

그린 IT 를 위한 LED 응용 네트워크 조명 제어 기술 동향

강태규
ETRI LED 통신연구팀, 팀장
tgkang@etri.re.kr
김유진박사, 박광로부장
ETRI 그린컴퓨팅연구부

1. 서론
2. 그린 IT 와 LED 기술 관계 분석
3. LED 융합 기술 동향
4. LED 응용 그린 IT 기술 발전 전망
5. 결론

1. 서론

100여년 전에 전기의 발명 이래로 전기 및 전자 기술이 날로 발전하여 우리 생활에 많은 변화와 편리함을 가져왔다. 전기에 의한 백열등과 형광등은 우리 활동 시간을 확대시켰다. 조명이 외에도 TV, 세탁기, 식기 세척기, 시계, 냉장고, 자동차, 핸드폰, 공장 가동 장비 등 다양한 생활 필수품이 되었다. 전기 소모량도 날로 증가하고, 전기 공급을 위한 연료 소비량도 증가하고, 이로 인하여 지구 온난화, 탄소 배출량이 증가하여 지구 환경 파괴의 원인이 되었다. 전기 에너지는 우리에게 편리함을 줌과 동시에 지구 환경의 파괴도 함께 주었다.

지구 환경이 오염될지라도 우리는 편리함을 포기할 수 없다. 그렇다고 지구환경 오염을 방지할 수도 없다. 편리함을 포기하지 않으면서, 에너지 소비를 최소화할 수 있는 방법이 그린(Green) IT 이다.

에너지 소비에 따른 지구 환경 보존을 위하여 교토의정서, RoHS, WEEE 등 국제적으로 노력을 하고 있다. 국제 협약에 의해 녹색 성장과 저탄소 정책에 따라 탄소량 배출 거래권도 가까운 시일에 이루어질 전망이다. 이러한 국제 환경 변화는 그린 IT(Information Technology)를 필요하게 되었다. 녹색성장 저탄소인 전기 에너지 절감의 대표는 LED(Light Emitting Diode)이다.

LED 는 기존 백열전구에 비하여 90% 이상의 효율이 좋다. 즉, 백열전구 하나 사용하는 전

* 본 내용과 관련된 사항은 한국전자통신연구원 LED 통신연구팀 강태규 팀장(☎ 042-860-5232) (☎ 070-7780-0065)에
게 문의하시기 바랍니다.

**본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITA의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.

기량과 LED 전구 10 개 사용하는 전기량이 같다는 것이다. LED 전구를 사용하면 밝은 조명의 편리함을 포기하지 않으면서도 전기 에너지를 절감할 수 있다. 또한, LED 는 빛을 내는 반도체로서 다양한 응용이 가능하다. LED 응용에 따라 LED 사용 범위와 용도가 넓어지고, 사용량도 급증하고 있다[1],[2].

LED 는 근본적으로 전기 에너지를 빛 에너지로 전환하는 효율이 매우 좋다. 이에 더불어 전기 에너지를 빛 에너지를 변환하는 것을 디지털로 제어할 수 있다. LED 디지털 제어는 우리에게 편리함을 포기하지 않으면서 에너지를 절감할 수 있는 응용 또는 융합 기술을 제공할 수 있다.

본 고에서는 녹색성장 저탄소와 LED 와의 관계를 제 2 장에서 설명하고, LED 융합 기술인 RGB LED 디지털 색상 제어 기술과 LED 조명과 무선통신 기술을 동시에 제공할 수 있는 가시광 무선통신 기술을 제 3 장에서 설명한다. 제 4 장에서는 LED 응용 그린 IT 발전 전망을 제시하고 5 장에서 LED 응용 기술의 필요성과 기대 효과와 함께 그린 IT 발전 방향을 기술한다.

2. 그린 IT 와 LED 기술 관계 분석

가. 국제 녹색 성장관련 규제

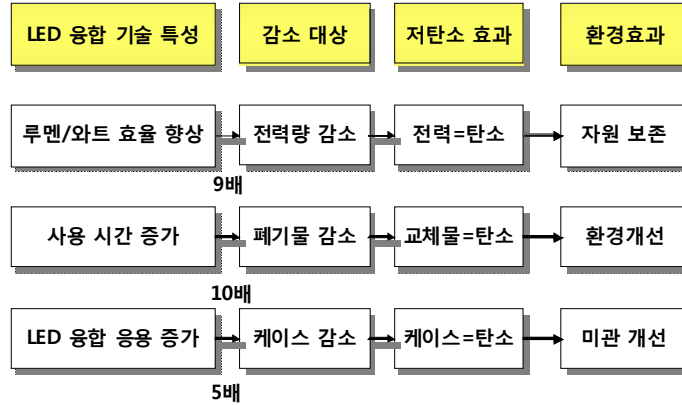
2000 년대 중반 이후에 고유가의 에너지 위기와 지구 온난화에 의한 CO₂ 환경 국제 규제가 본격화 되고 있다. 이에 대한 국제 관련 활동은 다음과 같다.

- 교토의정서(Kyoto Protocol): CO₂ 배출금지(전력 절감 필요)
- RoHS(Restriction of Hazardous Substances Directive): 무수은 조명(수은이 포함된 형광등 사용 억제)
- WEEE(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive): 폐기물회수(조명 통신 융합으로 폐기물 최소화)

녹색 성장관련 규제는 에너지를 많이 소모하는 기술 또는 제품은 큰 타격을 입고 사라지게 될 것이다. 하지만, 에너지 효율이 높은 신기술은 이러한 규제가 오히려 신기술 산업을 발전시키는 녹색 성장 산업으로 등장할 것이다[3].

나. LED 의 전력 에너지 절감 효과

LED 는 수은을 함유하고 있는 형광등과 달리 수은을 함유하고 있지 않아서 친환경적이며, 5 만 시간 이상의 긴수명, 전기 효율이 나쁜 백열등에 비해 90% 전기 효율 향상 등의 장점을 갖고 있다.



(그림 1) 가시광 무선통신의 저탄소 효과

LED 응용 융합은 (그림 1)에서 저탄소 녹색 성장 효과를 나타내고 있다. LED 전력 감소 및 사용 시간 증가에 따른 폐기물 감소뿐 만 아니라, 융합에 의한 탄소량을 감축시킬 수 있다. 기존 기술에서 조명을 위한 탄소량과 통신을 위한 탄소량이 필요했다면, 가시광 무선통신은 조명과 통신을 동시에 할 수 있기 때문에 <표 1>과 같이 약 50%에 가까운 탄소량이 감소될 수 있다.

<표 1> 연도별 조명용 전력 판매량

(단위: 천 MWh, %)

구분	2003	2004	2005	2005	2007
총전력량	293,599	312,096	332,413	348,719	368,605
조명전력량	64,629	67,856	72,123	75,416	77,941
비율	22.0%	21.7%	21.7%	21.6%	21.1%

이러한 LED 장점을 인식하고 미국, 일본, 유럽 등에서는 LED 조명을 권장 또는 대체하는 법안을 마련 중에 있다. 우리나라의 지식경제부도 2015 년 30%의 LED 조명으로 전환하고자 하는 1530 프로젝트를 추진하고 있다[4],[5].

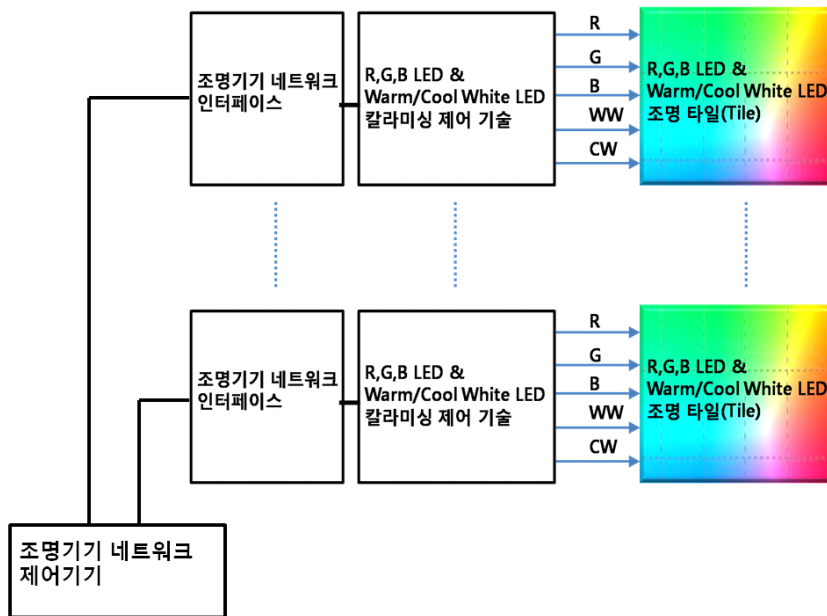
LED 조명 인프라를 이용하여 통신 환경을 조성한다면, 탄소량을 증가시키지 않고서도 조명 인프라를 공유하는 경제적 이득 효과가 발생하며, 탄소량 감소를 위해 생활의 불편함도 없이 실 생활 조명과 함께하는 통신 융합 멀티미디어 통신 서비스를 제공할 수 있다.

다. LED 조명의 그린 IT 사용자 요구사항

지금까지의 전기 전자 기술에 대한 사용자 요구사항은 편리성이다. 이제부터는 사용자들은 편리성 추구는 변함이 없으면서 에너지 절감에 의한 녹색 환경을 요구하고 있다. 과거에는 편리성을 위하여 다소 에너지 낭비 요인을 인정하였다. 하지만, 이제는 국제 협약에 의해 탄소 배출

는 구현할 수 없는 조명의 색변화를 구현하는 특징을 가진다. RGB LED 색상제어는 Red, Green, Blue LED 빛 색의 혼합(Color mixing, 컬러 믹싱) 기술로 색상의 적응성, 정확성과 같은 기술을 요구 한다. LED 소자를 이용한 조명의 경우 온도변화(die temperature drift), 순방향 전류변화(forward current variation), 에이징(aging) 등과 같은 영향으로 색상의 변화가 발생한다. 이러한 변화에 영향을 받지 않으면서 컬러 믹싱(Color Mixing)이 가능하도록 하기 위한 기술과 감성조명기기로 활용되는 경우 특정 색상에 대한 변함없는 색상 표현도 가능하도록 해야 한다.

RGB LED 조명의 광색변화에 의한 심리, 생리, 감성조명기기로 활용 가능하며, 경관조명, 건축(도시환경)조명, 병실조명 등에서 인간의 섬세한 감성에 미의식, 감정순화, 편안함, 감동 등을 유도하는 고 기능성을 주는 조명으로도 활용된다. 이러한 감성조명기기로 활용하기 위해서는 RGB LED 조명 기기 간의 네트워크가 필요하다. 조명 기기 간의 네트워크를 통하여 건축물 등의 조명을 다양한 미학적인 색채표현을 가능하게 한다. (그림 3)과 같이 조명기기가 네트워크에 연결이 되어 중앙제어 장치 또는 센서에 의해 사용자 입력에 의해 변화하는 상호 작용하는 조명으로서의 활용으로도 가능하다.



(그림 3) 네트워크 RGB LED 색상제어 기술

나. 가시광 LED 조명과 무선통신 융합 기술

LED 조명 통신 융합은 LED 조명과 동시에 통신을 할 수 있는 융합기술이다. 조명은 눈으로 볼 수 있는 가시광이므로 가시광 무선통신이라고도 한다. 가시광 무선통신기술은 (그림 4)와 같이 디지털 조명과 통신을 융합한 통신기술이기 때문에 통신여부를 눈으로 확인할 수 있다.



(그림 4) LED 조명 통신 융합 개념

디지털 조명은 반도체에 의해 빛을 발광하는 LED 조명을 말하며, 디지털로 제어할 수 있기 때문에 기존의 아날로그 조명에 비하여 기술 발전 속도가 높고, 다양한 멀티미디어 조명 및 통신 서비스를 제공할 수 있다[11].

가시광 무선통신 효과로서 빛을 사용하기 때문에 인체에 무해하며, 주파수 허가를 받을 필요가 없고, ISM 과의 간섭도 없으며, 물리적으로 보안기능을 제공하고, 초정밀 측위에 사용할 수 있다.

다. 국내외 연구 및 표준 동향

LED 조명과 RGB LED 색상 제어 기술의 연구 및 표준화 동향은 SSL(Solid State Lighting)의 관점에서 각 나라마다 다양한 그린 프로그램(Green Program)으로 수행되고 있다. 대표적으로 미국의 경우 DOE(U.S. Department of Energy, <http://www.eere.energy.gov>)에서 수행하는 연구개발 과제인 LED 와 OLED 관련 프로그램들이 수행되고 있다.

가시광 LED 조명과 무선통신 융합 기술의 국내 연구 및 표준화 동향은 TTA(한국통신기술협회) 멀티미디어 응용 PG 산하에 2007 년 5 월 30 일에 신설된 가시광통신 서비스 실무반(WG:

워킹그룹)에서 수행하고 있다. 가시광 무선통신 표준 개발의 실효성 및 목표 설정을 명확하게 하기 위하여 응용 서비스 모델을 표준으로 제정하고, 서비스 모델 표준에 따른 무선 가시광 송신 기술과 수신 기술, 가시광 MAC 프로토콜 및 응용 프로토콜 표준 등을 제정할 계획이다.

국외의 경우 IEEE 802.15.7 VLC 에서 활발히 진행중인데, 2009 년 6 월 현재까지 약 130 여개의 기고서가 발표되었다. 표준 규격 개발을 신속하게 하기 위하여 다음과 같이 3 개 서브커미티 즉, VLC Application subcommittee, VLC Regulatory subcommittee, VLC Technical Requirement subcommittee 를 구성하였다.

VLC Application Subcommittee 는 가시광 무선통신 기술에 의한 응용 서비스를 선정하고 이를 규격화 하는 것을 목표로 한다. 응용 서비스를 위하여 인프라 구조의 단말, 고정 단말, 이동 단말, 이동성 단말, 자동차 단말 등으로 구분하는 것을 논의하고 있다. 응용 서비스를 단방향 응용 서비스와 양방향 응용 서비스로 구분하고 있다. VLC Regulatory Subcommittee 는 가시광 무선통신 기술 규격을 작성하기 전에 규제와 법에 대한 문제가 있는 여부 등에 대한 규격을 작성하는 것을 목표로 한다. 가시광 무선통신 규제 법안 문서는 LED 가 녹색성장의 규제와 법안과 관련성이 많이 있기 때문에 녹색성장 규제와 법안에 대하여 기술할 예정이다. 또한, 가시광 사용에 대한 시력 안정성 문제, 스펙트럼 관계 분석, 각 나라의 규제 법안 등을 기술할 예정이다.

VLC Technical Requirement Subcommittee 는 가시광 무선통신 규격을 만들기 위한 기술 요구사항을 작성하는 것을 목표로 한다. 기술 요구사항은 성능, 인터페이스, 보안, 안전, 신뢰성, 가용성, 유지보수성을 고려할 것이다. 가시광 무선통신 기술 요구사항은 채널 모델, 토폴로지, 광원 소스와 수신 특성, 전송 속도, 전송 거리, 보안, 파워 소모량, 규제 법안 연계 요구사항 등에 대하여 기술할 예정이다.

일본에서는 VLCC(Visible Light Communication Consortium)을 2003 년 11 월에 결성하여 현재 일본 25 개 기업과 대학을 중심으로 활동하고 있다. 유비쿼터스와 자동차 통신(Intelligent Transport System: ITS)에 응용하는 것을 목표로 설정하고 있다.

WWR(World Research Forum)는 2001 년에 설립되었으며, 현재 140 멤버가 구성되어 있다. 무선과 이동 통신의 연구, 학문, 기술, 산업 등에 대한 미래 방향 및 전략을 수립하는 것을 목적으로 한다. 6 개의 워킹그룹(WG)과 4 개의 특별 그룹(Special Interest Group)으로 구성되어 있다. 특히 WG5 는 Ultra Wideband, MIMO-OFDM, Short Range Optical Wireless Communication 이슈를 다루고 있다. 특히, WG5 는 가시광 무선통신을 미래 기술로 인식하고 가시광 무선통신에 대한 백서(White Paper)를 작성하였다.

4. LED 응용 그린 IT 기술 발전 전망

가. LED 응용 그린 IT 기술 도출

기존의 반도체 소자를 이용한 메모리와 마이크로프로세서 칩은 컴퓨터, 음악기기, 네이비게이터, 이동통신 단말기, 자동차 제어 전장 장치 등에서 매우 다양하게 이용되고 있다. 그린 IT의 핵심 소자로 분류되는 LED는 빛을 발산하고 이 빛을 디지털로 제어할 수 있기 때문에 <표 2>와 같이 다양한 응용이 가능하다. LED 응용은 조명 응용, RGB LED 색상제어 응용, LED 가시광 무선통신 응용, 네트워크 LED 조명제어 응용 등으로 구분 할 수 있다.

<표 2> LED 응용 그린 IT 분야

분류	기능	응용 분야
LED 조명 응용	밝게 비추는 기능	살내등, 사무실등, 신호등, 가로등, 브레이크등, 전조등, 등대등, BLU, 상태등, 전기 스탠드등
RGB LED 색상제어 응용	컬러 색상 표현 기능	LED TV, 전광판, 집어등, 식물 생장등, 무드등, 판매대 등, 전시등, 색상유도등
LED 가시광 무선통신 응용	무선 통신 기능	M-to-M 무선통신, 살내 측위, 무선 보안 통신, ITS 통신, 자동차간 통신, 광 식별번호(ID) 통신
네트워크 LED 조명제어 응용	네트워크제어 조명기능	살내의 사용자 반응 조명, 센서조명, 경관조명, 테마조명, 상황/환경 적응형 조명등, 그린 스마트 빌딩 조명

LED 조명 응용은 종래의 백열전구나 형광등과 같이 주로 충분한 조도를 공급하는 백색광(White Color) 조명에 초점을 둔 조명의 응용을 말한다. LED 조명등은 백열전구나 형광등에 비하여 전기 효율이 높아 1530 프로젝트에 따라 기존 등이 2015년에는 약 30%가 LED 등으로 교체될 예정이다. 이미 신호등은 대부분 교체되었으며, 신규 아파트 분양에는 부엌등 또는 식탁등이 LED 등으로 적용되기 시작하였다. 핸드폰, TV, 노트북 등의 디스플레이 광원(Back Light Unit: BLU)로 LED를 사용하기 시작하였다. 자동차 브레이크 등은 신규 고급 자동차에는 모두 적용되고 있다. LED 조명 응용의 핵심 원천 기술은 LED 조명기기로써의 역할과 함께 에너지 효율을 극대화시키는 것이다[12].

RGB LED 색상 제어 응용은 앞에서 설명한 바와 같이 광색변환에 의한 심리, 감성조명기기로 활용 가능하므로 살내 인테리어, 경관조명, 실외 건축조명(도시환경), 병실조명 등에서 인간의 섬세한 감성에 미의식, 감정순화, 편안함, 감동 등을 유도하는 조명으로 응용 가능하다. RGB LED 색상 제어 응용의 핵심 원천 기술은 온도, 전류 등에 변화가 심한 LED 소자의 특성을 극복하고 표현하고자 하는 색상을 주변과 조화롭게 재현하는 기술이다.

LED 가시광 무선통신 응용은 조명의 신속한 깜박임을 이용하여 데이터를 전달할 수 있다.

인간의 눈은 깜박임을 인식하지 못하지만, LED 와 PD(Photo Diode)는 상호 정해진 프로토콜에 의하여 정보를 주고 받을 수 있다. 이러한 원리를 이용하면 조명으로서 역할을 하면서 동시에 무선통신도 되는 것이다. LED 가시광 무선통신은 M-to-M 무선통신, 실내 측위, 무선 보안 통신, ITS 통신, 자동차간 통신, 광 식별번호(ID) 통신 등의 응용 서비스를 제공할 수 있다. LED 가시광 무선통신의 핵심 원천 기술은 조명 기능을 상실하지 않으면서 무선통신을 제공하는 것이다.

네트워크 LED 조명제어 응용은 조명기기 간에 네트워크를 통하여 개별적인 어드레싱이 가능하고, 사용자와 상호작용이 가능하도록 하는 응용기술이다. 조명기기 간의 네트워크 연결에 의하여 단일 건물 내의 생활조명과 인테리어 조명으로의 전환 제어가 가능하여 시간대별로 능동적으로 조명 연출이 가능하다. 물론, 능동적인 조명 연출은 인간의 일상 생활과 연계되어 효율적인 전력소모의 제어도 가능하게 한다. 네트워크 LED 조명제어의 핵심 원천 기술은 환경과 가장 조화를 잘 이루게 하기 위하여 네트워크화 된 조명기술을 말하며, 앞서 설명한 LED 조명, RGB LED 색상제어, LED 가시광 무선통신 응용을 융합하는 기술이다.

앞서 설명한 4 가지 기술을 바탕으로 에너지 절감 효과가 가장 크고 시급히 적용하여야 할 분야가 그린 빌딩 조명(Green Building Lighting) 기술이다. 오피스 빌딩은 낮에도 조명을 켜고 있기 때문에 조명 전기의 사용량이 많다. 사용자의 불편함인 어두움을 느끼지 않게 하면서 전기를 절감하게 하는 그린 빌딩 조명 기술을 시급히 개발하여야 한다. 그린 빌딩 조명은 백열등, 형광등, 할로겐등을 LED 조명으로 교체하는 단순 절감 기능이 아닌 스마트 제어 장치와 네트워크에 의해 실현이 가능하다.

나. 그린 IT 실현을 위한 네트워크 LED 조명제어기술

그린빌딩(Green Building)이란 크게는 친환경적인 삶의 터전을 만들자는 그린디자인(Green design)화의 전 세계적인 흐름을 의미한다. 또 다른 그린빌딩의 작은 의미는 의식주(衣食住) 중에 주로 에너지 효율과 직접적인 관련이 있는 주(住)의 건설(building)과 관련이 되어 조명(lightning)의 제어를 네트워크 통신 IT 기술과 접목하여 효율을 극대화시키자는 의미를 가지고 있다. 더 나아가 네트워크에 의해 제어되는 조명은 미학적인 아름다움을 표현하도록 한다.

이러한 그린빌딩은 새로운 표준과 규격을 만들어 내고 있으며 다양한 기술을 출현시키고 있다. 출현하는 새로운 표준과 기술들은 주로 에너지 효율을 중요시하는 조명(lightning)과 직접적인 관련이 있다. 대표적인 그린디자인 프로그램은 다음과 같이 3 가지로 나누어 볼 수 있다.

- LEED(Leadership in Energy and Environmental Design): LEED 는 미국 그린빌딩 위원회에 의해 개발된 인증 프로그램으로 용지 개발, 물 절약, 에너지 효율, 소재 선택과 실내

환경의 다섯 가지 중요 품질에 등급을 정하고 인증하는 위원회이다. 이 인증 프로그램의 경우도 네트워크에 의해 제어되는 LED 조명기기의 사용을 권장한다.

- EPCIA 2005(The Energy Policy Act of 2005): 조명을 포함한 에너지 절약형 기술의 사용을 하면 세금(tax)을 감면해 주는 미국의 인센티브 프로그램이다. LED 조명은 빛 자체가 열을 발산하지 않으므로 추가적인 냉방(cooling) 시스템이 필요 없어 에너지 절약 기술로 사용을 권장하고 있다.
- ENERGY STAR: 에너지 효율적인 제품을 인증하여 비용을 절약하고 환경을 보호하는 인증 프로그램이다. 인증을 습득한 장치에는 ENERGY STAR 라벨(label)이 붙으며 주거용 집에서 뿐만 아니라 상업용 빌딩에서도 사용될 수 있다. LED 조명의 경우 2008년 9월부터 인증작업이 시작되었다.

지식경제부는 최근 ‘그린 IT 전략’에 대하여 발표하였다. 이것은 ‘IT의 녹색화’, ‘IT를 위한 녹색성장 기반구축’, ‘그린 IT 기반 구축’을 주요 내용으로 하고 있다. 이러한 정책은 근간에는 에너지 고효율을 추진하도록 하는 것이며 국제적 환경규제에 대한 적극적인 대응방안을 가지고 있다.

그린 IT 전략을 실현하기 위한 효과적인 방안으로 앞서 설명한 미국의 LED 조명과 연계된 3가지 그린 프로그램의 예처럼 (그림 5)의 그린빌딩 조명 네트워크의 구축에 관심을 가질 필요가 있다. 실제로 미국의 에너지 관리청에 의하면 그린빌딩의 LED 조명은 향후 20년 동안 미국을



(그림 5) 그린 IT 네트워크 LED 조명 제어 기술 개념

기준으로 2,800 억 달러의 에너지 절감효과를 가져올 것으로 기대하고 있으며, 2027년까지 348TWh의 에너지가 절약 될 것으로 보고 있다. 이 정도의 절약된 에너지는 6억 2,600만 배럴의 원유 사용을 줄일 수 있는 엄청난 양이다.

5. 결론

에너지 효율로서 각광 받는 LED 조명은 IT 강국이라고 자부하는 우리에게 새로운 기회임에 틀림이 없다. RGB LED 조명 기술은 다양한 풀 컬러(Full color) 색상의 표현이 가능하여 실내외 다양한 용도로 사용되어질 수 있다. 여기에 우리 나라의 우수한 네트워크 인프라와 결합되고, 전자통신 기술과 융합된 네트워크 LED 조명 제어기술은 그린디자인(Green design)의 실현 기술이며 그린빌딩에서 가장 중요한 제어기술의 역할을 할 것이다.

녹색성장 저탄소의 교토의정서, RoHS, WEEE 등의 규제에 의한 법안에 따라 정보통신 기술도 속도 및 거리 등 성능 중심에서 저탄소를 위한 융합 기술 개발에 집중하여야 한다. 또한, 녹색성장을 위해 생활의 편리성을 해쳐서도 안 된다. 새롭게 태동한 LED 응용 융합 기술은 해결하여야 할 과제는 많지만, 실현 가능성이 높고, 실현되었을 경우에 발생하는 융합 신산업 효과가 매우 클 것이다. 특히, 융합에 의해 발생하는 저탄소 효과를 탄소배출권 또는 거래와 연계한다면 융합기술은 더욱 발전할 수 있다.

따라서, 그린 IT의 시작은 그린 스마트 네트워크 빌딩 조명과 함께 할 것이며, 네트워크 LED 조명 제어기술은 환경과 조화를 이루면서 에너지 효율을 극대화 시키는 기술이 될 것이다.

<참 고 문 헌>

- [1] 김용원, LED 광원 응용기술, LED 광원기술과 응용 워크숍, 2007. 5. 17, p.190.
- [2] LED 기술 및 부품/소재 기술 시장 전망(대신증권 리서치 센터), 산업자료센터, 2008. 8, p.89.
- [3] 황명근, LED 조명 산업 기술 동향, LED 조명산업과 통신산업 융합 가시광 무선통신 표준 기술 워크숍, 2008. 12.18, pp.21-36.
- [4] Visible Light Communications: Tutorials, IEEE 802.15 VLC SG, 2008. 3. 17.
- [5] Tae-Gyu Kang, A vehicle applications on Visible Light Communications, IEEE 802.15 VLC SG, 2008. 2.
- [6] 강태규, 가시광 무선통신 융합 기술, LED 융합 가시광 무선통신(VLC) 표준 기술 워크숍, 2008. 6. 25.
- [7] 강태규, 가시광 무선통신 표준 기술 동향, TTA Journal No.113, pp.85-90.
- [8] 정대광, 가시광 무선통신 미래 서비스 개발, 2008. 12.18, pp.83-90.
- [9] 강태규, LED 조명과 가시광 무선통신 융합기술 동향분석, 전자통신동향분석 23 권 5 호(통권 113 호),

2008. 10. 15, pp. 32-39.

[10] 유영문, LED 반도체 조명기술을 선도한다, 월간전기, 2008년 3월호

[11] 강태규, 녹색성장 저탄소 가시광 무선통신 국내외 표준 동향 분석, 한국통신학회지 26 권 5 호, 2009.5 pp.43-49.

[12] 황명근, 한국의 조명산업(기준 조명 및 LED, OLED 등) 현황, LED World, 2009.5. p.53.

본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회, 정보통신연구진흥원, 한국정보통신기술협회, 한국전자통신연구원의 IT 핵심기술 개발사업의 일환으로 수행하고 있다.