

# LED IT 기반의 간편한 비캐리어 가시광 통신 시스템 구현

준회원 임 경 순\*, 정회원 방 성 근\*, 종신회원 이 용 업\*°

## Realization of Non-carrier Visible Light Communication System based upon LED IT

Kyeong Sun Lim\* Associate Member, Sungkeun Baang\* Regular Member, Yong Up Lee\*° Lifelong Member

### 요 약

이 논문에서는 LED(Light Emitting Diode) 조명을 이용한 간편한 가시광 통신 시스템을 구현하기 위해, 비 캐리어 NRZ-OOK(non-return to zero on off keying) 변조 방식을 사용하고, 가시광 송신을 위한 발광소자인 3x3 백색 LED 배열과 가시광 수신을 위한 여러 가지 포토다이오드를 사용하여 송수신 소자사이의 거리가 약 2.5m이고, 전체 시스템 속도가 115.2kbps의 전송속도를 가지는 가시광 시스템을 설계하여 구현 한다. 구현된 시스템의 성능분석을 위해 LED와 포토다이오드 종류, LED 배열 수, 전송속도 따른 최대 송수신 거리를 구하고 여러 가지 구현시스템의 성능을 실험을 통해 분석한다.

**Key Words** : Visible Light Communication, System Implementation, Non-carrier, NRZ-OOK, LED IT

### ABSTRACT

In this paper, as a study of the simple visible light communication(VLC) with LED light, the visible light communication system that are made up with the 3x3 white LED array for visible light transmission, various photodiodes for visible light reception, and a non-carrier NRZ-OOK modulation scheme is designed and implemented to have a 115.2 kbps data speed at 2.5 m distance between transmitter and receiver. For the performance analysis of the developed VLC system, the maximum distance between VLC transmitter and receiver on the conditions of various transmission speeds, the number of LED array, or the various kind of LED and photodiode is obtained, and various performances are analyzed by experiments.

### I. 서 론

가시광 통신(VLC)은 사람 눈에 보이는 가시광 전파를 이용한 통신이며, 백열전구와 형광등조명을 사용해 통신을 하는 기술인데, 최근에 LED 조명 인프라를 사용한 통신 기술로 발전되고 있는 새로운 정보통신 기술이다. 그림 1은 가시광 통신 기술의 기본 개념을 보여준다. 그림 1에서 데이터를 0과 1의 조합으로 변

환해서 정보를 전송한다는 점에서 일반적인 디지털 통신과 같지만, 데이터가 '0'일 때 빛이 OFF, '1'일 때 빛이 ON되는 점멸이나 밝기에 따른 명암으로 치환해서 송신한다는 점이다.<sup>[1]</sup>

일반적으로 가시광통신 기술을 보면, 송신부에 사용되는 LED는 전기적인 신호에서 빛 신호로 바뀌는 속도가 약 50~200ns에 달하는데, 이러한 빠른 스위칭(ON-OFF)을 통신의 변조방식으로 활용할 수 있다.

\* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2011-0026886)

\* 한림대학교 전자공학과 (yulee@hallym.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-06-242, 접수일자 : 2011년 6월 8일, 최종논문접수일자 : 2011년 8월 1일

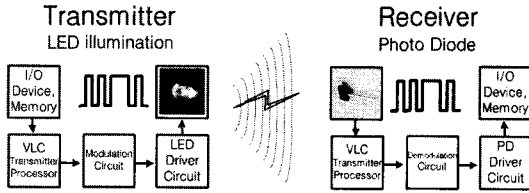


그림 1. 가시광 통신의 개념 및 원리.

사람은 초당 100번 이상 빛이 깜빡이면 그 깜빡임을 인식하지 못하고 계속 켜진 것으로 여기기 때문에 통신과 더불어 조명의 기능도 유지할 수 있는 것이다. 이러한 광원에 포함된 데이터는 포토다이오드에 전달된다. 포토다이오드는 빛 신호를 전기적인 신호로 바꾸어주는 역할을 하는 소자로 LED로부터의 스위칭을 빠른 속도로 인식하고 원래 신호인 0과 1이라는 데이터 신호를 복원한다.<sup>[2]</sup>

그림 1에서 보면 LED와 포토다이오드사이의 가시광 신호의 송수신 채널은 직접경로와 수많은 반사체를 거치는 반사경로 들로 구성이 된다. 이전연구<sup>[3-4]</sup>의 결과를 참조하면 채널 임펄스 응답  $h(t)$ 는 다음과 같다.

$$h_{vlc}(t) = h_{LOS}\delta(t) + h_{Diff}(t - \tau) \quad (1)$$

여기서,  $h_{LOS}$ 는 직접경로 신호의 채널이득이며,  $h_{Diff}$ 는 반사경로 신호에 의한 채널 이득이다.  $\delta(\cdot)$ 는 임펄스 함수이며,  $\tau$ 는 가시광 신호가 수신기에 도달하는 직접경로와 반사경로 신호의 시간차이를 나타내는 변수이다. 이 논문에서는 직접경로에 의한 응답을 주로 고려하여 시스템을 설계한다.

이 논문에서는 종래 가시광 통신 시스템에 비해 간편한 구조이면서 우수한 통신거리와 속도 성능을 가지는 시스템을 구현하기 위해서 LED 조명을 사용한 LED IT 기술에서 캐리어를 사용하지 않고 데이터를 NRZ-OOK 변조하는 간편한 통신 구조를 가지는 가시광 송수신 시스템을 설계하고 구현한 다음, 여러 가지 구현된 시스템의 성능을 실험을 통해 알아본다.

이 논문은 서론에 이어 2장은 가시광 통신의 핵심 부분인 가시송수신 소자를 가지고 구동회로를 설계하는 과정을 알아보고, 3장에서 2장의 결과와 비캐리어 NRZ-OOK 변조방식을 사용한 가시광 송수신 구조제안과 시스템을 설계하고, 4장에서 3장의 설계를 토대로 가시광 통신 시스템을 구현한다. 5장은 구현된 가시광 통신 시스템의 성능분석이며, 마지막으로 6장에 결론이 있다.

## II. 가시광 송수신소자의 구동회로 설계

간편하고 우수한 가시광 통신 시스템을 구현하기 위해 먼저 가시광 통신 시스템에 사용되는 송수신 소자의 구동회로를 설계하고, 소자의 응답특성을 알아본다. 포토다이오드인 수광 소자들은 다양한 응답특성을 갖는데, 비 캐리어 NRZ-OOK 변조 방식의 가시광 통신 시스템 구현에 적합한 수광 소자를 선택하기 위해 그림 2와 같이 구동회로를 설계하고 응답특성을 측정한다. 이때, 실험 환경은 그림 2에 보듯이 가시광 송신부에는 함수발생기로부터 10kHz, 2Vp-p, 구형파의 신호원을 3x3 백색 LED 배열 구동회로에 공급하여 LED 조명과 데이터 통신신호를 발생시키고, 가시광 수신부는 10kΩ 보호저항이 있는 포토다이오드 수광 소자에서 데이터 신호를 수신하여 오실로스코프로 신호를 측정한다.

그림 2의 실험에서 송신부에 사용된 백색 LED는 Jiangsu Wenrun Optoelectronic사의 LUW50343부품으로 분광복사량의 중심파장은 약 455nm이며, 420~695nm 범위에서 가시광을 발생하는데, 그림 3(a)에 분광복사량 특성을 보여준다. 또한, 그림 3(b)에는 그림 2에서 사용된 수광소자인 TSL-252R의 포토다이오드 분광 감응도 특성인데, 300~1100nm의 넓은 범위에 사용이 가능하며, 암 전압은 최대 10mV, 출력 펄스 상승하강시간은 7us이다.<sup>[5-6]</sup>

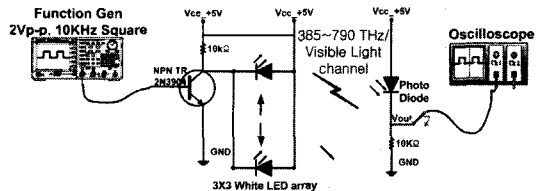


그림 2. 가시광 송수신 소자의 구동회로 설계를 위한 실험.

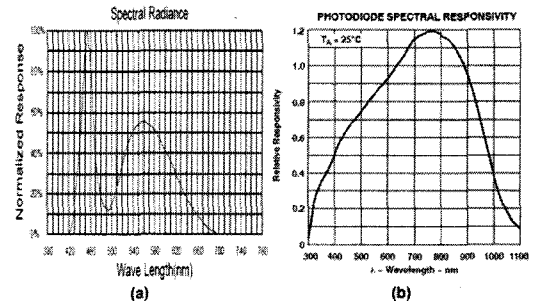


그림 3. 가시광 송수신 소자의 주요 특성 (a) 백색 LED 분광복사량 (b) 포토다이오드 TSL-252R의 분광감응도

이 논문에서 사용할 최적의 가시광 송수신 소자를 결정하기 위해서 여러 가지 포토다이오드를 사용하여 그림 2와 같은 실험환경에서 수신거리에 따른 여러 가지 수광 소자의 출력 전압 측정 결과가 그림 4에 있다. 그림 4에는 TSL-252R 수광 소자를 사용한 경우, 송신부와 수신부 사이 거리가 10cm이면, 수광 소자 출력은 약 3.8V이며, SFH213의 수광 소자를 사용한 경우 약 1.9V 출력, SLD-70의 수광 소자를 사용한 경우 약 1.2V, OSD1-5T의 수광 소자를 사용한 경우 약 0.23V를 출력의 결과를 알 수 있다. 그림 4의 결과를 보면, 선택한 수광 소자가 가시광 송수신 사이의 거리 성능에 직접 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그리고, 상대적으로 TSL-252R 수광 소자가 다른 수광 소자보다 성능이 월등히 우수함을 알 수 있다.

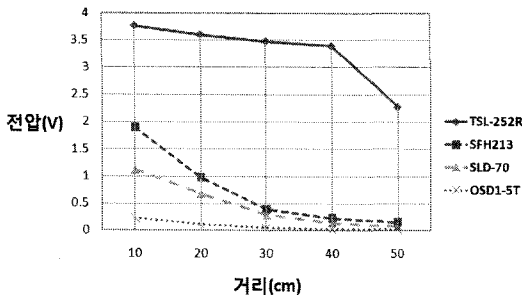


그림 4. 수신거리에 따른 여러 가지 수광 소자의 출력 전압 특성 비교

### III. 가시광 통신 시스템 설계

#### 3.1 시스템 구조 및 주요규격

LED IT기반의 간편한 가시광 통신 시스템을 제안 하기 위해 이전의 적외선 통신 시스템 구조<sup>[7]</sup>과 이전에 구현된 가시광통신 시스템<sup>[8]</sup>을 참조로 하여 이 논문에서 새로 비 캐리어 NRZ-OOK 변조 방식을 채택한 가시광 통신 시스템 구조가 그림 5에 있다. 그림 5에서 데이터의 기본 흐름은 다음과 같다. 컴퓨터를 통해 출력되는 디지털 데이터는 라인드라이버 및 변조 환경을 거쳐 비 캐리어 NRZ-OOK 변조된 신호 형태

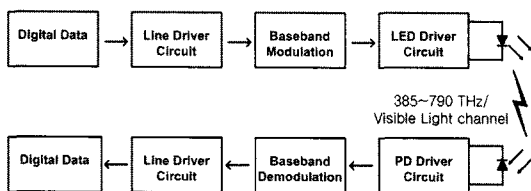


그림 5. 비 캐리어 NRZ-OOK 변조 방식의 가시광 통신 시스템 구조

로 송신부의 LED 드라이버 회로에 도착한다. 이때 도달한 전기적 신호를 LED는 빛 신호로 전환하여 일정 거리에 놓인 수신부의 포토다이오드로 전달한다. 다시 가시광 통신 채널을 거쳐 수신부에 전달된 가시광 신호를 포토다이오드는 다시 전기적 신호 변환하고 수신부에서는 복조와 라인드라이버를 통해 송신부 컴퓨터에 디지털 신호 출력을 나타낸다.

표 1은 그림 5의 가시광 통신 시스템구조를 실현할 가시광 통신 시스템의 주요 규격을 정리한 것이다.

표 1. 비 캐리어 NRZ-OOK 방식 가시광 통신 시스템 주요 규격

규격	설 명
가시광 생성	White LED: LUW50343 ( $\phi=5\text{mm}$ , 420~700nm, $I_V=6500\text{mcd}$ , $\Phi_{1/2} = 15^\circ/20\text{mA}$ ), 3x3 LED 배열
가시광 수신	가시광 검출소자 : TSL-252R 응답특성(450~95nm, 60% 이상 응답도)
가시광 전송거리	1~4m (백색 LED 배열 중앙지점과 수광 소자 사이의 거리)
시스템 변조방식	비캐리어 NRZ-OOK
사용자인터페이스	Docklight v1.7 소프트웨어
시스템 속도	9.6k ~ 115.2kbps

#### 3.2 가시광 송신부

가시광 송신부 설계는 그림 5의 가시광 통신 시스템 전체 구조에서 전원부와 라인 드라이버를 사용한 레벨 변환부, AND소자, NOT소자를 사용한 기저대역 변조부와 LED 드라이버 회로로 구성되어 설계된다. 그림 6은 송신부의 전원부 설계로 9V 배터리의 입력 전압을 각 소자에 맞는 정전압으로 바꾸어 주는 회로이다. 사용된 직접회로는 많이 사용되는 정전압 레귤레이터인 7805를 사용한다.

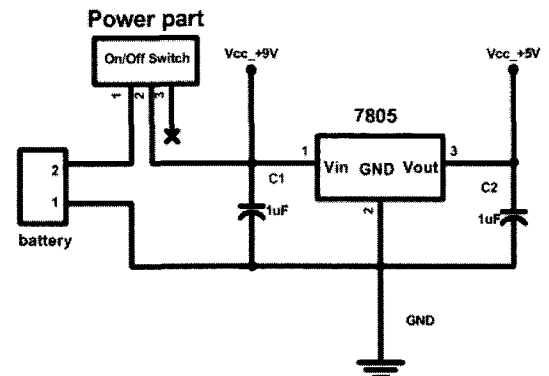


그림 6. 가시광 송신부에 사용된 전원부.

그림 7은 그림 5에서 가시광 통신 시스템의 송신부 회로도이다. 그림 7에서 데이터 신호의 흐름은 다음과 같다. 컴퓨터로 생성된 디지털 데이터는 송신부 컴퓨터와 연결된 RS-232 인터페이스를 통해 디지털 데이터 신호를 입력 받아 라인드라이버인 Maxim사의 MAX232CPE 칩에 전달한다. MAX232CPE 칩에 전달된 신호는 74LS08인 AND 소자에 인가되며, AND 소자의 또 다른 입력은 정전압 레귤레이터를 통해 출력된 5V를 High로 입력받는다. 그 다음 AND소자를 통해 출력된 신호는 74LS04인 NOT소자를 통해 신호가 반전되며, 이 신호는 다시 팬 아웃을 증가시키기 위해 트랜지스터의 베이스단에 입력된다. 베이스단에 입력된 신호는 컬렉터 단을 통해 빠른 스위칭과 함께 디지털 데이터로 LED에 전달된다. LED는 입력받은 전기 신호를 빛 신호로 전환하여 출력함으로써 데이터를 전송하게 된다.

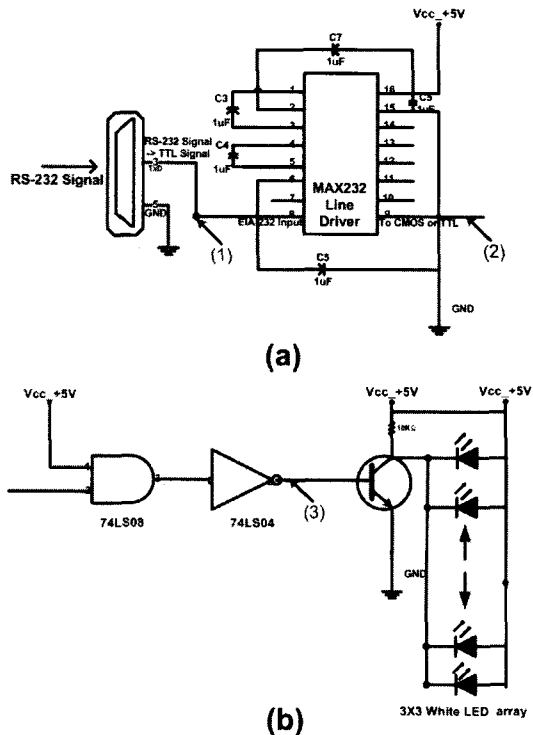


그림 7. 가시광 통신 시스템 송신부 회로도 (a) 그림의 (1)과 (2)는 송신부 컴퓨터를 통한 디지털데이터 출력부분과 라인드라이버를 통해 출력된 NRZ 신호 출력이다. (b) 그림의 (3)지점은 (2)를 통해 출력된 NRZ 신호를 NRZ-OOK 형식 신호로 변환하고, 3x3 백색 LED 배열에 인가한다.

### 3.3 가시광 수신부

가시광 수신부는 그림 5의 가시광 통신 시스템 구조에 따라 전원부와 LED를 통해 입력된 가시광 신호

를 전기적 신호로 변환하기 위한 포토다이오드 드라이버 회로, 기저대역 검파부와 라인 드라이버를 사용한 레벨 변환부로 구성된다.

수신부의 전원부는 송신부 전원부와 동일하게 정전압 레귤레이터인 7805가 사용된다. 그림 8에 가시광 통신 시스템의 구체적인 수신부 회로가 있으며, 수신부의 데이터 기본 흐름은 다음과 같다. 먼저 LED를 통해 생성된 가시광 신호를 수신한 포토다이오드는 구동 회로를 통해 가시광 신호를 다시 전기적 신호로 변환하고, 변환 신호는 검파회로에서 디지털 신호로 다시 복조하여 라인드라이버인 Maxim사의 MAX232CPE 칩에 전달된다. 전달된 신호는 라인드라이버를 통해 RS-232신호로 레벨 변환 되어 송신부 컴퓨터에서 보낸 데이터와 동일한 데이터를 수신부 컴퓨터에 나타내게 된다. 그림 4의 실험 결과에서 보면 가시광 송신부와 수신부 사이의 거리 증대에 따라 포토다이오드 출력 전압 값이 감소됨을 알 수 있다. 즉, 수광 소자의

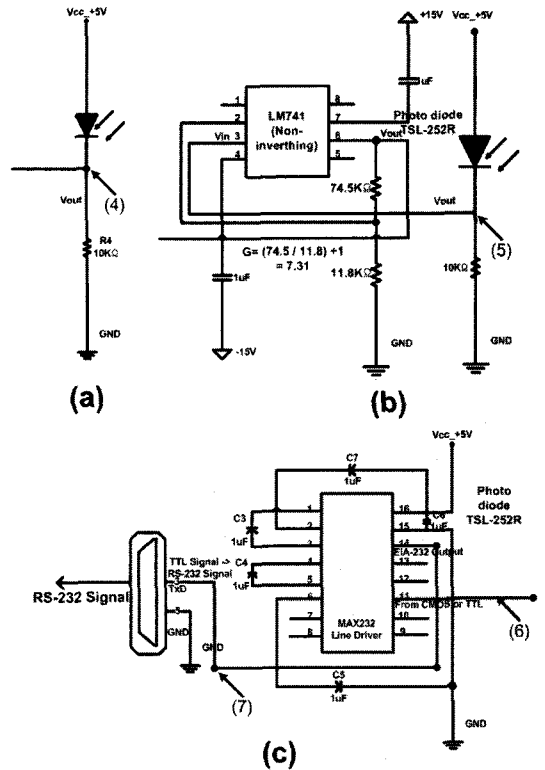


그림 8. 가시광 통신 시스템 수신부 회로도 (a) 그림의 (4)지점은 LED로부터 포토다이오드로 입력된 가시광 신호를 전기적 신호로 변환하는 회로이다. (b) (5)지점은 통신거리 증대를 위해 포토다이오드에 수신된 신호를 연산 증폭기를 통해 7.3배 증폭하는 회로이다. (c) (6)과 (7)지점은 (4)지점을 통해 수신된 NRZ-OOK 신호를 라인드라이버를 통해 다시 본래의 디지털 데이터 신호로 변환하는 회로와 데이터를 수신 컴퓨터에 전달하는 회로이다.

출력 전압 감소가 라인드라이버 회로인 MAX232CPE의 최소 입력 전압 값에 못 미치는 경우 가시광 통신이 단절된다.

이런 문제점을 해결하기 위해 이 논문에서는 LM741CN 연산 증폭기를 사용하여 해결을 하였다. 송신부의 3x3 백색 LED 배열로부터 생성된 가시광 신호는 수광 소자가 전달받아 전기적인 신호로 변환한 후 그 신호를 연산 증폭기에 입력하는데, 연산 증폭기의 증폭율에 따라 수신 신호의 크기가 결정되도록 설계를 하였다. 그림 8(b)에는 비 반전 연산 증폭기를 사용한 비캐리어 NRZ-OOK 방식의 수신부 회로이다. 그림 8(a)와 같이 전원부와 레벨 변환부는 같고, 송신부와 수신부 사이의 거리가 늘어남으로서 생기는 수광 소자의 소신호를 증폭하기 위하여 연산 증폭기를 사용하였다.

#### IV. 가시광 통신 시스템 구현과 측정

##### 4.1 시스템 구현

3장의 설계에 따라 최적 성능의 간편한 가시광 통신 시스템을 구현 하기위해 그림 5의 가시광 통신 시스템 구조와 설계된 회로를 바탕으로 그림 9와 같이 구현하였다. 가시광 송신부와 수신부 회로의 전원은 9V 배터리를 이용하여 전원을 인가하고, LED 점등을 확인하였다. 다음으로 시리얼 포트로 가시광 송신부 장치와 송신컴퓨터, 가시광 수신부 장치와 수신컴퓨터를 각각 연결하고 사용자인터페이스를 위해 송수신용



(a)



(b)

그림 9. 구현된 가시광 통신 시스템 (a) 가시광 송수신부 거리가 50cm로 구현된 시스템 (b) 가시광 송 수신소자 거리가 2.5m의 성능으로 구현된 시스템.

컴퓨터에 Docklight v1.7 소프트웨어를 설치하고, 비 동기 데이터 프레임 규격은 데이터 비트는 8비트, 정지비트는 1비트, 패리티비트는 없고, 패리티오류는 무시하는 것으로 설정하였다.

##### 4.2 구현된 시스템의 동작

구현된 시스템은 115.2kbps 전송속도로 가시광 송수신부의 거리가 50cm와 연산 증폭기를 사용될 경우 2.5m인 경우 조건에서 직접 경로의 가시광 송수신 채널을 통해 디지털 데이터를 전송하는 성능을 가진다. 사용자인터페이스 Docklight v1.7 소프트웨어를 사용하여 송신컴퓨터에 'AA' 문자를 입력하면, 'AA' 해당되는 이진 데이터인 '10101010' 디지털 비트가 시리얼 포트에서 출력되는데, 이런 동작을 측정할 파형이 그림 10이며, 그림 7(a)회로의 (1)지점에서 오실로스코프로 측정한 결과이다. 그림 10의 파형측정은 9핀 시리얼케이블의 3번(TX), 5번(GND)을 오실로스코프 프로브로 연결하여 Tektronics사의 TDS-2002B 장치로 측정하였다. 그림에서 TTL레벨의 디지털 데이터 파형이 송신용 컴퓨터에서 생성됨을 알 수 있다.

다음 동작에서 데이터는 시리얼 케이블을 통해 라인드라이버 IC인 MAXIM사의 MAX232CPE IC 8번에 도달하고, IC에 의해 데이터가 TTL에서 RS232 레벨로 변환 후, 라인드라이버 IC의 9번을 통해, NRZ 파형으로 출력되는 동작이 수행되는데, 이를 측정할 것이 그림 11의 파형인데, 가시광 송신부 회로인 그림 7(a)의 (2)지점에서 측정한 NRZ 출력파형이다. 이어서, 그림 11의 NRZ 출력 파형은 다시 그림 7(b)의 AND 소자 1번에 도달된다. 이때, AND 소자의 다른 입력은 High 상태를 유지하기 위해 전원의 5V에 연결된다.

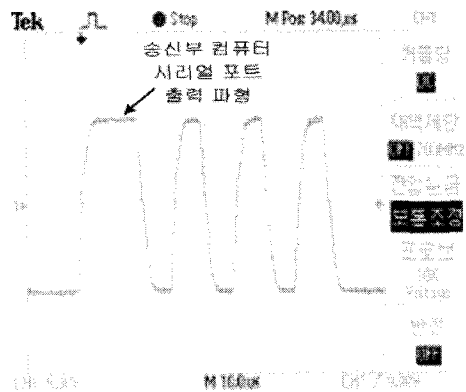


그림 10. 그림 7(a)의 (1)지점에서 측정한 시리얼 포트출력의 동작 파형

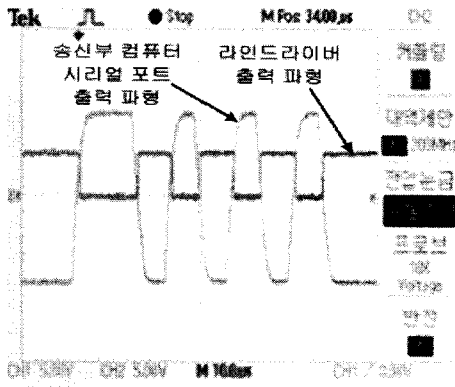


그림 11. 가시광 송신부 회로인 그림 7(a)의 (2)지점에서 측정된 라인드라이버 출력 파형.

그림 12(a)는 그림 7(b)의 가시광 송신 회로에서 AND 소자의 3번에서 측정된 이진데이터이다. 이때, AND소자는 충분한 구동 전류를 LED에 제공하기 위해 사용된다. 다음 동작으로 AND 소자의 3번은 다시 NOT 소자 1번에 연결되며, NOT 소자 2번을 통해 출력되는 이진 데이터를 측정한 것이 그림 12(b)이다. 그림 12(a)와 비교하면, 이진 데이터 레벨의 변화이다. 그림 12(a) 경우, 이진 데이터가 '1'인 경우, High 상태에서 Low상태로 되지만 그림 12(b) 경우, Low상태에서 High상태로 된다. NOT 소자의 2번 출력은 트랜

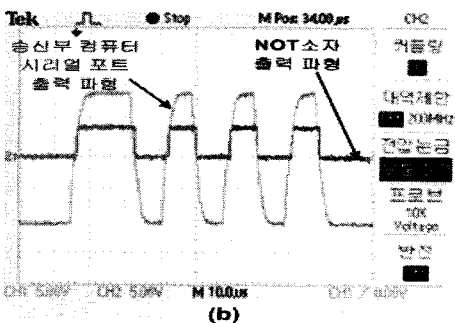
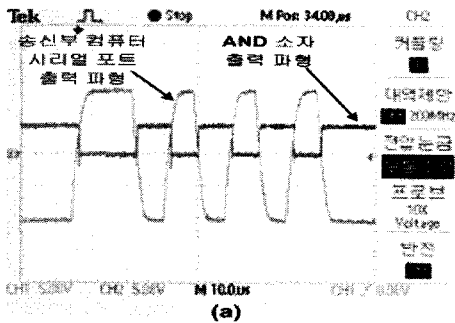


그림 12. 그림 7(b)의 (3)지점에서 측정된 기저대역 파형 (a) AND 소자 출력 파형 (b) NOT 소자 출력 파형

지스터의 베이스에 인가되고, 베이스에 입력된 신호는 컬렉터를 통해 디지털 데이터로 LED에 전달된다. LED는 입력된 이진 데이터를 가시광 신호로 변환하여 출력시킨다.

디지털 데이터 송수신을 위해 수신컴퓨터는 송신 컴퓨터와 동일하게 설정하고, 포토다이오드인 수광 소자의 보호저항은 10kΩ으로 한다. 그림 13(a)은 가시광 송수신부 사이 거리가 50cm로 동작되는 경우, 그림 8(a)의 (4)지점에서 측정된 포토다이오드가 수신한 동작 파형이다. 그림에서 송수신부 거리와 수광 소자 내부의 저주파 필터에 의한 검파 등으로 파형 왜곡이 있지만, 출력 전압이 라인드라이버인 MAX232CPE IC의 최소 입력 전압을 넘으므로 디지털 데이터로 복원된다.

다음 동작으로 수광 소자의 출력은 라인드라이버의 MAX232CPE 11번에 입력되고, 다시 라인드라이버 IC인 MAX232CPE 14번에서 출력이 되는데, 이 지점에서 측정된 파형이 그림 14(a)이다. 이때, 가시광 송수신소자 사이 거리가 50cm이다. 그림에서 송신 컴퓨터의 데이터와 비교하면, 시간 지연과 진폭감소가 있지만, 수신컴퓨터의 최소 입력범위에 포함되므로 데이터 복원은 문제없다.

또한, 가시광 통신거리가 증대를 위해, 그림 8(b)와

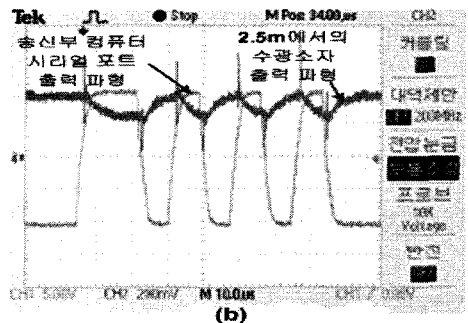
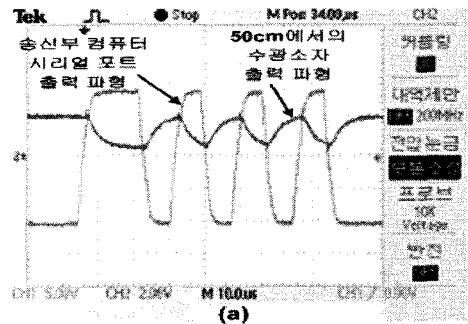


그림 13. 그림 8(a)의 (4)지점에서 측정된 수광소자 출력 (a) 가시광 송수신거리가 50cm인 경우 (b) 가시광 송수신 거리가 2.5m인 경우

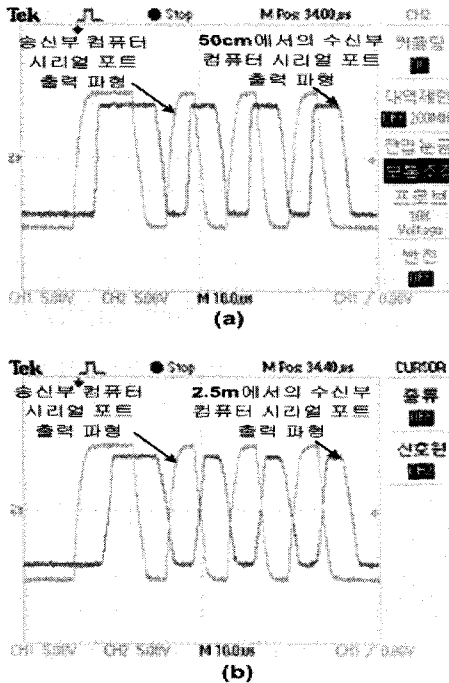


그림 14. 그림8(a)의 (6)지점에서 측정한 수신부 라인드라이버 출력파형 (a) 50cm에서의 라인드라이버 출력 파형 (b) 2.5m에서의 라인드라이버 출력 파형.

같이 가시광 수신 회로에 연산 증폭기를 추가설치하면 가시광 송신부 3x3 백색 LED 배열로부터 수신된 신호를 7.3배 증폭되는데, 그림 14(b)가 가시광 송수신 사이의 거리가 2.5m인 경우, 수광 소자의 출력 파형이다. 2.5m에서 수신되는 수광 소자의 출력 파형과 50cm에서 수신되는 수광 소자의 출력 파형을 비교하면 2.5m에서의 수광 소자 출력 전압은 약 200mV이며, 50cm에서의 수광 소자 출력 전압은 약 2V이다. 이 결과에서 가시광 송수신 사이의 거리에 따른 수광 소자의 출력 전압 값이 변하는 것을 다시 한 번 알 수 있다. 그림 14(a)와 비교하면, 파형 왜곡이 심해지고 주변 광원(예, 형광등) 영향이 커짐을 알 수 있다.

### V. 가시광 통신 시스템 성능분석

구현된 시스템의 성능을 알기 위해, 가시광 송신부에 사용되는 백색 LED 배열, 시스템 전송속도 따른 최대 가시광 송수신 거리 등의 성능을 분석한다. 또한, 가시광 통신 시스템의 전송속도와 송수신부 거리에 따른 비트 오류 특성에 대해 분석한다. 성능 분석을 위해, 그림 7의 가시광 송신 회로로 구현된 가시광 송신 시스템과 그림 8의 가시광 수신 회로를 구현한 가시광 수신 시스템을 사용하였다. 9V 배터리를 이용하

표 2. 전송속도에 따른 최대 송·수신 거리

전송속도 [bps]	최대 송·수신 거리[m]			
	1x1	2x2	3x3	4x4
9,600	1.12	3.17	4.29	4.81
19,200	1.02	2.83	3.72	4.27
38,400	0.98	2.36	3.26	3.79
57,600	0.84	1.82	3.13	3.53
115,200	0.56	1.42	2.51	2.87

여 전원을 인가하고, LED의 점등을 확인하고, 송수신 컴퓨터와 가시광 송수신부를 시리얼 케이블로 연결하였다.

디지털 데이터 전송을 위해 Docklight v1.7 소프트웨어를 설치하고, 비동기 데이터 프레임 규격은 데이터 비트는 8비트, 정지비트는 1비트, 패리티비트는 없고, 패리티오류는 무시하는 것으로 설정하였다. 실험은 9.6kbps, 19.2kbps, 38.4kbps, 57.6kbps, 115.2kbps 전송속도 순서로 진행되었고, '10101010'의 이진 데이터를 총 125회 보내 데이터 전송률 100%인 경우 최대 송·수신 거리를 측정하였다. 좀 더 정확한 송·수신 사이의 거리를 측정하기 위해 Bosch사의 DLE70 적외선 거리 측정기를 사용하였다. 표 2는 송신부의 백색 LED의 1x1 배열부터 4x4 배열까지 전송속도에 따른 최대 송·수신 거리이다. LED의 수가 증가함에 따라 조도가 높아져 송·수신 사이의 거리가 증가함을 알 수 있고, 또한 전송속도가 낮은 조건에서도 송·수신 사이의 거리가 증가함을 알 수 있다.

이때, 가시광 송신부는 3x3 백색 LED 배열이 사용되며, 전송속도는 38.4kbps와 115.2kbps로 설정된다. 일반적으로 가시광 신호는 자유 공간에서 거리의 제곱에 따라 급격한 신호감쇠가 되므로, 수신 신호 크기를 일정한 신호 크기로 자동 조절해주는 회로가 필요한데, 여기서는 이 점을 고려하지 않았다. 추후 자동 이득 제어회로를 수신부에 추가하여 보완하면 넓은 영역을 포함한 거리에서 통신이 이루어 질것으로

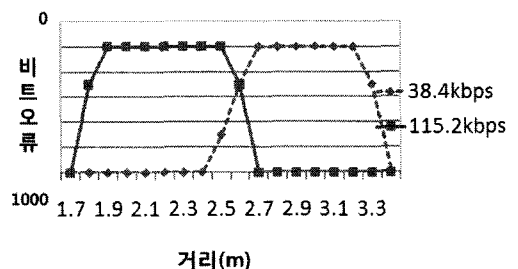


그림 15. 전송속도와 송·수신부 거리에 따른 비트 오류

보인다.

그림 15는 전송속도와 가시광 송수신부 거리에 따른 비트 오류를 측정된 것이다. 그림에서 수신부의 자동이득제어 기능이 없는 경우, 가시광 송수신 소자사이의 특정거리 범위에서만 데이터 오류가 없이 안전하게 가시광 데이터 통신이 가능함을 볼 수 있다.

## VI. 결 론

이 논문에서는 LED를 이용하여 비 캐리어 NRZ-OOK 변조 방식의 간편하고 우수한 성능을 가지는 가시광 통신 시스템을 구현하였다. 송신부는 3x3 백색 LED 배열을 사용하였고, 수신부의 경우 여러 가지 수광 소자의 특성을 측정된 결과 TAOS사의 TSL-252R 수광 소자가 다른 소자들에 비해 특성이 좋고 넓은 대역폭을 갖고 있음을 알 수 있었다.

구현된 시스템을 통해 송신부에 사용되는 백색 LED 배열과 전송속도 따른 최대 송·수신 거리를 분석하고, LED 수가 증가함에 따라 수광부에 비춰지는 조도가 높아져 가시광 송수신 사이의 거리가 증가함을 알 수 있었고, 전송속도가 낮은 조건에서도 통신거리가 증가함을 알 수 있었다. 송수신 사이의 거리가 증가함에 따라 수광 소자의 수신신호 크기가 작아져 통신이 단절되는 현상이 있는데, 이를 보완하기 위해 수신부에 7.3배 증폭을 갖는 연산 증폭기를 추가하여 해결하였고, 115.2kbps 전송속도에서 최대 가시광 송수신 사이의 거리가 2.5m를 가지는 간편하고 우수한 성능의 비 캐리어 NRZ-OOK 변조 방식의 가시광 송수신 시스템을 구현하였다. 마지막으로, 전송속도와 가시광 송수신부 거리에 따른 비트오류 특성도 분석하였다.

## 참 고 문 헌

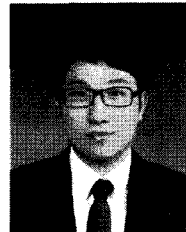
- [1] 강태규 외, "LED 조명을 이용한 유비쿼터스 가시광 무선통신 서비스", 한국인터넷학회지 제10권 제1호, pp.85-92, 2009년 3월
- [2] Visible Light Communications: Tutorials, IEEE 802.15 VLC WG, 2008. 3. 17.
- [3] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental analysis for visible-light communication system using LED lights", *IEEE Tr. on Con. Elec.*, Vol. 50, No.1, pp.100-107, Feb. 2004.
- [4] V. Jungnickel, V. Pohl, S. Nonning, and C. von Helmolt, "A physical model for the wireless

infrared communication channel", *IEEE J. Sel. Areas in Comm.*, VOL. 20, NO. 3, pp. 631-640, APRIL 2002.

- [5] D. O'Brien, H.L. Minh, L. Zeng, G. Faulkner, and, K Lee, "Indoor visible light communications: challenges and prospects", *Proc SPIE2008*, Vol. 7091, pp.1-9, 2008.
- [6] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights", *IEICE Tr. on Communications*, Vol. E86-B, No. 8, pp.2440-2454, Aug. 2003.
- [7] John R. Barry, "Wireless Infrared Communications", Kluwer Academic Publishers.
- [8] T.D.C. Little, P. Dib, K. Shah, N. Barraford, and B. Gallagher, "Using LED Lighting for Ubiquitous Indoor Wireless Networking", *Proc IEEE WIMOB2008*, pp.373-378, 2008.

임 경 순 (Kyeong Sun Lim)

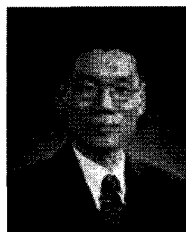
준회원



2010년 한림대학교 전자공학과 공학사  
2010년~현재 한림대학교 전자공학과 대학원 석사과정  
<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광통신 시스템

방 성 근 (Sungkeun Baang)

정회원



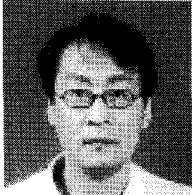
1985년 서울대학교 원자핵공학과 학사  
1987년 서울대학교 원자핵공학과 석사  
1996년 UCLA 전기공학 박사  
2002년~현재 한림대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 전자파전파, RF안테나 설계, VES시스템



이 용 업 (Yong Up Lee)

종신회원



1985년 서울대학교 전자공학과  
공학사

1987년 한국과학기술원 전기 및  
전자공학과 공학석사

1996년 한국과학기술원 전기  
및 전자과 공학 박사

2004년 호주 UNSW 방문교수

1998년~현재 한림대학교 전자공학과 교수

<관심분야> 무선통신, 무선위치인식 시스템, 가시광  
통신 시스템