

유한요소해석을 이용한 LED 프레임의 열전달 특성에 관한 연구

Study on Heat Dissipation Characteristics of LED Frames Using Finite Elements Method

손인수^{1*}, 강성중², 전범식², 안성진³

In-Soo Son^{1*}, Sung-Jung Kang², Bun-Sik Jeon², Sung-Jin Ahn³

〈Abstract〉

In this study, the effect of different shapes on the heat dissipation characteristics of other porous frames on LED lighting frames was studied using finite element analysis. In addition, the heat transfer characteristics of LED frames were tested using a thermal imaging camera and the results of finite element analysis were compared to derive the optimal hole shape.

According to the study, the heat dissipation effect was better for frames with hole compared to existing ones without holes. In particular, the heat dissipation characteristics test showed that for frames with holes, the rise time to the maximum temperature is fast and the maximum temperature is significantly lower. Also, we could see that the square and diamond shapes were smaller than the circular pores, but had a greater heat dissipation effect.

Through this study, we have concluded that there is a limit to increasing the heat dissipation effect of the frame with a perforated shape, and it is necessary to conduct further research on the change in the shape of the frame in order to achieve a better heat dissipation effect in the future.

Keywords : LED(Light Emitting Diode), FEM(Finite Elements Method), Thermal-structural analysis, Thermal imaging camera

1* 정회원, 교신저자, 동의대학교 기계자동차로봇부품공학부 1* Corresponding Author, Division of Mechanical, Automobile, Robot Component Engineering, Dong-eui University.
E-mail: isson92@deu.ac.kr

2 제이피테크

2 JP Tech

3 평화정공(주)

3 Pyeong Hwa Automotive Co. Ltd.

1. 서론

LED(Light Emitting Diode)조명은 기존의 형광 등 조명에 비하여 압도적인 효율과 수명을 지니고 있어 일반 가정용뿐만 아니라 최근 산업분야에서도 많이 사용되어 지고 있다. 특히 산업용 LED 조명은 방수, 방습 및 방진 기능을 갖추는 등 매우 급격한 발전을 이루고 있다. 하지만 LED 조명의 LED 칩(chip) 부분은 높은 효율을 위해서 단위면적당 발열량이 크게 증가하였으며, 이러한 발열량은 LED 조명기구의 성능 및 수명을 급격히 저하시키는 주요 원인이다. 특히 두께가 얇은 LED 엣지조명(edge light)의 경우 깔끔한 디자인을 위해서 외관이 밀폐된 형태로 되어 있어 LED 칩 부분의 열이 외부로 방출하기 어려운 구조를 가지고 있다.

따라서 지난 수년간 LED 칩의 열을 외부로 방출하기 위한 다양한 연구들이 진행되었다. PCB에서 LED 칩 간의 간격을 통한 방열 방법에 대한 연구[1]와 LED 칩 부분에 히트 싱크(heat sink)를 부착하여 프레임의 방열특성에 미치는 히트 싱크의 영향을 연구하기도 하였으며, 기판의 패턴 변화에 의한 프레임의 방열특성이 연구되었다[2]. 히트 싱크를 통한 열전달면적의 증가를 통하여 프레임의 방열성능을 향상시킬 수 있으며, 이러한 면적증가를 위하여 방열 핀의 형태 및 크기 변화를 통한 다양한 연구가 진행되기도 하였다[3]. 또한 Cheng 등[4]은 유한요소법을 이용하여 LED 칩뿐만 아니라 칩과 접촉하고 있는 프레임의 형태와 크기 변화를 통하여 방열성능을 향상시키기 위한 연구를 진행하였다. 최근 LED 방열 프레임 개발을 위하여 프레임의 타공 형상에 따른 유동특성을 해석하여 방열에 가장 이상적인 타공 형상 결정에 대한 논문도 발표되어 지고 있다[5].

본 논문에서는 LED 엣지조명의 밀폐된 프레임에 형상이 다른 타공 구조를 첨가하여 프레임의

열전달 해석과 열-구조 연성해석을 수행하였고, 각 타공 형상이 프레임의 열전달 특성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 특히, 열화상 카메라를 이용하여 LED 프레임의 열전달 시험을 수행하고 유한요소 해석 결과와 비교하여 최적의 타공 형상을 도출하고자 한다.

2. LED 프레임 모델

Fig. 1은 이 연구에서 사용한 프레임 및 LED bar의 형상을 보여주고 있으며, 프레임의 길이는 259 mm이다. 프레임의 재질은 알루미늄이며 주요 구성품의 재질 및 물성치는 Table 1에 나타내었다.

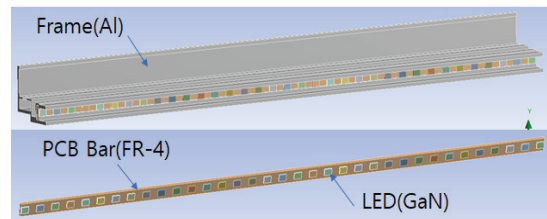


Fig. 1 3D modeling of LED frame and bar

Table 1. Nodes and elements of model

Material	Density (kg/m ³)	Specific heat (J/kg · °C)	Thermal conductivity (W/m · °C)
Aluminum	2,770	875	237
GaN	6,170	490	130
FR-4	1,230	1260	0.293

Fig. 2는 기존 프레임에 추가한 타공 형상을 나타내고 있으며 원, 직사각형 그리고, 마름모 모양으로 결정하였다. 이 연구에서는 각 타공 형상의 면적을 동일하게 하지 않고 각 형상의 타공 형상의 수를 35개로 동일하게 하여 해석을 진행하였

다. 왜냐하면, 실제 사용하고 있는 LED 프레임의 타공을 고려하였으며, 프레임의 높이가 한정되어 있어 타공 형상의 면적을 동일하게 하는 것은 프레임의 높이의 변화가 필요하기 때문이다.

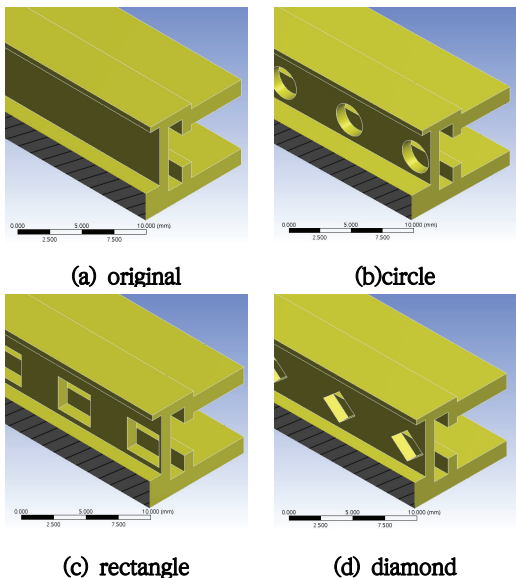


Fig. 2 Hole shape

3. LED 프레임의 열전달 특성

3.1 열전달 해석

Fig. 3은 유한요소해석을 위한 LED 프레임의

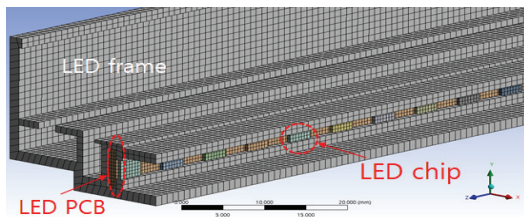


Fig. 3 FE modeling of LED frame

유한요소모델링을 나타내고 있으며, Table 2는 각 타공 형상에 따른 해석모델의 노드 및 요소수를 정리하였다.

Table 2. Nodes and elements of model

Shape	Original	Circle	Rectangle	Diamond
Nodes	274,849	532,272	535,152	531,161
Elements	44,723	269,299	271,015	268,521

LED chip의 발열 온도는 일반적으로 약 80~100°C이며 이 연구에서는 칩의 온도를 100°C로 정의한 후 프레임에 대한 열전달 해석을 수행하였다. 해석결과는 편의를 위하여 Fig. 4에 도시한 프레임의 단면 A-A에 대하여 표현과 설명을 수행하였다.

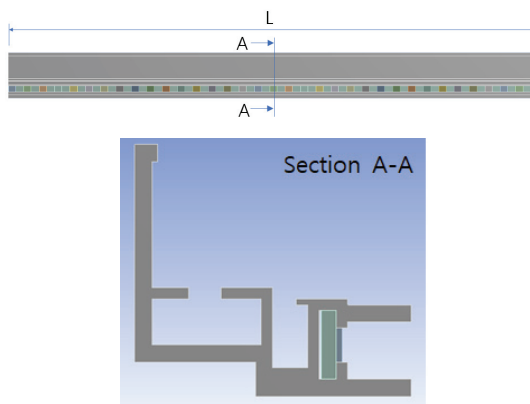


Fig. 4 Section of LED frame

Fig. 5와 6은 타공 형상에 따른 프레임의 열전달 특성 즉, 온도변화를 도시한 것이다. 열전달 해석결과 타공이 되지 않은 기존 프레임에 비해 타공되어진 프레임의 경우 미소하지만 열전달이 우수한 것으로 나타났다.

사각 형상의 타공인 경우 온도변화가 약 2.25°C로 열전달이 가장 우수하다는 것을 알 수 있다.

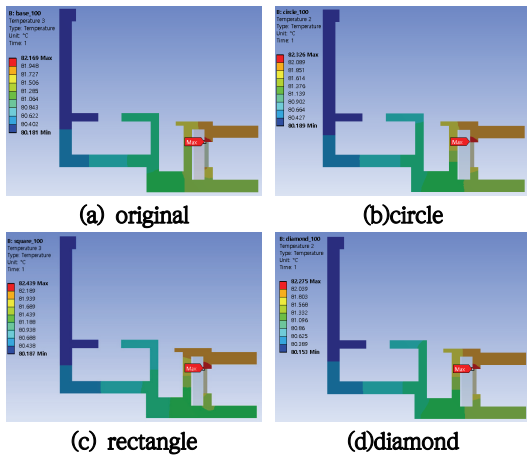


Fig. 5 Heat transformation results according to hole shape

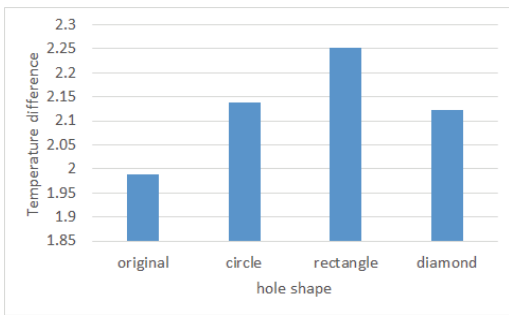


Fig. 6 Temperature difference of LED frame

Fig. 7과 8은 LED 프레임의 열속(heat flux)에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 여기서 열속의 크기가 클수록 열전달 성능이 우수하다고 할 수 있다. 해석결과 타공이 되지 않은 기존 프레임에 비하여 타공이 된 프레임의 경우 비교적 높은 열속을 보이며, 다이아몬드 모양의 타공인 경우 열속이 가장 빠르다는 것을 알 수 있다. 열전달 해석 결과 미소하지만 타공이 된 프레임의 열전달 효과가 높게 나타나며, 온도차를 보면 사각 형상이 가장 우수하며, 열속을 기준으로 한 경우 다이아몬드 형상의 타공이 가장 우수한 것으로 나타났다.

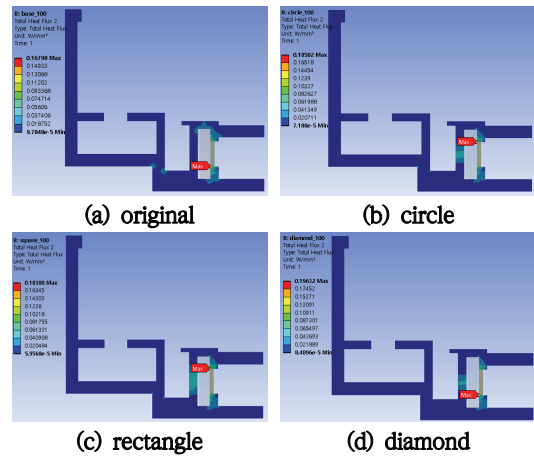


Fig. 7 Heat flux results according to hole shape

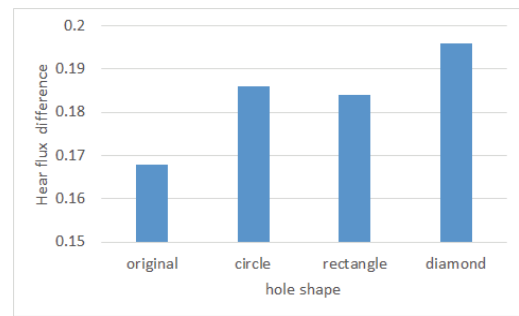


Fig. 8 Max. heat flux of LED frame

3.2 열-구조 연성해석

LED 프레임에 외부의 공기와 닿는다는 전제하에 대류조건 부여하고, LED Chip에서 100°C의 발열이 일어난다고 가정하여 열-구조 연성해석을 수행하였다. 먼저, 열유동 해석의 경우 정상상태에서 열전달 해석을 수행한 결과인 Fig. 9와 같이 LED Chip의 후면부의 온도를 열유동 해석의 입력 값으로 적용하였다. 최종적으로 LED 프레임의 타공을 통해 전달되는 열의 영향에 의한 프레임의 열유동해석을 진행하였으며 해석에서 타공형상에 따른 유한요소 모델의 노드 및 요소수는 Table 3

에 나타내었다.

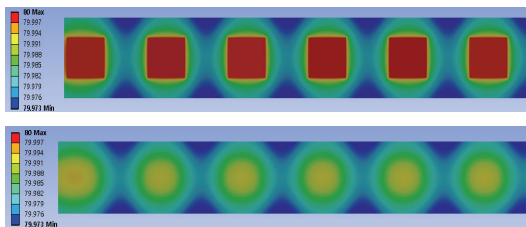
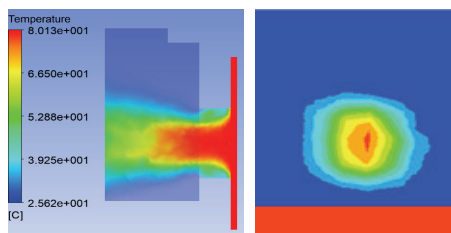


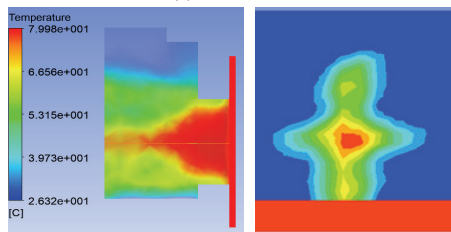
Fig. 9 Heat transformation results of LED chip

Table 3. Nodes and elements of model

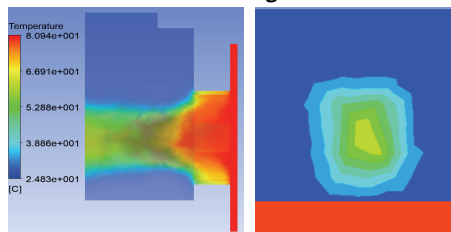
Shape	circle	rectangle	diamond
Nodes	956,333	854,673	900,276
Elements	2,819,697	2,459,403	2,577,280



(a) diamond



(b) rectangle



(c) circle

Fig. 10 Results of thermal flow according to hole shape(100°C)

Fig. 10은 타공형상에 따른 열유동 해석결과를 도시한 것으로 타공 형상에 따라 후면부에 다른 형태의 열유동이 나타난다는 것을 알 수 있다. 해석 결과 네모 형상인 경우 비교적 가장 활발한 열유동을 보이고 있으나 온도 변화는 큰 차이가 없었다. 그 이유는 그 이유는 프레임 사이의 공간이 협소하여 유동이 발생할 여유가 부족하기 때문이라 생각된다. 따라서 이러한 결과로 볼 때 LED 프레임에 타공형상 변경을 통한 방열은 효과적이라 보기 어렵다고 판단된다.

Figs. 11, 12는 열구조 연성해석을 위한 입력 열하중과 구속조건을 각각 나타내고 있다. 프레임이 벽면에 부착되었다고 가정하여 구속하였으며, LED 전등의 전체 무게를 고려하여 약 36N의 하중과 Fig. 11에 나타낸 열하중을 부여하여 구조해석을 수행하였다.

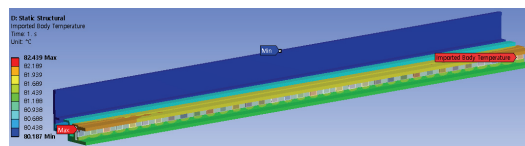


Fig. 11 Input thermal load for thermal-structural analysis

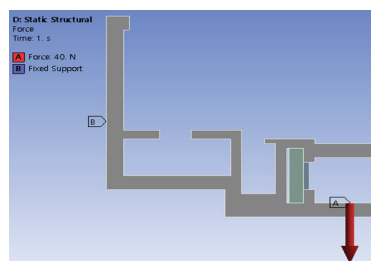


Fig. 12 Boundary condition for thermal-structural analysis

Fig. 13은 프레임의 변형해석 결과를 도시한 것으로 기존 프레임과 비교하였을 때 타공형상에 따른 변형은 거의 없다는 것을 알 수 있다.

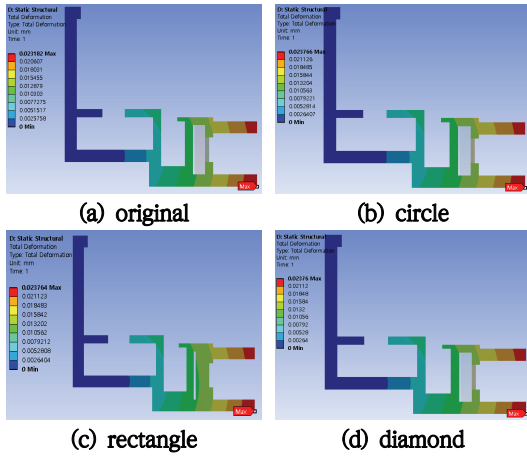


Fig. 13 Deformation distribution of LED frame

Figs. 14는 LED 프레임의 응력해석 결과를 나타내었다. 최대응력은 타공 형상과 관계없이 모두 8 MPa이하를 보였으며, 프레임 재료의 허용강도와 비교하여 매우 안정하다고 판단할 수 있다. 타공 형상과 관계없이 거의 유사한 응력 값을 나타내었으며, 타공 프레임의 경우 기존 프레임의 응력에 비하여 약 4.5%정도 낮은 응력 값을 보인다.

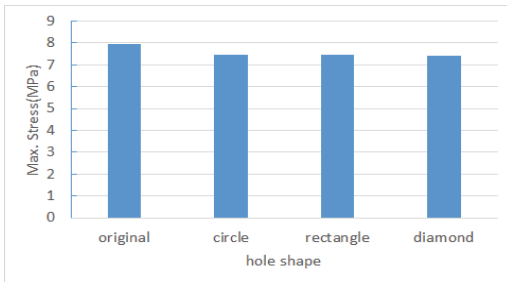


Fig. 14 Stress distribution of LED frame

4. LED 프레임의 방열특성 시험

Fig. 15는 LED 프레임의 방열특성을 파악하기 위한 시험 장치를 나타낸 것이다. 타공 프레임의

방열특성 시험은 Table 4에 제시한 사양을 갖는 열화상 카메라를 이용하여 타공 형상(원형, 사각 및 초기 설계프레임)에 대한 프레임의 온도변화를 조사하였다.

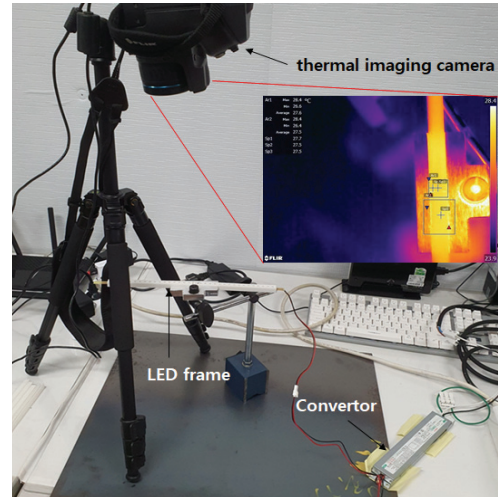


Fig. 15 Experimental setup

Table 4. Parameter of thermal imaging camera (model : FLIR T620)

Parameter	value	Note
Emissivity	274,849	Temperature range : 0~+350°C
Reflected temperature	25.0°C	
Distance	0.5m	
Air temperature	25.0°C	
Outside optical temperature	20.0°C	
Outside optical transmission	1.00	
Relative humidity	50.0%	

Fig. 16은 열화상 카메라를 이용한 LED 프레임의 방열시험 결과를 도시한 것이다. 타공 프레임의 경우 유사한 온도변화 경향을 보였으며, 기존 프레임과 비교하여 최대 온도 및 최대 온도에 도달하는 시간이 짧다는 것을 알 수 있다. Fig. 16

의 “A”구간과 같이 최대온도에 도달한 후 일정 시간이 지난 뒤 전원을 끄고 온도하강 변화를 살펴보면 미세하지만 타공 프레임의 경우 조금 더 빠르게 일정 온도에 수렴한다는 것을 알 수 있다.

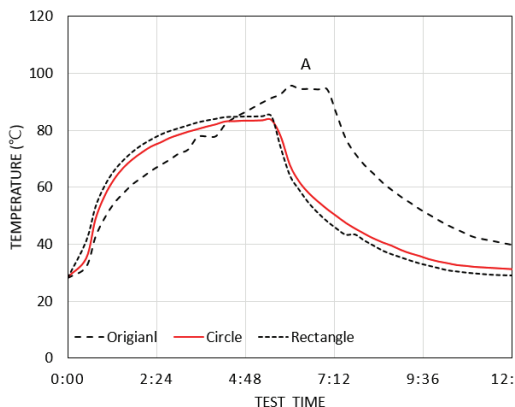


Fig. 16 Test results according to hole shape

5. 결론

이 연구에서는 LED 조명 프레임에 형상이 다른 타공 구조를 첨가하여 유한요소해석으로 프레임의 방열특성을 연구하였다. 또, 열화상 카메라를 이용하여 LED 프레임의 열전달 시험을 수행하고 유한요소 해석 결과와 비교하여 최적의 타공 형상을 도출하였다.

연구결과 타공이 없는 기존 프레임에 비하여 타공 프레임의 경우 열전달 효과는 우수하였으며, 특히 방열특성 시험을 통하여 타공 프레임의 경우 최대 온도까지 상승 시간이 빠르며 최대 온도가 현저히 낮아진다는 것을 알 수 있었다. 또한 사각

및 다이아몬드 형상이 원형 타공 형상보다 미미하지만 방열효과가 크다는 것을 알 수 있었다. 이 연구를 통하여 타공 형상으로 프레임의 방열효과를 높이는 것은 한계가 있다는 결론을 얻었으며, 향후 보다 우수한 방열효과를 얻기 위하여 프레임의 형상 변화에 대한 연구를 추가적으로 수행할 필요가 있다고 판단된다.

참고문헌

- [1] Yung, K. C., Liem, H. Choy, H. S. and Lun, W. K., “Thermal Performance of High Brightness LED Array Package on PCB”, Int. Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 37(9), pp. 1266-1272, (2010).
- [2] Kang, H. J. and Jeong, M. Y., “The Study of Nano Patterning on Sapphire Substrate for LED Thermal Efficiency”, Proc. of the KSMPE Autumn Conference, pp. 341-342, (2012).
- [3] Ndao, S., Yoav, P. and Michael, K. J., “Effects of Pin Fin Shape and Configuration on the Single-phase Heat Transfer Characteristics of Jet Impingement on Micro Pin Fins”, Int. Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 70, pp. 856-863, (2014).
- [4] Cheng, H. H., Huang, D. S. and Lin, M. T., “Heat Dissipation Design and Analysis of High Power LED Array using the Finite Element Method”, Microelectronics Reliability, Vol. 52 (5), pp. 905-911, (2012).
- [5] Kang, S. J., Jeon, B. S. and Son, I. S., “Heat Dissipation Properties of LED Edge Lamp Frame by Finite Element Analysis”, Proc. of the KSNVE Autumn Conference, pp. 251, (2019).

(접수: 2020.09.23. 수정: 2020.11.30. 게재확정: 2020.12.02.)