열화상 카메라용 반사경 설계

배영철*

Design of a Reflector for Infrared Camera

Young-Chul Bae*

요 약

최근에 열화상 카메라(적외선 카메라)는 수·변전 설비의 열화 상태를 진단하는데 많이 사용하고 있다. 그러나 자장이 높은 곳에서는 열화상 카메라의 전자부가 높은 자장으로 인하여 제대로 동작하지 못하는 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 수·변전 설비 중 열화상 카메라의 동작에 영향을 주는 높은 자장을 발생시키는 정류기를 포함한 설비에서 적외선 카메라의 손상이 없이 열화진단을 수행할 수 있도록 반사경 설계 기법을 제안한다.

ABSTRACT

Recently infrared cameras have been widely used to diagnosis degradation status of the power substitution system. At the place of high magnetic field, however, electronic parts of infrared camera take a place problem that is not reasonable working due to high magnetic field. In this paper, technique of design for reflector is proposed to perform degradation diagnosis without damage of infrared camera in a power substation system including the rectifier that is able to impact to the infrared camera by high magnetic field.

키워드

Infrared camera, Reflector design, thermal degradation diagnosis, Fault diagnosis, High magnetic field
열화상 카메라, 반사경 설계, 열화 진단, 고장 진단, 고자장

1. 서 론

산업 현장의 수·변전 설비는 가장 기본적인 동력을 공급하기 위한 설비이다. 공장에서 이들 설비들이 원활하게 동작하지 않으면 비상용 전원을 사용하거나 산업설비 가동을 줄여야하는 문제가 발생한다. 따라서 이러한 현상을 미리 방지하기 위하여 다양한 진단 기법을 적용하여 수·변전 설비를 진단하는데 노력을 기울이고 있다. 수·변전 설비를 진단하기 위한 가장

일반적인 방법으로는 접속 개소 등의 발열을 측정하는 것이며 이를 열화진단이라고 부른다. 과거에는 열화진단을 위해서 주로 열화발생이 우려되는 장소에 테이프를 붙여 사람이 육안으로 테이프의 변색되는 정도를 판단한 후 점검하는 초보적인 방법을 사용하였으나 최근에는 열화상 카메라(적외선 카메라)를 도입하여 발열 장소로 의심되는 부분에 대한 열을 측정하여 주변부의 온도와 비교를 통하여 상대적인 열화진단을 수행하는 것이 일반적이다.

* 교신저자(corresponding author) : 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2013. 10. 27

심사(수정)일자 : 2013. 11. 07

게재확정일자 : 2012. 12. 10

열화상 카메라는 발열부에서 발생하는 열에서 적외선을 방출하는 사실을 이용한다. 이는 발열부에서 발생하는 적외선 파장을 온도로 변환 한 후 온도를 측정한다. 측정할 때 적외선 파장을 이용하므로 이를 적외선 카메라라고도 부른다.

최근에는 열화상 카메라로 측정한 열화상 데이터의 온도 변화를 기록한 시계열데이터를 이용하여 이를 비선형 기법의 하나인 카오스 분석 기법을 적용하여 사람의 육안이 아닌 진단 알고리즘을 적용한 연구가 있었다[1-2].

열화상 카메라의 구성은 광학부와 전자부로 크게 구성된다. 이러한 열화상 카메라를 차단기, 변압기, 개폐기 등의 수·변전 설비를 진단할 경우에는 큰 문제가 없으나 정류기와 같이 높은 자장을 발생하는 장소에서는 전자부가 자장의 영향으로 원활한 동작을 하지 못하거나 고장으로 파손되는 경우가 자주 발생하여 고가의 열화상 카메라를 고장장이 있는 설비로는 접근자체를 꺼리는 경우가 대부분이어서 적절한 진단을 진행하지 못하는 경우가 많다.

이러한 자장의 영향을 방지하기 위하여 납을 가지고 차폐하는 기법을 사용할 수 있으나 이 차폐 기법은 무거울 뿐만 아니라 열화상 카메라를 완벽하게 차폐하지 못하다는 문제점을 있다.

따라서 이를 해결하기 위한 기본적인 아이디어와 필요성에 대한 연구[3-4]가 있었으나 매우 초보적인 단계의 연구이어서 추가적인 보완 연구가 필요하다. 또한 열방사를 줄이기 위한 반사경 설계에 대한 연구가 있었다. 그러나 이는 저온에서 약간의 온도 변화도 측정에 큰 영향을 미치므로 이를 줄이기 위한 연구로서 고온에 적용하기 어려운 문제점이 있다[5].

본 논문에서는 수·변전 설비 중 열화상 카메라의 동작에 영향을 주는 높은 자장을 발생시키는 정류기를 포함한 설비에서 적외선 카메라의 손상이 없이 열화진단을 수행할 수 있도록 반사경 설계 기법을 제안한다.

II. 열화상 카메라 원리

일반적으로 모든 물체는 물체 표면으로부터 물체의 미세한 진동에 의해 적외선을 방출하고 있는 것으로

알려져 있다. 물체의 방사율에 따라 적외선 방출량이 결정되며 일반적으로 이상적인 방사율을 1이며 이러한 물체를 흑체라고 부른다.

적외선은 빛을 프리즘에 분산시켰을 때 적색의 끝 부분보다 위쪽에 있는 파장을 말한다. 일반적으로 적외선은 0.75-1000 μm 의 파장을 갖고 있는 전자파이다. 물체에서 나오는 적외선은 한 개의 파장만 있는 것이 아니라 특정한 범위에 걸친 파장을 갖고 있다. 일반적으로 적외선 카메라에서는 0.9-14 μm 의 파장 대역을 주로 사용한다.

물체로부터 방출되는 적외선 방출량은 물체의 온도와 관계가 있기 때문에 물체로부터 방출되는 적외선 양을 측정함으로써 그 물체의 온도 측정할 수 있다.

흑체(blackbody)는 가장 이상적인 방사체이다. 흑체에서 나오는 한 개의 파장이 갖는 방사력(emissive power)을 분광방사 발산도(W_λ)는 식(1)과 같은 플랑크 식으로 나타낼 수 있다.

$$W_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5 e^{\left(\frac{C_2}{\lambda T} - 1\right)}} \quad (1)$$

여기서 λ : 방사된 적외선 파장(μm), T : 물체의 절대 온도(K), C_1 : $3.7402 \times 10^{-12} (\text{W} \cdot \text{cm}^2)$, C_2 : $1.4388 (\text{cm} \cdot \text{K})$ 이다.

흑체에서 나오는 특정 범위의 파장을 구하기 위해서는 흑체의 단위 면적 당 나오는 적외선 에너지량(W)을 구해야하며 이를 위해서는 식(2)와 같이 식(1)을 적분하여 구한다.

$$W = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} W_\lambda d\lambda = \sigma T^4 \quad (2)$$

여기서 σ 는 Stefan-Boltzman의 상수이다.

식(2)는 스테판 볼츠만의 식으로 알려져 있다. 이식은 흑체에서 방사되는 적외선 에너지량을 구한 것으로 물체의 방사율(Emissivity)은 같은 온도에서의 흑체의 방사력과 비교해서 정해지며 흑체의 방사율은 1이 된다. 최종적으로 물체에서 나오는 단위 면적 당 적외선 에너지량은 식(3)과 같이 표현된다.

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

여기서 ϵ 은 방사율이다.

식(3)으로부터 물체에서 나오는 적외선 파장들을 적외선 카메라로 검출하고 그 물체의 방사율을 안다면 물체의 온도를 측정할 수 있다.

III. 반사경 설계

3.1 반사경 설계의 필요성

수·변전 설비는 정류기와 같이 높은 자장을 발생시키는 설비들이 많이 존재한다. 이들 설비에서 나오는 높은 자장들은 적외선 카메라의 전자부에 영향을 주어 적외선 카메라가 동작하지 않을 수 있거나 오동작할 경우가 많이 존재한다. 그러므로 높은 자장이 발생하는 장소에서 열화 상태를 감시하기 위해서는 원거리에서 망원렌즈를 가지고 측정하면 자장의 영향을 받지 않고 열화 상태를 감시할 수 있다. 그러나 측정하고자 하는 설비에 벽면 등의 장애물이 존재할 경우 가까이 근접하여 측정할 수 밖에 없으며 이 경우에는 높은 자장의 영향을 받아 사용자의 입장에서는 고가의 적외선 카메라의 사용에 적극적이지 못하는 경우가 발생한다. 이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 잠망경의 원리를 적용한 반사경을 설계하여 적외선 카메라가 자장의 영향을 받지 않은 상태에서 수·변전 설비의 온도를 측정하여 열화 상태를 확인할 수 있는 방법을 제안한다.

그림 1. 반사경을 이용한 측정 방법
Fig. 1 Measurement method using reflector

설계하는 반사경은 측정하고자하는 대상에서 나오는 파장을 반사경에 모이도록 측정한다. 그런 후 적외선 카메라는 장애물을 피해 원거리 또는 일정거리에서

직접 수·변전 설비를 측정하도록 하는 것이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 간접 방식의 원리를 적용한다. 이렇게 적용한 원리를 그림 1과 같이 개략적으로 나타내었다.

3.2 반사경 설계를 위한 재질 선택

그림 1과 같은 전체 시스템에서 반사경 설계를 위해서는 수·변전 설비에서 방출하는 파장을 반사경에 모두 모을 수 있는 반사경 설계가 필요하다. 이를 위해서는 적외선 카메라의 파장을 완전히 받아들이고 반사할 수 있는 파장 대역을 조사한 후 이들 이 파장 대역의 손실을 최소화하여 처리 할 수 있는 재질을 찾아 구성하는 것이 요구된다.

이를 위해서 일반적으로 열전도와 반사도가 높은 재료를 찾는 것이 필요하다. 반사판은 측정하기 전에 다른 열원에 의해서 측정되기 전에 열에 의해 영향을 덜 받아야 함을 고려해야 한다. 일반적으로 열전도도 면에서는 금과 은이 높으며 반사도 면에서는 알루미늄이 높다. 본 논문에서는 가격, 열전도도, 반사도의 3가지 요소에 가중치를 두어 반사경 재질을 선택해야한다.

이를 위해 여러 물질들의 열전도를 조사할 필요가 있다. 물질들의 열전도도를 표 1에서 나타내었다. 열전도도의 단위는 kcal/°C 이며 이는 열전달률을 말한다. 표 1에서 보는 바와 같이 순은이 가장 열전달율이 높고 다음으로 구리, 금, 알루미늄 순서로 높음을 알 수 있다.

표 1. 고체 물질의 열전도도
Table 1. Specific thermal conductivity of solid state

Material	Temperature(°C)	Thermal conductivity (kcal/°C)	Thermoelectric conductivity (m ² /h)
Aluminum	20	196	0.34
Gold	20	254	0.425
Pure silver	20	360	0.613
Tungsten	20	170	0.275
Iron	20	62	0.073
Cast iron	20	45	0.062
Carbon steel	20	46	0.053
18-8	20	14	0.016

Stainless steel			
Copper	20	320	0.37
Bronze	20	50~60	0.08
Lead	20	30	0.086
Nickel (99.9%)	20	77	0.082
Platinum	0	60	0.088

표 1로부터 반사경 설계를 위해서는 열전도도가 높은 순은, 금, 구리, 알루미늄의 4개의 물질 중에서 하나를 선택하여 구성하는 것이 바람직한 것으로 보아 4개의 물질로 한정하였다.

이들 4가지 물질 중에서 두 번째로 고려한 것은 반사도이다. 반사도의 경우는 알루미늄, 금, 은의 순서로 반사도가 높으며 구리는 반사도가 매우 낮은 것으로 조사되었다. 따라서 반사도까지 고려했을 경우 알루미늄, 금, 은의 3개의 재료 중 선택하는 것으로 결정하였다.

마지막으로 반사경을 제작할 재료로서 가격 요소를 적용한 결과 금, 은, 알루미늄의 순서로 가격대가 형성되었다. 이상의 내용을 표 2에 정리하여 나타내었다.

표 2. 4개 고체 물질 비교
Table 2. Comparison of four solid state

	Thermal conductivity	Reflectance	price
Gold	△	○	△
Silver	○	○	△
Copper	○	△	○
Aluminum	△	○	○

표 1과 표 2의 재료 선정 분석 결과에 본 논문에서는 가격과 반사도 성능이 높은 알루미늄을 선정하여 반사경을 설계한다.

IV. 반사경의 원리와 알루미늄 선택의 타당성 검토

4.1 반사경 원리 타당성 검토

열화상 카메라를 이용하는데 자장이 높은 지역에서

사용할 수 있는 반사경의 원리에 대한 타당성 검토가 필요하다.

이를 위해 그림 2와 같은 실험 장치를 구성한 후 실험을 수행하였다. 실험은 온도를 측정할 대상을 직접 측정한 경우와 장해물이 있어서 반사경을 사용할 경우를 비교하여 실험하였다. 실험은 반사경을 사용했을 경우와 직접 측정했을 경우의 차이를 알아보기 위한 것이다. 반사경을 이용했을 경우 반사경으로부터 나오는 파장을 측정할 수 있는지를 확인하기 위하여 적외선 카메라 렌즈 앞에 파장 차단 장치를 설치하여 이를 제거하거나 설치하여 반사경을 통하여 들어오는 파장이 적외선 카메라에 들어오는지를 확인하였다.

그림 2. 실험 장치
Fig. 2 Experimental device

그림 2의 실험 장치를 통한 실험 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3(a)와 3(b)는 측정하고자 하는 대상의 물체를 직접 측정한 결과로서 3(a)는 렌즈 앞에 차단 장치가 있을 경우의 측정 결과로서 차단장치로 인하여 파장이 전달되지 않은 상황을 알 수 있다. 3(b)는 차단장치를 제거했을 경우의 측정 결과로서 파장을 측정하여 온도측정이 정확하게 나타남을 알 수 있다. 그림 3(c)와 3(d)는 반사판을 사용한 경우이다. 그림 3(c)는 반사판에서 오는 파장을 차단장치로 차단했을 때 찍은 결과로서 파장이 전달되고 있지 않음을 알 수 있으며 이는 직접 측정한 그림 3(a)와 유사한 결과를 얻었음을 알 수 있다. 그림 3(d)는 반사판을 이용함에 렌즈 앞의 차단 장치를 제거했을 때의 온도를 측정 한 것으로서 그림 3(b)와 같이 온도가 측정됨을 알 수

있다. 이로서 반사판을 통하여도 적외선 카메라의 온도 측정이 가능함을 알 수 있다. 다만 한번 반사된 파장을 측정하므로 약간의 감쇄가 발생함을 알 수 있다.

(a) 직접 측정 방식의 렌즈 앞에 차단 장치가 있을 경우

(a) Case existence of blocking device before lens of direct measurement

(b) 직접 측정 방식의 렌즈 앞에 차단 장치가 없을 경우

(b) Case for absence of blocking device before lens direct measurement

(c) 반사판 측정 방식의 렌즈 앞에 차단 장치가 있을 경우

(c) Case existence of blocking device before lens of reflect sheet measurement

(d) 반사판 측정 방식의 렌즈 앞에 차단 장치가 없을 경우

(d) Case for absence of blocking device before lens of reflect sheet measurement

그림 3. 실험 결과

Fig. 3 Experimental result

4.2 반사경으로서 알루미늄 재질 사용의 타당성 검토

그 반사경 재질로서 알루미늄을 선택한 타당성을 검토한다. 이를 위해서 먼저 반사경의 원리로 수·변전 설비의 온도를 측정할 수 있는지를 알아보고 또한 반사경의 재질로서 알루미늄을 사용할 경우에 오차없이 온도를 측정할 수 있는지를 확인할 필요가 있다.

이를 위해 그림 2에서 반사경의 재질을 알루미늄 판으로 선정하여 반사판이 없는 경우와 알루미늄 반사판의 두께 0.3mm와 0.55mm를 선정한 후 1m 거리에서 실험을 수행하였으며 측정 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4(a)는 측정 대상 물체인 전자회로 기판을 직접 측정한 결과를 나타낸 것으로 핵심 부분의 온도는 36.6°C를 나타냄을 알 수 있다. 그림 4(b)는 1m의 거리에서 반사판 두께 0.5mm를 적용한 결과를 그림 4(c)는 1m의 거리에서 반사판 두께 0.3mm를 적용했을 때의 측정 결과를 각각 나타낸다. 또한 렌즈와 측정 물체를 1m, 1.5m, 2m, 2.5m로 놓고 직접 촬영, 반사판 두께 0.3mm, 0.5mm에서 10번 측정 한 후 평균 온도값을 표 3에 나타내었다.

그림 4와 표 3의 측정 결과로부터 반사판을 사용하여 온도 측정에는 무리가 없으나 거리에 따라서 약간의 감쇄가 발생하므로 이에 대한 보정 회로의 개발과 높은 반사 성능을 가지는 반사판 설계가 필요하다.

(a) 직접 측정 방식의 온도 분포
(a) Temperature distribution of direct measurement

(b) 반사판 0.5mm 일 때 온도 분포
(b) Temperature distribution for reflect sheet n thickness of 0.5mm

(c) 반사판 0.3mm 일 때 온도 분포
(c) Temperature distribution for reflect sheet n thickness of 0.3mm

그림 4. 온도 측정 실험 결과

Fig. 4 Experimental result of temperature measurement

표 3. 측정 결과
Table 3. Result of measurement

	Direct measurement	Reflect sheet	
		0.5mm	0.3mm
1m	35.10°C	30.72°C	31.27°C

1.5m	30.20°C	29.90°C
2m	29.73°C	28.00°C
2.5m	27.87°C	25.77°C

V. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 높은 자장으로 인하여 적외선 카메라를 사용할 수 없는 지역에서 수·변전 설비의 온도 측정을 위한 방법으로 반사경을 사용한 방법을 제안하고 이 반사경 사용의 타당성과 반사경 재료로서 알루미늄을 사용의 타당성을 제안하였다. 제안한 방법대로 실험 한 결과 반사경을 사용하더라도 수·변전 설비의 열화진단에는 큰 문제가 없이 진단할 수 있음을 확인하였다. 그러나 측정 대상 물체가 멀어질수록 온도 측정의 감쇄가 발생하므로 이에 대한 보정 회로 개발과 알루미늄 반사판에서 더 높은 반사도를 가질 수 있는 증착 기법 등이 연구되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 지정 전남대학교 중화학설비안전진단센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] Y.-C. Bae, "Diagnosis of power supply by analysis of chaotic nonlinear dynamics," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 13-19.
- [2] S. Hwang and Y.-C. Bae, "Diagnosis of power supply using time-series of infrared camera," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1443-1447.
- [3] J. So and Y.-C. Bae, "Design of Reflect mirror for Infrared Camera," In *Proc. of KIECS 2013 fall conference*, vol.7, no. 2, 2013, pp. 357-359.
- [4] Y.-C. Bae, "The Mirror for Infrared Camera," In *Proc. of KIIS Fall Conference 2013* vol. 23, no. 2, 2013, pp. 163-164.

[5] www.pa.msu.edu/~loh/SpartanIRCamera/design.doc

저자 소개

배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과
(공학사)

1986년 광운대학교대학원 전기공
학과(공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년~1991년 한국전력공사

1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원

1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부
교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교
수

2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터
공학부 교수

2011년~2011년 University of Utah 방문교수

※ 관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot,
Robot control etc.