

# 전송 거리 및 입사각에 따른 가시광 통신 시스템 성능 분석에 관한 고찰

김균탁<sup>1</sup>, 한두희<sup>1</sup>, 이계산<sup>1</sup>, 이규진<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>경희대학교 전자전파공학과, <sup>2</sup>세명대학교 전자공학과

## Analysis Performance of VLC System according to the Transmission Distance and Angle of Incidence

Gyun-Tak Kim<sup>1</sup>, Doo-Hee Han<sup>2</sup>, Kye-San Lee<sup>3</sup>, Kyu-Jin Lee<sup>4\*</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Department of Electric & Radio Engineering, Kyunghee University  
<sup>4</sup>Department of Electronic Engineering, Semyung University

**요약** 본 논문에서는 가시광 통신 에서 시스템 성능에 주된 영향을 주는 요인들에 대해 분석하였다. 일반적으로 발표된 논문들은 가시광 통신 시스템의 전송속도, 전송거리의 증가, 변조 기법을 통한 성능향상 등에 초점을 맞춰 연구가 진행 되고 있다. 이에, 자세한 가시광 통신 시스템 환경을 분석하기 위해 통신 성능에 주된 영향을 주는 통신거리 및 입사각에 따른 성능 분석을 진행하였으며, 모의실험을 통해 성능 감쇄 정도를 확인하였으며, 향후 연구 방향에 대해 고찰 하였다.

**키워드** : 가시광통신, R,G,B 혼합비율, 전송거리, 입사각, 실내 광 채널

**Abstract** In this paper, we analyzed the main factors that affect the performance in Visible Light Communication (VLC) system. Generally, published papers of VLC system have been studies to focus on increased data rates, transmission distance and modulation scheme. Therefore, in order to analyze detailed environment for VLC system, we was performed to analyze the performance of a major impact on the VLC system according to communication distance and the angle of incidence. The computer simulation results show that the performance attenuation was confirmed.

**Key Words** : Visible Light Communication (VLC), Color Mixture ratio, Transmission Distance, Angle of incidence, Indoor Optical Channel

### 1. 서론

최근, 조명 환경과 무선통신 기능을 동시에 제공하는 가시광 통신 (Visible Light Communication, VLC) 기술은 LED 조명 광원에서 발산되는 빛을 이용하여 본질적

인 조명 환경을 제공함과 동시에 무선으로 디지털 정보를 전달할 수 있는 통신 환경을 제공할 수 있는 기술로서 LED 조명 산업의 부가가치와 경쟁력을 배가시킬 수 있고, 향후 이를 기반으로 한 다양한 신규 서비스 시장을 창출할 수 있는 미래 융합 산업으로 학계와 산업계로부

터 주목 받고 있다[1].



Fig. 1. 가시광 통신 응용서비스 개요[2]

가시광통신이란 380nm ~ 780nm의 파장을 갖는 빛을 이용해 정보를 전달하는 통신 기술이며, 무선 통신에 사용되는 주파수로 환산하면 385THz ~ 789THz에 해당한다. 이러한 가시광 대역을 이용하여 정보를 광대역 형태로 전송하거나 근거리 통신에 응용하기 위한 연구가 학계에서는 활발히 진행 되고 있다[3].

조명등을 이용한 가시광 통신의 응용 서비스로 경기장, 박물관, 음식점, 학교, 영화관 등 실내에 설치된 조명 인프라를 활용하여 손쉽게 무선 네트워크를 구축할 수 있으며, 사용자들의 위치정보와 개별 실내 환경에 맞는 맞춤 서비스를 제공할 수 있는 신개념 무선 네트워크 서비스 제공이 가능하다. 또한, 유선광통신망과 전력선 통신(PLC) 네트워크와 연결하여 고품질의 멀티미디어 정보를 사용자들에게 제공이 가능하며, 전자과 간섭으로부터 민감한 의료시설, 원자력 발전소 등에서도 가시광 통신을 이용한 제어 시스템 구축에 관한 연구가 진행 되고 있다[4].

이와 같은 많은 장점에도 불구하고 가시광 통신시스템의 상용화를 위해서는 전송거리의 확장, 다른 조명으로부터의 간섭, 가시 영역(Line of Sight) 확보 등의 제약 조건들을 극복해야 한다. 이에 본 논문에서는 실내 무선 광 채널 분석 및 가시광 통신 시스템 성능 분석을 통해 효율적인 전송 기술에 대해 제안한다.

본 논문은 구성은 다음과 같다 : II장에서는 실내 무선 광 채널 고려 요소 분석 결과를 소개하고, III장에서 분석된 채널 모델을 기반으로 효율적인 가시광 전송 시스템을 제안한다. 이를 통해 IV에서 전송기술별 성능 분석 결과를 제시하며, 마지막으로 V장에서는 본 논문에서

분석한 성능 결과를 통해 향후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 실내 무선 가시광 통신 채널

이번 장에서는 실내 가시광 통신 시스템 채널 모델 소개와 성능 저하요소와 LED소자의 R, G, B특성에 대해 고찰한다.

### 2.1 가시광 채널 모델

일반적으로 통신시스템에서 성능을 측정하는데 BER(Bit Error Rate)로 표현한다. 가시광 통신에서 BER성능은 수신기의 PD(Photo Diode)가 수신하는 빛의 광량에 따라 결정되며, 수신되는 빛의 세기는 조도(Illuminance)로 표현하며, 조도란 일정한 면이 받는 빛의 세기를 그 면적에 비치는 광속으로 타나낸 양을 의미하고, 단위는 룩스(lx)로 표현된다[5]. 실내 환경에서 가시광 통신 시스템은 천장에 설치된 LED 광원(송신기)과 실내 공간에 위치하는 수신기로 구성되어 있다. 송신기와 수신기 사이의 가시광 채널은 LOS(Line of Sight) 와 Non-LOS(Non Line of Sight) 채널 그리고 다른 광원들로부터 들어오는 배경 잡음으로 구성된다. 다른 광원들로부터 들어오는 배경잡음은 AWGN로 모델링되며, 벽면에서 반사되어 들어오는 반사광원은Lambertian 복사강도패턴으로 분석되며, 무선 광 채널에서 수신 신호의 전력은 다음과 같이 정의된다[6].

$$P_r = H(0)P_t \quad (1)$$

여기서,  $P_t$ 는 전송신호의 전력이고,  $P_r$ 은 수신 신호의 전력이며,  $H(0)$ 은 경로 손실을 의미하며, 다음과 같이 정의된다[7, 14, 15].

$$H(0) = \frac{A}{d^2} R_0(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos\psi, \quad 0 \leq \psi \leq \Psi_c \quad (2)$$

수식 (2)를 통해 LOS 광 무선 채널의 경로 손실을 추정 할 수 있으며,  $d$ 는 LED광원과 수신기 사이의 거리를 나타내며,  $\phi$ 는 방사각,  $\psi$ 은 입사각을 의미한다. 또한,  $R_0(\phi)$ 는 LED광원의 방사 세기를 의미하며, 다음과 같이 정의된다[7].

$$R_0(\phi) = \left[ \frac{m+1}{2\pi} \right] \cos^m \phi \quad (3)$$

$$m = \frac{\ln 2}{\ln(\cos \alpha)} \quad (4)$$

여기서  $\alpha$ 는 LED광원의 방사각을 의미한다.

수식 (2)에서  $T_s(\psi)$ 와  $g(\psi)$ 는 광학 필터 이득과 광학 집광기의 이득을 의미한다. 일반적으로 무선 광 시스템에서 수신기는 Long-Pass 광학 필터와 Band-Pass 광학 필터를 사용하는데 이러한 광학필터를 사용함으로써, 주변 광원으로부터 입사되는 산탄잡음의 영향을 감소시킬 수 있으며, 보다 자세한 광학 필터의 효과는 [8, 9]에 소개 되었다. 또한, 광학 집광기는 LED 광원으로부터 입사되는 빛의 집광 영역을 증가시켜 준다. 특히, [9]에서 설명된 반구형의 집광렌즈는 넓은 FOV(Field of View)와 전방향의 집광 이득을 얻을 수 있어 무선 광 시스템에서 널리 사용되고 있는 광학 집광기이다. 이와 같이, 수신기의 PD에 광학 필터와 집광기를 사용함으로써, 무선 광 채널에서 산탄잡음과 LED광원으로부터 수신기로 입사되는 각에 의한 경로손실을 상당부분 완화 시킬 수 있다. 따라서 가시광 통신 시스템에서 시스템의 성능은 결정하는 가장 중요한 요소는 송신기와 수신기의 통신 거리라 할 수 있다.

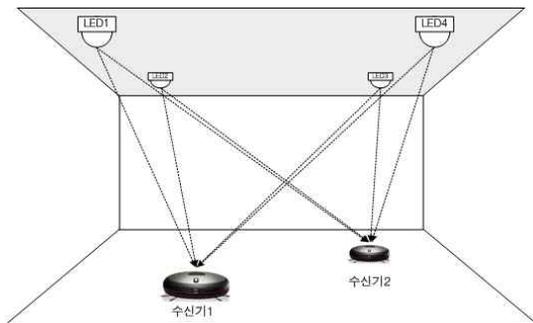


Fig. 2. 실내 가시광 통신 시스템 구성

Fig. 2와 같이 일반적으로 실내 가시광 통신 시스템은 천장에 설치된 LED 광원(송신기)과 실내 공간에 위치한 수신기로 구성되어 있다. 가시광 통신 시스템을 이용하여 근거리 네트워크를 구성할 때, 일반적으로 LED광원은 고정되어 있지만 수신기는 이동을 하면서 위치가 바뀌게 될 수 있다. 이때, LED로부터 수신기까지의 거리는 끊임없이 변화하게 되며, 이러한 이유로 우리는 통신

거리에 따른 성능 분석을 통해 가시광 통신 범위 및 LED 조명의 배치를 고려해야 한다.

## 2.2 백색 LED 광원 RGB 특성

Fig. 3과 같이 백색 LED 조명은 개별 색상 소자인 R, G, B 소자들에 대해 혼합비율을 조절하여 다양한 색상의 광원을 발생시킬 수 있다.

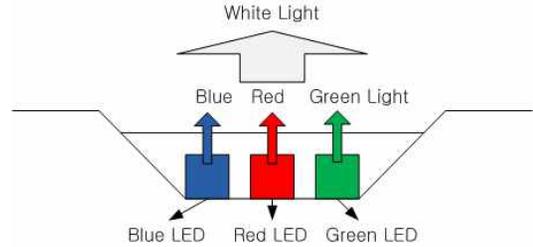


Fig. 3. R,G,B 백색 LED 구조[10]

이러한 혼합 비율은 광전 효율 및 시스템 성능에 큰 영향을 미치며, R, G, B 혼합 비율에 따라 각 소자의 출력 전력 차가 크게 발생하여 각 채널의 성능이 다르게 나타나는 문제점이 있다. 백색 LED에서 R, G, B의 각 칩은 서로 다른 색상의 혼합 비율의 결과와 함께 방출되는 광 전력 세기에 의해 동작 되지만, LED 소자의 전체 전력은 일정하다. 각 채널의 SNR에 대한 값은 아래 수식과 같이 정의 된다[11,12,13].

$$SNR_{Red} = \frac{3R_{red} \left( \frac{P_r K_{red}}{K_{red} + K_{green} + K_{blue}} \right)^2}{qP_{bg}R_b} \quad (5)$$

$$SNR_{Red} = \frac{3R_{red} \left( \frac{P_r K_{red}}{K_{red} + K_{green} + K_{blue}} \right)^2}{qP_{bg}R_b} \quad (6)$$

$$SNR_{Red} = \frac{3R_{red} \left( \frac{P_r K_{red}}{K_{red} + K_{green} + K_{blue}} \right)^2}{qP_{bg}R_b} \quad (7)$$

위 (5)~(7) 수식에서  $P_r$ 은 수신기의 PD에 수신되는 신호 전력을 나타내고,  $K_{red}$ ,  $K_{green}$ ,  $K_{blue}$  는 R, G, B 색깔의 혼합 비율을 나타내고,  $R_{red}$ ,  $R_{green}$ ,  $R_{blue}$  는 색깔에 따른 광전 변환 효율을 나타낸다. 또한 각 채널의 전송률은 전체 전송률  $R_b$ 를 3개의 채널에서 병렬로 전송함

으로써 각 부 채널의 전송률은  $R_b/3$  이 된다.

다음 Table 1은 본 논문에서 성능 분석에 사용되는 LED의 R, G, B 비율을 요약 하였다.

Table 1. R, G, B 혼합 비율 특성

	RED	GREEN	BLUE
계수	0.6356	0.9089	1.4556
광전 변환 효율	0.52	0.5	0.45

### 3. 모의실험 및 성능 분석

#### 3.1 모의실험 파라미터

Table 2는 모의실험에서 사용된 파라미터를 나타낸다. 변조기법은 IM-DD를 사용하였고, 다중화 기법은 WDM을 사용하였다. 또한 데이터 전송률은 100Mbps로 하였고, 다중 채널 모델은 Gfeller and Bapst 모델을 적용하여 성능 검증을 진행한다. Pulse 변조는 가시광 통신 시스템에서 일반적으로 사용되는 OOK(On Off Keying)를 사용하였다.

Table 2. 모의 실험 파라미터

변조 기법	IM-DD
전송률( $R_b$ )	100Mbps
다중화 기법	WDM
잡음모델	AWGN
다중채널 모델	Gfeller and Bapst Model
Background light noise	$10^{-3}$ [dBm]
광 전송 전력	10 [mW]
광전 변환 효율	0.53 [A/W]
통신 거리	0.7 ~ 1.3 [-]
입사각	0 ~ 20 °
Pulse 변조	OOK

#### 3.2 모의실험 결과 고찰

Fig. 4는 광 전송 전력 10mW, 입사각 0°, 10°, 20°에서 통신거리를 0.7 ~ 1.3 [m] 까지 0.1 [m] 단위로 증가시킬 때 수신기에서 측정되는 R, G, B 혼합 신호의 전체 수신 전력을 나타낸 것이다. 성능 검증 결과는 통신 거리가 증가 할수록 신호의 수신 전력은 낮아지며, 특히, 입사각이

증가 할수록, 수신 전력이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다. 여기서, 입사각이 증가한다는 의미는 LED 광원과 수신기의 매핑각 정도가 불일치 정도가 증가한다는 것을 의미한다. 또한, 수식 (2)에서 입사각에 따라 수신 전력은 cos 함수 형태로 감소하기 때문에 입사각이 증가할수록 수신 전력은 급격하게 감소하게 된다.

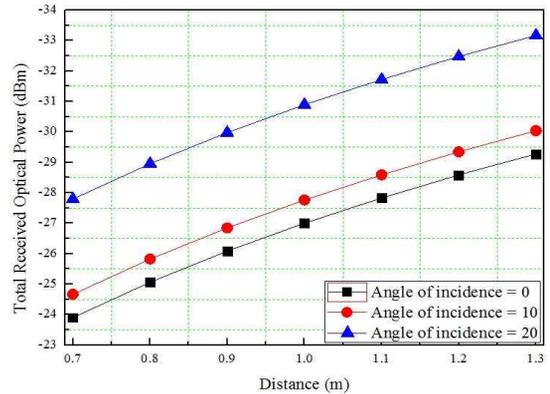


Fig. 4. R, G, B 혼합 신호의 통신 거리 및 입사각에 따른 수신 파워 검증 결과

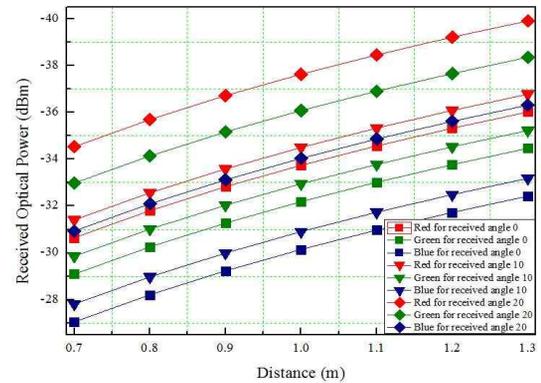


Fig. 5. R, G, B 개별소자 통신 거리 및 입사각에 따른 수신 전력 검증 결과

Fig. 5는 광 전송전력 10mW, 입사각 0°, 10°, 20°에서 통신거리에 따른 R, G, B 각 파장에 따른 수신신호의 전력을 분석한 결과이다. 위 모의실험 결과에서, 동일한 입사각일 때 Blue의 수신 전력이 가장 높으며, 그다음으로 Green, 가장 적은 수신 전력을 보이는 파장대역은 Red이다. 이처럼 LED 소자의 R, G, B 혼합 비율에 따라 각각의 파장에 따른 수신 전력이 다름을 확인할 수 있었으며,

이러한 백색 LED의 R, G, B 특성을 고려한 전송 기술 연구가 계속 진행 되어야 할 것이다.

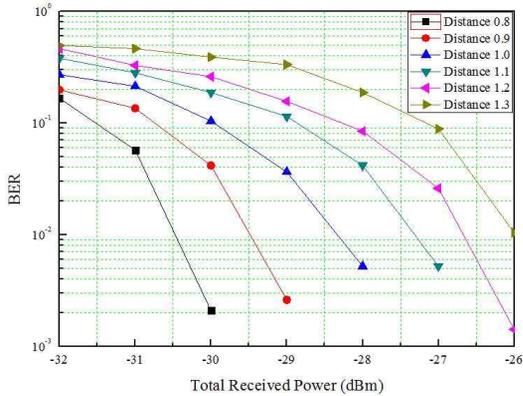


Fig. 6. 입사각 0°에서 통신 거리 증가에 따른 BER 성능 분석

Fig. 6은 입사각 0°에서 통신거리에 따른 시스템 BER 성능 측정 결과이며, 통신 거리가 증가할수록 BER 성능이 저하 되는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 7은 통신 거리 1 [m]에서 입사각에 따른 BER성능 분석 결과이다. 입사각이 증가할수록 BER 성능이 급격히 저하되는 것을 확인할 수 있으며, Fig. 6과 Fig. 7의 모의실험 결과를 통해 가시광 통신 시스템에서 통신거리와 입사각은 시스템 성능에 주요한 요소인 것을 확인 할 수 있다.

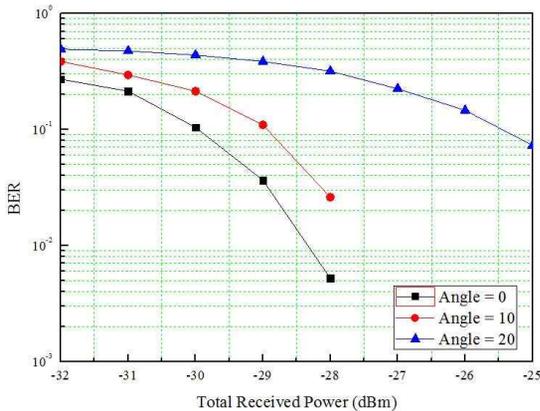


Fig. 7. 통신 거리 1m에서 입사각 변화에 따른 BER성능 검증 결과

#### 4. 결론

본 논문에서는 가시광 통신 시스템의 성능을 미치는 요인들을 분석하고 모의실험을 통해 성능 감쇄 정도를 확인하였다. 모의실험 분석 결과 수신 신호의 전력에 주된 영향을 주는 요소는 통신거리와 입사각이었으며, R, G, B 혼합 비율 특성에 따라서도 각 파장 별로 수신 전력이 다르다는 것을 확인 할 수 있었다.

향후 연구에서는 이와 같은 R, G, B 각 파장의 특성을 이용한 전송 기술과 통신거리 및 입사각에 따른 성능 감쇄정도를 완화하기 위한 연구가 필요 할 것으로 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] S. Z. Wang, "Photon computer is vividly portrayed," *Electron Science and Technology*, vol. 4, pp. 12-13, Jun. 2006.
- [2] X. C. Qi, "Analysis and Resolved Measures of Electromagnetic Interference Under Complicated Electromagnetic Environment," *Transaction of HuaBei Science and Technology Institute*, vol. 2, pp. 119-121, Jan. 2005.
- [3] H. Hansson, "Integrating reliability and timing analysis of CAN-based systems," *IEEE Trans, on Industrial Electronics*, vol. 6, pp. 1240-1250, Dec. 2002.
- [4] J. Zhang, "Design for 8-bit RISC CPU based on FPGA," *Microcomputer Information*, vol. 35, pp. 155-157, Dec. 2006.
- [5] Toshihiko Komine and Masao Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, vol. 50, no.1, Feb. 2004.
- [6] Yuichi Tanaka, "A Study on Optical Wireless Communication Systems and Their Applications," *Keio University*, Jan. 2002.
- [7] J. M. Kahn, and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.
- [8] T. Nakamura and T. Takebe, "Development of znse-based white light emitting diodes," *OPTRONICS*, vol. 19, pp. 126-131, 2000.
- [9] J. P. Savicki and S. P. Morgan, "Hemispherical concentrators and spectral filters for planar sensors in diffuse radiation fields," vol. 33, no. 34, pp. 8057-8061, 1994

[10] Changping Li, "Visible Light Communication Applied in Intelligent Transportation Systems," KyungHee University, 2013.

[11] Lee, Kyu-Jin, Cha, Dong-Ho, Hwang, Sung-ha, Lee, Kye-san, "Study on Scalable Video Coding Signals Transmission Scheme using LED-ID System," Korea Information and Communication Society, vol. 36, no. 10, 2011.

[12] P. Kongetira, "Niagara: A32-way multithreaded Sparc processor," IEEE Micro, vol. 25, pp. 21-29, Feb. 2005.

[13] M. Schutti, "VHDL design of embedded processor cores," in Conf. ASIC. 1998 Proceedings Eleventh Annual IEEE International, pp. 265-269, 1998.

[14] C. C. Han, "Real-time communication in FieldBus multiaccess networks," in First IEEE Real-Time Technology and Applications Symposium, pp. 86-90, 1995.

[15] A. V. Scott, "Truly distributed control systems using Fieldbus technology," in 7th IEEE International Conference and Workshop on the Engineering of Computer Based Systems, pp. 165-170, 2000.

## 저자 소개

김 균 탁(Gyun-Tak Kim) [비회원]



- 2010년 8월 : 전북대학교 전자공학과 공학학사
- 2013년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2013년 1월 ~ 2014년 7월 : KETI 연구원

▪ 2014년 9월 ~ 현재 : 경희대학교 전자전파공학과 박사과정

<관심분야> : OFDM, VLC, MIMO, LR-WPAN

한 두 희(Doo-Hee Han) [비회원]



- 2011년 : 경기대학교 전자공학과 공학사
- 2013년 : 경희대학교 전자·전파공학과 공학석사
- 2013년 ~ 현재 : 경희대학교 전자·전파공학과 박사과정 재학

<관심분야> : LED-ID, OFDM, SVC

이 계 산(Kye-San Lee) [비회원]



- 2002년 : 게이오대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 ~ 2003년 : 일본 KDDI 연구원
- 2003년 ~ 2003년 : 일본 게이오대학 교수

▪ 2003년 ~ 현재 : 경희대학교 전파공학과 교수

<관심분야> : DS-CDMA, OFDM, LED-ID, LTE-A

이 규 진(Kyu-Jin Lee) [정회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학학사
- 2007년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
- 2011년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사

▪ 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 학술연구교수

▪ 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 차세대이동통신, MC-CDMA, Resource Allocation, Mesh Network, VLC