[UCI]I804:24011-200000240248

2010年 8月
석사학위 논문

조명용 LED를 이용한 무선 통신 시스템

조선대학교 대학원

전 자 공 학 과

최 준 호

조명용 LED를 이용한 무선 통신 시스템

Wireless communication using light-emitting diodes for illumination

2010년 8월 25 일

조선대학교 대학원

전 자 공 학 과

최 준 호

조명용 LED를 이용한 무선 통신 시스템

지도교수 이 충 규

이 논문을 전자공학 석사학위논문으로 제출함

2010년 4월

조선대학교 대학원

전 자 공 학 과

최 준 호

최준호의 석사학위논문을 인준함

위원장　　조선대학교　　교수　김 정 화　(인)

위　원　　조선대학교 조교수　강 문 수　(인)

위　원　　조선대학교 조교수　이 충 규　(인)

2010년　　5월　　일

조선대학교 대학원

목 차

1. 서론 ····· 1
1.1 연구의 배경 ····· 1
1.2 기술동향 ····· 1
1.3 연구범위 및 내용 ····· 4

2. 가시광 통신기술 개요 ····· 5
2.1 기존의 통신방식 ····· 5
2.2 LED를 이용한 가시광 통신기술 개발 동향 ····· 10
2.3 가시광 무선통신 표준화 동향 ····· 12
2.4 가시광통신 관련분야 연구동향 ····· 13

3. LED를 이용한 가시광 통신 모듈 ····· 15
3.1 인버터를 이용한 가시광 통신 모듈 ····· 15
3.2 20 MHz 에서 동작하는 가시광 송·수신기 ····· 22

4. 조명을 고려한 가시광 통신 시스템 ····· 26
4.1 가산기 회로를 이용한 PWM + PPM 신호 ····· 26
4.2 LabVIEW 를 이용한 PWM + PPM 신호 ····· 31
4.3 PPM 신호 복원 ····· 35
4.4 PWM 신호 폭에 따른 LED의 밝기 비교 ····· 41

5. 결론 ····· 43

[참고문헌] ····· 44
[부 록] ····· 50

도 목 차

List of Figures

그림 3.1.1 Hyper Flux LED Red color(5pi) · · · · · · · · · · · · · · · · · 16

그림 3.1.2 Bias-T 회로의 예 · 17

그림 3.1.3 Circuit of Tx with 3 MHz, 24 LEDs · · · · · · · · · · · · · · · 18

그림 3.1.4 Transmitter Signal(Frequency : 3 MHz, Peak Voltage : 1.8 V) · 19

그림 3.1.5 Circuit of Tx with 20 MHz, 1 LED · · · · · · · · · · · · · · · · 20

그림 3.1.6 송신기 출력(Frequency : 20 MHz, Peak Voltage : 2.2 V) · · · 21

그림 3.1.7 송신기 출력(Frequency : 30 MHz, Peak Voltage : 1.8 V) · · · 21

그림 3.2.1 Real Tx with 2 Inverter, 16 LEDs · · · · · · · · · · · · · · · · 22

그림 3.2.2 Circuit of Tx with 20 MHz, 8 LEDs, 1 Inverter · · · · · · · · · 23

그림 3.2.3 광수신기의 회로도 · 24

그림 3.2.4 제작한 광수신기의 실제모습 · · · · · · · · · · · · · · · · · · 24

그림 3.2.5 광신호 측정을 위한 실험장치 · · · · · · · · · · · · · · · · · 25

그림 3.2.6 측정된 송·수신기 신호 · 25

그림 4.1.1 이진 데이터로 PPM 또는 PWM 변조된 파형의 예 · · · · · · · · · 27

그림 4.1.2 Experiment Setup · 27

그림 4.1.3 Experiment Setup Block Diagram · · · · · · · · · · · · · · · · · 28

그림 4.1.4 Circuit of receiver for PWM + PPM · · · · · · · · · · · · · · · · · 29

그림 4.1.5 Real module for PWM + OOK · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 29

그림 4.1.6 PWM + OOK Signal · 30

그림 4.2.1 PWM + PPM signal with 50% width · · · · · · · · · · · · · · · · 31

그림 4.2.2 Block Diagram with LabVIEW · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 32

그림 4.2.3 Received signal 10 cm 50% width · · · · · · · · · · · · · · · · 33

그림 4.2.4 Received signal 20 cm 50% width · · · · · · · · · · · · · · · · 34

그림 4.3.1 PWM + PPM signal at Tx 50% width · · · · · · · · · · · · · · · · 35

그림 4.3.2 Received PWM + PPM signal 10 cm · · · · · · · · · · · · · · · · 35

그림 4.3.3 Recovered PPM signal 10 cm · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 36

그림 4.3.4 Circuit of receiver · 37

그림 4.3.5 Real receiver for PWM + PPM · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 37

그림 4.3.6 Transmitted Signal(black) & Recovered PPM signal(red) ・・ 38

그림 4.3.7 Transmitted Signal(black) & Received signal(blue) & Recovered PPM signal(red) ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・38

그림 4.3.8 Detected signal of 50 cm distance ・・・・・・・・・・・・・・・ 39

그림 4.3.9 Received PWM + PPM & PPM signals 10 cm ・・・・・・・・・・・・40

그림 4.3.10 Signals from Tx & Rx 10 cm] ・・・・・・・・・・・・・・・・・・40

그림 4.4.1 PWM + PPM signal with 1 KHz , 30% width ・・・・・・・・・・・ 41

그림 4.4.2 Brightness of a LED with 1 KHz , 30% width ・・・・・・・・・・41

그림 4.4.3 PWM + PPM signal with 1 KHz , 90% width ・・・・・・・・・・・ 42

그림 4.4.4 Brightness of a LED with 1 KHz , 90% width ・・・・・・・・・・42

표 목 차

List of Tables

표 4.2.1 Experimental parameters ····· 33

부 록

List of appendixes

LED specification · 50

ABSTRACT

Wireless communication using light-emitting diodes for illumination

Choi, Joon Ho
Advisor : Prof. Lee, Chung Ghiu, Ph.D.
Department of Electronic Engineering,
Graduate School of Chosun University

The objective of the research is to develop a MHz-range communication link using visible light-emitting diodes and an appropriate modulation format which supports data communication upon illumination.

Recently, the development of illumination LEDs in the visible light wavelength ranges has been active for LED illumination devices. As the communication technology based on visible LEDs is on the phase of standardization by IEEE 802.15, the research results from this thesis is important to develop a system concept, standardization, and technology implementation.

To implement communication transmitter and receiver for this experiment, the inverter is used at 20 Mb/s to transmit data signal with the distance of 10 cm or 20 cm.

On the other hand, it is performed to transmit PPM signal over PWM signal maintaining illumination. The generation and measurement of the PPM over PWM signals take advantage of 'LabVIEW'. The original PPM signal is recovered successfully with the receiver.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 LED는 높은 광도와 저전력 특성으로 조명산업에 각광받고 있는 소자 중의 하나이다. 요즘에 나오는 자동차의 램프 및 도시의 가로등 등이 LED 소자로 바뀌고 있으며 미래의 건물 램프에도 형광등 대신에 LED 소자가 사용될 전망이다. 따라서, 사용 가능성이 매우 높은 조명용 LED가 데이터 송·수신이 가능하다면, 매우 다양한 통신서비스가 가능할 것으로 예상한다.

예를 들어 차량 정체 구간에서 원인을 알고 싶을 때 차량 간 LED 테일램프와 헤드램프를 통해 간단한 정보를 차량들 간에 신속히 정보교환을 할 수 있을 것이다. 또한, 실내에서 조명용 LED를 통하여 무선통신을 할 수 있다. 그리고 앞으로 도시의 가로등이 LED 소자로 바뀐다면 이것을 통해서 가시광 통신을 할 수 있을 것이다. 따라서 간단한 정보통신을 위해서 LED 소자를 이용한 가시광 무선통신으로 다양한 서비스를 수행할 수 있을 것이다.

1.2 가시광 무선통신의 동향

가시광 무선통신 기술은 백열전구와 형광등과 같은 조명이 반도체에 의한 LED (Light Emitting Diode) 조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로써 가시광 무선통신 PHY 기술, 가시광 무선통신 L2 MAC 기술, 가시광 무선통신 응용 프로토콜 기술 등을 대상으로 하고 있다.

가시광 무선통신은 반도체가 메모리 및 프로세서에 이어 조명으로도 사용하기 시작하면서 조명 빛을 통신 광원으로 사용할 수 있는 기술로 등장하게 되었다.

따라서, 가시광 무선통신은 조명과 통신을 융합한 실체가 되었다.

또한, 가시광 무선통신은 780 nm에서 380 nm 파장(wavelength)을 갖는다. 이 파장을 주파수로 바꾸면, 385 THz에서 789 THz에 해당이 된다. 가청 주파수 대역은 20 Hz에서 20,000 Hz에 해당되고, 적외선 파장 (0.8 ㎛ ~ 1000 ㎛) 을 사용하는 IrDA, 2.4 Hz의 IEEE 802.11n, UWB, 802.15.4 Zigbee, Bluetooth, 60 GHz의

IEEE802.15-3c 등이 있다. 가시광 무선통신은 800 ~ 900 nm를 사용하는 IrDA와 가장 유사한 파장을 사용하지만, 눈으로 볼 수 있는 빛을 이용한 조명과 동시에 통신을 할 수 있다는 것이 특징이며 큰 장점이다.

현재 사용하고 있는 형광등은 수은 등 중금속을 포함하는 물질로 구성된 반면 LED (Light-Emitting Diode)는 보다 친환경적이며, 전력 절감 및 보다 긴 수명으로 인하여 미국, 유럽, 일본 등에서는 기존 조명 기구를 LED 조명으로 변경하도록 권장하는 법률 제정을 추진 중에 있다.

우리나라 지식경제부는 1530 프로젝트를 수립하여 발표(2007.2)하여 정부정책으로 추진하고 있다. 1530 프로젝트는 2015년에 LED 조명을 30%로 전환하는 프로젝트이며, 프로젝트 실현 결과로서 년 1조 6천억 원의 전력절감 효과를 예상하고 있다.

가시광 무선통신은 유선 광통신과 무선 광통신과의 기능 비교를 함으로써 보다 명확하게 이해할 수 있다. 유선 광통신은 광섬유 내부에 광을 송신하고 수신함으로써 빛의 속도로 통신할 수 있는 기술이다. 유선 광통신은 1,500nm 파장대를 사용하며, FTTH (Fiber-To-The-Home), 광전달망, 광가입자망, PON (Passive Optical Network), WDM (Wavelength Division Multiplexing) 등의 기술들로 발전되었다. 유선 광통신은 이미 오래 전부터 사용화 된 기술이다.

무선 광통신 기술은 LD(Laser Diode)를 이용하여 무선으로 통신하는 기술로써 건물 간 무선통신, FSO(Free Space Optic), IR 통신 등이 있다. 이는 주파수의 특성상 장거리 고속 무선통신이 가능하며, 가시광 무선통신 파장 380 nm ~ 780 nm에서 유선 광통신 파장 1,500 nm까지의 파장을 사용한다.

가시광 무선통신은 사용하는 파장 측면에서 유선 광통신과 무선 광통신과 차이가 있다. 또한, 가시광 무선통신은 조명 인프라를 이용한 무선통신인데 반하여, 유선 광통신과 무선 광통신은 보이지 않은 파장대를 사용함으로써 조명과 함께 사용할 수 없다.

가시광 무선통신은 광통신에서 개발된 많은 핵심 원천 기술을 적용할 수 있다.

가시광 무선통신 PHY는 조명 가시광을 통신을 위해 변조(Modulation)하고 복조(Demodulation)하는 송수신 기술과 조명 인터페이스 기술이 있다.

가시광 무선통신 L2 MAC (Medium Access Control) 기술은 가시광 무선통신 데이터 무결성을 위한 계층 2(Layer 2) 프로토콜 기술이다.

가시광 무선통신 응용 포로토콜 기술은 가시광 무선통신에서 제공할 수 있는 자

동차 안전, 초정밀 측위, M-to-M, 초정밀 센서 등의 응용 서비스를 적용하기 위한 프로토콜 기술이다.

가시광 무선통신 PHY 표준 역시 응용에 따라 별도로 표준을 개발할 필요가 있다. 예를 들면, 신호들에서 색상별로 빨강색, 노란색, 파랑색의 경우에는 신호등 빨강색은 정지신호, 노란색은 경고, 파랑색은 안전신호 등을 정의할 때에 복잡하게 할 필요 없이 단순하게 정의하여 표준으로 제정한다. 이렇게 함으로써, 실현 가능한 응용에 적용할 표준을 신속히 제정하고, 산업을 육성할 수 있다.

응용이 ID-TAG이라면, ID를 보다 쉽게 많은 영역을 식별할 수 있고, 상호 간섭이 발생하지 않는 PHY표준으로 제정하여야 한다.

초고속 센서 데이터나 M-to-M 응용을 위하여 고속 데이터 송신 및 수신을 위한 PHY 표준을 제정하여야 한다.

결론적으로 M-to-M, ID, LAN 등의 예에서 보더라도 PHY, MAC, 응용 등이 상호 연계를 갖고 별도로 표준을 제정하여야 하는 형태로 발전해야 할 것이다.

가시광 무선통신을 이용한 M-to-M 응용 서비스 예를 몇 가지 들어보자면, M-to-M 서비스는 Machine 간 통신하는 방법이며, 통상 Machine들 간의 통신이 서버를 통한 방식보다 신속하고 편리하다는 장점을 가지고 있다.

M-to-M 서비스의 응용 예는 현재 핸드폰 간 데이터 송수신 서비스가 대표적이다. 현재의 핸드폰 데이터 송수신 방법으로 IrDA 통신을 사용하고 있다. 즉, IrDA로 M-to-M하는 핸드폰은 화면과 IrDA 송수신이 동시에 실장 되어 있어서 별개의 기능을 수행하지만, 가시광 무선통신에 의한 M-to-M 서비스는 화면이 LED로 구성되어 있어서 화면의 기능뿐만 아니라 통신도 가능하게 되어 2개의 모드를 융합하여 하나로 되는 장점이 있으며, IrDA보다 가시광 무선통신이 전송속도가 수배 이상 되는 것이 장점이다.

이와 같은 가시광선 대역의 LED를 이용한 통신의 장점을 활용하기 위한 PWM 기반 가시광통신 기술의 관한 연구를 수행하였다.

1.3 연구범위 및 연구내용

조명용 LED의 파장을 반송파로 이용하여 정보를 송신할 수 있는 광송신기를 제작하고, 포토다이오드를 이용하여 정보수신이 가능한 광수신기를 제작한다. 기존의 송신기는 LED드라이버를 이용하여 만들었지만 이 논문에서는 인버터 소자를 이용하여 20 MHz까지 동작하는 송신기를 만들 계획이다. 이는 일정 전압레벨을 넘기면 0 V에서 5 V의 DC전압을 출력할 수 있기 때문에 인버터로 들어오는 신호가 깨끗하지 못하더라도 On-Off 기능을 하여 마치 스위치처럼 동작할 수 있기 때문에 인버터를 거쳐서 깨끗한 데이터 신호를 만들 수 있다. 이 디지털 신호는 정보를 가진 데이터 신호로 볼 수 있다. 따라서 좀 더 양질의 데이터 신호를 복원하는데 효과적이라고 할 수 있다.

또한, 밝기를 조절하는 디밍(Dimming system)을 이용하여 PWM 방식의 Dimming 신호 위에 데이터 신호를 올려서 조명으로 사용하는 동시에 데이터 전송까지 할 수 송·수신기를 제작한다. 송신기 제작의 핵심은 Dimming을 위한 신호와 데이터 신호를 그대로 합할 수 있는 회로를 구성하는 것과 수신기에서 데이터 신호만 추출하여 복원시키는 것이다. 이는 송신기 부분에서는 가산기 회로를 이용하여 Dimming 신호에 데이터 신호를 올릴 것이고 수신기 부분에서는 정류회로를 통하여 데이터 신호만 잘라내어 증폭시켜서 복원시킨다. 또한, PWM을 수행하는 Dimming 신호 위에 OOK를 이루는 시스템을 만들고 여기서 더 확장하여 데이터의 '1'과 '0'에 해당하는 신호를 구분하기 위해 일정한 위상차를 주어서 데이터 신호를 전송하는 PWM + PPM 시스템을 제작한다. Dimming 시스템은 200 Hz ~ 1 KHz에서 이루어지는 주파수가 낮은 대역이다. 데이터를 전송할 수 있다하더라도 데이터 전송률이 낮은 한계점이 존재한다. 따라서 데이터 전송률을 높이는 방안도 차후 연구개발할 예정이다. 본 논문의 연구결과는 연구 진행 중 The Optoelectronics and Communications Conference 2010 (OECC2010)에 제출되어 2010년 7월 7일 발표 예정이다[OECC-2010].

2. 가시광 통신 기술

2.1. 기존의 통신방식

2.1.1. IrDA [irda]

IrDA (Infrared Data Association)는 적외선 통신 링크에 사용되는 하드웨어와 소프트웨어에 대한 국제표준을 만들기 위해 산업계가 후원하는 비영리 조직으로 1993년에 결성되었다. IrDA는 데스크탑, Notebook PC, 개인 휴대 정보 단말기(PDA 등), 휴대폰 간에, 적외선을 이용하여 데이터를 전송하는데 필요한 하드웨어와 소프트웨어의 지원 및 협력을 위하여 1993년 설립된 민간 표준화 단체로 미국 California주 Walnut Creek에 소재하고 있다.

세계의 PC 메이커와 통신기기 등이 참여하고 있으며, 마케팅, 기술, 테스트등 3개의 위킹그룹으로 구성되어 있다.

IrDA(Infrared Data Association) 통신기능이 포함된 노트북 PC나 PDA,휴대폰을 사용할 경우 사용자들은 데스크탑 PC의 적외선 포트를 향해 노트북,PDA,휴대폰의 적외선 포트를 대향시키고 데이터 송신 버튼을 클릭하기만 하면 원하는 기기에 필요한 정보를 보낼 수 있다. 적외선 포트는 데스크탑, 노트북 컴퓨터 PDA,휴대폰, 디지털 카메라, 각종 산업용기기 및 시험기 등에 내장될 수 있다. 이것을 이용하여 사람들은 무선으로 파일을 전송하고 별도의 프린터 케이블 없이 원하는 문서의 인쇄도 가능하게 되었다. IrDA는 다른 기종간의 호환성을 해결하기 위하여 다양한 범위의 전송 속도를 가지는 저비용, 근거리, 일대일 통신을 위해 최적화된 통신 표준을 제정하게 되었다.

적외선 데이터 통신은 데스크탑 컴퓨터, 노트북 컴퓨터, PDA, 디지털 카메라, 휴대폰, 무선호출기, 프린터 등의 대중화에 따라, 이제 무선데이터 통신 분야에서 중요한 역할을 수행하고 있으며 노트북 컴퓨터에서 프린터로 문서를 보내고,PDA를 이용하여 명함을 교환하거나, 데스크탑 컴퓨터와 노트북 컴퓨터 사이에 스케줄이나 전화번호부를 동기화 시키거나, 디지털 카메라에서 컴퓨터에 이미지를 보내는 일에 적용되어지고 있고 응용 분야가 점점 더 증대되고 있다.

IrDA기술은 일반 리모컨 등에서 활용하고 있는 적외선을 이용해 전파를 이용한

통신 방식처럼 상호 간섭하거나 다른 기기를 오동작 시키는 등 예기치 않는 현상이 거의 발생하지 않기 때문에 안정성이 매우 높은 기술로 평가받고 있으며 이러한 안정성 때문에 휴대폰 등을 이용한 전자지갑에의 응용에도 관심이 증대되고 있으며, 보안성이 뛰어나고, 투자비도 최소화할 수 있는 적외선 통신이 차세대 금융결제 시스템으로 가장 적합한 수단으로 인식이 되고 있다.

또한 공장의 창고관리 시스템에의 적용, 고속도로에서의 톨게이트 무인화시스템, 적외선 명함 교환기 등으로 그 활용범위를 점점 넓혀가고 있다. 무선 통신 시스템에서 적외선 무선통신기술은 RF 기술 보다 몇 가지 이점이 있다.

IrDA의 장점으로는 첫째로 전파가 아닌 빛을 사용하기 때문에 주파수 사용허가(IEEE)가 필요 없다. 또한 넓은 대역폭과 높은 전송속도를 가질 수 있다. 그리고 안정성이 높고 무선이므로 기동성이 뛰어나다.

둘째로 소비전력이 적고 부품의 가격이 저렴하다. Data 통신, 음성, 화상 통신도 가능하다. 그리고, 근접 주파수에 대한 간섭이 없고 전자파 장애가 거의 없다. 또한 다양한 가전제품과 컴퓨터에 관한 기기들과 별로 간섭 없이 무선 접속을 할 수 있다.

2억 5000만 유닛 이상에 설치돼 있으며, 매년 40% 이상 성장하고 있다. 게다가 지원되는 하드웨어, 소프트웨어의 범위가 매우 넓어서 많은 범위에 활용할 수가 있다. 추후 개발되는 버전이 이전 버전과 호화된다는 장점도 가지고 있다.

셋째로 다른 전자장비와 간섭이 거의 없고 정지된 장치를 위한 낮은 수준이 보안성을 가지고 있다. 그리고 높은 데이터 전송 속도를 가지고 있는데 현재 4 Mbps, 16 Mbps 모듈을 개발 중에 있다.

단점으로는 안개나 대기 중의 먼지 등에 의해 제한적인 범위를 가지고 있다. 또한 직사광선이나 형광등 및 백열등 같은 여러 가지 빛들이 잡음으로 작용하고 있다. 그리고 한정된 거리에서 만 사용할 수 있고 대략 30°의 좁은 각도를 가지고 있다.

다음은 IrDA의 표준화 진행과정을 살펴보면 다음과 같다.

IrDA (Infrared Data Association)는 적외선 무선 통신 링크에 사용되는 하드웨어와 소프트웨어에 대한 국제표준을 만들기 위해 산업계가 후원하는 비영리 조직으로 데스크 탑, 노트북, 개인 휴대 정보 단말기(PDA, HPC, 전자수첩 등), 휴대폰, 페이저, 산업용 데이터 정보 단말 기간에, 적외선을 이용하여 데이터를 전송하는데 필요한 하드웨어와 소프트웨어의 지원 및 협력을 위하여 1993년 설립된 민간

표준화 단체로 미국의 California주 Walnut Creek에 소재하고 있습니다. 설립당시에는 적외선통신에 대한 기술이 서로 난립하여 체계적인 발전이 이루어지지 못하고 있었다. 그리하여 세계의 PC 메이커와 통신기기 등이 참여하여, 마케팅, 기술, 테스트 등 3개의 위킹 그룹으로 구성되어 활동하여, 적외선 통신 SIR 표준, IrDA Ver 1.0 (Serial Infrared)이 채택되었고, 그 개념은 케이블, 커넥터, 시리얼 포트를 적외선 통신 포트와 대체한 것으로서 RS-232C나 시리얼 포트를 기초로 한 것이다. 1994년 적외선 통신 SIR 표준, IrDA Ver 1.0(Serial Infrared)이 채택되었고, 그 개념은 케이블, 커넥터, 시리얼 포트를 적외선 통신 포트와 대체한 것으로서 RS-232C나 시리얼 포트를 기초로 한 것이다. 반이중 통신으로 전송 속도는 2.4 ~ 115.2 Kbps, 통신거리는 1 m, 지향각도는 30°로 되어 있었으며, 윈도우 95에 표준 장착됨으로써, IrDA 표준 규격에 준거한 적외선 통신 포트를 장착한 기기의 보급이 급속히 증가하는 전기를 마련하게 되었다. 1995년부터 저소비 전력, 시리얼 포트를 대체한다는 목표를 설정하여 활동하고 Hewlett Packard, IBM, Sharp 등 3사에서 제안하여 기존의 IrDA 1.0을 개량한 최대 4 Mbps의 IrDA 1.1 규격이 설정되어 화상 정보를 전송할 수 있는 토대가 마련되었다. 이에 따라 이 규격에 해당하는 적외선 통신 기기, 모듈, 이 규격의 포트를 장착한 데스크 탑, 노트북, PDA, HPC, 전자수첩 등의 모바일 정보 기기, 디지털 카메라, 프린터 등의 관련제품이 제조 출하되고 있다. 1997년에는 통신거리 20 cm 의 짧은 절전형 규격이 추가되었다. 1998년에는 1대의 호스트와 복수의 단말 간에 통신할 수 있는 적외선 규격 IrDA Control을 표준화 하여 PC와 키보드, 마우스, 게임팩 등의 주변기기를 접속하기 위한 규격이 설정 되었다.

2.1.2. 블루투스 [Bluetooth]

블루투스와 IrDA의 적용 분야는 서로 비슷하다. IrDA에서 정의한 응용 분야 가운데 많은 부분을 역시 블루투스에서도 정의하고 있다. 그러나 상황이나 조건에 따라서 IrDA가 블루투스에 비해 더 낫거나 그 반대인 경우도 있다. 분야별로 서로의 장·단점을 비교해 보겠다.

IrDA나 블루투스 둘 다 데이터 교환을 기본적인 기능으로서 지원한다.
블루투스와 IrDA는 양측 모두 이 어플리케이션을 지원하기 위해 같은 상위 계층

프로토콜, 즉 OBEX를 사용한다. 같은 방식을 사용함으로써 IrDA 장치와 블루투스 장치 간에 데이터를 교환할 수 있도록 하는 것이 IrDA와 블루투스의 의도인 것이다. 각각의 기술은 서로 장·단점을 갖고 있다. IrDA가 짧은 거리를 타깃으로 하고 있는 반면, 블루투스는 비교적 먼 거리에 적용하기 때문에 블루투스가 이점에서 우위에 있다고 할 수 있다.

전자 명함을 주고받을 경우, 두 사람이 회의실에서 만나 얼굴을 보면서 명함을 교환할 경우, 같은 장소의 다른 사람들도 명함 교환을 할 것이다. 이러한 경우 IrDA가 매우 유리하다. IrDA의 겨우 근거리에서 서로의 장치를 하나씩 찍으면 되는 것이기 때문이다. 이때 다른 사람들도 서로 동일한 방법으로 찍으면 된다. 이처럼 IrDA는 간단하고 편리함이 매력이다. 반면 블루투스는 우선 명함을 주려는 수신자의 장치를 전자적으로 확인하여야 하는데, 이것은 간단히 되지 않다. 블루투스 장비는 다른 많은 장비 중에서 사람이 눈으로 보고 찾는 것이 아니라 블루투스 장비 검색 메커니즘에 의해 찾아야 하기 때문에 시간이 더 소요된다. 장비의 목록 중 원하는 것을 선택한 다음 그것을 갖고 있는 사람에 대한 정보(이름, 주소 등)를 얻은 후 명함을 보내게 된다.

IrDA에 비하여 훨씬 불편하다. 장치 사이에 장애물이 있는 경우를 보면 블루투스는 전파의 특성상 어느 정도의 장애물을 관통하기 때문에 적외선에 비해 유리하고 또한, 거리가 멀어질 경우 블루투스가 유리하다고 말할 수 있다.

IrDA-1.0 (115.2 Kbps) 규격이 나온 지 2년 반의 짧은 기간 동안에 IrDA 규격은 다시 IrDA-1.1 (4 Mbps)로 발전되었다. IrDA-1.0과 IrDA-1.1의 표준화를 계기로 각 관련 제조업체의 적외선 통신 제품의 개발이 더욱 활성화 되고 있으며, 적외선 통신이 각 분야에서 각광을 받기 시작하고 있다. 현재 시장에는 IrDA-1.0 및 IrDA-1.1 적용이 가능한 많은 제품, 부품, 소프트웨어, 어답터, 모바일 시스템들이 많이 출시되고 있으며, 광전자, 아날로그 및 디지털 인터페이스 ASIC 부품들이 시장에 속속 출시되고 있다. 이러한 발전 상황에서 물리 모듈레이션, 프로토콜, 시스템 처리, 장착 및 외부 탑재 등을 고려할 때에 IrDA-1.0 과 IrDA-1.1의 차이점을 이해하는 것이 매우 중요하다고 생각한다.

적외선통신은 접속 형태의 관점에서 세 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째는 1 : 1 지향형 통신으로서 적외선 송신기와 수신기를 서로 대향시켜 1 : 1의 통신을 하는 것으로 대부분의 IrDA나 ASK가 이 부류에 해당된다. 단거리 통신의 경우에 하드웨어의 구조가 간단하고 저 소비전력으로 실현이 가능하기 때문에

많이 사용되는 방식이다.

두 번째는 1 : n (다수)의 지향형 통신으로 시스템은 복수의 단말과 하나의 적외선 허브로 구성되며, 허브는 천장 등의 전망이 막히지 않는 장소에 설치되어 모든 단말에 신호가 도달되도록 높은 출력으로 넓은 범위에 방사된다.

세 번째는 무지향 통신으로 적외선은 천장을 향하여 방사되고 천장에서 신호가 반사되어 상대국간의 장애물에 영향을 받지 않기 때문에 무지향 통신이 가능하게 된다. 높은 적외선 출력강도와 수신감도가 요구된다.

2.1.3. UWB [Ultra-wideband]

무선 디지털 펄스라고도 알려져 있는 초광대역은 단거리 구간에서 저전력으로 넓은 스펙트럼 주파수를 통해 많은 양의 디지털 데이터를 전송하기 위한 무선 기술이다. 초광대역 무선장치는 0.5 mW 정도의 저전력으로 70 m의 거리까지 대용량의 데이터를 전송할 수 있을 뿐 아니라, 고전력과 좀 더 제한적인 대역폭에서는 신호를 반사하는 문이나 기타 다른 장애물들을 통과하여 그 너머까지 신호를 전송할 수 있다. 초광대역은 포켓용 무선장치 등을 데스크탑 컴퓨터와 접속시켜주는 또 다른 표준 단거리 무선 기술인 블루투스와 비교될 수 있다.

초광대역은 매우 넓은 스펙트럼에 걸쳐 반송파에 매우 정확히 시간이 맞추어진 디지털 펄스를 동시에 퍼뜨린다. 송신기와 수신기는 1018분의 1의 정확도로 신호를 송수신하기 위해, 서로 조화롭게 동작해야 한다. 이미 사용되어지고 있는 어떤 주파수 대역에서, 일반적인 경우보다 전력을 적게 소모하고, 예측 가능한 배경 잡음이 적어서 이론적으로 아무런 간섭현상이 없는 초광대역 신호를 만드는 것도 가능하다. 초광대역 기술을 사용하려고 시도하고 있는 타임 도메인이란 회사는 IBM이 만든 1.25 Mbps 속도로 전송하는 것이 가능한 마이크로칩을 사용하고 있지만, 수십 Mbps의 데이터 전송도 가능한 잠재력이 있다고 말한다.

초광대역은 두 가지 종류의 응용 분야를 가진다.

전파탐지기, 즉 레이더가 관련된 것으로, 근처에 있는 표면에서는 통과하지만, 좀 더 떨어져 있는 표면에서는 신호가 반사됨으로써, 벽이나 기타 장애물 뒤에서도 사물을 인식하도록 하는 분야가 있고 디지털 펄스를 사용하여 음성이나 데이터를 전송, 즉 매우 낮은 전력과 비교적 적은비용으로 만들어진 신호를 이용해 제한된

지역 내에서 초고속으로 정보를 전달하는 분야가 있다.

미연방통신위원회는 초광대역을 상업적으로 이용하는 것을 2002년 2월 14일자로 승인했다.

2.2 LED를 이용한 가시광 통신기술 개발 동향

가시광 무선통신 연구동향을 정리하면 다음과 같다.

한국광기술원(KOPTI)은 2004년부터 조명용 고휘도 LED를 사용한 통신시스템 가능성을 실험적으로 검증해 왔다. 2005년 중반부터 산업자원부 신기술 실용화개발사업을 통해 가시광 무선통신 관련 연구를 수행하였고, 현재 통신성능을 높이는 연구를 수행하고 있다.

삼성전자는 미래 기술에 대한 선행 연구 및 국내외 표준화 선도의 일환으로 TTA 표준화 위원회에서 활발히 활동하고 있으며, 핵심기술에 대한 자체 연구개발을 추진하고 있다. 2006년 상반기부터 휴대 단말기 및 멀티미디어 기기 간의 Point-to-point 거리 통신 분야와 옥내외 LED 전광판 및 상업용 LED 조명을 이용한 정보 방송 분야, 실외 LED 조명을 이용한 근거리 LAN 분야의 가시광 통신 기술을 연구 개발하고 있으며 기술력을 확보하고 있다. 보다 고속의 데이터를 Point-to-point 및 Point-to-Multipoint 방식으로 통신할 수 있는 기술 개발을 추진하고 있습니다. Oxford 대학의 O’Brien 교수연구팀과 공동연구를 수행하고 있다.[IEEE PTL Vol.20, No. 14,pp.1243-1245,2008]

미국은 홈네트워크 분야의 새로운 고속 무선 접속 기술로서 연구 개발을 진행하고 있다. Pennsylvania 주립대에서는 홈 네트워크 상에서 댁내 멀티미디어 기기들에게 데이터 및 음성, 영상 서비스를 제공하기 위한 고속 광대역 접속 기반으로서 전력선통신과 결합된 가시광통신 시스템을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 1 Gbps에 이르는 광대역폭을 제공할 수 있음을 보였다. Boston 대학을 중심으로 하여, Rensselaer Polytechnic Institute, New Mexico 대학 등은 Smart Lighting Engineering Research Center(ERC)를 설립하여 National Science Foundation (NSF)로부터 5년 이상의 연구비를 수주하였다.

유럽은 새로운 단거리 고속 무선 접속 기술로서 연구 개발을 진행하였으나, 2008년부터 유럽연합 경쟁력혁신 정책지원사업의 일환으로 근거리무선광통신 기술 개

발이 학계 및 산업계에서 진행 될 예정이다. 옥스퍼드 대학에서는 적외선 대역의 무선 광통신을 위한 연구를 수행하여왔으나[O'Brien-2005], 최근 백색 LED조명을 이용한 가시광통신의 전송 대역폭 향상을 위하여 다중 Resonant equalization 기법에 관한 연구 개발을 수행하였다[Minh-2008]. WWRF (world wireless research forum)은 단거리 무선통신 기술에 대한 기술논의 및 협력을 추진하고 있으며, 2007년부터 Oxford대학, 삼성전자, 프랑스 텔레콤, 지멘스가 공동으로 가시광 무선통신기술의 시장전망 및 기술개발 로드맵을 제출하였다. WWRF를 통해 2008년 상반기부터 차량간 통신기술에 대한 white paper에 관한 작업을 진행하고 있다.

일본은 2004년부터 관련된 산학연 단체들이 VLCC(visible light communication consortium)라는 단체를 구성하여 가시광통신 기술의 연구 개발, 조명용 LED의 가시광 통신 적용방안과 가시광통신의 실생활 응용 방안에 관한 연구를 수행하고 있다. 또한 일본 국내 표준안 제정을 위하여 단체 표준안을 단계적으로 추진하고 있다. 총무성은 2006년 11월 NTT 연구소와 오키전기공업, NEC 등 민간기업과 공동으로 가시광통신 기술의 5년 이내에 실용화를 목표로 연구 개발 추진 계획을 공표하였다. 게이오 대학에서는1999년부터 조명용 LED를 이용한 가시광통신기술을 연구하기 시작하였으며, 가시광통신을 ITS에 적용하는 방안, 백색 LED Array와 Image Sensor를 이용한 데이터 전송 다중화기법, 네트워크 접속을 위해 전력선 통신을 가시광통신과 결합하는 방안 등의 다양한 기술들에 대한 연구 개발을 진행하고 있으며, 일본 내 가시광통신 기술의 연구 개발을 선도하고 있다[Komine-2003, Komine-2004, Komine-2005, Lee-2005]. NEC와 시미즈 건설에서는 2006년 3월에 조명용 LED로 구현된 전시관용 조명과 교통 신호등을 이용하여 가시광 Tag-ID를4.8 Kbps로 전송하여 상품정보, 음식점 메뉴 정보, 보행자 위치 인식 및 네비게이션 정보를 전달하는 응용 방안을 구현하고 시현한 바 있으며, 기술 개발을 진행하고 있다.

2.3. 가시광 무선통신 표준화 동향

IEEE 802.15의 표준화 동향을 살펴보면 IEEE802 LMSC (LAN/MAN Standards Committee)의 802.15에서 Study Group (SG-VLC)을 구성하여 국제 표준화에 큰 관심을 두고 있다. 한국의 삼성전자,ETRI를 중심으로, 유럽의Siemens, Oxford Univ.가 적극적으로 참여하고 있다. 유럽 및 일본의 표준화 동향을 살펴보면 WWRF의 WG5는 단거리 무선통신기술(Short Range Wireless Communication Technology)에 대한 기술논의 및 협력을 추진하는 분과로서 다양한 차세대 무선 접속 기술 중의 하나로 가시광통신 기술을 검토하고 있으며, 옥스퍼드 대학, 삼성 전자, 프랑스 텔레콤과 지멘스가 공동으로 가시광통신 기술의 killer application과 시장 전망, 기술 개발 로드맵 등에 대해 분석 및 정리하는 White Paper 작성을 진행하고 있다. VLCC는 게이오 대학 주도하에 가시광통신 기반 기술과 시스템, 소자, 통신 서비스에 관련된 산학연 단체들의 모임으로 설립되었으며, 기술 교류와 활성화, 시스템의 개발 및 시연, 인지도 확산과 일본 국내 표준화를 목적으로 활동하고 있다. 게이오 대학, NTT DoCoMo, KDDI, Matsushita, NEC, Sony,Toshiba, Toyota Gosei 등 산학연 단체들이 VLCC에 가입하여 활동하고 있다.

가시광 무선통신 방송서비스 모델로는 LED 전광판 또는 LED 조명을 이용한 저속 단방향 방송전송에 관한 개발이 진행되고 있으며, 음성서비스 및 광 Tag ID 전송 서비스, 교통정보 서비스 등에 관한 서비스 모델이 제안되었다. 가시광 무선통신 측위서비스 모델로는 가시광 무선통신기술을 이용하여 현재 위치를 파악하여 사용자의 단말기에 저장된 지도상에 표시하여 위치 표시 및 길 찾기 정보를 제공하는 서비스 모델이 제안되었다. 가시광 무선통신 자동차 안전서비스 모델로는 교통신호등 또는 표시등을 활용 하여 주행 중인 운전자에게 간단한 정보를 제공하는 서비스 모델에 관한 연구가 수행 중에 있다.

2.4. 가시광통신 관련분야 연구동향

최근 가시광 무선통신 변복조기술의 연구결과들을 정리하였다.
최근까지의 변복조 기술 연구는 가시광 무선통신을 목표로 하여 수행되지 않고, 적외선 무선통신 또는 일반적 광무선통신을 목표로 대부분 수행되었으며, 2008년에 이르러 조명용 LED를 이용한 시스템에 대한 변복조 기술에 관한 연구가 발표되기 시작하였다.

Z. Ghassemlooy 연구팀은 실내용 광무선 통신시스템에 적합한 변조신호를 개발해왔는데, on-off keying (OOK) [Dickenson-2004], pulse-position modulation (PPM)[Ghassemlooy-1998], and dual header pulse interval modulation (DH-PIM)[Aldibbiat-2002, Aldibbiat-2005] 등에 관한 연구결과를 발표하였다.
(영국, Univ.Northumbria)

K. K. Wong 연구팀은 다중경로분산 (multipath dispersion)과 인공적인 광간섭(light interference)이 존재하는 환경의 비지향성 가시성 (non-directed LOS) 링크에 대해서 OOK, 2-PPM and SIK 변조방식에 대한 성능을 분석하고 시뮬레이션으로 검증하여 발표하였다.[Wong-2000] (영국, Univ. Leeds)

M. Nakagawa 연구팀은 2006년 전력선통신(PLC: power line communication)시스템과 가시광무선통신(VLC) 시스템의 집적시스템에서 Narrowband OFDM의 통신성능을 계산한 연구결과를 발표하였다. [Komine-2006] (Keio University, Japan)

Q. Liu 연구팀은 2004년 IEEE Globecom 2004에서 turbulent atmospheric channel을 통한 subcarrier PSK intensity 변조된 광무선통신시스템에 관한 연구결과를 발표하였다. [Liu-2004] (Oakland University, USA)

T. Ohtsuki 연구팀은 2004년 IEEE Globecom 2004에서 광무선 통신시스템의 데이터 전송률을 증가시키기 위한 multiple-input multiple-output 기술에 대한 연구결과를 발표하였다.[Ohtsuki-2004] 특히, Zero Forcing (ZF) 방법을 사용하여 다른 광신호원에서 송신된 간섭신호를 제거하는 방식을 사용하였다.

(Tokyo Univ. of Science)

T. Ohtsuki 교수는 Turbo-coded atmospheric optical subcarrier phase-shift keying(PSK)시스템과 Turbo-coded atmospheric optical pulse position modulation (PPM) 시스템을 제안하고, BER성능을 비교하였다.
[Ohtsuki-2002] (Tokyo Univ. of Science)

T. Ohtsuki 교수는 2003년 IEEE Communications Magazine에 광무선 통신에서의 Multiple-subcarrier modulation (MSM) 기술에 대해 발표하였다. 특히,subcarrier signal point sequences(SSPS)를 이용한 MSM 광통신시스템에 대한 설명을 포함하고 있다.[Ohtsuki-2003] (Tokyo Univ. of Science)

J.M. Garrido-Balsells 연구팀은 2006년 Electronics Letters에 데이터율에 적응하는 무선광통신 시스템을 위한 가변 weight multiple-PPM 기술에 관한 연구를 수행 하였다. [Balsells-2006] (University of Malaga, Spain)

J.-P. M. G. Linnartz 연구팀은 2008년 ICC에 고출력 LED 시스템에 있어 각 LED 램프의 조명을 감지하여 조절할 수 있도록 정보를 PPM 방식으로 코드화하여 전송하는 code-time division multiple access - pulse position modulation (CTDMA-PPM)지능형 조명제어시스템을 발표하였다.
[Linnartz-2008] (네덜란드, Philips Research)

X. Li 교수는 Proceedings of 2008 IAJC-IJME 에서 시뮬링크에 기반한 QAM 통신 시스템에 관한 연구결과를 발표하였다.
[Li-2008] (Indiana State University, USA)

3. LED 소자를 이용한 가시광 통신 모듈

3.1 인버터를 이용한 가시광 통신 모듈

본 연구에서는 조명용 LED를 이용한 가시광 무선통신용 송·수신 모듈 제작을 위해 인버터 소자를 사용하였다.

인버터 소자는 Enable 단자가 있어서 스위칭 기능을 할 수가 있다. 74HCT540 인버터는 Enable 단자가 2개 있는데 Enable 단자 하나에는 4개의 입·출력을 얻을 수 있다. 따라서 총 8개의 LED를 제어할 수 있다. 처음에는 인버터 한 개를 사용하여 8개의 LED를 동작시켜 보았다.

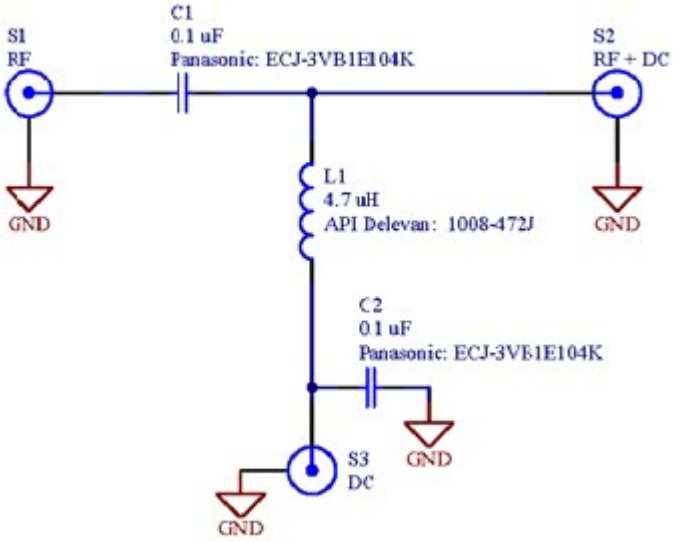
인버터 소자를 사용한 이유는 입력에 0 V가 걸리면 5 V 전압을 출력하고 5 V 전압이 걸리면 0 V가 출력이 나오게 된다. 일단 여기서 설계한 회로는 모두 0 V 입력을 주어서 5 V 출력전압이 나오게 하였다.

LED 소자는 빨강색을 사용하였다. 빨강색 파장은 대략 710 nm 정도 된다. 여기서 사용한 LED는 슈퍼 하이퍼 플럭스 5pie 제품 [NingBo Bright Co.]으로 밝기가 슈퍼 플럭스 제품(3pie)보다 렌즈 구경이 더 커서 발산되는 빛의 양이 더욱 많아져 훨씬 밝아 보인다. 이는 수신 거리를 늘릴 수 있는 최적의 조건이 된다. 자동차 DIY에 최근 많이 사용되는 신제품이기도 하고 깜박이(미등) 또는 장식용, 조명 등 다용도로 쓰이는 LED 제품이다.

[그림 3.1.1 Hyper Flux LED Red color(5pi)]

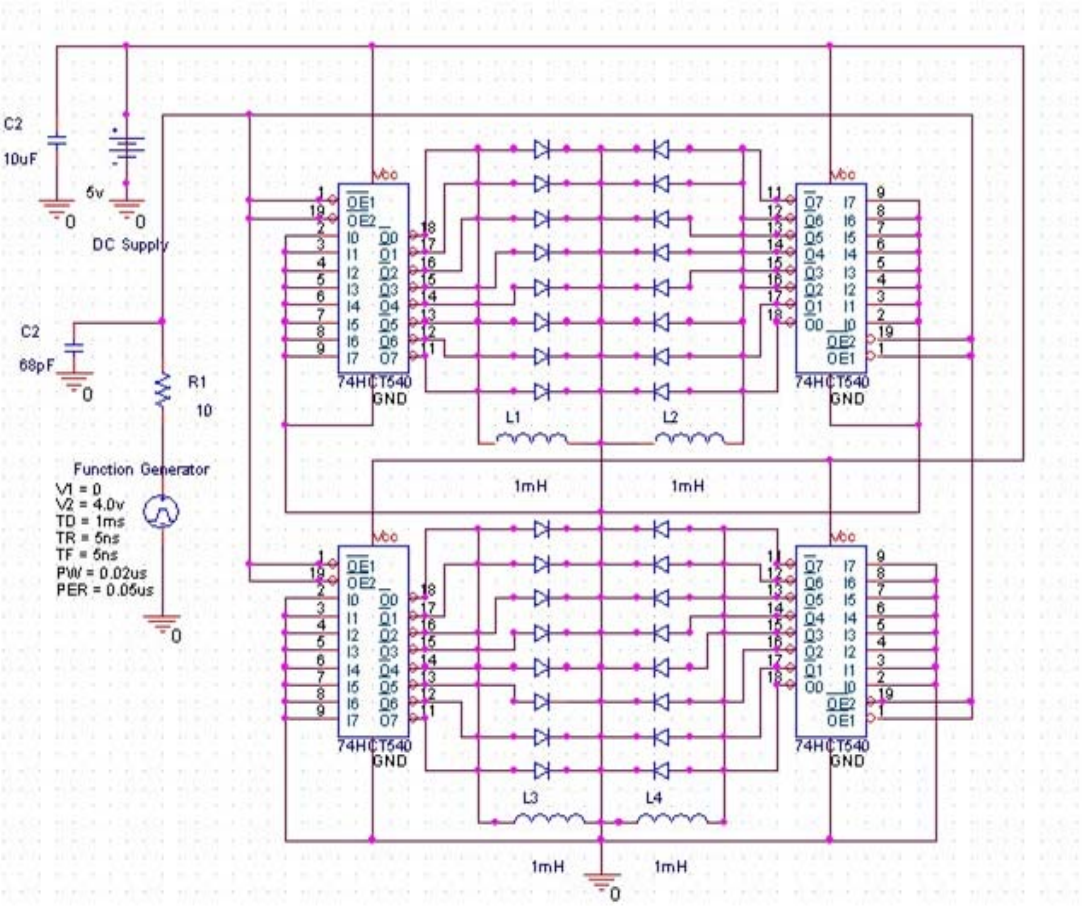
이 LED 스펙을 간단히 정리하면 정격전압은 2.2 V이고 밝기 강도는 4000 mcd at 20 mA이며 정격전류는 50 mA 이다.

처음 실험을 시도할 때는 인버터 소자를 이용하여 LED 소자에 빛이 나와서 동작하는 것부터 실험하였다. LED 소자가 잘 동작하고 있음을 확인한 후, 'Bias-T' 회로를 이용하여 데이터 신호를 실을 수 있었다.



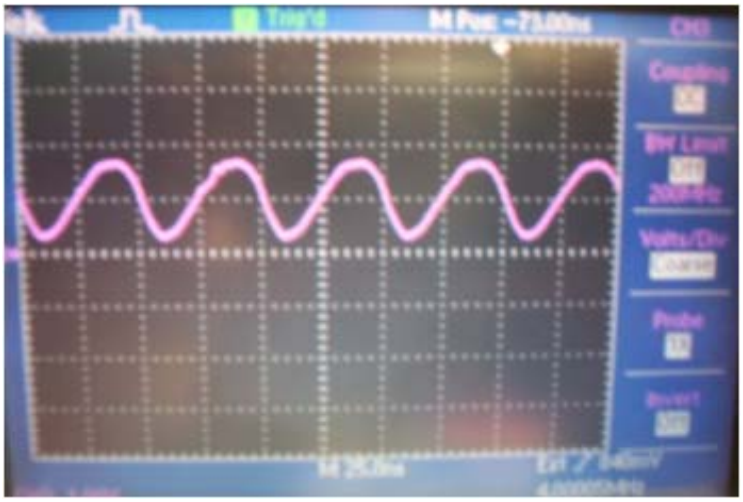
[그림 3.1.2 Bias-T 회로의 예]

데이터 신호로 간주할 수 있는 RF 신호에 DC 신호 성분을 더하여 LED 소자에 이 합성신호를 넣어 줄 수 있다. 그렇게 해서 74HCT540 인버터 소자 8개의 입력 단자에 0 V를 넣어서 8개의 출력단자에서 5 V를 얻었다. 이렇게 한 다음 2개의 Enable 단자에 데이터 신호를 연결시키면 인버터 소자가 마치 0 V에서 5 V의 DC 레벨을 갖는 디지털 신호가 된다. 이것은 데이터 신호가 인버터 소자에 스위칭 기능 효과를 나타낸다. 따라서 초창기 시도했던 회로를 살펴보면 다음과 같다.



[그림 3.1.3 Circuit of Tx with 3 MHz, 24 LEDs]

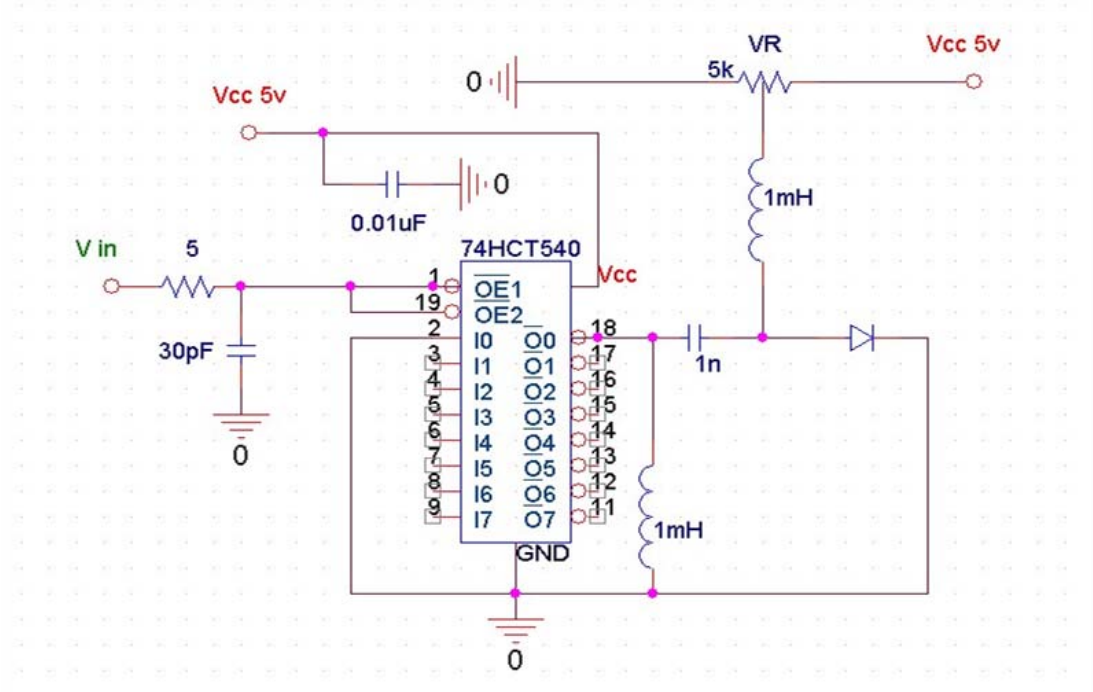
초창기 실험에서 임의의 신호를 만들 수 있는 장비가 없어서 신호 발생기에서 디지털 신호로 간주할 수 있는 구형파를 만들어서 인버터 소자에 인가하였다. 처음에는 한 개의 인버터를 동작시켰고 좀 더 보안하고 발전시켜서 [그림 3.1.3]에서 보는 것 같이 4개의 인버터 소자와 24개의 LED를 사용하여 송신기를 만들었다. 신호레벨은 4 V 구형파를 발생하여 인가하였고 주파수 범위는 3 MHz까지 동작할 수 있음을 확인하였다.



[그림 3.1.4 Transmitter Signal(Frequency : 3 MHz, Peak Voltage : 1.8 V)]

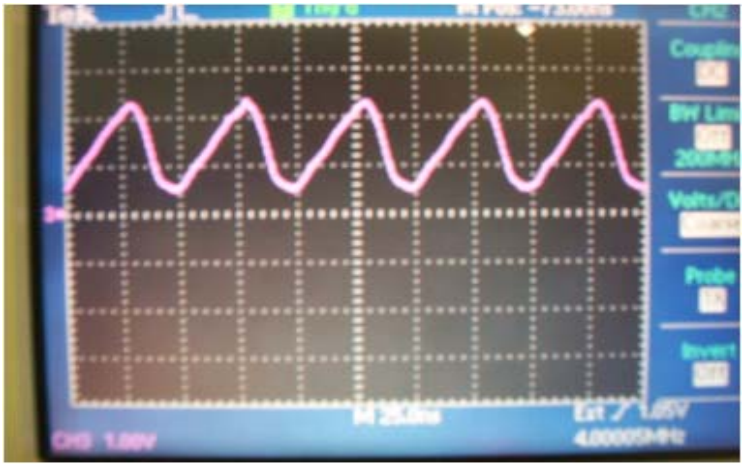
위의 그림[그림 3.1.4]은 송신기의 출력 전압 레벨이다. 오실로스코프의 신호 수직 레벨은 1 V이다. 따라서 송신기의 LED 전압은 2 V에 미치지 못하여 밝기가 약하다는 것을 알 수 있었다. 또한 동작 주파수 범위가 최대 5 MHz이다.

그 후 'Bias-T' 회로 도입과 전체적인 회로 수정을 통하여 주파수 범위를 20 MHz까지 올리는데 성공하였고 LED의 전압 레벨도 정격레벨 2.2 V까지 올릴 수 있었다.



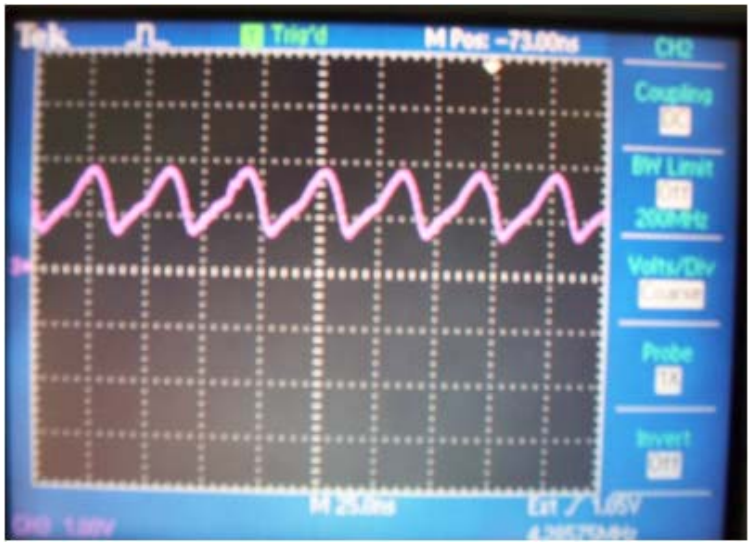
[그림 3.1.5 Circuit of Tx with 20 MHz, 1 LED]

[그림 3.1.5]에서 'Bias-T' 회로를 삽입하여 RF신호에 해당되는 데이터 신호에 DC성분을 더하여 합성신호를 만들 수 있었다. 또한, 가변저항 레벨을 조정하여 첨두치 전압을 조정 할 수 있었다. 따라서 합성신호의 찌그러짐 없이 LED 정격전압 2.2 V근처까지 전압을 올릴 수 있어서 LED의 밝기 강도를 높일 수 있다. 이것은 수신거리와 연결되므로 매우 중요한 사항이다.



[그림 3.1.6 송신기 출력(Frequency : 20 MHz, Peak Voltage : 2.2 V)]

[그림 3.1.6]은 송신기 출력 파형이다. 주파수 범위는 20 MHz이고 전압 레벨은 2.2 V이다.



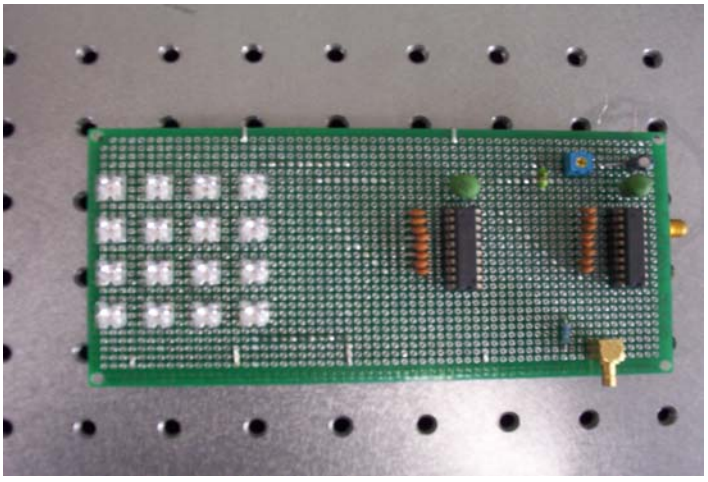
[그림 3.1.7 송신기 출력(Frequency : 30 MHz, Peak Voltage : 1.8 V)]

더 좋은 결과를 얻기 위해서 여러 가지 방법을 고안하여 실험하였다. 하지만 [그림3.1.7]에서 보다시피 30 MHz까지가 한계였다. 20 MHz에 비하면 송신기에서 파형의 반응성이 다소 떨어진다. 하지만 수신기에서 복원하는 데는 큰 어려움은

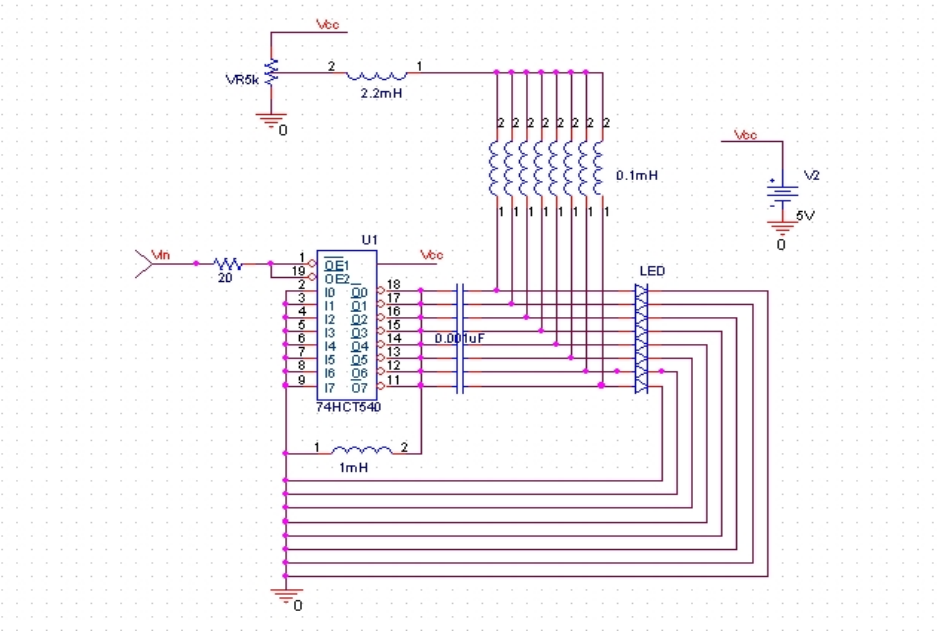
없다. 더 이상 속도를 올리지 못하는 이유는 첫 째로 소자의 성능에 있다. 이 실험에서 사용한 인버터는 고속용이 아닌 일반 범용 인버터이다. 그래서 30 MHz 이상 속도를 올리는 데에는 한계가 있었다. [그림 3.1.7]은 30 MHz에서 찍은 사진이다. LED의 밝기 강도는 다소 떨어지지만 데이터 신호 형태는 갖추고 있어서 가까운 거리에서 수신이 가능하였다.

3.2 20MHz 에서 동작하는 가시광 송·수신기

전보다 많이 보완된 이 회로에도 여전히 한계점이 존재하였다. 바로 LED 개수를 늘리면 Peak 전압 레벨이 떨어져서 밝기도 떨어졌다. 그리고 LED 개수가 늘어날수록 신호 모양이 뚜렷하지 못하고 찌그러짐이 발생하였다. 이 점을 보완하기 위해서 'Isolator' 회로를 삽입하였다. Bias-T회로를 거쳐 나온 신호를 다시 Inductor 소자를 사용하여 각각 인버터에서 나오는 8개의 출력신호에 연결시켜준다. 그러면 서로 간섭이 최소화 되면서 LED 한 개를 동작시켰을 때와 같은 효과를 나타낸다. 이렇게 하여 다수의 LED를 20 MHz까지 동작시켜서 밝기 강도도 높일 수 있었다.

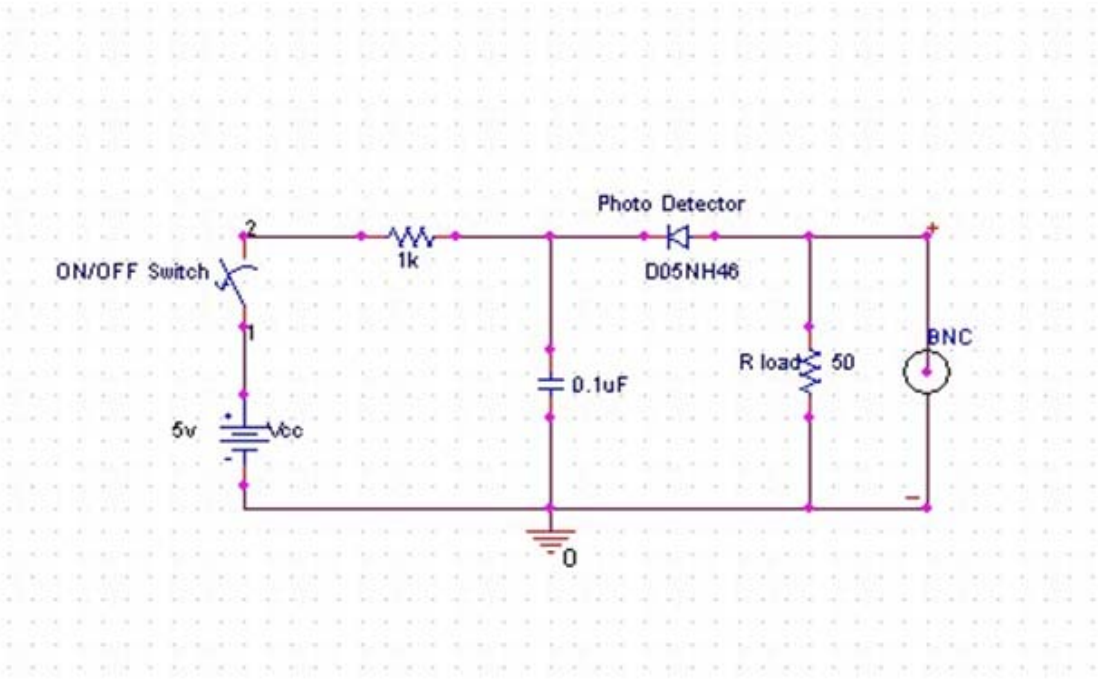


[그림 3.2.1 Real Tx with 2 Inverter, 16 LEDs]

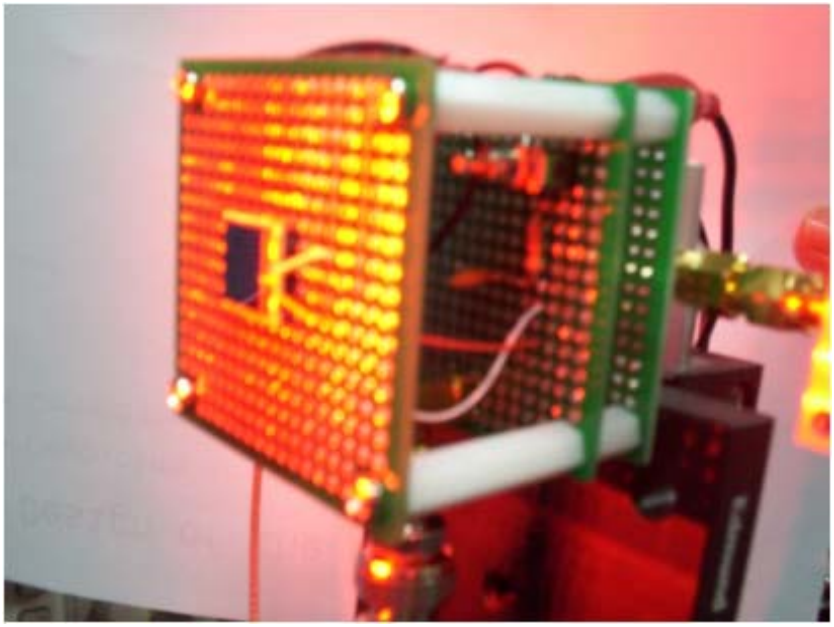


[그림 3.2.2 Circuit of Tx with 20 MHz, 8 LEDs, 1 Inverter]

이 실험을 통하여서 다수의 LED 소자를 이용하여 데이터 통신을 이룰 수 있었다. 회로도에서 보이는 인버터를 2개를 사용하여 LED 16개짜리 송신기를 제작하였다. 다음으로 공기 중으로 방사된 데이터 신호를 받아서 복조할 수 있는 수신기를 제작하였다. 수신기 회로는 광검출기(Photodiode)를 이용하여 다음과 같이 제작하였다.

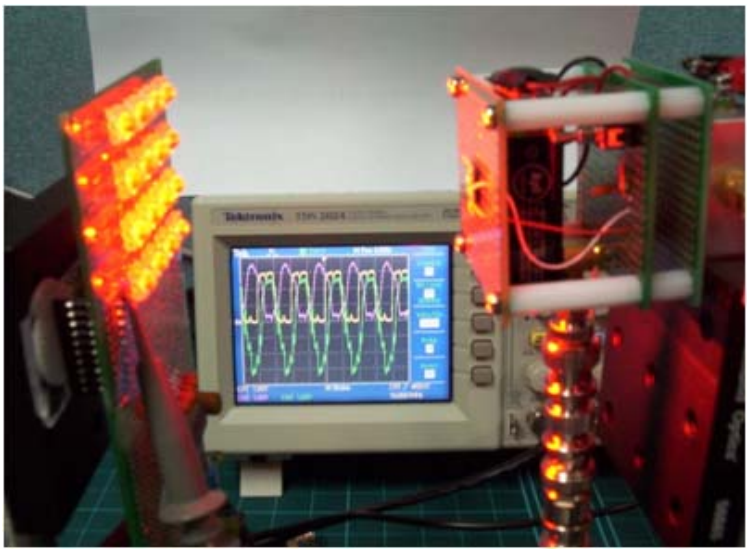


[그림 3.2.3 광수신기의 회로도]

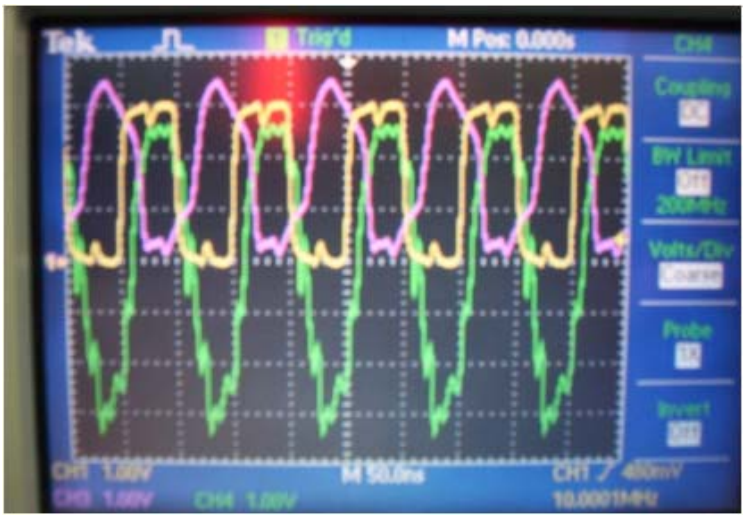


[그림 3.2.4 제작한 광수신기의 실제모습]

다음과 같이 수신기를 제작하여 공기 중에 방사된 신호를 받아서 복조하였다. 수신기에 사용된 포토다이오드는 FDS1010이다. 포토다이오드에서 나온 신호가 매우 미약하기 때문에 앰프(ZFL-500LN)을 사용하여 한 번 증폭시킨 다음 다시 파워 증폭기 ZFL-500을 사용하여 증폭시켰다. 이 실험에서 데이터 수신 거리는 10 cm이다.



[그림 3.2.5 광신호 측정을 위한 실험장치]



[그림 3.2.6 측정된 송·수신기 신호]

[그림 3.2.6]에서 노란색 신호는 원래 신호 발생기에서 발생되는 신호이고 분홍색 신호는 송신기의 출력 신호이다. 녹색 신호는 수신기에서 복조된 신호이다. 모두 전압 수직 레벨은 1 V입니다. 수신된 신호는 AC성분으로 측정되었으며 첨두치 전압은 약 5 V정도로 높은 수치를 보였다. 이 신호는 데이터 통신거리 10 cm에서 측정하였다. 이 실험에서 사용된 주파수는 20 MHz이다. 따라서 이 실험을 통하여서 16개의 LED 소자와 2개의 인버터 소자를 사용하여 20 MHz에서 데이터 신호를 전송할 수 있었다.

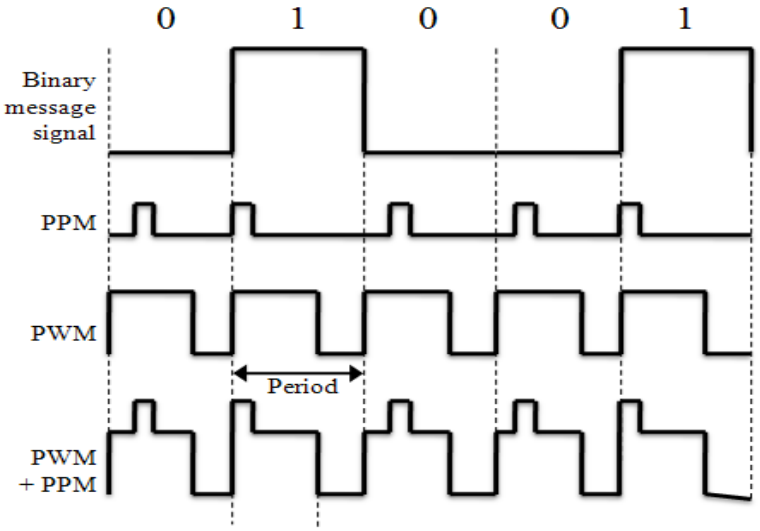
4. 조명을 고려한 가시광 통신시스템

4.1 가산기 회로를 이용한 PWM + PPM 신호

LED 소자는 스스로 빛을 내는 소자이다. 따라서 백라이트 방식의 LCD보다 더 얇게 만들 수 있고 저전력, 긴 수명 그리고 월등한 밝기 때문에 앞으로 전망이 매우 밝은 소자 중에 하나이다. LED는 조명으로 많이 응용이 되고 있다.

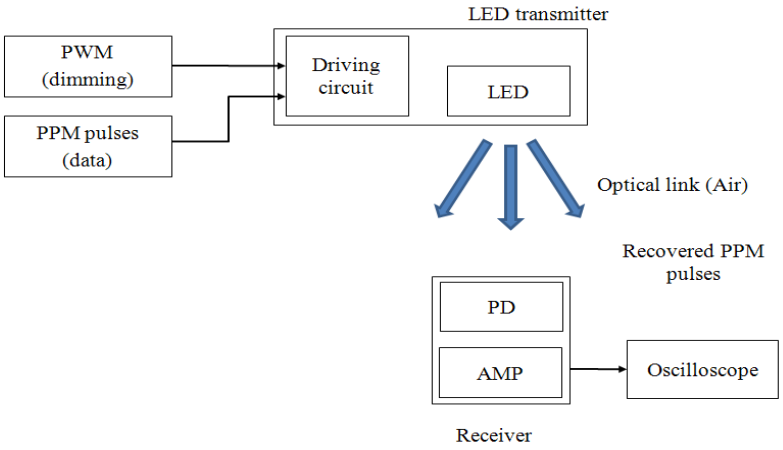
LED는 현재 디스플레이 광원으로 많이 이용하고 있다. 최근에는 조명으로 많이 이용 중이다. 요즘 신호등 및 자동차 라이트 같은 기기에 LED를 많이 이용하고 있다. 또한, 조명을 하면서 밝기 조절도 할 수 있는 디밍시스템(Dimming system)에도 많이 이용하고 있다. LED Dimming control은 사용자가 원하는 대로 밝기를 조절해 줄 수 있는 시스템을 말한다.

4장에서는 PWM을 구현한다고 볼 수 있는 Dimming 신호 위에 데이터 신호를 실어서 통신을 수행할 수 있도록 조명을 고려한 가시광 통신방식에 관한 것이다. 통신방식은 디지털 신호 '1'과 '0'에 해당되는 로직을 위상차로 구분하였다. 약 36° 위상차로 로직 '1'과 '0'구분 짓도록 하였다. 위상차 0°는 로직 레벨 '1'로 간주하고 위상차 36°를 갖는 신호는 로직 '0'으로 간주하도록 하여 PPM (Pulse Position Modulation)을 이룰 수 있도록 하였다.



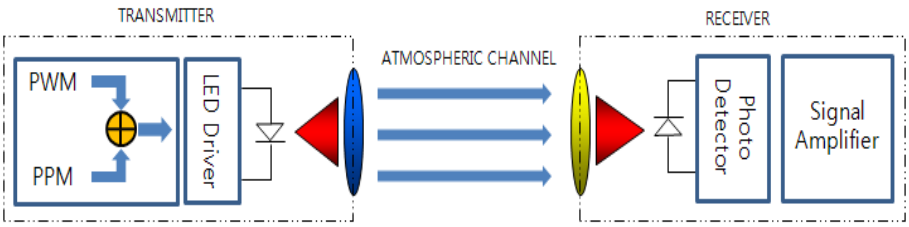
[그림 4.1.1 이진 데이터로 PPM 또는 PWM 변조된 파형의 예]

따라서 [그림 4.1.1]을 통하여 어떻게 변조가 이루어지는 지 알 수 있고 로직 '1' 과 '0' 의 의미를 알 수 있다. 또한 PWM + PPM 신호가 어떻게 구성되고 있는 지 알 수 있다.



[그림 4.1.2 Experiment Setup]

위의 [그림 4.1.2]을 통해 구현하고자 하는 변조 방식을 알 수 있다. 기존의 조명으로 쓰이는 Dimming System 위에 PPM 통신 방식을 구현하는 것이다. 그리고 수신은 안테나 역할을 하는 포토다이오드를 이용하였다. 하지만 이 신호가 너무 미약하기 때문에 증폭기를 기본적으로 연결해야 한다. 그리고 수신기에서 핵심은 정류회로를 삽입하여 수신된 전압 레벨을 조절할 수 있게 만들어서 PPM 신호만 뽑아내어 복원하는 것이다.

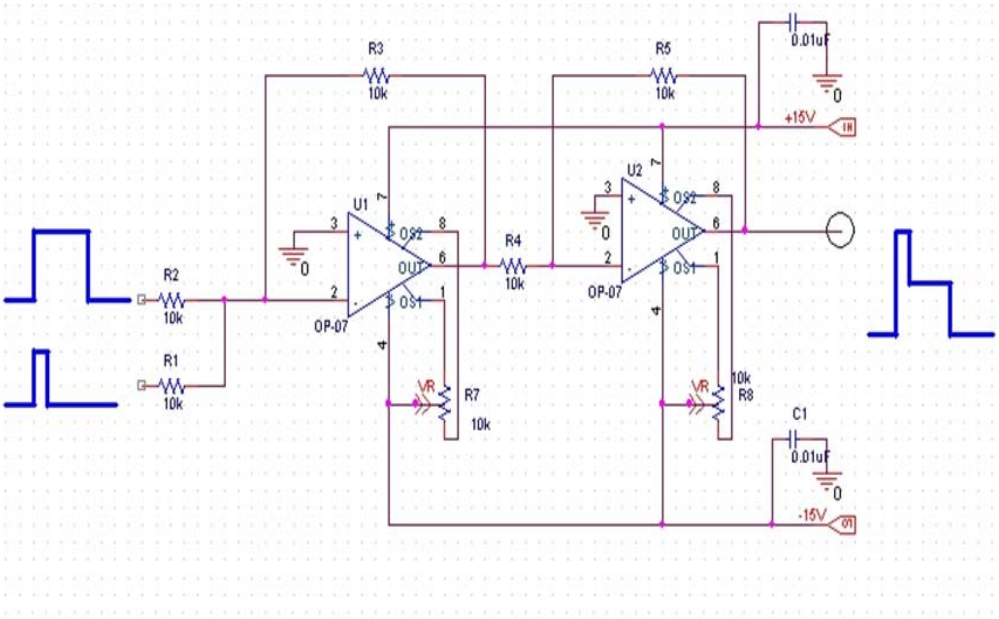


[그림 4.1.3 Experiment Setup Block Diagram]

위의 [그림 4.1.3]은 LabVIEW 소프트웨어을 이용한 블록 다이어그램이다. 이 시스템의 정황을 한 눈에 알 수 있다. 송신기의 핵심은 PWM 신호와 PPM 신호를 더할 수 있는 합성 신호를 만드는 것과 ,합성된 신호를 LED 소자에 연결하여 LED정격전압까지 올리는 것이다. 그리고 수신기의 핵심은 받아들인 PWM+PPM 신호에서 PPM 신호를 복원하는 회로를 만드는 것이 핵심이다.

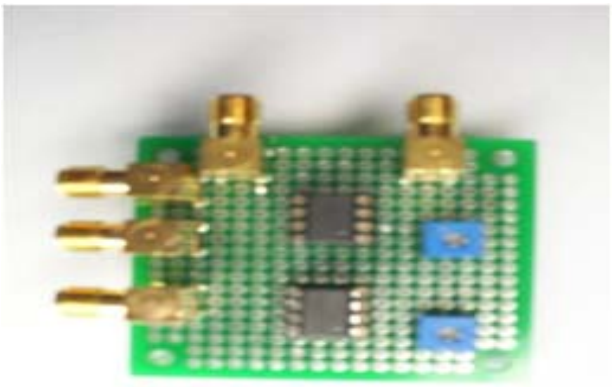
이를 위해 첫 번째는 송신기 부분의 LED driver 회로를 설계하는 것이고 두 번째는 리시버 부분에서 신호를 복조할 때 Dimming 신호를 제거 하고 데이터 신호만 뽑아내어 복조하는 회로를 구성하는 것이다.

LED driver 회로를 구성하는 방법은 크게 두 가지 방법이 있다. 이 논문에서는 실제 회로를 제작하는 것과 Virtual instrument Software인 ' LabVIEW '를 이용하여 PWM + PPM 신호를 얻는 방법을 연구하여 개발했다. 먼저 실제로 PWM + PPM 신호를 만들어내는 회로를 제작하였다.



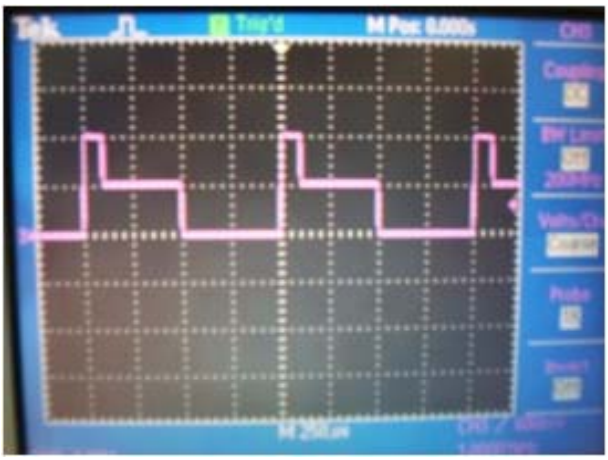
[그림 4.1.4 Circuit of Receiver for PWM + OOK]

[그림 4.1.4]에서 알 수 있듯이 PWM 에 해당되는 신호와 PPM에 해당되는 신호를 선형적으로 덧셈을 수행하는 회로가 일차적으로 필요하다. Adder회로를 이용하여 선형적으로 더할 수 있는 회로를 완성할 수 있었다.



[그림 4.1.5 Real module for PWM + OOK]

두 개의 OP-Amp를 이용하여 Adder 회로를 제작하였다. 출력 신호가 반전 신호이기 때문에 반전 증폭기를 다시 연결하여 정방향의 PWM + OOK 신호를 얻을 수 있었다. 물론, 증폭할 수 있는 이득 값도 조절 할 수 있다. 또한, offset 단자에 가변저항을 연결하여 DC성분을 제거할 수 있도록 설계하였다.

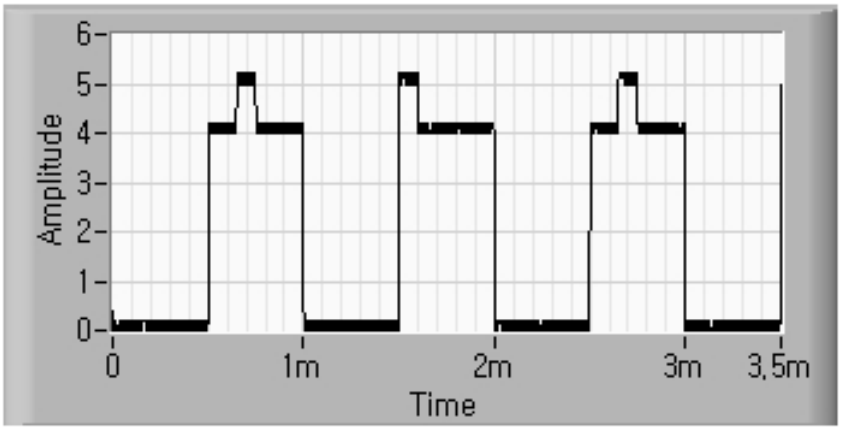


[그림 4.1.6 PWM + OOK Signal]

[그림 4.1.6]은 출력파형을 잘 보여주고 있다. 수직 전압 레벨이 1 V이므로 2 V의 PWM + OOK 신호가 선형적으로 잘 나타나고 있음으로 보여주고 있다. PWM신호의 전압은 1 V이고 OOK 신호의 전압도 1 V이다. 위 사진에서 보다시피 이 두 신호를 합하면 2 V가 된다. 이는 Adder 회로가 선형적으로 잘 동작하고 있음을 알 수 있다. PWM 신호는 1 KHz이고 OOK 신호는 10 KHz에 해당되는 width를 가지고 있다. 하지만 연구실에서 사용한 신호 발생기(AFG3102)로는 PPM 신호를 만들 수 없어서 PWM + OOK 밖에 실현시킬 수가 없으므로, LabVIEW 를 이용하여 PWM 신호와 더불어 PPM 신호를 생성하는 신호 생성장치를 구성하여 실험을 수행하였다[OECC-2010].

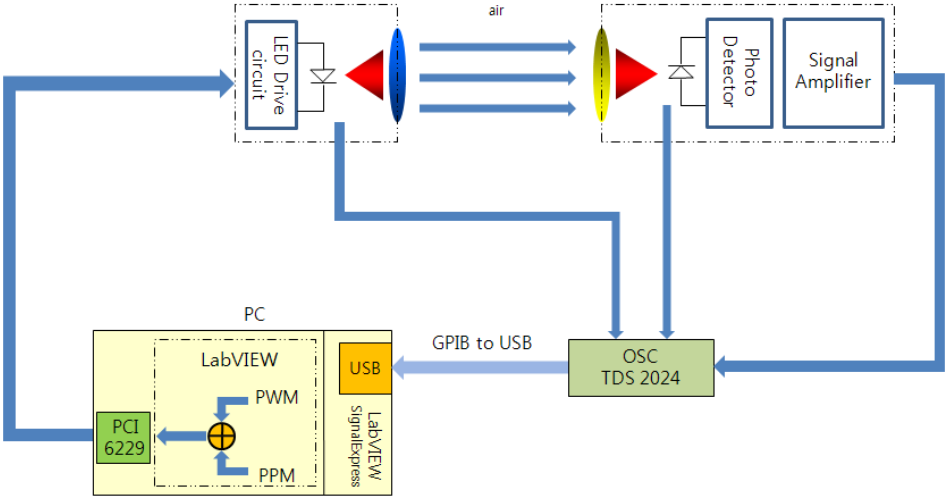
4.2 LabVIEW 를 이용한 PWM + PPM 신호

다음 결과들은 [그림 4.2.2]의 실험을 통해 수행된 결과이며, Optoelectronics and Communications Conference에서(OECC2010) 발표될 예정이다[OECC-2010].



[그림 4.2.1 PWM + PPM signal with 50% width]

[그림 4.2.1]은 LED에 연결하여 실제 송신기 출력을 측정한 사진이다. PWM 신호는 빛을 최대한 강하게 발산하기 위해서 전압을 높게 인가해준다. 그리고 PPM 신호는 전체 밝기 변화에 영향을 주지 않기 위해서 전압을 낮게 인가해준다. 그렇다고 너무 작게 주면 수신기가 데이터를 복원하기 힘들어 지므로 적당한 값을 찾는 것이 중요하다. 실험한 결과 약 1 V정도가 알맞은 것으로 나타났다. 그리고 주파수 범위는 1 KHz이다. 사용한 LabVIEW board 는 NI PCI-6229 DAQ 이다.



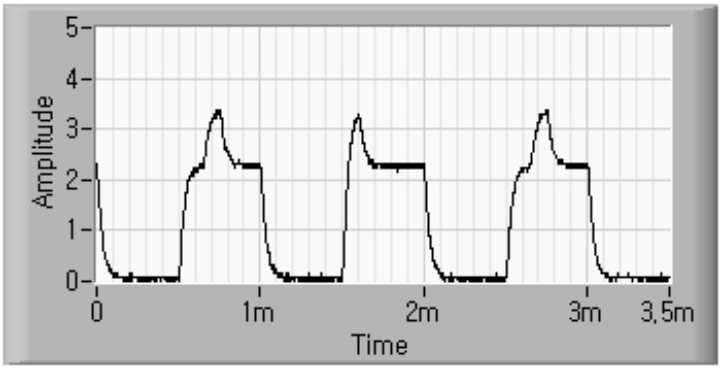
[그림 4.2.2 Block Diagram with LabVIEW]

[그림 4.2.2]는 기존의 블록 다이어그램하고는 달리 수신된 파형을 PC로 읽어 들일 수 있는 방법을 비교적 잘 나타내 주고 있다. 오실로스코프에서 측정된 파형을 데이터 파일로 만드는 과정은 LabVIEW SignalExpress Tool을 이용하여 수행하였다. 오실로스코프에서 얻은 수집된 정보들을 GPIB 커넥터를 PC와 연결하여 불러들일 수 있다. 이 수집된 정보들은 LabVIEW SignalExpress 환경에서 제어를 할 수 있다. 거의 모든 파라메타 값을 PC에서 제어할 수 있다. 따라서 이 소프트웨어는 이 실험을 하기에 매우 편리한 도구가 아닐 수 없다.

LED	Peak wavelength	660 nm
	Center luminous intensity	4 [cd]
PD	Spectral response	400 – 1100 nm
	Rise/Fall Time	45ns
	Bandwidth	8 MHz (typ.)
PWM period	1 ms	
PWM pulse width (dimming)	0.5ms (50% width)	
PPM pulse width (data)	0.1ms (10% width)	
Transmission distance	10 cm	
Lens	Not used	

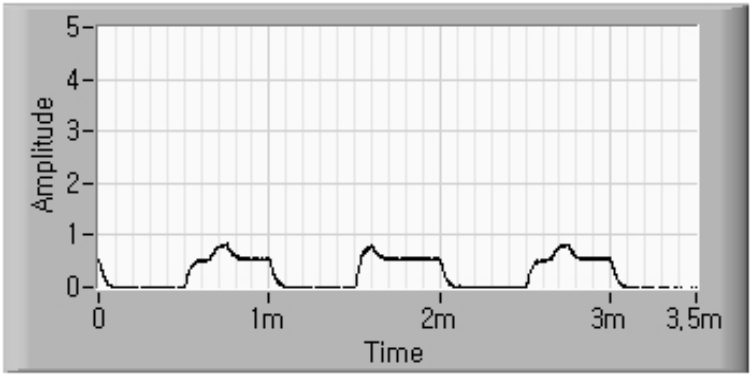
[표 4.2.1 Experimental parameters]

위의 [표 4.2.1]은 실험에서 사용된 부품의 사양과 실험장치의 정보를 알려주고 있다. LED는 파장이 660 nm인 빨강색을 사용하였고 밝기 강도는 4000 mcd나 되는 고휘도 하이플럭스 LED이다. 실험에서 사용된 PD는 Spectral response가 400 ~ 1100 nm로써 가시광 대역이다. 이 실험에서는 렌즈는 사용하지 않았다. 통신거리는 20 cm를 기준으로 하였고 PWM 주파수는 1 KHz를 기준으로 하여 실험을 하였다.



[그림 4.2.3 Received signal 10 cm 50% width]

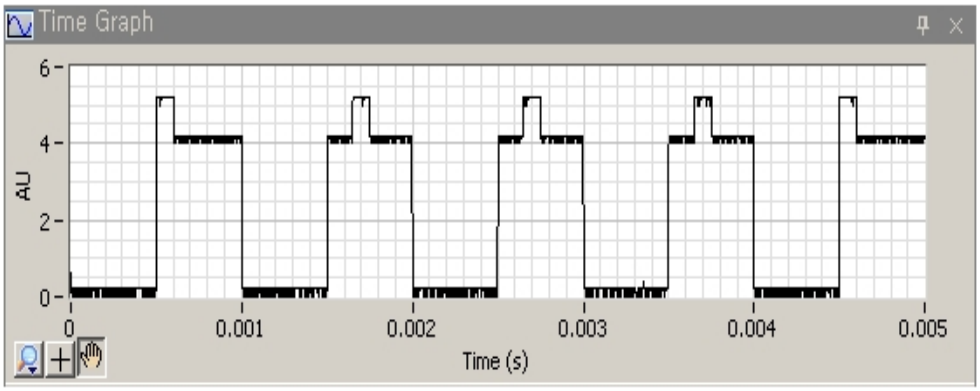
위의 [그림 4.2.3]은 수신기를 통해 10 cm거리에서 복원한 PWM + PPM 합성신호이다. Peak Voltage가 3.5 V정도 되고 왜곡이 거의 없이 잘 복원되고 있음을 알 수 있었다. PWM 신호 위에 실린 PPM 신호도 위상차를 잘 구분할 수 있어서 수신감도가 매우 양호하다고 할 수 있다.



[그림 4.2.4 Received signal 20 cm 50% width]

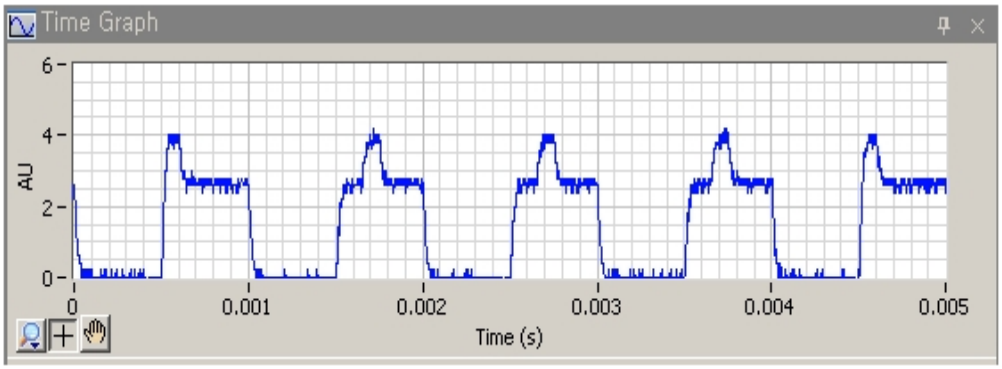
위의 [그림 4.2.4]은 수신기를 통해 20 cm 거리에서 복원한 PWM + PPM 합성신호이다. Peak Voltage가 0.9 V정도로 수신거리 10 cm보다 이득이 많이 감소되었다. PWM 신호 위에 실린 PPM 신호는 위상차를 잘 구분할 수 있어서 수신감도가 양호하다고 말할 수 있겠지만 이득이 거리에 따라서 현저히 감소되어짐을 알 수 있었다. 수신거리를 늘리기 위해서 LED 개수를 늘리고 광 파워를 높이고 렌즈를 첨가시키면 수신거가 증가하겠지만 이 실험에서는 수신거리를 늘리기 위한 실험이 아니므로 기술적인 면을 더 강조하기 위해서 통신거리 20 cm 거리를 기준으로 실험을 진행하였다.

4.3 PPM 신호 복원



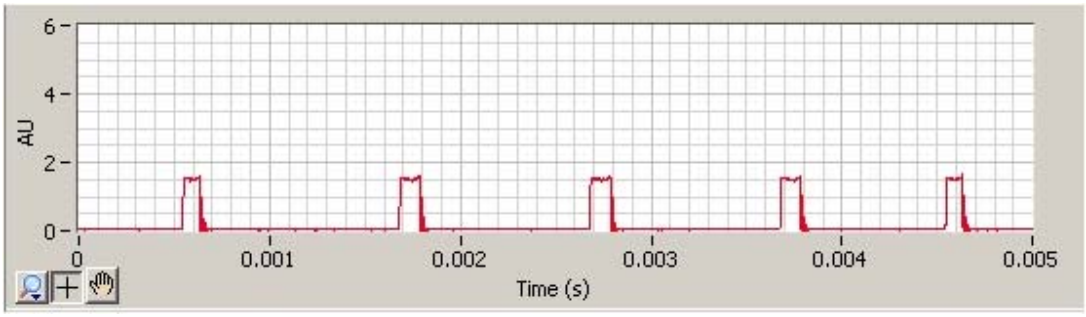
[그림 4.3.1 PWM + PPM signal at Tx 50% width]

위의 [그림 4.3.1]은 LabVIEW SignalExpress Tool 를 이용하여 PWM + PPM 신호를 만들어서 LED에 연결하여 측정한 신호이다. 전체 전압이 5 V로써 LED에 밝기가 충분히 나오게 하기 위해서 PWM 전압을 4 V로 하였고 PPM 전압은 밝기에 영향을 거의 주지 않아야 하므로 1 V로 하였다. 사진에서 보이는 데로 LabVIEW SignalExpress에서 만든 신호가 LED까지 잘 전달되고 있음을 확인하였다.



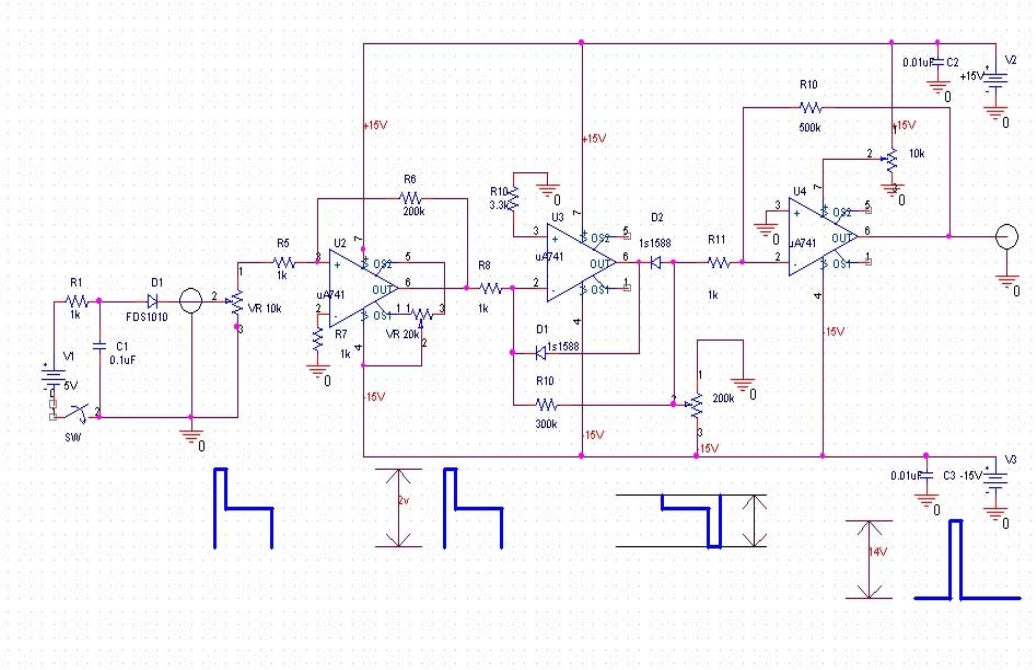
[그림 4.3.2 Received PWM + PPM signal 10 cm]

[그림 4.3.2]는 수신기에서 일차적으로 복조한 신호이다. 수신 거리는 10 cm이다. Peak Voltage 는 약 4 V 정도 되고 위상차도 잘 나타나고 있음을 알 수 있다. 수신 거리가 짧아서인지 왜곡이 거의 없이 잘 복조되고 있음을 확인하였다.

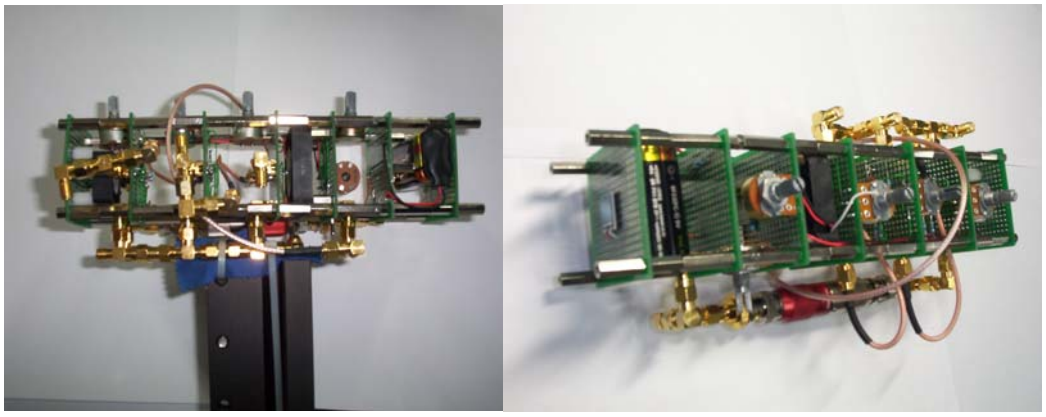


[그림 4.3.3 Recovered PPM signal 10 cm]

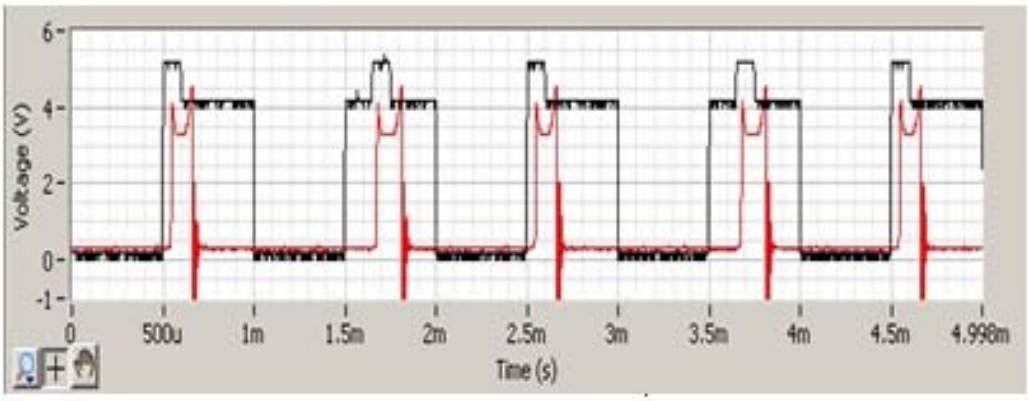
위의 [그림 4.3.3]은 PWM 신호에 실린 Data 신호로 복원하기 위한 PPM를 신호만을 뽑아내어 복원시켰다. 이 신호를 얻기 위해서 수신기 회로에 정류회로를 삽입하여 PPM 신호만을 얻을 수 있었다. PPM 신호의 전압 레벨은 10 V까지 조절할 수 있다. 이 사진에서는 편의상 1.5 V로 하였다.



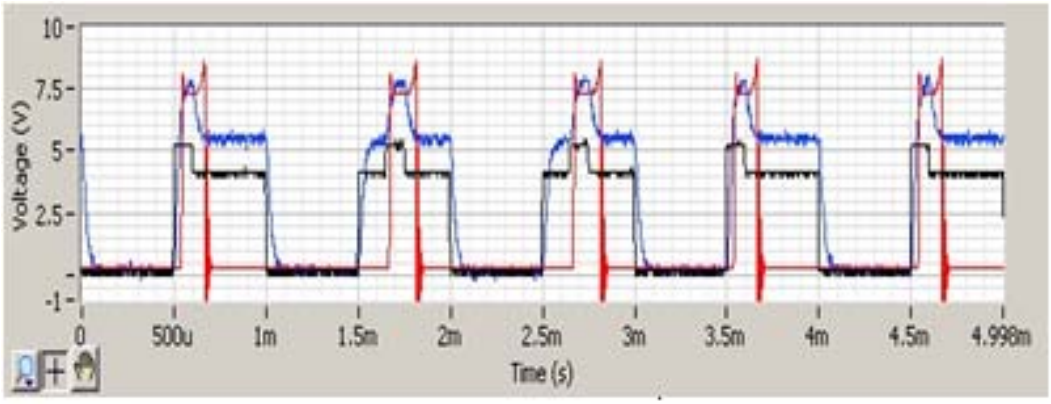
[그림 4.3.4 Circuit of receiver]



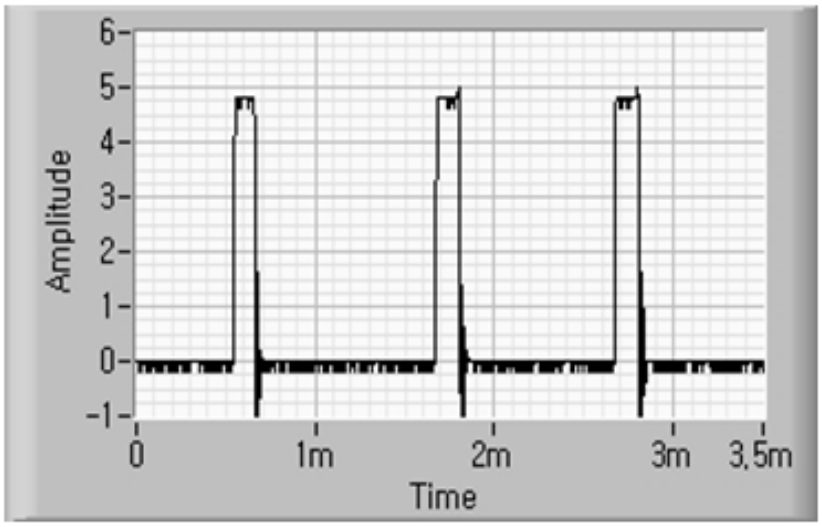
[그림 4.3.5 Real receiver for PWM + PPM]



[그림 4.3.6 Transmitted Signal(black) & Recovered PPM signal(red)]

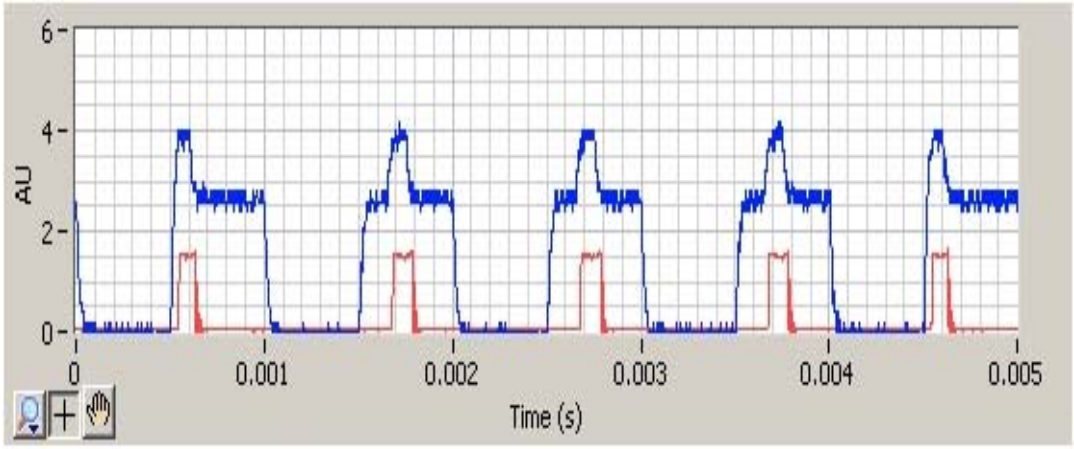


[그림 4.3.7 Transmitted Signal(black) & Received signal(blue) & Recovered PPM signal(red)]

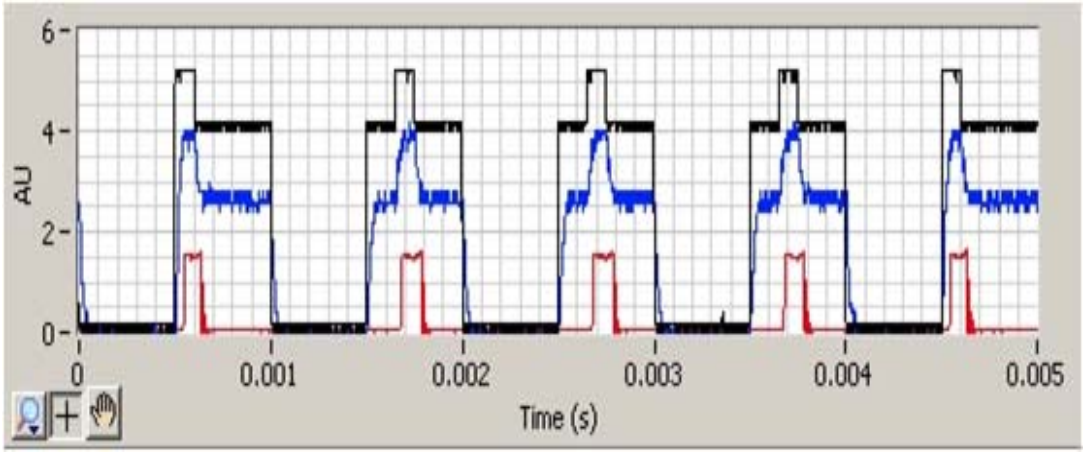


[그림 4.3.8 Detected signal of 50 cm distance]

위의 [그림 4.3.5]과 같이 PPM 신호를 얻기 위해서 Receiver를 제작하였다. 기존의 PD를 이용한 Receiver circuit 에 정류회로와 증폭회로를 삽입하여 제작하였다. 이 Receiver를 통하여 PWM + PPM 신호 및 PPM 신호 사진들을 얻을 수 있었다. 최종적으로 얻고자 하는 PPM 신호가 사진에서 보는 봐와 같이 동기화가 잘되어 복원되고 있음을 알 수 있다. 또한, PPM 신호는 14 V까지 조절 할 수 있다. 그리고 또 하나 중요한 관건은 햇빛이나 형광등 같은 외부 환경에서 DC 성분이 유입 되는 것인데 이것을 차단하는 것이 매우 중요하다. 증폭도가 높기 때문에 조금만 DC 성분이 들어와도 크게 작용하기 때문이다. 이것을 막기 위해서 회로도를 보면 Offset 단자에 가변저항을 연결하여 DC 성분을 조절할 수 있도록 설계하였다. 주파수 범위는 Dimming System이 1 KHz 이내이기 때문에 전체적으로 Receiver가 5 KHz 이내에서 동작할 수 있도록 설계하였다. 또한, 마지막 사진에서 알 수 있듯이 수신거리 50 cm에서도 PPM 신호가 원만하게 잘 복원되고 있음을 알 수 있다.



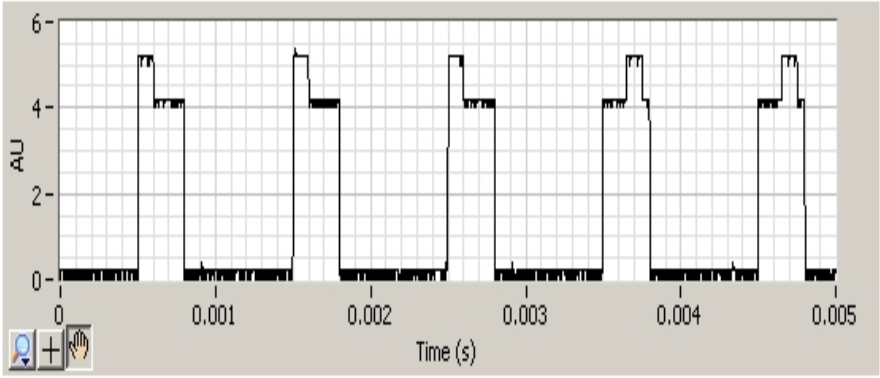
[그림 4.3.9 Received PWM + PPM & PPM signals 10 cm]



[그림 4.3.10 Signals from Tx & Rx 10 cm]

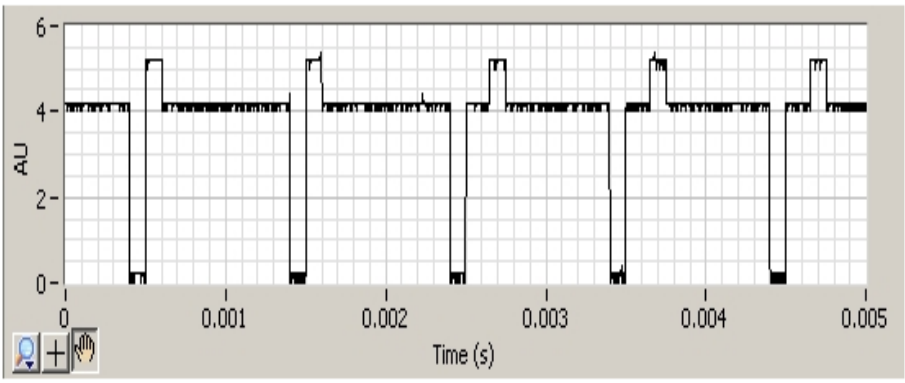
위의 [그림 4.3.10]에서 보듯이 검은색 신호는 송신기 출력 파형이고 파랑색 신호는 수신기에서 복조한 PWM + PPM 신호이다. 그리고 빨강색 신호는 최종적으로 얻고자 하는 PPM신호이다. 사용 주파수는1 KHz이고 PWM width는 50% 이다. 이렇게 송·수신기에서 측정한 파형을 모두 나타냄으로써 위상차에 의한 동기화가 잘 이뤄지고 있음을 알 수 있다. 결론적으로 10 cm 거리에서 PPM 신호에 해당하는 빨강색 신호가 왜곡 없이 복원이 성공적으로 수행되고 있음을 확인할 수 있다.

4.4 PWM 신호 폭에 따른 LED의 밝기 비교



[그림 4.4.1 PWM + PPM signal with 1 KHz , 30% width]

[그림 4.4.2 Brightness of a LED with 1 KHz , 30% width]



[그림 4.4.3 PWM + PPM signal with 1 KHz , 90% width]

[그림 4.4.4 Brightness of a LED with 1 KHz , 90% width]

PWM + PPM 통신 시스템을 구현하기 전에 전제 조건이 있다. 조명 역할을 하는 기존의 Dimming System에 영향을 주지 않고 통신 시스템을 구축해야 한다는 것이다. 그렇다면 PPM 신호는 PWM 신호 크기에 비교하면 매우 작기 때문에 영향을 거의 주지 않는다고 가정하고 PWM 신호 폭을 조절했을 때 변화가 나타나야 한다.

육안으로 확실히 구분할 수 있기 위해서 신호 폭을 30%로 했을 때와 90%로 했을 때 LED의 밝기비교를 했다. 사진에서 확연하게 LED 밝기의 차이가 나타남으로 조명을 위한 Dimming System 은 PPM통신과 상관없이 위 실험을 통하여 잘 동작하고 있음을 알 수 있다. 따라서 위 실험들을 통하여서 LED를 이용한 가시광 통신이 가능하고 한 단계 더 나가서 조명을 위한 Dimming System 위에 데이터를 올리고 밝

기에 영향을 주지 않으면서 PPM 통신을 할 수 있다는 것이 가능하다는 것을 이 논문을 통하여 알 수 있다.

5. 결론

최근 기존 조명을 조명용 LED 램프로 대체하는 것을 목표로 하여, 가시광선 영역의 빛을 방출하는 조명용 LED의 연구개발이 매우 활발하다. 따라서, 가시광 LED가 본격적으로 설치되는 시점에 가시광 통신 기술도 산업적으로 발전할 것으로 예측되며, 그 산업적 기대효과는 매우 크다. 이러한 가시광 LED를 활용한 조명기술에 관한 연구개발이 활성화 되고 있으므로, 이를 활용한 통신기술에 관한 연구개발 역시 기대효과가 매우 크다.

가시광 무선통신 기술은 현재 개념 정립을 통한 표준화 추진 단계에 있으므로, 본 연구를 통한 실험적 검증 결과는 기술구현에 기여할 수 있다. 따라서, 이러한 가시광 LED를 응용하는 가시광 무선통신기술은 매우 중요한 분야이며, 그 중 조명 시스템에 영향을 주지 않으면서 통신을 같이 수행할 수 있다면 조명용 LED가 원래 역할에 충실히 하면서 통신까지 같이 수행할 수 있다는 차원에서 기술적 가치가 있고 그 효과가 클 것으로 전망한다. 따라서, 신호등이나 자동차 램프, 그리고 가로등 같은 우리 생활 주변의 기기들이 LED로 대체되고 있는 추세이기 때문에 본 연구결과가 LED를 이용한 가시광 통신에 기여할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

[1] [Aldibbiat-2002] N. M. Aldibbiat, Z. Ghassemlooy and R. McLaughlin, "Dual header pulse interval modulation for dispersive indoor optical wireless communication systems," IEE Proceedings Circuits, Devices and Systems, 148, pp. 187-192, 2002.

[2] [Aldibbiat-2005] N. M. Aldibbiat, Z. Ghassemlooy and R. McLaughlin, "Indoor optical wireless systems employing dual header pulse interval modulation (DH-PIM)," International Journal Communication Systems, 18, pp. 285-306, 2005.

[3] [Arumugan-2007] S. Arumugam, J. John, "Effect of transmitter positions on received power and bandwidth in diffuse indoor optical wireless systems," Optical and Quantum Electronics, vol. 39, pp. 1-14, 2007.

[4] [Bakalidis-1996] G. N. Bakalidis, E. Glavas, P. Tsalides, "Optical power distribution in wireless infrared LANs," IEE Proc. Communications, vol. 143, no. 2, pp. 93-97 1996.

[5] [Balsells] J. M. Garrido-Balsells, A. Garcia-Zambrana, A. Puerta-Notario, "Variable weight MPPM technique for rate-adaptive optical wireless communications," Electronics Letters, vol. 42, no. 1, 2006.

[6] [Barry-1993] J. R. Barry, J. M. Kahn, W. J. Krause, E. A. Lee, and D. G. Messerschmitt, "Simulation of Multipath Impulse Response for Indoor Wireless Optical Channels, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 11, No. 3, pp. 367-379, 1993.

[7] [Carruthers-1998] J. B. Carruthers, J. M. Kahn, "Angle Diversity for Nonrejected Wireless Infrared Communication," Proc. IEEE ICC, pp. 1665-1670,

1998.

[8] [Carruthers-2002]J. B. Carruthers, P. Kannan, "Iterative site-based modeling for wireless infrared channels," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 50, no. 5, p. 759-765, 2002.

[9] [Carruthers-2003]J. B. Carruthers, S. M. Carroll, P. Kannan, "Propagation modelling for indoor optical wireless communications using fast multi-receiver channel estimation," IEE Proceedings-Optoelectronics, vol. 150, no. 5, pp. 473- 481, 2003.

[10] [Carruthers-2002] J. B. Carruthers, P. Kannan, "Iterative site-based modeling for wireless infrared channels," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 50, no. 5, p. 759-765, 2002.

[11] [Chen-2007] J. Chen, X. Hu, D. Huang, X. Yuan, "Analysis of turbo-coded optical wireless communication system based on on-off keying, binary phase-shift keying, and binary pulse position modulation," Optical Engineering, vol. 46, no. 9, 095001, 2007.

[12] [Dickenson-2004]R. J. Dickenson, and Z. Ghassemlooy, "Bit error rate performance of 166Mb/s OOK diffuse indoor IR link employing wavelets and neural networks," IEE Electronics Letters, vol. 40, pp. 753-755, 2004.

[13] [Dickenson-2004] R. J. Dickenson, and Z. Ghassemlooy, "Bit error rate performance of 166Mb/s OOK diffuse indoor IR link employing wavelets and neural networks," IEE Electronics Letters, 40, pp. 753-755, 2004.

[14] [Fan-2002]K. Fan, T. Komine, Y. Tanaka, M. Nakagawa, "The Effect of Reflection on Indoor Visible-Light Communication System utilizing White LEDs," The 5th Int. Symp. on Wireless Personal Multimedia Communications

(WPMC 2002), pp. 611-615, 2002.

[15] [Gfeller-1979] F. R. Gfeller, U. Bapst, "Wireless In-House Data Communication via Diffuse Infrared Radiation," Proc. IEEE, vol. 67, no. 11, pp. 1474-1486, 1979.

[16] [Ghassemlooy-1998] Z. Ghassemlooy and R V Wickramasinghe, "Optical fiber transmission of a broadband sub-carrier multiplexed signal using PPM techniques," IEEE Tran. on Consumer Electron., vol. 44, pp 99-107, 1998.

[17] [Haswani-2006]B. C. Haswani, S. Wook, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Visible Light Communication with LED Traffic Lights Using 2-Dimensional Image Sensor," IEICE Trans. Fundamentals, E89-A, pp. 654-659, 2006.

[18] [Jivkova-1999] S. Jivkova, M. Kavehrad, "Indoor wireless infrared local access, multi-spot diffusing with computer generated holographic beam-splitters," Proc. IEEE ICC, vol. 1, pp. 604-608, 1999.

[19] [Kahn-1997] J. M. Kahn, J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," Proc. IEEE, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.

[20] [Kavehrad-2003] M. Kavehrad, S. Jivkova , "Indoor broadband optical wireless communications: optical subsystems designs and their impact on channel characteristics," IEEE Wireless Communications, Vol. 10, No. 2, pp. 30-35, 2003.

[21] [Komine-2003] T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication," IEEE Trans. on Consumer Electron., vol. 49, No. 1, pp. 71-79, 2003.

[22] [Komine-2004] T. Komine, M. Nakagawa, "Fundamental analysis for

visible-light communication system using LED lights," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 50, pp. 100-107, 2004.

[23] [Komine-2005] T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "A Study of Shadowing on Indoor Visible-Light Wireless Communication Utilizing Plural White LED Lightings," Wireless Personal Communications vol. 34, pp. 211-225, 2005.

[24] [Komine-2006] T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "Performance Evaluation of Narrow band OFDM on Integrated System of Power Line Communication and Visible Light Wireless Communication," International Symposium on Wireless Pervasive Computing 2006, 16-18 Jan. 2006.

[25] [Lee-2005] J. H. Lee, T. Komine, S. Haruyama, M. Nakagawa, "LED Panel Lighting Communication with Delay Feedback Control For High Data Rate Down link Transmission," The 9th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2005), 2005.

[26] [Linnartz-2008] J-P M.G. Linnartz, L. Feri, H. Yang, S. B. Colak, T.C.W. Schenk, "Communications and Sensing of Illumination Contributions in a Power LED Lighting System," ICC 2008, pp. 5396-5400, 2008.

[27] [Lopez-1997] F. J. Lopez-Hernandez, M. J. Betancor, "DUSTIN: Algorithm for calculation of impulse response on IR wireless indoor channels,"Electronics Letters, vol. 33, no. 21, pp. 1804-1806, 1997.

[28] [Lopez-1998] F. J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, A. Santamaria, "Monte Carlo calculation of impulse response on diffuse IR wireless indoor channels,"Electronics Letters, vol. 34, no. 12, pp. 1260-1262, 1998.

[29] [Lopez-1998-2] F. J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, A. Santamaria,

"Modified Monte Carlo scheme of the impulse response on diffuse IR wireless indoor channels,"Electronics Letters, vol. 34, no. 19, pp. 1819-1820, 1998.

[30] [Lopez-2000] F. J. Lopez-Hernandez, R. Perez-Jimenez, A. Santamaria, "Ray-tracing algorithm for fast calculation of the channel impulse response on diffuse IR wireless indoor channels,"Optical Engineering, vol.39, no. 10, pp. 2775-2780, 2000.

[31] [Lu-2004] Q. Lu, and G. S. Mitchell, "Performance Analysis for Optical Wireless Communication Systems Using Subcarrier PSK Intensity Modulation through Turbulent Atmospheric Channel," IEEE Globecom 2004, pp. 1872-1875, 2004.

[32] [Minh-2008] H. L. Minh, D. C. O' Brien, G. F. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, Y. Oh, "High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization,"IEEE Photonics Technology Letters, vol. 20, no. 14, pp. 1243-1245, 2008.

[33] [Moreira-1997] A. J. C. Moreira, R. T. Valadas, A. M. O. Duarte, "Optical interference produced by artificial light,"Wireless Networks, vol. 3, pp. 131-140, 1997.

[34] [O' Brien-2005] D. C. O' Brien et. al, "Integrated transceivers for optical wireless communications," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 11, pp. 173-183, 2005.

[35] [Ohtsuki-2002] T. Ohtsuki, "Turbo-Coded Atmospheric Optical Communication Systems," ICC 2002, pp. 2938-2942, 2002.

[36] [Ohtsuki-2003] T. Ohtsuki, "Multiple-Subcarrier Modulation in Optical Wireless Communications," IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 3, pp.

74-79, 2003.

[37] [Ohtsuki-2004] D. Takase, T. Ohtsuki, "Optical Wireless MIMO Communications," IEEE Globecom 2004, pp. 928- 932, 2004.

[38] [Pakravan-1996] M. R. Pakravan, E. Simova, M. Kavehrad, "Holographic Diffusers for Indoor Infrared Communication Systems," Proc. Global Telecommunication Conference, vol. 3, pp. 1608-1612, 1996.

[39] [Perez-1997] R. Perez-Jimenez, J. Berges, M. J. Betancor, "Statistical model for the impulse response on infrared indoor diffuse channels," Electronics Letters, vol. 33, no. 15, pp. 1298-1300, 1997.

[40] [OECC-2010] Joonho Choi, Eunbyeol Cho, Taegyu Kang, Chung Ghiu Lee "Pulse width modulation based " (To be presented at) Optoelectronics and Communications Conference 2010 (OECC 2010) Sapporo, Japan, Jul 05 - 09, 2010.

[41] [irda] http://www.irda.com

[42] [bluetooth] http://www.bluetooth.com

[43] [Ultra-Wideband] 정보통신정책 제 18 권 13호 통권 397호

[44] [표준화로드맵] 한국정보통신기술협회 “정보통신 중점기술 표준화로드맵 Ver.2009 종합보고서1”

[45] [최종연구보고서2009] 이충규 외 9명 “가시광 무선통신 송수신 변복조 시뮬레이션 연구”

[부 록]

LED (http://ericshaw.en.made-in-china.com/)

LED

SUPER FLUX

5φ 100° ULTRA BRIGHTNESS

Feature

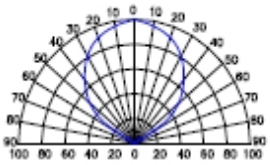
- 5φ Super Flux
- Water Clear, soldering
- Viewing Angle(2θ 1/2: 100)

Applications

RED GREEN BLUE

Carlamp,lampbox of advertisement, Signal lamp, decorating lamp

Radiation Diagram

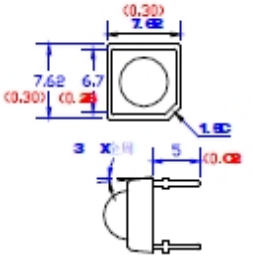


Relative luminous intensity (%)

Outline Dimensions

(Unit: mm)

①: Anode
②: Cathode
Tolerance: ±0.3mm



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value			Unit
		[illegible]	[illegible]	[illegible]	
Operation Forward Current	IF	20			mA
Peak Pulsed Forward Current	IFP	100			mA
Reverse Voltage	VR	5			V
Operating Temperature Range	Topr	-20 ~ +80			℃
Storage Temperature Range	Tstg	-30 ~ +100			℃
Soldering Temperature	Tsld	260℃ for 5 sec			℃

Characteristics

[illegible]	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Red	VF	IF=20mA	1.8	2.0	2.5	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	620	–	660	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	200	–	4000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	15	–	nm

[illegible]	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Green	VF	IF=20mA	2.7	3.3	4.0	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5.0	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	500	520	540	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	500	–	6000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	30	–	nm

[illegible]	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Blue	VF	IF=20mA	2.7	3.3	4.0	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5.0	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	450	–	475	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	500	–	6000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	30	–	nm

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value			Unit
		BUHR-R3-112UFC	BUPG-R3-112UGC	BUBL-R3-112HBC	
Operation Forward Current	IF	20			mA
Peak Pulsed Forward Current	IFP	100			mA
Reverse Voltage	VR	5			V
Operating Temperature Range	Topr	−20～+80			℃
Storage Temperature Range	Tstg	-30～+100			℃
Soldering Temperature	Tsld	260℃ for 5 sec			℃

Characteristics

BUHR-R3-112UFC	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Red	VF	IF=20mA	1.8	2.0	2.5	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	620	–	660	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	200	–	4000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	15	–	nm

BUPG-R3-112UGC	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Green	VF	IF=20mA	2.7	3.3	.4.0	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5.0	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	500	520	540	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	500	–	6000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	30	–	nm

BUBL-R3-112HBC	Color	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	Blue	VF	IF=20mA	2.7	3.3	4.0	V
Reverse Voltage		IR	VR=5V	–	–	5.0	uA
Peak Wavelength		λP	IF=20mA	450	–	475	nm
Luminous Intensity		IV	IF=20mA	500	–	6000	mcd
Half Bandwidth		△λ	IF=20mA	–	30	–	nm

감사의 글

지난 2년 6개월의 대학원 생활이 제게는 너무도 짧은 시간인 듯합니다. 당초 계획했던 만큼의 만족감에는 미치지 못하였으나, 석사과정동안 겪은 많은 경험과 지식이 저를 한 단계 더 자라게 할 수 있었던 발판이 되었습니다. 전공에 대한 부족한 경험과 지식을 가지고 대학원에 진학한 저를 받아주신 여러 교수님들께 감사의 말씀을 전합니다.

부족한 저를 아껴주시고 석사과정 내내 학문적 가르침과 연구원으로서의 자세를 충고해주시고 논문이 완성되기까지 지도해주신 이충규 교수님께 가장 먼저 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 또한 부족한 면이 많은 논문이나 깊은 관심과 충고로 심사해주시고 세심한 배려를 해주신 강문수 교수님, 김정화 교수님 그리고 항상 웃음과 격려를 아낌없이 주신 김주형 교수님, 문인규 교수님께 감사의 마음을 전해드리고 싶습니다.

매일같이 한 연구실에서 어렵고 힘든 일을 같이한 동료들과의 추억은 영원히 잊지 못할 것입니다. 초창기 멤버로 저랑 같이 고생하면서 공부한 배트남에서 온 응구엔 쾅 후이와 1년 뒤에 합류하여 PSB 설계와 제작에 도움을 준 도키 손에게 고마운 마음 전합니다. 그리고 1년 6개월 동안 같이 생활하면서 여러가지 학과관련 일과 실험 수업 준비를 많이 도와준 형준이에게 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 그리고 누구보다도 오랜 연구 끝에 좋은 학회에 논문이 실릴 수 있도록 데이터 자료 수집에 많은 도움을 주고 밤늦게까지 같이 일한 조은별 연구원에게 깊은 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 또한, 오늘의 결실이 있기까지 식당 일로 고생하시면서 몸이 편찮으신 중에도 부족한 자식의 길을 정성과 사랑으로 보살펴 주신 부모님, 그리고 언제나 변함없는 형제애로써 항상 저의 발전과 진로를 걱정해주고 정신적으로 후원해준 동생 최경호, 최기원 그리고 제수씨에게 진심으로 감사의 마음을 전하고 싶습니다. 아울러, 이 작은 결실의 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

실험조교 일을 하면서 연구실에서 많은 시간을 동료들과 함께 하지 못한 점이 아쉽게 남으나 학부생 실험을 진행하면서 미처 모르는 전공지식에 대해서 많이 알게 되었고 기본을 더욱 튼튼히 할 수 있는 소중한 시간과 경험이 되었습니다. 이 작은 결실이 훌륭한 연구원의 길로 가는 첫걸음이라 생각하고 더욱 더 정진해 가

겠습니다.

끝으로 부족한 저를 믿고 지켜봐 주시고 이 자리까지 서게 해주신 부모님께 사랑한다는 말을 남기고 싶습니다. 감사합니다.

2010년 6월

최 준 호

저작물 이용 허락서

학과	전자공학과	학번	20087092	과정	석 사
성 명	한글 : 최 준 호 한문 : 崔 竣 皓 영문 : CHOI, JOON HO				
주 소	광주광역시 북구 오치동 927-2				
연락처	E-mail: jhjh.choi@gmail.com				
논문 제목	조명용 LED를 이용한 무선 통신 시스템				
	Wireless communication using light-emitting diodes for illumination				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건 아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집과 형식상의 변경을 허락함(다만, 저작물의 내용변경은 금지함)
3. 배포・전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함
6. 조선대학교는 저작물 이용의 허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속 대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송・출력을 허락함

동의여부 : 동의( ) 반대( )

201 년 월

저작자 : 최 준 호 (인)

조선대학교 총장 귀하