카메라 흔들림 보정을 통한 증기 누설 탐지

Detecting steam leakage by using correction of camera vibrating

최영철† · 윤찬훈* · 김진섭*

Young-Chul Choi, Chan-Hoon Yoon and Jin-Seop Kim

Key Words : Steam leak(증기누설), Video Signal(영상신호), Vibration(진동), Camera(카메라), Correction(보정)

ABSTRACT

Steam leakage is one of the major issues for the structural fracture of pipes of nuclear power plants. Therefore a method to inspect a large area of piping systems quickly and accurately is needed. Recently, the research detecting the steam leakage by using camera image is introduced. However, this method has a disadvantage. If a camera oscillates, it cannot detect a steam leakage exactly. In this paper, the technique that reduces the error due to a camera shaking is proposed. To verify the proposed method, we have performed the experiments for the oil leakage experiments. The results show that the technique can calibrate the error due to camera shaking.

기 호 설 명

n	: n 번째 프레임 영상
$n+1$	: n+ 1 번째 영상
A	: n 번째 영상 타겟 1
B	: n 번째 영상 타겟 2
A’	: n+ 1 번째 영상에서 A 검출영역
B’	: n+ 1 번째 영상에서 B 검출영역
C	: 카메라 움직임 제한 영역
$o(m,n)$	: n+1 번째 영상의 m×n 영역
$s(m,n)$	: n 번째 영상 타겟 영역
As	: s 의 평균
Ao	: o 의 평균
Vs^2	: s 의 분산
Vo^2	: o 의 분산
$Cc(i,j)$	: cross correlation
$Ncc(i,j)$	: 정규화 된 cross correlation
T1	: n 번째 프레임 영상 타겟 1
T2	: n 번째 프레임 영상 타겟 2
T1’	: n+ 1 번째 프레임 영상 타겟 1
T2’	: n+ 1 번째 프레임 영상 타겟 2

† 최영철; 한국원자력연구원
E-mail : cyc@kaeri.re.kr
Tel : (042) 868-4870, Fax : (042) 868-8313
*한국원자력연구원

1. 서 론

원자력발전소나 화력발전소는 고온고압의 증기를 이용하여 전기를 생산한다. 하지만, 시설의 노후화나 배관감육 등 여러가지 원인에 의해 증기누설이 발생하여 인명사고 등 대형사고가 발생하고 있다.(1)

이러한 플랜트에서는 많은 배관과 밸브들이 있기 때문에 증기누설 광역 감시가 어려운 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 일반 카메라를 이용하여 증기누설을 광역 감시하는 방법이 제안되었다(2). 고온고압의 증기는 사람 눈으로 잘 보이지 않지만, 누설에 의해 발생된 미세한 차이를 영상신호로 검출하여 증기누설을 모니터링하는 방법이다.

이 방법은 이전 영상과 현재 영상의 차이를 구하여 영상신호처리를 함으로써 증기누설을 검출하기 때문에, 카메라가 움직이지 않고 고

정되어 있다는 가정하에서만 적용할 수 있다.

원자력발전소나 화력발전소와 같은 플랜트에서는 터빈이나 배관 유동 등 외부 진동에 의해 건물 벽체나 바닥에 진동이 발생하게 된다. 이런 경우 카메라를 이용하여 증기누설을 모니터링하게 되면 증기누설검출이 어려워 진다.

본 논문은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 카메라 진동에 의한 영향을 보정하여 증기누설을 검출할 수 있는 방법을 제안 한다.

2. 플랜트 바닥 및 벽체 진동측정

실제 발전소에서 카메라가 설치될 건물내의 벽면에서 진동이 어느 정도 되는지 살펴볼 필요가 있다.

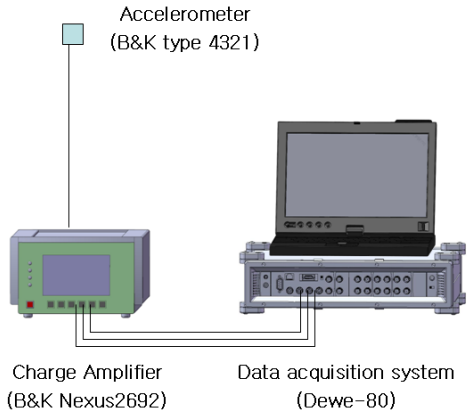
Fig.1 은 화력발전소 터빈빌딩의 터빈 메인 스탑 밸브 및 컨트롤 밸브 구역(TBN Main Stop VV & Control area)으로서 고온(540℃), 고압(246kg/cm^2) 지역이며, 특히 컨트롤 밸브가 취약하여 이 부분에 대한 증기 누설 발생 가능성이 높은 구역이다.

Fig. 1 Turbine main stop valve and control area on a thermal electric power plant.

또한 Fig. 1 에서 볼 수 있듯이 터빈 쪽에 가는 관이 존재하는데, 이것은 터빈 제어 계통의 베어링 윤활유를 공급하는 관이다. 이 오일 배관의 내부 윤활유는 100~150bar 의 높은 압력을 갖기 때문에 배관진동, 마모 등에 의해 오일 누설 사고가 발생할 가능성이 높다.

이와 같이 증기 및 오일 누설사고는 주고 배관의 이음새, 밸브 및 용접 부위에서 발생되며 인명 피해 및 경제적 손실을 야기 시킨다.

(a)



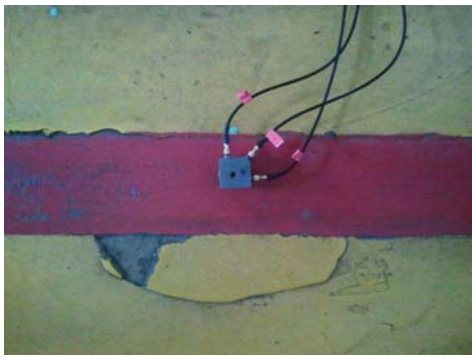
(b)

Fig.2 Experiments for measuring a vibration of a floor and wall on the turbine main stop valve and control area. (a) The picture of the experiment. (b) The outline of the experimental setup.

가동 중 화력발전소 건물의 진동이 얼마인지 측정하기 위해 Fig. 2 와 Fig. 3 과 같이 바닥 및 안전벽에 가속도계를 설치하여 측정, 분석

하였다.

(a)

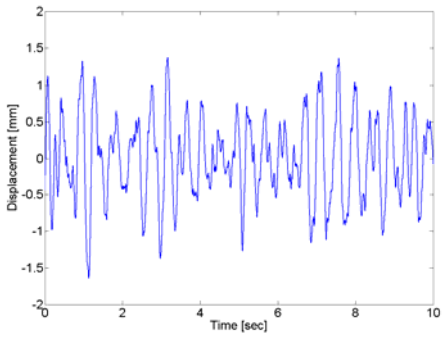


(b)

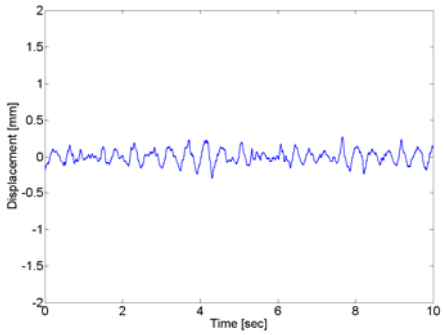
Fig. 3 The picture of mounted accelerometer on the (a) safety wall and (b) foor.

Fig.4 는 터빈 메인 스탑 밸브 및 컨트롤 밸브 구역의 바닥과 안전벽의 진동측정 결과를 보여주고 있다. 안전벽에서는 약 ±1.5 mm(peak-peak), 바닥에서는 약 ±0.2 mm(peak-peak)의 변위를 가지고 약 3Hz 의 주기로 진동함을 확인할 수 있었다.

일반 CCTV 카메라를 이용하여 증기 및 오일 누설을 감시하는 방법은 기준 영상과 현재 영상 프레임의 차이를 구하여 영상신호분석을 하게 된다. 따라서, 카메라를 터빈 메인 스탑 밸브 및 컨트롤 밸브 구역의 어느 곳에 설치하더라도 진동에 의해 화면이 흔들리기 때문에 많은 오차가 포함되어 누설 검출이 어려워지게 된다.



(a)



(b)

Fig.4. Measured vibration. (a) Vibration magnitude of the safety wall and (b) the floor

3. 카메라 흔들림 보정

진동측정 실험에서 알 수 있듯이 화력발전소에서는 터빈 등 여러 가지 진동원에 의해 진동이 발생하고, 설치되는 카메라의 흔들림을 야기 시킨다. 따라서 움직인 영상은 보정을 하여 누설 감시 시 보정 값을 반영해 주어야 한다. 이 장에서는 움직인 카메라 영상을 보정하여 누설 검출하는 방법에 대해 알아본다.

카메라가 진동하고 있는 상황에서 연속 촬영된 영상은 고정되어 있는 물체라도 마치 흔들리는 것처럼 보이게 된다. 이렇게 카메라가 진동하여 촬영하더라도 영상화면은 흔들리지 않도록 만드는 영상신호처리 기법이 필요하다.

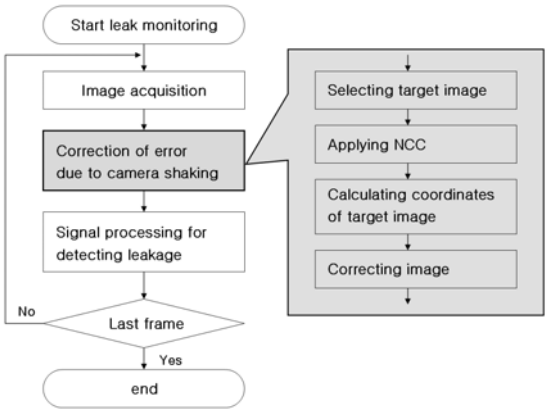


Fig. 5 Chart flow for the proposed signal processing.

본 논문에서 제안한 카메라 흔들림 보정을 통한 누설검출 방법을 Fig. 5 에서 설명하고 있다. 화면에서 타켓 이미지를 선정한 후 이전 영상과 현재 영상에서 NCC(Normalized Cross Correlation)를 적용한다. NCC 계산 후 1 이 되는 지점이 같은 지점이기 때문에 좌표를 계산하여 현재 이미지를 보정하면 카메라의 흔들림을 보정할 수 있다.

4. 실험 및 검증

제안된 방법을 검증하기 위해 Fig.6 와 같이 영상을 이용한 누설 검증실험을 수행하였다. 카메라는 진동 가진기 위에 설치 하였으며, 1 초당 30 프레임으로 영상을 취득하였다. 누설은 안전상의 문제로 오일 누설을 가정하여 분무기로 물을 분사하였다.

앞서 화력발전소의 실제 진동이 약 3Hz 의 주기로 ±0.2 mm ~±1.5 mm(peak-peak)로 측정되었기 때문에, 가진기에 실제 현장을 가정하여 카메라를 상하 3Hz 로 진동을 시키면서 누설 검출 실험을 수행하였다.(이때 변위는 ± 1.5 mm 임)

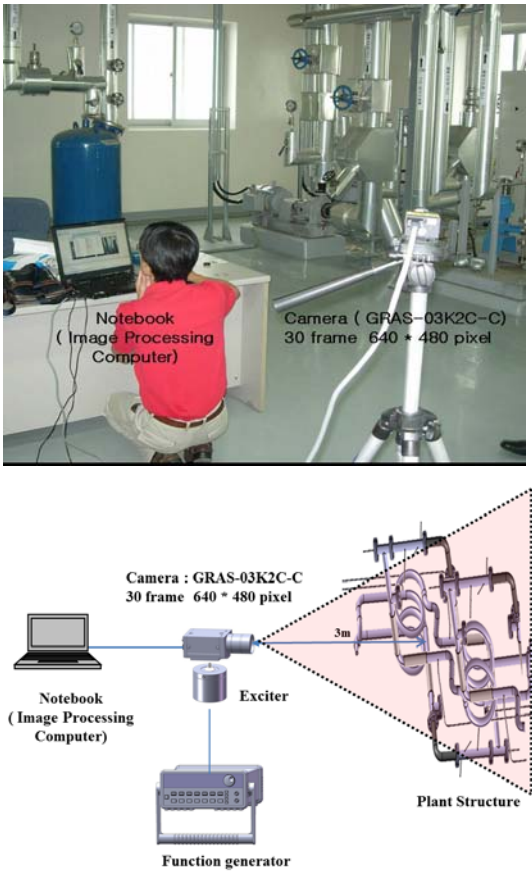


Fig. 6 Experiments for detecting leakage. (a) The picture of the experiment. (b) The outline of the experimental setup.

Fig.7 (a)은 카메라 흔들림 보정 전 누설 검출결과를 나타낸다. 영상을 이용한 누설검출 방법은 기준영상에서 누설영상의 차 영상을 구하기 때문에 카메라가 조금이라도 흔들리게 되면 Fig.7(a)와 같이 많은 오차를 포함하게 되어 누설을 검출할 수 없었다.

하지만, 카메라가 흔들릴 때도 본 논문에서 제안한 흔들림 보정 알고리즘을 적용한 결과 Fig. 7 (b)과 같이 깨끗한 누설검출 결과를 얻을 수 있었다.

(a)

(b)

Fig.7 Experimental results during vibrating the camera with 3 Hz (a) before correction, and (b) after correction

5. 결 론

실제 화력발전소 현장에서 카메라를 설치할 수 있는 위치에서 진동 측정한 결과 최대 ± 1.5 mm 변위로 진동함을 알 수 있었다. 이러한 진동에 의해 카메라가 흔들리게 되고, 카메라를 이용한 정밀한 모니터링이 힘들어지게 된다.

본 논문에서는 카메라 영상을 이용하여 증기 또는 오일 누설 감시에서 카메라 진동에 의한 오차를 보정하는 방법에 대해 제안하였다. 제안된 방법을 검증하기 위해 누설 검증실험을 수행한 결과, 카메라가 조금이라도 흔들리게 되면 누설검출이 되지않음을 확인할 수 있었다. 하지만, 제안된 카메라 흔들림 보정을 적용한 결과 누설을 정확하게 추정할 수 있었다.

누설탐지, 변위측정 등 많은 분야에서 카메라를 이용하는 새로운 기술이 개발되고 있다. 이러한 방법들이 현장에 잘 적용되기 위해서는 카메라 자체의 진동문제를 해결해야만 한다. 본 논문에서 제안된 방법이 카메라의 진동문제 해결에 도움이 될 것으로 기대 된다.

참 고 문 헌

(1) Fumio Indada, “Japanese Pipe Wall Thinning Management Based on JSME Rules and Recent R&D Studies to Enhance the Rules”, Technical Meeting/Workshop on E/C including FAC and EAC Issues in NPP, Moscow, Russia, 21-23 April, 2009.

(2) Choi, Y. C. Son, K.S. Jeon, H. S., and Park, J. H., 2010, “Steam Leak Detection by using Image Signal”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No. 9, pp. 828~833.

(2) 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.

(3) 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.

(4) 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.

(5) 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.

(6) 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.

(7) Jeon, H. S., Choi, Y. C. Park, J. H and Park, J. W., 2010“Parameter Studies for Measuring Vibration by using Camera”, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 20, No.11,pp.1033~1037.