

철도차량 하부 이상발열 감지를 위한 적외선 열화상 분석 방법

Thermal image analysis method for the detection of the abnormal heat under the railway vehicle

강부병*†, 김정곤*, 정찬목*, 권석진**

Bu-Byoung Kang*†, Jung-Gon Kim*, Chan-Mook Jung*, Seok-Jin Kwon**

Abstract IR camera has been used widely for the temperature measurement and fault detection of the moving bodies and rotating bodies. The high-speed performance of the IR camera and a reliable thermal analysis method are required for the condition monitoring of the railway vehicle running at high speed. The effective fault detection method using a thermal image analysis could make a real time monitoring of the high speed train possible. Therefore the investigation of the performance of the thermal image analysis method was performed to find the effective analysis method. The results suggested that a continuous temperature subtraction method and the comparison of the characteristics of the image histogram obtained at different conditions could be used as a useful analysis method for detecting abnormal temperature condition.

Keywords: Vehicle inspection, Infra-red camera, Thermal image analysis, Abnormal heat detection

초 록 운동하는 대상체 및 고속 회전체의 온도측정 및 상태진단을 위해 적외선 카메라의 사용이 증대하고 있다. 철도차량과 같이 일정속도를 가지고 이동하는 물체의 경우 카메라의 온도측정 성능에 대한 분석 및 이상 발열을 검출하기 위한 효과적인 분석방법이 필요하다. 고속에서의 카메라의 성능이 보장 될수록 그리고 측정된 열영상을 분석하여 효과적으로 이상을 검출할 수 있을 때 실시간 감시 장비로서의 적외선 열화상 시스템의 적용성은 높아지고 고속열차와 같은 고속주행열차의 실시간 감시를 가능하게 한다. 따라서 본 연구에서는 적외선 카메라로 측정한 열영상을 분석하는 방법을 비교하여 이상 검출 시 효과적으로 사용될 수 있는 분석방법을 찾고자 하였다. 분석 결과 이동체의 경우 연속차감법과 히스토그램 데이터가 이상 검출에 효과적으로 사용 될 수 있다는 결과를 얻었다

주요어: 차량 진단, 적외선 카메라, 열화상 분석, 이상발열검출

1. 서 론

최근 설비관리 기술로서 설비 진단 기술에 대한 연구가 활발하다. 이런 가운데 운동하는 대상체의 온도 측정 및 고속 회전체의 온도측정 및 상태진단을 위해 적외선 카메라의 사용이 증대하고 있고 일정속도를 가지고 이동하는 물체의 경우 카메라의 온도측정 성능에 대한 분석이 필요하다[1]. 고속 이동체의 온도를 비접촉식 적외선 온도계로 온도를 측정할 경우 측정 결과의 신뢰성에 대한 검증이 필요하기 때문이다. 특히 고속에서의 카메라의 성능이 보장 될수록 실시간 감시 장비로서의 적외선 열화상 시스템의 적용성은 높아지고 고속열차와 같은 고속주행열차의 실시간 감시를 가능하게 한다. 최근 고속 측정이 가능한 냉각식 적외선 카메라를 이용한 액티브 열화상법이 활발히 연

† 교신저자: 우송대학교 철도물류대학 철도차량시스템학과(bbkang@wsu.ac.kr)

* 우송대학교 철도물류대학

** 한국철도기술연구원, 책임연구원

구되고 있다[2-4]. 그러나 대부분 고정된 물체에 대한 시험이며 정성적인 특성 파악은 하고 있지만 이상 검출을 위한 열영상 분석 방법에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 적외선 카메라로 측정된 열영상을 분석하는 방법을 비교하여 이상 검출 시 효과적으로 사용될 수 있는 분석방법을 찾고자 하였다. 분석 결과 이동체의 경우 연속차감법과 히스토그램 데이터가 이상 검출에 효과적으로 사용 될 수 있다는 결과를 얻었다

2. 실험 결과

2.1 이미지 차감법

이미지 차감(image subtraction)은 첫째 온도의 작은 변화를 식별하는데 도움을 주고, 둘째 열 반사의 영향을 억제하는데 도움을 주며, 셋째 연속적으로 적용하는 경우 예를 들어 과도현상(transient phenomena)으로 인한 시간 도함수(time derivative)를 시각화하는데 도움을 줄 수 있는 이미지 처리 방법이다. 이미지 차감은 두 가지 방법으로 할 수 있다. 하나는 녹화된 순서의 각 이미지로부터 참조 이미지를 차감하는 것이고 다른 하나는 연속 과정으로, 즉 각 이미지를 이전 이미지로부터 차감하는 것이다. 첫 번째 방법은 결과적으로 새로운 순서가 형성되어 그 순서의 각 이미지와 참조 이미지 사이의 온도차를 보여준다. 기준 이미지와 결과 이미지의 비교는 핫스팟의 위치를 찾아내는데 사실 도움이 되지 않지만 차감된 이미지는 이상 발열부분의 위치를 정확히 알려 줄 수 있다. 이미지 차감의 두 번째 방법에서는 연속적인 이미지 차감이 수행된다. 이 경우 순서 $\Delta S(x, y, n)$ 에서 n 번째 이미지의 화소 (x, y) 의 차이신호(difference signal)는 다음 식으로 계산한다[5].

$$\Delta S(x, y, n) = S(x, y, n) - S(x, y, n - 1)$$

그 이후의 이미지들 n 과 $n-1$ 이 모두 녹화의 프레임 속도에 의해 정의되는 시간간격 Δt 에 의해 분리되기 때문에 연속적인 이미지 차감은 시간영역 내에서 이미지의 첫 번째 도함수를 계산하는 것을 나타낸다.

만약 연속 차감 알고리즘을 이미 연속 차감된 이미지 순서에 두 번째로 적용하면, 시간영역 내에 있는 온도의 두 번째 도함수가 계산될 것이다. 그것은 조사대상 물체의 시간 의존적인 온도 작용에 관한 추가정보를 제공할 수 있으며 예를 들어 펄스 서모그래피에 사용된다. 연속적인 이미지 차감은 또 물체장면과 배경이 다소 정적이거나 특징이 없을 경우 이동하는 물체의 특징들을 실시간으로 추출하는 데에도 이용할 수 있다.

철도차량의 경우는 이동 중인 물체에 해당하여 기준 이미지 설정이 매우 까다롭다. 따라서 차감법이 성공적으로 적용되기 위해서는 카메라 트리거가 모든 측정대상에 대해서 동일하게 적용되어야 하고 차량종류별로 기준 이미지가 얼마나 신뢰성 있게 설정되었는지가 중요하다. 만약 기준이미지의 질이 보장된다면 이미지 차감법을 통하여서 이상 온도 지점을 확인 할 수 있고 기준값 설정을 통하여 이상 여부도 판단할 수 있을 것이다. 따라서 시험결과 분석을 통하여서 재현성을 확인하여야 하고 트리거가 효과적으로 작동되는지도 확인하여야 한다.

2.2 연속적 이미지 차감을 이용한 열영상 분석 결과

Fig. 1 은 실차 시험시 측정된 이미지의 일반 온도 이미지와 연속적 차감한 경우의 이미지를 비교하여 보여주고 있다. 연속적 차감된 이미지가 실제로 온도변화가 크게 발생하고 있는 부분만을 명확히 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 특히 전체 이미지의 최대온도와 최저온도를 온도 범위로 설정한 경우보다 해당 이미지의 최대온도와 최소온도를 온도범위에 사용한

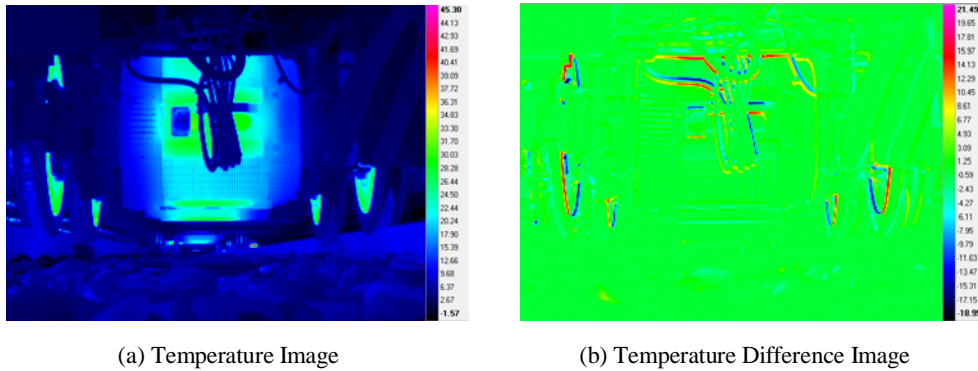


Fig. 1 Measured thermal image obtained during the running test of train (rainbow palette)
(Temperature span is adjusted to the maximum and the minimum temperatures of the measured thermal image)

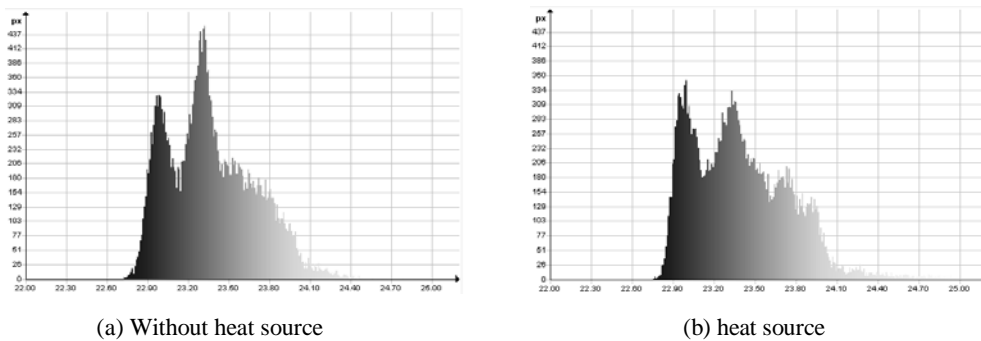


Fig. 2 Comparison of the thermal image histograms: (a) histogram obtained from the thermal image measured in the test without heat source at the rotation speed of 10Hz (the portion of area higher than 25°C is 0.43%) (b) histogram obtained from the thermal image measured in the test with heat source at the rotation speed of 10Hz (the portion of area higher than 25°C is 2.87%)

경우가 더 명확하게 온도변화가 큰 부위를 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 실제 대상에서는 특정 부위의 절대 온도값의 대소보다는 온도 변화가 큰 곳이 문제 부위가 된다. 따라서 이와 같이 연속적 차감된 이미지는 문제가 되는 부위를 좀 더 명확하게 보여주는 장점이 있는 것을 알 수 있다. 연속적 차감된 이미지에서는 온도범위가 +값과 -값을 갖는데 온도상승부분에서는 + 온도 하강 부분에서는 -값을 갖기 때문이다. 따라서 설정한 팔레트의 적색과 청색부분이 온도 변화가 큰 부분으로 나타나고 만일 grey 팔레트를 사용하면 백색과 흑색이 반복되어 동영상 이미지에서는 깜박거리는 효과를 내어 이상 부위를 더 명확히 보여주는 효과가 있다.

2.3 열영상 히스토그램을 이용한 이상 검출

Fig. 2 (a)는 optical chopper 의 휠의 회전속도 10Hz 시험 중 열원이 가려져 보이지 않는 경우 측정된 열화상 이미지의 해당 히스토그램을 보여준다. 특히 온도 범위 25°C 이상이 차지하는 비율도 **0.43%** 로 아주 작은 값을 가지고 있는 것을 알 수 있다. **Fig. 2 (b)**는 동일한 시험 중 열원이 노출되어 적외선 카메라가 열원을 측정할 경우로서 **Fig. 2 (a)**와는 다른 히스토그램 분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 특히 온도 범위 25°C 이상이 차지하는 비율이 2.87%로서 열원이 없는 경우와 비교하면 큰 값을 가지고 있는 것을 볼 수 있다. 확실히 열원이 보이지 않는 경우에 비하여 고온 영역 비율이 상당히 증가한 것을 알 수 있다.

3. 결 론

철도차량 하부 주요장치의 이상 진단을 위한 열화상 시스템에서 측정된 열영상 이미지를 활용하여 간편하고 빠르게 이상 유무를 판단 할 수 있도록 도와주는 영상 처리방법 및 이상 진단 방법은 매우 중요하다. 본 연구를 통하여서 연속적 차감 이미지법은 온도 변화가 매우 큰 부분을 선택적으로 보여 줌으로써 이상 판단을 위한 효과적이고 간편한 이미지를 제공 할 수 있음을 보여주었다. 또한 열영상 이미지의 히스토그램은 측정된 이미지 내의 전체 열정보를 가지고 있기 때문에 이 정보를 이용하여 기준 히스토그램과 비교하거나, 일정 임계치 이상의 고온 영역 비율이 크게 발생할 시 또는 기준 히스토그램의 분포 패턴과 비교하여 이상 유무를 판단하도록 하는 기준으로 사용 할 수 있음을 보였다. 이러한 방법들은 향후 현장에 설치될 진단 소프트웨어나 후처리 소프트웨어에 적용되면 이상 진단 효과를 매우 크게 증진 시킬 수 있을 것이다. 향후 측정 시스템 구축 후 안정화된 상태에서 측정한 시험결과를 활용하여 신뢰성 있는 기준 데이터가 확보되고, 제안된 기법을 적용한 분석 시스템의 구축이 완료되면 철도차량의 실시간 이상 진단 체계가 구축되고 철도차량의 안전성을 더 높여 줄 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 1012 년도 제 1 차 기술료 사업인 철도차량 하부 핵심부품 무분해-비파괴 진단 기술개발과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Michael Vollmer, Klaus-Peter Möllmann, Infrared Thermal Imaging, WILEY-VCH, pp. 189-190, 2010.
- [2] D. Almond, G. Busse, E. Grinzato, J. C. Krapez, X. Maldague, V. Vavilov, and W. Peng, "Infrared thermographic detection and characterization of impact damages in carbon fiber plastics: round robin test result," in Proceedings of QIRT98 (Quantitative Infrared Thermography 1998), Lodz, Poland, 7-10 September 1998, edited by D. Balageas, G. Busse, and G., 1998
- [3] X. Y. Han, L. D. Favro, Z. Ouyang, R. L. Thomas, "Thermosonics: Detecting cracks and adhesion defects using ultrasonic excitation and infrared imaging," Journal of Adhesion, Vol. 76, No. 2, pp. 151-162, 2001.
- [4] A. Gleiter, G. Riegert, T. Zweschper, G. Busse, "Ultrasound lockin thermography for advanced depth resolved defect selective imaging," in European Conference on Nondestructive Testing, ECNDT Conference Proceedings (Berlin, Germany, 25-29 September, 2006).
- [5] Michael Vollmer, Klaus-Peter Möllmann, Infrared Thermal Imaging, WILEY-VCH, pp. 73-77, 2010.
- [6] Bu-Byoung Kang, Joo-Hyung Kim, Gang-Min Lim, Condition monitoring and Diagnostics of machines - Category I according to the ISO18436-7, KCI-MD, pp. 146-152, 2010.