

## LED 등기구의 발열과 실내온도 상승에 관한 연구

김동건<sup>1</sup>, 길경석<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 한국해양대학교 전기전자공학부

### A Study on the Heat Radiation of LED Luminaires and the Indoor Temperature Increase

Dong-Geon Kim<sup>1</sup> and Gyung-Suk Kil<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

(Received July 31, 2012; Revised August 7, 2012; Accepted August 13, 2012)

**Abstract:** This paper conducted a study on how the heat radiation of light emitting diode(LED) luminaires affects the indoor temperature increase. The effect was compared with that of a 20 W compact fluorescent lamp(CFL) and a 50 W MR16 halogen lamp which are most widely used inside of cruises, a LED downlight and a 4W MR16 LED replacing each of them. We installed a luminaire inside a thermally shielded chamber, measuring the temperature changes under the same volume every 5 minutes and compared the result with theoretically calculated heat radiation. The temperature changes in the chamber was measured four times, on seven hours' period in order to keep sufficient time once the temperature reaches the thermal equilibrium state. The results showed that the temperature of the 20 W E26 CFL and the 10 W LED downlight increased by 21.1°C and 10.4°C respectively, while that of the 50 W halogen MR16 and the 4 W LED MR16 increased by 33.9°C and 4.8°C respectively. The experimental heat radiation were calculated from the results and the experimental heat radiation of the CFL and the LED downlight were 171.5 cal and 86.5 cal, and those of the halogen MR16 and the LED MR16 were 275.3 cal and 36.5 cal. Therefore, the heat radiation was reduced by 49.5% and 86.7%, respectively, by replacing conventional light source with LED. In conclusion, we can expect a reduction of power consumption in air condition system and the effect on indoor temperature increase by application of LED luminaires.

**Keywords:** Heat radiation, LED luminaire, Temperature increase, CFL, MR16 halogen lamp, HVAC

#### 1. 서 론

한국을 비롯하여 유럽, 미국, 중국, 일본 등 전 세계에서 저탄소 녹색성장 정책의 일환으로 이산화탄소 배출과 유해물질 사용에 대한 규제가 강화됨에 따라 백열전구의 생산 및 판매가 향후 2~3년 내 전면금지될 예정이다. 이에 따라 기존의 백열전구를 대체할 미래의 광원으로써 대표적인 고효율 친환경 제품인

LED 광원이 주목받고 있다 [1-4].

또한 LED 광원은 장수명, 저전력 및 높은 내구성을 바탕으로 육상의 실내외 조명은 물론 진동과 충격이 심한 선박환경에도 기존 광원보다 더 적합한 것으로 평가되고 있다. 조선분야에서 고부가가치 산업으로 각광받고 있는 크루즈선의 경우, 타 선종에 비해 많은 승객이 거주하고 장기간 운항하는 특성상 승객들을 위한 쾌적성 뿐만 아니라 승무원들의 작업환경 개선을 고려할 때 LED 광원의 필요성이 더욱 부각되

a. Corresponding author: [kilgs@hhu.ac.kr](mailto:kilgs@hhu.ac.kr)

고 있다 [5-8].

선박은 운항 시 육상의 건축물과는 달리 실내가 외부로부터 밀폐되어 쾌적한 생활환경을 유지하기 위해 공기조화시스템 (heating, ventilation, and air conditioning, HVAC)이 상시 가동되며, 이는 타 기기에 의한 발열문제를 포함하고 있다. 따라서 LED 광원의 적용 시 발열에 따른 광특성의 저하는 물론 실내온도 상승에도 영향을 줄 수 있어 이에 대한 검토가 요구되고 있으며, 실내온도 상승 시 LED 광원에서의 에너지 절감보다 증가된 온도를 낮추기 위해 소비하는 HVAC의 전력소모가 더 클 수도 있어 결과적으로 전체적인 에너지 절감이 되지 않기 때문이다 [9,10].

본 논문에서는 등기구의 발열이 실내 온도변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 챔버 내 LED 등기구의 발열량과 온도상승에 대한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험 방법

등기구의 발열량은 이론적 계산과 실험적 측정으로 비교하였다. 백열전구, 형광등과 같은 기존 광원의 소비전력을 이용한 이론적 발열량은 식 (1)과 같다 [11].

$$Q = 860 \times W \times h \text{ [kcal]} \quad (1)$$

여기서, 860은 1 kWh= 3,600 kJ= 860 kcal이며, W는 소비전력, h는 단위시간을 나타낸다.

실험적 발열량은 조명발열로 인한 실내온도 변화로 계산된다. 실험은 외부와의 열 교환을 차단하기 위하여 단열된 공간에서 실시하였으며, 발열량은 식 (2)로 계산하였다.

$$Q = 0.29 \times V \times (T_2 - T_1) \text{ [kcal]} \quad (2)$$

여기서, 0.29는 용적비열로 단위는 kcal/m<sup>3</sup>·°C이며, 이는 단위 체적 당 존재하는 공기의 온도를 1°C 올리는 데 드는 열량으로, 공기의 비열 (0.24 kcal/kg·°C)과 공기의 비중량 (1.2 kg/m<sup>3</sup>)의 곱으로 나타낼 수 있다. V는 체적, T<sub>1</sub>은 초기 실내온도, T<sub>2</sub>는 최종 실내온도를 나타낸다. 또한 실험 시 결과의 오차를 줄이기 위하여 초기 실내온도를 항상 동일하게 유지하였다.

실험은 현재 크루즈의 객실, 복도에서 사용하고 있는 20 W E26 CFL과 50 W 할로겐 MR16을 대상으로

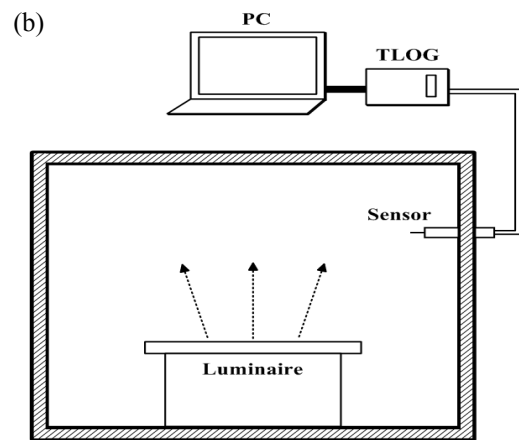


Fig. 1. Configuration of the experimental system. (a) Photograph, (b) configuration

로 실시하였으며, 이를 대체할 10 W LED 다운라이트와 4 W LED MR16을 제작하여 비교하였다.

그림 1은 실험계를 나타낸 것으로 부피 0.028 m<sup>3</sup>(W365 × L255 × H300)의 공간에서 실험이 수행되었으며, 조명으로 인한 발열만을 고려하기 위하여 단열시켰다.

그림 1(b)에서와 같이 등기구는 바닥에 설치하였으며, 온도센서는 등기구로부터 방사되는 복사열로 인한 영향을 줄이기 위하여 발광부와 수직선상을 피하였다. 측정할 등기구를 바닥에 설치한 이유는 등기구의 발광면이 아래를 향할 경우, 조명으로부터 발생 열이 상승하여 등기구 자체를 가열하게 되면서 전도에 의한 발열량 오차가 발생할 수 있기 때문이다. 또한 기존 등기구와 달리 LED 등기구의 경우 온도상승에 따른 LED 패키지와 소자의 전기적, 광학적 특성이 달라지므로 이에 대한 영향을 최소화시키기 위해서이다.

실험적 발열량 계산을 위하여 이중 열전대 K형으로 실내온도변화를 측정하였다. 재질은 테프론이며,  $-270^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 의 온도측정범위를 가지고  $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ 의 출력전압을 나타낸다. 측정된 온도는 DAQ H/W모듈인 TLOG-1100(CARVO)를 통해 기록되며,  $-200^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$ 의 측정범위를 가진다. 온도변화는 PC 모니터를 통해 실시간으로 확인 및 저장할 수 있다.

챔버 내 온도는 등기구의 평균 점등시간을 고려하여 7시간 동안 5분 간격으로 측정하였으며, 동일한 방법으로 총 4회 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

광원별 실험 챔버 내 온도변화를 그림 2에 나타내었다. 3시간이 경과한 뒤 등기구 주변의 온도는 열평형 상태에 도달한 것을 알 수 있다.

그림 2(a)는 20 W E26 CFL 등기구와 10 W LED 다운라이트의 결과로써 E26 CFL의 경우 약  $48^{\circ}\text{C}$ , LED 다운라이트의 경우 약  $37^{\circ}\text{C}$ 에서 열평형 상태에 도달하였고, 그림 2(b)와 같이 50 W 할로겐 MR16은 약  $60^{\circ}\text{C}$ , 4 W LED MR16은 약  $31^{\circ}\text{C}$ 에서 열평형 상태를 유지하고 있다. 총 4회에 걸친 실험결과를 표 1과 표 2에 정리하였다.

표 1은 20 W E26 CFL과 10 W LED 다운라이트의 챔버 내 온도변화를 나타냈으며, E26 CFL은 초기온도에 비해 약  $21.1^{\circ}\text{C}$  상승하였고, LED 다운라이트는 약  $10.7^{\circ}\text{C}$  상승하였다.

표 2는 50 W 할로겐 MR16과 4 W LED MR16의 챔버 내 온도변화를 나타낸 것으로 할로겐 MR16은 초기온도에 비해 약  $33.9^{\circ}\text{C}$  상승한 반면, LED 경우 약  $4.8^{\circ}\text{C}$  상승하였다. 따라서 E26 CFL과 LED 다운라이트의 온도변화 차이는  $10.4^{\circ}\text{C}$ 이었으며, 할로겐 MR16과 LED MR16의 챔버 내 온도변화 차는  $29.1^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다.

이론적 발열량과의 비교를 위해 앞선 실험결과를 식 (2)에 대입하여 실험적 발열량을 산출하였고, 표 4와 표 5에 나타내었다.

표 3은 소비 전력으로부터 계산한 이론적 발열량으로 LED 다운라이트의 발열량은 CFL에 비해 50.0% 감소하였고, LED MR16의 발열량은 할로겐 MR16에 비해 92.0% 감소하였다.

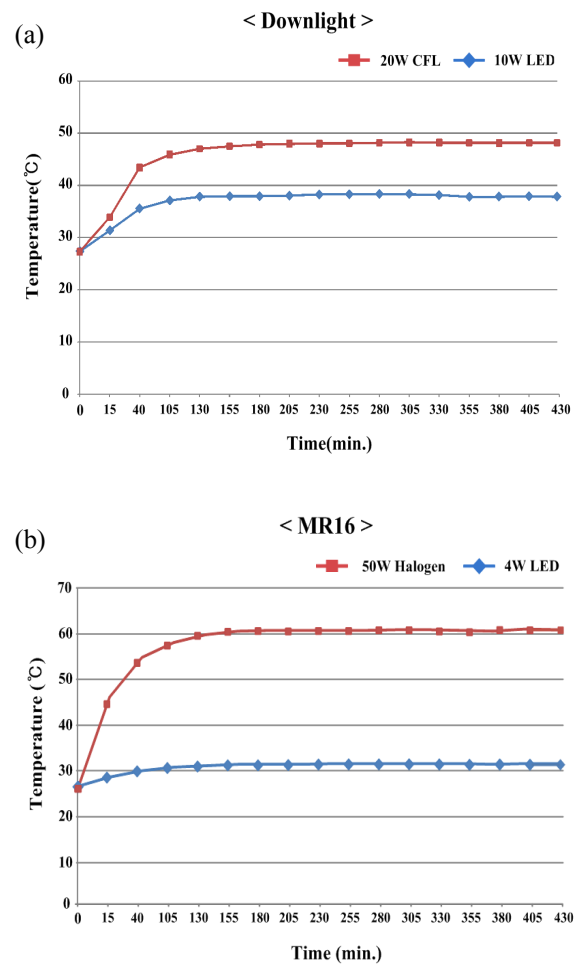


Fig. 2. Changes of temperature. (a) MR16, (b) downlight.

Table 1. Temperature changes of a CFL and a LED downlight.

	Luminaire	$T_1 [^{\circ}\text{C}]$	$T_2 [^{\circ}\text{C}]$	$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$
I	CFL	27.9	48.0	20.1
	LED	27.9	38.5	10.6
II	CFL	26.9	47.9	21.0
	LED	26.9	37.2	10.3
III	CFL	27.1	48.3	21.2
	LED	27.1	38.0	10.9
IV	CFL	26.0	47.2	22.2
	LED	26.1	36.9	10.8

**Table 2.** Temperature changes of a halogen MR16 and a LED MR16.

	Luminaire	$T_1$ [°C]	$T_2$ [°C]	$\Delta T$ [°C]
I	Halogen	26.6	60.4	33.8
	LED	26.5	30.8	4.3
II	Halogen	26.4	60.0	33.6
	LED	26.5	31.5	5.0
III	Halogen	26.2	60.8	34.6
	LED	26.0	30.2	4.2
IV	Halogen	26.5	60.1	33.6
	LED	26.5	31.0	4.5

**Table 3.** Calculated heat radiation for luminaires.

	Power [W]	Heat radiation [kcal/h]	Reduction rate [%]
E26 CFL	20.0	17.2	50.0
LED Downlight	10.0	8.6	
Halogen MR16	50.0	43.0	92.0
LED MR16	4.0	3.4	

실험 결과, 20 W E26 CFL 및 10 W LED 다운라이트의 측정 시간동안 평균 총 발열량은 171.5 cal와 86.5 cal, 50 W 할로겐 MR16 및 LED MR16의 평균 발열량은 각각 275.3 cal와 36.5 cal로 나타났다.

따라서 LED 다운라이트의 경우 기존 CFL에 비해 발열량은 49.5% 감소하였고, LED MR16의 경우 할로겐 MR16에 비해 발열량이 86.7% 감소하였다.

이론적 발열량과의 오차는 -0.9%, -5.7%로 이는 등기구 자체의 역률과 소자의 열 손실, 그리고 전도에 의한 손실 등이 원인으로 판단된다.

표 6은 등기구의 와트 당 발열량을 나타낸 것으로 기존의 CFL, 할로겐램프에 비해 LED 등기구의 와트 당 발열량이 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 LED 등기구의 LED 패키지 및 소자로 인한 것으로 판단된다.

**Table 4.** Comparison of heat radiation for a CFL and a LED downlights.

	Luminaire	Heat radiation [cal]	Reduction rate [%]	Error [%]
I	CFL	163.2	47.3	-5.5
	LED	86.1		
II	CFL	170.5	51.0	1.9
	LED	83.6		
III	CFL	172.1	48.6	-2.8
	LED	88.5		
IV	CFL	180.3	51.4	2.7
	LED	87.7		

**Table 5.** Comparison of heat radiation for a halogen MR16 and a LED MR16.

	Luminaire	Heat radiation [cal]	Reduction rate [%]	Error [%]
I	Halogen	274.5	87.3	-5.1
	LED	34.9		
II	Halogen	272.8	85.1	-7.5
	LED	40.6		
III	Halogen	281.0	87.9	-4.5
	LED	34.1		
IV	Halogen	272.8	86.6	-5.9
	LED	36.5		

**Table 6.** Comparison of heat radiation.

Heat radiation per watt [cal/W]	
E26 CFL	8.58
LED Downlight	8.65
Halogen MR16	5.51
LED MR16	9.14

#### 4. 결론

본 논문에서는 LED 등기구 적용에 따른 선박의 실내 온도변화를 알아보기 위하여, 현재 크루즈선에서

사용하고 있는 20 W E26 CFL, 50 W 할로겐 MR16 과 이를 대체할 10 W LED 다운라이트, 4 W LED MR16의 발열량을 비교·분석하였다. 실험 챔버 내 온도 변화로부터 각 등기구의 실험적 발열량을 계산하였고, 이론적 발열량과 비교함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 등기구 점등 시 발열에 따른 실험 챔버 내 온도 변화는 20 W E26 CFL 및 10 W LED 다운라이트의 경우 초기온도에 비해 21.1°C와 10.4°C 상승하였고, 50 W 할로겐 MR16 및 4 W LED MR16의 경우 33.9°C와 4.8°C가 각각 상승하였다.

2. 실험적 발열량으로 20 W E26 CFL 및 10 W LED 다운라이트는 171.5 cal, 86.5 cal, 50 W 할로겐 MR16 및 4 W LED MR16은 275.3 cal와 36.5 cal로 산출되었다. 따라서, 10 W LED 다운라이트는 20 W E26 CFL에 비해 49.5% 그리고 4 W LED MR16은 50 W 할로겐 MR16에 비해 86.7%의 발열량이 감소하였다.

3. 실험적 발열량과 이론적 발열량의 오차는 LED 다운라이트의 경우 1.5% 및 LED MR16의 경우 -6.5%였으며, 이는 실내 온도변화에 영향을 주는 모든 변수를 고려하지 못한 부분과 등기구 및 소자의 역률과 열 손실 등으로 인한 것으로 판단된다.

결론적으로 본 논문에서는 기존 광원을 LED 광원으로 교체하면 낮은 소비전력과 높은 광효율로 소비 전력 절감은 물론 실내 온도상승에 미치는 영향을 감소시킬 수 있어, HVAC의 냉방부하 절감효과를 기대할 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업(NIPA-2012-H0301-12-2009)과 (주)한솔라이팅의 연구비지원에 의해 수행되었음.

## REFERENCES

- [1] DOE, Vision 2020: A *Lighting Technology Roadmap*, <http://www.eren.doe.gov/buildings/vision2020> (2001).
- [2] M. H. Crawford, *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, **15**, 1028 (2009).
- [3] W. H. Chi, T. L. Chou, C. N. Han, S. Y. Yang, and K. N. Chiang, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, **33**, 713 (2010).
- [4] I. T. Shin, J. K. Yang, D. J. Lee, and D. H. Park, *J. KIEEME*, **23**, 471 (2010).
- [5] G. S. Kil, I. K. Kim, H. E. Cho, H. S. Kwon, and H. G. Cho, *J. KOSME*, **35**, 654 (2011).
- [6] Y. K. Hwang, *Journal of the Electrical World Monthly*, **405**, 41 (2010).
- [7] S. J. Kim, D. G. Kim, I. K. Kim, and G. S. Kil, *Proc. the Kieeme Annual Summer Conf.*, (eds. D. H. Park) (KIEEME, Gangneung, Korea, 2012) p. 276.
- [8] D. G. Kim, C. H. Jin, J. Y. Lee, H. E. Jo, and G. S. Kil, *Proc. the Kieeme Annual Summer Conf.*, (eds. D. H. Park) (KIEEME, Gangneung, Korea, 2012) p. 277.
- [9] K. H. Koo, H. K. Lee, J. W. Choi, and J. K. Lee, *J. SNAK*, **48**, 62 (2011).
- [10] L. E. Sulstede, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **29**, 300 (1993).
- [11] M. S. Kim, H. S. Kim, *J. AIK*, **13**, 263 (1997).