

LED 조명 모듈 표면의 방사율 측정에 관한 연구

박진성^{1,a}, 허창수¹

¹ 인하대학교 전기공학과

Measurement of the Surface Emissivity of the LED Lighting Module

Jin-Sung Park^{1,a} and Chang-Su Huh¹

¹ Department of Electrical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received November 27, 2012; Revised January 9, 2013; Accepted May 24, 2013)

Abstract: LED lighting is sensitive because it made by semiconductor. So it has been researched about radiation of heat technologies for a long time. In addition, measurement and assessment a radiation of heat also conducted. It is necessary to get a date of accuracy temperature on the board after LED driven for measuring Junction temperature of the LED Lighting. For this research, we use 5 chip which is 4 W power on top of LED lighting board made by aluminum. Thermal camera effects to emissivity depending on material and property of the surface in LED board because it determines thermal energy which emitted from material surface. it is not only thermal camera has not a standard about emissivity. It has an error of temperature when emissivity was measured by thermal camera. we confirmed that emissivity and reflected temperature depending on color and quality of the surface throughout experiment.

Keywords: Emissivity, Reflected temperature, Thermal image camera

1. 서 론

LED 조명은 저 전력의 조명 장치로 에너지절약과 효율 문제가 중요하게 요구되어 이에 따른 연구가 점차 확대되고 있다. LED 조명의 광원은 반도체 소자로 제작되어 등기구에서 발생하는 열에 의해 큰 영향을 받으며 소자의 수명을 결정하는 가장 큰 문제점으로 나타났다. 이를 해결하기 위해 방열기술 연구가

국내외로 활발하게 연구되고 있으며 LED의 효율 향상을 위한 노력이 지속적으로 요구된다. 이러한 연구는 방열핀의 개수 및 두께 등 방열판의 최적화를 통한 방열분석, LED 패키지에서의 납땜 접착제 물질(thermal interface material, TIM) 및 epoxy 물딩에 따른 방열특성의 분석 등이 수행되어왔다 [1-3]. LED 조명의 방열기술에 대한 검증을 하고 성능 평가를 위해 정확한 방열측정이 요구된다. 특히 LED 조명의 성능과 신뢰성을 평가하는 척도로 LED 접합면의 온도에 대한 정확한 측정과 이 부분에 대한 방열제어가 필수적이다. 본 연구에서는 LED 조명 기판은 열전달 특성이 우수한 알루미늄 소재인 금속 PCB 기판으로 제작하였다. 알루미늄 소재는 FR-4소재 보다 열전달

a. Corresponding author; van0711@naver.com

Copyright ©2013 KIEEME. All rights reserved.
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

특성이 우수하여 LED 기판에 주로 사용된다 [4]. 실험을 위해 제작된 금속 PCB 기판에 실험을 위해 선정된 LED 칩을 기판 위에 실장하였다. 이 과정을 통해 20 W급 LED 모듈에 전력을 인가하여 발생하는 온도를 측정하였다. LED의 구동 후 발생하는 LED 접합면의 온도를 측정하기 위해 정확한 기판의 측정 온도를 측정해야 한다. LED 조명 모듈에서 발열온도를 측정하기 위해 열화상 카메라를 사용하였다. 열화상 카메라는 물체가 가지는 열복사에너지를 검출하는 것으로 측정온도는 물체의 표면에서 방출되는 열 복사 방사율 (emissivity)에 영향이 있다. 방사율은 물체 표면의 거칠기에 영향이 있다 [5-10]. 물체의 거칠기가 증가되면 상대적으로 열 방출 표면적이 커지므로 물체의 방사율이 증가하게 된다 [6]. 따라서 연마된 저방사 특성의 재료를 열화상으로 측정 시 표면의 코팅제의 합금제나 표면처리를 통해 방사율을 높여 측정치의 오차를 줄일 수 있다. 표면의 거칠기 외에 코팅제의 물성 및 두께의 영향이 방사율에 영향을 주는 연구도 수행되었다 [7-10]. 또한 물체의 측정 위치에 따른 방사각도에 따라 변화되는 방사율에 대한 연구도 진행되었다 [12]. 이를 위해 열화상 카메라를 이용하여 물질의 반사에너지와 방사율에 따른 값을 도출하였다. 측정치의 오차를 최대한 줄이고 측정치에 대한 신뢰성을 향상시키기 위해 정확한 재질의 방사율과 반사온도에 대한 수치를 확인해야 하며 이를 위해 온도센서에 의해 측정되는 온도 수치와 적외선 열화상 카메라를 통해 측정되는 온도 수치를 비교하여 정확한 방사율과 반사온도를 검출하였다.

2. 실험 방법

2.1 열화상 카메라 측정의 방사율 측정 이론

2.1.1 방사측정법에 의한 방사율 측정

절대온도 영도 이상의 온도를 가지고 있는 모든 물체는 그 온도에 대응하는 복사에너지를 방출한다는 Plank 흑체 복사이론을 통해 단위 시간에 방출되는 에너지는 절대온도에 의해 결정된다. 따라서 방출된 온도를 측정하여 검출된 에너지양과 온도의 상관관계를 이용하여 열화상으로 표현된다 [12].

$$R = \sigma T^4 \quad (1)$$

$$(\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 - \text{K}^2))$$

여기서 R 은 흑체 반사강도이며, T 는 절대온도 (K) 또한 σ 는 Steffan-Boltzmann' constant이다.

Plank의 흑체복사 이론과 Steffan-Boltzmann의 법칙을 이용하여 물체의 방사율 (ϵ)은 다음 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\epsilon = R_a/R_b \quad (2)$$

여기서 R_a 는 실체 물체의 방사에너지이며, R_b 는 흑체로부터 방사된 에너지이다.

2.2 반사측정법에 의한 방사율 측정

열화상 카메라로 물질의 온도를 측정할 경우 반사율과 흡수율, 투과율에 대한 수치를 알아야 한다. 어떤 물체 복사에너지가 다른 물체에 입사되었을 경우 에너지 보존의 법칙에 의해 다음 식 (3)에 의해 나타낼 수 있다 [5].

$$\rho(T) + \alpha(T) + \tau(T) = 1 \quad (3)$$

여기서 ρ 는 반사율, α 는 흡수율이며, τ 는 투과율이다. 물체의 두께가 어느 정도 이상이면 투과율은 거의 없다 [11]. 따라서 열복사 에너지는 투과율 (τ)=0이면 다음 식 (4)와 같이 표현된다.

$$\rho(T) + \alpha(T) = 1 \quad (4)$$

이상적인 흑체복사에너지는 반사율 $\rho=0$ 이고, 흡수율 $\alpha=1$ 이다. 물체 표면에서 반사되는 에너지를 제외하고 나머지 에너지는 물체 내부로 흡수된다. 열평형상태에서 물체의 열에너지 흡수율과 방출율이 동일하다는 Kirchhoff의 법칙에 의해 어떤 물체의 방사율과 흡수율의 관계는 다음과 식 (5)와 같이 정리될 수 있다.

$$\epsilon(T) = \alpha(T) \quad (5)$$

따라서 방사율을 고려한 물체의 측정식은 식 (4)와 식 (5)을 토대로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = T_0 - T_0(1 - \epsilon) \quad (6)$$

여기서 T 는 방사율에 따라 측정되는 온도이며, T_0 는 원온도이다. ϵ 는 방사율이며, $0 < \epsilon \leq 1$ 이다.

2.3 LED 조명 모듈 설계

LED 조명 모듈의 간격을 최대한 넓게 배치하여 열을 효과적으로 분산시킬 수 있게 배열을 하였다. 조명 모듈의 회로는 저항 10 Ω 과 LED chip 간의 배치를 직렬로 연결하였다. LED 조명 모듈 설계는 auto-CAD를 사용하여 설계된 LED 조명 모듈을 금속 PCB 제작 공정을 통해 완성하였다. 이후 선정된 미국 Cree사의 4 W급 고효율 LED chip을 실장하여 LED 조명 모듈을 제작하였다. 다음 그림 1에서는 LED 조명 모듈과 설치된 실험 장치를 보여주고 있다.

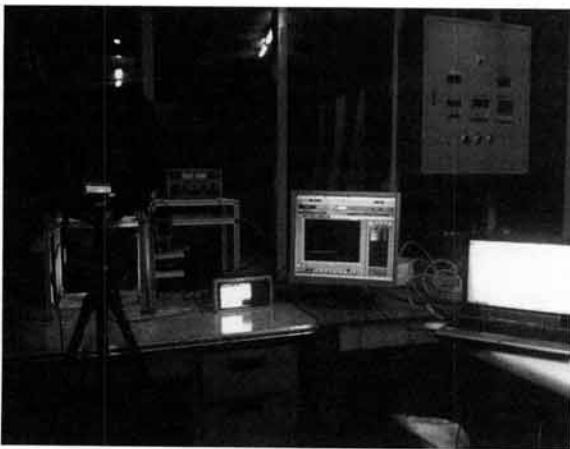


Fig. 1. The consist of LED lighting experiment.

2.4 LED 조명 모듈 및 실험 장치

본 연구를 위해 다음과 같은 실험 장치를 구성하였다. 우선적으로 LED 조명 모듈에 인가되는 구동전압은 DC power supply를 사용하여 제어하였고, 사용된 온도분석기는 100 ms까지 샘플링이 가능하고 측정온도 범위는 $-100^{\circ}\text{C} \sim 1,300^{\circ}\text{C}$ 이며, 정확도는 0.05%의 오차 범위를 가진다. 실시간으로 측정한 온도데이터를 컴퓨터로 전송하였다. 열화상 카메라는 30 cm 거리에서 45° 각도로 기울인 후 측정하였다.

2.5 LED 조명 모듈 온도 측정 및 방법

LED 조명 모듈의 접합면의 온도를 측정하기 위해 열화상 카메라를 사용하였다. 열화상 카메라는 재질

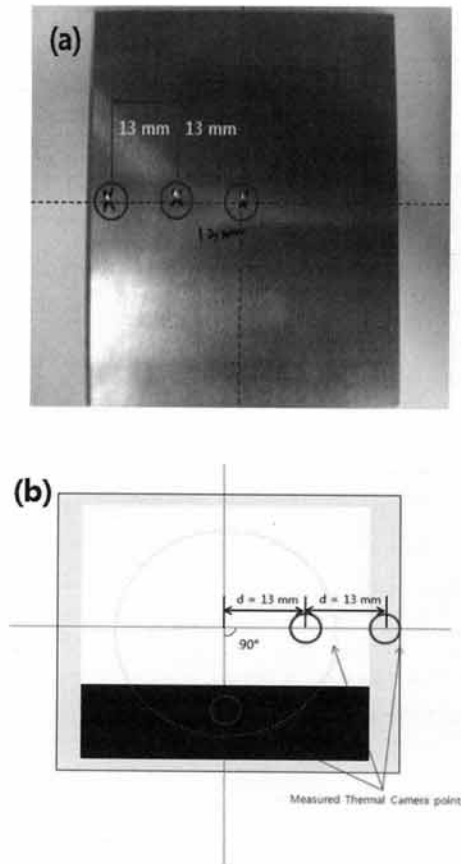


Fig. 2. Temperature sensor (a) and thermal camera measured points, (b) attached with on the bottom of the LED lighting module.

에 따른 반사온도 및 방사율이 다르므로 정확한 값을 도출하기 위해 실측치와 열화상 측정치의 오차를 최대한 줄여 정확성을 높이는 것이 중요하다. 방사율이 측정 물질의 두께와 재료의 표면의 재질, 조도의 영향 등 표면의 상태에 따라 방사율 값이 변한다 [6]. 따라서 방사율을 정확하게 설정해야 측정치의 오차를 줄일 수 있다. 본 연구의 측정치에 대한 정확도를 높이기 위해 LED 기판 하단부에 부착된 온도센서와 열화상 카메라의 측정치 오차를 줄이기 위해 최적 방사율과 반사온도를 검출하기 위한 실험을 수행하였다.

다음 그림 2(a)는 LED기판 하단부의 온도센서 위치를 표시하였다. 중심 부근으로부터 13 mm 간격으로 센서 위치를 부착하였다. 온도센서는 K type 써머커플을 사용하였다. 열화상 카메라로 온도를 측정하기 위해 LED 기판에 백색 코팅과 검정색 코팅을 부착하고 중심으로부터 수평으로 13 mm 지점과 수직으로 13 mm 지점의 온도를 열화상으로 측정하였다.

또한 코팅 테이프가 없는 26 mm 지점의 온도는 1 개를 측정하여 총 3지점에 대한 열화상 측정과 온도 센서의 측정치를 비교하였다.

2.6 LED 기판의 재질에 따른 방사율 및 반사 강도

알루미늄 재질의 LED 기판의 하단부는 연마된 상태로 방사율이 매우 낮다. 따라서 열화상으로 측정 시 낮은 방사율로 인한 오차가 크다. LED 조명 모듈의 온도를 검출하기 위해 표면의 코팅이 요구되었고 우선적으로 방사율 E= 1의 값에 가깝도록 LED 기판 위에 검정색 코팅을 부착하였다. LED 조명 상단 기판과 코팅색이 같은 백색 코팅과 다른 검정색 코팅을 부착한 부분, metal 재질의 부분에 대한 온도 측정치를 비교하였다. 다음 그림 3에서는 LED 조명 모듈의 측정 실험도를 보여주고 있다.

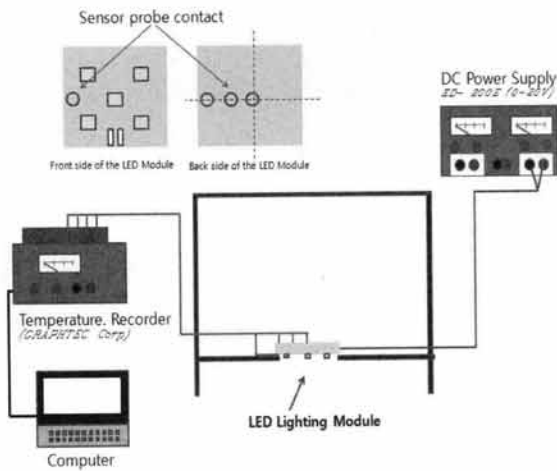


Fig. 3. The schematic of the experiment.

Table 1. Comparison with non-taping & taping on LED lighting substrate.

Model name	Emissivity	Reflect Temperature
White Tape	0.97	20°C
Black Tape	0.97	30°C
Metal (al)	0.04	170°C
Wood	0.94	70°C
PVC, PE	0.94	20°C
Paper	0.97	20°C
Cork	0.70	20°C

다음의 표 1은 물체의 재질 별로 측정군을 나타내었다. 물질의 방사율 (emissivity)이 높을수록 비교적 반사강도에 대한 영향도가 적으며 반사강도에 대한 수치는 일반적으로 온도로 표현되며 반사온도 (reflect temperature)라 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 적외선 열화상 카메라의 LED 기판의 온도 측정

LED 기판의 온도를 상승하였을 경우 오차를 측정 표면의 재질에 따라 분석하였다. 또한 방사율의 변화와 반사 강도에 따른 열화상 카메라와 온도 센서의 측정치 오차를 실험을 통해 분석하였다.

3.1.1 측정 물질의 재질별 온도상승에 따른 오차

다음 그림 4는 LED 조명 모듈에 18 V를 인가한 후 모듈의 온도 변화를 열화상 카메라로 측정하였다. 반사온도와 방사율을 변경하며 검정색 코팅이 부착된 부분의 최적 방사율을 반사온도를 계산하였다.

한편, 그림 5에서는 LED 모듈에 20 V를 인가한 후 온도 변화에 대한 측정을 10분 간격으로 측정하였다. 기판의 하단부의 열화상 측정치와 기판 상단부의 열화상 측정치를 비교하여 오차에 해당하는 만큼 온도보정을 수행하였다. 기판 하단부에 부착된 온도 센서는 중앙점과 이 부분에서 외곽으로 13 mm 간격으로 2개의 온도 측정점을 추가로 연결하였고, 기판의 상단부 중앙에서 외곽으로 26 mm 지점에 측정점 1 개를 장착하였다.

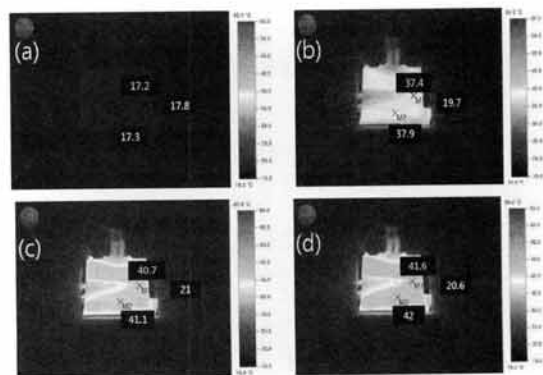


Fig. 4. Measurement of LED lighting module (18 V) turn off (a), turn on after 10 minute (b), 20 minute (c), 30 minute (d).

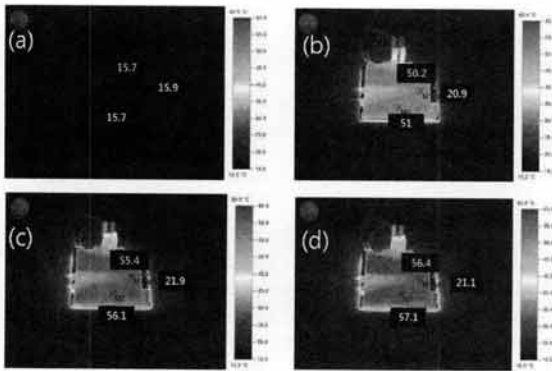


Fig. 5. Measurement of LED lighting module (20 V) turn off (a), turn on after 10 minute (b), 20 minute (c), 30 minute (d).

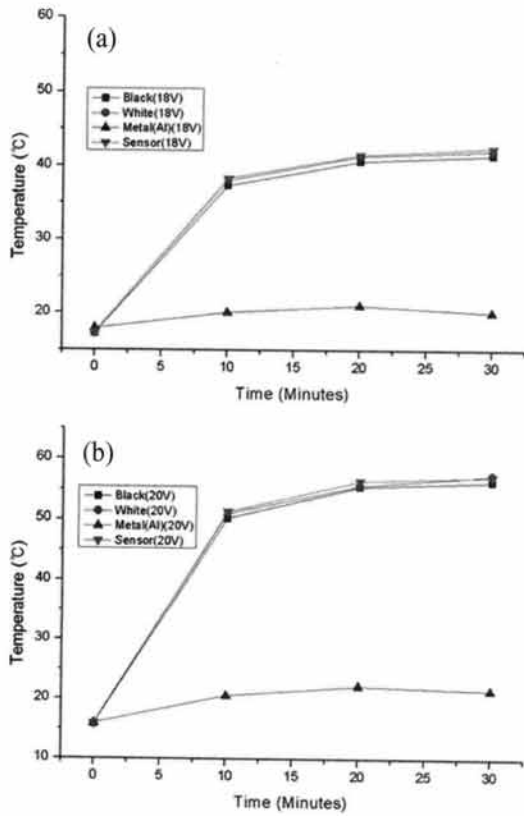


Fig. 6. Comparison with temperature on substrate of the LED lighting module with turn on 18 V (a), turn on 20 V (b).

열화상 카메라로 LED 모듈의 온도를 측정하였다. 방사율은 0.99, 반사온도는 0℃로 설정하고 LED 모듈에 18 V를 인가하였고 측정 시 10분 간격으로 30분 간 측정하였다.

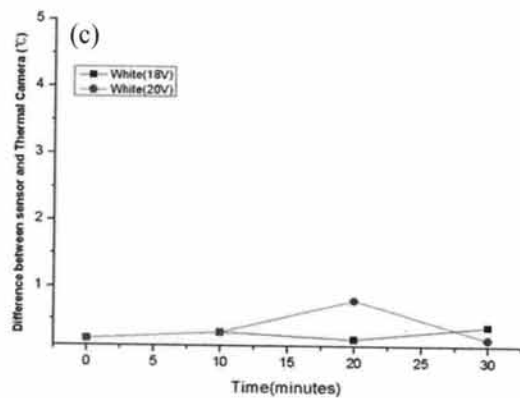
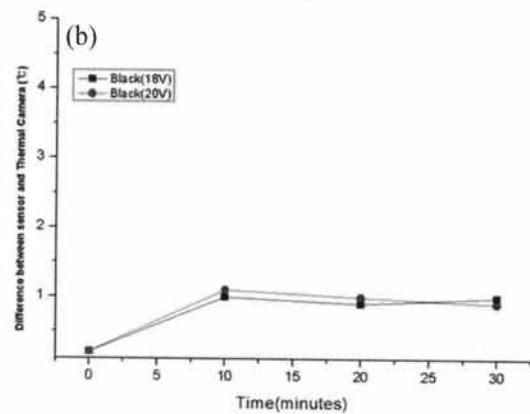
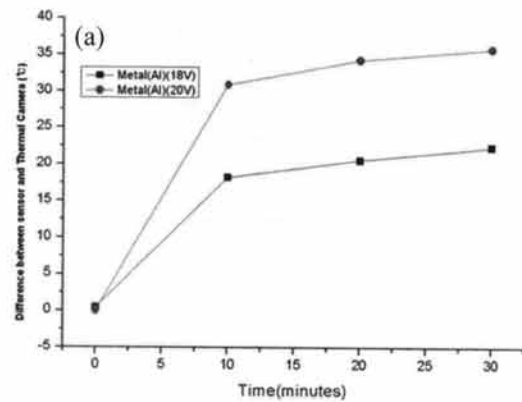


Fig. 7. Difference between sensor and thermal camera according to material as metal (Al) (a), black tape (b), white tape (c).

초기 17.2℃에서 30분 후 41.6℃까지 상승하였고, 20 V를 인가하였을 경우, 초기 15.7℃에서 30분 후 56.4℃까지 상승하였다. 반면 표면이 알루미늄재질인 Metal (Al)부분은 LED 조명 모듈에 18 V를 인가하였을 경우 초기 17.8℃에서 30분 후 20.6℃이였으며 LED 조명 모듈에 20 V 인가하였을 경우 초기 15.9℃

에서 30분 후 21.1°C로 측정되었다. 재질에 따라 열화상의 측정치 오차가 크게 발생하였으며 표면의 거칠기가 상대적으로 낮은 metal 부분이 비교군들 중 가장 큰 측정치 오차를 보였다. 다음 그림 6에서는 구동전압에 따른 LED 조명 기관의 온도측정치를 보여주고 있다. 다음 그림 8에서는 백색코팅 부분과 검정색 코팅, metal 표면에 대한 열화상 카메라와 온도센서간의 측정치 오차를 보여주고 있다. 온도 sensor와 열화상 카메라의 측정치 오차가 가장 큰 부분은 그림 7(a)의 metal 부분으로 18 V 인가 후 30분이 경과되었을 때 22.3°C 만큼 측정치 오차가 생겼고, 20 V 인가 후에 30분이 경과되었을 경우, 35.7°C 만큼 측정치 오차가 발생하였다. 반면 그림 7의 (b)와 (c)의 경우 측정치 오차가 1°C 내외로 분포되어 비교적 정확성도가 높았다.

3.1.2 열화상 카메라의 방사율 변화에 따른 오차

다음 그림 8에서는 방사율에 따른 측정치 오차를 백색 코팅과 검정색 코팅으로 비교하였다. 그 결과 온도센서와 열화상 카메라의 온도 오차가 0°C에 근접한 지점은 검정색 코팅의 경우 방사율이 0.99 부근이었고, 백색 코팅의 경우 방사율이 0.97 부근에서 온도 오차가 0°C에 가장 근접하였다.

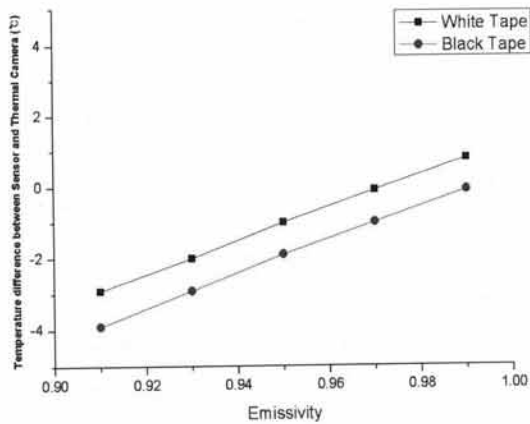


Fig. 8. Temperature difference between sensor and thermal camera depending on emissivity.

다음 그림 9에서는 20 V로 LED 조명 모듈을 구동시키고 30분 후 측정하였다. 반사온도를 0°C로 고정, 방사율을 0.91~0.99까지 조정 한 후 이에 따른 열화상 카메라의 오차를 비교하였다. 온도 센서로 측정 한 온

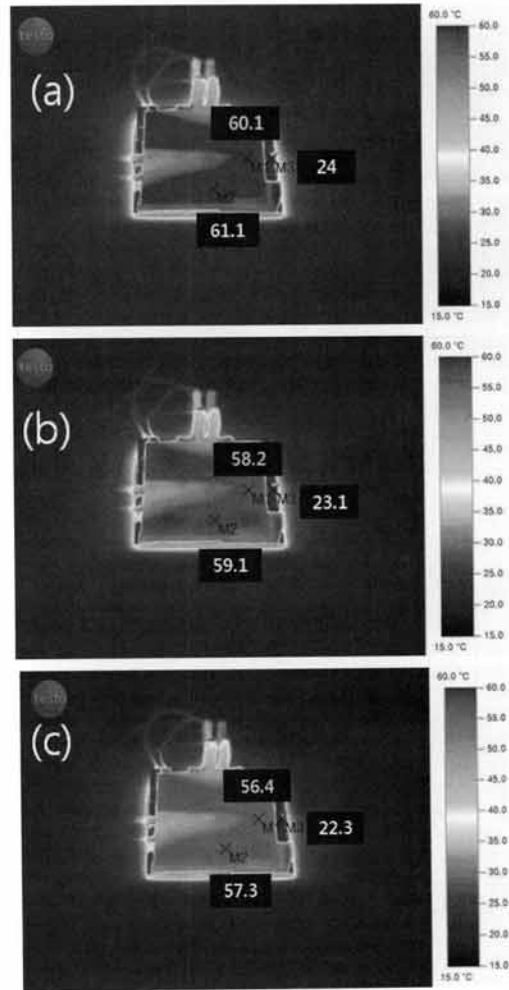


Fig. 9. Comparison with temperature according to emissivity of thermal camera with turn on 20 V, emissivity 0.99 (a), 0.95 (b), 0.91 (c) and fixed reflect temperature 0.

도는 57.2°C이며 온도 센서의 4곳의 온도 차는 0.3°C 미만으로 기관의 거리에 따른 온도차는 미미하였다. 따라서 57.2°C를 기준 온도로 고정하고 방사율 변경하며 측정치에 대한 비교를 하였다. 방사율이 0.99일 경우 검정색 코팅 부분은 57.3°C, 백색 코팅 부분은 56.4°C로 방사율이 0.95와 0.91에 비해 가장 근접하게 측정되었다. 방사율이 0.91일 경우 온도 오차는 2.9°C - 3.9°C로 가장 높게 측정되었다.

3.1.3 열화상 카메라의 반사온도 변화에 따른 오차

LED 기관의 온도를 반사온도의 증가에 따라 비교해 보았다. 백색 코팅과 검정색 코팅의 지점에 대한 방사율과 반사온도에 따른 오차는 그림 11에서 나타

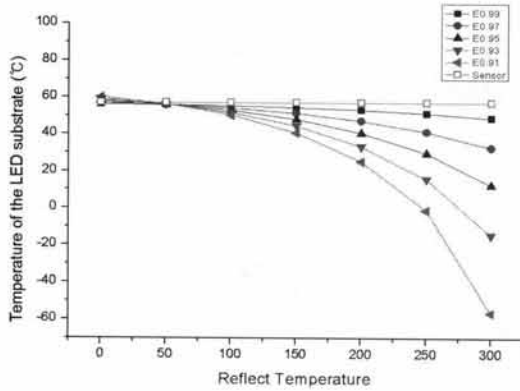


Fig. 10. Temperature difference between sensor and thermal camera depending on reflect temperature.

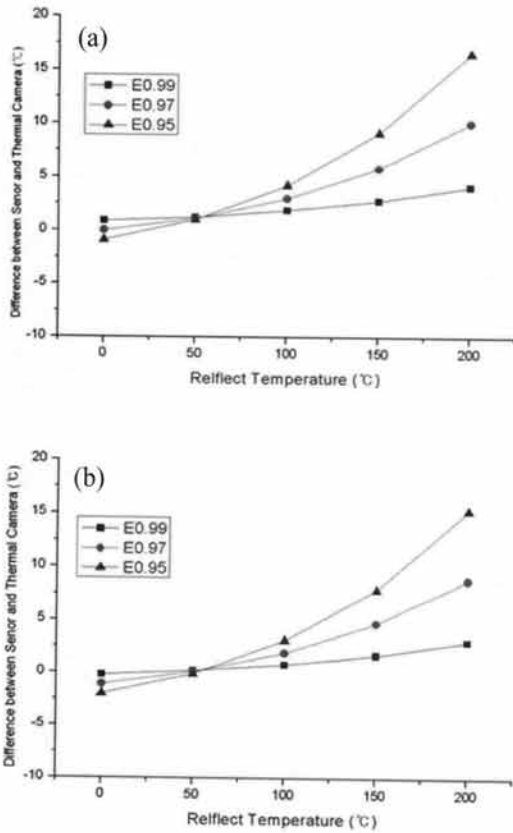


Fig. 11. Temperature difference between sensor and thermal camera according to the material as white tape (a), black tape (b).

내었다. 방사율은 0.97~0.99까지 변경하며 측정된 결과 반사온도가 일정지점 (50°C)을 지나면서 점차 센서와의 온도 차이가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다.

다음 그림 10의 방사율과 반사온도에 대한 LED 기판의 측정 온도를 비교한 결과 온도 센서를 기준으로 방사율이 0.91일 경우 반사온도의 증가에 따른 온도오차가 가장 크게 차이를 보였고, 방사율이 0.99에서 비교적 가장 낮은 온도 오차를 보였다. 방사율이 1에 가까울수록 반사온도의 변화에 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다. 또한 검정색 코팅이 부착된 부분의 온도 오차는 방사율이 0.99, 반사온도가 50°C 이내에서 오차가 가장 적었고, 백색 코팅이 부착된 지점은 방사율이 0.97, 25°C 이내에서 가장 오차가 적게 측정되었다. 반사온도가 0°C 일 경우 재질의 색깔에 따라 비교해 본 결과 백색 코팅이 부착된 부분은 방사율 0.97일 때 온도 센서와 열화상 카메라의 오차가 가장 적었으며, 반면 검정색 코팅이 부착된 부분의 온도는 방사율이 0.99일 때 측정치 오차가 가장 적었다. 이는 검정색 코팅의 방사율이 백색 코팅의 방사율 보다 높으며 열복사에너지를 방출이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 한편, 그림 11(a)와 (b)의 그래프를 분석해 본 결과 반사온도가 50°C 부근에서 방사율의 변화에 따른 오차가 가장 적은 것으로 나타났다.

3.2 반사온도 수치 계산과 실측치 비교

물체에 대한 측정 온도와 방사율 관계는 식 (6)에서 나타내었다. 그러나 저방사율을 가지는 재질의 온도 측정을 위해 물체에서 흡수되지 않고 전 반사되는 반사온도에 대한 수치를 계산하였다. 반사온도와 방사율의 조정에 따른 오차 보정을 통해 반사온도에 관한 열화상 카메라의 수치계산식을 얻었으며 열화상 카메라의 반사온도의 수치계산식은 다음 식(7)과 같다.

$$T = T_0 - ((1 - \epsilon) \times T_{RT}) \times T_{RT} \quad (7)$$

여기서 T_0 는 실측온도, ϵ 는 방사율이다. T_{RT} 는 반사온도이다. 그림 12와 그림 13에서는 구동 조건에 따른 LED 조명의 온도를 측정하였다. 각각 18 V, 20 V를 하였을 때 측정되는 LED 조명의 열화상 측정치와 반사온도 수치 계산치를 비교하였다. 열화상 측정치와 반사온도 수치 계산치를 비교하였다. 각각 검정색 테이프가 부착된 지점, 하얀색 테이프가 부착된 부분의 온도와 반사온도 수치 계산을 비교한 결과 방사율은 0.97, 반사온도가 20°C일 때 수치 계산치는 검정색 코팅을 부착한 측정치와 거의 일치하였고, 방사율은 0.99, 반사온도가 0°C일 때 수치 계산치는 백색 코팅을 부착한 측정치와 거의 일치하였다.

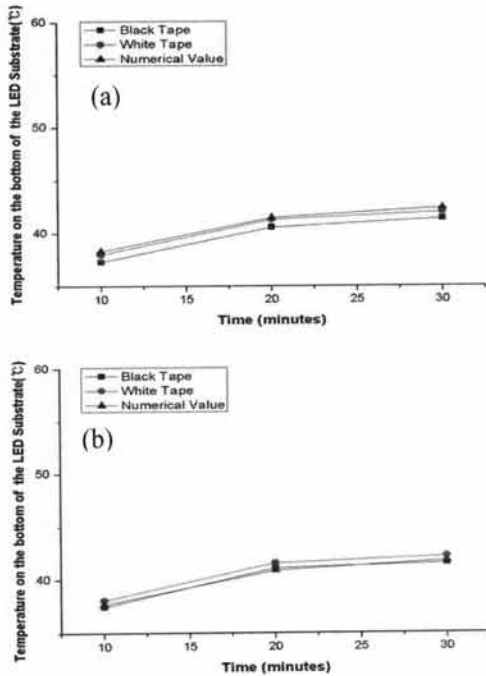


Fig. 12. Temperature difference between experiment and numerical value when driving voltage 18 V as (a) emissivity: 0.99, reflect temperature: 0°C, (b) emissivity: 0.97, reflect temperature: 20°C.

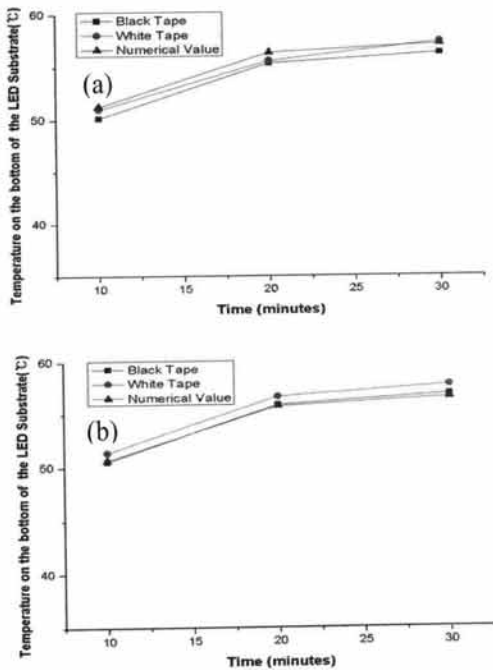


Fig. 13. Temperature difference between experiment and numerical value when driving voltage 20 V as (a) emissivity: 0.99, reflect temperature: 0°C, (b) emissivity: 0.97, reflect temperature: 20°C.

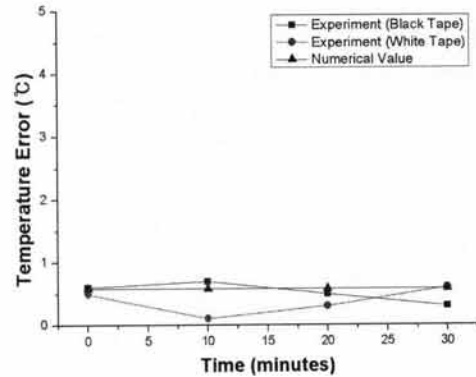


Fig. 14. Temperature difference between experiment and numerical value as the emissivity 0.97 and reflect temperature 20°C of the thermal camera.

그러나 방사율이 상대적으로 흑체와 비슷한 색인 검정색 테이프가 방사율이 낮게 나타난 것은 LED 기판 표면의 색에 따른 방사율과 반사온도에 영향을 주는 것보다 표면의 재질에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다. 재질의 표면의 거칠기는 방사율에 영향을 주며, 재질의 광택의 여부는 반사율을 증가시켜 측정치의 오차를 증가시킬 수 있다. 또한 측정 거리의 변화는 방사 각도와 측정 영역의 크기로 인해 낮아진 방사율이 오차에 영향을 주게 된다 [12]. 따라서 열화상 카메라를 사용하여 물체의 온도를 측정할 경우 물체와 카메라의 거리에 따른 영향도 무시할 수 없다.

그림 14의 경우 방사율 0.97, 반사온도 20°C를 설정하고 검정색과 백색 코팅의 부착된 지점의 측정치 오차를 설정하고 식 (7)의 반사온도 수치 계산식을 적용하여 온도 오차를 비교하였다. 구동 조건이 20 V로 시간이 상승함에 따라 백색 코팅 지점의 오차는 다소 증가되고, 검정색 코팅 지점의 오차는 다소 감소되었으나 전체적으로 온도 오차는 1°C 미만으로 유지되었다.

4. 결론

본 연구에서는 LED 조명 기관의 정확한 온도를 측정하기 위해 열화상 카메라의 방사율과 반사온도를 실험을 통해 측정하였다. 표면색과 거칠기에 대한 조건을 비교 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. LED 기관 하단부에 검정색코팅 한 부분과 백색

코팅을 한 부분의 오차가 발생하였지만 오차 온도는 미미하였다. 이는 LED 기판 표면의 색에 따른 방사율과 반사온도에 영향을 주는 것보다 표면의 재질에 따른 영향이 큰 것으로 판단된다.

2. LED 기판 표면의 거칠기가 상대적으로 코팅이 없는 metal 부분에서 측정치의 오차가 크게 발생하였다. 이는 기판 하단부의 알루미늄 재질의 metal 부분의 낮은 방사율 때문에 정확한 측정이 이뤄지지 않은 것으로 보인다.

3. 방사율이 1에 가까울수록 반사온도의 변화에 영향을 미치지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 Kichhoff의 법칙에 근거하여 흡수율에너지가 방출되는 비율이 상대적으로 1에 가까울수록 높아지므로 상대적인 반사영향은 적은 것으로 평가된다.

4. 검정색 코팅의 최적 방사율과 반사온도는 각각 0.99, 0℃이며, 백색코팅의 최적 방사율과 반사온도는 각각 0.97, 20℃로 측정되었고, 이를 통해 온도오차를 최대 0.5도 이내로 측정치 오차를 보였다.

5. 적절한 방사율과 반사온도를 고정하고 LED 구동 조건에 따른 측정치의 오차는 비교적 일정하였다. 일부 온도 구간에서의 온도 상승은 물체의 방사율의 영향이 거의 없었음을 알 수 있다.

본 연구의 결과를 통해 향후 LED의 접합면의 온도를 측정 시 유용할 것으로 보인다. 접촉식 온도 센서를 사용하여 측정이 어려운 LED 조명의 접합면의 온도에 대한 정확한 측정을 위해 LED 기판의 적절한 방사율과 반사율을 산출한다면 LED 방열성능 평가에 중요한 연구 성과로 이어질 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음” (NIPA-2013-H0301-13-1010).

REFERENCES

- [1] S. M. Lee, S. I. Lee, J. K. Yang, J. C. Lee, and D. H. Park, *Trans. KIEE*, 59, 609 (2010).
- [2] B. H. Liou, C. M. Chen, R. H. Horng, Y. C. Chiang, and D. S. Wu, *Microelectron. Reliab.*, 52, 861 (2012).
- [3] Y. T. Bang and C. H. Moon, *J. Kor. KIIEE*, 26, 1 (2012).
- [4] S. H. Hwang, S. J. Park, and Y. L. Lee, *J. Kor. Academia-Industrial. Soc.*, 11, 2317 (2010).
- [5] B. C. Kang, S. M. Kim, J. Y. Choi, and G. O. Kim, *J. Kor. Nondestructive Testing. Soc.*, 30, 484 (2010).
- [6] K. S. Oh, and S. C. Bae, *J. Kor. KWS*, 21, 65 (2003).
- [7] C. D. Wen and I. Mudawar, *J. International. Heat and Mass Trans. Soc.*, 47, 3591 (2004).
- [8] C. D. Wen and T. Y. Chai, *J. International. Applied Thermal. Soc.*, 31, 2414 (2011).
- [9] G. W. Wu and D. Yu, *Prog. Org. Coat.*, 76, 107 (2013).
- [10] H. M. Lim, T. Kwon, D. S. Kim, S. Y. Lee, D. P. Kang, and S. H. Lee, *J. Kor. Mater. Res.*, 19, 649 (2009).
- [11] H. Y. G. Xu, X. Shen, X. Yan, and C. Cheng, *Appl. Surf. Sci.*, 255, 6077 (2009).
- [12] K. S. Kim, H. C. Jung, C. J. Pack, D. S. Kim, D. W. Jung, and H. S. Chang, *J. Kor. Nondestructive Testing. Soc.*, 29, 421 (2010).