

# 집광된 IR-LED를 이용한 가시광 통신 상향 전송 프로토타입 구현

장윤선\*, 최경목\*, 주민철\*, 박영일°

## Prototype Implementation of VLC Upstream Transmission Using Focused IR-LED

Yunseon Jang\*, Kyungmook Choi\*, MinChul Ju\*, Youngil Park°

### 요 약

본 논문에서는 가시광 통신(visible light communication: VLC) 상향 전송에서 전송거리 확대를 위한 전송방식을 제안하였다. 이를 위해 집광된 infrared(IR)-light emitting diode(LED)의 출력을 이용하여 조명에 위치한 광수신부에 전송하였다. 이러한 집광을 하는 경우 지향성이 너무 커서 IR-LED를 조명부 수신모듈에 정확히 향하지 않는다면 전송이 어렵게 되는 문제점이 있는데, 이를 해결하기 위해 여러 개의 IR-LED를 조금씩 다른 방향을 향하도록 배치하고, 수신부와 통신을 통해 이 중 최고의 전송성능을 보이는 IR-LED를 선택하는 방법을 제안하였다. 통신 성능을 주기적으로 감시하고, 성능이 저하되면 LED 재검색 과정을 통해 새롭게 최상의 성능을 보이는 LED로 통신을 교체하도록 한다.

**Key Words** : 가시광통신, LED조명, IR-LED, Uplink, 양방향통신

### ABSTRACT

In this paper, we propose a upstream transmission method to extend coverage in visible light communication (VLC) systems. We extend transmission distance by using focused infrared(IR) light emitting diodes(LEDs). Since the focused light covers just limited area, it might have a difficulty in transmitting data if the transmitter and receiver are not properly aligned. To solve this problem, we arrange multiple IR-LEDs in different direction and select a single best performing IR-LED among multiple IR-LEDs. Also, the transmission performance is periodically checked and another IR-LED is reselected to support the required quality of service (QoS) and to minimize battery consumption required by a mobile terminal.

### I. 서 론

조명용 Light Emitting Diode(LED) 제조 기술의 발전과 함께 수명이 길고 전력소모가 적으며 고속응답의 특성을 가지고 있는 LED를 이용한 가시광 통신(Visible Light Communication: VLC)은 더욱 많은

관심을 받고 있다. 이 통신방식은 RF를 이용하지 않으므로 주파수 허가가 필요하지 않고, 기존 주파수 간섭 없이 넓은 LED 대역폭을 사용할 수 있으며, 물리적 보안기능이 뛰어난 동시에, 고속 멀티미디어 데이터 전송도 가능해서 전파를 대체할 차세대 홈 네트워크 수단으로 꼽히고 있다. 가시광통신의 속도 개선은

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성 지원사업 (NIPA-2012-H0301-12-2007) 및 방송통신위원회/한국방송통신전파진흥원 방송통신기술개발사업(2012-11911-011111)의 지원으로 수행되었음.

◆ 주저자 : 국민대학교 전자공학과 광대역통신 연구실, thdusc1020@hanmail.net, 준회원

° 교신저자 : 국민대학교 전자공학과 광대역통신 연구실, ypark@kookmin.ac.kr, 종신회원

\* 국민대학교

논문번호 : KICS2012-07-319, 접수일자 : 2012년 7월 16일, 최종논문접수일자 : 2012년 9월 3일

위해서 OFDM 변조방식이 적용되기도 하고<sup>1,2)</sup>, 또한 컬러 가시광통신을 위해서 PWM, VPPM 등 다양한 변조방식이 적용되기도 하였다<sup>3,4)</sup>. 그러나 가시광통신의 문제점 중 하나는 단말에서 조명 방향으로의 상향 전송이 쉽다는 것이다. 상향 전송은 양방향 전송이 필요한 네트워킹을 위해 반드시 필요한 기능이며, 이를 위해서는 충분한 전송거리, LED 조명의 간섭 배제, 전력 효율성 등을 확보할 수 있는 전송 방식이 이용되어야 한다. 그 동안 여러 방법들을 이용한 상향 전송 시도는 있었으나<sup>5)</sup>, 아직 만족할 만한 해결책은 제시되지 않았고, IEEE 802.15.7에서 만들어진 가시광통신 표준<sup>6)</sup>에서도 상향전송은 제외되었다. 본 연구에서는 Infrared(IR) LED의 출력을 렌즈 등으로 집광하여 조명에 위치한 광수신부에 전송함으로써 전송거리를 확보하는 전송 방식을 제안하였다. 이때, 집광 정도가 크면 전송거리가 증가하는 반면 송수신 정렬을 어렵게 만든다. 즉, IR-LED를 이용하여 3m 이상의 전송을 위해 집광을 하는 경우에는 지향성이 너무 커서 LED를 조명부 수신모듈에 정확히 향하지 않는다면 전송이 어렵게 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 여러 개의 IR-LED를 조금씩 다른 방향을 향하도록 배치하고, 이들을 수신부와 통신하도록 하여 이 중 최고의 전송성능을 보이는 IR-LED를 선택한다. 또한 단말이 이동하는 경우를 대비하여 통신 성능을 주기적으로 감시하고, 성능이 저하되면 LED 재검색 과정을 통해 새롭게 최상 성능을 보이는 LED로 통신을 교체하도록 한다. 동시에 다른 LED는 출력을 끄고 대기 상태에 들어가도록 함으로써 단말의 배터리를 절약한다. 본 논문에서는 위 과정을 수행하는 알고리즘을 제안하고 제작한 프로토타입의 테스트 결과를 제공한다.

## II. 양방향 가시광통신 구조 및 상향링크 선택 알고리즘

그림 1에서는 가시광통신의 조명장치(Lamp)에서 단말(Mobile)을 향하는 하향전송과 반대 방향의 상향 전송에 이용되는 광원 및 수신부의 배열을 보여주고 있다. 단말에서는 4개의 IR-LED 칩으로 구성된 광원을 사용하며, 조명부 PD에 효율적으로 신호를 전송할 수 있도록 배치한다. 이 중 최적 전송성능을 보이는 한 개의 IR-LED를 그림 2와 같이 선택하여 통신에 활용한다.

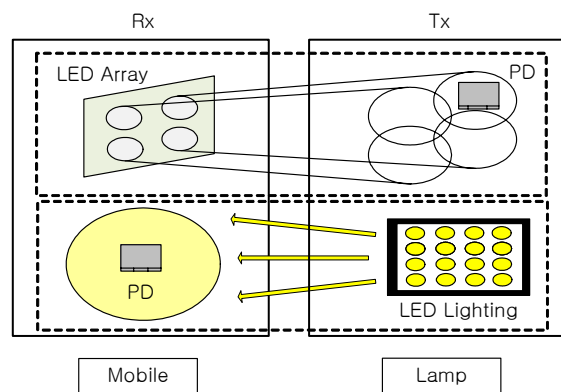


그림 1. 양방향 송수신 배열  
Fig. 1. Arrangement of bidirectional transceivers

최적 전송성능을 보이는 LED를 선택하기 위해서는 4개의 IR-LED를 순차적으로 동작하면서 조명부로부터 피드백을 받는데, 이때 제어 채널은 그림 3과 같이 (Preamble+ SFD+ID)+DATA로 구성되어 있으며 팔호 부분은 그림에서와 같이 모든 IR-LED가 함께 전송하도록 함으로써 PD의 신호 수신 확률을 키워서 클럭 동기 및 데이터 수신 준비를 원활히 하도록 한다. SFD (Start Frame Delimiter) 는 데이터의 시작 위치를 알려주고, ID는 IR-LED의 식별을 위해 또한 DATA는 전송 성능의 확인을 위해 사용된다.

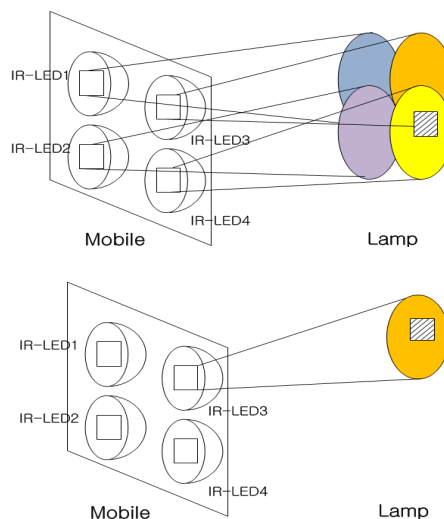


그림 2. 최적 성능 IR-LED 선택  
Fig. 2. Selection of IR-LED with best performance



그림 3. 제어 채널 프레임 구조  
Fig. 3. Frame structure of control channel

한편, 모바일 단말의 특성상 전송 도중 움직임이 발생할 수 있으며, 이때 통신 성능이 저하되면 IR-LED를 재검색 하도록 하였다. 즉, 데이터 전송 도중 주기적으로 성능을 확인하여 일정량 이상의 오류가 측정될 경우 다시 최적의 IR-LED를 선택하는 과정을 반복함으로써 사용자의 움직임에 따른 통신장애를 막고 있다. 그림 4에서는 전송 초기 IR-LED 선택 및 전송 도중 채널 재검색 과정을 보이고 있다. 전송 시작 단계에서 4개의 모바일 IR-LED는 차례로 제어신호와 테스트 데이터를 전송하며, 조명부에서는 성능측정을 통해 현재 상태에서 최적 IR-LED를 선택하고 이 정보를 단말로 전송한다. 그러면 다시 단말에서는 조명부를 향해 'ACK' 신호를 전송함으로써 준비를 하도록 한 후 선택한 IR-LED를 통해 데이터 전송을 시작한다. 한편, 전송 데이터에는 parity bit를 싣고 수신부에서 이를 검출하도록 함으로써 일정 오류 이상이 발견되면 조명부는 단말을 향해 'reselection'을 요청한다. 그러면 앞서 했던 채널 선택과정을 반복하여 다시 최고 성능을 보이는 IR-LED를 선택한다.

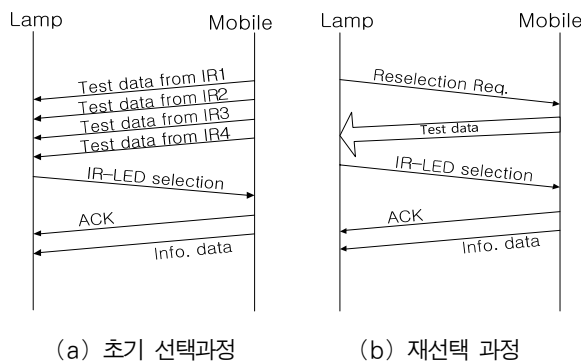


그림 4. IR-LED 선택을 위한 프로토콜  
Fig. 4. Protocol for IR-LED selection

### III. 테스트베드 구성 및 시뮬레이션

위 II절에서 설명한 상향 전송 과정을 IR-LED에 적

용해 테스트베드를 제작하고 시험을 통해 제안된 시스템의 성능을 분석하였다. 효율적인 전송을 위해 4개의 IR-LED는 그림 5와 같이 배치하였다.  $\theta$ 는 LED가 수직선과 이루는 각도이며,  $d$ 는 LED와 천장과의 거리,  $h$ 는 수직 거리를 의미한다.

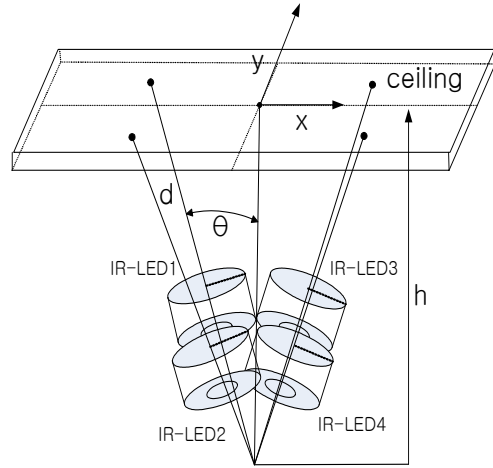


그림 5. 상향 전송을 위한 IR-LED 배치  
Fig. 5. Positioning of IR-LED for upstream transmission

$\theta$  값은 LED 빔들의 간격에 해당하며, 만일 이 값이 너무 크면 LED 빔들의 중심부 광세기가 작아 통신이 불안정해 지며, 너무 작으면 LED가 커버하는 면적이 작아 상향 전송 시 모바일부의 움직임에 민감해 지게 된다. 따라서  $\theta$ 는 LED 빔의 집광 및 천장 높이 등을 고려하여 결정해야 한다. LED의 빔 크기, 천장 높이,  $\theta$ 값 등의 관계를 수식을 통해 분석해 보았다. PD에 수신되는 LED 광신호의 DC 이득은 다음 식 (1)과 같이 표현된다<sup>7-9)</sup>.

$$H(0) = \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) T_s(\psi) g(\psi) \cos(\psi) \quad (1)$$

위 식에서  $A$ 는 PD의 물리적 검출 영역,  $d$ 는 PD와 IR-LED 사이의 거리,  $\phi$ 는 LED 빔 중심축으로부터의 각도,  $\psi$ 는 PD에서의 입사각에 해당한다.  $T_s(\psi)$ 는 광학 필터의 신호 투과율을 의미하며,  $g(\psi)$ 는 concentrator 이득이다. 또한  $m$ 은 Lambertian 형태 LED 빔의 차수에 해당하며, 다음 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$m = \frac{-\ln 2}{\ln(\cos \Phi_{1/2})} \quad (2)$$

이때  $\Phi_{1/2}$ 는 IR-LED의 집광 정도를 나타내는 인수

로서, LED 빔의 half power semi-angle에 해당하며 LED 칩 전면부에 설치하는 렌즈 혹은 concentrator의 특성에 의해 결정된다.

그림 6에서는 조명장치의 높이(h)가 단말로부터 3m 떨어진 곳에 위치하며, 4개의 IR-LED는 중심으로부터 네 방향으로 15°만큼 기울여 설치하였을 경우 조명부에서의 수신 광세기를 계산한 결과이다. 이 때 IR-LED의 중간 세기 빔 각도(beam angle)  $\Phi_{1/2}$ 는 15°로 설정되었으며  $\psi=0$ ,  $T_s(\psi)=1$ 로 하였다. 만일 통신이 가능한 광세기가 -33 dBm 이상이라면, 그림 6으로부터 조명 주변의 2m×2m 범위 내에서는 전송 성능을 확보할 수 있음을 알 수 있다.

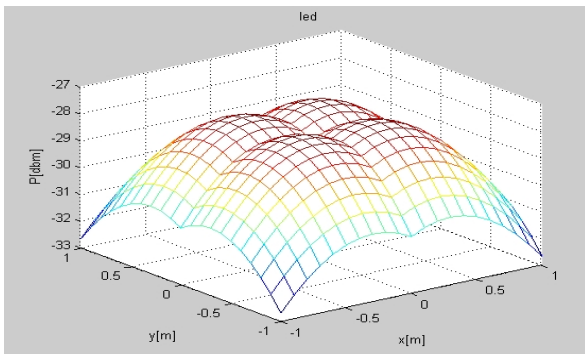


그림 6. IR-LED에 의한 천장에서의 광세기 분포  
Fig. 6. Received optical power distribution of IR-LED on the ceiling

본 연구에서 제안된 알고리즘은 VHDL을 이용하여 프로그램 하였으며, Xilinx사의 FPGA 보드를 이용하여 실험을 수행하였다. 그림 7은 VHDL 스키메틱을 이용한 송수신 블록도에 해당한다. 단말부는 프리앰블 및 식별코드 등의 데이터를 생성하는 부분과 조명부에서 오는 신호를 받아 채널 선택 및 재선택 여부를 판별하는 부분으로 나뉘어져 있다. 조명부는 클럭 동기부, 최적 성능 IR-LED 판별부, 수신성능 감시부 등으로 이루어져 있다. 그림 8은 VHDL 프로그램에 의해 전송 초기에 4개 IR-LED가 순차적으로 제어 채널을 전송하고 (그림 8(a)), 또한 이로부터 한 개의 채널을 선택하는 과정(그림 8(b))을 보여주고 있다. 그림에서 LED1~4는 LED의 동작을 보이고 있고, error\_cnt1~4는 각 LED 채널의 오류를 계수한 결과를 나타낸다. 이 실험에서는 오류가 가장 적은 3번째 채널을 선택하여, LED3만 켜고 다른 LED는 모두 끈 결과를 보이고 있다.

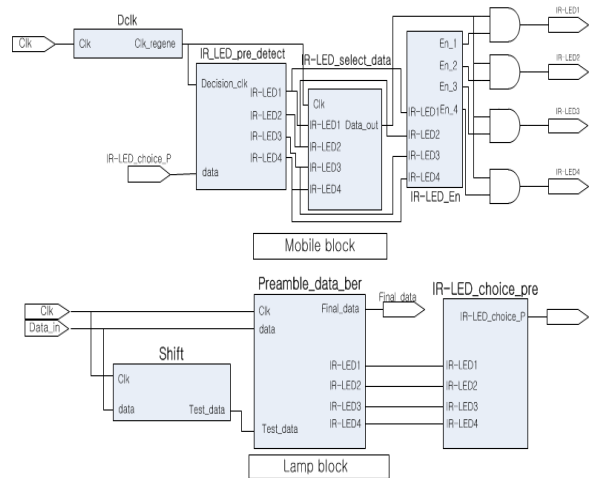
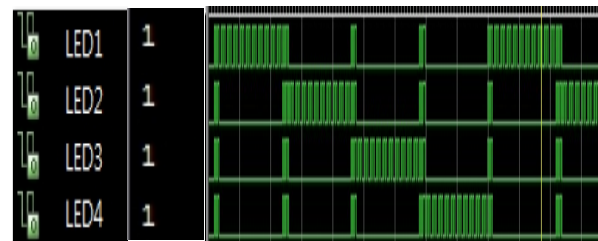
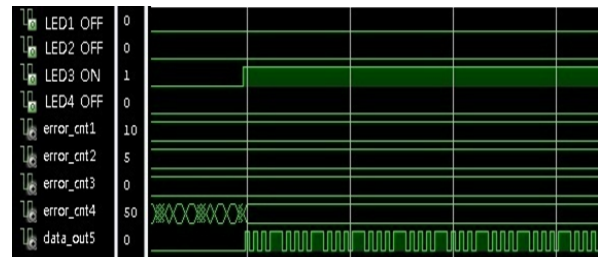


그림 7. 송수신부 VHDL 스키메틱  
Fig. 7. VHDL schematic of transmitter



(a)



(b)

그림 8. VHDL 시뮬레이션 결과 (a) 4개 IR-LED 제어 채널 전송 (b) 채널 선택 (LED3)  
Fig. 8. VHDL simulation results (a) transmission of 4 IR-LED control channels (b) Channel selection (LED3)

#### IV. 테스트베드 시험 결과

본 절에서는 위 2~3절에서 제안한 전송부 및 알고리즘을 구현하고 테스트베드를 제작하여 실험한 결과를 설명한다. 그림 9는 실험에 이용한 테스트베드를 보이고 있다. 그림에서 Pulse Pattern Generator에서는 200 kbps 속도의 유사 랜덤 데이터를 발생하고 있으며, Error Detector에서는 이 신호를 수신하여 원 발생 신호와 비교함으로써 오류 비트를 계수하는 기능을 한다. 200 kbps는 VLC 표준화에서 지정하고 있는 속도 중 하나에 해당하며<sup>[2]</sup>, 이 속도는 향후 증가할 계획이

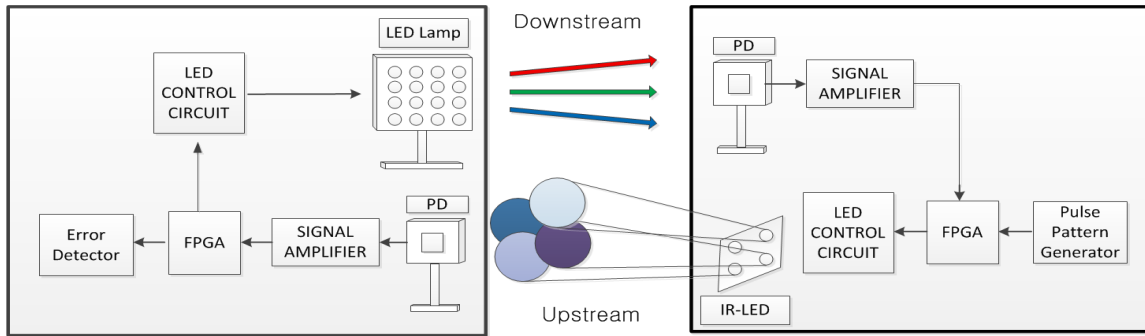


그림 9. 제안된 구조 및 알고리즘을 적용한 테스트베드  
 Fig. 9. Testbed of the proposed structure and algorithm

다. 그림의 하향 LED 램프에는 0.5 Watt RGB LED 36개가 이용되고 있으며, 램프가 켜진 환경에서 상향 전송 실험을 수행하였다. 이때 LED 램프 빛의 일부가 조명부 PD에 피드백 되어 들어가면 큰 간섭을 일으키게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서 PD 전면에 적외선 필터를 사용하였다. IR-LED로는 빔 각도 ( $\Phi_{1/2}$ )  $\pm 13^\circ$ , 순방향 전류 100 mA, 최대 출력 500mW/Sr을 이용하였다 (OSRAM SFH 4350). 또한 조명부와 단말부 사이 거리는 약 80cm로 하였으며, 조명 LED 램프에는 21V의 전압을 가하였고 이 때 IR-LED의 전류 크기를 변화하며 BER (Bit Error Ratio) 값을 측정하였다. 조명부와 단말부 사이 거리의 최종 목표는 3m이지만, 본 연구에서는 제시한 프로토콜의 동작 및 양방향 전송 가능성 등을 수월하게 시험하기 위해 80 cm 거리에서 시험을 하였으며 송수신 회로의 최적화를 통해 3m 전송을 할 수 있을 것으로 판단한다.

그림 10에서는 상향 전송 BER 측정 결과를 보이고 있다. 필터를 적용함으로써 하향 조명이 켜진 경우와 꺼진 경우 BER 값에 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. IR-LED 전류를 20mA~80mA 사이에서 변화하며 측정한 결과 BER 값이  $10^{-3} \sim 10^{-6}$  사이에서 변화하는 것을 관찰할 수 있었다.

한편, 단말의 위치가 변화하는 경우 채널 재검색을 통해 통신 성능을 유지하는 알고리즘의 동작을 살펴 보았다. 그림 11에서는 두 개 IR-LED 채널을 대상으로 하여 단말 이동에 따른 채널 선택을 오실로스코프에서 살펴본 것이다. 그림의 1단계는 IR-LED 선택 단계로서 두 채널 모두에서 제어 패킷을 내보내고 있다. 2단계에서는 성능이 상대적으로 우수한 2번 IR-LED를 선택하여 통신을 한다. 이후 단말을 이동했을 때 3 단계로 들어가서 IR-LED를 재검색 하는 것을 볼 수 있다. 4단계에서는 새로이 선택된 1번 IR-LED를 통

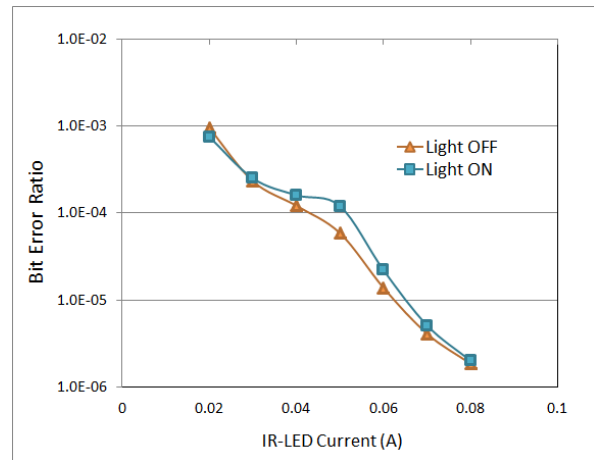


그림 10. 상향 전송 BER 측정 결과  
 Fig. 10. BER results of upstream transmission

해 다시 데이터를 전송하는 것을 확인할 수 있다. 채널 검색 및 재검색에는 2.5msec 이내의 시간이 소모되었다. 이와 같이 모바일 단말이 이동 중에도 최적 성능을 갖는 IR-LED로 채널을 이동하는 과정을 통해 끊김 없는 통신이 가능한 것을 확인하였다.

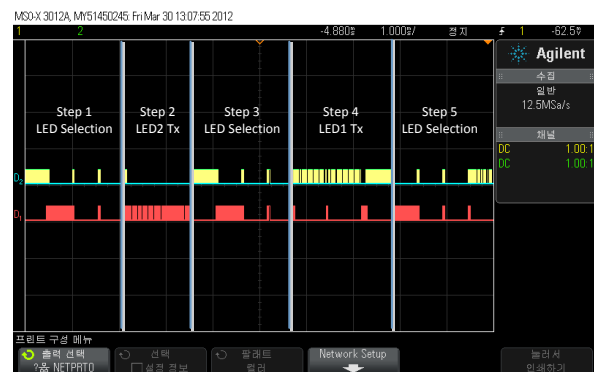


그림 11. 테스트베드 결과  
 Fig. 11. Testbed results

## V. 결 론

본 연구를 통해 IR-LED를 이용하여 가시광 통신의 상향 전송을 구현하는 방법에 관해 살펴보았다. 전송 거리 확보를 위해서는 IR-LED의 빔 각도를 작게 해야 하는데, 이 경우 송수신 정렬이 어려운 문제가 생길 수 있다. 본 연구에서는 여러 개 IR-LED 중 실시간 최적 성능을 선택함으로써 전송거리 및 송수신 정렬의 용이성을 동시에 확보하는 방안을 제시하고 테스트베드를 이용한 실험 결과를 보였다. 테스트베드에 이용한 IR-LED의 경우 속도 및 거리에 제한이 있지만 적절한 소자 선택 및 회로 설계를 통해 향후 양방향 가시광통신에 적용될 수 있을 것이다. 또한 제안된 방식은 적은 전력을 사용해야 하는 이동 단말에 적용할 수 있고, 고속 응답 및 물리적 보안기능이 뛰어나기 때문에 향후 차세대 홈네트워킹 등 근거리 네트워크에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Elgala, R. Mesleh and H. Haas, "Predistortion in Optical Wireless Transmission Using OFDM", *International Conf. on Hybrid Intelligent Syst.*, pp.184-189, 2009.
- [2] D. Lee, K. Choi, Y. Park, "A Study on the Performance Enhancement of OFDM-Based VLC System by Using Predistortion", *J. Kor. Info. and Comm. Soc.* Vol. 36, No. 6, pp.587-591, Jun. 2011.
- [3] E. Yeo, D. Lee, K. Kim, Y. Park "A Color Visible Light Communication Based on Emotional Lighting", *J. Kor. Info. and Comm. Soc.* Vol. 36, No. 7, pp. 635-639, Jul. 2011.
- [4] Kyungmook Choi, Yunseon Jang, Jingyoung Noh, MinChul Ju and Youngil Park, "Visible Light Communications with Color and Dimming Control by Employing VPPM Coding", *ICUFN 2012*, pp.10-12, Thailand, Jul. 4-6, 2012.
- [5] L. Zhou, J. M. Kahn, and K. Pister, "Corner-Cube Retroreflectors Based on Structure-Assisted Assembly for Free-Space Optical Communication", *Journal of Microelectro mechanical Systems*, Vol. 12,

No. 3, pp.233-242, Jun. 2003.

- [6] IEEE 802.15.7 "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification for Visible Light Wireless Personal Area Networks (WPANs)", Jul. 20, 2011.
- [7] J.M. Kahn and J.R. Barry, "Wireless infrared communications", in *Proc. IEEE*, Vol. 85, No. 2, pp. 265-298, 1997.
- [8] H. Sugiyama, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Experimental investigation of Modulation Method for Visible-Light Communications", *IEICE Trans. Comm.*, No. 12, pp. 3393-4000, 2006.
- [9] J.R Barry, *Wireless Infrared Communications*, Kluwer Academic Press, Boston, MA, 1994.

### 장 윤 선 (Yunseon Jang)



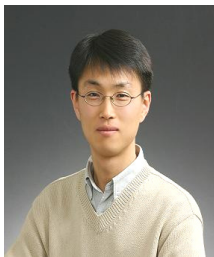
2011년 국민대학교 공학사  
2011년~현재 국민대학교 대학원 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 가시광통신, 무선네트워크, 광대역 통합망

### 최 경 목 (Kyungmook Choi)



2011년 국민대학교 공학사  
2011년~현재 국민대학교 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 가시광통신, 광대역 통합망, 무선네트워크

주 민 철 (MinChul Ju)



1997년 포항공과대학교 공학사  
1999년 한국과학기술원 공학석사  
2010년 Queen's Univ. 공학박사  
1999년~2011년 전자부품연구원 선임연구원

2011년~현재 국민대학교 전자공학부 교수  
<관심분야> 협동통신, 다중안테나 시스템, 물리계층 보안

박 영 일 (Youngil Park)



1987년 서울대학교 공학사  
1989년 서울대학교 공학석사  
1995년 Texas A&M Univ. 공학박사  
1995년~1999년 KT 연구개발본부 선임연구원  
1999년~현재 국민대학교 전자

공학부 교수

<관심분야> 광가입자망, 가시광통신, 광대역 통합망