

# 카메라를 이용한 진동 측정 시 주요인자 분석

## Parameter Studies for Measuring Vibration by Using Camera

전 형 섭\* · 최 영 철\* · 박 진 호\* · 박 종 원\*\*

Hyeong-Seop Jeon, Young-Chul Choi, Jin-Ho Park and Jong Won Park

(2010년 8월 13일 접수 ; 2010년 10월 21일 심사완료)

**Key Words** : Displacement Measurement(변위측정), Video Signal(영상신호), Vibration(진동), Camera(카메라), Accelerometer(가속도계), Laser Vibrometer(레이저 진동계)

### ABSTRACT

Accelerometer and laser vibrometers are widely used to measure vibration of structures like a building or piping. Recently, the research measuring vibration by using camera image is introduced. This method can measure multi-points simultaneously. Also, it is possible to measure in the long distance. When we measure the vibration using a camera, the parameter analysis is needed. Therefore, this paper took the experiment for the camera lens selection. An error by the camera images characteristic was theoretically analyzed and we verified through an experiment. And the accuracy of the method measuring the vibration displacement by using the camera images was analyzed.

### 기 호 설 명

- $d$  : 물체와 카메라의 거리
- $h$  : 실제 변위
- $h'$  : 영상에서의 변위
- $\theta$  : 물체와 카메라 각도
- 오차(%) : 변위와 거리에 따른 에러율

### 1. 서 론

건물이나 플랜트 배관과 같은 구조물의 진동을 측정하기 위해서 가속도계나 레이저 측정기를 많이 사용하고 있다. Fig. 1과 같이 최근에는 고온이나 방사선 환경과 같은 기존의 센서를 설치 및 사용하기 어려운 지역에서 가속도계나 레이저 측정기를 대신 카

메라 영상을 이용하여 진동을 측정 할 수 있는 연구가 제시되었다<sup>(1-5)</sup>. 카메라 영상을 이용하면 한번의 촬영으로 많은 부위의 진동을 동시에 측정할 수 있고, 또한 진동 측정을 위하여 장비 설치가 쉬운 장점이 있다. 이러한 카메라를 이용하여 진동을 측정할 때 측정 대상에 따른 영상의 해상도와 진동의 주파수에 해당되는 영상의 프레임을 설정하고 그에 맞는 렌즈의 선택이 중요하다. 또한 카메라를 이용하여 진동을 촬영한 영상에서 카메라 특성에 의한 오차가 얼마나 되는지를 분석할 필요성이 있다. 이 논문에서는 카메라 영상신호를 이용한 구조물의 진동을 측정하기 위한 선행작업으로 주요인자 및 오차분석을 하였다. 2장에서 구조물 진동을 촬영하기 위하여 카메라 렌즈 선택 방법을 제시한다. 3장에서는 카메라 영상 특성에 의한 오차를 이론적으로 유도하고, 이론을 바탕으로 실험을 통해 검증한다. 이를 통해 카메라 영상 특성에 의한 진동 오차를 보정하는 방법에 대해 살펴보고자 한다. 4장에서는 카메라를 이용한 구조물 진동 측정 시 정밀도를 확인하기 위하여 기존의 센서와 비교 실험을 수행하였다.

† 교신저자; 정희원, 충남대학교 정보통신공학과  
E-mail : jhs200@kaeri.re.kr

Tel : (042) 868-2074, Fax : (042)868-8313

\* 정희원, 한국원자력연구원

\*\* 충남대학교 정보통신공학과

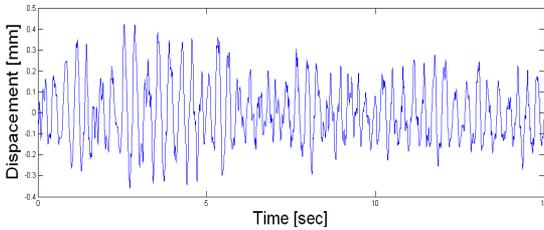
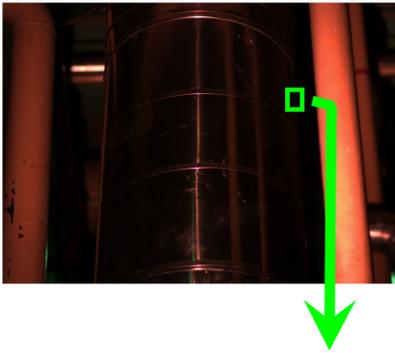


Fig. 1 Vibration measurement results using camera image in a nuclear power plant

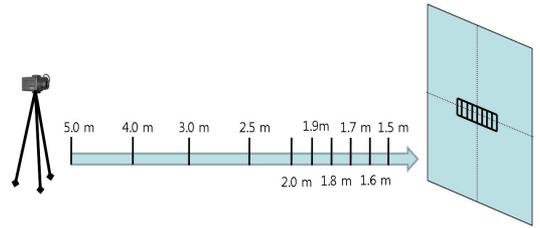


Fig. 2 Experiments the pixel size of the lens by the distance

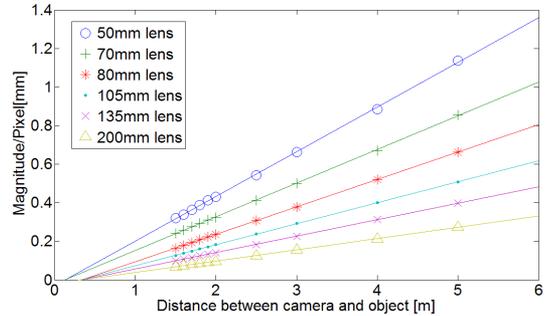


Fig. 3 Pixel size of the lens by the distance

## 2. 렌즈 선택을 위한 거리 별 픽셀 크기 측정

카메라 영상을 이용한 구조물의 변위를 측정하기 위하여 렌즈의 선택이 중요하다. 측정하고자 하는 물체가 카메라에서 얼마나 떨어져 있는지, 변위의 크기가 얼마나 되는지에 따라서 카메라의 렌즈를 선택하게 된다.

따라서 렌즈 별 거리에 따른 한 픽셀당 크기에 대한 정보가 중요하다. Fig. 2는 50, 70, 80, 105, 135, 그리고 200 mm 렌즈를 이용하여 거리에 따른 픽셀의 크기를 측정하는 실험 개략도를 보여주고 있다.

Fig. 3은 50, 70, 80, 105, 135, 200 mm 렌즈로 측정된 데이터를 이용하여 렌즈 별 거리에 따른 픽셀 크기의 결과를 보여준다. 이때, 마킹은 실제 측정된 데이터 값이고, 실선은 측정된 데이터를 연결한 직선이다. 카메라를 이용해 구조물의 진동을 측정하기 위하여 Fig. 3의 측정된 데이터를 이용하면 필요한 렌즈를 정확히 선택할 수 있게 된다.

측정 물체가 5m 떨어져 있을 경우 200mm와 50mm 렌즈를 사용하면 Fig. 3에 의하여 한 픽셀당 크기가 각각 약 0.25mm, 1.15mm임을 알 수 있다.

200 mm 렌즈를 사용하면 정밀한 측정을 할 수 있으나, 촬영 지역 범위가 작게 된다. 반면 50 mm 렌즈를 사용하면 정밀도는 떨어지나 넓은 영역을 측정할 수 있다. 진동 변위의 허용 오차에 맞추어 최대한 넓은 영역을 촬영 할 수 있는 렌즈를 선택하는 것이 중요하다. 따라서, Fig. 3의 그래프를 이용한다면, 픽셀의 크기를 추정하여 측정 범위와 허용 오차에 적합한 카메라와 렌즈를 선택할 수 있다.

## 3. 카메라 특성에 의한 오차 분석

카메라 영상은 초점거리에 따른 영상의 왜곡이 존재한다. 예를 들어, 광각 렌즈를 사용하여 영상을 촬영하면 넓게 보이지만, 영상 중심에서 멀어질수록 왜곡현상이 심해지는 것을 쉽게 볼 수 있다.

실제 변위를  $hr$ 이라 하고, 카메라 영상에서의 변위를  $hi$ 라고 한다. 또한 물체와 카메라의 거리는  $d$ 이다. Fig. 4에서 볼 수 있듯이  $hi$ 는  $hr$ 보다 항상 작은 값을 가지게 된다. 또한  $d$ 가 작을수록,  $hr$ 이 커질수록  $hr$ 과  $hi$ 의 차이 즉, 오차가 더욱 커지게 됨을 쉽게 알 수 있다. 이러한 관계를 Fig. 4의 기하학적 관점에서 유도하면 다음과 같이 유도 되어 진다.

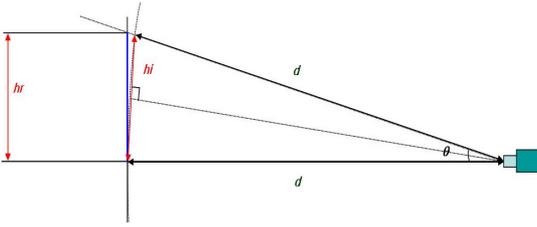


Fig. 4 Characteristics of the camera image

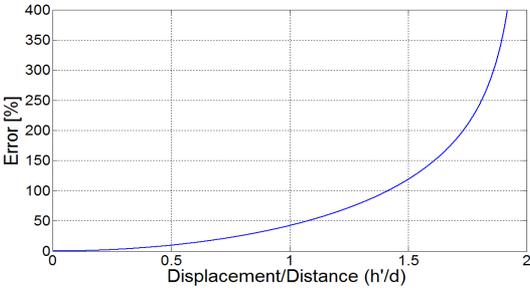


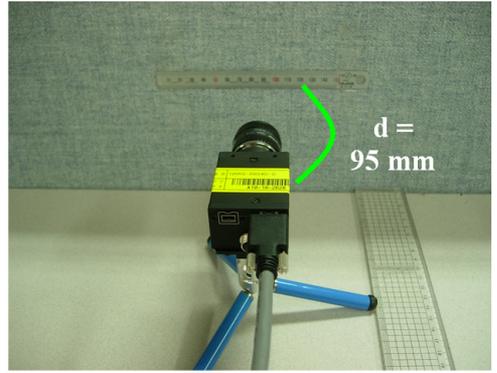
Fig. 5 Error rates by displacement and distance

$$hr = hi \cdot \frac{\sqrt{4 - \left(\frac{hi}{d}\right)^2}}{2 - \left(\frac{hi}{d}\right)^2} \quad (1)$$

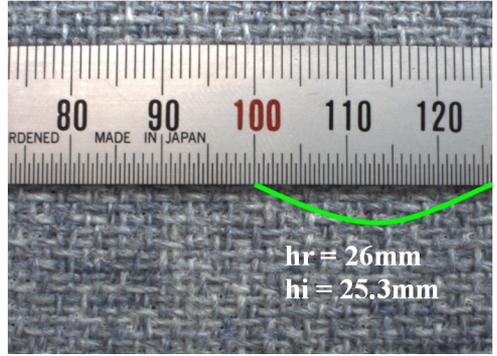
오차는 실제변위  $hr$ 과 카메라 영상에서 측정된 변위  $hi$ 로 표현하면 식 (2)와 같다.

$$\text{오차(\%)} = \left( 1 - \frac{2 - \left(\frac{hi}{d}\right)^2}{\sqrt{4 - \left(\frac{hi}{d}\right)^2}} \right) \times 100 \quad (2)$$

오차 식인 식 (2)는 무차원항인  $(hi/d)$ 로 그래프를 그리면 Fig. 5와 같이 나타난다.  $(hi/d)$ 항이 커질수록 오차가 증가함을 알 수 있는데, 즉 카메라와 물체간의 거리가 짧을수록, 변위가 클수록 오차가 증가함을 알 수 있다. 이런 구조물의 진동 변위를 측정할 때 식 (1)을 이용하여 변위 오차를 보정하면 더욱 정밀한 진동 변위를 측정할 수 있다. 따라서, 측정거리가 짧고, 변위가 큰 물체의 진동을 측정하기 위해서는 반드시 식 (1)을 이용하여 보정을 해야한다. 이러한 이론적인 내용을 검증하기 위해 Fig. 6과 같이 측정 물체와 카메라 사이의 거리를 95 mm로 하여 영상을



(a)



(b)

Fig. 6 (a) Experimental setup (b) Camera image

측정하였다.

Fig. 6(b)는 실제 카메라에서 촬영된 영상을 보여 준다. 실험을 통하여 실제 길이  $hr$ 은 26 mm이고, 영상에서 측정된 길이  $hi$ 는 25.3 mm이다. 따라서 2.7%의 실험적 오차를 보여주었다. 식 (2)를 이용하여 이론적 오차를 구하면 2.7%의 오차가 나온다. 이와 같이 영상의 왜곡이 큰 환경에서도 실험과 이론적 결과가 일치함을 알 수 있다. 따라서 식 (1)을 이용하여 영상에서의 왜곡 오차를 보정을 하게 되면 실제 변위인 26 mm가 나온다. 따라서 영상을 이용하여 진동을 측정할 경우 변위와 측정거리의 비  $(hi/d)$ 가 큰 경우에는 반드시 식 (1)을 이용하여 보정해야만 정확한 진동 측정값을 얻을 수 있다.

#### 4. 영상을 이용한 변위측정 정밀도 분석

카메라를 이용한 구조물의 진동을 측정하기 위해서는 얼마나 정밀하게 측정할 수 있는지를 분석 할

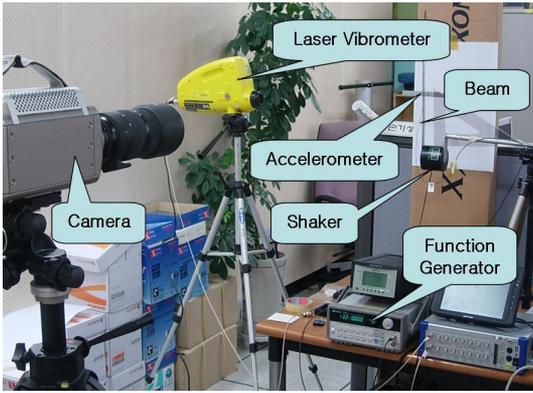


Fig. 7 Experimental setup for measuring vibration displacement



Fig. 8 Calibration experiments using calibration exciter

필요가 있다. 따라서, Fig. 7에서와 같이 레이저 속도계와 가속도계 그리고 카메라를 이용하여 진동 변위를 동시에 측정하는 실험을 통해 그 결과 값을 비교 분석하였다.

정확한 실험을 위하여 Fig. 8과 같이 레이저 속도계와 가속도계는 교정기를 이용하여 교정을 하였다. Fig. 9는 레이저 속도계와 가속도계를 교정하는 모습이다. 이와 같이 정확한 실험을 위하여 교정을 한 후 Fig. 7과 같이 가진기를 이용하여 빔을 진동하고 빔에 가속도계와 레이저속도계를 이용하여 진동 변위를 측정하였다. 동시에 카메라를 이용하여 빔의



(a)



(b)

Fig. 9 (a) Calibration of laser vibrometer, (b) Calibration of accelerometer

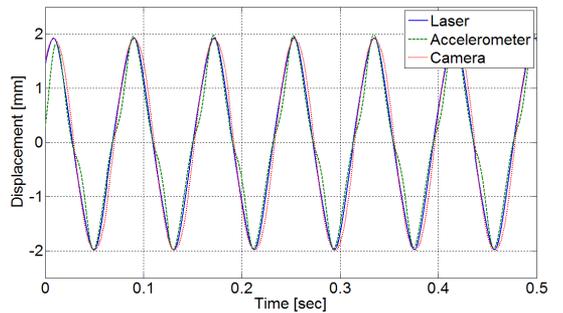


Fig. 10 Vibration displacement measurement results using laser vibrometer, accelerometer and camera

진동 변위를 같이 측정하였다.

Fig. 7에서 레이저 속도계와 가속도계 그리고 카메라를 이용한 변위 측정실험에서 Fig. 10과 같은 결과를 보여 준다. Fig. 11은 Fig. 10의 결과를 부분 확대한 모습이다.

Fig. 10의 결과를 보면 레이저 속도계의 측정 결과 평균 3.902 mm의 변위가 측정 되었고, 가속도계는

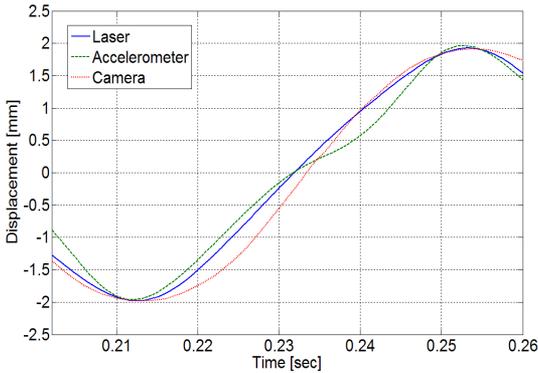


Fig. 11 Expand the portion of Fig. 10

평균 3.938 mm 그리고 카메라 영상을 이용한 변위 측정결과는 3.908 mm가 측정되었다. 측정결과 레이저 속도계와 카메라 영상을 이용한 변위 측정 오차는 0.15%이다. 또한 가속도계와 카메라 영상과의 변위 측정 오차는 0.76% 정도의 적은 오차를 보여 준다. 실험을 통하여 실제 구조물의 진동 변위측정에 가장 많이 사용 되는 가속도계나 레이저 속도계와의 오차가 크지 않음을 알 수 있다. 따라서 카메라 영상을 이용하여 구조물의 진동 변위를 측정 할 수 있음을 실험을 통하여 검증하였다.

## 5. 결 론

이 논문에서는 영상을 이용하여 진동을 측정할 때 주요인자분석 및 오차분석에 대해 설명하였다.

카메라를 이용하여 진동을 측정할 경우 렌즈의 선택이 가장 중요하다. 측정 대상체에 따라 렌즈별 거리에 따른 픽셀 크기 정보를 이용하여 렌즈를 선택하면 된다. 또한 렌즈자체의 특성에 의한 영상의 왜곡현상이 발생하는데, 이 논문에서 제안한 보정식

을 이용하여 오차를 줄일 수 있다.

또한, 기존의 방법과 비교 실험을 통하여 영상을 이용한 방법의 정밀도를 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- (1) Lee, S. B. and Kwak, M. K., 2000, "Development of Vibration Measurement Technique Using the Image Processing," Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 327~329.
- (2) Kim, K. Y. and Kwak, M. K., 2005, "Measurement of Large-amplitude and Low-frequency Vibrations of Structures Using the Image Processing Method," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 329~333.
- (3) Jeon, H. S., Choi, Y. C. and Park, J. W., 2008, "Displacement Measurement of Multi-Point Using a Pattern Recognition from Video Signal," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No. 12, pp. 1256~1261.
- (4) Wahbeh, A. M., Caffrey, J. P. and Masri, S. F., 2003, "A Vision-based Approach for the Direct Measurement of Displacements in Vibrating Systems," Smart Structures and Materials, Vol. 12, pp. 785~794.
- (5) Jeon, H. S., Choi, Y. C. and Park, J. W., 2009, "Measurement Structural Vibration from Video Signal Using Curve Fitting," Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 9, pp. 943~949.