

소형 창고형 공장 적용을 고려한 15와트 LED 조명과 40와트 태양광 패널을 활용한 가시광통신 송수신 시스템 분석

우덕건*, 마리아판 비나야감*, 박종용*, 이종혁**, 김영민***, 차재상****

Analysis of visible light communication system using 15 watt LED and 40 watt solar panel

Deok Gun Woo*, Vinayagam Mariappan*, Jong Yong Park*, Jong Hyeok Lee**,
 Young Min Kim***, Jae Sang Cha****

요약 ICT기술 확산과 더불어 효율적인 정보 운용을 위해 다양한 프로토콜의 근거리 무선통신기술이 적용되고 있다. 하지만 근거리 무선통신의 제한사항으로 인하여 주파수 혼선 및 창고형 공장 등 주파수 환경이 좋지 않은 곳에서 통신이 원활하지 못하다. 이에 대한 대안이 필요한 시점에 LED 기술의 발달과 빠른 보급을 통한 인프라 확충으로 LED 기반 가시광 통신이 대안으로 주목되고 넓은 분야에 확산되고 있다. 또한 신재생에너지 활성화에 맞춰 태양광 패널 또한 빠른 보급으로 인프라가 확충되어 있다. 이러한 상황에서 PD를 활용한 가시광 통신은 PD의 수신각도 및 주변 환경의 빛으로 인해 LoS가 확보되고 주변의 빛에 영향이 적은 초근거리 환경에서 제한적으로 적용되어 왔다. 이를 해결하고자 현재 인프라가 확충되어 있는 LED 조명과 수신 면적이 넓은 태양광 패널을 이용하여 가시광 통신을 구현하였으며, 주변 환경 빛에서도 정확한 데이터를 복원을 위한 회로를 제안하였다. 본 연구결과를 통해 태양광 패널을 수신부로 하는 가시광 통신 연구의 기반 자료로 활용 되어 가시광 통신이 더욱 넓게 응용될 것으로 기대한다.

Abstract In addition to the diffusion of ICT technology, various protocols of short range wireless communication technology are being applied for efficient information operation. However, due to limitations of short-range wireless communication, communication is not smooth in places where frequency environment is poor, such as frequency confusion and warehouse type factory. When an alternative is needed. The development of LED technology and expansion of infrastructure through LED based visible light communication is attracting attention as an alternative and spreading the usage in wide range now a days. In addition, the infrastructure has been expanded with solar panels in response to the development of smarthome built-in with renewable energy. In this situation, visible light communication using PD has been limitedly applied in a near environment where the receiving angle of the PD and the ambient light ensure the LoS and the influence of the ambient light is small. In order to solve this problem, we have implemented visible light communication using LED lighting with large current infrastructure and solar panel with large receiving area, and proposed a circuit for restoring accurate data even in ambient light. Through this study results, it is expected that visible light communication can be more widely used and this result used as the base data for visible light communication research using the solar panel as the receiver.

Key Words : IoT(Internet of Things), LED, Solar panel, Visible light communication, Wireless Communication

This work was supported by the Starting growth Technological R&D Program (S2648818) funded by the Small and Medium Business Administration(SMBA, Korea)

*Graduate School of Nano IT Design Fusion, Seoul National University of Science & Technology

**JJ company Co., Ltd.

***Ire front Co., Ltd.

****Corresponding Author : Dept. of Electronics & IT Media Eng., Seoul National University of Science and Technology(chajs@seoultech.ac.kr)

Received October 15, 2018

Revised October 17, 2018

Accepted October 22, 2018

1. 서론

ICT(Information and Communications Technologies)기술 확산과 더불어 효율적인 정보 운용을 위해 다양한 프로토콜의 근거리 무선통신기술이 적용되고 있다. 하지만 근거리 무선통신의 제한사항으로 인하여 주파수 혼선 및 창고형 공장등 주파수 환경이 좋지 않은 곳에서 통신이 원활하지 못하다. 이에 대한 대안이 필요한 시점에서 새롭게 가시광통신(VLC : Visible Light Communication)이 대두 되었다. 이러한 가시광 통신은 고효율 LED(Light Emitting Diode)의 발달과 함께 급속하게 대두되었다[1,2].

기존의 백열등, 형광등에 비하여 에너지 전환 효율이 뛰어나며 열 손실이 거의 없는 LED는 녹색성장, 이산화탄소 절감 등 세계적인 추세 및 국가 정책과 맞물려 조명으로서 실생활에서 널리 사용됨에 따라, 보급률이 높아 인프라 확충에 원활하고, 밝기 조절 등 제어가 용이하다는 장점을 기반으로 하여, 한정적인 무선통신기술을 대체하기 위한 방안으로서 조명과 통신이 동시에 가능한 점이 부각되었다[3].

IoT 적용에 적합한 가시광 통신은 일반적으로 380nm에서 780nm의 파장을 가지며, 이를 주파수로 변환하면, 385THz에서 789THz에 해당하여 기존의 주파수와의 간섭에 문제가 없어 병원이나 차량내부, 항공기, 우주선과 같은 기존의 무선주파수 및 전자장치의 영향에 민감한 환경에서도 자유롭다[3].

이러한 특성에 따라 가시광 통신 기술은 LED 광원이 설치되어 있는 모든 분야에서 적용이 가능하며, 홈네트워크, ITS(Intelligent Transport System : 지능형 교통 시스템) 등의 사회 인프라 뿐만 아니라 전광판, 및 광고 산업분야에도 적용이 가능하다[4,5].

가시광 통신은 그림1과 같이 LED와 PD(Photo Diode)를 기반으로 발전하였으며, 전기신호를 빛을 변환하는 반도체 소자인 LED를 빛의 켜짐, 꺼짐을 각각 1, 0인 디지털 신호(OOK : On-Off Keying)로 변조하여 정보를 전달하는 기술이다. 이러한 가시광을 사람이 인지하지 못하도록 초당 200번 이상 반복하여 조명의 기능과 무선 통신의 기능을 동시에 실현한 것이다[6-9].

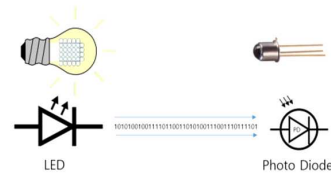


그림 1. 기존 PD기반 가시광 통신 개념도[4].
Fig. 1. Conventional PD-based visible light communication concept

그림 1과 같은 기본적인 가시광 통신 방식에서 사용되어온 PD의 경우 가시광의 수신을 향상을 위하여 렌즈가 적용되어 가시광 수신을 위한 각도가 제한되어 있으며, 이는 LoS(Line of Sight)를 맞춰주어야만 하는 불편함이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 개선해보고자, 현재 PD와 같은 역할을 하며 빛 수신 지향성이 덜하고 가시광 수신 면적이 넓은 태양광 패널을 활용한 가시광 통신을 제안하고자 한다.

태양광 패널의 경우 PD와 같이 빛에너지를 전기신호로 바꾸어 주는 광전효과를 이용하여 발전을 하는 일종의 센서로서의 역할을 담당하며, 국내외적으로 신재생에너지의 일환으로 대표되어 보급률 또한 점차 높아져 인프라도 확충되어 있다.

본 논문에서는 소형 창고형 공장 적용을 고려하여 상용화 되어 있는 40W급의 태양광 패널을 활용하여 태양광 패널의 가시광 수신부로서의 가능성을 검토하고, 수신부 회로에 상용화된 Voltage Detector IC를 적용하여 수신회로를 간소화, 안정화 하였다.

본 논문의 순서는 다음과 같이 구성하였다. 2장, 3장에서 제안하는 가시광 통신 시스템의 회로에 대한 설명 및 실험 환경과 결과에 대해분석 기술하고, 마지막으로 4장에서 결론을 내고 논문을 마무리한다.

2. 제안된 시스템

본 논문에서 제안하는 가시광통신 시스템은 실내에 국한되지 않은 소형 창고형 공장에 설치되어 있는 태양광 패널을 고려하여한 시스템으로서, 따라서 LED 조명은 AC전원을 활용하여 가로등으로 적용을 고려하여 LED 조명을 활용 하였으며, 태양광 패널 또한 실

외에 배치되어 실제로 태양광 발전이 가능한 상용화 모델을 기반으로 회로를 구성하였다.

2.1 송신부 시스템

송신부는 그림 2와 같이 구성하였으며, 기존의 상용화된 조명에 마이크로컨트롤러(Micro controller Unit : MCU)를 추가하여 진행하였다.

송신 신호는 랜덤으로 생성한 데이터를 맨체스터 코딩을 적용하여 같은 데이터의 반복을 방지되도록 코딩된 데이터를 PWM을 통해 변조하여 LED를 통해 데이터를 송신하였으며, LED의 On/Off에 따라 '0' 또는 '1'로 송신하는 OOK를 적용하였다.

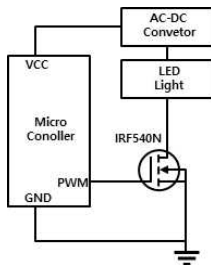


그림 2. 가시광 통신 신호 송신부
Fig. 2. VLC signal Tx part

2.2 수신부 시스템

본 논문의 주요 목표인 소형 창고형 공장 적용을 고려한 태양광 패널을 이용한 수신부는 그림 3과 같은 구조로 구성하였다.

태양광 패널은 광 검출기로서 빛 에너지를 전기 에너지로 전환하여 전기 신호를 복구하도록 하며, 복구될 데이터는 송신단의 LED 조명으로부터 보내진 OOK 변조가 된 Baseband신호가 광무선 채널을 통해 수신된다.

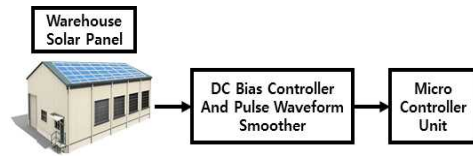


그림 3. 태양광 패널을 통한 수신부 블럭다이어그램.
Fig. 3. Receiver block diagram with solar panel

태양광 패널을 통해 수신한 신호는 직류성분이 포함된 구형파로, 마이크로 컨트롤러를 통해 복구하기 위해서는 그림 3과 같이 DC바이어스 컨트롤과 구형파 복원(DC Bias Controller and Pulse Waveform smoother)과정을 거쳐 마이크로컨트롤러를 통해 데이터를 복원하게 된다.

DC바이어스 컨트롤과 구형파 복원을 위한 회로는 그림 4와 같으며 태양광 패널에서 수신된 DC성분이 포함된 신호를 필터링을 통해 DC 성분을 제거하고 전송 및 수신 과정에서 노이즈 성분이 포함된 구형파 신호를 Voltage Detector IC를 적용하여 송신단에서 생성한 것과 같은 구형파와 같이 복구하여준다. 이때 Voltage Detector IC에서 출력되는 신호의 전압이 미약하기 때문에 Level Shift를 하여 송신단에서와 같은 신호로 복구하는 것을 핵심으로 한다.

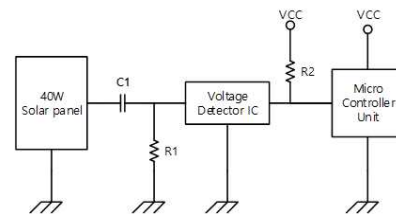


그림 4. Voltage Detector IC 적용 가시광 수신부
Fig. 4. VLC Rx part using Voltage Detector IC

3. 시스템 구현 및 테스트 환경

본 논문에서 제안하는 가시광통신 시스템의 적용 및 활용 가능성을 검증하기 위한 LED 조명은 1W LED 15개로 구성하였으며, 마이크로컨트롤러를 통해 PWM 신호를 생성하여 IRF540N을 통해 LED Light를 제어하였다. 또한 태양광 패널은 상용화 되어 실생

활에 적용되고 있는 658 x 395mm 크기의 40W급 태양광 패널 SCM 40W 모델을 활용하여 실험을 진행하였으며, 가시광원을 활용한 통신으로 환경의 민감도를 고려하여 실험 환경 조건과 환경은 표 2, 그림 5와 같다.

그림 5와 같이 조명과 태양광 패널의 거리는 기존의 가시광통신 실험과 다르게 외부에서도 가능한지 여부를 검토하기 위하여 1m로 설정하였으며, 주변 환경 및 조명 테스트 환경의 밝기 측정은 휴대전화의 조도 센서를 활용한 어플리케이션으로 측정을 진행하였다. LED 조명을 켜기 전 측정된 주변 환경 빛의 밝기는 그림 5 (b)와 같이 24lx로 측정되었다.

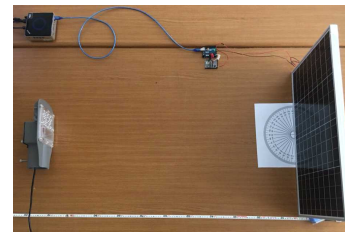
표 1. 실험 환경
Table 1. Experiment environment

Item	Symbol	Ratings	Unit
Ambient light	lux	15	lx
LED Light	lux	50	lx
Reception sensitivity	V	5	V
Tx rate	bps	1,200	bps
Distance between LED light to Solar panel	m	1	m

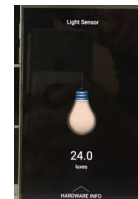
본 실험에서는 태양광 패널을 이용한 가시광 통신을 위하여 2가지를 실험하였다. 위에서 제안한 태양광 패널 수신부 회로와, 태양광 패널을 가시광통신에 적용 시 기존의 PD가 가지고 있던 가시광의 수신 각도에 대한 부분을 증명하고자 실험을 진행하였다.

그림 5는 실험 환경과 가시광 통신은 주변 빛에 영향을 미치는 만큼 실험을 실시하기 전 주변 빛의 밝기를 측정하였다.

그림 6, 7, 8에서 (a)는 태양광 패널에 도달하는 빛의 밝기를 측정된 그림이고, (b)는 수신된 신호를 태양광 패널에서 오실로스코프를 통해 측정된 그래프이다. (c)는 태양광 패널에서 수신한 신호를 필터링을 통해 DC 성분을 제거 한 그림이고, (d)는 DC성분이 제거된 수신파형을 Voltage Detector IC를 거쳐 다시 구형파로 복원한 그림이다.



(a) Experiment environment

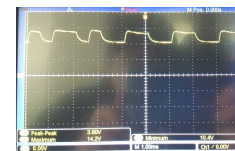


(b) Ambient light

그림 5. 실험 환경 및 주변 빛 밝기
Fig. 5. Experimental environment and ambient light brightness



(a) Brightness of light



(b) The received signal of the solar panel



(c) Filtered received signal



(d) The restored received signal

그림 6. 태양광 패널과 LED조명의 각도가 90도일 경우 조명의 밝기와 상황별 파형
Fig. 6. When the angle between the solar panel and the LED light is 90 degrees, the brightness of the light and the waveform

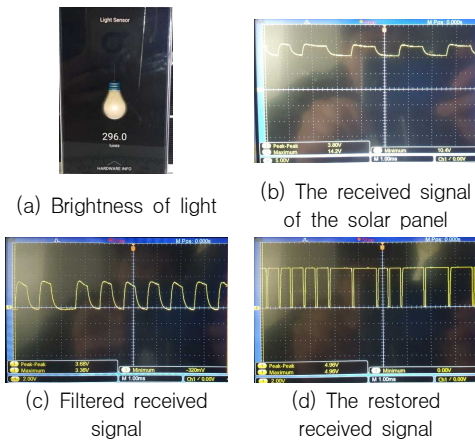


그림 7. 태양광 패널과 LED조명의 각도가 60도일 경우 조명의 밝기와 상황별 파형
 Fig. 7. When the angle between the solar panel and the LED light is 60 degrees, the brightness of the light and the waveform

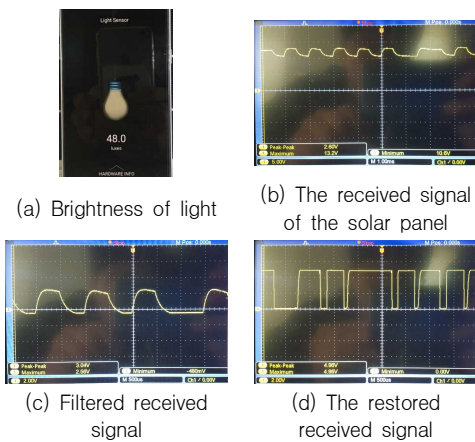


그림 8. 태양광 패널과 LED조명의 각도가 30도일 경우 조명의 밝기와 상황별 파형
 Fig. 8. When the angle between the solar panel and the LED light is 30 degrees, the brightness of the light and the waveform

그림 6, 7, 8 (a)에서 보는 바와 같이 태양광 패널과 조명의 각도를 줄일 경우 태양광 패널에 도달하는 빛의 밝기는 감소함을 확인하였고 그림 6, 7, 8의 (b), (c)의 파형에서도 확인이 가능하듯 태양광 패널에 도달하는 신호 파형의 Peak to Peak 전압이 줄어드는

것을 확인 할 수 있었다.

하지만 그림 6, 7, 8 (d) 및 표 2에서와 같이 LED 조명과 태양광 패널의 각도에 따른 광량의 변화에도 본 논문을 통해 제안한 수신부 회로를 통한 DC바이어스 컨트롤과 구형파 복원과정을 통해 최종 출력 신호는 균일한 구형파의 형태로 전압의 Peak to Peak 값 또한 일정하게 출력되는 것을 확인 할 수 있었다.

표 2. 실험 결과
 Table 2. Experiment result

Between solar panel and LED light	Light from solar panels	Filtered received signal Peak to Peak range	The restored received signal
90 degree	385 lux	4 vp-p	4.96 vp-p
60 degree	296 lux	3.68 vp-p	4.96 vp-p
30 degree	48 lux	3.04 vp-p	4.96 vp-p

4. 결론

본 논문에서는 기존의 PD가 아닌 태양광 패널을 사용한 가시광 통신 시스템 모델을 제안하고 설계하였다. 또한 기존의 PD의 제한한 수신각도로 인하여 LoS를 유지 하여야 하는 단점을 극복하고자 수신면이 넓은 소형 창고형 공장 적용을 고려한 태양광 패널의 면적을 활용하여 다양한 수신 각도에서의 태양광 패널의 수신 감도를 확인하였다. 이를 통해 현재 고효율, 이산화탄소 절감이라는 시대적 요구에 맞추어 이미 인프라가 확충된 LED, 태양광 패널을 활용한 가시광 통신의 가능성을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 통신방식을 적용하게 되면 야간에 소형 창고형 공장에 설치된 태양광 패널이 발전을 하지 않는 시간을 이용하여 가시광 통신에 활용이 가능하며 또한 빌딩의 벽면 또는 창문형 태양광 패널을 활용한 빌딩간 가시광 통신에 적용 하는 등 다양한 응용 분야를 찾고 개발 가능할 것으로 기대된다.

REFERENCES

- [1] W. K. Son, "Status and Prospect of LED Lighting Industry Development", JIEIE, vol.24-1, 2010.
- [2] IEEE standard for local and metropolitan area networks-part 15.7:Short-range wireless optical communication using visible light," IEEE Std 802.15.7-2011, pp.1-309, 6 2011.
- [3] "ICT Standardization Roadmap", Mobile communication field, TTA, pp.411-466, 2007.
- [4] J. M. Lee, "A Study on the LED-based Media Transmission Mechanics VLC System Module and Efficiency", Electronics, and Communication Technology, Vol.6, pp. 51-56 2013
- [5] D. Y. Ju, "Technology development trend of LED visible light communication", Science and technology policy, vol.20, pp.63-67, 2010.
- [6] D. G. Oh, "LED Visible Light Communication (VLC) Technology and Prospects", KEIT PD ISSUE, Vol.11-7. 2011
- [7] J. E. Kim, "Analysis of Recent Trend and Market Forecasting of LED Visible Light Communications(VLC)", Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp.814-815, 2012.
- [8] O'Brien, D.C. Zeng, L. Le-Minh, H. Faulkner, G.Walewski, J.W. Randel, S., "Visible light communications: Challenges and possibilities", Indoor and Mobile Radio Communications, 2008.
- [9] C. S. Lo, "Visible Light Communications", Bio Electromagnetic Research Initiative, 2009.

저자약력

우 덕 건(Gun Deok Woo)

[정회원]



<관심분야>

- 2010년 2월 : 서울과학기술대학교 나노IT융합대학원 석사 졸업
- 2015년 9월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 나노IT디자인융합대학원 박사과정

가시광통신, 실내위치인식, 무선통신, USN, LED-IT, 임베디드 HW/SW 설계

마리아판비나야감(Mariappan vinayagam) [정회원]



<관심분야>

- Jun., 1998 ~ Apr., 2003 : DSP/Embedded Design Engineer, SANDS, L&T Infotech, Toshiba, India
 - May., 2003 ~ Dec., 2009 : System Design Engineer, iCanTeck Co.,Ltd.
 - Jan., 2008 ~ Feb., 2015 : Director, VeMSOL TECHNOLOGIES & eSILICON LABS, India
 - Mar., 2015 ~ Feb., 2017 : MS, Seoul National University of Science & Technology
 - Mar., 2017 ~ : Ph.D Candidate, Seoul National University of Science & Technology
- OWC, OCC, LiFi, IoT/IoL, LED-ID, Digital Signage, Video Analytics, and Deep Learning

박 중 용(Jong Yong Park)

[정회원]



<관심분야>

- 2000년 2월 : 한국기술교육대학교 전자공학과 학사졸업
- 2000년 : 현대디지털테크 연구원
- 2002년 : 모토로라코리아 연구원
- 2009년 8월 : 한양대학교 컴퓨터공학과 석사졸업
- 2012년 : GE코리아 수석연구원
- 2015년~현재 : 시애틀시스코리아 글로벌기술지원 부장
- 2015년~현재 : 서울과학기술대학교 NID융합대학원 박사과정

LED-IT융합기술, 무선통신기술, Software Defined Radio, 농업-IT융합기술, 보안

이 중 혁(Jong Hyeok Lee) [정회원]



- 2015년 : 여성가족부 서울과기대 위탁교육 진행주무
 - 2016년 : 서울과학기술대학교 산학협력단 교수
 - 2018년 : 서울과학기술대학교 나노IT융합대학원 공학박사
 - IT인재양성 대학출강(여주대, 서울과기대)
 - 국제표준화(IEEE)IoT 관련기술 참여연구원
 - (주)JJ컴퍼니 대표
- 태양광 모듈, 어레이 구조설계, Light기반 스마트하우스 Design, LED 가시광통신

<관심분야>

김 영 민(Young Min Kim) [정회원]



- 2013년 1월-현재 : IRE Front 이사
- 2016년 : 서울과학기술대학교 나노IT융합대학원 공학박사
- 2017년~현재 : 서울과학기술대학교 겸임교수

<관심분야>

방송 멀티미디어시스템, LED와 멀티미디어 융합, 태양광모듈, 디지털 방송장비.

차 재 상(Jae Sang Cha) [정회원]



- 2000년 : 일본 Tohoku대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 : 한국전자통신연구원 방송기술연구소 선임연구원
- 2008년 : 미국 플로리다 대학교 방문교수
- 2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수
- 2018년 ~ 현재 : (주)브이테크 대표이사

<관심분야>

LED 통신, 조명IT융합신기술, 무선 홈 네트워크, 무선통신 및 디지털방송 등