EEFL을 이용한 지능형 조명시스템 제어장치

박양재*

EEFL using intelligent lighting system control device

Yang-Jae Park*

요 약 본 연구의 목적은 감성조명용 조명기기의 조도 및 색온도 표현능력을 극대화할 수 있는 최적의 광원조합을 효율적으로 제어할 수 있는 제어장치를 개발하는데 있다. 실내조명으로 사용할 수 있는 다양한 색온도에 대하여 사람이 편안함을 느끼는 조도영역을 찾아내고 이를 조합함으로서 감성조명을 실현할 수 있다. 이를 위하여 감성조명용 조명기기는 2000K와 8000K의 서로 다른 색온도를 가지는 형광램프로 구성하였으며 각각의 형광램프의 수량을 변화시키며 조명기기의 조도 및 색온도 표현능력을 광학 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 사용자가 원하는 조명환경을 휴식, 대화, 모임, 손님접대, 예술 등의 5가지로 구분하여 적외선 리모콘으로 수신단에 전송하면 수신단에서 PC0~PC4 병렬 포트를 통해서 사용자가 선택한 모드에 맞는 DC전압을 출력한다. DC전압이 EEFL 인버터에 입력되고 입력된 DC전압 레벨에 따라 EEFL의 dimming 값이 변하면서 사용자가 원하는 조명환경(조도 및 색온도)를 만들고 인체감지센서를 사용하여 사람이 없을 경우에는 EEFL을 자동으로 꺼지도록 함으로써 소비전력을 절약할 수 있도록 개발하였다.

주제어 : EEFL, 조명, 감성조명

Abstract The purpose of this study is to develop a lighting apparatus of the illuminance and color temperature to maximize the ability of the optimal combination of light sources that can be controlled efficiently control device. Finding people comfortable feeling for indoor lighting that can be used in a variety of color temperature illumination area by combining light sensitivity can be realized. Lighting apparatus for fluorescent lamps with different color temperature of 2000K and 8000K, and by varying the quantity of each of the fluorescent lamps, the illuminance of lighting equipment and color temperature through optical simulations were evaluated. By infrared remote control receiver, divided into 5 types of relaxation, conversation, meeting, hospitality, arts and the lighting environment you want to transfer the PC0 ~ PC4 through the parallel port on the mode selected by the user at the receiving end the DC voltage output. EEFL inverter input DC voltage and the DC input voltage, depending on the level of EEFL dimming value (illuminance and color temperature) lighting environment you want to create change while using a PIR sensor EEFL automatically turn off if people do not have was developed so that the power consumption so you can save.

Key Words : EEFL, Lighting, Circadian Lighting

1. 서론

21세기를 맞이하여 빛의 혁명이 시작되고 있다. 태양에서 나오는 빛의 파장은 짧은 자외선부터, 사람의 시각을 자극 시킬 수 있는 파장의 가시광선 그리고 파장이 긴 자외선에 이르는 넓은 파장범위를 모두 포함하고 있다. 이러한 빛 중에서 조명에 사용하기 위해 인공적으로 가시광선을 만드는 일은 사실상 오래 전부터 시작되었다. 실내조명은 밝기가 충분하고 일정해야 시력을 보호할 수 있고 눈의 피로도 줄일 수 있다. 좋은 조명은 눈이 부시지 않아야 하고, 적당한 음영이 있어야 하며 기분 좋은 색이어야 한다. 방의 기능에 따라 적당한 밝기가 다르므로 목적에 알맞은 조명기구를 선택하여야 한다. 따라서 조명에 대한 개념도 단순히 어둠을 밝히는 기능적 접근

이 논문은 2013년도 가천대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임(GCU-2013-R085)
*교신저자 : 박양재, 가천대학교 IT대학 컴퓨터공학과 교수
논문접수: 2013년 3월 4일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2013년 3월 25일, 확정일: 2013년 4월 20일

에서 탈피하여 다양한 생활환경에 따라 최적의 조명환경을 제공하기 위한 효율적인 접근이 시도되고 있다.

인간의 생체리듬과 빛의 연관성을 다루는 감성조명은 조명의 색온도를 2,200K~8,000K범위에서 자유롭게 조정 함으로써 일출, 일몰, 한낮 시간의 변화에 따른 태양빛의 변화를 실내에서 그대로 연출 할 수 있는 '제2의 태양'이이며 사용자의 활동 상태나 심리상태에 따라 조도와 색온도의 변화를 주어 사람에게 가장 적합한 태양 빛의 느낌으로 연출이 가능한 조명이다[10].

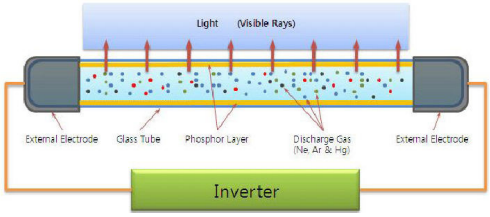
본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련연구로 이론적 배경 및 관련기술에 대하여 설명하고, 3장은 연구방법 및 목표설정을 하였으며, 4장에서는 실험 및 결과로 연구결과를 실제 시스템에 적용 후 결과를 평가하였으며, 5장에서는 결론과 향후 연구를 기술한다.

2. 관련연구

2.1 EEFL 형광램프

EEFL 형광램프란 외부 전극 형광램프(External Electrode Fluorescent Lamp)의 약자로서 일반 형광등과 달리 전극이 외부에 있으며 외부전극의 전계에 의해 램프 내에 플라즈마를 유도하여 빛을 내는 방식으로 열이 없고, 수명이 일반 형광등 대비 5배 이상인 차세대 조명용 형광등이다. EEFL 형광램프의 작동원리는 전극이 외부에 위치함으로서 전극부 유리가 밸러스터(ballast)축전기로 작용하는 DBD(Dielectric Barrier Discharge, 유전체 장벽 방전)라는 특성을 가진다[1]. 외부전극에 수십 kHz의 주파수와 1~2kV의 진폭을 가진 고전압을 인가하게 되면 네온, 아르곤 및 수은 기체로 구성된 방전 가스가 전리되면서 저압 글로우 방전(glow discharge)이 발생한다. 글로우 방전 내에 형성된 전자가 수은 원자를 여기 시키면서 253.7nm의 파장을 갖는 자외선이 방출되는데 이 자외선이 EEFL 내벽에 붙어 있는 삼파장 형광체를 만나면서 백색 가시광선으로 변환되는 것에 의해 램프의 역할을 수행하게 된다. 그림1은 EEFL 형광램프의 개념도이다.

EEFL의 특징으로는 첫째는 관경이 4mm, 혹은 8mm의 슬림형 램프이므로 사용공간이 협소한 곳에 적용이 가능하여 LCD TV의 BLU광원 및 광고용 패널, 간판 등의 Back Light 등 다양한 어플리케이션을 가지고 있다. 둘째, 일반 형광램프 수명의 5배 이상, 기타 램프의 3배 이상의 수명을 보장함으로서 유지보수가 필요 없으며 전력소모가 기타 램프에 비해 60% 이하로 고효율성 및 경제성이 보장되는 점이다. 셋째, 관 자체에서 열이 발생되지 않기 때문에 사진, 필름, 기타 상품에 손상을 입히지 않는다. 넷째, 병렬구동방식으로 고전압, 화재의 위험으로부터 해방과 충격 또는 부주의로 인한 램프 손상 시 해당 램프만 OFF되며, 밝고 균일한 조도 실현으로 광고 및 홍보 효과가 우수한 특징이 있다[9].



[그림 1] EEFL 형광램프 개념도

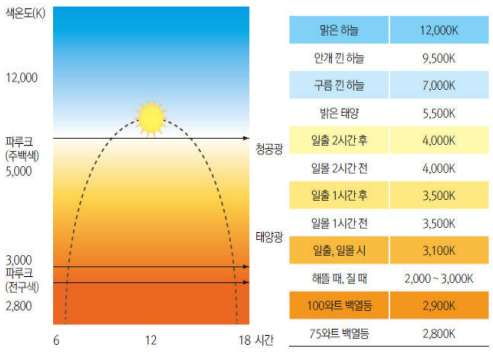
2.2 감성조명

인공광원이 발명된 이래 광원의 에너지 효율적인 측면과 더불어 그 광원을 조명으로 사용했을 때 사용자에게 얼마나 적합한가하는 측면은 광원의 가치를 판단하는 기준이다. 사용자 관점에서 조명 광원의 적합성을 평가할 수 있는 대표적인 방법 중 하나로서 사람들의 활동적인 특성에 적당한 밝기가 연구되어 왔다[4][8].

각 국가별로 사용자의 상황에 적당한 조도범위를 설정하여 국가표준으로 활용하고 있으며, 한국의 경우도 산업규격의 하나로서 사용자의 상황에 적합한 조도 범위를 산업 표준 조도 기준으로 지정되어 있다[3]. 또한 한낮의 자연광에 비하여 노을녘의 태양광은 주황색 계열의 붉으스름한 특징을 가지는데, 이는 광원의 색상적 특징에 기인한다. 한낮에 푸른 하늘의 태양아래 환경은 흑체(Black body)표면의 온도가 6,500K일 때 형성되는 것이며, 백열등의 경우 흑체의 표면온도가 약 3,800K으로 난색 계열의 색상적 특징이 있다. 이와 같은 색온도(Color Temperature), 즉 광원의 색상적 특징이 사람들에게 미치는 영향에 대한 연구도 진행되어 왔다[6].

인간의 신체 및 정신은 자연의 빛에 가까울수록 편안

함을 느낀다. 따라서 미래지향적인 조명의 궁극적인 목적은 24시간 동안 변화하는 자연 빛에 순응된 인간의 생체 리듬에 맞추어 각각의 생활환경에 최적화된 밝기와 색온도를 제공하는 것이라고 할 수 있다.



[그림 2] 자연환경의 색온도 분포

[그림 2]는 자연환경에서의 색온도 분포를 나타내고 있다[7]. 자연 빛은 아침, 저녁에는 2,500K~3,500K의 낮은 색온도를 가지는 붉은 계통의 저조도 조명환경을 연출하며, 낮에는 4,000~7,000K에 이르는 백색의 고조도 조명환경을 연출한다. 이러한 자연 빛의 변화에 맞추어 인간은 6,000K 부근의 높은 색온도에서 작업능률이 높아지고, 3,000K 부근의 낮은 온도에서는 편안함을 느끼며 조도가 점차 어두워지면 멜라토닌이 분비되어 졸음을 느끼게 된다[4][10].

따라서 능률적인 작업이 필요한 사무실과 편안한 휴식을 위한 침실은 근본적으로 다른 조명환경이 필요하며, 거실과 같이 손님접대, TV시청, 독서 등의 다양한 활동이 한 공간에서 일어나는 곳은 동일한 조명 장치에서 다양한 밝기와 색온도를 연출할 수 있는 감성조명의 도입이 필요하다. 감성조명을 위한 조명기기는 낮은 색온도의 램프와 높은 색온도의 램프를 혼용하며 원하는 조도와 색온도를 구현하게 되므로 조명기기의 설계 초기부터 구현하고자하는 조도 및 색온도의 범위를 고려한 광원의 종류 및 수량산정이 매우 중요하다.

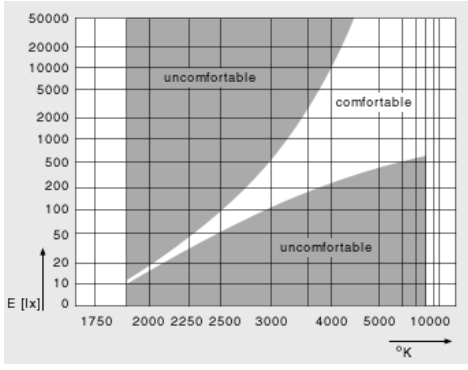
본 연구에서는 2,000K의 램프와 8,000K의 램프를 혼합하는 감성조명용 조명기기의 조도와 색온도에 대한 목표범위감성공학 측면에서 설정하고, 목표달성을 위한 최적의 램프조합을 도출한 결과를 적용하였다[2].

3. 연구방법

3.1 조도 및 색온도 목표 설정

네덜란드의 과학자 Kruithof는 조도와 색온도가 서로 밀접한 상호관계를 가지며 사람이 조명에 의해 느끼는 감정에 영향을 주고 있음을 나타내었다. 실내조명의 계획단계에서 조도와 색온도를 예측하는 일은 매우 중요하다.

[그림 3]은 실내조명으로 사용될 수 있는 다양한 색온도에 대해 사람이 편안함을 느끼는 조도영역을 표현하고 있는 Kruithof's curve이다. 약 2,500K의 낮은 색온도에서 50~100lx의 낮은 조도범위가 편안한 영역이며, 6,500K의 높은 색온도에서는 500lx 이상의 높은 조도를 제공해야 사람들은 편안함을 느끼게 됨을 알 수 있다.



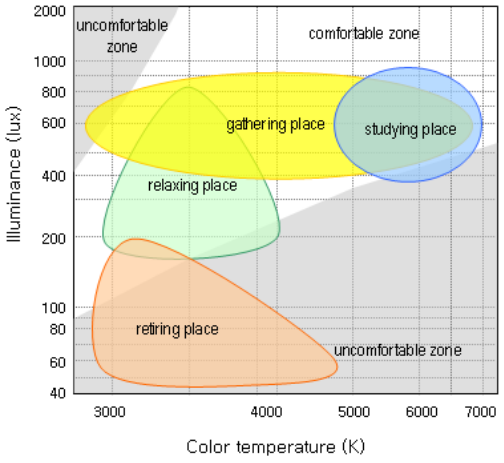
[그림 3] Kruithof's curve

하지만, 일본의 과학자 Nakamura는 같은 조명환경에서도 어떤 활동을 하느냐에 따라 느낌이 달라 질 수 있음으로 Kruithof's curve가 항상 유용하지 않음을 밝혔으며[3], Oi는 이를 바탕으로 실내 활동의 종류에 따라 사람이 선호하는 조도와 색온도 영역을 [그림 4]와 같이 구체적으로 연구하였다[7].

Oi는 실내의 활동유형을 가족모임(gathering), 학습(studying), 휴식(relaxing), 수면(retiring), 요리(cooking) 그리고 식사(dining) 등 크게 6가지로 구분하여 각 활동유형 별로 선호하는 조명 영역을 연구하였다.

[그림 4]는 Oi의 연구 결과 중 서로 겹치는 부분을 제외하고 대표적인 4 분야를 큰 영역으로 도식화 한 것이다. [그림 4]에서 볼 수 있듯이 다양한 실내 활동유형을 모두 만족시키기 위한 감성조명용 조명기기를 구현하기 위해

서는 높은 색온도에서는 충분히 높은 조도를 확보하며, 낮은 색온도에서는 Kruithof's curve의 uncomfortable zone까지 포함하도록 가능한 넓은 조도 범위를 확보해야 함을 알 수 있다[5].



[그림 4] 실내 활동유형에 따른 조도 및 색온도 선호영역

따라서 본 연구에서는 감성조명용 조명기기의 조도 및 색온도에 대한 구현 범위 목표치를 표 1과 같이 설정하였다.

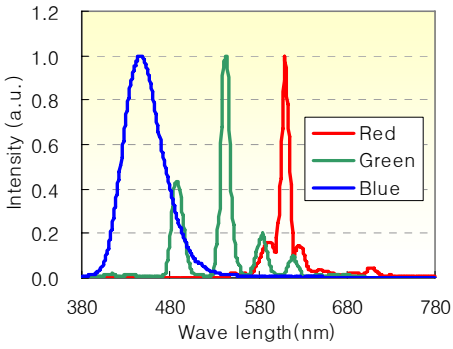
〈표 1〉 조명기기의 조도 및 색온도 목표범위

색온도	조도
전 영역(3000~6000K)	500 lx 이상 포함
3500K	50 ~ 500 lx 포함

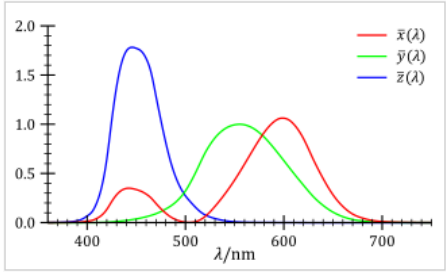
3.2 광원조합의 최적화

형광등용 R, G, B 형광체의 spectrum을 추출하기 위하여 R, G, B 형광체를 따로 코팅한 단색 램프를 제작하여 Konica Minolta의 분광기인 CS-2000을 이용하여 스펙트럼을 추출하였으며 결과를 [그림 5]에 나타내었다.

이후 각각의 R, G, B data를 혼합하여 2,000K와 8,000K 램프의 spectrum을 도출하였으며, 이 때 각각의 색온도 좌표는 CIE1931 좌표계에서 black body locus 상에 위치하도록 설정하였다. 광원의 spectrum으로부터 각 단색 spectrum의 혼합 색에 대한 조도 및 색온도를 계산하기 위하여 [그림 6]의 color matching function과 식(1)~식(4)의 3자극치 계산법을 이용하였다[2].



[그림 5] RGB 형광체의 스펙트럼



[그림 6] CIE1931 Standard Color-matching functions

[그림 7]은 R, G, B 형광체의 spectrum의 적절한 배합과 color matching function 그리고 식(1)~식(4)의 계산에 의해 얻어진 2,000K와 8,000K 램프의 spectrum으로 본 연구에서 감성조명용 조명기기를 구성하는 두 종류의 광원이 된다[2].

$$X = K\int_{380}^{780} S(\lambda)x(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

$$Y = K\int_{380}^{780} S(\lambda)y(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

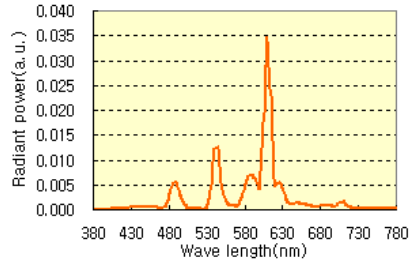
$$Z = K\int_{380}^{780} S(\lambda)z(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad (3)$$

$$K = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)y(\lambda)d\lambda} \quad (4)$$

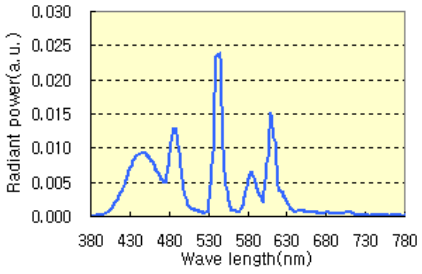
$S(\lambda)$: Relative spectral power distribution of the illuminant

$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$: Color-matching function

$R(\lambda)$: Spectral reflectance of specimen



(a) 2000K 램프의 spectrum



(b) 8000K 램프의 spectrum

[그림 7] 형광체의 RGB spectrum data로부터 계산된 2,000K와 8,000K 램프의 spectrum

4. 실험 및 결과

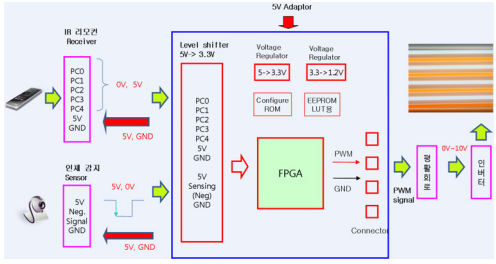
4.1 EEFL을 이용한 지능형 조명시스템 제어장치

EEFL을 이용한 지능형 조명시스템 제어장치의 구성도는 [그림 8]과 같고 [그림 9]는 실제 실험에 사용된 제어장치이다.

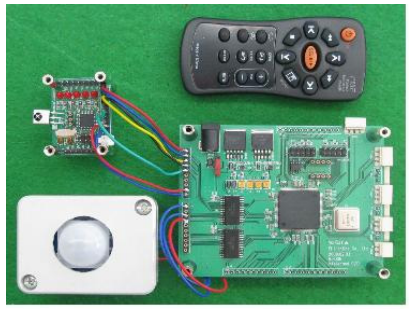
EEFL을 이용한 지능형 조명시스템 제어장치는 리모콘을 이용하여 사용자의 기호, 환경, 심리상태 등에 따라 원하는 조명환경을 선택하여 구현 할 수 있도록 설계하였다. IR 리모콘의 선택버튼을 누르면 적외선 정보를 리모콘 수신부로 전송하여 정보를 분석한 후 병렬포트(PC_0~PC_4)를 통하여 신호를 출력한다. EEFL driving unit에서는 이 신호를 FPGA에서 받아서 FPGA에 설계해 놓은 프로그램에 의해 EEFL dimming 신호를 FPGA 인버터에 출력하여 EEFL의 dimming을 조절함으로써 사용자가 원하는 지능형 조명환경 구현이 가능하도록 하였다.

인체감지센서를 이용하여 인체나 동물을 인식하면 감지 신호를 EEFL driving unit으로 전송하고 driving unit 내의 FPGA에서 이 신호를 받아서 Relay에 Power On 신호를 전송하면 Relay는 EEFL 인버터 Power를 On으로 동작시킴으로써 EEFL이 켜지도록 구현하였다.

또한 FPGA에서는 인체나 동물을 인식 한 후 더 이상 인식이 없을 경우 약10초 후에 EEFL을 Off시키도록 설계하였다. 인체나 동물을 인식 후 10초가 되기 전에 재인식하게 되면 재인식 시점부터 다시 타이밍을 카운트하여 10초 후에 EEFL이 Off되도록 설계하였다.



[그림 8] EEFL을 이용한 조명시스템 제어장치 구성도



[그림 9] EEFL을 이용한 조명시스템 제어장치

4.2 EEFL 및 등기구

EEFL 및 등기구 구성은 [그림 10]과 같다. 색온도가 8000K인 EEFL 4개와 2,000K인 EEFL 4개를 서로 연결하여 등기구를 구성하였다. 등기구에 최종적으로 확산판을 올려 2,000K와 8,000K의 EEFL이 서로 혼합되어 지능형 조명 환경을 연출할 수 있도록 설계하였다.

[그림 10] 8,000K와 2,000K로 구성된 등기구

4.3 EEFL 색온도 비교

[그림 11]은 EEFL을 이용한 지능형 조명시스템에서 실제 색온도에 따라 Dimming을 통하여 조명환경을 구현하였을 때 시각으로 느껴지는 조명의 색감의 차이를 나

타내고 있다.

(a) 2,000 K (b) 4,300 K (c) 8,000 K

[그림 11] 지능형 조명시스템의 색온도 차이

4.4 실험결과

구현된 EEFL 지능형 조명시스템 제어 장치를 사용하여 조명 분위기 조절 단계를 사용자가 선택 가능한 조명 분위기는 총 5단계로 실험을 통하여 R, G, B data를 혼합하여 2,000K와 8,000K 램프의 spectrum을 도출하였으며, 각각의 색온도 좌표는 CIE1931 좌표계에서 black body locus 상에 위치하도록 설정하였다. 광원의 spectrum으로부터 각 단색 spectrum의 혼합 색에 대한 조도 및 색온도를 계산하기 위하여 color matching function과 3자극치 계산법을 이용하여 최적화된 조도 및 색온도를 휴식공간(3,720K, 310 lx), 대화공간 (3,260K, 390 lx), 모임장소(4,090K, 430 lx), 손님접대(4,250K, 410 lx). 예술영역(2,040K, 365 lx)로 설정하였다. 또한 사용자의 환경에 따라 조절 가능하도록 하였다.

밝기 조절범위(Dimming range)는 60%~100%로 구성하였으며, 등기구 최대 광량은 9,140 lm으로 목표치인 3,600 lm을 초과하는 광량으로 EEFL을 이용한 등기구를 개발하였다. 색온도 조절범위는 2,000K~8,000K으로 설계하였다.

5. 결론

EEFL을 이용한 지능형 조명시스템 제어장치는 사무실이나 가정의 매립형 또는 돌출형 등기구 대체용으로 사용이 가능하며 나아가서 예술조명, 옥내 또는 옥외용 조명 등 조명을 필요로 하는 거의 모든 환경에서 사용이 가능하다. 조명은 단순히 어두음을 밝혀주는 기능에서 빛의 색온도와 밝기를 사람의 심리상태 및 작업환경에 알맞게 조절하는 조명 시스템을 구현 할 수 있는 제어장치를 구현하였다.

향후 연구 과제로는 EEFL의 경우 현재 Dimming Ratio가 60~100%로 더 넓은 영역의 색온도 및 조도 구현을 위해서 Dimming Ratio를 10 ~ 100까지 구현 가능하도록 EEFL 인버터 재설계에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] 고재현(2006), EEFL/FFL 백라이트의 기술동향과 전망, 전자부품.

[2] 박양재 · 최종현 · 장명기(2009).감성조명용 조명기기의 조도 및 색온도 시뮬레이션을 통한 광원 조합의 최적화, 한국콘텐츠학회논문지, 9(8),248-254.

[3] 산업표준 조도기준(KS A 3011)(1998),한국표준협회.

[4] Mark(2008), A new approach to understanding the impact of circadian disruption on human health, J. Circadian Rhythms, 6(1).

[5] Nakamura(2001), Is Kruithof's Curve correct?, J. Illuminating Engineering Institute of Japan, 85(9), 793-795.

[6] Noguchi & Sakaguchi(1999). Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity, J Physiol Anthropol Appl Human Sci 18, 117 - 123.

[7] Oi(2007), Preferred Combinations between Illuminance and Color Temperature in Several Settings for Daily Living Activities, Proceedings of the 2nd International Symposium on Design of Artificial Environments, 214-215.

[8] Takahashi(2007), Effects of color lighting on emotional-expression judgment and personal impression, v31 suppl, pp.14-15.

[9] www.eilighting.com

[10] www.feelux.com

박 양 재

· 1990년 8월 : 인하대학교 정보공학과 (공학석사)
· 2003년 8월 : 인하대학교 전자계산공학과 (공학박사)
· 2001년 1월 ~ 2002년 12월 : 주식 회사 이메디피아 원격 의료 연구소 연구소장.
· 1993년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 IT 대학 컴퓨터공학과 교수.
· 관심분야 : HCI, 영상처리, 모바일네트워크, 컴퓨터비전, 조명시스템.
· E-Mail : parkyj@gachon.ac.kr