

고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 시스템 개발

Development of an Uplift Measurement System for Overhead Contact Wire using High Speed Camera

박 영^{1,a}, 조용현¹, 이기원¹, 김형준², 김인철³

(Young Park^{1,a}, Yong Hyeon Cho¹, Kiwon Lee¹, HyungJun Kim², and In-Chol Kim³)

Abstract

The measurement of contact wire uplift in electric railways is one of the most important test parameters to accepting the maximum permitted speed of new electric vehicles and pantographs. The contact wire uplift can be measured over short periods when the pantograph passes monitoring stations. In this paper, a high-speed image measurement system and its image processing method are being developed to evaluate dynamic uplift of overhead contact wires caused by pantograph contact forces of Korea Tilting Train eXpress (TTX) and Korea Train eXpress (KTX). The image measurement system was implemented utilizing a high-speed CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) camera and gigabit ethernet LAN. Unlike previous systems, the uplift measurement system using high speed camera is installed on the side of the rail, making maintenance convenient. On-field verification of the uplift measurement system for overhead contact wire using high speed camera was conducted by measuring uplift of the TTX followed by operation speeds at the Honam conventional line and high-speed railway line. The proposed high-speed image measurement system to evaluate dynamic uplift of overhead contact wires shows promising on-field applications for high speed trains such as KTX and TTX.

Key Words : Electric railway, Catenary, Contact wire, Dynamic uplift

1. 서론

전기철도에서 전차선로는 차량에 전기를 공급하는 핵심설비로 고속철도 2단계 개통과 KTXII (Korea Train eXpressII)의 상용화 등에 따라 집전상태를 평가하는 시스템이 요구되어지고 있다 [1,2]. 전차선로의 집전상태를 평가하는 방법은 팬터그래프와 전차선로간의 접촉상태를 평가하는 이선아크 및 팬터그래프 접촉력 검측이 있다. 또한

특정구간에 팬터그래프 통과시 전차선과의 접촉에 의하여 전차선의 상하변위를 검측하는 압상량 검측은 전차선로 자체를 평가하는 기술로 열차가 운행되는 짧은 시간에 검측해야 하므로 응답속도가 빠르고 오차가 작고 위치 변화에 유연한 시스템이 요구 된다[3]. 특히 국제 규격 EN 50119:2001에 전차선 압상량 검측에 관한 시스템요구사항과 속도에 따른 제한등이 있으나 국내의 경우 현재 적합한 규정과 검측은 제한적이다[4].

전차선 압상량 검측방법은 전차선로에 변위계를 직접설치하고 무선으로 측정값을 전송하는 측정법과 캔틸레버등을 설치하여 간접적으로 측정하는 기술이 현재까지 이용되고 있다[1,5]. 이러한 기술은 전차선로에 시스템을 설치하므로 고전압 전차선로에 접근하기 위하여 열차운행이 없는 야간 시간에 단전하여 시스템을 유지보수하거나 배터리등

1. 한국철도기술연구원 전철전력연구원

(경기도 의왕시 월암동 360-1)

2. 한세대학교 IT학부

3. 한국철도공사 전기기술단

a. Corresponding Author : ypark@krii.re.kr

접수일자 : 2009. 7. 1

1차 심사 : 2009. 8. 31

심사완료 : 2009. 9. 8

을 교환하는 여러 가지 단점이 있다. 본 논문에서는 전동차 운행에 따른 전차선 압상량 검측을 위해 고속카메라를 이용한 시스템을 고안하고 이를 구현하였다. 고속카메라를 이용한 전차선로 압상량 검측 장치는 기존의 시스템과 달리 측정위치의 선로변에 시스템을 설치하여 검측하므로 유지보수가 용이하고 응답속도가 빨라 300 km/h급 이상의 고속열차의 압상량 검측이 가능하다. 전차선 압상량 검측 시스템 검증을 위한 현장시험은 호남선과 고속선에서 한국형 틸팅열차의 운행 속도에 따른 압상량을 현장 검측하였다.

2. 실험

전차선 압상량은 팬티그래프 통과에 따른 전차선의 상하변위를 검측하는 것으로 검측 장소는 열차의 속도방향 구간 혹은 최고속도 구간의 전차선로 지지점을 검측하는것이 일반적이다[6]. 따라서 본 연구에서 개발한 고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측 장치는 전차선 지지하고 있는 전주에 고속카메라를 설치하고 전차선 상부의 마커를 열차 통과 전후 약 10초간 측정 전차선 압상량을 검측하였다. 본 연구에서 이용한 고속카메라는 Mega Pixel Sensor를 탑재한 초고속카메라 (Mikrotron GmbH)로 최고 20,000 fps (frames/sec) 까지 조절이 가능한 시스템으로 측정된 데이터는 자체의 메모리에 저장되어 GigE Interface를 통하여 Ethernet로 노트북에 데이터를 저장할 수 있다. 또한 이미지 저장 방식 BMP과 JPG를 제공하며 AVI의 동영상 저장 기능 구현이 가능하고, 보다 정확한 이미지 획득을 위하여 광학렌즈를 이용하여 20배 확대하도록 하였다. 전차선 상부의 마커는 클램프를 이용하여 연결하였으며 두 개의 서로 다른 모양을 설치하고 마커와 고속카메라와의 각도를 각각 측정하였다.

전차선 압상량은 속도방향 구간이나 신규열차 운행에 따른 전차선의 집전상태를 평가하기 위한 수치이다. 본 논문에서는 현재 국내에서 개발 중인 틸팅열차의 곡선부 증속구간인 호남선 익산-서대전 구간에 고속카메라를 설치하여 측정하였다. 그림 1에 전차선 압상량 검측을 위한 고속카메라 시스템과 무선기반의 전차선로 상태모니터링 사진을 나타내었다. 사진에서와 같이 개발된 시스템의 정확도등의 비교를 위하여 무선기반의 압상량 검측 장치인 전차선로 상태모니터링 장치를 이용하여 동시에 측정하였다[1,3].

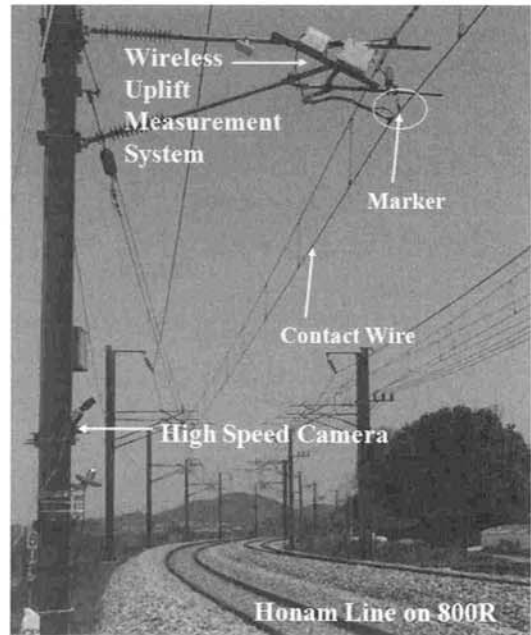


그림 1. 고속카메라를 이용한 호남선 전차선 압상량 검측을 위한 시스템 사진.

Fig. 1. Picture of uplift monitoring system using high speed camera installed in the Honam KTX line.



그림 2. 고속카메라를 이용한 전차선 상부 마커의 영상취득 사진.

Fig. 2. Picture of collected marker image using high speed camera.

3. 결과 및 고찰

3.1 이미지처리 방법

고속카메라를 이용한 전차선 압상량 검측은 전차선의 팬티그래프에 의한 전차선의 상하변위를 고속카메라로 측정하고 이미지프로세싱 기법을 통해 실제의 압상량으로 나타내는 것이다. 전차선은

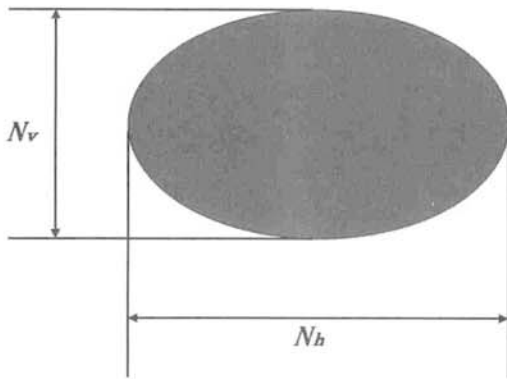


그림 3. 고속카메라로 획득한 영상 데이터 상의 마커 모양 예.

Fig. 3. Example of acquired marker image from high speed camera.

팬터그래프와의 접촉하므로 전차선 상부에 마커를 설치하고 고속카메라로 열차 통과 전후의 이미지를 비교하여 압상량을 측정하는 시험방법이다. 본 논문에서는 원형 마커를 이용하여 측정하였으며 사용된 원형 마커의 실제 지름은 44 mm 이다.

특히 전차선 압상량 검측 시 고속카메라의 위치가 전차선과 평행을 이루도록 해야 하나, 전차선은 고전압의 전류가 흐르고 및 높이가 5 m 이상이므로 낮은 위치에 고속카메라를 설치한다. 낮은 설치위치로 인해 획득된 영상모양은 그림 3과 같은 타원형이 되어 보정이 필요하다.

그림 4와 같이 카메라의 각도를 α 라하고, α 각에 수직으로 놓인 타겟의 각도를 β 라 가정하면, 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\alpha + \beta = \sin^{-1} \frac{N_v}{N_h} \quad (1)$$

$$v = D \frac{n}{N_v} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (2)$$

여기에서 D를 마커의 지름이라 가정하고, n을 타겟의 높이를 나타내는 화소의 개수라고 한다면, 압상량 v 는 영상 처리를 통하여 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 고속 영상처리를 이용하여 압상량을 측정하기 위하여 그림 5와 같은 알고리즘을 적용

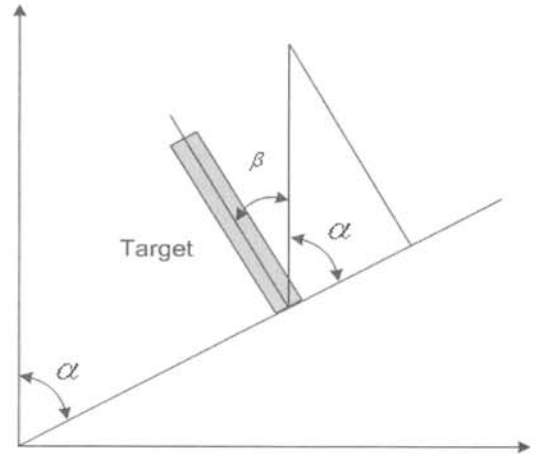


그림 4. 전차선 압상량 영상처리를 위한 카메라 마커 각도.

Fig. 4. Angle between camera and marker for contact wire uplift processing.

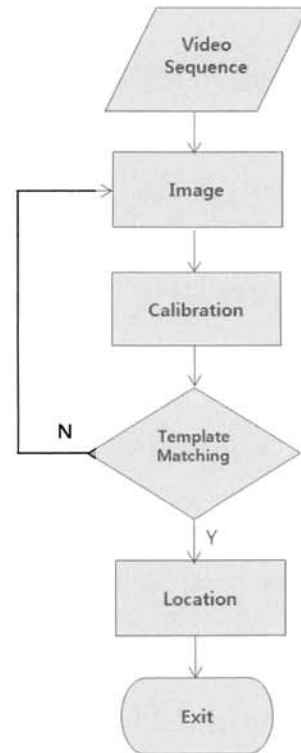
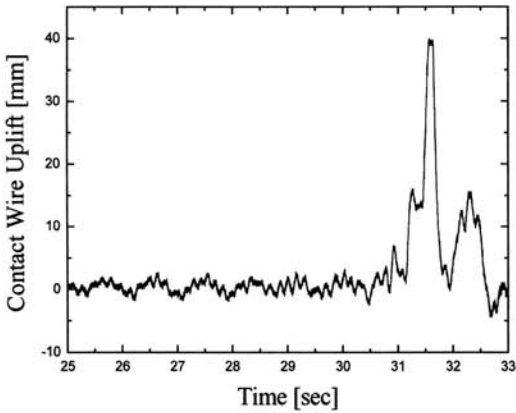
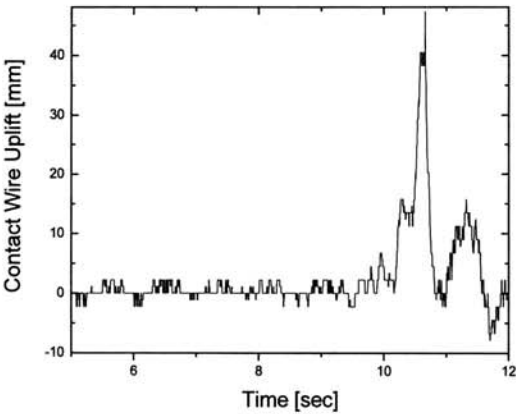


그림 5. 압상량 측정 알고리즘.

Fig. 5. Uplift measurement algorithm.



(a) 전차선 상태모니터링 장치

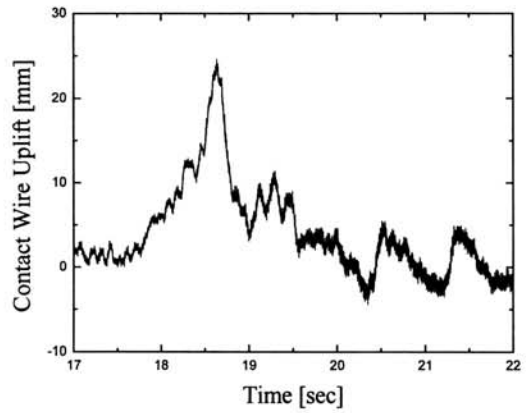


(b) 고속카메라

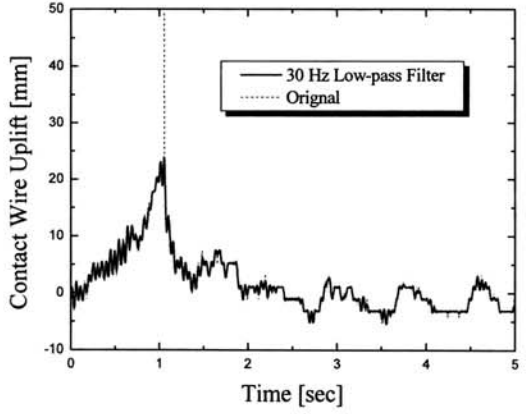
그림 6. 틸팅열차가 160 km/h 주행시 지지점에서 전차선 압상량 (a) 전차선 상태모니터링 장치, (b) 고속카메라.

Fig. 6. Dynamic uplift at the registration arm on 800R when the TTX train moves at 160 km/h. (a) using online condition monitoring system (b) using high speed camera

하였다. 먼저 입력 동영상으로부터 하나의 영상을 캡처한다. 이 영상에서 앞으로 사용할 마커 영상을 그림 2와 같이 저장한다. 이와 같은 타겟 영상은 앞으로 입력되는 영상에서 참조되는 부분영상으로 계속 사용되기 때문에 가급적 선명한 영상을 얻는다. 압상량 측정을 위한 캘리브레이션을 계산 한 후에 입력되는 동영상을 프레임 단위로 처리하는데, NGC 매칭을 이용하여 타겟의 영상과 가장 매칭이 잘 되는 부분의 영상 좌표를 구한다. 이와 같



(a) 상태모니터링장치



(b) 고속카메라

그림 7. KTX 130 km/h 주행시 지지점에서 전차선 압상량 (a) 전차선 상태모니터링 장치, (b) 고속카메라.

Fig. 7. Dynamic uplifts at the registration arm on 800R when the KTX train moves at 130 km/h. (a) using online condition monitoring system (b) using high speed camera

은 방법으로 입력 영상에서 타겟의 위치 좌표를 구한 후에, 이를 앞 절에서 설명한 방법으로 실제 적 압상량을 계산하게 된다.

3.2 압상량 측정 결과

한국형 틸팅열차(TTX, Tilting Train eXpress)는 곡선구간에서의 속도향상을 위한 열차이므로 호남선 초강-정읍 상선 800R 곡선구간에서의 전차선 압상량을 검측하였다. 그림 6에 한국형 틸팅열

차 800R 최고속도 통과 시 전차선 압상량 결과를 나타내었다. 800R 구간의 운행 최고속도는 120 km/h로 제한하고 있으나 TTX의 경우 40 km/h 증속 하여 160 km/h 운행하였으며 본구간은 속도향상을 위하여 전차선의 사전이도가 경간길이의 2000분의 1이 부여된 구간이다. 한국형 틸팅열차 증속 운행에 따른 최고 압상량은 약 40 mm로 기준값인 50 mm 이하로 나타났으며 고속카메라 측정값과 상태모니터링 측정값 모두 유사한 그래프를 나타내었으나 최고 압상값은 다소 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 상태모니터링 장치의 경우 전차선로에 부착하여 열차에 의해 발생하는 진동이 전차선과 유사한 특성을 보여 진동에 의한 영향이 감소하지만 고속카메라의 경우 선로변 지지물에 설치하므로 열차 진동에 의한 영향을 받은 것으로 사료된다. 이러한 선로 진동에 의한 잡음은 측정이후 그림 7에서와 같이 30 Hz low-pass 필터를 이용하여 제거가 가능하나 현장에서의 보다 정확한 값 획득을 위해 진동 저감연구가 추가적으로 필요하다고 사료된다. 또한 전차선 상태모니터링 시스템의 경우 초당 2000개의 측정값을 무선으로 전송하고 측정시간에 제한이 없다. 그러나 고속카메라의 경우 500 fps에서 12초 정도까지 저장이 가능하여 상호 비교를 위하여 그래프의 시간값을 조절하였다. 고속카메라로 전차선 압상량 검출시 카메라의 측정시기를 측정자에 의하여 조절하기 때문에 최고값 이후의 진동추이 결과를 나타내지는 못하였다. 향후 자동화 측정방법등 연구가 필요 하겠다. 그림 6에 호남선 초강-정읍 상선 800R 구간 KTX 130 km/h 주행시 지지점에서의 전차선 압상량을 나타내었다. 두 결과 모두 최고 약 19 mm정도의 압상을 나타내었으며 최대 압상량 이후의 진동에 대한 변화추이가 유사함을 알 수 있다. 이는 전차선 압상량 측정의 경우 본 논문에서 제안한 고속카메라를 검출시스템과 알고리즘을 이용하여 전차선 압상량의 검출이 가능함을 보여주고 있다. 전차선 압상은 열차의 속도에 따라 낮아지지만 KTX의 팬터그래프와 TTX의 팬터그래프가 서로 상이하고 검출 시 바람등 외부요인에 의하여 서로 다른 특성값을 나타낸다. 또한 고속카메라의 경우 카메라 고정부의 전차선로 빔이 열차의 운행에 의하여 최고점에서의 잡음이 나타나고 있다. 이는 KTX의 경우 TTX에 비하여 열차의 길이가 길고 팬터그래프가 뒤쪽에 있어 이에 따른 선로 진동에 의한 영향으로 보여지며 그림 6의 (b)에서 보

는 바와 같이 30 Hz Low-pass (Frequency cutoff) 필터 적용후에는 진동에 의한 잡음이 완전히 제거된 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전동차 팬터그래프에 의한 전차선 수직 압상량 검출을 위해 고속카메라와 측정알고리즘을 성공적으로 개발하였다. 고속카메라를 이용한 전차선로 압상량 검출 장치는 열차 통과전후의 이미지를 고속으로 획득하고 이미지 처리하여 수치화 할 수 있었다. 이미지처리는 전차선 상부의 마커를 기준점으로 하고 열차 통과 전후의 값을 비교 하였으며 고속카메라와 마커와의 각도를 알고리즘에 포함하여 보다 정확한 값을 수치화 하였다. 또한 무선기반의 전차선로 상태모니터링 시스템은 가압된 전차선로에 압상량 검출을 위한 변위계를 부착하여 그 값을 무선으로 받아 전차선 압상을 평가 할 수 있었다. 한국형 틸팅열차 800R 곡선부의 160 km/h 최고속도 운행시 전차선 압상은 400 mm로 나타났으며 최고 압상 이후의 진동 추이를 분석할 수 있었다. 이러한 결과는 두 가지 모두 전차선의 압상량 검출이 성공적으로 수행되었으며 비교 결과 무선기반의 전차선 검출 장치가 보다 정밀한 값을 획득할 수 있었으나 고속카메라의 경우 측정위치의 선로변에 시스템을 설치하여 검출이 가능하여 장치설치에 제한이 없었다. 특히 고속 카메라를 이용한 압상량 검출은 지지점에서만 측정이 가능한 상태 검출장치에 비하여 최고 압상량이 나타나는 지지점과 지지점 사이가 검출이 가능하므로 본 시스템 개발로 최대값 측정이 가능하여 활용범위가 높다.

참고 문헌

- [1] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, "실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정", 전기전자재료학회논문지, 20권, 3호, p. 281, 2007.
- [2] 박영, 조용현, 정호성, 이기원, 김형철, 권삼영, 박현준, 김원하, "전기철도의 전차선로 형상검출을 위한 광학기반 검출 장치 구현", 전기전자재료학회논문지, 21권, 9호, p. 868, 2008.
- [3] Y. Park, Y. H. Cho, K. W. Lee, H. S. Jung, H. C. Kim, S. Y. Kwon, and H. J. Park,

- “Development of an FPGA-based Online Condition Monitoring System for Railway Catenary Application”, WCRR2008, p. 143, 2008.
- [4] EN 50367:2006, “Railway applications-Current collections systems-Technical criterial for the interaction between pantograph and overhead line (to achive free access)”, 2006.
- [5] Track side monitoring system : prototype implementation-Dissemination, www.uic.asso.fr/europac
- [6] 조용현, 권삼영, 이기원, 박영, 김정수, 이기찬, “속도향상에 따른 가선설비 개량방안 연구”, 철도기술연구개발사업 1단계 최종보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, p. 41, 2007.