

CCTV 카메라를 이용한 플랜트 오일 누설 감시

Oil leak detection on a plant by using CCTV camera

손기성[†] · 전형섭^{*} · 최영철^{*} · 박종원^{**}

Ki-Sung Son, Seop-Hyeong Jeon, Young-Chul Choi and JongWon Park

Key Words : Image Processing(영상처리), Camera(카메라), Oil Leak(오일누설)

ABSTRACT

In a power plant, an oil and steam leakage is generated once in a while. This is because the operating temperature and pressure of oil are very high. It is very difficult to monitor oil leakage, because oil leakage is almost invisible. Therefore a method to oil leakage detecting quickly and accurately is needs. In this paper, we proposed the method for the detecting oil leakage by using image processing and CCTV. To test the performance of this technique, experiments have been performed for simple case. Results show that the proposed technique is quite powerful in the oil leak detection .

기 호 설 명

$B(x,y)$: 배경영상
$Back(x,y)$: 평균 배경영상
$C(x,y)$: 비교영상
$D(x,y)$: 차영상
$Diff(x,y)$: 누적 차영상
$X \ominus Y$: 침식연산
$X \oplus Y$: 팽창연산
X	: 원 이미지
Y	: 구조 요소
C	: 모든 픽셀

1. 서 론

플랜트의 누설에 의한 사고사례를 보면 주로

배관의 증기누설 또는 오일누설에 의한 사고가 많다. 플랜트 배관의 경우 대부분 고온·고압의 환경이기 때문에 사고 발생시 많은 인명피해 및 경제적 손실을 가져오게 된다. 그 예로 2004년 8월 일본 미하마 원전 3호기에서 터빈 측 배관 파열로 고온·고압의 증기가 외부로 분출되어 4명이 숨지고 7명이 다치는 대형 사고가 있었다.



Fig. 1 플랜트 터빈제어계통 사진

플랜트의 누설감시 시스템은 대부분 AE(Acoustic Emission) 센서를 이용하고 있다. 이 시스템은 배관에 센서를 직접적으로 부착해야만 누설을 감시할 수 있다. 따라서 감시하는 배관의 수가 많아질수록 센서의 수가 많아지고 시스템이

[†] 교신저자; 정회원, 충남대학교
E-mail: infoison@nate.com
Tel : 042-868-4868, Fax : 042-868-8313
^{*} 한국원자력연구원
^{**} 충남대학교

복잡해지는 단점이 있다. 또한, 센서수가 증가함에 따라 감시시스템의 성능도 높아야만 실시간 감시가 가능하며 많은 비용이 소요된다. 또 다른 방법으로는 열화상 카메라를 이용한 방법, 시험지를 배관에 둘러 쌓아 육안으로 관찰하는 방법, 어레이 마이크로폰을 이용한 방법 등이 있지만 실제 플랜트의 누설감시영역은 Fig.1과 같이 매우 복잡하고 광범위해서 기존의 감시 방법으로는 많은 어려움이 따른다.

가장 최근에 연구된 카메라 영상신호를 이용하여 누설을 판별하는 방법이 연구되었는데 이 방법은 결과물에서 경보이벤트를 도출할 수 없어서 감시원이 결과 영상을 항상 모니터링 해야 하는 단점이 있다⁽¹⁾.

본 연구에서는 CCTV 영상을 이용하여 플랜트 배관의 오일 누설을 감시하고 오일 누설 발생 시 경보 이벤트를 발생시킬 수 있는 방법을 제안한다. CCTV 영상을 취득하여 실시간으로 영상처리를 수행하여 누설 검출 결과를 산출한다. 제안된 방법을 검증하기 플랜트 오일누설과 유사한 환경에서의 실험을 통해 살펴본다.

2. 영상처리방법

본 논문에서 제안하는 방법은 CCTV 카메라에서 취득한 감시영역의 영상을 영상처리를 통하여 누설을 판별하는 방법이다. 누설이 발생한 지점에서 오일이 새어 나올 때 누설지점의 후방배경이 오일에 의해 가려지거나 뜨거운 열에 의해 후방배경이 아른거리는 Fig.2와 같은 아지랑이현상 때문에 카메라 영상에서 미세한 변화가 발생하는 것을 이용하는 방법이다.



Fig. 2 아지랑이 효과 사진

연속된 영상에서 영상의 변화를 찾기 위해서는 이전의 영상과 현재의 영상을 비교하여 그 차이를 구한다. 정상상태에서의 영상신호와 누설이 발생한

경우의 차영상을 구하면 누설 검출이 가능하다. 하지만, 이때 문제점이 영상신호는 환경적 요인, 특히 조명에 의한 영향을 많이 받기 때문에 영상신호에 잡음이 포함되게 된다. 이러한 잡음을 제거하기 위해 영상처리 방법을 이용하게 된다.

2.1 배경영상의 노이즈제거

하나의 영상을 배경영상으로 사용할 경우 배경영상에 포함되어 있는 랜덤노이즈 때문에 차영상 결과에 많은 영향을 주게 된다. 이러한 배경영상에 포함될 수 있는 랜덤노이즈를 제거하기 위해서 본 연구에서는 여러 영상을 평균 연산하여 배경영상으로 사용한다. 평균 연산은 n개의 영상을 덧셈 연산을 수행하고 n으로 나누어 주는 연산의 의미 하는 것으로 식(1)과 같다.

$$Back(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i(x, y) \quad (1)$$

평균연산에 유사한 영상을 입력으로 사용하게 되면 잡음을 제거하는 효과를 갖는데 연속된 n개의 영상을 평균연산 함으로서 잡음을 제거한 배경영상을 구할 수 있다.

2.2 누설검출을 위한 차영상 연산

누설 검출을 위해서는 연속된 영상에서 현재의 영상과 배경영상을 비교하여 그 변화를 확인해야 한다. 변화 확인을 위해서는 차이 연산을 수행하게 되는데 차이 연산이란 두 입력 영상에 대해서 뺄셈 연산을 수행한 후, 그 결과값의 절대값을 이용하는 방법이다. 차이 연산을 수행하면 두 영상간 차이가 많은 부분은 큰 값을 갖고 차이가 적은 부분은 작은 값을 갖게 된다.

$$D(x, y) = |Back(x, y) - C(x, y)| \quad (2)$$

실제로 차이 연산은 공장 자동화 시스템에서 결함이 있는 부품을 찾거나 보안 시스템에서 침입자를 감지하기 위한 연산으로 사용되기도 한다.

2.3 누적 차영상

2.2에서 구한 배경영상과 현재 영상을 비교하여 구한 차영상은 누설에 의해 변화된 영상의 정보이므로 검출된 누설 영상이라 할 수 있다. 하지만, 사람의 시각으로 인지가 가능할 정도로

확연한 영상의 변화가 아닌 열에 의한 아른거림 또는 증기와 같은 미세입자의 누설과 같은 경우는 차영상에서도 그 값의 레벨이 매우 낮기 때문에 이를 보정해줄 필요가 있다. 그 보정 방법으로 n개의 차영상에 대해 식(2)의 덧셈연산을 수행한다.

$$Diff(x, y) = \sum_{i=1}^n D_i(x, y) \quad (3)$$

연속된 영상에서 현재 영상에서 구한 차영상과 이후 영상에서 구한 차영상을 연속해서 더하여 연속 차영상의 합을 구한다. 연속 차영상의 합은 누설 발생에 의해 구해진 차영상의 경우 특정 픽셀의 위치에서 주로 그 값이 분포하므로 값의 레벨이 증가하고 랜덤 노이즈의 경우 특정 픽셀의 위치가 아닌 전체 영상에 골고루 퍼져 있으므로 그 값이 누설 위치에 비해 많이 증가되지 않는 장점을 갖는다. 여기서 구한 누적 차영상은 검출된 누설영상이다.

2.4 이동평균 및 이동누적

연속 영상에서 차영상을 구함에 있어 2.1에서 구한 배경영상을 고정하면 주변환경의 변화 변화가 있을 경우 비교되는 두 영상간에 환경적 차이로 인해 차영상은 많은 노이즈를 갖게 된다. 따라서, 배경영상은 한번만 수행하는 것이 아닌 현재의 비교영상이 바뀔 때마다 이전영상 n개의 영상을 평균함으로써 환경적인 노이즈를 감소시킬 수 있다.

또한, 2.3에서 구한 누적 차영상도 시간이 지남에 따라 오래된 차영상은 버리고 새로운 차영상을 더함으로써 현재의 감시상태를 반영할 수 있도록 한다.

2.5 누적 차영상의 노이즈 제거

위의 2.3에서 구한 누적 차영상은 여러 차영상의 합이므로 다수의 랜덤 노이즈가 존재하게 된다. 이러한 노이즈를 제거 하기 위해 Morphological filtering⁽⁵⁻¹¹⁾을 이용하였다.

$$X \ominus Y = \{c \mid (Y)_c \subseteq X\} \quad (4)$$

$$X \oplus Y = \{c \mid c = a + b, a \in X, b \in Y\} \quad (5)$$

이 과정은 식(3) 침식(Erosion)과 식(4) 팽창

(Dilation)을 연이어서 수행하여 노이즈를 제거하는 방법이다.

2.6 경보 설정

누설감시시스템은 누설발생시 누설사실을 감시자에게 알리고 그 정보를 저장하기 위한 이벤트가 필요하다. 위의 2.5 에서 구한 결과값은 누설에 의해 발생된 영상으로 각 픽셀의 요소 값이 누설의 진위여부를 판별할 수 있는 기준으로 사용될 수 있다. 2.5 에서 구한 결과영상의 각 픽셀 값의 합이 감시자가 설정한 경보준위를 넘어서면 경보 이벤트를 발생시킬 수 있다.

2.7 누설영상과 실제영상의 합성

최종적으로 위의 2.5 에서 구한 누설검출 영상을 현재의 실제영상과 식(3)을 이용하여 덧셈연산을 수행하여 합성한다. 실제 영상과 검출영상을 합성 함으로서 누설 정보를 감시자에게 효과적으로 전달할 수 있다.

3. 오일 누설 실험

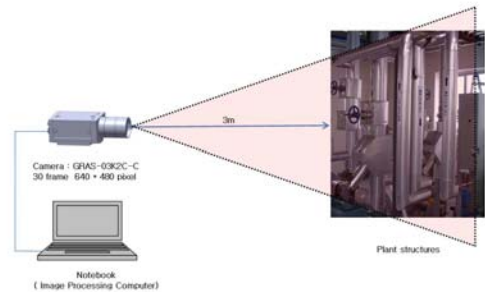


Fig.3 카메라를 이용한 오일누설 실험장치 구성 개략도

앞의 이론적인 내용을 검증하기 위하여 플랜트 구조물과 유사한 환경에서 실험을 수행하였다. Fig.3 과 같이 30프레임, 640X480촬영이 가능한 카메라와 시각적으로 오일보다 투명도가 높은 물을 사용하여 오일 누설을 가정하였다.

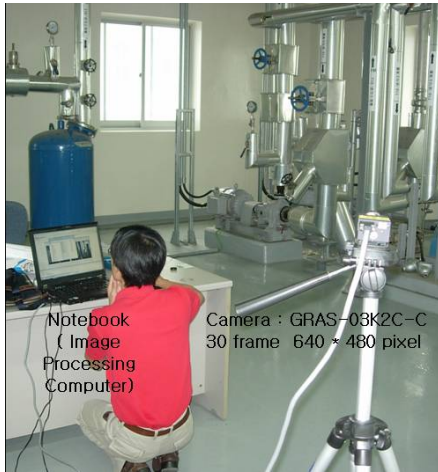


Fig. 4 오일누설 실험을 위한 실험장치 구성 사진

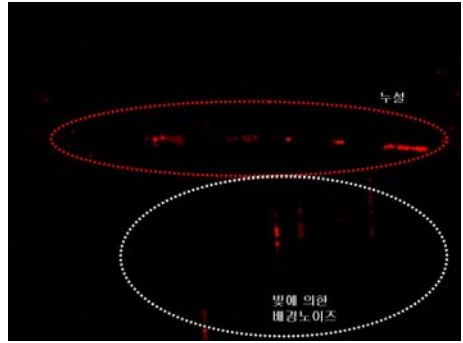
Fig.4는 오일누설 실험장치에 대한 사진을 보여주고 있다. 640X480 해상도를 가지는 카메라를 사용하여 누설 실험을 하였다. 이때 분무기와 물을 이용하여 오일누설 상황을 연출하였다.



Fig. 4 카메라로 촬영한 누설영상

Fig.5는 누설상황을 카메라로 촬영한 사진으로 사람의 시각으로는 누설상황을 판별하기 어렵다는 것을 알 수 있다.

Fig.6(a)는 기존의 카메라 영상을 이용한 누설검출 방법으로 검출한 누설이미지로 누설 외에 배경 노이즈가 많이 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. Fig.6(b)의 합성이미지를 보면 노이즈가 주로 분포하고 있는 부분은 빛의 영향을 많이 받는다는 것을 볼 수 있다.



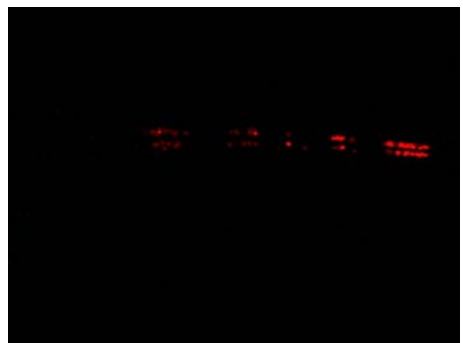
(a)



(b)

Fig.6 일반적인 차영상을 이용한 검출 결과 (a)누설검출결과 이미지, (b)배경과 누설 검출결과와의 합성이미지

위 Fig.6에서 나타난 결과에서 배경노이즈는 배경영상과 비교영상의 촬영 시점이 멀어질수록 빛에 의한 환경변화가 달라지기 때문에 나타난다. 이러한 배경노이즈를 최소화 하기 위해 연속영상에서 $n-1$ 번째 영상을 배경영상으로 사용하고 n 번째 영상을 비교영상으로 사용하여 Fig.7에서와 같이 실험해 보았다.



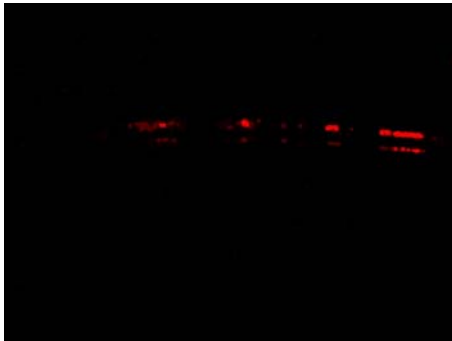
(a)



(b)

Fig.7 이전영상을 배경영상으로 이용한 검출 결과 (a)누설검출결과 이미지, (b)배경과 누설 검출결과의 합성이미지

실험결과 배경노이즈가 많이 줄어든 것을 볼 수 있다. 하지만, $n-1$ 번째 영상을 배경영상으로 사용하면 실제 오일 누설 시 오일 누설의 패턴이 빠르게 변화하지 않는다면 누설이 검출되지 않을 가능성이 매우 높게 된다.



(a)

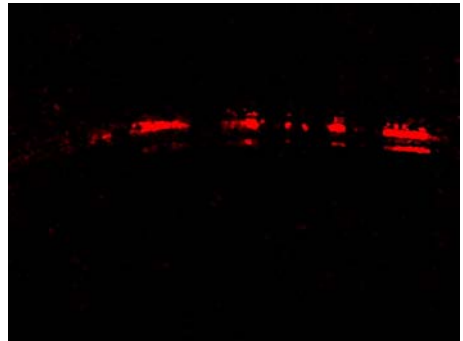


(b)

Fig.8 평균배경영상을 이용한 결과 (a)검출 결과 이미지, (b)배경과 검출결과의 합성영상

Fig.8의 실험결과는 Fig.7의 단점을 보완한 실험으로 배경노이즈를 최소화하고 누설 패턴 변화가 적은 상황에서도 효과적으로 검출하기 위한 방법으로 이동평균 배경영상을 사용한 실험이다. Fig.8의 실험결과에서 보면 배경노이즈가 최소화 되었으며 앞의 실험보다 누설검출이 더 잘 된다는 것을 볼 수 있다.

하지만, 이러한 누설검출 결과를 누설검출 시스템에서 이벤트 조건으로 사용하기에는 어려움이 따른다. 따라서 n 개의 누설검출 결과를 덧셈연산을 통하여 누적된 누설검출 결과를 Fig.9에서와 같이 구하였다. Fig.9의 실험결과를 보면 앞의 실험결과보다 확연히 좋은 누설검출 결과를 확인할 수 있다.



(a)



(b)

Fig.9 평균 배경영상과 누적 차영상을 이용한 결과 (a)검출 결과 이미지, (b)배경과 검출결과의 합성이미지

5. 결 론

본 연구에서는 CCTV카메라를 이용하여 플랜트 구조물의 오일 누설을 감시할 수 있는 방법을

제안하였다. 이 방법은 플랜트의 구조물에서 고온·고압의 오일이 누설될 경우 누설발생 전의 영상과 누설발생 후의 영상변화 차이를 연산하여 누설을 검출한다. 기존의 카메라 영상을 이용한 누설검출 방법의 단점인 배경노이즈 문제를 해결하기 위해 배경영상과 비교영상의 차영상 검출 시 n개의 배경영상을 평균 연산하여 배경영상으로 사용함으로써 배경노이즈를 최소화 할 수 있다. 또한, 최종 누설검출 결과가 누설검출시스템에서 누설판별 조건으로 사용이 가능하도록 n개의 누설검출 결과를 덧셈 연산하는 방법을 제안하였다.

플랜트 구조물과 유사한 환경에서 오일보다 시각적으로 판별이 더 어려운 물을 사용하여 실험을 수행하였다. 실험결과 제안한 방법으로 CCTV 카메라 영상신호를 이용하여 플랜트 구조물의 오일누설 판별이 가능하다는 것을 확인하였다.

플랜트 구조물의 오일 누설과 고온·고압의 증기누설 형태가 매우 흡사하여 증기누설 검출에도 적용이 가능할 것으로 보이며, 플랜트 현장에 이미 감시용으로 설치하여 사용하는 CCTV를 이용함으로써 경제적인 비용효과도 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

(1), 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) 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.

(3) Sobel, I., Feldman, G., "A 3x3 Isotropic Gradient Operator for Image Processing", presented at a talk at the Stanford Artificial Project in 1968, unpublished but often cited, orig. in Pattern Classification and Scene Analysis, Duda, R. and Hart, P., John Wiley and Sons, '73, pp. 271-2.

(4) James R. Parker., 1997, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley & Sons, New York.

(5) E. Kreyszig., 1993, Advanced Engineering Mathematics 7ed, New York: John Wiley & Sons, INC.

(6) James R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley & Sons, New York, 1997

(7) R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.

(8) Chowdhury, M. H. and W. D. Little, "Image Thresholding Techniques", 1995, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp. 585-589.

(9) Otsu, N., 1979, "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, pp. 62-66.

(10) J. B. MacQueen (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1:281-297

(11) 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.