

가시광 파장 대역을 고려한 무선통신 채널 특성 연구

이권형* | 강태규* | 박현철*

KAIST*, 한국전자통신연구원*

요약

가시광 무선통신은 차세대 조명으로 주목 받고 있는 LED(light emitting diode)조명 기술과 무선통신 기술을 융합한 그런 IT 기술이다. 즉, 실내 가정 또는 사무실 환경에서 조명 고유의 기능을 그대로 유지하면서 무선통신을 가능하게 하여야 한다. 가시광 무선통신은 LED 조명이 있는 곳에서는 항상 통신이 가능하며, 병원이나 항공기내와 같이 기존 무선통신에 제약을 받는 환경에서도 통신이 가능한 기술이다. 또한, 실내 LED 조명을 이용함으로써 국소 지역에 특정 서비스를 제공하여 보안성을 높일 수 있다. 가시광 무선통신은 조명산업과의 연계를 통해 통신뿐만 아니라 기존의 조명과, 디스플레이 분야에서 새로운 가치를 창출할 수 있다. 본 고에서는 친환경, 에너지 절감형 반도체 광원을 이용한 LED 조명에 대한 실내의 조도 분포와 가시광 무선통신의 채널 연구에 필요한 항목을 제시한다.

1. 서론

최근 우리나라를 비롯한 세계 각국은 자원 고갈과 지구 온난화에 직면하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 효율적인 에너지 소비를 위한 노력과 함께 화석 연료를 대체할 신재생 에너지를 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

1990년대 이후, 정보통신기기의 급속한 발전은 전력 소비량의 증가와 이산화탄소 배출량의 증가로 연결되어 기후변

화 문제에서 결코 자유롭지 못하다. 2008년 한해, 우리는 국제 유가가 한때 1배럴에 150달러를 육박하는 고유가를 경험했다. 또한 해를 거듭하면서 눈에 띄게 늘어나는 가뭄과 폭우의 자연재해, 그리고 지속적인 기온 상승으로 인한 폭염과 예측 불허의 기상 변화를 경험하고 있다.

지구 온난화 문제와 화석 연료 고갈로 인한 에너지 자원 문제는 더 이상 일부 과학자와 환경 문제 전문가만의 것이 아닌 정부와 기업, 그리고 일반 국민에게 까지 광범위하게 이슈화 되고 있다. 이와 같이 전세계적 문제로 급부상하고 있는 온실 가스에 의한 지구 온난화 및 기후 변화에 보다 적극적으로 대응하기 위하여 1997년 12월 제 3차 기후 변화 당사국 총회(Conference of Parties III: COP3)에서는 지구 온난화 규제 및 방지를 위한 국제 협약으로 교토 의정서를 채택하여, 온실 효과를 일으키는 온실 가스 배출량을 감축하도록 하고 있다. 당시 우리나라는 개발도상국으로 분류되어 1차 이행 기간인 2008년부터 2012년까지는 강제 이행 국가에 포함되지 않았으나, 2차 이행 기간(2013년 ~ 2017년)에는 강제 이행 국가에 포함될 것으로 예상된다. 2005년 6억만 톤의 이산화탄소를 배출한 우리나라는 세계 9위 탄소 배출 국가로서, 1990년에 3억만 톤을 배출한 것과 비교하면 15년 사이에 2배 증가 하였다. 그러므로 온실 가스 감축 의무 대상국이 된다면 사회적, 경제적 부담은 더욱 커지게 될 것이다.

2008년 우리나라는 환경과 에너지에 대한 관심과 새로운 성장 동력을 모색하기 위해 녹색 성장 산업 육성에 집중을 하고 있다. 이에 따라 조명 산업에 있어서는 친환경, 에너지 절감형 광원인 LED 조명에 주목을 하고 있다.

1872년 필라멘트 백열등이 발명된 이래로 100년 이상 백열

등은 조명 시장을 대표해 왔다. 그러나 오늘날 백열등은 에너지 비효율의 상징으로 역사의 뒷안길로 사라질 운명에 처해 있다. 미국은 2012년부터 100W 급 백열전구의 판매를 금지시키고, 2014년에는 모든 백열전구가 판매 금지될 예정이다. 유럽연합(EU)은 2010년부터 100W 급 백열전구의 판매를 금지시키고, 2012년부터 백열전구의 판매가 금지된다. 우리나라도 2013년까지 백열전구를 전면 퇴출시킬 계획이다. 따라서 소형 형광등(CFL: compact fluorescent lamp)과 LED 조명과 같은 고효율 조명이 백열등을 대체할 전망이다.

1993년 일본에서 최초로 청색LED를 개발한 이후, 1996년 청색LED에 노란색 형광체를 사용해 백색LED를 개발하여 조명시장에 새로운 광원의 탄생을 알렸다. LED 조명은 백열등에 비해 1/10 수준에 불과한 낮은 소비 전력을 쓰면서, 형광등보다 100배 정도 긴 수명을 지니고 있어, 설치 후 교체나 유지 보수가 거의 필요 없고, 진동이나 충격에도 강한 내구성을 보이고 있다. 또한 형광등에 사용되는 수은과 같은 중금속 물질을 사용하지 않아 친환경적이다 [1], [2].

LED 광원의 장점으로 낮은 전력 소비량과 긴 수명을 들 수 있다. 백열전구는 전력의 2%만을 빛으로 전환시키지만, LED 조명은 6배 가까운 12%를 빛으로 변환시켜 전력 소모가 낮다. 또한 기존 전구의 수명이 최대 4,000 시간인데 반해, LED의 수명은 10만시간 정도로 비교할 수 없는 긴 수명을 자랑하고 있다.

현재 사용되고 있는 100W의 백열전구로부터 방출되는 광속(luminous flux : Φ)을 측정해 보면 대략 1,600루멘(lm) 정도가 된다. 이 경우에 100W의 전력을 소모하고 있으므로 1W 당 방출되는 광속은 16lm/W가 된다. 이를 광변환 효율(luminous efficacy)이라 하며 단위는 lumen/Watt이다. 그러면 실제로 16lm/W의 광변환 효율을 갖는 백열등의 실질적인 광변환 효율(luminous efficiency)이 얼마인지를 계산해 본다. 1W의 전력을 사용하여 16lm의 광속을 발생시킬 경우, 1W의 최대 광전력은 683lm에 해당하므로 광변환 효율은 2.34% ($=16/683 \times 100\%$)가 된다. 이상에서 볼 때 100W 백열등에서 빛으로 변환되는 양은 2.34W이고 나머지 97.66W는 모두 열로 소모됨을 알 수 있다. 이와 같이 백열등은 광변환 효율이 매우 낮으므로 대부분의 전력을 낭비하게 되는 결과를 가져온다. 그러므로 조명용으로 효과적인 사용을 위해서는 광변환 효율이 높은 광원을 사용해야 한다. 현재 실내 조

명으로 광범위하게 사용되는 형광등의 경우에는 약 80~90lm/W의 광변환 효율을 가지고 있으며 백열등에 비하여 같은 밝기를 내기 위해 전력이 매우 적게 소모됨을 알 수 있다.

LED 광원의 또 다른 장점으로 친환경적이라는 것이다. 기존 광원이 수은과 납 등의 중금속을 쓰고 있지만, LED는 이러한 중금속을 사용하지 않는 RoHS(Restriction of Hazardous Substances)규제를 따르고 있다 [3]. RoHS는 6가지 유해 물질인 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 육가크롬(Cr6+)의 중금속과, 브롬계 불난연제인 PPB, PBDE의 사용 규제에 대한 지침으로 EU에서 2006년 7월부터 자국으로 수입되는 모든 전기 전자 제품에 대해 앞서 언급한 유해물질의 사용을 금지하는 규제이다.

II. 가시광 무선통신의 기술적 배경

가시광 무선통신 기술은 백열등과 형광등 같은 기존 조명이 LED 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로서, 조명 장치에 통신 기능을 더한 새로운 융합(convergence)기술이다. 차세대 조명으로 주목 받고 있는 백색 LED는 조명기기뿐만 아니라 광 무선통신의 송신기로 사용하여 시너지 효과를 극대화할 수 있다. 2002년 일본에서 백색 LED를 이용하여 실내조명과 통신을 접목하는 시도를 하였다 [4].

가시광 무선통신의 장점으로 광대역 정보 전달이 가능하고, 빛의 물질 투과성이 전파에 비하여 낮아 개인 정보 은닉성이 뛰어나며, 자연적으로 널리 존재하는 빛을 이용함으로써 인체 무해하고, 기존 라디오 주파수(radio frequency: RF)대역을 이용하는 통신과 혼선 가능성이 없으며, 통신을 위한 주파수 허가 및 사용료가 없다. 반면에 단점으로는 거리의 제공에 반비례하는 감쇄 특성으로 인한 짧은 도달 거리와 간섭광(자연광인 태양광과 형광등 및 백열등의 인공 조명)에 의한 간섭 현상, 상대적으로 고가인 고성능 광부품, 그리고 보완 및 경쟁 관계인 무선 통신 수단의 급격한 발전이 있다.

본 절에서는 조명 관점과 무선통신 관점에서 가시광 무선

통신의 기술적 가능성을 알아보고 가시광 대역을 고려한 채널 모델 연구에서 고려해야 할 사항을 제시한다.

1. LED 조명 특성

조명에는 태양광을 이용한 주광조명(晝光 照明)과 전등과 같은 인공조명(人工照明)이 있다. 태양광은 인간이 느끼는 색과 기타 모든 빛의 근원이지만 계절, 시간, 기후에 따라 변동이 크다. 최근 들어 생활 패턴이 다양해지고, 지하 생활공간이 늘어나면서 일상생활을 위해서 자연채광을 비롯하여 백열등과 형광등 그리고 LED 조명 같은 인공조명이 추가로 필요하다. 특히 LED 조명의 경우, 공공시설에 적용된 사례는 버스 정류장, 가로등, 블라드(차도와 보도의 경계를 표시하거나 보행 구간으로 차량 진입을 막기 위한 차단물), 그리고 바닥 매립형 보행 유도등 및 차선 표시등이 대표적이다. 2008년 4월부터 할로겐 램프 및 백열전구 대체용 LED 조명이 고효율 기자재 인증 품목으로 추가 되었다 [5].

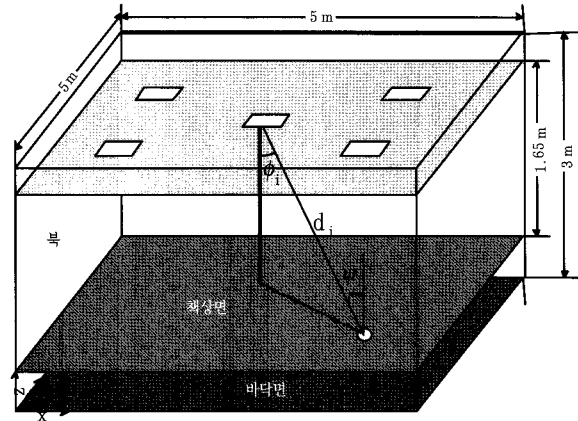
조명의 밝기를 측정하는 단위로 조도(illuminance: E)를 사용한다. 조도는 광원으로부터 발생하는 빛이 단위 면적당 입사되는 광속의 양으로 단위는 룩스(lx)를 사용한다. 한국 산업규격 KS-A-3011 조도 기준 [6]에 따르면 주택의 실내 조도는 최소 150lx에서 최대 600lx 사이를 만족해야 한다. 백색 LED를 이용한 LED 조명이 실내 조명으로 적합하지 않아 언급한 실내 조도 기준을 이용하여 알아본다.

〈표 1〉 KS-A-3011 실내 조도 기준

구분	분류	조도 [lx] 최소-평균-최대
학교	강당, 도서관	150-200-300
	교실, 실험실	300-400-600
	정밀실험 / 제도	600-1,000-1,500
주택	주방, 거실	150-200-300
	공부, 독서	300-400-600
사무실	회의실	150-200-300
	키보드 작업	300-400-600
병원	병실	150-200-300
	수술실, 응급실	600-1,000-1,500
상점	백화점 진열대	600-1,000-1,500

모의 실험을 위하여 (그림 1)과 같이 면적이 25m² 이고 높이가 3m인 실내를 가정한다. 좌표계는 북쪽 벽과 서쪽 벽이 바닥과 교차하는 지점을 원점으로 하고, 남쪽은 x방향으로, 동쪽을 y방향으로, 천장을 z방향으로 한다. 평판 LED 조명

은 총 5개가 높이 2.5m에서 바닥을 보고 위치한다. 각각의 LED 조명은 100개의 LED 칩으로 구성된다. 모의 실험에 사용된 파라미터는 〈표 2〉와 같다.



(그림 1) 모의 실험을 위한 조감도 (5×5×3m³)

높이 2.5m에 위치한 LED 조명의 빛이 바닥에 도달하는 수평 조도(E_{hor})는 다음과 같이 정의 된다 [4].

$$E_{hor} = \sum_{i=1}^{N_{LED}} \frac{\Phi_i \cos^m(\theta_i) \cos(\psi_i)}{4\pi d_i^2},$$

$$m = -\ln 2 / \ln(\cos \Phi_{1/2}), \tag{1}$$

이때 N_{LED} 는 LED 칩의 개수, Φ_i 는 광속이고, m 은 Lambertian emission 차수이다. i 번째 LED 칩에 대한 입사각(ψ_i)과 발광각(θ_i), 그리고 광원으로부터 바닥면까지의 거리(d_i)에 대한 관계는 (그림 1)과 같이 정의한다.

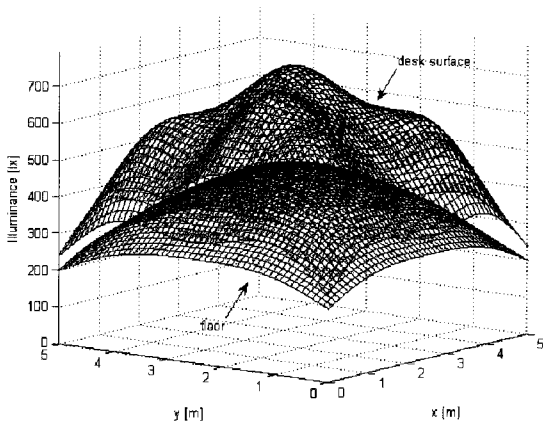
〈표 2〉 모의 실험을 위한 파라미터

LED 칩 [7]		
빔 각도 ($\Phi_{1/2}$)	120 [deg]	
광속 (Φ)	140 [lm]	
평판 LED 조명		
LED 칩 (N_{LED})	100 [chip] × 5 LED 조명	
LED 칩 간격	6 [cm]	
크기	60 × 60 [cm ²]	
	바닥면	천장면
수평 조도 [lx] (최소-평균-최대)	{200,350,470}	{240,500,740}
균일도(uniformity)	0.57	0.48
평균 조도 이상인 실내 영역	$E_{hor} \geq 200$ 24.95m ²	$E_{hor} \geq 400$ 19.28m ²

모의 실험 결과, 바닥면에 도달하는 수평 조도는 (그림 2)와 같다. 바닥면의 평균 조도는 350lx이다. 이는 한국산업규격 KS-A-3011 주택의 실내 조도 기준(평균 조도 200lx)을 따르고 있다. 또한, 책상높이를 고려하여 바닥면에서 85cm 높이에서의 평균 조도는 500lx이다. 그러므로 주택에서 독서를 위한 기준(평균 조도 400lx)을 만족하고 있다. 실내 조명이 공간을 고르게 밝혀 주는 척도, 즉 균일도는 ISO 8995:2002에 의하면 다음과 같이 정의 하고 있다.

"The uniformity of the illuminance is the ratio of the minimum to average value. ... The uniformity of the illuminance of the immediate surrounding areas shall be not less than 0.5"

모의 실험 결과, 균일도는 바닥면에서 0.57을 보이고, 책상면에서 0.48을 보이고 있다.



(그림 2) 바닥면과 책상면에서의 조도분포

2. 가시광 무선통신의 채널 특성 연구

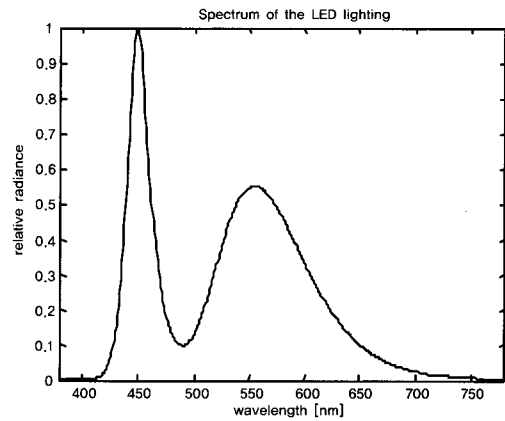
적외선 무선통신의 경우, 950nm의 적외선을 이용하는 반면, 가시광 무선통신은 가시광 대역(380nm ~ 780nm)의 전자기파를 이용하여 통신을 한다. 그러므로 기존의 RF대역을 사용하는 통신 방식과는 많은 차이점이 있을 것으로 예상된다. 하지만, 아직까지 가시광 무선통신을 위한 채널 특성에 대한 연구가 미비하며, 공식적인 채널 모델이 없어 이에 대한 연구가 시급하다.

적외선 무선통신의 채널 특성을 계산하기 위한 전통적인 방법으로는 ray-tracing 기법이 있다 [8]. 이러한 기법은 광원

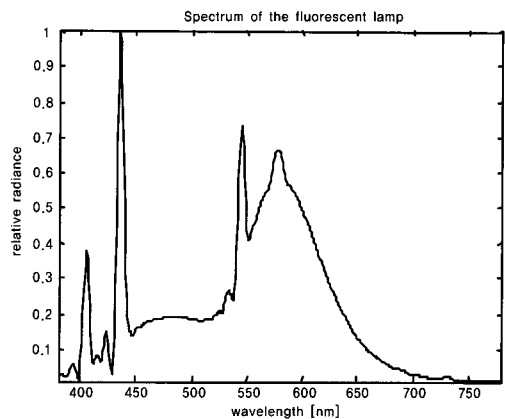
으로부터 방사된 빛이 정해진 차수의 반사 경로를 통과하여 다중 반사에 의한 시간 분산을 계산함으로써 반사 차수가 높아지거나 경로가 많아지면, 그에 따른 계산량이 증가하는 경우도 있다. 하지만, 최근 들어 고성능 컴퓨팅 기술의 발전으로 이러한 문제는 해결되었다.

Ray-tracing 기법을 이용한 가시광 무선통신 채널 특성 연구에서 고려되어야 할 항목은

- LED 광원의 스펙트럼 특성
- 반사면의 모델링
- 반사면의 매질에 따른 반사 계수
- 복수의 조명을 고려한 다중 경로 분산 (multipath dispersion)
- 채널 임펄스 응답을 이용한 수신 광 전력에 있다.



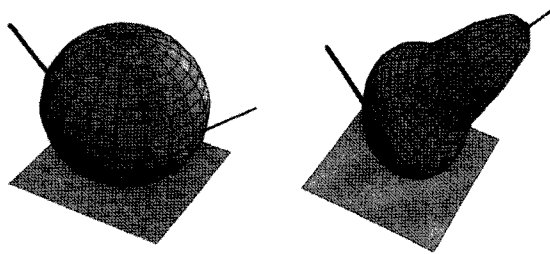
(a) 평판 LED 조명



(b) 형광등 조명
(그림 3) 조명의 스펙트럼 분포

첫째, 가시광 무선통신의 송신 광원인 실내 조명용 백색 LED의 구현 방법은 RGB 3색 조합 방식과 청색 LED 칩에 형광체를 도포하는 방식이 있다. (그림 3 (a))는 실내에서 사용되는 평판 LED 조명의 스펙트럼 특성을 보이고 있다. 조명 시장에 현재 출시된 LED 조명은 기술적, 경제적 이유로 대부분 청색 LED 칩에 형광체를 이용한 방식을 채택하고 있다. 참고로 (그림 3 (b))는 조명 시장에서 흔히 구할 수 있는 형광등의 스펙트럼 분포를 보이고 있다.

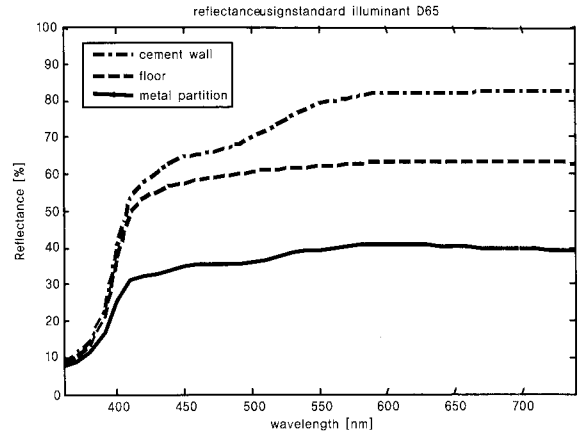
둘째, 반사된 빛의 모델은 크게 다음의 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 첫째는 벽면이나 천장을 Lambertian 빛을 발생시킬 수 있는 난반사체로 가정하는 것이다. 즉, (그림 4 (a))와 같이 반사면으로 입사된 빛이 반사되면서 모든 방향으로 고르게 반사되는 것이다. 또 다른 모델은 (그림 4 (b))와 같이 Lambertian 반사에 특정 방향의 반사 성분이 추가된 Phong의 모델이다[9].



(a) Lambertian 반사 패턴 (b) Phong의 모델에서 기술된 반사 패턴

(그림 4) 반사 패턴 [9]

셋째, 적외선 통신의 반사 계수는 Gfeller의 연구 [10]에서 처음으로 언급되었다. 다시 말해, 950nm의 적외선 (monochromatic light)을 이용한 실내 석고 벽면(plaster wall)의 측정된 반사 계수는 0.70 ~ 0.85사이의 값이다. 그러나 가시광 무선통신의 경우, 380nm ~ 780nm의 가시광 대역에 존재하는 빛을 이용하여 통신을 하므로 가시광 대역에서의 반사 계수를 고려해야 한다. 즉 (그림 5)와 같이 특정 건축 마감재(시멘트 벽면, 금속 재질의 파티션, 사무실 바닥면)로부터 반사된 빛을 세밀하게 분광하여 각 파장에서의 반사율을 측정하여야 한다.



(그림 5) 매질에 따른 가시광 대역에서의 반사율

넷째, (그림 1)과 같이 복수의 실내 조명 환경을 고려한 다중 경로 분산은 광원으로부터 출발한 빛이 벽이나 반사체에 반사되어 광 검출기로 입사되는 경우, 심볼간 간섭(ISI : inter-symbol-interference)이 발생을 하며, 고속 통신에서 성능 저하의 요인이 된다. 다중경로 분산은 임펄스 응답 $h(t)$ 으로 표현 가능하다. 즉, 수신된 광신호의 세기 $s(t)$ 는 송신 광신호의 세기 $x(t)$ 와 채널 임펄스 응답 $h(t)$ 의 컨볼루션으로 표현된다.

$$s(t) = x(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t-\tau)d\tau. \tag{2}$$

광원과 수신기 사이에 반사면이 없이 가시거리(LOS: line-of-sight)가 확보되는 경우, 임펄스 응답은 Dirac delta 함수 $\delta(t)$ 로 표현된다. 또한, 반사면을 지니고 있는 실내에서 광원으로부터 방출된 빛은 여러 번 반사된 뒤에 광 검출기에 도달되며, 이 때의 임펄스 응답은 다음과 같다.

$$h(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h^{(k)}(t). \tag{3}$$

이 때, $h^{(0)}(t)$ 는 앞서 언급한 무반사의 임펄스 응답이고, $h^{(k)}(t)$ 는 k 번 반사한 뒤 도달한 임펄스 응답이다 [11].

마지막으로, 채널의 임펄스 응답을 이용한 수신 광 전력의 계산은 다음과 같다.

$$P_r = P_t \int_{-\infty}^{\infty} h(t)dt. \tag{4}$$

이때, P_t 와 P_r 은 각각 송신과 수신 전력이다. 이러한 채널

임펄스 응답을 이용한 수신 광 전력의 계산 방법에는

- recursive method [8]
- statistical approach [11]
- DUSTIN algorithm [12]
- Monte Carlo calculation [13]
- modified Monte Carlo scheme [14]
- iterative site-based modeling [15] 방법이 있다.

본 절에서는 반도체 광원인 LED 조명의 실내 조도 분포를 모의 실험을 통해 제시하였다. 모의 실험 결과, LED 조명은 실내 조도 기준을 만족하고 있음을 보였으며 실내 조명으로 손색이 없음을 알게 되었다. 또한, 정보 송신을 위한 광원으로 LED 조명을 이용하는 가시광 무선통신의 채널 특성 연구를 위한 고려 요소를 반도체 광원의 스펙트럼 분포, 실내 건축 마감재의 반사 모델 및 반사 계수, 복수의 조명에 의한 임펄스 응답 및 수신 광 전력으로 나누어 논하였다.

III. 결 론

본 고에서는 그린 IT관점에서 백열전구, 형광등과 같은 기존 조명이 LED를 이용한 반도체 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 가시광 무선통신의 필요성을 제시하였다.

가시광 무선통신의 기술적 배경으로 실내 광원으로써 LED 조명의 조도 분포와 무선통신 관점에서 채널특성 연구의 고려 사항을 알아보았다. LED 조명은 실내 조도 기준을 만족하도록 조명의 위치 및 개수를 조절하는 것이 중요하며 이는 실내 인테리어 단가와 상관관계(相關關係)를 갖는다. 그리고, 무선 통신 관점에서 가시광 무선통신의 채널 특성 연구는 1)LED 광원의 스펙트럼 특성, 2)실내 건축물의 반사 모델링 및 반사 계수, 3)복수의 조명을 고려한 다중 경로 분산 및 수신 광 전력이 고려되어야 한다.

가시광 무선통신은 이제 막 탄생한 기술로서, 앞으로 해결해야 할 과제는 다음과 같다.

- 주변 광 간섭에 의한 통신 품질의 저하 개선
- LED 조명을 위한 구동 회로와 무선통신을 위한 회로의 상이성 해결

- 가시광 무선통신 표준 마련
- LED 조명 표준 마련
- 조명용 LED를 이용한 무선통신의 전송 효율 향상
- 가시광 대역에 적합한 광 검출기의 성능 개선

이들 문제점들은 산학연의 LED 전문가 및 통신 전문가들이 상호 협력하여 해결해야 한다. 새로운 통신 패러다임의 하나인 가시광 무선통신은 해결 해야 할 과제는 많지만, 실현 가능성이 높고 실현 되었을 경우에 발생하는 파급 효과가 크므로 신 성장 동력으로 그 가치는 충분하다.

Acknowledgement

본 연구는 지식경제부 및 방송통신위원회, 정보통신연구진흥원의IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음.

[2008-F-009-02, IT조명통신융합 380~780 나노미터 가시광 RGB 선별 무선통신 연구]

참 고 문 헌

- [1] 삼성경제연구소, “차세대 광원 LED의 부상과 대응방안,” SERI 경제 포커스, 2007년 4월 23일 (제 140호)
- [2] 김지동, “LED 조명기술동향: 기술동향분석보고서,” 한국과학기술정보연구원 (KISTI), 2004년 1월
- [3] 이권형, 박현철, “가시광 LED를 이용한 무선통신 시스템,” 제 18회 통신정보 합동학술대회 (JCCI 2008), 제주도, 2008년 4월 23일 ~ 4월 25일
- [4] Yuichi Tanaka, “A study on optical wireless communication systems and their application,” *Ph. D. Dissertation*, Keio University, January 2002
- [5] 에너지 관리 공단 보도자료 2008년 4월 2일: <http://www.kemco.or.kr>
- [6] 한국 산업 규격, KS-A-3011 조도 기준
- [7] 삼성전기 SUNNIX, <http://www.sem.samsung.co.kr/>
- [8] John R. Barry, *Wireless Infrared Communications*, Kluwer Academic Publishers, 1994
- [9] C. R. Lomba, R. T. Valadas, and A. M. de Oliveira Duarte, “Experimental characterization and modeling of

the reflection of infrared signals on indoor surfaces," *IEE Proceeding of the Optoelectron*, vol. 145, no. 3, June 1998

- [10] Fritz R. Gfeller and Urs Bapst, "Wireless in-house data communications via diffuse infrared radiation," *Proceeding of the IEEE*, vol. 67, no. 11, November 1979
- [11] R. Perez-Jimenez, J. Berges, and M.J. Betancor, "Statistical model for the impulse response on infrared indoor diffuse channels," *IEE Electronics Letters*, vol. 33, no. 15, July 1997
- [12] F.J. Lopez-Hernandez and M.J. Betancor, "DUSTIN: Algorithm for calculation of impulse response on IR wireless indoor channels," *IEE Electronics Letters*, vol. 33, no. 21, October 1997
- [13] F.J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, and A. Santamaria, "Monte Carlo calculation of impulse response on diffuse IR wireless indoor channels," *IEE Electronics Letters*, vol. 34, no. 12, June 1998
- [14] F.J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, and A. Santamaria, "Modified Monte Carlo scheme for high-efficiency simulation of the impulse response on diffuse IR wireless indoor channels," *IEE Electronics Letters*, vol. 34, no. 19, September 1998
- [15] J. B. Carruthers and Prasanna Kannan, "Iterative site-based modeling for wireless infrared channels," *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 5, May 2002

약 력



이 권 형

2000년 명지대학교 학사
 2003년 한국정보통신대학교 석사
 2005년 삼성전자 반도체총괄(메모리사업부)
 현재 KAIST 박사과정
 현재 한국전자통신연구원 위촉연구원
 관심분야: 가시광 무선통신, Chaotic UWB



강 태 규

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



박 현 철

1983년 연세대학교 전자공학과 공학사
 1985년 연세대학교 전자공학과 공학석사
 1997년 Georgia Institute of Technology 공학박사
 1985년 ~ 1991년 삼성전자 책임연구원
 1997년 ~ 2002년 삼성전자 수석연구원
 2002년 ~ 2009년 한국정보통신대학교 부교수
 2009년 ~ 현재 KAIST 부교수
 관심분야: 광대역 무선통신, 정보이론

