

## 팬터그래프-전차선로 접촉부 영상처리 기술 개발

### Development of Image Processing Technology for Interaction between Pantograph and Overhead Contact Wire

김형준<sup>1</sup>, 박 영<sup>2a</sup>, 조용현<sup>2</sup>, 조철진<sup>2</sup>, 김인철<sup>3</sup>

(HyungJun Kim<sup>1</sup>, Young Park<sup>2a</sup>, Yong Hyeon Cho<sup>2</sup>, Chuljin Cho<sup>2</sup>, and In-Chol Kim<sup>3</sup>)

#### Abstract

The measurement of dynamic stagger in electric railways is one of the key test parameters to increase speed and maintain safety in electric railways. This paper introduces a non-contact optical-based measuring instrument of a catenary system in electric railways. The instrument is implemented by utilizing a CCD (Charge Coupled Device) camera installed on the roof of a vehicle for vision acquisition and image processing techniques including the Canny edge detector and the Hough transform to detect contact wires and calculate dynamic stagger. To check the validity of our approach for the intended application, we measured stagger of a overhead wire of a Korea Tilting Train (TTX). The non-contact optical-based measurement system proposed in this paper performs real-time stagger measurement of an activated high-voltage contact wire. By results of this paper, the instrument should be applied to assess performance and reliability of newly developed electric railway vehicles.

**Key Words** : Catenary, Electric railway, Overhead contact wire, Hough transform

#### 1. 서 론

현재의 철도시스템은 200 km/h를 기준으로 고속철도와 일반철도로 나뉘어 속도향상을 위해 차량, 궤도, 집전기술등의 연구가 진행되고 있다[1,2]. 일반적으로 전기철도에서는 전차선로와 차량의 팬터그래프에 기계적으로 접촉하여 전기를 전달하게 되며 이를 집전이라고 한다. 특히 열차의 속도가 높아짐에 따라 팬터그래프의 압상력이 증가한 상태에서 주행함으로써 진동에 의한 파동이 발생하고 이러한 파동에 의하여 전차선과 팬터그래프 사이에 이선, 아크 및 집전범위가 벗어나는 다양한 기계적, 전기적 결합이 발생하게 된다[3,4]. 특히 전차선의

팬터그래프의 집전범위를 벗어날 경우 사고의 범위가 크기 때문에 팬터그래프와 전차선의 접촉부위의 상황을 비디오로 모니터링 하고 있다[5,6]. 그러나 비디오 검측 기술은 차량상부에 설치하여 단순히 화면을 보고 인력에 의해 집전범위를 확인하므로 전차선과 팬터그래프의 접촉상태를 운전중 자동으로 평가할 수 있는 동편위 검측 기술이 개발되어야 한다. 편위는 전차선의 좌·우 변화로 동편위의 경우 팬터그래프 집전기와 접촉하고 있는 전차선의 흔들리는 폭을 검측 하는 것이다[7]. 동편위 검측 기술의 경우 팬터그래프와 전차선과의 접촉면의 변화를 비디오로 모니터링한 후 이를 수치적으로 나타내는 영상처리 기술이 필요하다.

본 논문에서는 한국형 틸팅열차 상부에 설치된 팬터그래프 비디오 모니터링 장치의 측정 영상을 영상처리를 통해 전차선과 팬터그래프의 접촉에 따른 전차선의 좌·우 변화인 동편위 측정하는 알고리즘을 제시하였다. 또한 측정된 영상을 수치화하는 알고리즘과 이를 수치화하는 영상처리 기술을 개발하여 팬터그래프와 전차선간의 접촉부 동영상을 동편위로 수치화 하여 나타내었다.

1. 한세대학교 IT학부

2. 한국철도기술연구원 전철전력연구실  
(경기도 의왕시 월암동 360-1)

3. 한국철도공사 전기기술단

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

접수일자 : 2009. 10. 15

1차 심사 : 2009. 10. 29

심사완료 : 2009. 11. 6

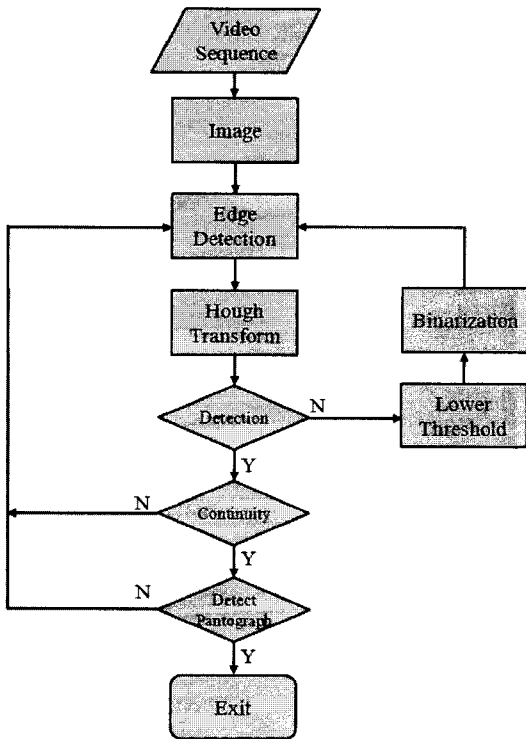


그림 1. 팬터그래프-전차선 접촉부 동편위 측정 알고리즘 순서도.

Fig. 1. Flow chart of pantograph-catenary dynamic stagger measurement algorithm.

## 2. 실험

본 논문에서는 열차 운행에 따른 팬터그래프-전차선간의 접촉부 영상처리 기술 개발이 목적이다. 따라서 영상 측정을 위하여 별도의 하드웨어는 개발하지 않고 전차선 모니터링을 위한 비디오 설비는 현재 시험 운행중인 틸팅열차의 상부에 차량진행 방향으로 CCD (Charge Coupled Device) 카메라 (SDZ-300N) 설치 영상을 획득하였다. 사용된 CCD카메라는 41만 화소로 30배의 고성능 줌 카메라로 측정하였다. 측정된 영상은 케이블을 통하여 열차내부로 전송되며 DVD (Digital Versatile Disk)를 이용하여 352×240 픽셀의 mpg (Motion Picture expert Group) 파일로 녹화 및 저장이 된다. 현재의 비디오 모니터링 장치는 시험중인 틸팅 열차 운행중 팬터그래프-전차선 접촉부의 아크 혹은 운행상태를 비디오 모니터링 하기 위한 장치이므로 본 논문에서 개발한 팬터그래프-전차선 접촉부

영상처리 기술개발 이후 알고리즘등 실시간으로 처리하기 위한 하드웨어는 별도로 개발하지 않고 저장된 동영상에 영상처리 알고리즘을 통해 소프트웨어적으로 측정하였다. 향후 실시간 처리와 고속 영상 획득을 위해서는 고속카메라 등을 이용한 시스템과 실시간 처리를 위한 카메라 진동, 기울기 측정 등 하드웨어 시스템 구축 연구가 필요하리라 사료된다.

팬터그래프-전차선 접촉부 동편위 측정 알고리즘 순서도를 그림 1에 나타내었다. 우선 카메라에서 획득한 원본 팬터그래프-전차선 접촉부의 동영상에서 한 프레임씩 정지영상으로 변환했다. 변환된 정지영상에 영상 속 물체의 경계선을 검출해주는 도구인 케니 경계선 검출기 (Canny Edge Detector)를 적용하여 경계선이 검출된 영상을 얻었다. 케니 경계선 검출기를 적용된 영상에 허프 변환(Hough Transform)을 사용하여 전차선의 위치를 검출했다. 허프 변환은 영상에서 직선들을 찾는 데 용이한 기법으로 본 논문에서는 전차선이 직선 모양에 가깝다는 것을 고려하여 동편위를 검출하는데 적용하였다[8]. 집전을 위하여 전차선은 최소 1개가 팬터그래프와 지속적으로 접촉하고 전차선 교차구간인 오버랩 구간 등에서는 2개의 전차선이 교차한다. 그림 1의 검출부 (Detection)에서 전차선이 1개 또는 2개라는 가정 하에, 허프 변환으로 검출된 직선 중에서 전차선일 가능성이 가장 높은 직선을 검출하였다. 만약 검출되는 직선이 존재하지 않으면, 전차선인지를 판별할 명암도 (Gray level)인 임계값을 낮추고 원본 영상을 이진화 한 후에 케니 경계선 검출기를 사용하여 검출되는 비율을 높였다. 전차선이 검출된 후에는 전체적으로 영상의 각 프레임에서 검출된 직선이 연속적으로 나타나는지를 검사하고, 연속성을 만족할 경우에 최종적인 전차선으로 인식했다. 동편위는 사전에 저장한 템플릿과의 유사도 검사를 통해 팬터그래프의 현재 위치를 구하고, 팬터그래프와 최종적으로 인식한 전차선과 교차하는 지점의 위치를 수치화하여 나타낸다.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2에 직선부 팬터그래프-전차선 접촉부 측정 정지영상을 나타내었다. 측정영상 내부의 직사각형 영역은 관심영역 ROI (Region of Interest)를 의미한다. ROI는 실시간으로 영상처리를 하는 과정에서 팬터그래프의 이동범위 밖에서까지 전차선을

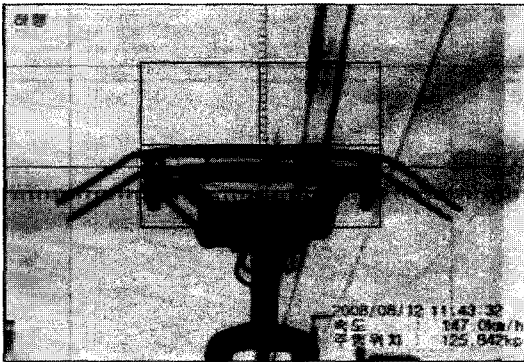


그림 2. 팬터그래프-전차선 동편위 측정 영상.  
Fig. 2. Image of pantograph-catenary dynamic stagger measurement.

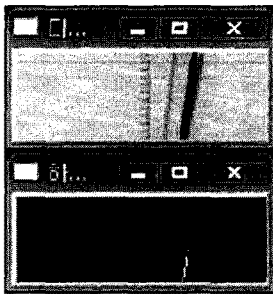


그림 3. 허프 변환으로 검출된 전차선.  
Fig. 3. Detected contact wire through application of Hough transform.

검측하는 불필요한 프로그램의 연산량을 줄임과 동시에 팬터그래프와 전차선이 접촉하는 집전판의 대략적인 위치를 나타낸다.

그림 3은 그림 2의 ROI 내부에서 허프 변환을 이용하여 전차선이 검출된 예를 보여준다. 상단의 그림에는 카메라의 눈금자, 조가선, 전차선이 촬영되었다. 굵은 선 좌측의 강조가 되지 않은 직선은 전차선 상단에 위치하는 조가선이며, 상단의 그림에서 굵은 선으로 강조가 된 직선은 전차선을 나타낸다. 하단의 그림은 성공적으로 검출된 전차선을 따로 추출하여 나타낸다.

그림 4에 티팅열차 곡선부 운행에 따른 영상처리 과정을 나타내었다. 티팅열차의 경우 곡선부에서의 속도향상을 위하여 차량이 기울어지게 되므로 집전부 카메라의 촬영속도가 운행속도를 따라

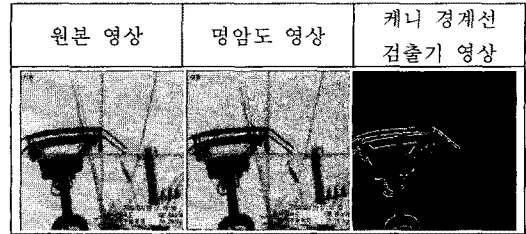


그림 4. 영상의 전처리 과정.  
Fig. 4. Pre-processing of image.

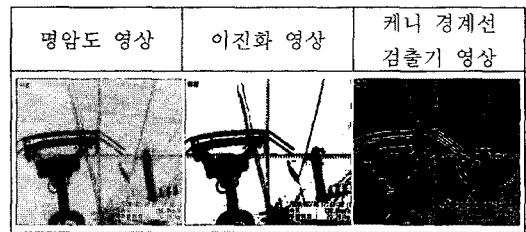
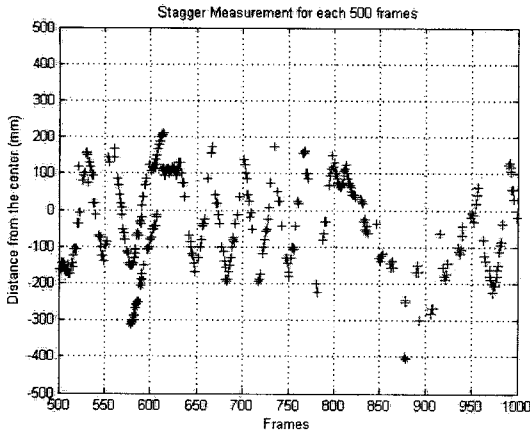


그림 5. 이진화 처리를 통한 전처리 과정.  
Fig. 5. Pre-processing with binary image.

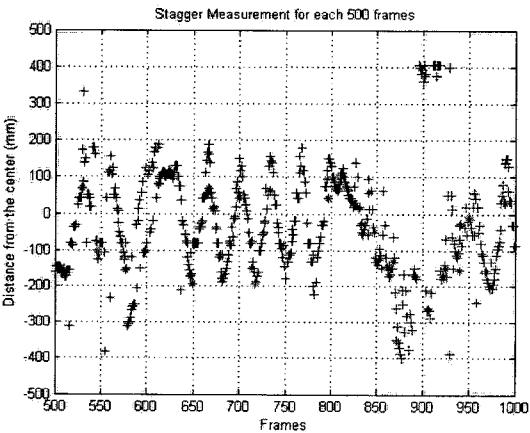
가지 못하거나 카메라의 해상도가 낮아서 픽셀이 기울어질 경우 전차선이 표현이 잘 안되어 위에서 언급한 방식으로 전차선을 검측에 어려움이 발생할 수 있다. 그림 4는 전차선이 명확하게 보이지 않는 예로 그림 1의 기본적인 전처리 과정인 원본 영상, 명암도 영상(Gray image), 케니 경계선 검출기가 통과된 영상(Canny image) 순서로 경계선을 검출하였으나 팬터그래프만 검측이 된 경우를 보여준다.

그림 5는 이진 영상으로 변환한 후에 케니 경계선 검출기를 적용한 경우를 보인다. 전차선을 검출하기 힘든 곡선부에서 전차선인지를 판별할 명도 값인 임계값을 낮추고 이진 영상을 취함으로써 전차선을 검출할 수 있다. 따라서 그림 5와 같이 명암도 영상을 이진 영상으로 변환한 후에 케니 경계선 검출기를 적용하면 전차선을 검출하는 정확도가 높아질 수 있다. 그러나 전차선로 상부의 조가선이 검출될 가능성도 존재하므로 전차선로가 상호 겹치는 구간등 특이구간에서는 별도의 연구가 필요하리라 사료된다.

그림 6과 7에 티팅열차가 160 km/h로 주행시 전차선과 팬터그래프 접촉부 동편위를 나타내었다. 그림에서와 같이 영상처리를 통해 획득된 동편위를



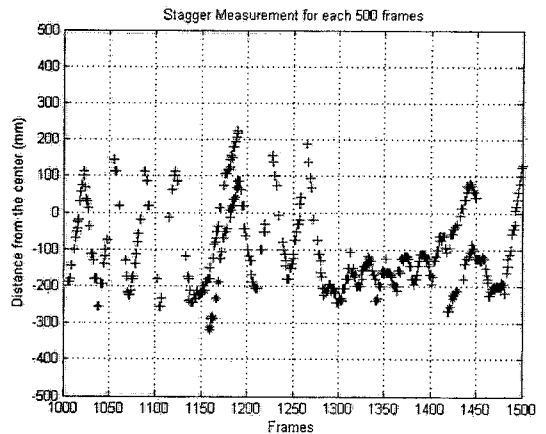
(a) 추가적인 이진화 처리 전



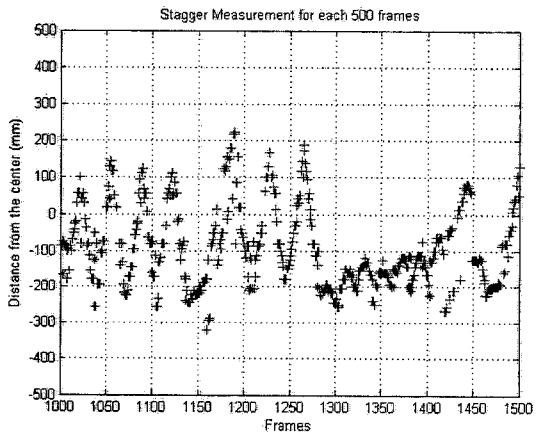
(b) 추가적인 이진화 처리 후

그림 6. 틸팅열차 800R 운행중 동편위 측정 결과(1).  
Fig. 6. Result of dynamic stagger measurement(1).

그림의 픽셀수와 팬티그래프의 길이의 비율을 계산하여 mm 단위로 변환하여 나타냈다. 영상 처리 결과 동편위는 대체로 300 mm 이내로 허용 기준치인 400 mm보다 작으므로 측정 구간인 800R에서 속도향상을 위하여 차체가 틸팅 되더라도 동 편위 기준을 만족한다는 것을 판단 할 수 있었다. 그림 6과 7의 (a)와 (b)는 전차선의 편위를 수치화하여 2차원으로 도식하여 추가적인 이진화 처리과정을 사용하지 않은 경우와 이진화 처리과정을 통하여 검출된 경우를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 그림 (a)의 경우에 비하여 그림 (b)의 경우가 더 많은 프레임에서 전차선의 위치가 검출된 것을 알 수 있다. 이와 같이 보다 많은 전차선의 위치를 검출함으로써 전차선 동편위의 검출에 필요한 데이터가 많아지므로 정확도가 높아짐을 알 수 있다.



(a) 추가적인 이진화 처리 전



(b) 추가적인 이진화 처리 후

그림 7. 틸팅열차 800R 운행중 동편위 측정 결과(2).  
Fig. 7. Result of dynamic stagger measurement(2).

#### 4. 결론

본 논문에서는 영상처리를 통해 전차선과 팬티그래프의 접촉부 동편위 측정 기술에 관하여 기술하였다. 이를 위하여 검측 카메라가 촬영한 영상으로부터 허프 변환을 사용하여 전차선과 팬티그래프 집전판의 위치를 파악하여 동편위를 명확히 찾는 방법을 개발하였다. 틸팅 열차위에 설치하여 활용한 카메라가 일반적으로 사용하는 카메라이므로 해상도 및 촬영속도가 상대적으로 떨어지므로 명확한 물체의 상을 취득하는 것이 가끔 어려운 단점이 있다. 본 연구에서는 일반 카메라로도 보다 개선된 전차선 검측을 위한 이진화 처리 기법 등의 영상처리 기법을 개발하였다. 시험결과 본 논문에서 구현한 광학기반의 전차선 높이와 편위 검측

장치는 비접촉식으로 고전압이 인가된 상태에서도 실시간 측정이 가능하므로 한국형 틸팅열차등 새로운 전기열차의 인증 및 북한철도 연계 등을 위한 전차선로 상태검측 기술로 활용될 것이다.

### 참고 문헌

- [1] 조용현, 권삼영, 이기원, 박영, 김정수, 이기천, “속도향상에 따른 가선설비 개량방안 연구”, 철도기술연구개발사업 1단계 최종보고서, 건설교통부 한국건설교통기술평가원, p. 41, 2007.
- [2] 강인권, “최신전차선로”, 성안당, p. 5, 2006.
- [3] 나해경, 박영, 조용현, 이기원, 박현준, 오수영, 송준태, “실시간 계측시스템을 이용한 전차선로 특성 측정”, 전기전자재료학회논문지, 20권, 3호, p. 281, 2007.
- [4] 권삼영, 조용현, 박영, “철도시설물 검측자동화를 위한 전차선로 분야 Robo-rail system 개발”, 한국철도기술연구원보고서, KRRI 연구 06-128, p. 3-1, 2006.
- [5] T. Kobayasi, Y. Fujihasi, T. Tsuburaya, J.-I. Satoh, Y. Oura, and Y. Fujii, “Current collecting performance of overhead contact line-pantograph system at 425 km/h”, Electrical Engineering in Japan, Vol. 124, No. 3, p. 73, 1998.
- [6] S. Makino and T. Satoh, “Maintenance of electrical facilities of conventional line utilizing multiple inspectoin train”, ICDMTS 1998 Conf. IEEE, p. 310, 1998.
- [7] 박영, 조용현, 정호성, 이기원, 김형철, 권삼영, 박현준, 김원하, “전기철도의 전차선로 형상검측을 위한 광학기반 검측 장치 구현” 전기전자재료학회논문지, 21권, 9호, p. 868, 2008.
- [8] A. McAndrew, “Introduction to Digital Image Processing with MATLAB”, Thomson Learning, p. 240, 2004.