

전기철도의 전차선로 형상검측을 위한 광학기반 검측 장치 구현

Implementation of Optical-based Measuring Instrument for Contact Wire Geometry in Electric Railway

박 영^{1,a}, 조용현¹, 정호성¹, 이기원¹, 김형철¹, 권삼영¹, 박현준¹, 김원하²
(Young Park^{1,a}, Yong Hyeon Cho¹, Hosung Jung¹, Kiwon Lee¹, Hyungchul Kim¹, Sam-young Kwon¹,
Hyunjune Park¹, and Wonha Kim²)

Abstract

We propose an optical-based measuring instrument of catenary system in electric railway. This system was made to utilize line scan camera as inspecting system to measure the stagger and height of overhead contact wire in railway and composed with optical type source and FPGA-based image acquisition system with PCI slot. Vision acquisition software has been used for the application to programming interface for image acquisition, display, and storage with a frequency of sampling. To check the validity of our approach for the intended application, we monitored height and stagger in the overhead wire of a high-speed catenary system in Korea. The proposed optical-based measuring instrument to measure the contact wire geometry such as the hight and stagger shows promising on-field applications for online condition motoring. We expect that a new generation of real-time instruments with demanding various conditions motoring requirement in railway can be easily integrated into optical-based measuring instrument system.

Key Words : Catenary, Electric railway, Overhead contact wire

1. 서 론

최근 전기철도의 도입과 고속화는 세계적 추세로 국내의 경우 2004년 KTX (Korea Train eXpress) 도입 이후 전차선로의 지속적인 건설이 이루어지고 있다. 전차선로는 전기차의 팬터그래프와의 기계적 접촉에 의해 동력용 전력을 급전하는 시설로 전기철도의 핵심 설비이다[1]. 또한 활선상태로 AC 25 kV의 전원이 공급되고 있고 5 m 이상의 높이로 상태검측을 위해서는 열차가 운행되지 않은 야간에 단전이후 유지보수 차량을 이용하여 수행하여야 한다[2]. 전차선로의 상태검측은 열차의

운행에 따라 발생하는 다양한 물리량을 측정하는 것으로, 전차선의 높이 및 편위와 기계적 접촉에 의해 발생하는 마모가 국제규격으로 제정되어 있어 필수적이다[3,4]. 이중 전차선의 높이는 집전기와 접촉하고 있는 전차선의 높이 변화를 측정하는 것이고 편위의 경우 집전기와 접촉하고 있는 전차선의 흔들리는 폭을 검측 하는 것이다. 그러나 전차선의 기하학적 형상을 검측 하는 전차선 높이 및 편위 측정시스템은 검측 열차에 별도로 탑재하여 이동 중 검측하여야 하고 국내에 적합한 시스템을 개발하여야 하므로 광학기반으로 형상을 검측한 이후에 이를 수치적으로 변화시키는 기술이 필요하다[5].

본 논문에서는 전차선 높이 및 편위 비접촉 검측을 위해 광학기반의 시스템을 구현하였다. 검측 시스템은 라인스캐너 (line scan camera)와 할로젠 광원을 이용하였으며 실시간 데이터 저장 및 제어를 위해 실시간 모니터링 프로그램을 개발하여 시스템을 구성하였다.

1. 한국철도기술연구원 집전전력연구실
(경기도 의왕시 월암동 360-1)
2. 경희대학교 전자정보대학
a. Corresponding Author : ypark@krii.re.kr
접수일자 : 2008. 7. 11
1차 심사 : 2008. 8. 11
심사완료 : 2008. 8. 22

2. 실험

2.1 실험장치구현

라인스캔 카메라는 일차원 선형 구조의 센서를 이용하여 줄 단위로 스캔함으로써 이차원 이미지를 획득하는 방식의 카메라이다. 카메라 혹은 촬영 대상의 이동으로 센서에 수직인 축을 따라 이차원 이미지를 얻을 수 있으며 일반적으로 고속으로 움직이는 대상의 촬영과 일반적인 카메라에서 지원하지 못하는 고해상도 촬영 등에 효과적이다. 본 연구에서 사용한 라인스캔 카메라는 빠른 응답속도 (처리량 800 MHz)로 4096 Pixel, 10 μ m 및 18 kHz의 규격을 갖고 있다. 전원은 12 V DC 전원을 이용하였고 컨트롤을 위한 컴퓨터와의 연결은 MDR26 Camera Link를 이용하였으며 데이터의 전송도 동일하다. 전차선을 검지하기 위한 라인스캐너의 광원은 1.2 kW의 UV 조명을 이용하였다. 또한 이미지 전송 및 저장을 위한 프레임 그레버(Frame Grabber)는 PCI 형식의 Camera Link Image Acquisition을 이용하여 그림 1과 같이 구성하였으며 각 2개를 컴퓨터에 구성하여 영상 이미지를 획득하며 라인스캐너를 제어하였다.

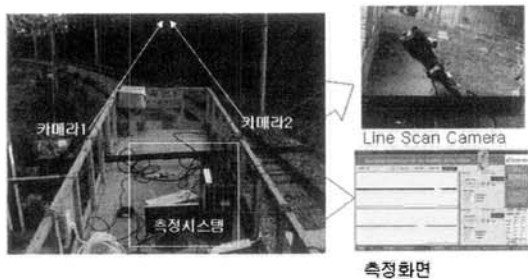


그림 1. 전차선 높이와 편위 검측 시스템 구성 사진.
Fig. 1. Configuration of inspecting system to measure the stagger and height of overhead contact wire.

2.2 프로그램 및 실험방법

전차선 높이 및 편위 검측을 위한 프로그램은 전차선 위치를 자동으로 검색하기 위한 전차선 영상 추출 프로그램으로 Real-time 동작과 전차선의 이미지를 카메라로 검측하여 이를 저장하는 순으로 그림 2와 같이 프로그램을 개발하였다. 개발 소프트웨어는 LabVIEW Real-Time Module, FPGA Module for Windows, Full DevSystem for Win200/NT/XP를 이용하였으며 Windows 환경 호환

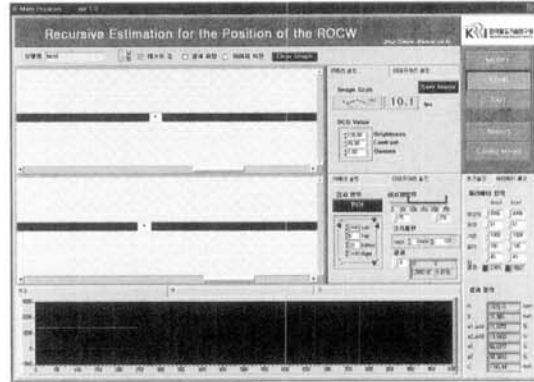


그림 2. 전차선 높이 및 편위 측정 프로그램.
Fig. 2. Program of height and stagger monitoring system for overhead contact wire.

성을 갖도록 개발 하였다. 특히 이미지 검출에 따른 저장은 프레임별, 이미지 사이즈별 저장이 가능하여 다양한 옵션이 가능하도록 하였다. 또한 프로그램은 정적시험과 동적시험 테스트에 따른 채널 보정이 각각 가능하도록 하였으며 보정을 위한 실시간 모니터링 측정 이전에 각각 실시하였다.

시스템 검증을 위한 현장시험은 실험실 내에서의 모의시험과 시험선 시험을 실시하였으며 실제 선로는 KTX 운행구간인 호남선 계룡역 인근 약 2 km 구간에서 실시하였다. 전차선은 상시 25 kV의 전압이 흐르고 있으므로 실증 시험을 위해 시험구간의 전압을 차단하고 KTX등 열차가 운행하지 않은 야간에 실시하였다. 검측을 위한 열차는 전차선로보수차인 모터카의 상부에 지그를 이용하여 고정하고 속도 10 km를 유지하여 검측 하였으며 곡선부 선로의 기울기에 따른 보정을 위하여 각도(Tilt) 센서를 이용하여 각도를 보정하였다.

3. 결과 및 고찰

전차선 높이 및 편위 검측 시스템은 두개의 라인스캐너를 각각 그림 3과 같이 각각 위치하고 카메라의 각도와 전차선이 나타나는 영상의 위치에 따라 측정하는 시스템이다. 그림 1에서와 같이 카메라의 고정을 위해 두 대의 카메라는 지그위에 설치하고 지그로부터 45°로 기울어져 있다. 또한 카메라 렌즈의 광각은 61°이다. 따라서 두 대의 카메라가 각각 찍을 수 있는 광각은 14.5° ~ 75.5°

가 된다. 그리고 지그와 전차선과의 거리는 128 cm 이다. 그림 4는 삼각 측량 공식을 이용하기 위하여 양쪽의 카메라와 전차선과의 각도를 나타내고 있다. 그림 4에서 양쪽의 카메라가 전차선을 찍은 각도를 α_0, α_1 이라 했을 때 삼각 측량 공식으로 높이와 편위를 측정하는 식은 다음과 같다.

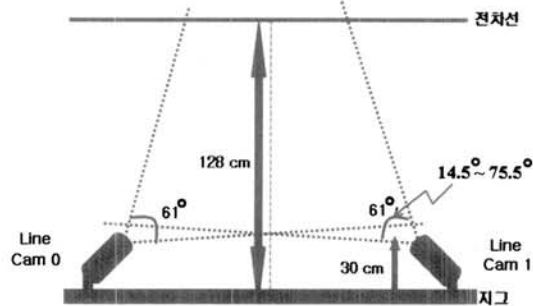


그림 3. 전차선 영상 획득 시스템 구조.
Fig. 3. The overall structure of overhead contact wire monitoring system.

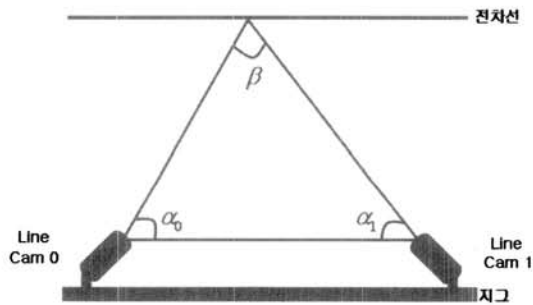


그림 4. 삼각 측량법을 이용한 카메라와 전차선의 구조.
Fig. 4. Framework of an triangulation method between contact wire and line camera.

$$H = \frac{C \sin \alpha_0 \sin \alpha_1}{\sin(180^\circ - (\alpha_0 + \alpha_1))} \quad (1)$$

$$S = \frac{C \sin \alpha_0 \cos \alpha_1}{\sin(180^\circ - (\alpha_0 + \alpha_1))} - \frac{C}{2} \quad (2)$$

여기서 H는 높이(Height)이고, S는 편위(Stagger)이다. 또한 C는 지그의 길이이다.

본 논문에서 구현한 전차선 높이 및 편위 검측 시스템은 선로를 따라 이동하는 열차에서 측정하므로 그림 5에 전차선을 추적하여 높이와 편위를 측정하는 전체적인 과정과 획득 이미지를 나타내었다. 라인스캐너를 통해 측정된 이미지는 영상 이미지의 픽셀 포인트에 대한 픽셀 값을 그래프로 표시하고 (Pre-processing) 라인스캐너의 검측 각도 이외의 값은 노이즈로 판단하여 제거한다. 이후 영상은 Circular Extension에 의한 FIR 필터를 적용하여 완만한 곡선으로 표시하여 처리하도록 한다[5]. 또한 라인스캐너의 각도가 각각의 프레임에 $\pm 0.5^\circ$ 이상으로 변하지 않는다는 가정 하에 노이즈 및 전차선을 추적하여 결과를 나타내게 된다. 이러한 처리과정은 전차선이 상호 겹치는 경우에 활용되며 논문에서 검측한 단일 전차선로 구간에는 적용하지는 않았으나 향후 2개 이상의 겹치는 부분에 대한 연구가 필요하겠다.

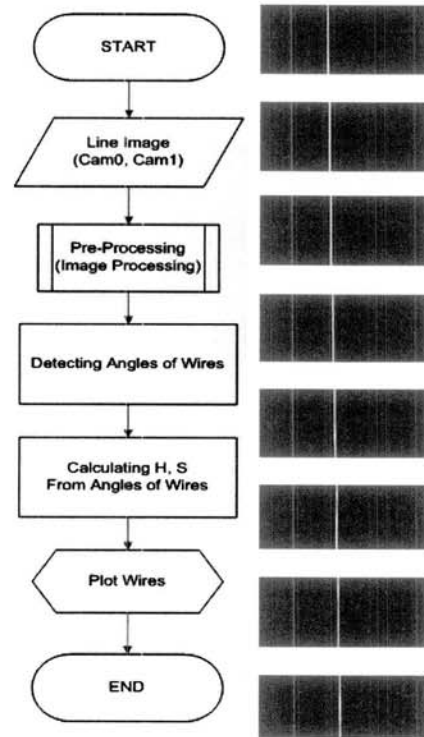


그림 5. 전차선의 검측 이미지 처리 과정 및 획득 이미지.

Fig. 5. Image processing method of monitoring results for overhead contact wire and line scan image.

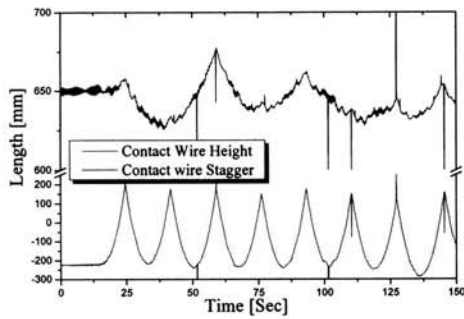


그림 6. KTX 호남선 전차선 높이와 편위 검측 결과.

Fig. 6. Results of overhead contact wire height and stagger in Honam KTX line KTX.

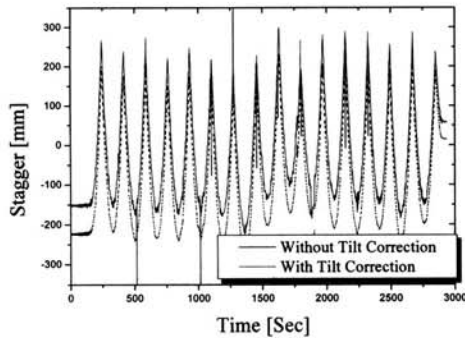


그림 7. 라인스캐너 각도 보정 전후의 전차선 편위 결과.

Fig. 7. Results of overhead contact wire stagger as function of tilt correction.

그림 6에 KTX 운행구간인 호남선 계룡역 인근 전차선로의 높이와 편위 검측 결과를 나타내었다. 일반적인 전차선로의 경우 일정한 주기로 높이와 편위가 나타나지만 검측 구간은 곡선부(400R)로 불규칙하게 나타나고 있다. 높이는 검측 장치의 지그를 전차선 유지보수차의 상부에 고정하여 고정단과 전차선과의 거리이다. 또한 그래프에서 급격하게 떨어지거나 올라가는 선이 나타나는 것은 열차의 진동과 선로의 상황에 의해 나타나는 것으로 후처리를 통해 제거할 수 있으나 향후 열차의 기

울기 측정과 진동측정으로 제거가 가능하며 향후 다양한 시험을 통한 고압선로 진단기술 분석이 가능하겠다. 그림 7은 계룡 구간 전차선로 편위 측정 결과로 틸트 센서를 보정하기 전후를 나타낸 것이다. 본 시험에서는 곡선부로 궤도의 켈트에 의해 기울기가 발생하므로 라인스캐너를 보정한 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 전차선의 높이와 편위 검측시스템 구현을 위해 광학기반의 라인스캐너를 이용하였다. 특히 삼각 측량법을 이용하여 전차선 높이·편위 측정 원리 분석에 따른 알고리즘 추출하였고 이를 바탕으로 Windows 기반 실시간 모니터링 프로그램을 제작하고 열차의 기울기에 따른 보정이 가능하도록 개발하였다. 구현된 시스템의 검증은 KTX 운행구간인 호남선에서 전철보수차를 이용하여 지그를 이용 시스템을 고정하고 10 km/h 속도를 유지하며 검측 하였다. 검측 결과 전차선의 높이와 편위 결과를 실시간으로 수치화 할 수 있었으며 각도 보정에 따른 변화를 나타내었다. 시험결과 본 논문에서 구현한 광학기반의 전차선 높이와 편위 검측장치는 비접촉식으로 고전압이 인가된 상태에서도 실시간 측정이 가능하므로 한국형 틸팅열차등 새로운 전기열차의 인증을 위한 전차선로 상태검측 기술로 활용될 것이다.

참고 문헌

- [1] 강인권, "최신전차선로", 성안당, p. 5, 2006.
- [2] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, "실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정", 전기전자재료학회논문지, 20권, 3호, p. 281, 2007.
- [3] S. Makino and T Satoh, "Maintenance of electrical facilities of conventional line utilizing multiple inspectoin train", ICDMTS 1998 Conf. IEEE, p. 310, 1998.
- [4] S. Borrromeo and J. L. Aparicio, "Automatic system for wear measurement of contact wire in railways", IECON 02, p. 2700, 2002.
- [5] 권삼영, 조용현, 박영, "철도시설물 검측자동화를 위한 전차선로 분야 Robo-Rail System 개발", 한국철도기술연구원보고서, KRRI 연구 06-128, p. 3-1, 2006.