

일체형 스마트 LED Driver ICs 패키지의 열 특성 분석

강이구^a

극동대학교 태양광공학과

Study on Thermal Characteristics of Smart LED Driver ICs Package

Ey Goo Kang^a

Department of Photovoltaic Engineering, Far East University, Eumseong 27601, Korea

(Received January 20, 2016; Accepted January 23, 2016)

Abstract: This research was analyzed thermal characteristics that was appointed disadvantage when smart LED driver ICs was packaged and we applied extracted thermal characteristics for optimal layout design. We confirmed reliability of smart LED driver ICs package without additional heat sink. If the package is not heat sink, we are possible to minimize package. For extracting thermal loss due to overshoot current, we increased driver current by two and three times. As a result of experiment, we obtained 22 mW and 49.5 mW thermal loss. And we obtained optimal data of 350 mA driver current. It is important to distance between power MOSFET and driver ICs. If the distance was increased, the temperature of package was decreased. And so we obtained optimal data of 3.7 mm distance between power MOSFET and driver ICs. Finally, we fabricated real package and we analyzed the electrical characteristics. We obtained constant 35 V output voltage and 80% efficiency.

Keywords: Smart LED package, Thermal characteristics, Distance of devices, Power devices, Heat sink

1. 서 론

2000년대부터 발전된 LED 산업의 급속한 발전으로 LED를 광원으로 이용한 응용제품들이 일반조명 분야 뿐 아니라 자동차, 해양 조신, 디스플레이, 농업, 의료 장비 등 다양한 분야에 전 세계적으로 개발되고 있다 [1-3]. 그림 1에 나타낸 것과 같이 전형적인 SMPS (switch mode power supply)를 사용하는 PSU (power supply unit)의 경우에 비하여 전용의 제어 IC를 채택한 PSU의 경우가 더욱 경제적일 것으로 추산되기 때문에 On semiconductor, Fairchild, Texas

Instrument, iWATT 등 세계 굴지의 반도체 회사에서는 각종의 LED PSU (power supply unit)용 제어 IC를 개발, 시판하고 있고 점진적으로 그 시장을 넓혀가고 있는 상황이며 조명 LED 시장 확대를 위한 PSU 가격하락이 필수적인 요소이며 이에 따른 PSU 소형화 및 부품 단순화가 요구되고 있다 [4-5].

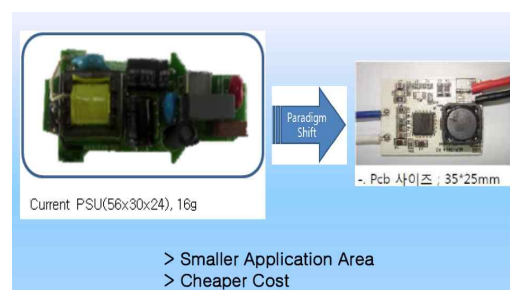


Fig. 1. Minimizing of power supply unit.

a. Corresponding author; keg@kdu.ac.kr

Copyright ©2016 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.

본 논문에서는 본 과제에서 응용회로를 간단하게 할 수 있는 비절연형 Buck 컨버터 토폴로지를 사용하고, PFC (power factor correction) 기능과 LED의 정전류 제어 기능을 함께 구현할 수 있는 LED 조명용 single stage PSU의 제어 IC와 power switch (power MOSFET)를 원칩(one chip)화하는 smart LED driver package를 구현하였으며, LED 패키지에서 단점으로 지적되고 있는 열특성에 대해서 분석하여, 그 특성을 서술하였다.

2. 실험 방법

2.1 일체형 스마트 LED 드라이버 패키지의 열 특성

단일 칩 패키징을 이용하여 전력 MOSFET을 제작하게 되면 그에 따른 Driver IC와의 연동을 위한 선간 연결이 필수적이다. 이는 단일 소자와 드라이버 ICs의 모듈의 크기를 증가시키며 또한 단가를 증가시키는 결과를 나타내게 되므로 드라이버 ICs와 전력 MOSFET의 일체형 패키징이 필요하다.

LED 구동은 단순 스위칭을 이용한 온오프만을 진행하기 때문에 간단하게 일체형 패키징 소자 하나만으로 구동 모듈을 구성할 수 있지만, 전력 MOSFET에서 발생하는 열적 특성 때문에 IC가 영향을 받을 수 있기 때문에 패키징 모양 및 구동 전류, 그리고 거리에 따른 열적 특성 분석을 이용한 신뢰도 평가가 동반되어야 한다. 이러한 특성을 고려하여 열특성 전용 시뮬레이터인 ANSYS ICEPAK을 이용하여 검증하는 시뮬레이션을 진행하여 패키지의 열특성을 분석하였다.

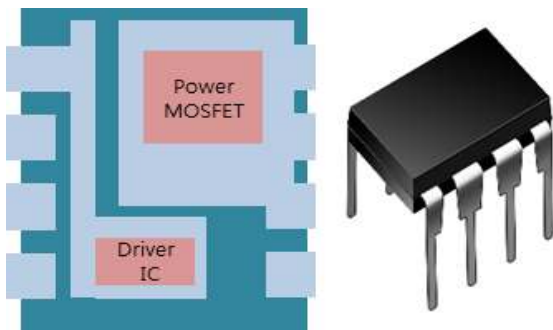


Fig. 2. Cross section and structure of smart LED driver package.

2.2 전력 MOSFET(700 V급)을 활용한 열적 특성 분석

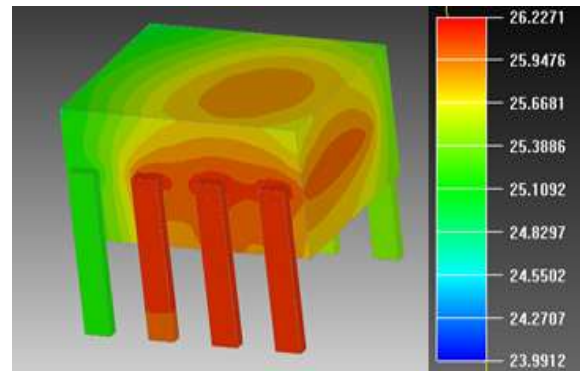


Fig. 3. Thermal characteristics of smart LED driver ICs package.

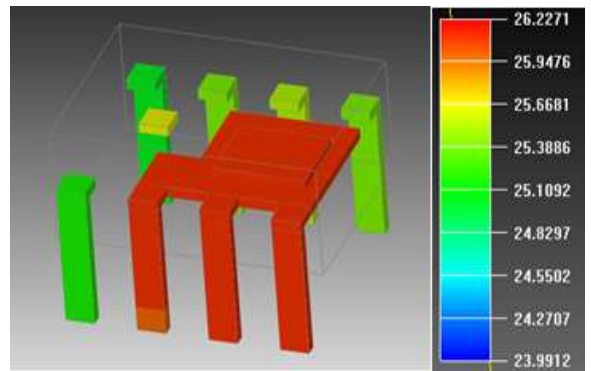


Fig. 4. Thermal characteristics of metal and silicon.

시뮬레이션에 계산된 값을 이용하여 시뮬레이션을 진행한 결과 실제 상온에서 최대 2도 밖에 증가하지 않는 것을 그림 3의 열 특성 데이터에서도 확인할 수 있다. 이 형태는 결부분이 에폭시로 덮여 있는 상태이기 때문에 내부 소자들의 온도는 보이지 않기 때문에 그림 4에서 그 내부 온도 분포를 확인할 수 있다. 확인한 결과, 드라이버 IC온도는 25.71°C의 값을 가지며 전력 MOSFET의 온도는 26.22°C를 가지는 것을 볼 수 있다. 이와같은 결과를 토대로 해서 드라이버 ICs 뿐만 아니라 전력 MOSFET의 온도도 낮기 때문에 히트싱크(heat sink)의 추가 없이도 열적 특성이 문제가 되지 않는다는 것을 검증하였다. 이로써 기본 구동 전류에서는 최소한의 부피를 가지고도 모듈을 구성할 수 있다는 신뢰성을 확인하였음.

2.3 오버슈트 전류에 따른 열적 신뢰성 특성 분석

전력 MOSFET을 이용하여 스위칭을 진행하였을 때

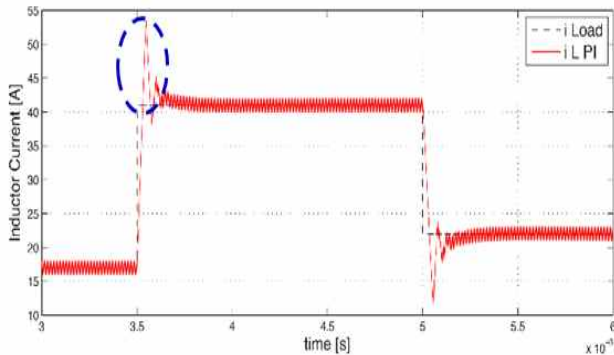


Fig. 5. Overshoot current when switching is occurred.

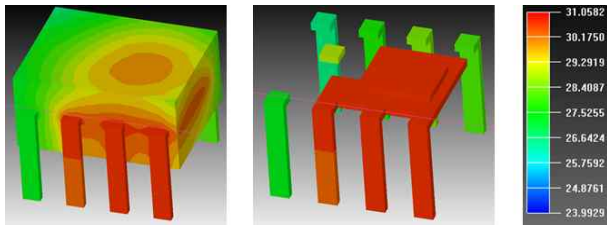


Fig. 6. Thermal characteristics of the package when the driver current is two times.

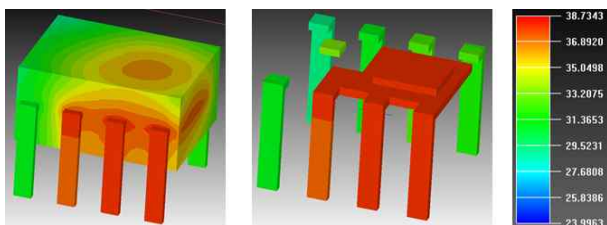


Fig. 7. Thermal characteristics of the package when the driver current is three times.

순간적인 변화에 의한 전류의 튜 현상이 발생하였을 때 이러한 전류를 오버슈트 전류라고 정의하는데, 이 값이 소자의 열적 특성 하에서 이루어져야하기 때문에 LED 구동 시 버틸 수 있는 전류를 확인해야 한다. 우선 기존 구동 전류의 2배, 3배까지의 전류 특성부터 확인을 진행하였으며, 분석을 한 결과 전류가 증가하게 되면서 그에 따른 온상태 전압 강하도 같이 증가하게 된다. 그러므로 두 가지 값의 증가에 의한 손실전력은 22 mW, 49.5 mW가 된다.

그림 6와 7의 열 특성 시뮬레이션 결과에서도 알 수 있듯이, 100 mA 구동전류에도 전력 MOSFET은 31.05°C,

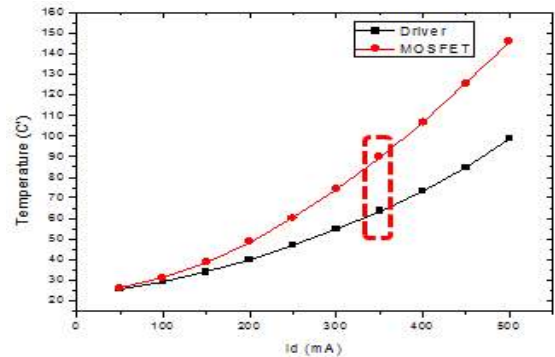


Fig. 8. Temperature characteristics of power MOSFET and driver ICs according to driving current.

드라이버 ICs는 28.95°C의 온도를 가진다. 이는 실온보다 7°C만큼 밖에 증가하지 않으며 150 mA에서도 33.84°C, 38.72°C의 값을 가지면서 열적으로는 오버슈트 전류가 문제가 되지 않는다는 것을 확인하였으며, 이는 최대 사용할 수 있는 전류 마진이 남아 있다는 것을 의미하고 있다. 그러므로 추가적인 시뮬레이션을 진행하여 열적 특성에 의한 최대 사용가능 전류값을 얻기 위한 실험을 진행하였다. 온도에 의한 안전 동작 영역을 구현하기 위한 최대 구동 전류를 확인하기 위하여 구동 전류의 증가에 따른 각각의 온도 특성을 확인하였다.

그림 8에서 나타난 바와 같이, 구동 전류가 증가함에 따라 IC와 전력 MOSFET간의 온도차가 점점 증가하는 특성을 확인할 수 있다. 이는 에폭시의 높지 않은 열전도율 때문으로 드라이버 ICs와의 거리가 일정 하더라도 그 온도 차이는 더 심화되는 것을 볼 수 있다. 연구에 이용된 소자가 최대 사용할 수 있는 구동 전류값은 전력 MOSFET이 정상적으로 구동될 수 있는 100°C 이하에서 형성되므로 350 mA로 최적화할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 열 특성 시뮬레이션은 히트싱크(heat sink)를 추가하지 않고 상온에서의 온도를 측정된 것이다. 이것은 LED 구동 모듈은 크기가 작을수록 좋기 때문에 히트싱크가 없이 제작되는 원칩 모듈의 가치가 증가하기 때문이다. 따라서 히트싱크 없이 원칩 패키징된 구동소자의 최대 구동 전류는 350 mA에서 정상 가동될 수 있을 것으로 판단된다.

2.4 전력 MOSFET과 드라이버 ICs의 거리차에 의한 열 특성 분석

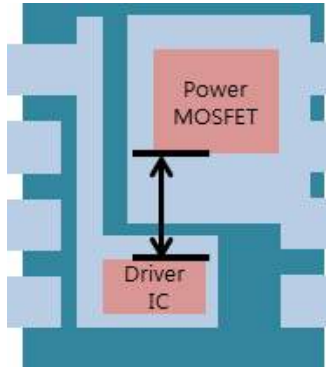


Fig. 9. The package structure for thermal characteristics according to distances between power MOSFET and driver ICs.

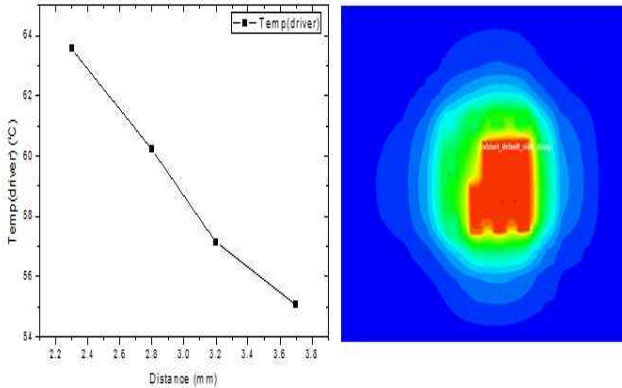


Fig. 10. Results of thermal characteristics according to distance between power MOSFET and driver ICs.

최대 전류 값으로 구동되는 상태의 열적 특성에서 전력 MOSFET과 Driver ICs의 거리에 따라 변하는 온도 특성을 도출하기 위하여 MOSFET과 드라이버 ICs 간의 거리에 따른 열 특성 시뮬레이션을 수행하였으며, 그에 따른 최적화 지점을 제시하였다.

즉, 앞에서 서술한 바와 같이 최적화된 350 mA 동작 전류에서 소자와 ICs의 거리를 점차 늘리면서 ICs의 온도 변화특성을 분석하였다. 특성 분석을 도출한 결과, 거리가 증가할수록 3°C 정도의 큰 값으로 온도가 감소하는 결과를 얻었으며, 이는 예폭시의 열전도도가 낮기 때문이며 패키징 시 가능한 멀게 배치해야 하는 특성을 확인할 수 있었다. 그렇기 때문에 현재 DIP-8 패키징 기준으로 최대 3.7 mm, 온도는 55.0 6°C의 결과를 얻게 되면서 기존의 60°C 정도의 값보다 떨어지는 특성을 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

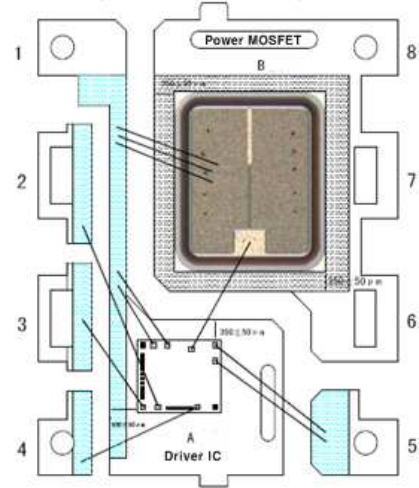


Fig. 11. The structure of package layout.

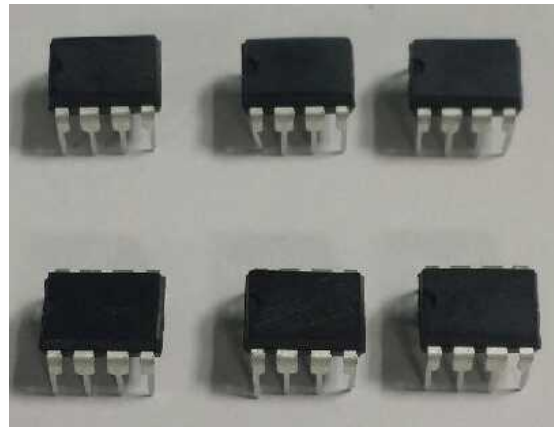


Fig. 12. The fabricated smart LED driver ICs.

이전에 서술한 바와 같이 전력 MOSFET과 드라이버 ICs의 일체형 패키지에 있어서 가장 중요한 특성인 열적 특성을 분석하여 최종적으로 실제 패키지에 적용하여 제작하여 전기적 특성을 분석한 결과 정상적으로 동작하는 것을 알 수 있었다. 그림 11은 시제품의 레이아웃을 보여주고 있으며 그림 12는 실제 제작된 패키지 상태의 스마트 드라이버 ICs의 실물을 보여주고 있다.

그림 13은 제작된 시제품의 전기적 특성값을 도출하기 위한 평가회로를 보여주고 있다. 특성평가를 위한 회로에 교류전원을 110 V ~ 265 V까지 변화를 주면서

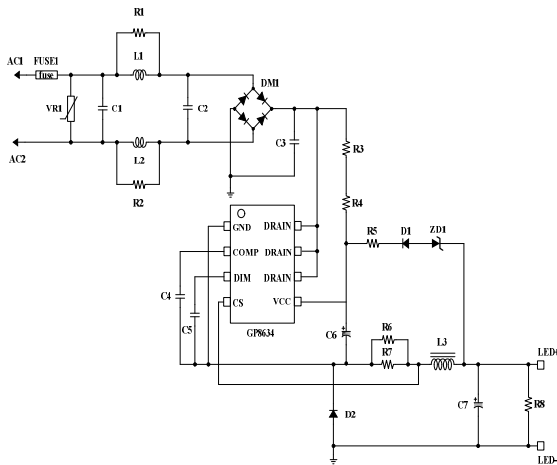


Fig. 13. The evaluate circuit for electrical characteristics of smart LED driver ICs.

Table 1. The electrical characteristics of smart LED driver ICs.

V _{in} (AC V)	150	180	220	265
P _{in} (W)	14.68	14.82	15.12	15.48
P.F	0.986	0.982	0.972	0.962
THD (%)	16.2	17.2	18.8	19.9
V _{Out} (V)	32	32	32	32
I _{Out} (mA)	392	392.3	392.6	392.6
P _{Out} (W)	12.54	12.55	12.56	12.56
Efficiency (%)	85.6	84.7	83.1	81.1

평가를 진행했을 때, 출력전압인 V_{Out}이 32 V로 전압변화에도 일정한 출력을 보이며, I_{Out}, P_{Out}도 오차범위인 ±1의 범위에서 일정하게 출력되어 효율 80% 이상을 달성하고 있음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 일체형 LED 구동 ICs를 패키징을 하였을 때 문제점으로 지적되어온 열 특성을 사전에 분석하고, 레이아웃시 최적의 설계를 위하여 열 특성 분석 결과를 적용하였음과 동시에 실제로 제작을 하여 전기적 특성을 분석하였다. 열적 특성 분석에 있어서는 패키징을 하였을 때 실제 상온에서 2°C이상 증가하지 않는 것을 확인하여, 히트 싱크의 추가 없이도 신뢰성을 확인할 수 있었다. 그리고 오버슈트 전류에 의한 열적 손실을 도출하기 위해 구동전류를 2배, 3배 증가

시킨 결과 각각 22 mW, 49.5 mW의 열적 손실로 비교적 안정된 값을 가지고 있으며, 온도상승의 최적값을 구한 결과 구동전류는 350 mA의 값을 얻을 수 있었다. 또한 전력 MOSFET과 구동 ICs간의 거리도 온도상승에 영향을 끼치는 중요한 요소이기 때문에 실험한 결과 거리가 증가함에 따라 온도가 감소하는 경향을 보여주고 있으며, 최대 3.7 mm의 거리가 최적의 값으로 도출되었다. 최종적으로 열적 특성 결과를 반영하여 패키징을 제작하였을 때 출력전압인 V_{Out}이 32 V로 전압변화에도 일정한 출력을 보이며, I_{Out}, P_{Out}도 오차범위인 ±1의 범위에서 일정하게 출력되어 효율 80% 이상을 달성하고 있음을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] S. M. Sze, G. Gibbons, *Solid-State Electronics*, **9**, 831 (1966). [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0038-1101\(66\)90033-5](http://dx.doi.org/10.1016/0038-1101(66)90033-5)]
- [2] G. P. Sim, B. S. Ann, Y. H. Kang, Y. S. Hong, and E. G. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **26**, 190 (2013). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2013.26.3.190>]
- [3] D. G. Bae, S. K. Chung, *Solid-State Electronics*, **42**, 354 (1998). [DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-1101\(97\)00201-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-1101(97)00201-3)]
- [4] Y. S. Hang, E. S. Jung, and E. Y. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 276 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.4.276>]
- [5] J. H. Lee, E. S. Jung, E. Y. Kang, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **25**, 270 (2012). [DOI: <http://dx.doi.org/10.4313/JKEM.2012.25.4.270>]