

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.115

JIWIT 2012-1-15

LED-LED 간의 통신을 위한 주파수 특성 연구

A Study on Frequency Response in LED-LED Communication

박인정*, 이규대**

In-Jung Park, Kyu-Tae Lee

요약 논문에서는 조명용 LED를 사용하여 실내 무선광 통신이 가능함을 보인다. 조명용 LED를 광원으로 사용하면 조명과 신호의 송신을 겸할 수 있으며, LED를 발광소자 및 수광 소자로 겸용할 수 있으면 포토다이오드나 포토 트랜지스터 등, 별도의 소자나 장치가 없이도 송수신기를 구현할 수 있기 때문에 별도의 통신 소자를 사용하지 않고 전송이 가능하여 장치구조가 매우 단순화 된다. 본 연구에서는 동시특성을 실험적으로 확인하고 소자의 주파수 특성을 실험을 통해 데이터를 수집하였다. 그 결과 조명용 LED를 발광/수광겸용 소자로 사용하여 무선광 데이터 전송을 할 수 있는 특성이 있음을 제시하였다. 새로운 방식의 가시광 통신이 가능함을 제시하였고, 처리 주파수도 기존 방식보다도 높은 데이터 전송이 가능함을 보여주었다.

Abstract In this paper, we demonstrate that indoor wireless optical communication is possible with lighting LEDs without a photo diode or a solar cell. A LED is used for both light emitting and light signal detection. This scheme is very useful because transmission is possible without any additional communication systems. In experiments, wireless optical communication will be carried out at a higher signal frequency of 5MHz using a lighting LEDs with both light emitting and light detection characteristics in the future.

Key Words : LED Lighting, VLC(Visible Light Communication), Frequency Response

1. 서론

최근 조명 광원으로 LED가 새롭게 주목을 받고 있다. LED의 가격은 10년마다 10배 하락하고, 성능은 20배씩 개선되고 있다. LED 광원의 장점으로 낮은 전력 소비량과 긴 수명을 들 수 있다. 백열전구는 전력의 10%만을 빛으로 전환시키지만, LED는 90%를 빛으로 변환시켜 전력 소모가 현저히 낮다. 또한 기존 전구의 수명이 최대 4,000시간인데 반해, LED의 수명은 10만시간 정도로

긴 수명이다.

LED 광원의 또 다른 장점으로는 친환경적이라는 것이다. 기존 광원이 수은과 납 등의 중금속을 쓰고 있지만, LED는 이러한 중금속을 사용하지 않는 RoHS (Restriction of Hazardous Substances) 규제를 따르고 있다. 가시광 무선통신 기술은 백열등과 형광등 같은 조명이 LED 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로써, 조명 장치에 통신기능을 더한 새로운 융합 (Convergence) 기술이다. 가시광 무선통신의 가장 큰 장

*충신회원, 단국대학교 전자공학과

**충신회원, 공주대학교 정보통신공학부(교신저자)

접수일자 2011.12.14, 수정일자 2012.2.6

게재확정일자 2012.2.10

Received: 14 December 2011 / Revised: 6 February 2012 /

Accepted: 10 February 2012

**Corresponding Author: ktleee@kongju.ac.kr

Dept. of Information and Communication Engineering, Kongju National University, Korea

점으로는 통신을 위한 주파수 사용에 법적 규제가 없다는 것이다. 가시광의 파장을 주파수로 환산 하면 대략 385THz ~ 789THz 에 해당한다. 이로 인해 RF 주파수를 사용하는 기존의 통신과 혼선의 우려도 없으며, 인체 유해성 시비로부터 자유롭다. 통신 링크를 눈으로 인지할 수 있어 도/감청 여부를 직접 판단할 수 있다. 한국정보통신기술협회 (TTA)에서는 2007 년 5 월부터 가시광 통신 서비스 실무반을 신설하여 국내 표준을 주도하고 있다. 또한, 2007 년 11 월 IEEE 802.15 에 VLC IG (Visual Light Communication Interest Group)을 신설하여 국제 표준의 기틀을 마련하였다. 일본에서는 VLCC (Visible Light Communication Consortium)를 결성하여 컨소시엄 형태로 가시광 무선통신에 대한 기술을 교류하고 있다. LED는 전기를 빛으로 바꾸는 성질을 이용하여 조명으로 활용한다. LED 조명통신 융합 원리는 그림에서와 같이 LED와 PD(Photo Diode)의 깜박임 송수신을 기본 원리로 하여 조명 기능을 유지하면서 통신도 동시에 할 수 있는 것이다. 전기에서 빛으로 바꾸는 속도가 약 30nm에서 250nm에 달하는데, 이렇게 빠른 스위칭 (on-off)을 통신 모듈레이션하여 통신할 수 있다. 사람은 초당 100이상 깜박이면, 깜박임을 인식하지 못하고 계속 켜진 것으로 인식한다. 통신에 의한 깜박임이 있지만, 계속적으로 켜진 것으로 인식되기 때문에 조명의 기능도 유지된다.

II. 관련연구

논문[1]에서는 세기변조/직접검출 (IM-DD)에 기반한 OOK-NRZ (on-off keying non-return to zero) 변조방식을 가정한다. 송신기는 함수 발생기 (Agilent 33220A)에서 1.4MHz 주파수의 사각파형 (rectangular pulse)을 생성하고, 고속 펄스 구동기[12]를 이용하여 LED 를 구동시켰다. 그림 1은 스테레오 음원 전송을 위한 고속 펄스 구동 송신부와 PIN-PD 에 역전압을 인가하여 수신된 빛 신호를 전압 신호로 바꾸어주는 수신부 회로이다. LED 는 일반적으로 쉽게 구할 수 있는 10파이(φ) 고휘도 LED를 사용하였다. 수신기는 한국 고덴시의 PIN-PD (KHP-2032, spectral sensitivity: 430nm ~ 1050nm, switch time: 30ns) 를 사용하고 역 전압을 인가하여 수신된 광신호를 검출한다. 실험 측정의 편의를 위해 LED

와 PD 는 각각 1 개씩 사용하였으며, 송수신 거리는 50cm 이내에서 측정하였다.

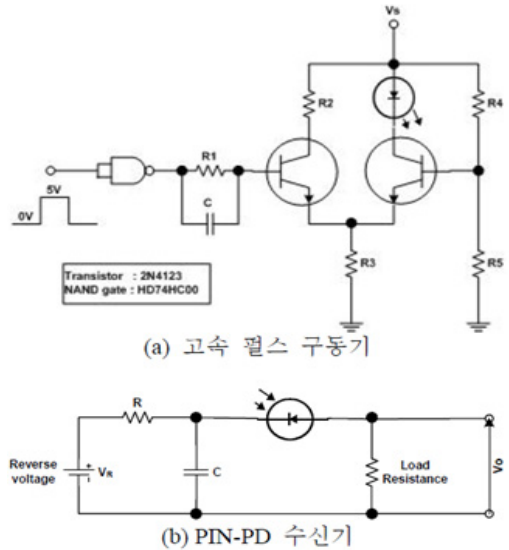


그림 1. 고속 펄스 전송을 위한 회로
Fig. 1. High speed pulse transmitter



그림 2. 구형파 (1.4MHz), (5MHz) 송수신신호
Fig. 2. Squarewaveform (1.4MHz), (5MHz)

논문[2]에서는 조명용 LED와 솔라 셀을 사용하여 실내 무선광 통신이 가능함을 보인다. 조명용 LED를 광원으로 사용하면 조명과 신호의 송신을 겸할 수 있으며, 솔라 셀을 수광 소자로 이용하면 조명광을 수신하여 에너지를 축적하는 동시에 신호를 검출할 수 있기 때문에 별도의 통신 시설을 설치하지 않고 전송이 가능하여 매우 편리하다. 조명용 LED와 솔라 셀을 이용한 무선광 통신을 실험하기 위한 구성도는 그림 2와 같다.

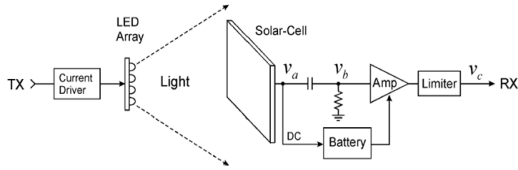


그림 3. 실험 구성도
Fig. 3. Experimental setup

그림 4는 송신부에서 문자 "F"자(110011001)에 해당하는 NRZ(Non-Return-to-Zero)의 디지털 부호를 전송할 때, 솔라 셀에서 수신된 신호파형을 오실로스코프로 관측한 것이다.

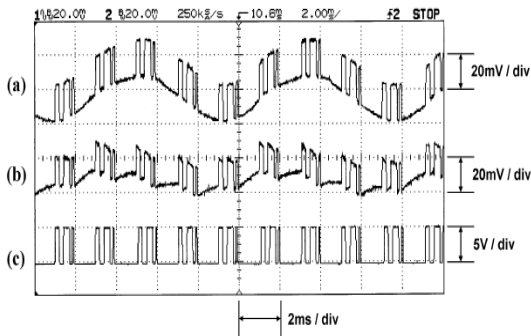


그림 4. 오실로스코프 관측 파형
Fig. 4. Waveforms observed on an oscilloscope

송신부에서는 LED에 주입되는 전류를 변조하여 LED의 출력광을 자유공간으로 방사하고, 수신부에서는 솔라 셀을 사용하여 빛을 검출하여 신호를 수신한다. 4개의 LED로 구성된 LED-array를 광원으로 사용하고 솔라 셀을 광검출기로 사용하여 무선광 링크를 구성한 후 9.6kbps의 데이터 전송 실험을 실시하였다. 이와 같은 구

조는 LED와 솔라 셀의 대역폭 제한으로 인하여 수십 kHz 정도의 낮은 주파수로 제한되지만, 조명용 LED를 사용하면 조명 시설과 무선광송신을 겸할 수 있고, 솔라 셀을 사용하면 주변의 조명광과 LED 수신광을 이용하여 전원을 생성함과 동시에 신호광을 수신할 수 있는 장점이 있다.

논문 [3]에서는 LED에 순방향 바이어스를 걸어서 발광소자로 사용하고 역방향 바이어스를 걸어 포토다이오드와 같이 수광소자로 사용한다. 이와 같은 특성을 이용하여 저전력의 값싼 LED를 사용하여 수 cm 이내에서 동작하는 양방향 통신장치를 구현하였다.

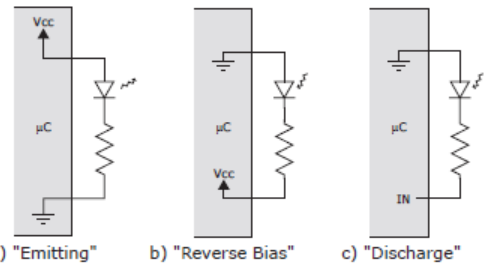


그림 5. 단일 LED에 의한 발광 및 수광
Fig. 5. Emitting and sensing light with an LED

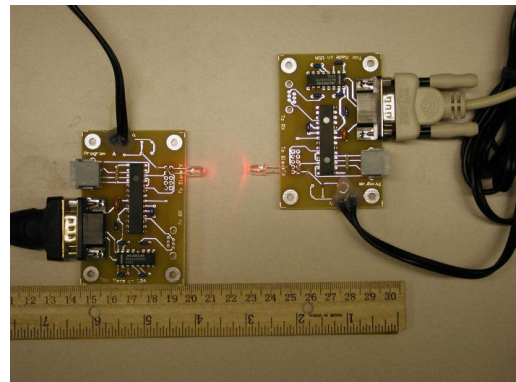


그림 6. LED에 의한 양방향 통신
Fig. 6. Bidirectional communication with LEDs

LED가 발광소자(송신장치)는 물론 수광소자(수신장치)로도 동작할 수 있다는 것은 1970년대에 Forrest W. Mims [4,5]에 의해 발표되었다.

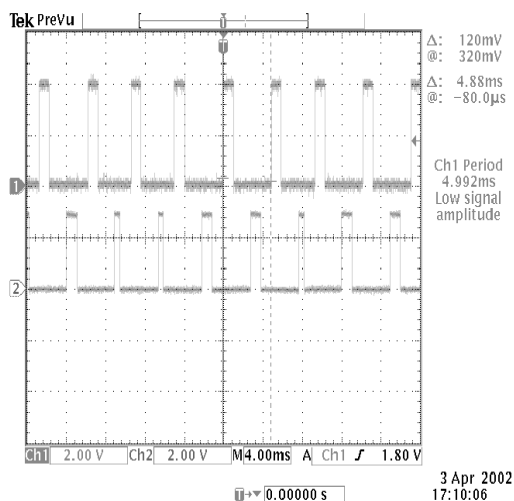


그림 7. 동기화된 두 LED의 오실로스코프 궤적
 Fig. 7. Oscilloscope trace of two devices in synchronized operation

III. 고전력 LED에 의한 발광(송신)및 수광(수신)

본 논문에서는 고전력 LED소자를 사용하여 발광특성 및 수광특성을 실험하였다. 실험에 사용된 회로는 그림 9 와 10이다. 사용된 소자는 NPN switching transistor 2N3904 P4 star U2 white 3 W 3.25 V 1000 mA, 및 P7 Emitter White 4 V, 2800 mA이다.^[6]



그림 8. P4 STAR U2 White 및 P7 Emitter White
 Fig. 8. P4 STAR U2 White and P7 Emitter White

Transistor의 Base에 교류 전압을 인가하여 송신부 LED의 동작 주파수를 조절하였다. 두 개의 LED를 서로 마주보게 하고 수신/송신으로 바뀌어가며 실험하였다. 실험 시에 발생할 수 있는 발열을 억제하기 위해 Heat sink를 사용하였다.

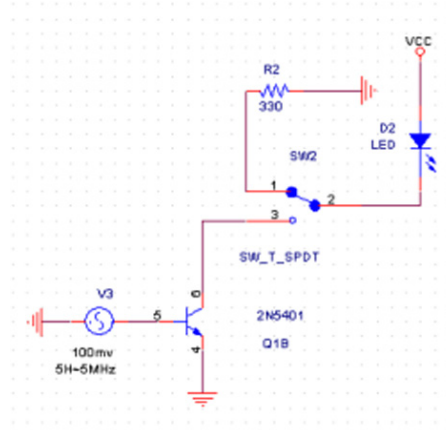


그림 9. P4 STAR U2용 송신부와 수신부 겸용회로
 Fig. 9. Transmitter/Receiver circuit for P4 STAR U2

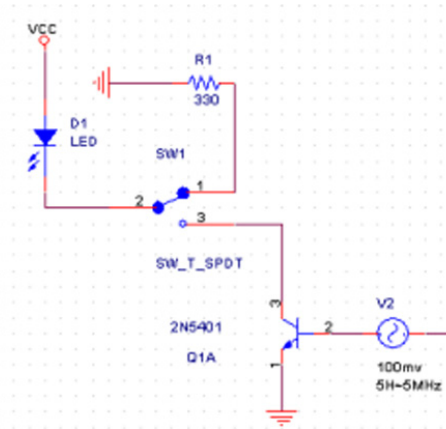


그림 10. P7 Emitter White 용 송신부와 수신부 겸용회로
 Fig. 10. Transmitter/Receiver circuit for P7 Emitter White

IV. 실험결과 및 검토

통신장치 특성을 얻기 위해 송신부 및 수신부의 주파수 특성을 실험하였다. 송신소자(발광 LED)와 수신소자(수광 LED)는 일정한 간격(5 cm)을 두었으며, 송신주파수를 100 Hz, 1 KHz, 10KHz, 100 KHz, 1MHz, 5 MHz(Function generator의 최대 값)을 인가한 뒤, 오실로스코프의 time division과 voltage division을 조절해가며 파형의 변화를 관찰, 측정하고 촬영하였다.

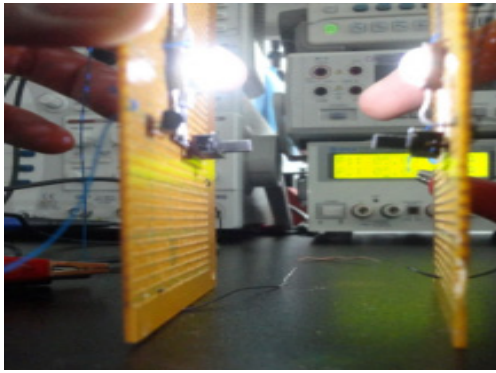
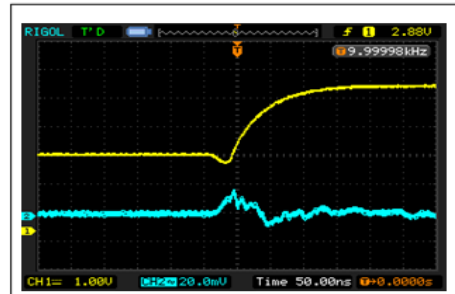


그림 11. 송신부와 수신부 검용회로보드에 의한 동작 실험
Fig. 11. Experiments using Transmitter/Receiver circuits board



CH 1	Voltage division 1 V	Transmitter
CH 2	Voltage division 20 mV	receiver
Time division 50 ns === 10 KHz		

(c)

그림 12. 발광소자 및 수광소자 주파수 특성 (a)100Hz, (b)1KHz, (c)10KHz

Fig. 12. Frequency response in LED Transmitter and LED Receiver (a)100Hz, (b)1KHz, (c)10KHz

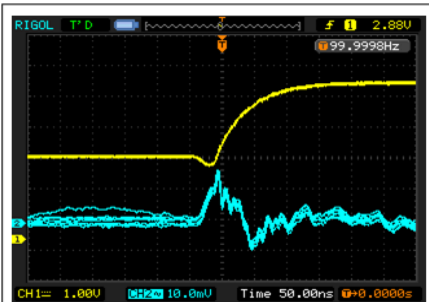
본 논문에서는 함수발생기 성능의 한계(5MHz)로 인해 5MHz 이상의 주파수 특성을 확인하지 못했다. 그러나 실험결과로 보면 5MHz이상의 구형파 입력신호에 대해서도 검출가능한 출력신호를 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

표 1. 관련 연구결과 비교

Table 1. Comparison of Related Study Results

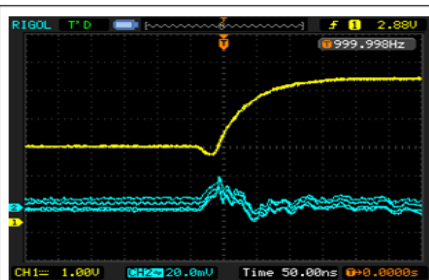
참고 문헌	송신 장치	수신 장치	송수신 파형비교	최대 주파수
논문 1	LED	PD	유사	5 MHz
논문 2	LED	솔라셀	유사	9.6 Kbps
논문 3	저전력 LED	저전력 LED	유사	200 Hz
제안한 방식	고전력 LED	고전력 LED	미분파형	5 MHz 이상

타 논문의 실험결과를 보면, 구형파 입력신호에 대해 출력신호도 구형파의 형태를 유지하였다. 그러나 본 논문의 실험결과를 보면 구형파 입력신호에 대해, 출력신호는 미분형태로 나왔다. 이는 LED를 수광소자(수신장치)로 사용할 때, 미분기와 같은 기능을 갖는 것을 보여 주었다. 그림 13의 (a)는 구형파 입력신호의 상승부(rising edge)에서의 수광소자 LED에 나타나는 미분형태



CH 1	Voltage division 1 V	Transmitter
CH 2	Voltage division 10 mV	receiver
Time division 200.0 ns === 100 Hz		

(a)



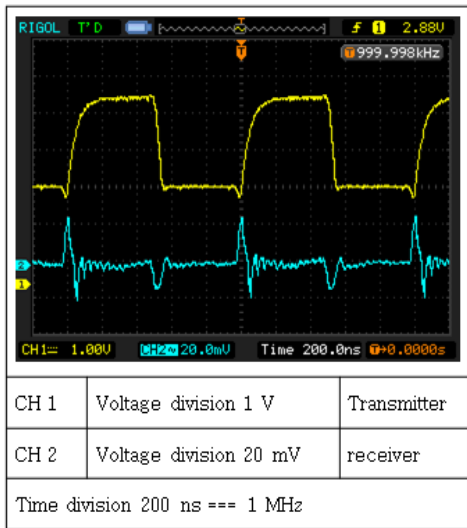
CH 1	Voltage division 1 V	Transmitter
CH 2	Voltage division 10 mV	receiver
Time division 20.0 ns === 1 KHz		

(b)

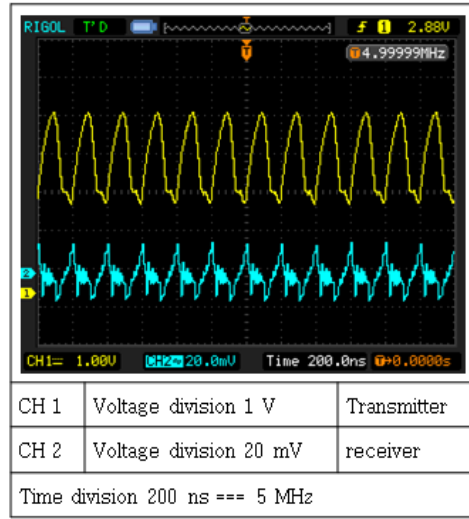
의 신호를 보여주고 있으며, 하단의 그림은 구형파의 상승부와 하강부에서의 신호형태를 주기적으로 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 13. 발광소자 및 수광소자 주파수 특성 (a)100kHz, (b)1MHz, (c)5MHz

Fig. 13. Frequency response in LED Transmitter and LED Receiver (a)100kHz, (b)1MHz, (c)5MHz

LED가 발광소자(송신장치)는 물론 수광소자(수신장치)로도 동작할 수 있다는 실험결과를 토대로 새로운 표기방식을 제안한다.

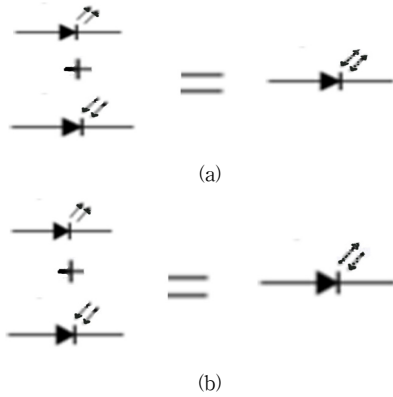


그림 14. LED와 PD 결합기능 소자의 새로운 표기방식 제안 (a) 또는 (b)

Fig.14. new symbol of LED+PD proposed, (a) or (b)

본 논문에서 사용한 실험회로의 회로도를 다음과 같이 다시 표기한다.

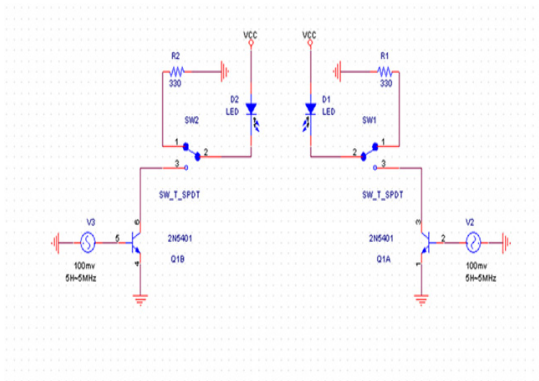


그림 15. LED와 PD기능을 갖는 소자로 표기한 회로도
Fig. 15. Circuit diagram with both LED and PD function

V. 결론

LED만을 이용하여 가시광 통신이 가능한지 실험을 통하여 확인하였다. 실험 결과 주파수가 증가할수록 파형이 좀 더 명확해 졌으며 그 전압 값도 커지는 것을 확인할 수 있었다.

이번 실험에서는 두 개의 파워 LED에 한쪽에서는 트랜지스터의 Base에 signal을 넣고 다른 LED에서 수신하는 것을 확인 하였다. 발광부에서 신호를 보냈을 때 수광부는 수Khz대부터 출력신호파형을 보였으며 약 5MHz 부터는 function generator에서 더 이상 주파수가 올라가지 않았다. 그러나 실험결과로 보면 5MHz이상의 구형과 입력신호에 대해서도 검출가능한 출력신호를 얻을 수 있음을 예측할 수 있다.

타 논문의 연구결과와의 비교를 표 1에 제시하였다. 타 논문의 경우, 구형과 입력신호에 대해 출력신호도 구형과의 형태를 유지하였다. 그러나 본 논문의 실험결과를 보면 구형과 입력신호에 대해, 출력신호는 미분형태로 나왔다. 이는 LED를 수광소자(수신장치)로 사용할 때, 미분기와 같은 기능을 갖는 것을 보여주었다.

LED가 발광소자(송신장치)는 물론 수광소자(수신장치)로도 동작할 수 있다는 실험결과를 토대로 새로운 표기방식을 제안하였다.

본 논문을 통해 새로운 방식의 가시광 통신이 가능함을 제시하였고, 처리 주파수도 기존 방식처럼 높은 데이터 전송이 가능함을 보여주었다.

참고 문헌

- [1] 이권형, 박현철, “가시광 LED 를 이용한 무선통신 시스템”, JCCI 2008.
- [2] 이성호, “조명용 LED와 솔라 셀을 이용한 실내 무선광 통신”, pp. 285-291, 韓國電磁波學會論文誌 第21 卷 第3 號 2010년 3월
- [3] Paul Dietz, William Yerazunis, Darren Leigh, “Very Low-Cost Sensing and Communication Using Bidirectional LEDs”, TR2003-35 July 2003.
- [4] Mims, Forrest M., III, *Siliconconnections: Coming of Age in the Electronic Era*, McGraw-Hill, New York, NY, 1986.
- [5] Mims, Forrest M., III, *LED Circuits and Projects*, Howard W. Sams and Co., Inc., New York, NY, pp. 60-61, 76-77, 122-123.
- [6] <http://www.led-tech.de/en/High-Power-LEDs> -Seoul

※ 본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연공동기술개발사업 (No. 000466630111)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

저자 소개

박 인 정(중신회원)



- 1974년 고려대 전자과 졸업
- 1980년 고려대학교 전자과 석사
- 1986년 고려대학교 전자과 박사
- 1981년~현재 단국대 전자과 교수
- 1988년 미국볼링그린대학 객원교수
- 2000년~2005년 한국인터넷방송통신 TV학회 회장

• 2011년~현재 LED시스템조명포럼 회장대행
<주관심분야: LED 통신 및 응용, LED 시스템 조명디스플레이, RFID, USN, 유비쿼터스 등>

이 규 대(중신회원)



- 1984년 고려대 전자공학과 졸업
- 1986년 고려대 전자공학과 석사
- 1991년 고려대 전자공학과 박사
- 2001년 미 조지아텍 교환 교수
- 2007년~2009년: 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2006년 미 시카고주립대 교환 교수

• 1992년3월 ~ 현재 : 공주대 정보통신공학부 교수
<주관심분야: 회로 및 시스템, 신호처리, SDR, VLC>