

# LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델

김대호 | 임상규 | 강태규

한국전자통신연구원

## 요약

본 고에서는 현재 IEEE 802.15.7 TG VLC에서 본격적으로 논의되고 있는 가시광 무선통신의 응용 서비스 모델 중에서 LED(Light Emitting Diode) 조명과 통신이 융합된 응용 서비스 모델을 중심으로 알아본다.

LED를 이용한 통신 기술은 광 케이블을 이용한 유선 광통신에서 이미 시작된 기술이나 LD를 이용하여 더 우수한 성능을 보이면서 잊혀져 가던 기술 중 하나이다. 이러한 광통신 기술은 LED의 성능이 급격하게 증가하면서 다시금 주목을 받게 되었고, 특히 LED를 이용한 조명기술이 발전하면서 무선통신으로 다시금 주목 받고 있는 기술이다.

실내 환경에서 LED 조명 고유의 기능을 그대로 유지하면서 무선통신을 가능하게 하고, 항공기 혹은 병원내에서와 같이 기존의 RF 무선통신에 제약을 받는 환경에서도 무선통신이 가능하게 하며, 실내 LED 조명을 이용함으로써 국부 지역에 특정 서비스 제공이 가능해 졌다.

따라서 가시광 무선통신은 조명산업과의 융합을 통해 통신뿐만 아니라 기존의 조명과 디스플레이 분야에서 새로운 가치를 창출 할 수 있는 그린 IT 융합 기술이다. 본 고에서는 LED 조명의 등장배경, 위치 정보 제공 서비스, 국부 방송 서비스, 항공기내 무선통신 서비스 등 LED 조명 기술과 통신 기술이 융합된 가시광 무선통신의 응용 서비스 모델에 대하여 설명한다.

## 1. 서론

최초의 LED(light emitting diode)가 개발된 이후 LED는 전자기기의 전원 상태를 표시하거나 장비의 동작 상태를 표시하는 간단한 기능만을 제공해 왔다. 하지만 청색 LED가 개발되면서 LED는 기존의 적색과 녹색 LED와 함께 빛의 3원색을 모두 가지게 되어 총천연색 표현이 가능해지기 시작했다. 1993년 이러한 청색 LED의 개발은 LED의 가치 증대에 불을 집혔다.

이후로 1996년에 청색 LED에 노란색 형광체를 사용하여 백색 LED가 등장하게 되고, LED를 이용한 Full-color LED 전광판, LED 교통신호등, LED 간판, LCD BLU(Back Light Unit)에 이르기까지 다양한 응용이 생겨나기 시작했다.

또한 청색 LED를 이용한 백색 LED의 등장은 LED의 고휘도화를 이끌면서 조명으로 그 응용을 확장하게 된다.

인류가 불을 사용하기 시작한지 수십 만년이 지난 후 백열등의 발명은 인류 역사에 큰 변화를 일으켰다. 인류 조명 역사의 시작인 백열등이 발명된 지 100여 년이 지난 오늘날 또 한번의 변혁을 예고하고 있다. 바로 형광등과 백열등의 조명이 반도체 LED 조명으로 교체되는 시점에 있는 것이다.

LED 조명은 백열등에 비하여 전기 절감 효과가 높고, 형광등에 비하여 수은을 사용하지 않아 친환경적인 장점이 있다. 하지만 아직 형광등과 백열등에 비하여 고가인 점이 걸림돌로 작용하고 있다. 이러한 장단점에도 불구하고 LED가 주목 받고 있는 또 하나의 이유는 LED가 반도체이기 때문에 메모리 또는 프로세서 반도체처럼 디지털 제어가 가능해 응

용 영역이 넓다는 점이다. 이러한 디지털 제어 특성은 PWM(pulse widths modulation)과 같은 기술을 이용하여 조명의 조도 조절이 가능하도록 하기도 하였다. 특히, LED 조명에 통신을 융합한 가시광 무선통신 융합 기술은 이러한 LED의 디지털 제어 특성을 잘 활용할 수 있는 대표적인 예라고 할 수 있다.

LED를 이용한 통신 기술은 850nm 파장을 이용한 유선 광통신에서 시작되었다. 이 파장은 가시광 대역(380nm~780nm)에서 사용되는 표시용 LED로 구현이 가능했다. 하지만 고속 및 장거리 전송에 취약해 이후 유선 광통신은 1300nm와 1550nm 파장과 LD (Laser Diode)를 사용하여 더 우수한 성능을 보였고, 660nm 또는 850nm 파장은 단거리 통신에만 주로 사용되었다[4].

이러한 LED를 이용한 가시광 대역 통신 기술은 LED의 성능이 급격하게 증가하면서 새롭게 관심을 가지게 되었고, 특히 LED를 이용한 조명기술이 발전되고 보급이 점차 확대되면서 LED 조명과 융합한 가시광 무선통신 기술로 다시금 주목 받기 시작했다.

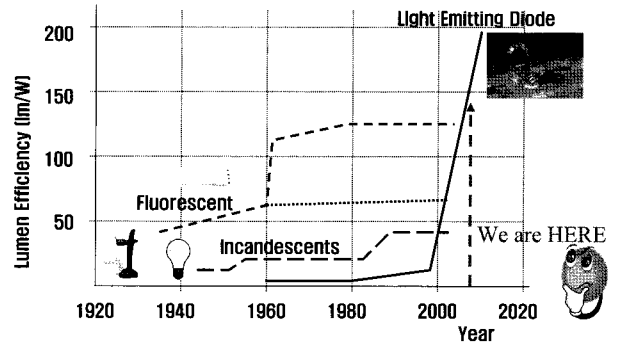
본 고에서는 이러한 시대적 흐름에 맞추어 LED조명을 이용한 가시광 무선통신 응용 서비스 모델을 소개한다. 먼저 제 2 장에서는 LED 조명의 등장배경을 설명하고, 제 3 장에서는 위치 정보 제공 서비스, 국부 방송 서비스, 항공기내 무선통신 서비스 등 LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델에 대하여 설명한다.

## II. LED 조명의 등장

인류의 역사를 살펴볼 때 불의 발견은 인류 역사에서 가장 중요한 발견이라고 여겨진다. 이후 인류는 양초, 호롱불 등 불을 이용하여 어두운 밤을 밝혀 왔고 1872년 상용 백열등이 밝혀진지 약 100여년이 흐른 지금 백열등, 형광등, 수은등, 나트륨등 등 다양한 조명기구들이 어두운 밤을 새롭게 밝히고 있다. 이러한 전기를 빛으로 바꾸는 조명의 발전은 산업을 급속하게 발전시켰고, 하루의 생활 시간을 넓히는 효과를 가져왔다.

조명은 지금까지 백열등과 형광등이 널리 사용되어 왔다.

하지만, 최근에는 오랫동안 조명으로 사용되어왔지만 전력 소모가 많은 백열등과 수은을 사용하는 형광등 대신에 고효도 LED를 이용한 LED 조명으로 바뀌어 가고 있다[6].



(그림 1) LED 조명 기술의 발전

<표 1> 조명 별 효율 및 소비 전력[5]

	백열등	형광등	LED
광원효율 (lm/W)	10	75	59
광원실효율 (%)	30~50	50~70	80~90
실시스템효율(lm/W)	4	38	42
소비전력(W, 800lm)	200	21	19

<표 1>과 같이 LED 조명에 사용되는 백색 파워 LED는 전기를 빛으로 바꾸는 효율 (루멘/와트)이 백열등보다 앞서고 형광등과 유사하여 차세대 조명원으로 인식되고 있다[5]. 이러한 기술은 (그림 1)과 같이 LED 조명의 효율은 청색 LED가 나오고, 청색 LED에 황색 형광체를 사용한 백색 LED가 개발되면서 발광효율이 급격하게 증가하였고, 2009년 현재 급속히 발전하게 되어 소자 단계에서는 150 lm/W가 넘는 발광효율을 가진 소자도 등장하고 있으며 상용화 되어있는 고효율 LED는 80 lm/W의 효율을 가지고 있다[1],[7].

이러한 고효율 LED는 LED 조명, LED 전광판, LED 교통신호등 및 다양한 활용과 함께 널리 보급하기 시작하였다[3]. 동시에 RGB(Red, Green, Blue) LED 개발로 인하여 다양한 색상을 나타낼 수 있게 되어 단순한 백색광의 조명이 아닌 사용자가 원하는 다양한 색상을 제공할 수 있는 조명까지 등장하게 되었다.

LED(Light Emitting Diode)는 반도체 소자로서 수은을 합

유하고 있는 형광등과 달리 수은을 함유하고 있지 않아 친환경적이며, 5만 시간 이상의 긴 수명을 가지며, 전기 효율이 나쁜 백열등에 비해 90% 전기 효율 향상 등의 장점을 갖고 있다.

이러한 이유로 우리나라 지식경제부는 1530 프로젝트를 수립하여 2015년까지 조명의 30%를 LED로 대체하는 계획을 갖고 있다. 이와 더불어 LED 발광 효율 향상 기술 및 LED 응용 융합 기술 등에 산업핵심 원천 기술을 개발하여 세계 TOP 3 LED 강국으로 박차를 가하고 있다[1].

프랑스를 비롯한 유럽연합(EU)에서도 2010년 말까지 백열등을 퇴출시키기로 하는 등 미국, 일본, 유럽 등에서도 LED 조명을 권장 또는 대체하는 법안을 마련 중에 있다.

### III. 응용 서비스 모델

본 장에서는 가시광 무선통신의 응용 서비스 모델을 소개하고자 한다. 특히 앞서 설명한 LED 조명을 이용한 가시광 무선통신 응용 서비스 모델을 중점적으로 알아보기로 한다.

#### 3.1 위치 정보 제공 서비스

LED 조명을 이용한 가시광 무선통신에서 가장 먼저 상용화 가능성이 높은 응용 중 하나가 실내 항법 서비스이다. 이 응용 서비스는 GPS 정보를 수신할 수 없는 실내 또는 터널, 지하공간 등에서 실내 가시광 무선통신 환경을 이용하여 위치 정보를 제공하는 것이다. 이 서비스는 IEEE 802.15.7 TG VLC 뿐만 아니라 2008년에 TTA의 국내표준으로 제정된 서비스이기도 하다[2].

특히 이 서비스는 10kbps 내외의 비교적 저속의 데이터 전송을 필요로 하기 때문에 LED 조명 시장의 확산과 함께 적용할 수 있다는 점에서 상용화 가능성을 높게 예측할 수 있는 응용이다.

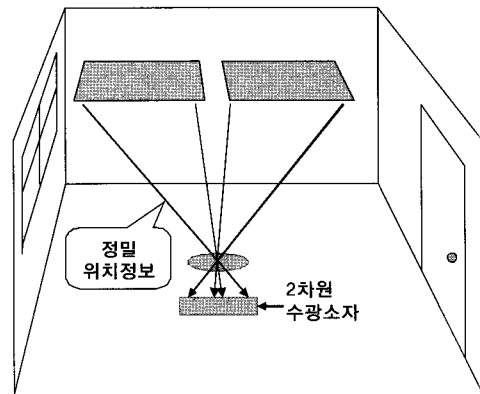
가시광 무선통신을 이용한 위치 정보 제공 서비스는 제공되는 위치 정보의 형식 및 정확도에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 mm 단위의 위치 정보를 제공하는 위치 인식 서비스이며, 다른 하나는 건물내 층과 층, 실과 실 등 물리적으로 분리된 공간을 조명의 식별번호로 위치 정보를

제공해주는 조명식별번호 서비스이다.

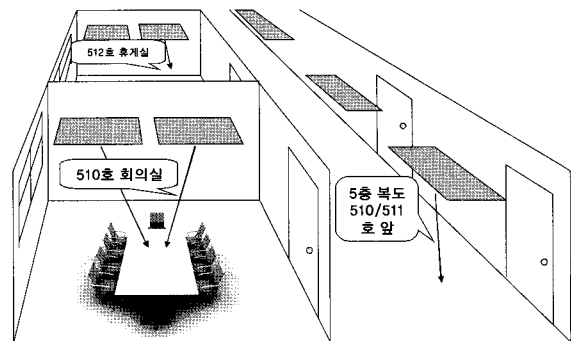
가시광 무선통신을 이용하면 이론적으로 수 mm까지 가능한 고정밀 위치 측정이 가능하다.

인간에게는 mm 단위의 고정밀 위치 측정이 필요하지 않겠지만, 주위 판단 능력이 부족한 로봇에게는 중요한 요소로 작용한다. 가시광 무선통신을 이용하여 고정밀 위치 측정이 가능해지면 로봇이 자유자재로 건물 내를 이동하는 것이 가능해지는 것이다.

조명식별번호 서비스를 제공하는 서비스에서는 가시광 무선통신의 단점으로 여겨지는 LOS(Line of Sight) 특성을 이용한다. 즉, 가시광은 일반적인 건물의 벽을 투과하지 못하기 때문에 사용자가 사무실에 있는지 복도에 있는지 정확하게 구분할 수 있다. 그러므로 이 서비스를 이용하면 벽 혹은 장애물을 구분할 수 없는 무선 RF를 이용한 위치 정보 서비스의 단점을 보완(혹은 극복)할 수 있다.



(그림 2) 고정밀 위치 정보 서비스[3]



(그림 3) 조명식별번호 서비스

또한 조명 각각에 위치 정보를 입력하게 될 가시광 통신 시스템에서 조명 식별 번호는 하나의 표준화된 규격이 이루어질 때 응용 서비스의 확산이 기대된다. 이러한 의미에서 건물이 완성되기 전에 설치되어야 하는 건물 인프라에 속하는 조명, 특히 확산이 점점 가속화되고 있는 LED 조명은 조명 인프라가 보편화 되기 전에 공통의 조명 식별 번호 체계를 갖도록 하는 것이 중요하다.

### 3.2 국부 방송 서비스

국부 방송 서비스는 LED 조명 및 LED 전광판을 이용한 저속(수십 kbps)의 단방향 정보 방송 서비스로서 가시광 무선통신의 초기 시범 서비스의 중심 서비스이다.

인터넷은 지역에 관계없이 정보 검색을 쉽게 할 수 있는 것이 장점인 반면, 주위 환경에 있는 지역 정보 또는 객체 정보에 대한 검색을 하기 어려운 단점이 있다. 국부 방송 서비스는 주위 환경에 적합한 정보를 국부적으로 방송할 수 있는 장점을 갖고 있다.

예를 들어, 박물관이나 미술관을 관람중인 관람자가 특정 유물이나 미술품을 관람하기 위해 위치했을 때 전시 물품을 비추는 조명을 통해 관련 정보를 제공할 수 있고, 또한 RGB 선별 무선통신 기술 등을 이용하여 다국어 서비스를 제공할 것으로서 고객 맞춤형 서비스를 제공할 수도 있다.

최근에 LED의 사용이 급격히 확산되고 있는 응용분야는 전광판이다. 하루에도 수십 개의 전광판이 우리 주위에 생겨나고 있으며 시시각각 색이 변하는 문자형 간판이 늘어나고 있다. 광고를 목적으로 하는 이러한 전광판 또한 가시광 무선통신의 좋은 응용(혹은 활용 대상)이다.

즉, 광고용 LED 전광판을 통해서 현재 판매중인 물품 정보를 제공하거나 정보를 검색한 고객에게 특별 할인 쿠폰을 제공하는 등 다양한 응용 서비스도 가능하다.

국토가 넓고 휴게소가 많지 않은 미국의 고속도로를 달리다 보면 도로 밖 상점에서 고속도로 이용객들의 관심을 모으기 위한 홍보용 간판들을 쉽게 볼 수 있다. 또한 나들목 근처에서는 고속도로를 빠져 나와 즐길 수 있는 음식 또는 주유 등의 광고를 자주 접할 수 있는데, 이러한 측면에서 LED 전광판을 이용하여 할인 쿠폰, 가격 정보 등을 지나가는 차량에 전달하고 고객을 유치하려는 가시광 무선통신 서비스도 실생활에 쉽게 접목될 수 있을 것으로 예측된다.

국부 방송 서비스는 위치 정보 서비스와 연계되면 새로운 위치기반 개별 안내 서비스로 확장이 가능하다. 즉 사용자의 위치에 부합하는 관련 정보를 전달할 수 있게 되는 것이다.

백화점에서 쇼핑중인 고객을 예로 들어보자. 이 고객은 특별 지급된 가시광 무선통신 단말을 이용하여 현재 자신의 위치를 파악하여 원하는 위치로 이동이 가능하고, 이 정보는 다시 중앙 제어 서버에 전달되어 현재 주변 판매점의 할인 정보 등 고객에게 필요한 맞춤 정보 전달이 가능해진다. 이 고객이 우수 고객이라면 특별 할인 쿠폰을 가시광 무선통신 단말을 통해 제공해 줄 수도 있다.

### 3.3 항공기내 무선통신 서비스

IEEE 802.15.7 TG VLC에는 많은 업체들이 참여하고 있다. 그러한 업체들 중에는 가시광 무선통신과 무관해 보이지만 이를 이용한 응용에 관심이 많은 업체들이 있다. 그 대표적인 업체가 항공기를 제작하는 보잉사다. 항공기 제작업체가 가시광 무선통신에 관심을 가지는 데는 다양한 이유가 있다. 항공기를 제작함에 있어 여러 중요한 요소들 중에 최근 강조되는 요소가 바로 항공기의 경량화이다. 유가 상승에 따른 부담을 항공기 경량화로 극복하려는 것이다[11].

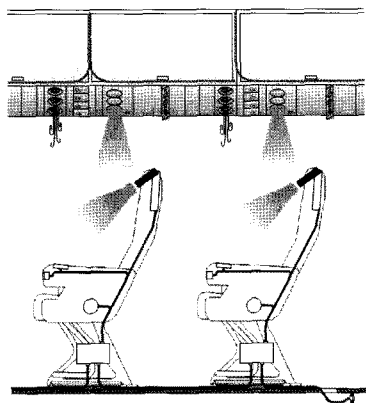
항공기내에 존재하는 다양한 통신 선로 등을 가시광 무선통신을 이용함으로써 최소화 시키는 것이다. 특히 가시광 무선통신은 기존의 RF 무선통신에 비해 전자파 간섭(EMI: Electro-Magnetic Interference) 영향을 최소화 할 수 있는 장점도 있다.

### 3.4 교통 정보 서비스

고휘도의 LED 보급이 시작되면서 효과를 톡톡히 보고 있는 응용이라면 단연 교통 신호등이다. 기존의 백열등을 이용한 교통신호등을 대신해 보다 밝은 빛으로 대낮에도 정확한 신호 판단이 가능하고 에너지 효율도 높아 LED를 이용한 교통신호등이 점차 늘어나고 있다.

이러한 LED 교통신호등에 가시광 무선통신 기술을 적용하면 다양하고 새로운 응용 서비스가 창출될 수 있다.

IEEE 802.15.7 TG VLC에서도 언급되고 있는 교통신호등을 이용한 가시광 무선통신 서비스는 시각 장애인을 위한 교통 정보 서비스이다. 기존에도 시각 장애인을 위한 교통 정보



(그림 4) 항공기내 가시광 무선통신 서비스[11]

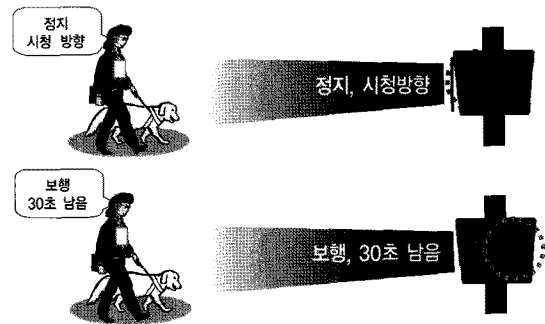
서비스가 있었다. 보행 신호가 들어왔을 때 소리로 알려주는 것이 바로 시각 장애인을 위한 교통 정보 서비스이다. 최초 음향신호기는 시각 장애인의 유무와 상관없이 항상 소리로 교통신호를 알려주었다. 최근에는 무선 리모컨으로 시각 장애인이 동작시킬 시에만 동작하는 음향 신호기도 등장하고 있다. 시각 장애인은 보행하려는 반대쪽 음향신호와 자신이 위치한 곳의 음향신호가 교대로 울리는 것을 감지하여 자신이 원하는 방향의 교통신호를 확인한다. 하지만 이러한 음향신호기의 단점은 반대쪽 음향신호가 크지 않으면 시각 장애인이 방향을 잡기가 어렵다는 것이다. 이를 막기 위해 음향신호는 커져야 했고 이러한 큰 음향신호는 다른 보행자들의 불편을 야기했다. 무선 리모컨을 이용한 음향신호기의 등장도 시각장애인의 보행과 상관없이 매번 울리던 음향신호가 기존 시민들에게 불편을 야기했기 때문이었다.

이러한 단점을 가시광 무선통신을 이용한 교통신호등으로

극복할 수 있다. 즉 LED를 이용한 교통신호등에 가시광 무선통신을 결합하고 이를 수신할 수 있는 수신기를 시각장애인이 소지하고 다님으로써 수신된 교통신호 정보를 이어폰 등을 통하여 들음으로써 보행이 가능해 지는 것이다. 또한 수신기를 시각장애인이 보행하고자 하는 방향으로 위치했을 경우에만 교통정보를 수신할 수 있어 시각장애인이 보행 방향을 쉽게 결정하는데도 큰 장점이 있다.

또한 가시광 무선통신을 이용한 LED 교통신호등은 교차로 보행을 위한 1차 안전지대 진입에도 용의하다고 할 수 있다. 추가적으로 청색신호에서는 보행 신호 잔여 시간 안내, 적색 신호에서는 주변 지역 정보 안내 등 다양한 부가 서비스가 가능하다.

이러한 교통정보 서비스와 LED 조명 및 LED 전광판 등을 이용한 위치 정보 서비스를 복합적으로 이용하면 시각장애인을 위한 실내의 항법 서비스도 가능해진다.



(그림 5) 시각 장애인용 교통 정보 서비스

차량에서는 차량용 LED 교통 신호등들을 이용하여 공회전 멈춤(Idle Stop) 서비스도 제안되고 있다. 이 서비스는 차량용 교통 신호등으로부터 정지 신호시에 다음 주행 신호가 켜질 때까지 남은 잔여 시간을 가시광 무선통신을 통하여 수신하고, 남은 시간 동안 엔진을 정지함으로써 연료를 절감하는 서비스이다[10].

### 3.5 기타 응용 서비스

기타 응용 서비스로는 항공기내 무선통신 서비스와 유사하게 병행 등과 같이 RF 무선통신이 금지된 지역에서의 무선통신 서비스, LED 전조등과 후미등을 이용한 차량간 무선

통신 서비스[12], 수중에서의 무선통신 서비스, 가시 무선 조정 등 다양한 서비스가 현재 IEEE 802.15.7 TG VLC에서 논의되고 있다.

## IV. 결 론

본고에서는 다양한 LED 조명통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델에 대하여 알아 보았다. LED의 효율이 개선되고 녹색성장애 대한 노력이 증가하고 있는 시대적 상황에 따라 전력 소모가 많은 백열등과 수은을 함유한 형광등이 사라지고 LED 조명으로 전환되면서 LED 조명은 신산업 창출의 선두 주자가 되었다.

가시광 무선통신 기술은 이러한 LED 조명산업의 발전과 함께 LED 조명만 있으면 통신도 가능한 기술을 제공해 준다. LED 조명아래에서 위치를 파악하고, 지역에 차별화된 방송을 수신하며, EMI에 취약한 항공기 내에서도 무선통신이 가능해지는 세상이 오고 있다.

하지만 LED 조명 통신 융합 기술인 가시광 무선통신은 이제 막 탄생한 기술이다. 이제 막 탄생한 만큼 LED 조명 통신 융합 기술은 앞으로 해결하여야 할 과제도 많이 있다. LED 표준은 물론 LED 제어 인터페이스 표준도 없는 것이 현실이며 개별 상품에 대한 표준이 이제 막 시작된 단계이다. LED를 이용한 가시광 무선통신 프로토콜 표준도 이제 첫걸음을 떼었다.

표준 부재 외에도 기술적으로 해결해야 할 문제가 많이 있고, 이들 문제점들을 산학연의 LED 분야 전문가 및 전자통신 전문가들이 상호 협력하여 하나하나 해결해 가야 한다. 또한 가시광 무선통신 기술은 융합 기술인 만큼 LED 소자 및 조명 업계와 전자통신업계가 함께 문제들을 해결하며 발전해 나아가야 한다.

### Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 방송통신위원회, 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2008-F-009-02, IT조명통신융합 380~780 나노미터 가시광 RGB 선별 무선통신 연구]

## 참 고 문 헌

- [1] 강태규 외3명, "LED 조명과 가시광 무선통신의 융합 기술 동향 분석," 전자통신동향분석 제23권 5호, 2008.10.
- [2] 원은태외 4명, "가시광 무선통신 조명의 위치 정보 제공 기본구조," 정보통신단체표준 TTA, KO-10.0290, 2008.12.19
- [3] 나카가와 마사오, "가시광통신의 최신 동향," 월간 전기기술, 2006.10.
- [4] David R. Goff, "Fiber Optic Reference Guide," 2002.
- [5] 한철중, "LED 고효율 고신뢰성 기술," 고효율 LED 기술 세미나, 2008.04.15.
- [6] 김용원, "LED광원 응용기술," LED광원기술과 응용 워크숍 pp.190, 2007.5.17
- [7] 황명근, "LED 조명 산업 기술 동향," LED 조명산업과 통신산업 융합 가시광 무선통신 표준 기술 워크숍, 2008. 12.18, pp. 21-36
- [8] Rick Roberts, Larry Taylor, "VLC Application Definitions and Summary," IEEE 802.15.7 Vancouver Plenary Meeting, 15-09-0125-05-0007, 2009.03.
- [9] Ying Li, 배태한외 3명, "VLC Potential Use Cases and Technical Requirements," IEEE 802.15.7 Vancouver Plenary Meeting, 15-09-0117-05-0007, 2009.03.
- [10] 손명희, "Idle Stop technologies using the VLC for high gas mileage," IEEE 802.15 SG VLC Dallas Plenary Meeting, 15-08-0759-01-0v1c, 2008.11
- [11] Don Schultz, "Potential Applications for Visible Light Communications in Commercial Aircraft," IEEE 802.15 SG VLC, 2008.11
- [12] 김대호 외 6명 "VLC Use Case using Automobile LED for Smart Driving," IEEE 802.15 SG VLC Dallas Plenary Meeting, 15-08-0799-01-0v1c, 2008.11

약 력



김 대 호

2000년 경북대학교 공학사  
 2002년 한국정보통신대학교 공학석사  
 2002년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원  
 관심분야: LED 가시광 무선통신, Green IT 융합기술,  
 LED 감성 조명 통신



임 상 규

1996년 서강대학교 이학사  
 1997년 서강대학교 공학석사  
 2001년 서강대학교 공학박사  
 2001년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원  
 관심분야: LED 가시광 무선통신, 초고속 광통신, LED 감성 조명



강 태 규

1996년 정보처리기술사  
 2001년 이학박사  
 1989년 ~ 현재 한국전자통신연구원 LED통신연구팀 팀장  
 2006년 ~ 현재 한국통신학회 중신회원  
 2007년 ~ 현재 TTA 가시광통신서비스 실무반 의장  
 2009년 IEEE 802.15.7 VLC Regulation Subcommittee 의장  
 관심분야: LED 가시광 무선통신, Green IT 융합기술,  
 LED 감성 조명 통신

