

10W LED 조명등 방열 설계 최적화에 관한 연구

황순호¹, 박상준¹, 이영림^{1*}
¹공주대학교 기계자동차공학부

A Study of Optimal Thermal Design for a 10W LED lamp

Soon Ho Hwang¹, Sang Jun Park¹ and Young Lim Lee^{1*}

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요약 신성장 동력 산업으로 분류된 LED 조명등은 점차 수요가 확대되고 있으나 본격적인 대중화를 이루기 위해서는 여전히 LED 방열 설계 최적화를 통한 긴 수명과 고효율 확보가 매우 중요하다고 하겠다. 본 연구에서는 기존 10W LED 조명등에 비하여 방열 성능이 더욱 개선된 LED 조명등을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 기존 램프의 방열 성능 실험을 통하여 수치해석 모델을 완성하였고 이러한 수치 모델을 이용하여 방열핀 형상, PCB 종류 및 LED 개수 등과 같은 방열 설계 인자들을 최적화하였다. 또한, 시제품을 제작한 후 방열 성능을 실험으로 검증함으로써 방열 성능이 획기적으로 개선된 10W LED 조명등을 성공적으로 개발하였다.

Abstract Market for LED lights as a newly-growing industry has been growing, and secureness of high efficiency and long life through optimal thermal design are crucial for further popularization. In this study, considerable improvement in thermal performance for a 10W LED light has been done compared to a previous model. For this, numerical model has been established through experiments and used to optimize design factors in heat release such as fin shape, PCB kind or LED number etc. Furthermore, prototype of a LED light has been made and the improved thermal performance was verified with heat release experiments.

Key Words : LED, Lamp, Thermal design, MCPCB, CFD

1. 서론

고효율 조명기기인 LED 조명 제품은 전력소비가 적을 뿐만 아니라 긴 수명으로 인해 환경 및 에너지에 대한 범국가적 문제 해결에 중요한 요소로 작용한다. 또한 진동 및 충격에 상당히 우수하며, 색상효율이 높을 뿐만 아니라 자외선 및 적외선 방출이 없다. 하지만 공급전력의 80~85%가 열로 변환되며, 발생된 열은 직접적으로 칩(chip)에 악영향을 끼쳐 광출력 효율 저감, 색온도 변이 및 전구 수명을 단축시킨다[1].

백열등 대체용으로 제작되는 3~10W급 LED 조명 기기 개발시 열저항과 복사를 통해 상승한 고온의 칩을 적정범위내로 낮추는 것이 중요하다. 온도와 밀접한 관계를 가지고 있는 LED 조명 제품의 효율을 증가시키기 위하여 방열면적 증가나 팬, 히트 파이프(heat pipe) 및 액체

냉각 기술 등을 사용하여 온도를 감소시키고 있다. 하지만 방열면적 증가나, 강제 냉각 기술을 적용시킬 경우 제품 단가가 상승하는 원인이 된다. 특히 팬을 이용해 표면 열전달계수를 증가시키는 경우 칩의 온도가 획기적으로 감소하는 것과는 달리 짧은 팬 수명으로 인해 LED의 수명도 감소하는 요인으로 작용한다. 그러므로 LED 조명 기기의 특성에 맞는 적합한 온도감소 방식의 선택이 중요하다.

Kim 등[2]은 다수의 저출력 칩을 이용하여 히트 파이프 유무에 따른 정선온도를 비교하였으며, Liu 등[3]은 마이크로 제트(micro jet)를 이용하여 강제 냉각 기술을 연구하였는데 개발된 마이크로 제트의 최적화를 통하여 LED 기판온도를 추가적으로 23℃감소시킬 수 있음을 보였다.

Chen 등[4]은 LED 칩과 MCPCB(metal core printed

*교신저자 : 이영림(ylee@kongju.ac.kr)

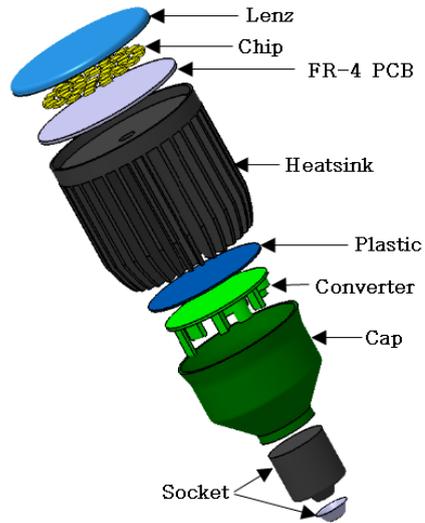
접수일 10년 05월 10일

수정일 10년 06월 15일

게재확정일 10년 07월 06일

circuit board)의 결합시 발생하는 접촉 저항이 방열 성능에 미치는 영향을 수치해석과 실험을 통해 비교해 보았다. 또한 Christensen과 Graham[5]은 다수의 고풍력 LED를 10cm × 10cm 히트싱크에 장착하고, LED간의 간격과 대류열전달계수를 변화시키면서 1차원 열저항 모델과 3차원 유한요소법을 사용하여 LED 방열 성능을 살펴보았다. Lee 등[6]은 히트싱크의 형상 최적화를 통한 3W 단일 LED 패키지가 장착된 MR16 조명등을 성공적으로 개발하였다.

본 연구에서는 기존 10W급 전구 타입 LED 램프의 방열 성능을 더욱 개선시키기 위하여 실험과의 검증을 통해 수치해석 모델을 완성하고 이러한 모델을 사용하여 각종 방열 설계 인자를 변화시켜 보았다. 또한, 도출된 방열 성능 개선안을 적용한 시제품을 제작하고 실험을 통하여 성공적으로 방열 성능이 향상되었음을 보였다.



[그림 1] 10W급 LED 램프 구성도

2. 수치해석 및 실험 방법

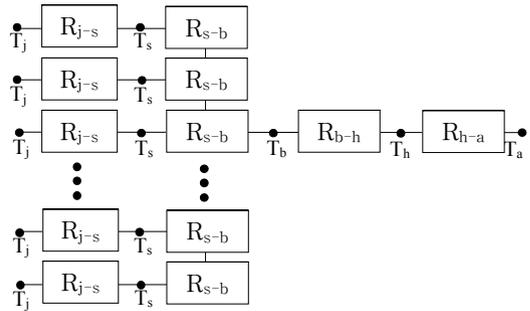
2.1 수치해석

그림 1에 전형적인 10 W LED 조명 기기의 구성도를 나타내었다. 수치해석에서는 LED 패키지 내부는 고려하지 않고 lumped 물체로 가정하므로 LED 칩 온도인 정선 온도를 예측하기 위하여 LED 패키지의 열저항을 접촉저항으로 간주하여 구현하였다. 또한, 입력 전력은 컨버터 저항 85%, 역률 95%, 열변환 80%로 가정하였는데 사용된 칩의 열저항은 SMD 타입으로 각각 160 °C/W를 가정하였다.

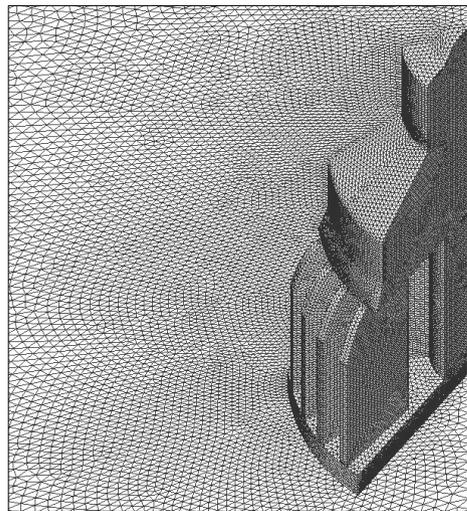
그림 2에 정선온도부터 대기온도까지 1차원 열저항 모델의 구성도를 나타내었으며, T는 온도, R은 열저항, j는 junction, s는 soldering point, b는 PCB, h는 heatsink, a는 ambient를 의미한다. 여기서, 각각의 LED 정선온도를 구하기 위해 R_{j-s}와 R_{s-b}는 접촉저항의 형태로 3차원 코드에서 모델링되었다.

3차원 CFD 해석을 위해 3차원, 정상상태, 압축성 유체로 가정하였고 Rayleigh number가 약 10⁷ 정도이므로 층류유동으로 가정하였다. 또한, 복사(radiation)를 고려하기 위해 DO(discrete ordinate)모델을 이용하였다.

효율적인 격자 사용을 위해 1/8 모델을 이용하였고 격자에 무관한 해(grid independent solution)를 얻기 위해 약 70만개 정도의 사면체(tetrahedral) 격자를 사용하였다. 그림 3은 10W LED 조명기기 해석에 사용한 격자 시스템을 보여준다.



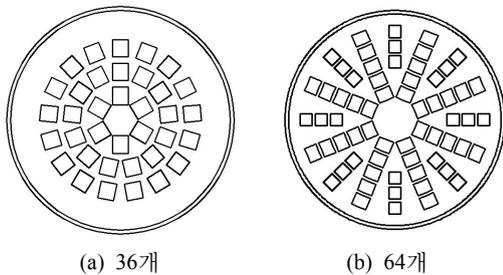
[그림 2] 1차원 열저항 모델



[그림 3] 기존 조명등 격자 시스템

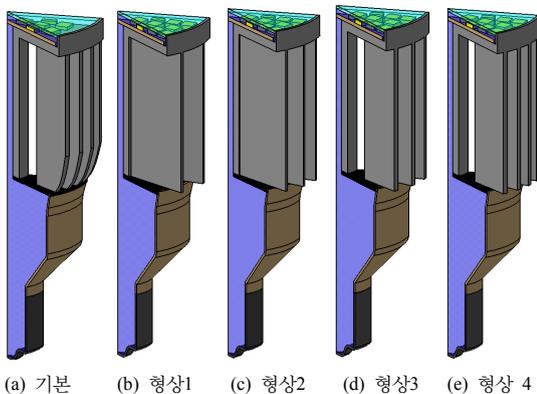
[표 1] 방열 설계 최적화를 위한 수치 모델

Model no.	핀 형상	핀 개수	핀 높이 (mm)	LED 개수	PCB
1	기본	32	15	36	FR4
2	기본	32	15	64	FR4
3	기본	32	15	64	MC
4	형상1	16	28	64	MC
5	형상2	24	28	64	MC
6	형상3	24	18	64	MC
7	형상4	32	18	64	MC

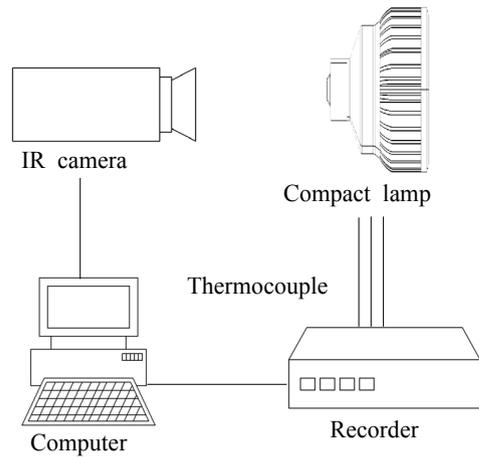


(a) 36개 (b) 64개
[그림 4] LED 개수 변경에 따른 배치

수치해석 모델은 기존 LED 조명등에 대한 실험과의 비교를 통하여 검증하였고, 칩의 개수, PCB 종류 변경에 따른 정선온도를 예측하였다. 또한, 조명등의 형상 변경을 통한 정선온도를 변화를 고찰하였다. LED 패키지의 개수는 그림 4와 같이 36개 및 64개를 고려하였고 핀의 형상은 그림 5에서와 같이 핀의 높이와 개수를 변경시킨 4가지 경우를 고려하였다. 이 때, 핀의 높이는 PCB의 지름을 넘지 않도록 하면서 중심 쪽의 길이를 변경시켜 조절하였다. 표 1에 수치해석 모델에 대한 상세한 정보를 정리하였다. 3차원 형상 설계에는 Catia[7], 격자 생성에는 Gambit[8], 3차원 CFD해석에는 상용프로그램인 Ansys CFX[9]를 사용하였다.



(a) 기본 (b) 형상1 (c) 형상2 (d) 형상3 (e) 형상 4
[그림 5] LED 조명등 핀 형상



[그림 6] 10W 조명등기 실험 개략도

2.2 실험방법

LED 조명등을 점등한 후 두 시간 정도 경과되면 충분히 열평형에 도달하는데 이 때 온도는 K타입 열전대와 열화상 카메라를 이용하여 측정하였다. LED 조명등의 광택으로 인한 빛 반사는 열화상 카메라의 정확도를 저감시키므로 흑연(graphite)을 표면에 도포하여 온도 측정의 정확성을 기하였다. 또한 접촉식 열전대를 이용하여 온도를 측정할 경우 열전도성 접촉재등을 이용하여 램프에 확실히 부착시켜야 온도 측정의 불확실성을 최소화할 수 있다. 그림 6은 방열 성능 실험의 개략도를 보여주고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기존 제품의 방열성능 실험 및 수치해석

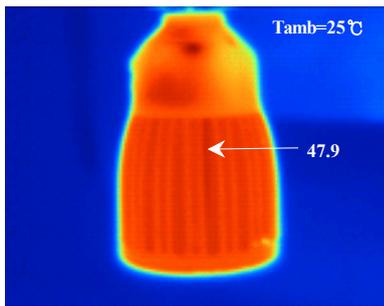
그림 7에 열화상 카메라로 측정된 기존 조명등 제품의 온도 분포를 나타내었다. 이 때 대기 온도는 25℃이다.

히트싱크의 역할을 하는 알루미늄 조명등 커버의 온도는 평균 47.9℃이며 LED 패키지의 상부표면 온도는 최고 60℃를 나타내었다. 실험에서 정선온도는 측정이 불가능하기 때문에 그림 2와 같은 1차원 열저항 모델을 이용하여 예측한 정선온도는 88.4℃이다.

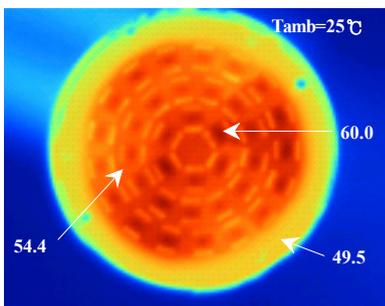
그림 8에 수치해석 온도와 적외선 카메라로 측정된 온도를 비교하였다. 여기서 T_h 는 히트싱크 온도, T_b 는 PCB 온도, T_j 는 정선온도를 나타낸다. 수치해석을 통해 예측된 정선온도는 대기온도 25℃ 대비 86.1℃이며 실험과 수치해석에서의 정선온도 차이는 약 3~6% 정도 발생하는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서 사용한 수치해석

모델의 정확성이 검증되었고 이 수치해석 모델을 이용하여 추가 방열 최적화를 수행하였다.

한편 적외선 카메라와 접촉식 열전대로 측정된 온도편차는 약 2 °C 정도로 이것은 적외선 카메라 측정시 발생하는 ±2%의 오차를 고려할 때 적외선 카메라 온도 측정은 신뢰할 만한 수준이라는 것을 보여준다.



(a) heatsink



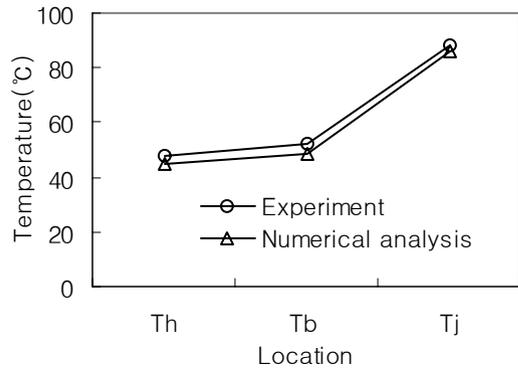
(b) chip and pcb

[그림 7] LED 조명등 온도 분포

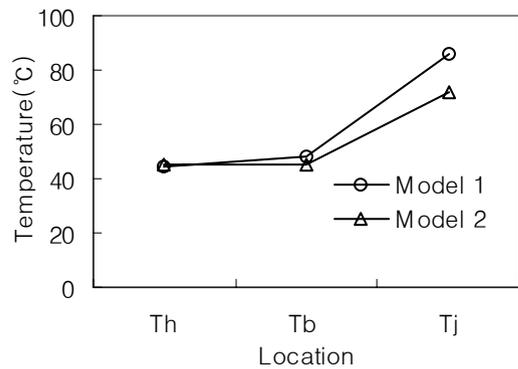
3.2 LED 개수에 따른 방열성능 수치해석

일반적으로 SMD 타입의 경우 칩의 최대 동작 온도가 110°C 이며, 이것은 대기온도 40°C 대비 정선온도가 70°C 이내이어야만 한다는 것을 알려준다. 본 연구에서는 상대적으로 고출력인 LED 36개를 저출력 64개로 변화시켰을 때 방열 성능 변화를 알아보았다. 수치해석시 대기온도는 25°C를 고려하였고 출력과 핀형상은 동일하다고 가정하였다.

그림 9에 수치해석을 통해 예측된 각 부분의 온도를 나타내었다. 칩 개수를 64개로 증가시킨 model 2가 기본 모델인 model 1에 비하여 정선온도가 약 14°C 정도 하강하여 정선온도를 약 16% 정도 저감시키는 효과가 있다. 이는 열밀도가 높은 고출력의 LED보다는 저출력의 칩이 열을 분산시키는 효과가 있어 방열성능을 확보하는데 유리하다고 말할 수 있다.



[그림 8] 기존 LED 조명제품의 방열 성능

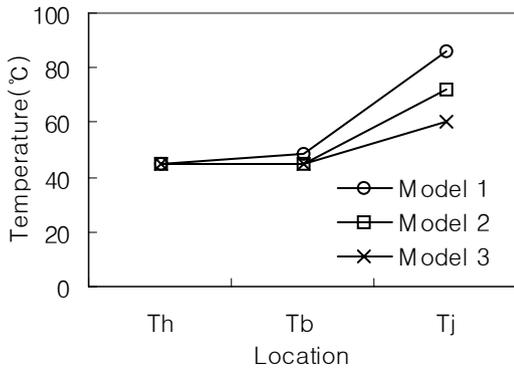


[그림 9] LED 개수 증가에 따른 수치해석 온도 비교

3.3 PCB 종류에 따른 방열성능 수치해석

64개의 LED를 장착한 조명등의 정선온도를 더욱 저감시키기 위하여 FR-4재질의 PCB를 MCPCB로 대체하고 이에 따른 방열 성능 변화를 살펴보았다. 수치해석시 대기온도는 25°C를 고려하였고 출력과 핀형상은 동일하다고 가정하였다.

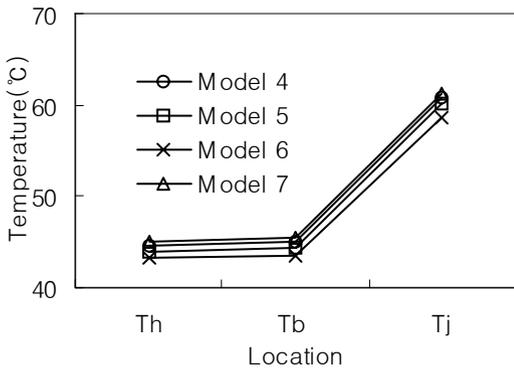
그림 10에 수치해석을 통해 예측된 각 부분의 온도를 나타내었다. LED 64개와 MCPCB로 이루어진 model 3은 기본모델인 model 1에 비하여 정선온도가 약 26°C 정도 하강하였고 model 2에 비해서는 약 12°C 감소하였다. 따라서, LED 개수 및 PCB 변경을 통하여 정선온도를 전체적으로 약 30% 정도 저감시켰다. 이는 열밀도가 높은 LED 조명등의 방열성능 향상을 위하여 MCPCB를 사용하는 것 역시 매우 효율적이라는 것을 알려준다.



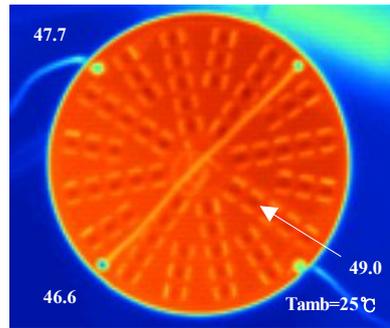
[그림 10] PCB 변형에 따른 수치해석 온도 비교



[그림 12] 10W LED 조명등을 위한 64개 LED MCPCB 시제품



[그림 11] 핀 형상 변경에 따른 수치해석 온도 비교



[그림 13] 시제품 온도 분포

3.4 핀 형상 변경에 따른 방열성능 수치해석

핀 형상을 변경을 통한 정선온도 저감 정도를 살펴 보기 위하여 model 3을 기준으로하여 핀형상을 model 4에서 model 7과 같이 변경하였다. 단 전체 LED 조명등의 외곽 크기는 고정하였고 주로 핀형상 및 핀 높이를 변경하였다. 그림 11에 방열 해석 결과를 나타내었는데 핀형상 변경에 따른 정선온도 변화는 크지 않았고 정선온도 기준 최대 2.5°C 저감이 가능함을 보였다.

3.5 시제품 방열 성능 실험

그림 12에 64개의 LED 및 MCPCB를 이용하여 제작한 10W LED 조명등 기판을 보여주고 있다. 이를 기존의 36개 LED 및 FR4 PCB에 사용되었던 히트싱크에 장착하여 방열 실험을 수행하였다. 그림 13에 방열성능 실험 결과를 나타내었는데 다수의 저출력 LED 사용 및 MCPCB의 사용으로 정선온도를 기존 LED 조명등 대비 약 29% 감소시킬 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 LED 조명등에 대한 수치해석을 수행하여 실험과 비교하였고 칩 개수, PCB 물질 및 히트싱크 형상을 변경 등을 통해 고효율 LED 조명등을 개발하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

LED 조명등의 방열 설계를 위한 수치해석 모델을 실험과의 검증을 통해 성공적으로 개발하였다. 또한, LED 조명등을 개발할 때 열밀도를 분산시키기 위하여 저출력 LED 칩의 개수를 증가시키거나 열전도율이 높은 PCB를 사용하는 방법은 정선온도를 감소시키는데 매우 효율적임이 판명되었다. 본 연구에서 고려한 LED 조명등의 경우 PCB의 재질을 FR-4에서 MCPCB로 변경하였고 LED도 36개에서 저출력 64개로 변경하였는데 이 경우 약 29%의 정선온도를 감소시킬 수 있었다. 하지만, LED 조명등의 핀 형상 최적화를 통한 정선온도 감소 효과는 조명등의 전체 외곽 크기를 변경하지 않는 한 효율적이지 않았고, 본 연구에서는 최대 2.5°C의 온도저감이 가능함을 보였다.

참고문헌

- [1] N. Narendran and Y. Gu, "Life of LED-based White Light Sources, Journal of Display Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 167-70, 2005.
- [2] Lan Kim, Jong Hwa Choi and Moo Whan Shin, "Thermal analysis of LED array system with heat pipe," Thermochemica Acta, Vol 455, Issues 1-2 ,pp. 21-25, 1 April 2007
- [3] S. Liu, J. Yang, Z Gan and X. Luo, "Structural Optimization of a Microjet Based Cooling System for High Power LEDs," International Journal of Thermal Sciences, Vol. 47, pp. 1086-095, 2008.
- [4] Huanting Chen, Yijun Lu, Yulin Gao, Haibing Zhang, Zhong Chen, "The performance of compact thermal models for LED package", Thermochemica Acta, Volume 488, Issues 1-2, pp. 33-38, 5 May 2009,
- [5] A. Christensen and S. Graham, "Thermal Effects in Packaging High Power Light Emitting Diode Arrays," Applied Thermal Engineering, Vol. 29, pp. 364-371, 2009.
- [6] Young Lim Lee and Soon Ho Hwang, "Study on Thermal Design of a 3W MR16 Light with Single High-Power LED", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 4, pp.1203-1209, April 2010
- [7] Catia, V5R17, Dassault Systems, 2006.
- [8] Gambit, Fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.
- [9] Ansys version 11. Ansys Inc.

박 상 준(Sang Jun Park)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>
열유체공학, 에너지공학

이 영 림(Young Lim Lee)

[정회원]



- 1995년 5월 : U of Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2000년 2월 : 삼성자동차삼성전자 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>
열유체공학, 에너지공학, 자동차공학

황 순 호(Soon Ho Hwang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>
열유체공학, 에너지공학