

# 이미지 센서 수신부를 이용한 장거리 2x2 MIMO LED 무선 가시광 통신 실험

전 종 배\*, 김 성 만<sup>o</sup>

## Experimental Demonstration of Long-reach 2x2 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Visible Light Communications Using an Image Sensor Receiver

Jong-Bae Jeon\*, Sung-Man Kim<sup>o</sup>

### 요 약

기존의 LED (Light Emitting Diode)를 이용한 가시광 통신방식은 주로 수 m 의 짧은 전송거리와 수백 Mb/s 이하의 낮은 전송속도를 보여왔다. 이를 타개하기 위하여 본 논문에서는 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) 기술을 가시광 통신에 적용하고자 하는 연구를 수행하였다. 빛은 RF 주파수와는 물리적 특성이 다르기 때문에 기존의 RF 주파수에서 사용되던 MIMO 기술의 이론을 그대로 가시광 통신에 적용하기는 힘들다. 따라서, 본 논문에서는 렌즈를 이용하여 물리적으로 광신호를 분리하고, 이미지 센서를 수신기로 사용하여 MIMO 기술을 구현하는 방식을 채택하였다. 본 논문에서는 상용 이미지센서를 이용하여 채널당 200 bit/s의 전송속도 및 전송거리 10.5 m의 장거리 2x2 MIMO LED 무선 가시광 통신 실험을 구현하였다.

**Key Words** : Visible light communication, MIMO, LED, Image sensor, Wireless optical transmission

### ABSTRACT

The current visible light communication (VLC) systems have a short transmission distance and a low data rate. To overcome this, we studied on the method of applying MIMO technology to VLC. However, it is difficult to apply the original MIMO technology used in RF frequency to wireless VLC. In VLC system, a lens can be used to separate the transmitted signals. And, if we use an image sensor as the receiver, MIMO technology can be applied to LED wireless visible light communication. In this paper, we report an experiment of 2x2 LED wireless visible light communication using a commercial image sensor receiver. We show the experimental demonstration with a transmission length of 10.5 m and a data rate of 200 bit/s.

### I. 서 론

발광효율이 좋은 LED의 기술이 발전되고 가격이 낮아짐에 따라 점차 형광등과 백열등의 조명에 LED 조명으로 바뀌는 추세이다<sup>[1]</sup>. 최근 LED 조명

이 각광을 받게 된 이유는 저 전력, 무 수은, 긴 수명 등과 같이 친환경적인 특징을 갖추고 있으며, 에너지를 빛으로 변환하는 비율도 기존의 백열등 (약 10%)이나 형광등 (약 40%)에 비해 더 높기 때문이다. LED를 이용하여 전기 에너지를 빛으로 변화하

\* 주저자 : 경성대학교 전자공학과, 준회원

<sup>o</sup> 교신저자 : 경성대학교 전자공학과, sungman@ks.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-05-245, 접수일자 : 2012년 5월 9일, 최종논문접수일자 : 2012년 7월 26일

는 비율은 injection 효율, internal 효율, extraction 효율까지 모두 다 감안하여 75% 수준까지 가능할 것으로 보인다. 이러한 LED의 에너지 전환 비율은 연구가 거듭될수록 계속 높아져 가고 있다<sup>[2]</sup>.

LED는 발광효율이 좋아 에너지를 절약할 수 있는 장점이외에 고속의 통신신호를 전달할 수 있는 특징을 가지고 있다. 즉, LED가 단순히 조명으로 사용되는 것뿐만 아니라, 조명에 통신신호를 실어 그 빛이 전달되는 곳에 통신신호를 함께 전달할 수 있다<sup>[3]</sup>.

이렇게 LED 조명을 이용한 무선 가시광 통신 방식은 전자파 신호가 문제를 일으킬 수 있는 비행기 기내나 병원 등과 같은 특수지역에서의 통신용으로 사용될 수 있다. 또한, 버스 정류장에 설치된 LED 조명을 이용하여 버스노선, 배차 시간표, 환승 정보, 도착시간 등의 정보를 휴대 단말기로 수신할 수도 있고, 영화관의 전광판 조명을 이용하여 영화관 앞에서 영화정보, 예매정보 등 정보를 휴대 단말기를 통해 수신할 수도 있다<sup>[4]</sup>.

이러한 LED 조명을 이용한 무선 가시광 통신에 대한 기존 연구결과를 살펴보면, 주로 수 m의 짧은 전송거리와 100 Mb/s 이하의 전송속도를 보이고 있다<sup>[5-9]</sup>. 하지만, 기존의 RF 통신을 뛰어넘는 차세대 실내 무선 통신 용도로 쓰이려면 전송속도를 1 Gb/s 급 이상으로 올리는 연구가 필요하다. 또한, 무선 LAN 용도로 사용하려면 전송거리도 10 m 이상으로 증가시키는 연구도 필요하다.

따라서 본 논문에서는 LED 무선 가시광 통신 기술에 MIMO 기술을 접목시켜 전송속도를 높이고자 하는 연구를 진행하였다. 본 논문에서 제안한 방식은 이미지 센서를 이용한 MIMO 통신방법으로 송신단의 신호를 렌즈를 이용하여 분리한 다음, 이미지 센서를 이용하여 수신하는 방식이다. 본 논문에서는 이러한 방식을 이용하여 각 채널당 전송속도 200 bit/s로 송수신부간 전송거리를 10.5 m에 달하는 2x2 MIMO LED 무선 가시광 통신 실험을 구현하였다.

## II. LED 송신부

<그림 1>는 실험한 LED 송신부의 회로도이다. LED 소자는 Hamamastu 사의 적색 LED인 L10762 소자를 사용하였으며, LED의 peak 파장은 660 nm 근방이다. LED 송신부 회로는 Hamamastu 사 기술문서에 의한 LED 고속 펄스모드의 구동 추

천 회로를 이용하였다<sup>[10]</sup>.

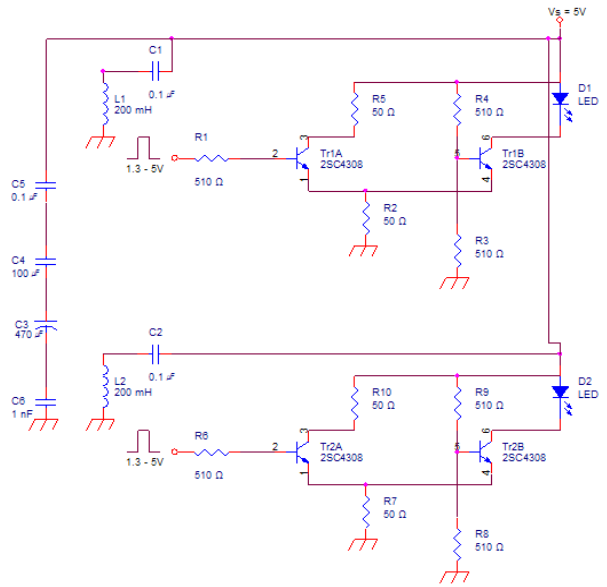


그림 1. LED 송신부 회로도  
Fig. 1. LED transmitter circuit

<그림 1>에서 확인할 수 있듯 회로도에서 2개의 입력 단이 있으며, 이 회로도에서 입력전압이 5V의 전압으로 인가되면 LED의 빛은 소등되고, 0V의 전압으로 인가되면 LED의 빛은 점등되는 구조회로로 즉, 입력전압의 반전된 디지털 신호출력으로 작동한다.

<그림 1>에서 입력 펄스 단에 0V의 입력전압 대신에 1.3V의 입력전압으로 펄스의 전압 값을 인가하는 이유는 수신단의 이미지 센서의 sensitivity가 뛰어나 펄스의 전압 값을 0 V의 입력전압을 인가하였을 경우 이미지 센서에서 보다 정확한 결과를 도출하지 못하였다. 따라서 추가적인 LED 송신부 광 파워 측정을 통하여 입력 단에 최소의 peak-to-peak 전압 값을 통해 LED의 밝기를 조절하기 위해 1.3~5V의 최소 peak-to-to 전압 값을 사용하였다. 측정된 LED 송신부 광 파워는 <그림 2>과 <표 1>에 나타내었다.

## III. 이미지 센서 수신부

본 실험에서 사용한 이미지 센서는 CCD 이미지 센서로 Hamamastu 사의 S11071-1004 라는 모델을 사용하였으며, C11288 이라는 모델의 구동회로를 이용하여 이미지 센서 수신부를 구현하였다<sup>[11]</sup>.

실험에서 사용한 이미지 센서는 총 1044 x 22 픽셀을 가지고 있으며, 이미지 센서 앞에 일반렌즈

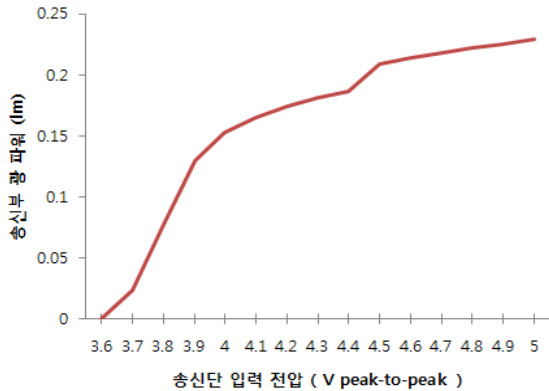


그림 2. LED 송신부 광 파워 측정 그래프  
Fig. 2. Optical power graph of the LED transmitter

표 1. LED 송신부 광 파워 측정  
Table 1. Optical power of the LED transmitter

(단위: lm)		(단위: lm)	
인가된 입력전압	측정된 광 파워	인가된 입력전압	측정된 광 파워
1.4-5 V (3.6 V peak-to-peak)	0	0.6-5 V (4.4 V peak-to-peak)	0.186
1.3-5 V (3.7 V peak-to-peak)	0.024	0.5-5 V (4.5 V peak-to-peak)	0.209
1.2-5 V (3.8 V peak-to-peak)	0.077	0.4-5 V (4.6 V peak-to-peak)	0.214
1.1-5 V (3.9 V peak-to-peak)	0.129	0.3-5 V (4.7 V peak-to-peak)	0.218
1.0-5 V (4 V peak-to-peak)	0.153	0.2-5 V (4.8 V peak-to-peak)	0.222
0.9-5 V (4.1 V peak-to-peak)	0.165	0.1-5 V (4.9 V peak-to-peak)	0.225
0.8-5 V (4.2 V peak-to-peak)	0.174	0-5 V (5 V peak-to-peak)	0.229
0.7-5 V (4.3 V peak-to-peak)	0.181		

를 사용하여 2개의 LED 송신신호가 이미지 센서의 각기 다른 픽셀에 초점이 맺히도록 구현하였다. 이렇게 구현된 수신부 전체의 실제 모습을 <그림 3>에 나타내었다.

#### IV. 이미지 센서를 이용한 2x2 LED MIMO 통신 실험

앞서 설명한 LED 송신부 및 이미지 센서 수신부를 이용하여 LED MIMO 통신 실험을 수행하였다. 수행한 실험에 대한 block diagram을 <그림 4>와 실험 setup에 대한 전체사진을 <그림 5>에 나타내었다. 이러한 실험 setup에서 LED의 송신부와 이미지 센서 수신부간 전송거리를 10.5m로 하여 2개

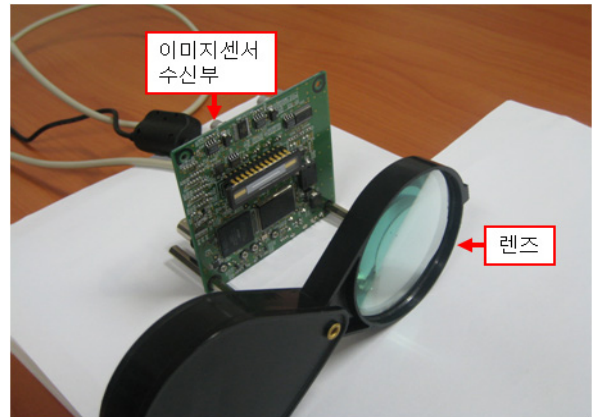


그림 3. 이미지 센서 수신부  
Fig. 3. Image Sensor Receiver

의 LED 구동회로에 각 채널당 전송속도 100 bit/s와 각 채널당 전송속도 200 bit/s로 각기 다른 디지털 신호를 인가하고 이미지 센서를 이용하여 각기 다른 디지털 신호를 수신하는 실험을 수행하였다. 참고로, 타 조명들은 모두 소등한 상태에서 실험을 수행하였다.

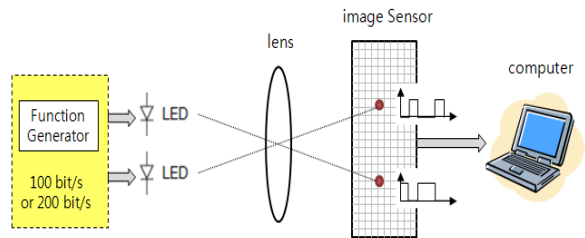


그림 4. 2x2 LED MIMO 통신의 실험 block diagram  
Fig. 4. Block diagram of 2x2 LED MIMO communications

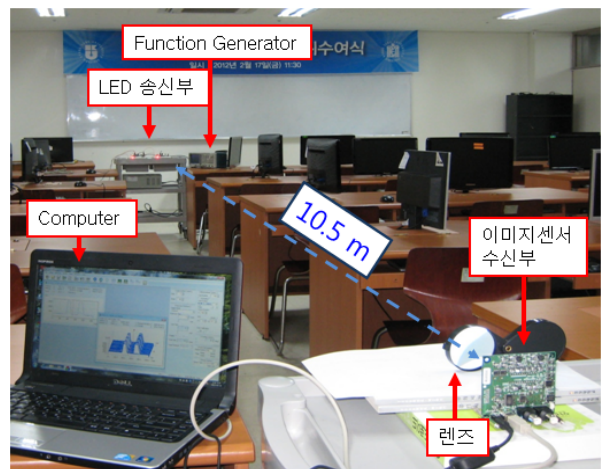


그림 5. 장거리 2x2 LED MIMO 무선 가시광 통신의 실험 setup  
Fig. 5. Experimental setup of long-reach 2x2 LED MIMO wireless visible light communications

### V. 실험 결과

<그림 5>와 같은 실험 setup에서 LED 송신부와 이미지 센서 수신부의 사이의 전송거리를 10.5 m로 하여 2개의 LED 구동회로에 각 채널당 전송속도 100 bit/s로 자기 다른 디지털 신호를 전송하는 실험을 수행하였다.

<그림 6>은 이러한 상황에서 이미지 센서에 수신된 신호를 나타낸 그림이다. <그림 6(a)>에서 확인할 수 있듯 2개의 LED 송신부에서 송신된 신호가 이미지 센서에 2개의 자기 다른 상으로 맺힌 것을 알 수 있다. 이를 시간 축(y축)에서 보면 <그림 6(b)>와 같이 시간에 따라 2개의 피크 값이 자기 변조된 신호 값에 따라서 서로 다르게 변조되는 것을 확인할 수 있다. 이를 확인하기 위하여 2개의 맺힌 상에서 첫 번째 상의 픽셀 중의 하나인 413번 픽셀에 대해 시간 축으로 얻은 데이터 값을 <그림 7(a)>에 나타내었고, 두 번째 상의 픽셀 중의 하나인 650번 픽셀에 대해 시간 축에서 얻은 데이터 값을 <그림 7(b)>에 나타내었다.

2개의 LED 송신부에서는 반전회로를 거쳐 최종적으로 10010 패턴이 반복되는 채널 1번과 01011 패턴이 반복되는 채널 2번으로 구성되어있다. 앞선 <그림 7>에서 알 수 있듯이 2종류의 패턴이 각 픽셀에서 정상적으로 수신되는 것을 확인할 수 있다.

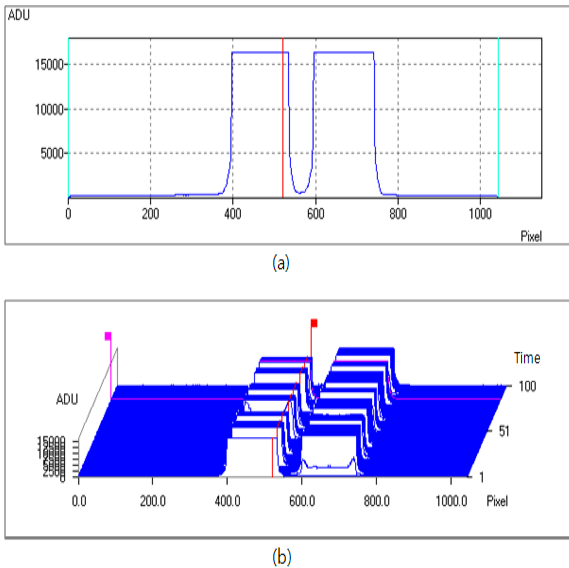


그림 6. 각 채널당 전송속도 100 bit/s의 측정된 결과  
 (a) 이미지 센서에 수신된 신호의 모습  
 (b) 시간(y축)에 따라 이미지 센서에 수신된 신호의 모습  
 Fig. 6 Experimental result of 100 bit/s per channel  
 (a) received signal at the image sensor  
 (b) received optical signal as a function of time and pixel

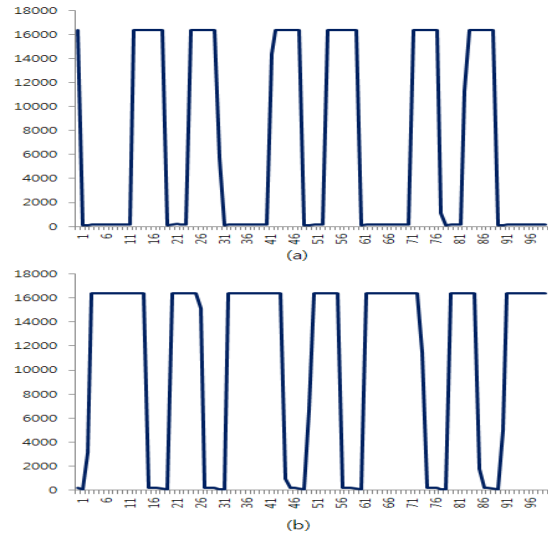


그림 7. 각 채널당 전송속도 100 bit/s의 수신된 데이터 신호  
 (a) 413번 픽셀에서 수신된 데이터 신호 (10010 패턴반복), x축은 시간, y축은 수신전압  
 (b) 650번 픽셀에서 수신된 데이터 신호 (01011 패턴반복), x축은 시간, y축은 수신전압  
 Fig. 7. Received data signal at 100 bit/s data rate  
 (a) received signal at 413 pixel (10010 pattern)  
 (b) received signal at 650 pixel (01011 pattern)

또한, 전송거리를 10.5 m 에서 2개의 LED 구동 회로에 각 채널당 전송속도 200 bit/s로 전송속도를 증가시켜 실험을 해보았으며, 이를 <그림 8>에 나타내었다. 이번 실험에서는 수신 픽셀을 바꾸어 1번 채널은 434번 픽셀을, 2번 채널은 627번 픽셀에서 수신 데이터 값을 측정하여 이를 <그림 9>에 나타내었다.

<그림 9>의 결과를 살펴보면, 전송속도를 200 bit/s로 증가시켰을 때에 10010 패턴이나 01011 패턴이 수신된 것을 확인할 수 있으나, 전송거리가 멀어 다소 오류가 발생할 것으로 판단된다.

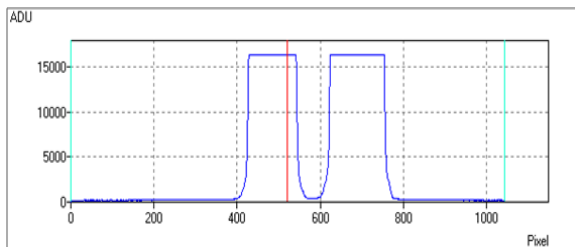
### VI. 결론

본 논문에서는 2개의 LED 송신부와 이미지 센서 수신부를 이용하여 2x2 LED MIMO 무선 가시광 통신 실험을 구현하였다. 최대 전송거리는 10.5 m, 각 채널당 최대 전송속도는 200 bit/s (총 400 bit/s) 이었다.

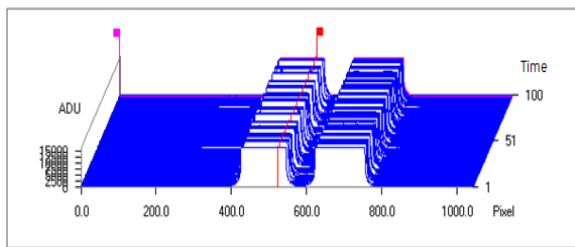
본 논문의 실험결과 중에서 각 채널당 전송속도가 100 bit/s (총 200 bit/s)인 경우의 실험결과에서 두 종류의 패턴이 각 픽셀에서 정상적으로 수신된 것을 실험결과를 통해 확인할 수 있었고, 각 채널당

전송속도 200 bit/s (총 400 bit/s)의 실험결과에서도 각 채널당 전송속도 100bit/s 실험과 같이 수신신호가 정상적으로 수신된 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 전송거리가 멀어 다소 오류가 발생할 것으로 판단된다.

비록 본 논문에서는 2x2 MIMO 무선 가시광 통신 실험하는데 그쳤지만, 동일한 방법을 그대로 이용하면 다 채널의 MIMO 실험도 충분히 가능할 것으로 예측된다. 또한, 현 실험의 전송속도는 상용 이미지 센서의 처리속도의 한계로 인해 200 bit/s에 머물렀지만, 고성능의 이미지 센서를 이용하거나 향후 이미지 센서 소자의 발전에 따라 MIMO 가시광 통신 용량이 증가할 수 있을 것으로 전망된다.

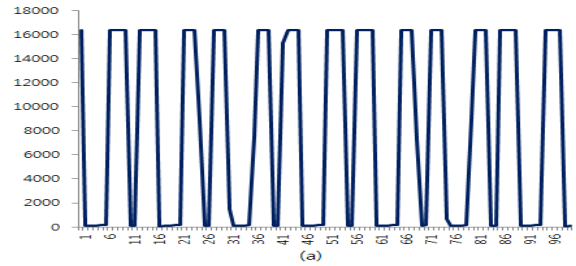


(a)

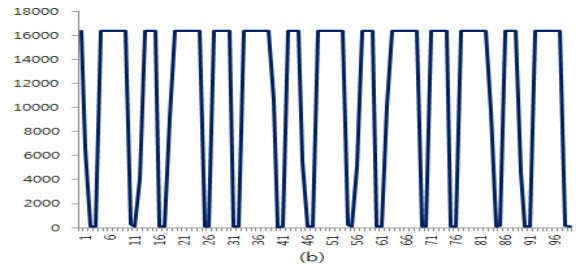


(b)

그림 8. 각 채널당 전송속도 200 bit/s의 측정된 결과  
(a) 이미지 센서에 수신된 신호의 모습  
(b) 시간(y축)에 따라 이미지 센서에 수신된 신호의 모습  
Fig. 8. Experimental result of 200 bit/s per channel  
(a) received signal at the image sensor  
(b) received optical signal as a function of time and pixel



(a)



(b)

그림 9. 각 채널당 전송속도 200 bit/s의 수신된 데이터 신호  
(a) 434번 픽셀에서 수신된 데이터 신호 (10010 패턴반복), x축은 시간, y축은 수신전압  
(b) 627번 픽셀에서 수신된 데이터 신호 (01011 패턴반복), x축은 시간, y축은 수신전압  
Fig. 9. Received data signal at 200 bit/s data rate  
(a) received signal at 434 pixel (10010 pattern)  
(b) received signal at 627 pixel (01011 pattern)

### 참 고 문 헌

- [1] Gu. Y., N. Narendran, J.P. Freyssinier, "White LED Performance", 4th International Conference on Solid State Lighting, Proceedings of SPIE 5530, pp.119-124, 2004.
- [2] Tae-Keun Kim, "White LED design and implementation", Photonics Conference 2010, Tutorial I, Dec. 2010.
- [3] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, M. Nagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights", IEICE Trans, on Communications, Vol. E86-B, No. 8, pp.2440-2454, 2003.
- [4] Jongbae Jeon, Jungho Choi, Sung-Man Kim, "MAC Protocol Design for Visual Light LAN using LED Light", Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 36, No. 4, pp.391-398, April 2011.
- [5] Klaus-Dieter Langer and Jelena Vučić, "Optical Wireless Indoor Networks: Recent Implementation Efforts", European

Conference and Exhibition on Optical Communication 2010, paper We.6.B.1, Sep. 2010.

- [6] J. Vučić, L. Fernández, C. Kottke, K. Habel and K.-D. Langer, "Implementation of a Real-Time DMT-based 100 Mbit/s Visible-Light Link", European Conference and Exhibition on Optical Communication 2010, paper We.7.B.1, Sep. 2010.
- [7] Kyeong Sun Lim, Sungkeun Baang, Yong Up Lee, "Realization of Non-carrier Visible Light Communication System based upon LED IT", Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 36, No. 9, pp.1117-1125, Sep. 2011.
- [8] Gwang-Hyun Key, Kyung-Rak Sohn, "A Study on the Duplex Wireless Communications Using LED Lighting", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 34, No. 6, pp.852-857. Sep. 2010.
- [9] Yeon-Joo Kim, Kyung-Rak Sohn, "A study on the Frequency Modulation-based Audio Transmission System for Short-range Underwater Optical Wireless Communications", Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 36, No. 1, pp.166-171, Jan. 2011.
- [10] "Technical information LED", Hamamatsu, pp. 3-4, Feb. 2007.
- [11] "C11288 Driver circuit for CCD Area Image sensor control software", Instruction Manual, Hamamatsu, July 2009.

전 종 배 (Jong-Bae Jeon)



2011년 2월 경성대학교 전자공학과 학사  
 2011년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> LED 무선 광통신, 이동통신, IT 융합

김 성 만 (Sung-Man Kim)



1999년 2월 KAIST 전기및전자공학과 학사  
 2001년 2월 KAIST 전기및전자공학과 석사  
 2006년 2월 KAIST 전기및전자공학과 박사  
 2006~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원  
 2009년 3월~현재 경성대학교 전자공학과 교수  
 <관심분야> LED 무선 광통신, 이동통신, 광통신, IT 융합