

LED감성조명 장치 개발을 통한 뇌파분석

최금연^{1*}, 어익수¹
¹호남대학교 전기공학과

LED Sensitive Light System Development by Brain-wave

Keum-yeon Choi^{1*} and Ik-soo Eo¹
¹Dept. of Electrical Engineering, Honam University

요약 본 논문은 LED감성조명장치를 개발하여 뇌파 파장과 조명의 색온도 변화에 따른 상관관계를 뇌파실험을 통해 측정하였다. 이를 위해 장치개발을 통한 열 해석과 뇌파실험의 두 부분으로 실험을 하였다. LED감성조명장치의 모듈은 메탈 PCB에 Chip LED를 배치하여 COMSOL Multiphysics로 열 해석 결과 LED와 PCB의 경계면 온도는 약 80℃이며, PCB의 바닥면까지는 약 50℃까지 변화함을 검증 하였으며, 결과적으로 실 제작의 근사치에 가까운 방열설계가 가능함이 확인 및 적합한 조명기구로 판정되었으며, 뇌파측정을 위해 색온도를 2,300°K, 4,000°K, 6,000°K 세 가지 조건으로 피 실험자의 기본상태(휴식, 주의력, 집중력)를 측정 하였으며 그 결과 색온도가 낮을수록 편안함과 안락함을 느낀다는 것을 검증 할 수 있었다. 4,000°K의 조건으로 실험을 했을 때 주의력의 지수가 약간 높아짐을 볼 수 있는데 이는 4,000°K가 우뇌의 기능을 활성화 시킬 수 있는 추론이 가능하며 6,000°K이상에서는 일반 형광등 아래의 색온도와 유사함으로 상태가 변화되지 않았음을 알 수 있었다.

Abstract The purpose of this experiment is to analyze the basic status of brain. Which are consist of rest, attention and concentration, of the brain by measuring the temperature of color by changing RGB color after manufacturing LED-illumination stand. Basic status (rest, attention and concentration) of experimenter were measured temperature of colors having three difference temperature like as 2,300°K, 4,000°K and 6,000°K. The results was shown that experimenter feels more comfortable and relaxation by decreasing the temperature of color. For example we can see the little increase of concentration index at 4,000°K condition and we can estimate that right brain can be more activated at the 4,000°K condition. But we can not find out any different at the 6,000°K condition. Main cause of no difference from the color temperature was the similarity of color temperature under the general fluorescent lamp. And interface temperature of radiant heat design results LED and PCB was approximately 80 degrees to COMSOL Multiphysics, and changed until approximately 50 degrees until a floor plane of PCB, and verification as arranged chip LED to metal PCB, and it was possible, and a near radiant heat design was confirmed to an approximate value of, as a result, acid manufacture.

Key Words : LED, Brain-wave, Color temperature, COMSOL, Metal PCB.

1. 서론

최근의 조명환경은 종래의 명시성보다는 공간의 용도나 공간 내의 재실자 행위가 고려된 쾌적성을 중시하고 있다. 조명의 쾌적성 평가는 주로 주관평가가 중심이 된 심리적 측면이 우선되었으며, 인간의 심리적 측면을 객관적으로 평가하는 방법으로 생리지표에 의해 경시적인 변

화 또한 객관적으로 측정하려는 연구가 많이 진행되고 있다[1].

그러나 감성조명장치의 개발을 위해 무엇보다도 열문제가 야기된다. 열이 높아지면 모듈의 수명이 감소되며, LED소자에 손상 발생을 초래하므로 먼저 열 해석을 수행하기 위해 PCB기판의 열 설계를 진행한다. LED감성조명장치의 모듈소재로 메탈 베이스 기판은 기존의 수지

*교신저자 : 최금연(mysea518@nate.com)

접수일 09년 08월 26일

수정일 (1차 09년 12월 11일, 2차 09년 12월 28일)

게재확정일 10년 01월 20일

기판과 세라믹 기판의 특성에 더하여 높은 열전도성, 손쉬운 가공성, 자기차폐성, 내열충격성 등 금속의 특성을 살린 기판이라고 말할 수 있다. 또한 파워 LED용 기판에 필수 불가결한 특성은 방열성이 높아야 한다는 점이고, 메탈 베이스 기판의 구성 재료로서 메탈 베이스 판으로는 알루미늄과 동을, 그리고 절연 층에는 열전도성이 높은 무기 필터를 충전한 에폭시 계 수지로 사용되는 경우가 많아졌다. 특히 알루미늄 베이스 기판은 알루미늄의 특성으로 높은 열전도성과 경량성 등을 살린 고밀도 실장기판이며, 에어컨의 인버터용 기판, 통신용 전원용 기판과 산업용도면에서의 사용실적이 높다는 점에서도 파워 LED용 기판의 열 설계에 가장 적합하다고 본다[2]. 본 논문에서는 White LED를 사용하여 조명의 색온도 변화에 의한 LED감성조명장치를 개발하여 시각 인지를 통한 두뇌의 기본상태 분석을 한다. 두뇌의 기본상태분석은 모든 인간이 가지고 있는 기본적인 정신적 항상성을 뇌가 얼마나 잘 자기조절해서 만들어내는가를 분석하는 것이며, 인간은 각성상태에서 휴식, 주의력, 집중력이라는 세 가지 기본 정신 상태를 가지고 있으며, 건강한 사람은 이 세 가지 상태를 자유롭게 필요에 따라 잘 조절할 수 있다. 본 논문에서는 LED감성조명의 색온도 2,300°K, 4,000°K, 6,000°K가 인간의 실제 생활에서 느끼는 감성적, 학습적 측면에서 영향을 미친다[3]는 점을 고려하여 색온도 2,300°K, 4,000°K, 6,000°K 순차적 변화를 통해 피 실험자의 기본상태를 통한 감성적 측면을 분석하는 LED조명의 색온도 변화에 따른 뇌의 기본상태 분석을 한다.

2. 본론

2.1 LED감성조명장치의 방열설계 이론

시뮬레이션과정의 기본 열 해석 지배식인 열전도는 고체 매질을 통해 일어나는 열전달 형태로 물체 내에 온도 구배가 존재할 때 열은 고온에서 저온부로 전달된다. 미시적 관점에서 보면 물질 내 원자나 분자의 상호작용에 의해 열이 전달되며, 즉 원자 격자의 진동과 자유전자의 이동에 의해 인접한 분자에 에너지를 전달하는 열 유동률은 매질의 물성 값인 열전도계수 k에 좌우되며, 열전도 법칙인 Fourier's law을 적용하였으며, Fourier's law은 수식(1)이다.

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

A는 단면적, ΔT는 온도변화량, x는 길이, k는 열전도도이다.



[그림 1] 온도와 거리비례곡선

그림 1은 온도 변화에 따른 열 유동에 관한 그래프이며, 온도와 거리는 반비례함을 확인할 수 있다.

$$Q = -k \cdot A_C \cdot \frac{\Delta T}{L} \quad \Delta T = \frac{Q \cdot L}{k \cdot A_C} \quad (2)$$

Q= 열 유동비 (W)

k= 열전도도(W/m.K)

A_C= 방열판의 열 유동 면적(m²)

ΔT= 차동온도(°C)

L= 방열판의 길이(m)

$$\rho u \cdot \Delta u = \Delta \cdot [-pI + \eta(\Delta u + (\Delta u)^T) - (2\eta/3)(\Delta \cdot u)I] + \rho g \quad (3)$$

$$\Delta \cdot (\rho u) = 0 \quad (4)$$

$$\Delta \cdot (-k\Delta T + \rho C_p T u) = 0 \quad (5)$$

수식(2), (3), (4), (5)는 열 해석 시뮬레이션의 열용량에 대한 압력, 열전도, 속도벡터의 방정식을 차동속도와 대입하였으며, 시뮬레이션의 기본 열 해석 지배식으로 n: 점도(kg/(m · s)), u: 속도벡터(m/s), ρ: 밀도(kg/m³), p: 압력(Pa), k: 열전도(W/(K · m)), C_p: 열용량(J/(kg · K))이다[4].

또한 일반적인 고효율 LED에서는 약 1W/mm²의 열을 발생시킨다. LED에서 발생하는 열은 패키지내의 열팽창 계수가 서로 다르기 때문에 최대 정격이상의 높은 온도에 노출시키거나 열 순환을 반복하면 각기 다른 유형의

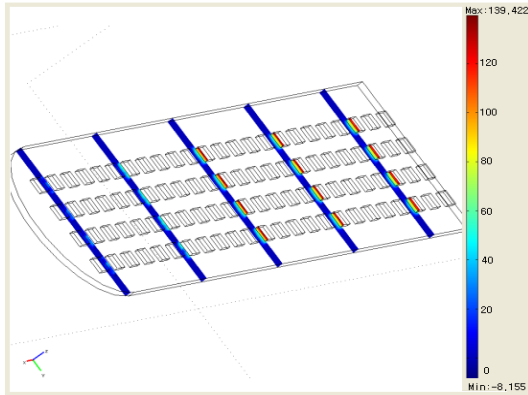
치명적 고장을 초래할 수 있다[5,6].

2.2 LED감성조명장치의 개발을 위한 열 해석

표 1은 LED Module의 가로, 세로, 높이를 측정된 값이며 PCB재질은 알루미늄, LED의 재질은 실리콘으로 선정하였다.

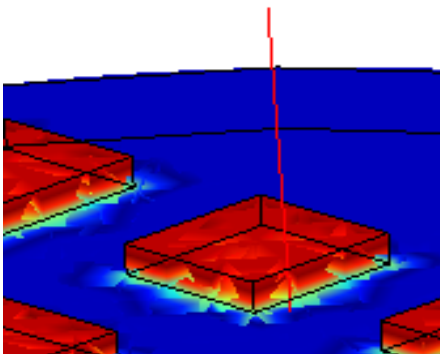
[표 1] LED Module 의 제원

구분	PCB Size	LED Size
X	253mm	5mm
Y	55mm	5mm
Z	2mm	1mm
재질	알루미늄	실리콘

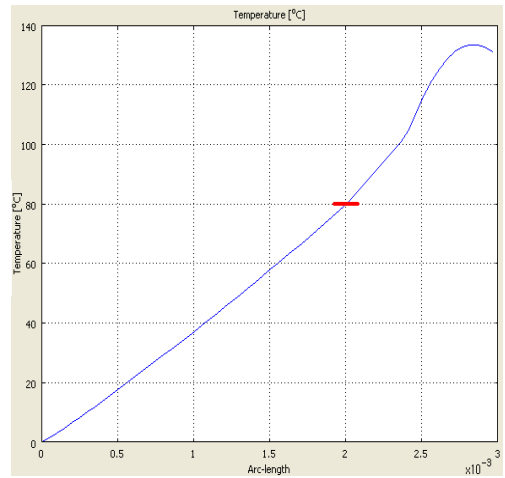


[그림 2] Slice Plot

그림 2의 Slice Plot은 모듈단면의 온도변화를 확인하는 과정이다. LED와 PCB의 경계면 온도는 약 80℃이며 PCB의 바닥면까지는 약 50℃까지 변화함을 확인하였다.



(a) 온도변화 가상선



(b) Arc-length에 따른 온도변화

[그림 3] 최종온도분석 자료

해석결과 아래의 그림 3 (a)는 LED와 PCB를 직교하는 가상의 연장선을 생성하여 그 부분의 온도변화를 확인한 것이며, (b)는 확인한 결과에 따른 온도변화를 연장선의 Arc-length 즉 좌표에 따라 온도변화를 그래프 형태로 나타낸 것이다. 그 결과 LED와 PCB의 경계면 온도는 약 80℃로 해석 되었으며 PCB의 바닥면까지는 약 50℃까지 변화하여, 뇌파 측정 실험을 하는데 적합한 조명으로 판정되어 실험을 지속하였다[7].

2.3 뇌파 실험과정

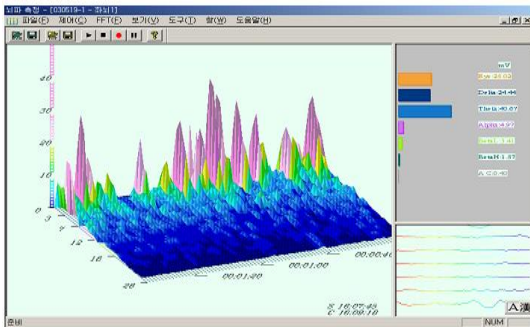
본 실험은 LED감성조명장치를 개발하여 RGB Color를 조정하여 색온도를 구한 후 뇌의 기본상태 분석(휴식, 주의력, 집중력)을 한다.

표 2는 Spectro1000 V1.03을 통해 RGB Color의 비율을 적절히 변화시켜 얻은 색온도 값이다. 이 값을 기준으로 남성10여 명 중 뇌파측정을 통해 최적의 상태를 가진 1명을 표본으로 실험을 실시한다. 온도 25±1℃, 30분 간격으로, 측정 시간은 오후 16~18시 사이에, 물 이외에는 가급적 음식물 섭취를 금하였다. 피 실험자는 실험과정과 내용을 숙지하고 전일 음주 및 자극적인 음식 섭취를 금하고 휴식을 취했다.

[표 2] R, G, B값 변화에 따른 색온도

R	G	B	X	Y	색온도
255	255	255	0.4028	0.3714	3387K
200	255	255	0.3525	0.3841	4849K
210	255	255	0.36	0.3827	4614K
200	200	255	0.3808	0.3415	3678K
255	200	200	0.4713	0.3547	2115K
255	200	100	0.5166	0.401	2006K
255	200	90	0.5194	0.4053	2011K
255	200	75	0.527	0.4113	1985K
255	230	100	0.4943	0.4181	2335K
255	230	110	0.49	0.4146	2357K
255	240	150	0.4589	0.4091	2709K
255	255	200	0.4265	0.3943	3102K
250	255	250	0.4028	0.3712	3385K
190	217	240	0.3633	0.3674	4439K
200	217	180	0.4138	0.3956	3359K
200	214	160	0.4279	0.3972	3101K
200	215	150	0.4281	0.3973	3098K
200	215	130	0.4455	0.4157	2953K
200	214	150	0.4373	0.4061	3008K
190	217	210	0.3834	0.3875	3999K
190	210	210	0.3849	0.3757	3867K
190	210	212	0.3833	0.3763	3914K
100	120	200	0.2915	0.2948	8588K
100	127	240	0.269	0.2665	13945K
180	217	240	0.3707	0.3735	4244K
110	133	200	0.307	0.3078	7060K
120	140	200	0.3407	0.3165	5060K
115	140	200	0.3209	0.3181	6100K
115	145	200	0.3171	0.331	6237K
90	150	200	0.2551	0.3368	10038K
80	100	220	0.2447	0.2314	500568K
95	125	200	0.2672	0.2936	11225K
130	185	240	0.3067	0.347	6674K
135	180	240	0.3124	0.3389	6435K

그림 4는 기본상태 분석 전 피 실험자의 뇌파를 분석하기 위한 Program으로 수평축은 뇌파별 고유 주파수이고, 수직축은 각 주파수별 전위 값을 나타낸다.



[그림 4] 뇌파측정 프로그램

피 실험자는 분석하는 동안 같은 화면을 1분 동안 응시하며, 말을 하거나 움직여서는 안 되며 말을 해서도 안 된다. 측정 시 외부 소음을 차단하기 위해 최대한 방음 설정을 하여 측정을 하였다. 그 후 기본상태분석을 통해 휴식, 주의력, 집중력을 분석한다. 수치는 100%기준으로 하

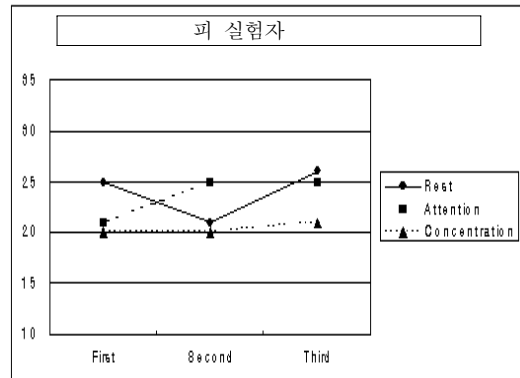
여 뇌파측정 프로그램의 1분간의 측정시간동안 피 실험자의 휴식, 주의력, 집중력 %가 상승한다. 일반적으로 휴식은 20~30%, 주의력 20~25%, 집중력 20~25%를 정상범위로 하며 각 지수가 30%이상을 뇌기능의 가장 이상적인 상태로 본다. 가장 이상적인 뇌 기능은 휴식, 주의력, 집중력 이 세 가지가 모두 각각 30%이상 이 되고 총 90%이상을 이루었을 때 조건에 가장 적절한 반응을 보 이기가 쉽다.

[표 3] 뇌파별 의식상태

뇌파종류	주파수영역	의식상태
델타파	0.1~3Hz	깊은 숙면
세타파	4~7Hz	숙면
알파파	8~12Hz	휴식상태
SMR 파	12~15Hz	주의상태(집중)
저베타파	16~20Hz	민감한 상태
고베타파	21~30Hz	신경질적인 또는 흥분상태

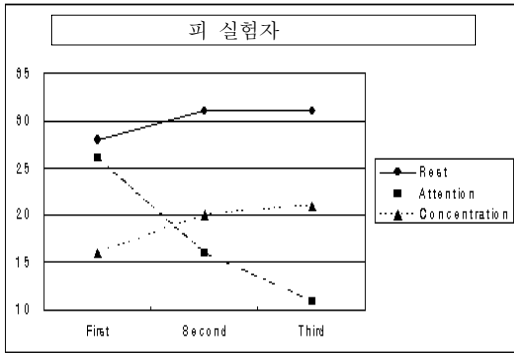
표 3은 뇌파별 주파수 영역의 의식 상태이다. 뇌파측정 시 측정되는 주파수 영역을 통해 피 실험자의 상태를 분석한다.

2.4 뇌파 실험결과 분석



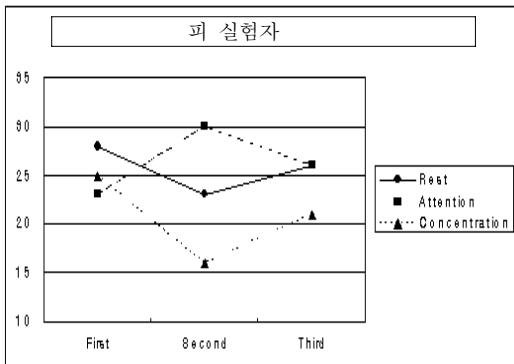
[그림 5] 6,500°K 형광등조건

그림 5를 통해 피 실험자의 기본상태(휴식, 주의력, 집중력)는 정상범위 값을 나타냄으로써 측정값의 기준이 될 수 있음을 확인할 수 있었다.



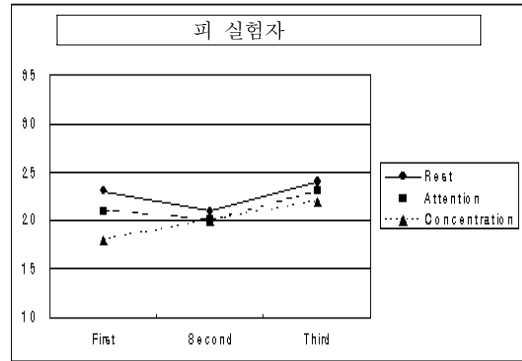
[그림 6] 2,300°K 측정 데이터 R:255, G:230, B:110

그림 6은 LED Lamp의 색온도를 2,300°K로 하여 1분 동안 화면을 응시하게 한 후 측정된 결과를 3회에 걸쳐 기록하였다. 그 결과 기존의 지수보다 휴식지수가 약간 향상되었음을 확인 할 수 있었으며, 이는 심리적으로 안정되었음을 나타냄으로 우리가 원하는 휴식상태의 최적화를 알 수 있었다. 그러나 주의력, 집중력 부분에서 감소는 좌, 우뇌의 활성능력이 반감됐다는 것을 알 수 있었다.



[그림 7] 4,000°K 측정 데이터 R:170, G:217, B:240

그림 7은 4,000°K에서 보이는 변화는 주의력 부분에서 그 값이 향상되었으며, 이는 우뇌의 활성화 능력이 상승되어 주의력의 최적화 상태를 확인 할 수 있었다. 그러나 집중력이 반감되어 좌 뇌에 부정적 효과를 나타냄을 확인할 수 있었다.



[그림 8] 6,000°K 측정 데이터 R:115, G:145, B:200

그림 8의 6,000°K에서는 다른 색온도의 변수에 따라 기본상태(휴식, 주의력, 집중력)의 변화를 크게 확인할 수 없었다. 거의 형광등 6,500°K의 상태와 유사한 수치가 측정 되었고 오히려 반감되는 부분이 있었다.

2.5 실험결과 분석

색온도를 2,300°K, 4,000°K, 6,000°K 세 가지 조건으로 피 실험자의 기본상태(휴식, 주의력, 집중력)를 측정 하였으며 그 결과 색온도가 낮을수록 편안함과 안락함을 느낀다는 것을 알 수 있었다. 4,000°K의 조건으로 실험을 했을 때 주의력의 지수가 약간 높아짐을 볼 수 있는데 이는 4,000°K가 우뇌의 기능을 활성화 시킬 수 있는 추론이 가능하며 6,000°K이상에서는 별다른 변화를 찾아내지 못하였고 그 원인은 일반 형광등 아래의 색온도와 유사함으로 변화되지 않았음을 알 수 있었다.

3. 결론

본 실험에서는 LED조명의 색온도 변화를 두뇌의 감성적 측면에서 기본상태 분석과 열 해석을 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 2,300°K에서 피 실험자의 휴식지수가 상승함으로써 심리적으로 편안함과 안락함을 느낀다는 것을 관찰 하였다. 휴식 및 정서적 안정을 필요로 하는 색온도에 맞는 LED조명의 역할이 가능하다.
2. 4,000°K에서 피 실험자의 주의력지수가 상승함으로써 주변과의 사회 및 관계성을 의미하므로 활동적인 공간 또는 일반 사무공간의 LED조명으로 역할이 가능하며, 그 이유는 뇌파 해석기법으로 추론 시 주의력은 우뇌가 담당하므로 이는 자신과 주변과의 사회 및 관계성을 의미한다.

3. 6,000°K에서는 별다른 변화를 찾아내지 못하였으며 그 원인은 일반 형광등 아래의 색온도와 유사함으로 변화되지 않았음을 예측할 수 있었다.
4. 메탈 PCB에 Chip LED를 배치하여 COMSOL Multiphysics 로 시뮬레이션을 통한 결과 LED와 PCB의 경계면 온도는 약 80°C이며, PCB의 바닥면까지는 약 50°C까지 변화한다는 것을 알 수 있었다. 메탈 PCB가 열을 낮추어 파워 LED용 기판에 가장 적합함을 확인 하였으며, 실제적으로 제작하지 않고 시뮬레이션을 통해 근접한 결과 값을 알 수 있었다.
5. 실험을 통해 LED조명의 색온도 변화를 통해 사람이 활동하는 공간에서 긍정적 효과를 확인, LED실내조명으로 활용이 가능하다.

참고문헌

- [1] 양희경, 고한우, 김묘향, 임석기, 윤용현, “주관평가와 작업수행도의 상관관계 분석에 의한 조명 색온도에서의 피로도 평가”, 한국감성과학학회지, 2001.12.
- [2] 옥치원, “고출력 LED의 신뢰성향상을 위한 방열판 최적화에 관한 연구”, 전북대학교 석사학위논문집, 2006. 2.
- [3] 박병운, “두뇌교육사”, 재단법인 한국정신과학연구소, 2005.1.
- [4] (주)알트소프트, “COMSOL Multiphysics 3.4”, Modeling Guide, October, 2007.
- [5] 요네무라 나오미, “Techno Times of Japan”, Monthly DISPLAY, February, 2007.
- [6] 어익수, “COMSOL을 이용한 20W급 LED램프의 방열 해석”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 10, No. 7, pp. 1484-1488, 2009.
- [7] 어익수, “LED조명기구의 CF-Design 방열 해석”, 한국산학기술학회논문지, Vol. 9, No. 6, pp. 1565-1568, 2008.

최 금 연(Keum-Yeon Choi)

[정회원]



- 2008년 2월 : 호남대학교 전기공학과 졸업 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 전기전자대학원 재학

<관심분야>
광학 및 방열설계

어 익 수(Ik-Soo Eo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울산업대학교 전기공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 서울벤처정보대학원 전기공학과(공학박사)
- 1995년 5월 : 건축전기기술사, 전기안전기술사
- 1998년 2월 ~ 현재 : 호남대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>
전기설비, LED조명 설계, Heat-sink