

적외선 열화상 측정에 의한 철도차량용 전기장치의 이상 진단 사례 분석

On-site Diagnosis of Electric Facilities in Railway Vehicle by Infrared Thermo- graphic Inspection

이창영*†, 김정국*

Chang Young Lee*†, Jung kuk Kim*

Abstract This paper deals with on-site diagnosis of electric facilities in railway vehicle by infrared thermographic inspection. The on-site diagnosis has been carried out for the vehicles that were used over 20 years by the Korean railway safety law issued in 2004. In the law, functional exams and thermal diagnosis of electric facilities in vehicles are recommended as the on-site diagnosis. Especially, thermal diagnosis by infrared-vision is effective way to estimate the degree of thermal stress or to detect over-rated operation for the electric facilities in vehicle. This paper introduces some cases experienced in a diesel electric locomotive, a shunting locomotive and passenger cars.

Keywords : Diagnosis, Thermal vision

초 록 2004년 제정된 철도안전법에 따라, 20년 경과된 철도차량의 사용 내구연한 연장에 따른 안전운행을 위해 정밀진단을 실시하고 있다. 철도차량용 전기장치에 대한 정밀진단은 전기적 기능검사와 함께 적외선 열화상 측정법을 이용하고 있으며, 본 논문에서는 적외선 열화상 측정에 의한 전기장치의 현장 정밀진단 적용 현황에 대해 소개한다. 실제 발견된 이상 검출 사례를 통해 철도차량의 전기장치에도 열화상 측정이 유효한 진단 방법임을 알 수 있으며, 이상 검출 및 전기장치의 장기간 사용에 따른 열적 스트레스 누적에 의한 교체여부의 판정에도 이용할 수 있다. 열화상 측정은 정밀진단 뿐 아니라 철도운영 기관이 차량의 유지관리를 위한 일상 검사에도 유용할 것으로 판단된다.

주요어 : 열화상, 정밀진단, 철도안전법

1. 서 론

적외선 카메라를 이용한 열화상 측정 기술은 비접촉식 건전성 평가 기술로서, 기존 방식에 비해 현장에서 용이하게 적용할 수 있을 뿐 아니라 이상여부를 신속하게 발견할 수 있는 장점이 있기 때문에 이미 여러 산업 분야에 활용되고 있으며, 철도부품의 균열 등의 결함 진단을 위한 응용연구도 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 열화상 측정에 의한 비파괴 검사가 가장 많이 이용되는 분야는 케이블 및 변압기를 비롯한 송배전 전력기기와 수배전 전기장치들로서, 한전의 경우 열화상 측정을 통해 주기적으로 이상 진단을 실시하고 있다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원(cylee@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

철도차량의 경우 차량을 추진하기 위한 추진 및 제어 장치, 객실 전원장치, 통신 및 신호 제어 장치등 다양한 전기시스템이 설치되어 있으며, 각 시스템은 많은 전기 부품들로 구성되어 있다. 따라서 그 이들 부품을 개별적으로 검사하는 것은 사실상 불가능하기 때문에 철도차량용 전기장치의 경우에도 열화상 측정이 가장 유효한 진단 방법으로 활용하고 있다.

한국철도기술연구원은 2004년 제정된 철도안전법에 따라 철도차량 정밀진단 기관으로 지정되어, 철도차량에 대한 정밀진단을 수행해 오고 있다. 본 논문에서는 적외선 열화상 측정에 의한 철도 차량용 전기장치의 현장 진단 현황을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 철도차량정밀진단 개요

2004년 10월, 철도의 운행과 철도시스템의 안전을 위하여 철도안전법이 제정되었고, 2005년에는 이를 시행하기 위한 하위 법령 및 지침들이 제정되어 시행 중에 있다. 철도안전법 제37조에서는 철도차량의 사용내구연한을 20년으로 규정하고 있는데, 사용 연한을 초과한 철도차량의 경우에는 철도차량정밀진단시행지침에 따른 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정되는 경우에만 사용내구연한을 연장할 수 있도록 하고 있다.

국내의 철도 차량은 다양한 방법으로 구분할 수 있으나 적용 법령에 따라서 크게 도시철도용 전기철도와 도시간 운행하는 여객 및 화물 열차로 구분된다. 이 중 도시간 운행하는 여객 및 화물 열차에 대하여 철도안전법의 철도차량정밀진단 지침에 따라 정밀진단을 실시한다. 또한 특수한 여건에 따라 공장 구내에서의 화물 운송을 목적으로 하는 입환기관차에 대해서도 철도안전법을 적용하여 정밀진단을 실시하고 있다. 현재까지 20년 사용내구연한이 도래하여 철도안전법에 따라 정밀진단을 실시한 차량은 Fig. 1 과 같다.

철도차량정밀진단 지침에 따르면 대상 차량의 차체, 대차, 제동장치 및 전기장치 등으로 나누어 세부적인 진단을 실시하도록 규정하고 있다. 이 중 전기장치의 경우에는 안전성 검사를 목적으로 추진제어장치, 보조전원장치, 고전압장치, 집전장치, 차체배선 및 그 밖에 전기장치를 대상으로 하고 있다. 이 중 주요기기 온도 및 상태 시험을 위하여 적외선 열화상 측정을 활용하고 있다.



(a) Diesel electric locomotive



(b) Diesel car



(c) Shunting locomotive



(d) Passenger car

Fig. 1 Railway vehicles overhauled by Korean railway safety law

2.2. 철도차량 열화상 측정 대상

차량별 전기장치에 대한 열화상 측정 대상은 운전 전류 부하 조건과 전기장치의 유지보수 및 부품 교체 이력등을 고려하여 선정한다. 철도 차량에 대한 전기장치를 전류 용량별로 보면 크게 추진전력계통, 실내 냉난방 및 조명 전원계통, 통신 및 신호제어 계통으로 구분할 수 있다. 철도차량의 전기장치에 대한 열화상 측정 대상은 Fig. 2 와 같다.

추진 전력 계통은 운전전압이 700 V로서 300 A 이상의 부하 전류로 견인모터를 구동시킨다. 따라서 추진계통의 전기 장치는 전압과 전류에 의해 절연체의 열화 가능성이 가장 크다고 볼 수 있다. 현재, 추진전력 계통의 엔진발전기와 견인모터에 대해서는 차량운영기관에서 정기 유지보수 계획에 따라 교체 또는 보수를 하고 있기 때문에 열화상 측정 대상에서 제외한다. 그러나 엔진 발전기와 견인모터 사이에 연결되는 추진전력케이블은 교체 또는 유지보수가 불가능하기 때문에 열화상 측정 대상으로 선정 한다.

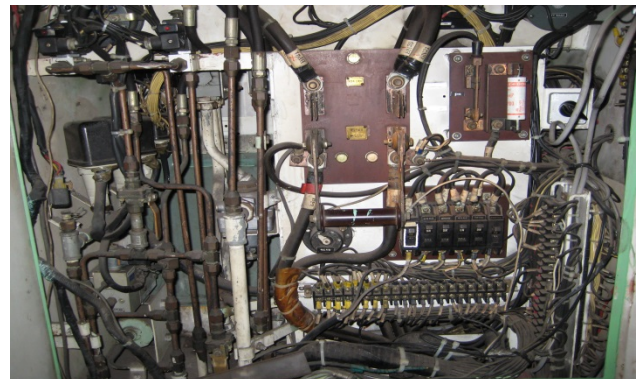
실내 냉난방 및 조명 전원계통은 110 ~ 440 V 이하의 전원을 사용하며 부하 전류는 대부분 100 A 이하이다. 전기장치는 각종 개폐기와 계기류, 배선접촉단자 및 각종 저압 배전 케이블 등으로 구성되어 있으며 운전석 또는 객실 내 배전반을 통해 각 장치들로 연결되어 있다. 전압이 낮기 때문에 전압에 의한 열화 가능성을 없으나, 부하 전류에 의한 열적 노화 가능성이 있다. 대부분은 차량 제작 당시 설치된 부품들로서 개폐기와 계기류의 경우 기능점검에서 이상이 확인된 부품에 대해서만 교체가 되어 왔으며 대부분의 부품은 20년 이상 사용되었다. 따라서 배전반에서의 열화상 측정을 통해 기기 및 접촉부위에서의 이상 발열 여부를 진단한다.

통신 및 신호제어 계통은 24V 이하의 저전압을 사용하며 사용된 케이블은 신호 전달용으로 수 mA 정도의 전류가 흐른다. 따라서 전압 및 전류에 의한 스트레스는 거의 발생하지 않는다. 또한 통신 및 신호 제어 장치는 철도의 안전을 위해 주기적으로 교체하고 있기 때문에 열화상 측정 대상에서는 제외한다.

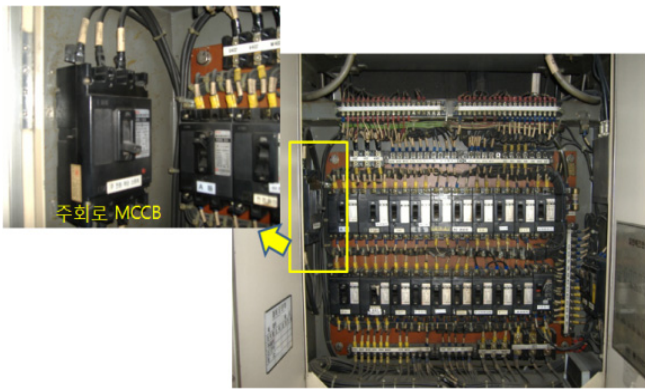
그 밖에 디젤동차 및 입환기관차의 경우 전력 발생을 위한 소용량 엔진 발전기와 객차에 전원을 공급하기 위한 연결 케이블에 대하여 열화상 측정을 실시한다.



(a) Power cables



(b) Control and power distribution panel



(c) Main power distribution panel in passenger car



(d) Auxiliary power generator in shunting locomotive

Fig. 2 Electric facilities for thermal detection in vehicles

2.3 적외선 열화상 측정 방법 및 판정 기준

절대영도 이상의 온도 값을 가지는 모든 물체는 빛의 속도로 적외선 에너지를 방사하며, 이때의 에너지를 적외선 온도계의 렌즈 및 측정기를 통하여 감지하는 원리이다. 측정기는 감지된 에너지 량에 비례하는 전기적 신호로 바꾸어 주고, 바뀐 전기적 신호가 측정기의 마이크로 프로세스를 통해서 온도 값으로 표시하게 된다. 철도 차량 전기장치의 적외선 열화상 측정에 사용된 장비는 Fig. 3 및 Table. 1 과 같다.

Table 1 Specification of thermo-graphic inspection system

| Item | Specification |
|----------------------|--------------------------------------|
| Range | -20 ~ 350 °C |
| Min. detection level | 60 mK @ +30°C (Normal mode)166 mm |
| Sensitivity | ± 2 % |
| Wave length | 7.5 ~ 13 μm |
| Min. focus | 30 cm |



Fig. 3 Thermo-graphic inspection system

열화상 측정은 전기장치의 실제 운전 부하에서 실시하여야 한다. 실내 냉난방 및 조명 전원계통의 전기장치와 엔진발전기 등은 장치를 모두 가동한 상태에서 1시간이상 경과 후 측정한다. 또한 추진전력계통의 전력케이블은 차량을 본선에서 6시간 이상 주행시켜 견인모터가 장시간 운전 되도록 한 후 측정한다. 전기장치에 대한 열화상 측정으로서 다음과 같은 이상 여부를 확인한다.

- 허용온도를 초과한 이상 발열 여부
- 기기연결 단자에서의 접촉 불량
- 3상 전원에서의 불평등 부하 운전 여부
- 배전반에서의 이상 발열

허용온도는 케이블의 경우 KS C IEC 60227-3(정격 전압 450/750 V 이하 염화 비닐 절연 케이블-제3부: 배선용 비닐 절연 전선)의 기준을 적용하고 있다. 따라서 케이블 도체 최대 허용 온도를 고려하여 케이블 절연체 표면의 최대 허용 온도는 80 °C로 한다. 또한 계폐기의 경우는 제작사의 권고 기준에 따라 60°C이하를 기준으로 한다. 철도차량용 전기장치의 경우 차량운행에 따른 진동 때문에 케이블 단자에서 풀림 현상이 발생할 수 있다. 이러한 풀림 현상이 발생하면 단자에서의 전기 접촉 저항이 증가하여 이상 발열이 나타나게 된다. 이상 발열 여부는 동일 전기 회로의 타 단자에서의 열화상 온도와 비교하여 비정상적으로 높은지를 확인함으로써 알 수 있다.

이 외에도 객실 조명 및 냉난방 장치에 있어서 3상 전원에 대한 단상부하의 불균형 사용 여부와 누설전류 또는 전자기 유도 등의 원인으로 배전반에서의 이상 발열 여부를 열화상 측정으로 진단한다.

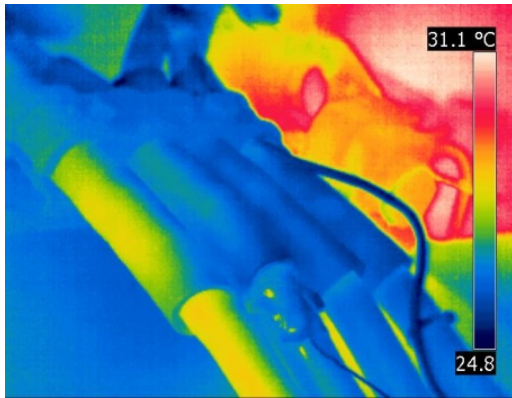
2.4 열화상 측정에 의한 이상 검출 사례

차량의 열화상 측정은 해당 운영기관의 정밀진단 요청에 따라 2007년부터 2013년 3월까지 실시되었다. 열화상 측정 결과, 차량 내 전기장치의 대부분은 장시간 부하 운전에도 불구하고 약 40°C 이하의 온도 분포로 측정되었다. 그러나 일부 전기장치에 있어서는 열화상 측정으로 발열에 의한 이상 개소를 검출할 수 있었다. 전기 장치별 열화상 측정 사례 및 효과는 다음과 같다.

Fig. 4(a) 와 Fig. 4(b)는 각각 추진전력케이블과 엔진발전기에서 측정된 열화상 온도 분포이다. 측정 온도는 약 30 ~ 35°C 정도로 허용 기준 이하의 온도분포를 보이고 있다. 이들 전기장치는 차량 외부에 설치되어 있기 때문에 차량 주행에 따른 냉각 효과 때문으로 판단된다. 따라서 열화상 측정을 통해 추진전력케이블과 엔진 발전기는 운전에 따른 열적 스트레스를 거의 받지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 4(c)는 객차의 조명 및 냉난방 장치에서 불평형 부하전류 운전에 따른 3상 주회로 차단기에서의 발열을 보여주고 있다. 차단기 2차 측 출력 배선에 흐르는 전류의 불균형으로 인해 단자 마다 온도 차이가 나타나며, 따라서 냉난방 부하 장치에 대한 결선 불량 여부를 추정할 수 있었다.

Fig. 4(d)는 객차의 냉난방 장치에 연결된 터미널 단자에서의 접촉 불량에 의한 이상 발열 검출 사례이다. 단자 표면에서의 온도가 약 70 °C까지 나타났으며, 단자에서의 볼트 조임 불량에 의해 발생한 이상으로 확인되었다.



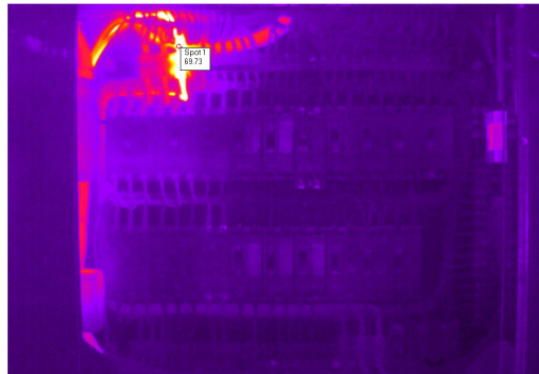
(a) Traction power cable of diesel electric locomotive



(b) Auxiliary power generator in shunting locomotive



(c) Hot spot on a circuit breaker



(d) Hot spot on a terminal block caused by contact problem

Fig. 3 Thermal visions of electric facilities

3. 결론

본 논문에서는 철도차량용 전기장치에 대한 진단법으로서 열화상 측정기술의 적용 현황을 소개하였다. 실제 현장에서의 이상 검출 사례는 열화상 측정에 의한 전기장치의 진단 효과를 입증하고 있다. 또한 전기장치의 이상 검출 외에도 장기간 사용에 따른 열적 스트레스의 누적여부 등의 의미 있는 정보도 제공하고 있다. 따라서 열화상 측정은 철도안전법에 의한 정밀진단 뿐 아니라 철도운영기관이 차량의 유지관리를 위한 일상 검사에도 유용할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] “철도차량 정밀 진단 시행 지침“, 건교부 고시 제2005-445호 (2005)
- [2] “정격 전압 450/750 V 이하 염화 비닐 절연 케이블-제3부 : 배선용 비닐 절연 전선”, KS C IEC 60227-3, pp3-8, (2005)
- [3] <http://kr.lsis.biz>