

영상처리를 통한 케이블의 진동 계측 Vibration Measurement of Cable by Image Processing Technique

곽문규† · 신지환‡ · 구재량* · 배용채*

Moon K. Kwak, Ji-Hwan Shin and Jae R. Koo, Yong-Chae Bae

Key Words : Galloping(갤러핑), Cable Vibrations(케이블 진동), Vibration Experiment(진동 실험)

ABSTRACT

This paper is concerned with the vibration measurement of cable by image processing technique. The measurement system consists of a CCD camera and zoom lens. The image data can be transferred to PC via USB or IEEE1394 port. In this study, a Matlab program was made to process the acquired image data. After acquiring an image data for each frame, this data is binarized for tracing cable vibrations. Then the area occupied by the cable is marked by 1 and the background is covered by 0. In this way, we can calculate the displacement of the cable. Experimental results show that the tracing of cable displacements is possible and natural frequencies and mode shapes can be computed. The accuracy of the image processing system for vibration measurement depends on the maximum frame rate of the CCD camera. The use of a high-speed camera enables us to compute more higher modes. The laboratory experiments guarantee the vibration measurement of real transmission lines.

1. 서 론

겨울철 눈과 바람이 불 경우 송전선에 착빙설로 인한 과도 진동이 발생할 수 있다. 이는 착빙설로 인해 단면의 비대칭성이 발생하고 바람에 의해 양력이 발생해 송전선이 저 주파수로 진동하는 현상인데 갤러핑이라고 칭한다. 갤러핑으로 송전선에 심한 진동이 발생하면 송전선 상간 또는 송전선과 가공지선간의 혼촉으로 고장전류가 발생하고, 이는 송전선의 선간 단락사고를 발생 시켜 전력 공급이 중단되는 현상을 야기 시킨다⁽¹⁾. 또한 송전선의 기계적인 진동에 의한 송전선의 단선으로 영구 고장까지 발생할 수 있다. 또한 갤러핑으로 인해 송전선을 탑에서 고정시켜주는 부분이 파손되어 전선이 낙하하는 대형 사고로 이어질 수 있다⁽²⁾. 갤러핑의 방지

대책으로는 상간 스페이서를 설치하는 방법⁽³⁾을 사용하고 있으나 근본적으로 갤러핑을 방지할 수 있도록 갤러핑의 해석에 관한 연구가 필요하다.

갤러핑에 관한 연구 및 방지 대책에 관한 연구는 각국에서 활발한 연구가 행해졌으며, 실험·관찰적인 방향 및 해석적인 방향으로 진행되었다. 국내에서도 근래에 안정적인 전력수급을 위해서 송전선의 갤러핑 해석 및 방지대책의 시급함을 인지하고 관련 연구가 진행되고 있으나 아직 미미한 상태이다. 갤러핑 현상을 규명하기 위해 일반적으로 선형화된 동적 모델에 비선형 공기력을 포함시켜 수치해석을 수행하고 있다.

이론 모델 검증을 위해서는 실제 갤러핑 현상에 대한 실험 및 관찰이 필요하다. 이를 위해 송전선의 진동을 계측하여야 하는데, 송전선에 흐르는 고압전류로 인해 일반적인 센서를 사용하여 진동을 계측하는 데는 어려움이 있다.

본 연구에서는 가속도계와 같은 진동 센서를 이용하는 대신에 영상처리를 통하여 송전선의 진동을 계측하는 방법을 개발하였다. 이전에 개발된 방법은 표적의 움직임을 CCD 카메라를 이용하여 추적하고 위치 변동을 영상처리기법을 이용하여 표현하는 방

† 교신저자; 정회원, 동국대학교 기계로봇 에너지 공학과

E-mail : kwakm@dgu.edu

Tel : (02) 2260-3705

‡ 동국대학교 대학원 기계공학과

* 한국전력공사 전력연구원

법⁽⁴⁾이었으나, 본 연구에서는 송전선과 같은 연속체의 진동 변위를 영상처리를 이용해 추적하는 방법을 개발하였다. 실시간 영상처리의 부담을 줄이기 위해 후처리 방법을 사용하였는데, 먼저 일정시간 동안의 영상을 획득한 후 영상처리기법을 이용해 케이블의 각 지점의 변위를 추적하였다. 특정 위치에서의 변위 데이터를 FFT 처리하면 고유 진동수를 계측할 수 있다. 더 나아가 각 지점에서의 FFT 결과를 통합하면 고유진동모드도 계측할 수 있다. 초고속 카메라를 이용하는 경우 프레임율(Frame rate)을 높여 계측할 수 있는 주파수 대역을 확장시킬 수 있어 더 많은 고유진동수와 고유진동모드를 계측할 수 있다. 본 연구에서 개발한 방법을 사용하면 영상처리를 이용해 송전선과 같은 연속체의 변위의 시간 변화를 계측할 수 있을 뿐만 아니라 고유진동수와 고유모드도 계측이 가능하다.

2. 케이블의 진동 계측을 위한 실험

케이블의 진동 계측을 위하여 Fig. 1에 보이는 바와 같이 스프링을 설치하고 카메라를 사용해 진동을 계측하였다. 본 연구에서 사용한 CCD 카메라는 Image Source사의 DFK21BF04이다. 줌렌즈를 장착해 전체 또는 특정부위의 진동 계측을 시도하였다.

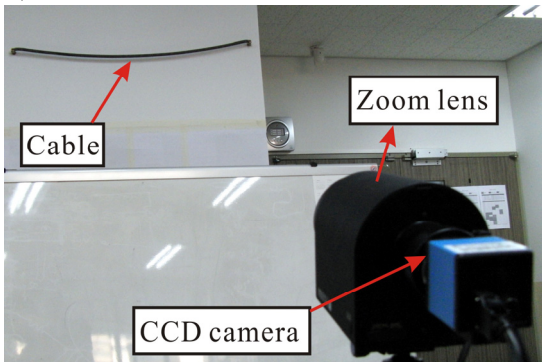


Fig. 1 Experimental setup for measuring cable vibration

CCD카메라에서 받은 데이터는 IEEE1394 포트를 통해 PC로 수신 받고 Matlab 프로그램 상에서 이를 영상데이터로 저장하였다. Matlab 프로그램은 케이블의 위치에 따른 변위를 추적하도록 바이너리화(Binarization)한 후 x 방향의 열 데이터에서 검은 부분의 중심을 계산하였다. 즉, 프레임 별로 검은색인 케이블을 흰색 배경으로부터 구별 해낼 수 있도록 바이너리화를 진행하였다. 이 과정을 통해 케이블이 차지한 부분만 1의 값을 가지고 나머지 배경

은 0의 값을 갖도록 만들었다. 바이너리화를 한 영상 데이터를 기반으로 x 방향 위치에서 검은색의 개수와 각 검은색 픽셀의 x축에 대한 모멘트를 계산하면 특정 x 위치에서의 케이블의 y축 중심 위치를 계산할 수 있다. 또한, 실제 케이블의 지름과 픽셀 데이터상의 지름을 비교하면 픽셀과 실제 변위 사이의 환산계수를 구할 수 있다. 이 환산 계수를 이용해 실제 변위를 계산하여 사용하였다. 데이터의 정확성을 확인하기 위해 바이너리화를 거친 영상처리 데이터를 GIF 애니메이션 파일을 생성해 확인하였다. 각 지점에서의 진동 변위의 시간 변화 데이터를 FFT 알고리즘을 이용해 처리하면 고유 진동수를 계산할 수 있다. 또한 각 지점별 PSD 커브를 통합하면 고유진동모드도 계산할 수 있다. 위 과정을 거친 데이터를 토대로 특정 지점을 기준으로 하여 FFT를 수행하면 케이블의 고유 진동수와 고유 모드를 도출해낼 수 있다.

3. 케이블의 진동 계측 결과

Fig. 2 와 Fig. 3 는 CCD 카메라(Image Source사의 DFK21BF04)를 이용해 초당 60프레임으로 촬영한 영상을 분석한 결과이다. Fig. 2는 중간지점에서의 변위를 분석한 결과이고, Fig. 3는 x 축 방향별 PSD 곡선을 결합한 결과이다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 2차 고유진동수까지는 명확하게 잘 나오지만, 3차 고유진동수의 경우 진폭이 매우 작게 나옴을 알 수 있다. 이는 계측 기법의 제약으로 인해 60Hz의 프레임율로는 6Hz 정도의 진동을 계측할 수 있기 때문이다.

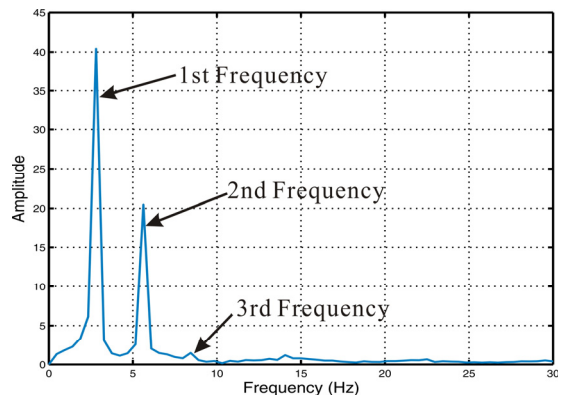


Fig. 2 PSD curve at midpoint

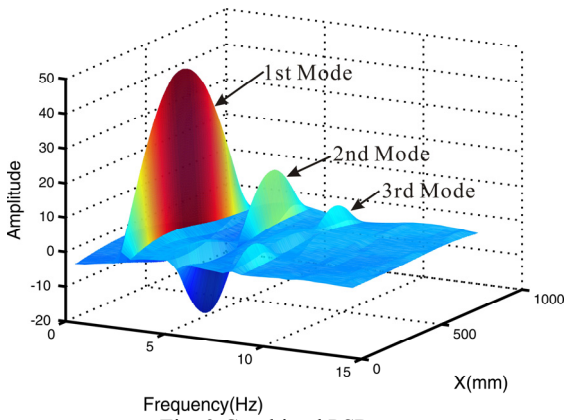


Fig. 3 Combined PSD curves

더 많은 고차 진동수 및 모드를 계측하기 위해 초당 300프레임의 초고속 카메라(CASIO, EX-F1)를 사용해 영상을 계측하였다. 카메라에 저장된 영상 파일을 Matlab으로 불러온 뒤 기존 분석 프로그램을 수정하여 진동 분석을 수행하였다. Fig. 4는 그의 그래프에서 알 수 있듯이 프레임율을 높일 경우 6차 고유진동수 및 6차 고유진동모드까지 추출해낼 수 있음을 알 수 있다.

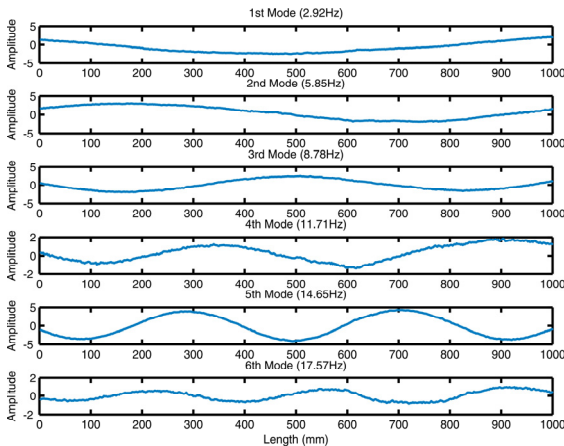


Fig. 4 Experimental results for cable vibration using the high-speed camera

4. 결론

본 연구에서는 가속도계와 같은 진동 센서를 부착하기 힘든 송전선의 진동을 계측하기 위해 영상처리를 이용한 진동 계측 방법을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 방법을 실험실에서 스프링을 대상으로 계측을 수행하고 진동을 분석한 결과 고유진동수 및 고유진동모드의 계측이 가능함을 확인하였다. 또

한 초고속 카메라를 이용할 경우 프레임율이 높아져 더 많은 수의 고유진동수와 고유진동모드가 계측 가능함을 확인하였다. 이를 통해 본 연구에서 개발한 영상처리를 이용한 진동 계측방법의 적용 가능성을 입증하였다. 향후 연구에서는 실제 송전선을 촬영하여 본 연구에서 실시한 계측 방법의 효용성을 검증해볼 예정이다.

후 기

본 연구는 한국 전력공사 전력 연구원의 “송전선로 진동계측 모듈 및 구조해석 알고리즘 개발” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) H.S Kim, G.S Byen, 2001, A Study on the analysis of galloping for power transmission line, Proceeding of ISIE 2001 IEEE International Symposium, pp. 973~978(2).
- (2) J Wang, 2008, Overhead Transmission Line Vibration and Galloping, High Voltage Engineering and Application, ICHVE 2008, International Conference, pp. 120~123.
- (3) Lee, C.H, Yoon, S.H, An Actual Case of Installing Interphase spacers to Prevent Galloping, 2006, KIEE Summer Conference, pp. 446~449.
- (4) Kim, K.Y, Kwak, M.K, Measurement of Large-amplitude and Low-frequency Vibrations of Structures Using the Image Processing Method, 2005, Journal of KSNVE vol.15, no.3, pp. 329~333.