

논문 2011-481E-2-3

# 고효율 LED 방열효과 증대를 위한 융합형 Heat Sink 장치 방열 해석

( A Study on Analysis of Complex Heat Sink System for High  
Efficiency LED Thermal Effect )

강 창 수\*, 강 기 성\*\*

( Chang Soo Kang and Ki Sung Kang )

## 요 약

본 논문은 조명용 LED 모듈과 히트싱크 장치의 방열 특성을 확인하기 위한 수치 시뮬레이션을 하였다. 해석 케이스는 200 W급의 가로등 또는 보안등용 조명장치이며 용도에 따라 장치의 자세가 달라짐을 고려하여 발광면이 정상부를 향하는 경우와 정하부를 향하는 경우로 나누어서 해석이 진행되었고, 또한 발열소자의 체적이 큰 경우와 작은 경우로 나누어 해석하였다. 해석 결과 현재의 히트싱크 형상으로 충분히 LED의 발열량을 외부로 배출시킬 수 있음을 확인하였고, 장치의 자세와 발열소자의 크기에 따라 방열 성능의 차이가 나타남을 조사하였다.

## Abstract

In this paper, did numerical simulation to confirm LED module for lighting and protection against heat special quality of heat sink device. Analysis was gone dividing on case that emitting light side turns normalcy department considering that eat of device according to usage and case that turn down looking being street lamp of 200 W or security appointment lighting device analysis case, and also, volume of thermal element divides on big case and small case and analyzed. Confirmed that can do so that may discharge LED's thermal value to outside enough in analysis wave and current heat sink shape, and investigated that difference of protection against heat performance according to position of device and size of thermal element appears.

**Keywords :** LED, Heat sink, Heat emission rate, 3D Simulation

## I. 서 론

융합형 방열장치의 개발은 차세대 성장동력 산업의 하나로서 전기, 전자, 통신 산업전반에 활용되므로 장치의 수명을 연장하고 그에 따른 원가절감에 큰 기대 효과를 창출하므로 부가가치가 우수한 연구개발품으로 사료된다. 최근들어 성장동력 산업으로 LED(Light

Emitting Diode, 발광 다이오드) 산업을 지정하고 있으며, 전기, 전자, 통신 및 의료용 장비 개발에 활발하게 적용되고 있는 LED 기술이 향후 조명 분야로 이동할 것이라는 전망을 하고 있다.<sup>[1]</sup> LED 조명시장은 2015년 약 50~60조원으로 성장할 것으로 예측되고 있으며 일반조명 시장뿐 아니라 특수조명 시장으로도 확장될 것으로 예상하고 있다.<sup>[2]</sup> 광원으로서 LED는 구조가 간단하므로 대량생산이 가능하고, 소형이며, 진동에 강하고, 고장이 잘 나지 않으므로 수명이 길고, 다양한 색 표현이 가능하다는 장점들이 있다.<sup>[3]</sup> 그러나 작은 크기에서 상대적으로 높은 출력을 발생해야 하므로 LED 소자로부터 방열되는 열을 효과적으로 방출시켜야 하는 점이 해결해야 할 연구과제로 남게 된다. TV, 노트북 등의

\* 정회원, 유한대학 전자정보과  
(Yuhan University Dept. Electronic & Information Engineering)

\*\* 정회원, 동도 기술연구소  
(Dongdo Research Center)

접수일자: 2011년3월15일, 수정완료일: 2011년6월15일

소형 가전제품에 적용되는 LED 소자와 달리, 가로등, 보안등을 포함한 조명등으로 사용되는 LED 소자는 출력량이 수십에서 수백 W(와트)에 이를 정도로 크지만, 그 크기는 불과  $10^{-5}m^3$  정도에 불과하므로 제품화를 위하여 효과적인 방열 기구의 개발이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 범용으로 이용될 융합형 방열장치인 200W급 이하 조명등용 LED 장치에서 발생하는 열의 효과적인 발산을 위해 고안된 히트싱크(heat sink) 장치에 대하여 열전달 현상을 수치 시뮬레이션하고 해석결과로부터 고온 영역에서의 최고 온도 크기를 분석함으로써 고안된 히트싱크의 적용 가능성을 평가하였다.

## II. LED 소자와 히트싱크의 형상 및 물성

가로등용 30W급 LED 모듈을 Fig.1에 나타내고 있다. 중앙부에 LED 소자들이 집적되어 있고 그 위에는 빛의 분산을 위한 확산장치로 구성되어 있다. LED 소

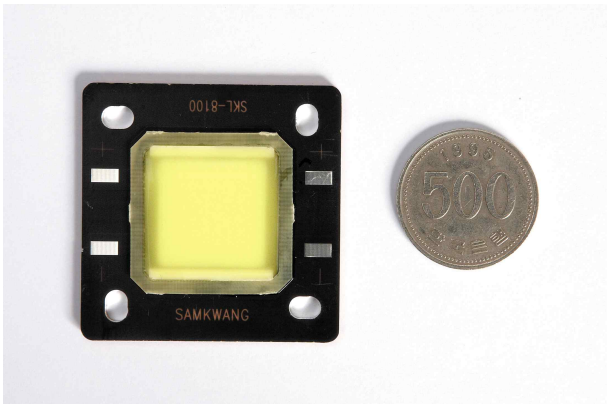


그림 1. 30W LED 모듈  
Fig. 1. 30W LED module.

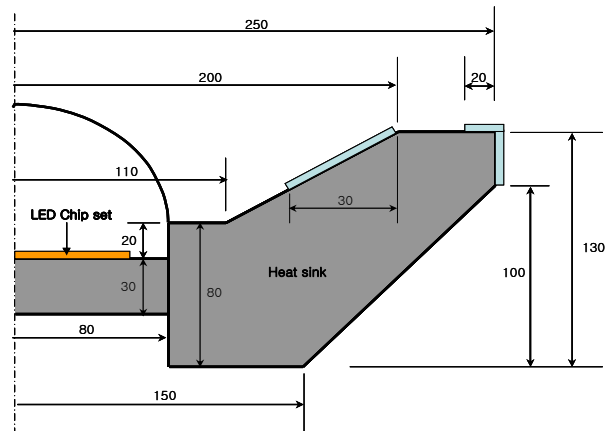


그림 2. Heat sink의 도면  
Fig. 2. Dimensions of heat sink.

자들은 두께 약 2 mm의 동판 과 알루미늄판 위에 탑재되며, 이들은 다시 히트싱크 장치에 탑재되어 LED 소자로부터 방출된 열을 효과적으로 히트싱크로 빼낼 수 있게 하였다.

Fig. 2는 LED 모듈로 부터 방열된 열을 외부로 빼내기 위한 히트싱크 장치의 형상을 나타내고 있다. 본 연구에서 다루는 히트싱크 장치에 도입된 전열기구는 차가운 공기가 뜨거운 물체에 의해 가열될 때 발생하는 공기의 부유 흐름 (buoyant flow)을 이용한 자연대류 열전달 이다. 히트싱크는 온도가 높은 고열원((heat source)으로부터 방출되는 열을 저열원(low temperature reservoir)과 접촉하고 있는 히트싱크 표면까지 잘 끌어 올 수 있어야 하며 동시에 저열원부와의 열교환 면적을 넓혀 많은 량의 열이 저열원부로 방출되게 하여야 한다. 따라서 본 연구에서 이와 같은 히트싱크로서의 요구 조건을 만족하도록 히트싱크의 재질을 알루미늄으로 선정하였으며, 히트싱크의 형상은 Fig. 2에 나타낸 하나의 날개가 Fig.3과 같이 원주방향으로 10도 마다 반복되도록 장착함으로써 저열원인 대기와의 열교환 면적을 최대화 하였다. 조명용으로 이용하는 LED 모듈은 발광면으로부터 방사되는 빛이 용처 (utility)까지 차단(blocking)되지 않고 도달해야 하므로 고온에서의 기계적 성질과 빛 투과율이 좋은 파이렉스(pyrex) 재질의 렌즈를 발광면 상부에 장착하였다. 발열체로부터의 방열 측면에서만 보면 파이렉스 렌즈는 발열체로부터 저열원까지 열을 끌어내는 능력이 히트싱크에 비해 매우 떨어지지만 LED 조명의 원시 기능(primary function)인 빛의 투과를 고려하면 투명 재질의 사용이 반드시 필요하다. 파이렉스 렌즈는 유리(glass)에 비해 열전도도가 높아 히트싱크로서의 기능성이 우수하며, 수정(quartz)에 비해서는 히트싱크 기능은 떨어지지만 가격측면에서 매우 우수한 특징을 가지고 있다.

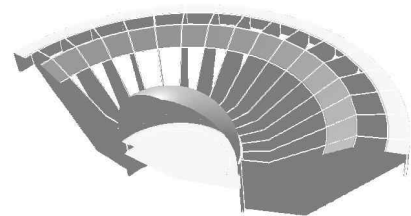


그림 3. 3 차원 heat sink  
Fig. 3. 3-dimensional view of heat sink.

표 1. 각 요소의 열적 성질

Table 1. Thermal properties for each component.

	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific Heat [J/kgK]	Thermal Conductivity [W/mK]
Heat Sink	2740	896	221
LED mount AL	2699	900	210
LED mount Cu	8978	385	385
Heat Source	2960	856	1
Pyrex Lens	2230	97.86	1.26

해석에 사용된 각 재료의 물성을 Table 1.에 정리하였다.

### III. 해석 격자 생성

Fig.3과 같은 LED 모듈과 히트싱크 복합체의 방열 해석을 위하여 본 연구에서는 문제의 본질을 저해하지 않는 수준에서 해석의 편의성을 높이기 위해 원주방향으로 10도 주기로 배치되어 있는 히트싱크 날개들 중 Fig.4와 같이 한 개의 날개에 대하여 해석을 수행하고자 한다.

Fig. 5에서는 히트싱크 한 주기만을 잘라서 해석할 경우 발생하는 대칭면에서의 격자를 보이고 있다. 그림



그림 4. Heat sink 팬의 한 주기  
Fig. 4. One period of heat sink fan.

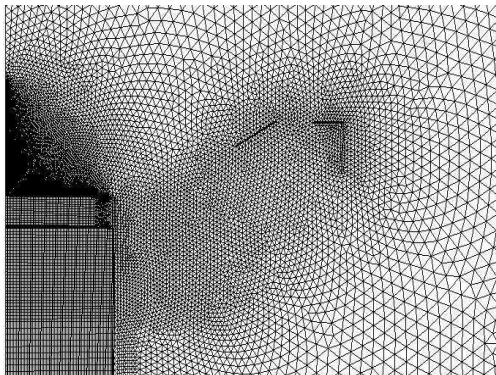


그림 5. 대칭면의 그리드 시스템  
Fig. 5. Grid system on symmetric plane.

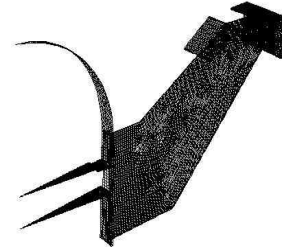


그림 6. Heat sink와 파이렉스 의 한주기당 표면 그리드 시스템  
Fig. 6. Surface grid system in one period of heat sink and pyrex lens.

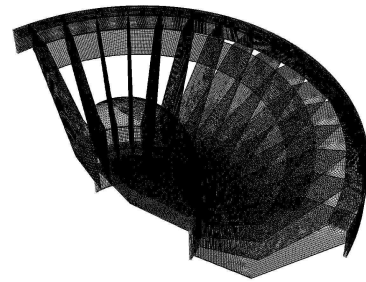


그림 7. Heat sink와 파이렉스에서 표면 그리드 시스템  
Fig. 7. Surface grid system on heat sink and pyrex lens.

에서 나타낸 것과 같이 히트싱크 주변으로 격자를 밀집시키고 히트싱크에서 멀어질수록 격자 간격이 커지도록 하였으며 최대 격자 간격은 10mm를 넘지 않도록 격자계를 구성하였다. 또한 격자 개수를 효율적으로 사용하기 위하여 육면체 격자를 사용할 수 있는 곳에는 그림과 같이 육면체 격자를 사용하였다.

Fig. 6에서는 히트싱크 및 파이렉스 렌즈 표면에서의 격자계 형상을 나타내었다. 그림과 같이 표면에서는 사각격자를 주로 사용하였으며 히트싱크 날개와 같이 얇은 구조물에도 두께방향으로 최소 3개의 격자점이 포함되도록 하여 해석의 정확성을 높였다.

Fig. 7에는 여러 주기에 대해 동시에 표면 격자를 나타내었다. 격자의 직교성이 우수한 총 960,000개의 셀들로 구성된 격자계가 완성되었다.

### IV. 지배방정식 및 경계조건

앞에서 생성한 격자계를 이용하여 히트싱크 주변에서 일어나는 열전달 현상을 수치해석하기 위하여 다음과 같이 정상상태, 비압축성, 층류 유동에 대한 질량 및 운동량, 에너지 보존방정식이 해석되게 된다.

- 질량 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \tag{1}$$

- 운동량 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \vec{g} [1 - \beta(T - T_\infty)] \tag{2}$$

- 에너지 보존 방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho C_p u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( k \frac{\partial T}{\partial x_i} \right) \tag{3}$$

운동량 보존 방정식의 우변에 나타난  $\vec{g} [1 - \beta(T - T_\infty)]$ 는 Boussinesq 가정에 따라 부력을 표현한 항이며 주변 유체와의 온도 차에 의한 유체간 밀도 차로 발생하는 체적력(body force)을 나타내고 있다.  $\beta$ 는 정압 체적 팽창 계수(volume expansion coefficient at constant pressure)이며 다음과 같이 표현된다.

$$\beta = - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \tag{4}$$

공기를 이상기체로 가정할 경우  $\beta$ 값은 대략  $1/T$ 로 표현되기 때문에 대기 온도를 300 K 정도로 가정할 경우 대략 0.03[1/K]의 값을 가진다.

본 연구에서 푸는 문제는 자연대류 외부 유동에 해당하므로 모든 외부 경계는 압력 일정 조건을 사용하였으며 속도와 온도에 대해서는 외삽조건이 적용되었다. 또한 외부 경계를 통한 공기의 유입이 있는 경우에는 온도 300 K의 공기가 유입되는 것으로 가정하였다. 발열체(LED 칩셋)는 전체 체적을 통해 단위

표 2. 칩셋의 단위 체적당 열 방출율  
Table 2. Heat emission rate per unit volume of chipset for each model.

	Actual Case	Model 1	Model 2
Radius [mm]	-	60	39.3
Length [mm]	81	-	-
Width [mm]	30	-	-
Height [mm]	2	2	2
Number of Chip [ea]	2	1	1
Volume of Chipset [m <sup>3</sup> ]	9.72E-6	2.26E-5	9.72E-6
Total Heat Emission [W]	200	200	200
Heat Emission per Unit Volume [W/m <sup>3</sup> ]	2.06E+7	8.84E+6	2.06E+7

체적당 발열량이 일정한 물체가 있는 것으로 가정하였으며 현재 해석 경우에서의 단위 체적당 발열량은 Table 2와 같이 계산하여 사용하였다. 문제의 본질을 해치지 않으면서 해석의 편의를 도모하기 위하여 원래 직사면체 형상을 하고 있는 100 W 짜리 두 개의 LED 칩셋으로 구성된 실제 경우를 Table 2에 나타난 것과 같이 원통형 디스크로 가정하여 해석을 수행하였다. Model 2의 경우 실제 경우와 같은 체적을 가지는 원형 디스크를 모델링한 것이고 Model 1의 경우는 디스크 형상의 발열체 체적을 실제 칩셋 체적의 2.3배 정도가 되도록 한 경우이다.

### V. 결과 및 분석

LED 조명장치 히트싱크의 방열 특성에 대하여 각각 도적 분석을 위하여 발광면이 위 방향을 보고 있는 정상향 경우와 아래 방향을 보고 있는 정하향 경우에 대한 해석을 수행하였다. 또한 정상향 및 정하향의 각 경우에 대하여 발열체의 체적을 Table 2와 같이 실제와 같은 크기를 적용한 경우와 실제보다 2.3배 키운 경우에 대한 해석을 수행하였다.

#### 5.1 정상향 경우

정상향의 경우는 LED 조명등을 공장의 보안등 등으로 사용하는 경우에 흔히 나타나는 자세로서 발광면이 위 방향을 향하고 있다. 이 경우는 자연대류에 의해 발생하는 부유 유동이 히트싱크를 식혀 적당히 덥혀진 후 온도가 가장 높은 영역인 파이프랙스 렌즈 부위를 지남에 따라 파이프랙스 렌즈 근처에서 충분한 열을 뺏어 오기 힘든 경우이다.

Fig. 8은 정상향의 경우의 대칭면에서의 온도 분포를 나타내고 있다. 최고 온도는 발열체 체적이 상대적으로

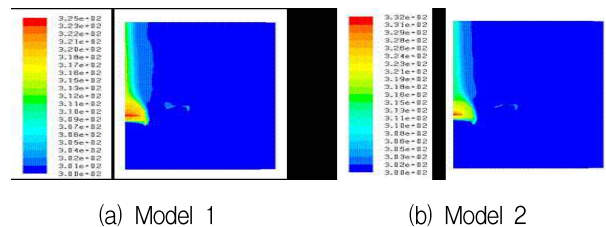
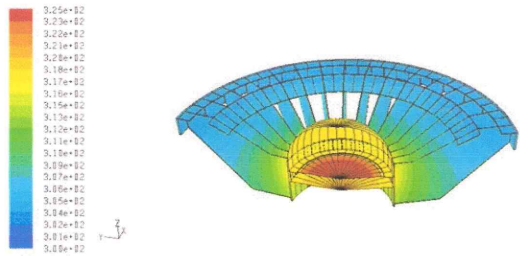
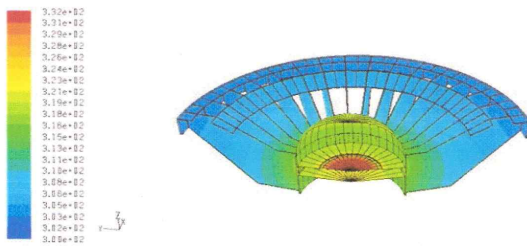


그림 8. 정상향 대칭면의 등온선 (a) 모델 1, (b) 모델 2  
Fig. 8. Isotherms on symmetric plane for the case of up-looking. (a) Model 1, (b) Model 2.



(a) Model 1



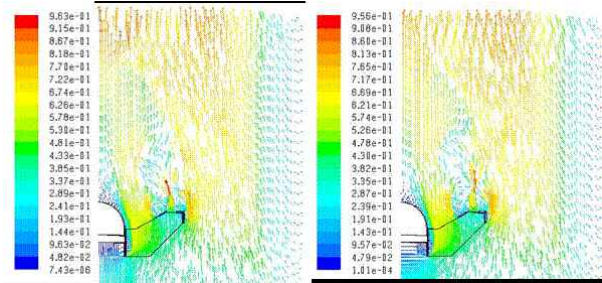
(b) Model 2

그림 9. 정상향 heat sink 표면의 등온선

(a) 모델 1, (b) 모델 2

Fig. 9. Isotherms on heat sink surface for the case of up-looking.

(a) Model 1, (b) Model 2.



(a) Model 1

(b) Model 2

그림 10. 정상향 대칭면의 속도 벡터

(a) 모델 1, (b) 모델 2

Fig. 10. Velocity vectors on symmetric plane for the case of up-looking. (a) Model 1, (b) Model 2.

큰 Model 1의 경우가 약 52°C, Model 2의 경우가 약 59°C의 값을 보이고 있다.

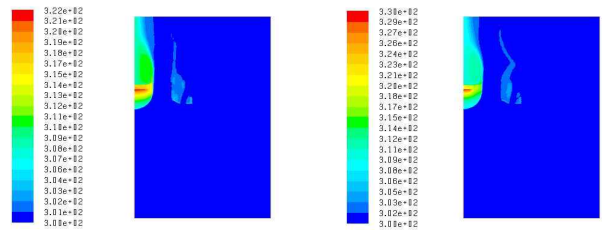
Fig. 9는 히트싱크 표면의 온도 분포를 나타낸 그림으로, Model 1에 비해 단위체적당 발열량이 큰 Model 2가 열이 잘 빠져나가지 못하고 있는 것을 확인할 수 있고, 발열체 중앙부의 온도가 극부적으로 매우 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이것은 발열체의 체적이 작아짐에 따라 히트싱크와의 접촉면적은 줄어드는 반면 발열강도라고 할 수 있는 단위체적당 발열량이 오히려 커졌기 때문에 효과적으로 열을 배출하지 못하기 때문

이다.

Fig. 10은 각 경우에 대한 대칭면에서의 속도 벡터를 나타낸 그림으로 두 경우 모두 활발한 자연대류 부유 유동이 발생하고 있으며 상대적으로 Model 1의 경우에 조금 더 큰 속도 크기를 가지는 것을 확인할 수 있다.

5.2 정하향 경우

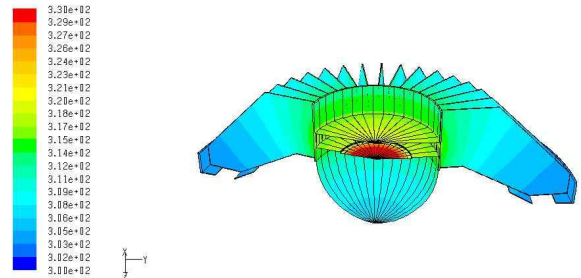
정하향의 경우는 LED 조명등을 가로등으로 사용하는 경우에 흔히 나타나는 자세로서 발광면이 아래 방향을 향하고 있으므로 자연대류에 의해 발생하는 상승흐름을 공기의 온도가 낮은 채로 맞게 됨으로 열전달 측면에서 정상향보다 유리할 것으로 예상되는 경우이다.



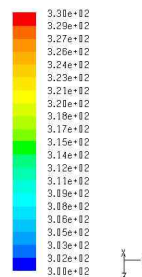
(a) Model 1

(b) Model 2

그림 11. 정하향 대칭면의 등온선 (a) 모델 1, (b) 모델 2  
Fig. 11. Isotherms on symmetric plane for the case of down-looking. (a) Model 1, (b) Model 2.



(a) Model 1



(b) Model 2

그림 12. 정하향 heat sink 표면의 등온선

(a) 모델 1, (b) 모델 2.

Fig. 12. Isotherms on heat sink surface for the case of down-looking. (a) Model 1, (b) Model 2.



Fig. 11은 정하향의 경우의 대칭면에서의 온도 분포를 나타내고 있다. 최고온도는 발열체 체적이 상대적으로 큰 Model 1의 경우가 약 49oC, Model 2의 경우가 약 57oC의 값을 보이고 있으며, 이는 정상향 경우에 비해 2~3oC 낮은 값이다.

Fig. 12는 히트싱크 표면의 온도 분포를 나타낸 그림인데, Model 1에 비해 단위체적당 발열량이 큰 Model 2가 열이 잘 빠져나가지 못하고 있는 것을 확인할 수 있고, 발열체 중앙부의 온도가 국부적으로 매우 높게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이것은 앞서 설명한 바와 같이 발열체의 체적이 작아짐에 따라 히트싱크와의 접촉면적은 줄어드는 반면 발열강도라고 할 수 있는 단위체적당 발열량이 오히려 커졌기 때문에 효과적으로 열을 배출하지 못하기 때문으로 판단된다.

Fig. 13은 각 경우에 대한 대칭면에서의 속도 벡터를 나타낸 그림으로 두 경우 모두 활발한 자연대류 부유 유동이 발생하고 있으며 상대적으로 Model 1의 경우에 약간 더 큰 속도 크기를 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 두 경우 모두 정상향 케이스에 비해 속도 크기가 크게 나타나고 있어 열배출 성능이 더 우수함을 알 수 있고, 히트싱크 바닥면으로부터 상부로 큰 유동 재순환 영역이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 정상향의 경우에는 파이렉스 렌즈 직상부로 곡면을 형성하고 있기 때문에 재순환 영역이 존재하지 않아 열전달 측면에서 전열면적을 효과적으로 이용하는 것으로 여겨진다. 하지만 정상향 경우의 파이렉스 렌즈 부위는 발열체로부터 열이 충분히 빠져 나오지 못하는 고온 영역인 반면, 정하향에서 재순환 영역이 나타나는 히트싱크 하부면은 상대적으로 낮은 온도를 형성하기 때문에 열전달 성능 감소 효과가 줄어든 것으로 판단된다.

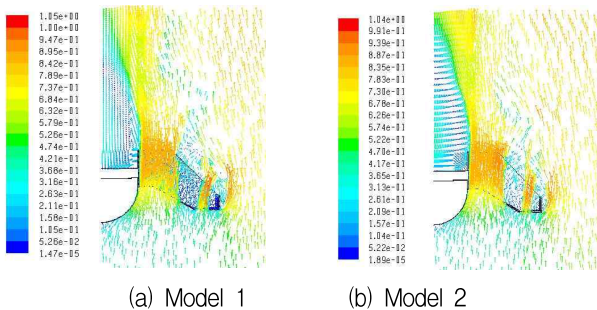


그림 13. 정하향의 대칭면 속도 벡터 (a) 모델 1, (b) 모델 2

Fig. 13. Velocity vectors on symmetric plane for the case of down-looking. (a) Model 1, (b) Model 2.

### 5.3 3-D 설계 및 응용

200 W급의 가로등 또는 보안등용 조명장치를 범용으로 응용하고 용도에 따라 설치공간과 주변 환경 장치의 자세가 달라짐을 고려하여 발광면이 정상부를 향하는 경우와 정하부를 향하는 경우로 나누어서 해석한 결과를 응용하여 방열판을 디자인하였다. Fig.14 에서는 분석결과를 바탕으로 최적의 방열효과를 얻을 수 있는 방열판 모형을 사용자의 요구를 만족시키기 위하여 3가지 모형으로 디자인한 3D 결과를 확인할 수 있다.

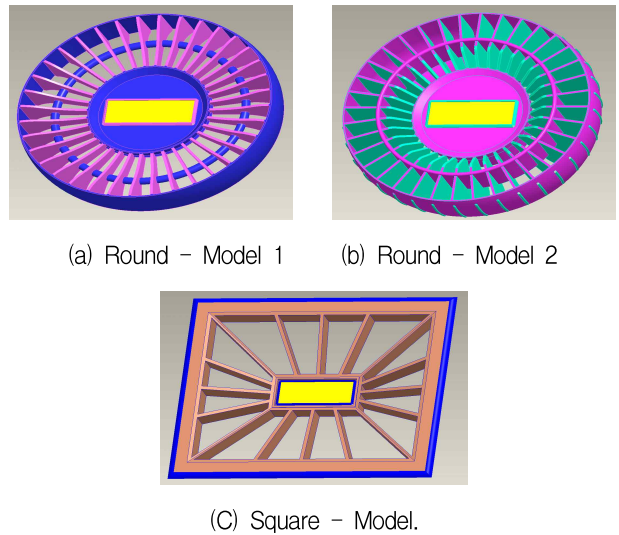


그림 14. 3-D 외부 설계 (a) 곡면 - 모델 1, (b) 곡면 - 모델 2, (c) 사각 - 모델

Fig. 14. External design of 3-D. (a) Round - Model 1, (b) Round - Model 2, (c) Square - Model.

## VI. 결 론

조명용 LED 모듈과 히트싱크 장치의 방열 특성을 확인하기 위한 수치 시뮬레이션이 진행되었다. 해석 케이스는 200 W급의 가로등 또는 보안등용 조명장치이며 용도에 따라 장치의 자세가 달라짐을 고려하여 발광면이 정상부를 향하는 경우와 정하부를 향하는 경우로 나누어서 해석이 진행되었고, 또한 발열소자의 체적이 큰 경우 작은 경우를 나누어 해석하였다. 해석결과 현재의 히트싱크 형상으로 충분히 LED의 발열량을 외부로 배출시킬 수 있음을 확인하였고, 장치의 자세와 발열소자의 크기에 따라 방열 성능의 차이가 나타남을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] A. Bejan, Convection Heat Transfer, John-Wiley & Sons, 2nd edition, 1995.
- [2] F. P. Incropera and D. P. Dewitt, Introduction to Heat Transfer, John-Wiley &, 1985.
- [3] S. V. Patankar, Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw Hill, 1980.
- [4] Fluent 6.3 Users Guide, Fluent

---

## 저 자 소 개

---



강 창 수(정회원)  
 1982년 광운대학교 공학사 졸업  
 1986년 한양대학교 공학석사 졸업  
 1992년 광운대학교 공학박사 졸업  
 1996년 Clemson University Post Doctor

<주관심분야 : 반도체, AI, 회로설계>



강 기 성(정회원)  
 1986년 관동대학교 공학사  
 1988년 명지대학교 공학석사  
 1995년 명지대학교 공학박사  
 <주관심분야 : 광통신, 반도체 재료, 이동통신>