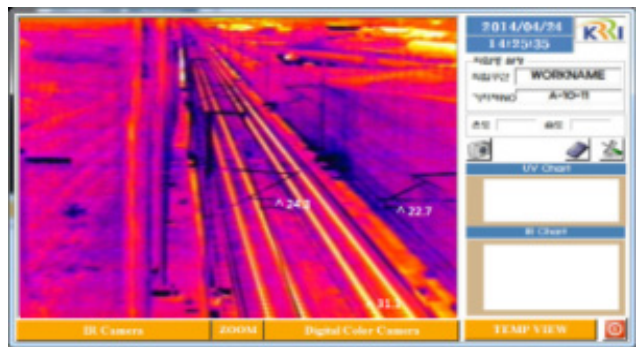


그림 5 적외선, 자외선 복합 진단 화면

Fig. 5 Program windows of UV and IR diagnosis image

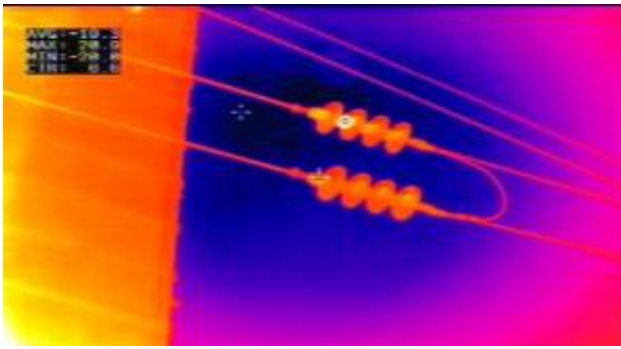
그림 6에 도시철도구간 전차선로 현수애자 및 금구류의 진단 결과를 나타내었다. 그림에서와 같이 현수애자 2번 금구에 이상 현상이 발생됨을 알 수 있었고 주변 동일한 기자재와의 온도차는 20℃였다. 상대온도차 20℃ 애자를 철거 후 세부 사진은 그림 6

3. 결 론

본 논문에서는 전차선로의 기계적 전기적 상태를 판단하기 위한 적외선, 자외선 복합 검측 시스템 구현을 나타냈다. 적외선 검출장치의 온도 분해능은 0.07℃이며 자외선 검출장치는 185 ~ 260 nm 대역을 검출 할 수 있도록 구성하였다. 복합 구성된 적외선 및 자외선 검출장치는 실화상 검측 장치를 포함하여 1개의 검측장치로 구성하였으며 운영시스템을 포함한 휴대형으로 개발하였다. 복합 검측장치를 이용한 호남고속철도 400 km/h 구간의 전차선로 5개소를 검측은 적외선의 경우 단상 온도비교법을 이용하였고 자외선의 경우 코로나 방전검출의 빈도와 세기를 검출하였다. 시험결과 400 km/h급 전차선로의 경우 안정된 전력이 공급되고 있음 확인하였다. 도시철도 구간 복합진단 결과 현수애자에서 온도차 20℃를 검출하였으며 세부 분석 결과 내부방전이 발생하는 것으로 나타났다. 본 논문에서 제안한 전차선로 복합검측 장치는 신규 전차선로 건설에 따른 상태를 판단할 수 있으며 특히 온도 특성이 민감한 강체전차선로의 설치상태 판단에 활용 될 것으로 기대된다.

References

- [1] I. K. Kang, "Contact Lines for Electric Railways", Sungandang, p. 5, 2006.
- [2] C. M. Park, Y. Park, Kiwon Lee, S. Y. Kwon, J. M. Kim, "Evaluation schedule for current collection performance of 400 km/h catenary system in Honam high-speed line", Annual Summer Conference of Korean Institute of Electrical Engineers, 2014.
- [3] T. H. Lee, S. W. Kim, "Development of HEMU 430X and its testing plan", Electrical World of KIEE Vol. 62, No.6 2013.06.24.-29
- [4] S. S. Kim, C. S. Park, "High Speed Rail Measurement System of HSR-350x", Journal of the Korean Society for Railway Vol .11, No. 2, pp. 115-119 2008.
- [5] Y. Y. Lee, S. H. Ryu, B. R. Kim, J. O. Lee, "A Study of Overall Measurement System for the Power dispersed High Speed Railway with 400km/h of Maximum Test Speed", Spring Conference of the Korean Society for Railway , pp. 1785-1790, 2010.07.
- [6] K. Lee, "A Experimental Study on Train Speed and Wave Propagation Speed of Contact Wire according to the Speed-up", The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 12, pp. 1820-1823, 2013.
- [7] H. J. Kim, Y. Park, Y. H. Cho, C. J. Cho, I. C. Kim, "Development of Image Processing Technology for Interaction between Pantograph and Overhead Contact Wire", Journal of the Korean institute of electronic material engineers, Vol. 22, pp. 1084-1088, 2009.



(a) 복합진단 사진



(b) 세부 결합사진



(c) 방수재 부위 크랙 발생사진

그림 6 광역도시철도구간 전차선로 현수애자 및 금구류의 진단 결과

Fig. 6 Test results for suspension insulator system in metro line

에 나타내었다. 철도구 관찰 결과 그림과 같이 현수 애자에 핀홀이 형성됨을 알 수 있으며 내부방전이 외부로 발산하여 나타난 결과로 외부의 미소 크랙에 의해 내부에 수분이 침투가 원인은 것으로 판단된다. 애자류에 수분이 침투되면 온도변화에 따라 팽창과 수축이 되어 내부 결함이 발생되어 균열을 가속시키고 내부 방전에 의해 핀홀이 발생되게 된다. 수거된 시료는 5,000 V megger를 이용해 측정하였으며 측정값은 20 MΩ이 나타나 절연에는 큰 이상은 없었으나 누설전류라 300 mm 정도 발생되었다.

- [8] 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.
- [9] 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.



박 신 영 (Shin Young Park)

1996년 광운대학교 전기공학과 졸업
2008년~현재 : 한성중공업(주)재직



최 원 석 (Won Seok Choi)

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

감사의 글

본 연구는 국토교통부 『강제전차선로 시스템 상세설계 파라미터 연구 및 검증』 과제 및 국토교통부 『증속에 따른 전차선로 시스템 기술개발』 과제의 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 한국 철도기술연구원 책임연구원



박 준 영 (June Young Park)

1999년 대전대학교 경제학과 졸업
현재 씨앤씨에이드 대표이사