

150W LED등기구 방열을 위한 열 해석에 관한 연구

소병문[†]

[†]전북대학교 공과대학 융합기술공학과

A Study on Heat Simulation for Heat Radiation in 150W LED

Byung Moon So[†]

[†]Dept. Convergence Technology Engineering, College of Eng., Chonbuk National Univ.

ABSTRACT

For long life time and high efficiency, not necessary in improvement of LED chip structure, but also improve heat radiation for decrease heat in LED chip. In this study, efficiency decline factor has been investigated in LED lamp as study heat characteristic, luminance flux and heat resistance. When LED lamp temperature was increased, about 7% loss of luminance flux. In consequence of temperature analysis, width of fin was the most important factor of heat radiation. As a result, secure the enough heat path is very important factor of LED lamp design.

Key Words : AL-heat sink, CMP-PLA, LED, heat sink

1. 서 론

LED 가로등은 기존 메탈할라이드 램프 가로등에 비해 소비전력 절감 및 장 수명으로 인해 각광받고 있다. 그러나, 현재 LED 가로등 제품들은 수요자 요구 조도기준 및 발열온도 기준을 만족하는 제품은 거의 없다.

LED 조명기기의 핵심 기술은 고효율 광원, 방열판, 고역률 전원, 반사 등이 있으며, 이중 LED 광원의 열을 방출하기 위한 방열판 제작이 핵심 기술이다.

LED 조명 기기의 온도 상승 시 광 출력 감소, 출력 빛의 파장 증가 (Red Shift), 열응력 발생에 의한 Bond Wire 파손, 열응력 발생에 의한 접합부 박리, 에폭시 렌즈 항변, Solder부 파괴 등의 심각한 문제를 야기함으로써 조명기기의 수명 감소를 초래한다.

반도체 소자의 경우에는 사용온도가 10°C 증가 됨으로써 그 수명은 70~75%로 감소되어진다.

LED 고유기능인 고효율, 장 수명을 위해서는 칩의 열을 외부에 확산시키기 위한 방열기술을 확보하는 기술 개발이 시급하다.

이에 150W LED 등기구 열해석을 통해서 방열성능을 확인하고자 한다.

2. 본 론

2.1 경계조건

수치 계산에 사용된 해석 도메인은 Fig. 1에 나타내고 있으며, 도메인 사이즈는 가로×세로×높이 각각 2.5m×2.6m×3.6m 이다. 해석 경계조건으로 LED 칩을 직육면체로 모델링하여 발열 조건으로 입력하였다. LED 칩 개수는 총 72개이며, 소비전력이 150W인 경우, SMPS의 손실을 10%로 가정, LED 소자의 효율을 광 20%, 열 80%로 가정하여 108W를 발열량으로 입력하였다.

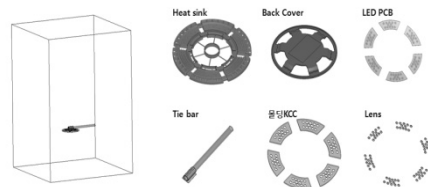


Fig. 1. Simulation domain.

[†]E-mail: sbm0415@jbnu.ac.kr

벽 조건(Wall condition)으로는 외부 해석 도메인 모두 no slip wall 조건을 입력하였으며, 온도 조건으로는 외기 온도인 25°C로 설정하였다. 외부 도메인이 모두 벽 조건으로 설정되어 있으므로, 내부의 강제 유동은 발생되지 않으며 부력에 의한 자연 대류만 발생한다. LED 가로등과 공기와 닿는 면에 대해서는 no slip wall 조건과 열전달 조건을 설정하였다. 고체와 고체가 닿는 면에 대해서는 free slip wall 조건을 설정하였으며 고체 사이의 열저항은 없는 것으로 설정하였다. 또한 내부의 초기 온도는 외기 온도인 25°C로 정의하였다. 수치 해석에 사용된 각각의 재질은 Table 1과 같다.

Table 1. Materials using simulation

	Density [kg/m ³]	Specific Heat [J/kg·K]	Conductivity [W/m·K]
ALDC12S	2760	900	209
A6063	2700	900	340
SL300AB	1100	900	0.18
FR4	1600	950	0.44
epoxy	1850	1100	0.3
AC2B	2770	900	340

여기에서, Back cover의 재질은 ALDC12S이며, Heat sink의 재질은 A6063, 몰딩KCC의 재질은 SL300AB, LED PCB는 FR4, LED 칩은 epoxy, Tie bar의 재질은 AC2B이다.

2.2 해석 조건 및 격자 형상

본 연구에 사용된 상용 열유체 해석 소프트웨어는 SC/Tetra V8이며, 계산에 사용된 해석 조건은 Table 2 같다.

Table 2. Simulation conditions

CFD software	SC/Tetra V8
Analysis Schemes	Incompressible Flow Steady-state analysis Conduction & Natural convection
Turbulent	MP k-epsilon turbulence
Convection term	1st order upwind differencing scheme
Pressure Correction Method	SIMPLEC
Buoyant Force	Consider

본 해석에서 사용되는 격자는 비정렬 격자로서, 복잡한 Geometry 형상을 표현하기에 적합하다. 격자를 생성하는 방법은 Fig. 2의 순서와 같이 먼저 Cad의 step 포맷을 Pre-processor에서 import 한 후, 각 부품 면에 이름을 지정한다.

그 후, SC/Tetra에서 사용하는 Octree 기법을 사용하여 표면의 격자 크기를 설정하고 격자를 생성하면 surface mesh, volume mesh, prism mesh 격자가 생성된다. 계산에 사용된 격자의 수는 절점이 약 600만개 수준이며 요소는 약 2,800만개 이다. 또한 벽면 유동의 Boundary layer의 특성 계산을 위한 Prism layer는 2layer를 사용 하였다.

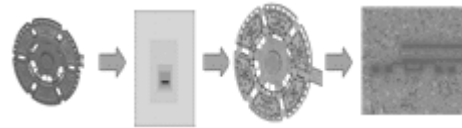


Fig. 2. Flow of simulation lattice formation.

2.3 해석 Case study

Heat sink의 재질에 따른 LED 가로등의 온도 분포를 검토하기 위하여, Specific Heat(비열), Conductivity(열전도도), Density(밀도)를 변경하여 Case study를 수행하였다. 해석 Case는 표 2-3과 같다. 여기에서 AL방열판을 적용한 기본 모델은 Case1에 해당하며, CMP-PLA 방열판을 적용한 모델은 Case8에 해당한다.

Table 3. Case study of Heat sink material

	Density [kg/m ³]	Specific Heat [J/kg·K]	Conductivity [W/m·K]
Case1	2700	900	340
Case2	1650	1100	3.01

2.4 해석 결과

2.4.1 비열에 따른 Heat Sink의 온도결과

Fig 3과 Fig 4는 비열이 900, 1000, 1100[J/kg·K]로 증가하는 경우의 LED 중앙 단면에서의 속도벡터이다. Fig 3과 Fig 4에서 보는 것과 같이 비열 증가에 따른 속도 벡터의 변화는 없으며, 전체적인 속도 벡터는 Heat sink에서 유도된 기류가 중앙부로 모여 함께 올라가는 경향을 보인다. Fig 3과 Fig 4 비열이 900, 1000, 1100[J/kg·K]로 증가하는 경우의 LED 중앙 단면에서의 속도벡터이다. Fig 3과 Fig 4에서 보는 것과 같이 비열 증가에 따른 속도 벡터의 변화는 없으며, 전체적인 속도 벡터는 Heat sink에서 유도된 기류가 중앙부로 모여 함께 올라가는 경향을 보인다.

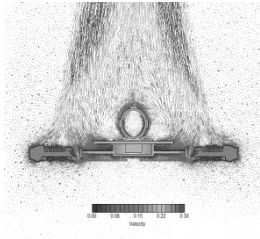
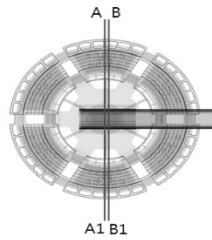


Fig. 3. A-A1 cross-section speed vector.

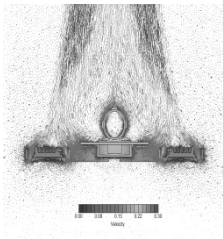
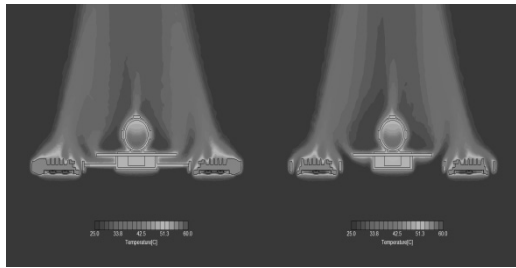


Fig. 4. B-B1 cross-section speed vector.



(a) Case1 A-A1 (b) Case1 B-B1

Fig. 5. Cross-section Tem. distribution.

Fig 5에서 비열 증가에 따른 온도 분포를 나타낸다. 속도 벡터와 마찬가지로 비열증가에 따른 온도분포의 변화는 거의 없다.

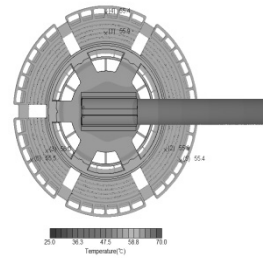
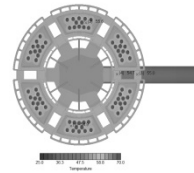
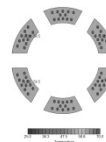


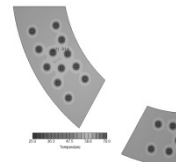
Fig. 6. Result of Case1 Heat sink back side Tem. measurement.



(a) Cover & Frame & LED PKG



(b) PCB



(c) LED solder

Fig. 7. Result of Case1 Heat sink head side Tem. measurement.

Fig 7은 시험과 동일한 위치 에서의 온도 측정 결과를 나타낸다. Heat Sink 후면에서는 6개소에서 온도를 측정하였으며, LED가로등 전면부에서는 9개소에서 온도를 측정하였다. 각 case별 온도 측정 결과는 Table 4 및 Table 5와 같다. Table 4 및 Table 5에서 보는 바와 같이 각 측정점에서의 온도 값이 비열 증가에 따라 모두 동일함을 확인 할 수 있다. 이는 Heat sink의 비열의 변화가 방열성능에 영향을 미치지 않은 것을 의미한다. 기본 모델인 case1과 시험과의 온도 측정결과는 다음과 같다.

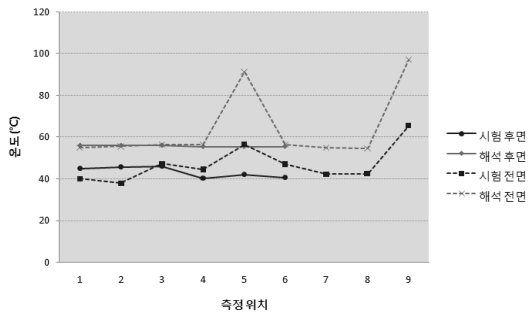


Fig. 8. Result of test & value simulation.

Table 4. Result of Heat sink back side Tem. measurement

측정 점	1	2	3	4	5	6
시험	45.1	45.8	46.1	40.3	42.1	40.5
case1	55.9	55.9	56.0	55.4	55.4	55.5

Table 5. Result of Heat sink head side Tem. measurement

측정 점	1	2	3	4	5	6	7	8	9
시험	40.0	38.0	47.3	44.6	56.5	47.0	42.3	42.5	65.4
case1	54.9	55.6	56.5	56.4	91.4	56.5	55.0	54.7	97.1

Fig 8은 AL 방열판 모델에 대하여 시험과 해석(case1)과의 온도 측정 결과 비교 그래프이다. 시험과 수치해석 결과가 일정한 경향을 보이고 있다. Heat Sink 후면부의 온도 차는 평균 약 12°C 이며, Heat Sink 전면부 Cover 온도 차는 평균 약 16°C, PCB 온도 차는 평균 약 10.5°C, LED 솔더 온도는 평균 약 34.9°C, LED PKG 온도는 평균 약 31.7°C의 차이의 경향이 나타나는 것을 확인 할 수 있다.

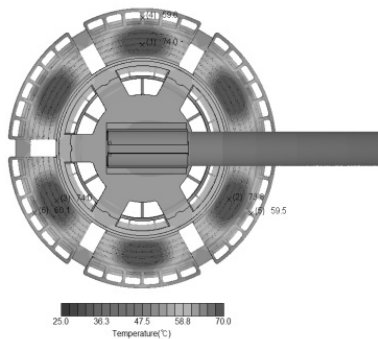


Fig. 9. Result of Case2 Heat sink back side Tem. measurement.

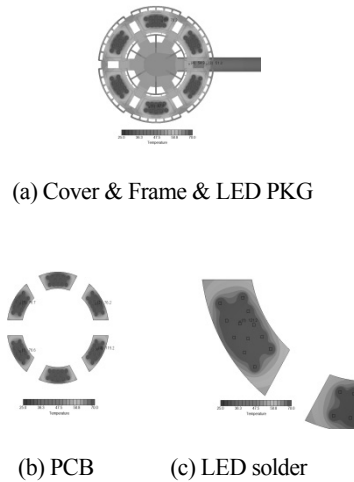


Fig. 10. Result of Case2 Heat sink head side Tem. measurement

Fig 10은 case2의 Heat sink 후면, 전면의 온도 결과를 나타낸다. 또한 각 측정 점에서의 온도 값을 Table 6 및 Table 7에 나타내었다. Table 6 및 Table 7을 보면 각 측정 점에서의 온도 값이 밀도가 감소함에 따라 변하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이는 Heat sink의 밀도 변화가 열전달에 영향을 미치는 않는 것을 의미한다.

Table 6. Result of Heat sink back side Tem. measurement

측정 점	1	2	3	4	5	6
case2	74.0	73.8	74.0	59.6	59.5	60.1

Table 7. Result of Heat sink head side Tem. measurement

측정 점	1	2	3	4	5	6	7	8	9
case2	67.8	70.2	76.6	76.2	121.2	76.7	51.3	57.9	115.2

2.4.2 CMP-PLA 방열판 적용모델 해석 결과

CMP-PLA 방열판 적용모델의 해석 결과는 case2와 같다. 기류분포는 LED 모듈에 있는 Heat sink 중앙부에 온도가 집중되고 이로 인해 빠른 속도의 자연대류를 유도하여 직선적으로 위로 올라가는 유동을 보인다. 온도 분포는 LED 모듈을 중심으로 온도가 집중되며, LED 모듈이 위치하지 않은 외곽지역으로 열이 잘 전달되지 않는 것을 확인 할 수 있다. 이는 열전도도가 3.01[W/m-K]로 매우 낮기 때문에 발생하는 현상이다.

CMP-PLA 방열판은 방열 성능에 대해서는 AL 방열판보다 좋지 않지만, AL 방열판의 경우 Heat sink 및 LED 솔더

의 온도가 40~56°C 수준으로 매우 낮기 때문에 방열 성능을 낮추어 허용수준의 LED 솔더 온도를 가지는 Heat sink 소재를 선택함으로써 중량 감소의 효과를 얻을 수 있다.

2.4.3 AL 방열판 모델과 CMP-PLA 방열판 모델의 수치해석 결과 비교

AL 방열판 모델과 CMP-PLA 방열판의 해석 모델은 각각 case1과 case2이다. Heat sink 후면 및 전면부의 온도 측정 결과는 Table 8과 Table 9와 같다.

Fig 11을 보면 Heat Sink 후면부의 온도는 중앙부인 측정점 1, 2, 3에서 case8의 온도가 급격히 높아지는 경향을 보인다. 이는 열전달이 원활히 되지 않아 발생하는 현상이다. Heat sink 전면부에서도 동일하게 측정 점 7, 8에서 Frame부까지 열전달이 되지 않아 case8의 경우 상대적으로 온도가 낮게 발생되었다. 그 외의 측정 점에서는 case1과 case2가 유사한 경향을 보인다.

Heat sink 후면부의 온도차는 평균 약 18°C 이며, 전면부의 Cover 온도차는 평균 약 15°C, PCB 온도차는 평균 약 20°C, LED 솔더 온도차는 평균 약 29.8°C, LED PKG 온도차는 평균 약 18°C 인 것을 확인 할 수 있다.

Table 8. Result of back side Tem. measurement

측정점	1	2	3	4	5	6
case1	55.9	55.9	56	55.4	55.4	55.5
case2	74.0	73.8	74.0	59.6	59.5	60.1

Table 9. Result of Tem. measurement to back side material compare

측정점	1	2	3	4	5	6	7	8	9
case1	54.9	55.6	56.5	56.4	91.4	56.5	55	54.7	97.1
case2	67.8	70.2	76.6	76.2	121.2	76.7	51.3	57.9	115.2

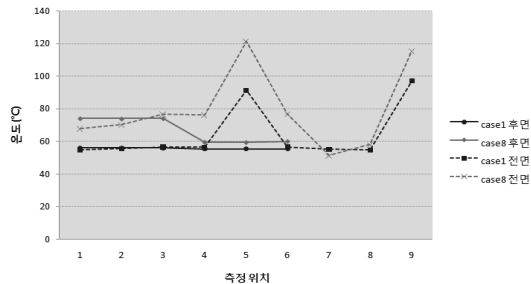
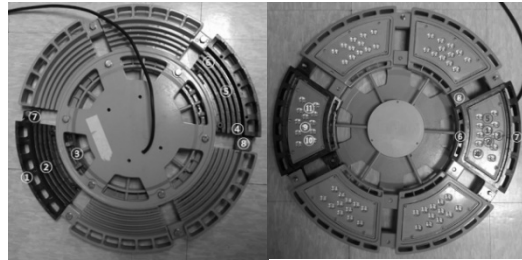


Fig. 11. Tem. Graph of case1 & case2.

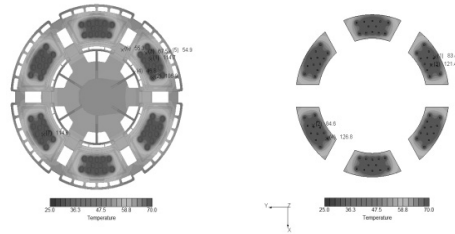
2.4.4 CMP-PLA 방열판 모델의 시험과 수치해석과의 결과 비교



(a) heat sink back side (b) heat sink head side

Fig. 12. CMP-PLA Tem. Measurement position.

CMP-PLA 방열판 적용의 LED가로등 기구의 방열판 부위 온도 측정 지점은 Fig 12와 같다. 방열판 후면에 8개소, 방열판 전면에 11개소에서 온도를 측정하였고, 수치해석 모델에서도 동일한 측정 지점에서 온도결과를 출력하였다.



(a) Cover & Frame & LED PKG (b) PCB & LED solder

Fig. 13. Result of Case2 Heat sink back side Tem. Measurement.

Table 10. Result of CMP-PLA back side Tem. measurement

측정점	1	2	3	4	5	6	7	8
시험	-	59.8	47.8	44.5	56.4	47.7	43	44.3
해석	55.1	73.9	47.8	55.9	73.5	55.7	51.3	50.8

Table 11. Result of CMP-PLA head side Tem. measurement

측정점	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
시험	99.4	85.5	68.6	56.7	64.7	51.7	47.2	43.9	95.4	87.4	72.6
해석	114.7	121.4	83.4	106.9	67.5	46.8	54.9	55.3	114.6	126.8	84.6

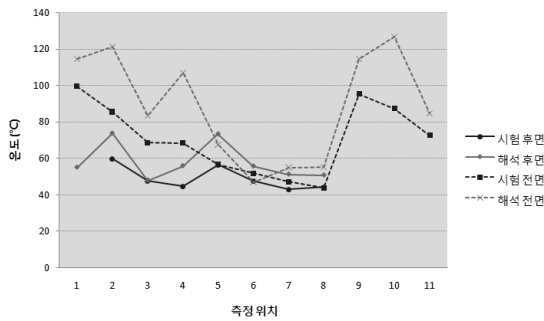


Fig. 14. Result of test & simulation in CMP PLA heat sink.

시험과 수치해석과의 온도결과는 Table 10 및 Table 과 같다. 측정 점3을 제외하고 모든 위치에서 일정한 온도차를 보이는 것을 확인하였다. 방열판 후면의 온도 차는 약 11.4-17.1°C를 보인다.

시험과 해석 결과를 그래프로 비교해보면, Fig 14와 같다. CMP-PLA 방열판 전면 및 후면 모두 방열판 내측의 측정 점(후면의 3번, 전면의 6번)을 제외하고 일정한 값으로 경향성을 보이고 있다. 방열판 전면부의 시험과 해석과의 온도차는 LED 솔더, 및 렌즈를 제외하고 약 10-20°C사이의 온도차를 보이고 있어, 후면 부의 온도 차와 유사한 경향을 보이는 것을 확인 하였다. 렌즈(전면의 4번)의 경우 해석 시 온도가 높게 발생하는데 그 이유는 LED chip과 렌즈사이의 틈새 및 공기영역을 해석 모델에서는 모두 고려할 수 없어 렌즈가 LED chip을 감싸고 3면이 모두 접촉하고 있는 조건으로 단순화 하여, 렌즈로의 열전달이 높아져 해석에서는 온도가 높게 발생되었다. LED 솔더와의 온도차는 AL방열판 모델의 온도 차(34.9°C)와 유사하게 35.9-39.4°C의 온도 차를 보인다.

4. 결 론

문제가 되었던 방열판의 기류분포의 문제를 해결하기 위하여, 방열판을 직접 냉각시키는 원형 LED가로등을 개발 하였다. 기본 모델로서 AL 방열판을 사용하여 방열 성능을 예측하고, 수치해석을 통하여 정성적인 경향성을 확인하였다.

AL 방열판의 경우 LED솔더의 온도가 56.6°C로서 본 개발에 사용 중인 LED chip의 추천 사용온도인 90°C보다 매우 낮은 온도로서 방열 성능이 과한 것으로 판단되며, 중량 감소의 목표를 달성하기 위하여 새로운 재료의 개발을 수치해석을 통하여 진행하였다. 중량 감소를 위하여 방열판의 형상 보다는 방열판의 재질에 초점을 맞추어 재질에 따른 방열 성능을 검토하였다. 그 결과 비열 및

밀도는 방열 성능에 큰 영향을 미치지 않으며, 열전도도가 방열 성능에 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 확인 하였다. 열전도도가 340, 200, 100, 3.01[W/m·K]의 경우에 대하여 방열판의 온도를 측정하여 경향을 확인 하였다. 그 결과 LED 솔더의 온도가 각각 91.4°C, 92°C, 93.8°C, 121.2°C로 계산되었으며, AL 방열판의 경우, 시험과 해석의 LED 솔더 온도차가 34.9°C인 것을 감안하면 열전도도가 3.01[W/m·K]의 경우 실제 LED 솔더의 온도가 약 86.3°C가 예상되었다.

수치 해석을 통하여 도출한 최적의 재질을 이용하여 CMP-PLA 방열판을 시제작하여 방열 온도 시험을 진행 하였다. 그 결과 일부 측정점을 제외하고 약 10-20°C의 온도 차를 보이며 해석과 유사한 경향성을 보이는 것을 확인 하였다. 또한 LED 솔더의 경우 AL방열판 모델의 온도 차(34.9°C)와 유사하게 35.9-39.4°C의 온도 차를 보이는 것을 확인 하였고, 실제 CMP-PLA 방열판의 LED 솔더온도가 약 87.4°C로 측정되었으며, 이는 해석을 통하여 예측한 결과와 잘 일치한다.

참고문헌

1. B. Y. Shin, B. H. Cho, K. H. Hong and B. S. Kim, Polymer(Korea), 33, 588, 2009.
2. S. J. Kim, "A study on the heat transfer of the heatsink", Taejon National Univ., 1988.
3. Park, J. M., Choi, W. S., Kwon, S. H., Cha, J.H, "Optimal Cutting Conditions of Surface Roughness for Inconel 718 Alloy in Turning Operation", Journal of the KSMPE, Vol. 8, No. 4, pp. 48-53, 2009.
4. Lee, Y. M., Chang, S. I., Sun, J. W., Yun, J. H., "Chip Breaking Characteristics Depending on Equivalent Effective Rake Angle in Turning", Journal of KSMPE, Vol.2, No.2, pp.25-31, 2004.
5. Park, J. M., Choi, W. S., "Optimal Cutting Conditions of Surface Roughness for Inconel 718 Alloy in Turning Operation", Journal of the KSMPE, Vol. 8, No. 4, pp 48-53, 2009.
6. Lee, J. W., Min, K. D., "A Study on Nozzle Flow and Spray Characteristics of Piezo Injector for Next Generation High Response Injection", Transactions Of the KSME(B), Vol. 30, No. 6, pp. 553-559, 2006
7. Narendran, N., and Gu, Y., "Life of LED-based White Light Sources," Journal of Display Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 167-171, 2005.
8. Sathe, S., Sannakia, B., "A Review of resent Developments in Some Practical Aspects of Air-Cooled Electronic package", Journal of heat transfer, Vol. 120, No. 4, pp.830-839, 1998.
9. A.K. da Silva, S. Lorente, A. Bejan, "Optimal

- Distribution of Discrete Heat Sources on a Plate with Laminar Forced Convection”, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 47, pp.2139-2148, 2004.
10. IYoung Shin “Development of high efficiency LED luminaire and process with improved heat dissipation and light distribution technology” YuilCNT. 2013.
11. B.C Kwon “Ultra-compact and light-weighted through analysis of thermal analysis simulation” Hanbat.Uni.v. Report., 2016.
-
- 접수일: 2016년 12월 13일, 심사일: 2016년 12월 23일,
게재확정일: 2016년 12월 27일