

실내 가시광 통신 시스템에서 성능에 영향을 주는 요인에 관한 연구

(A Study About Fact Influence on Performance at Indoor Visible Light Communication)

이창우* · 최덕재 · 김한필**

(Chang-Woo Yi · Deok-Jai Choi · Han-Pil Kim)

Abstract

Wireless Visible Light Communication is the technology that enables communication using LED illumination Infrastructure instead of existing illumination such as incandescent lamp or fluorescent light. Because VLC uses light for communication, it has no problem of frequency permission and is harmless to human body. It is also possible to check the communication through eye. So VLC can be used as a supplement to the Radio Frequency communication, Infrared in indoor environment. So far, researchers on the LED Visible light communication have focused on the increasing transmission speed, transmission distance, modulation method. However, there is few research of main factors that influence on system performance. System performance has been mainly predicted through simulation. In this paper, I recognized that these factors such as outside light noise, obstacle, LED panel position or emitted angle have a great impact on wireless communication system. So I experimented VLC system by changing distance and position to discover location suitable for BER regulation.

Key Words : Wireless Visible Light Communication, Illuminance, LED(Light Emitting Diode), BER(Bit Error Rate)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

LED(Light Emitting Diode) 조명은 저전력, 무수은, 긴수명 등과 같은 친환경적인 특징을 갖추고 있고, 전기에너지를 빛으로 변환하는 효율이 기존의 백열등이나 형광등에 비해 높은 차세대 조명이다. 과거 LED 기술은 고가의 기술로 인식되고 다른 조명에 비해 가격이 높아 LED조명의 보급이 어려웠지만 최근엔 LED 가격감소 및 지속적인 성능향상으로 인해 LED

* 주저자 : 한국광기술원 시험인증센터 연구원
** 교신저자 : 한국광기술원 시험인증센터 선임연구원
* Main author : Korea Photonics Technology Institute Test & Certification Center Researcher
** Corresponding author : Korea Photonics Technology Institute Test & Certification Center Senior Researcher
Tel : 062-605-9217, Fax : 062-605-9288
E-mail : st.kim@kopti.re.kr
접수일자 : 2013년 4월 11일
1차심사 : 2013년 4월 17일
심사완료 : 2013년 8월 4일

조명기기의 활성화가 가능할 것으로 기대하고 있다 [1]. 가시광 무선통신 기술은 백열등이나 형광등 같은 기존조명이 LED조명으로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술로서, 기존의 통신 수단은 달리 빛을 이용하여 통신을 하기 때문에 주파수 허가에 관한 문제가 없고 통신을 직접 눈으로 확인 가능하며 인체에 무해하다는 장점들을 가진다. 또한 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 대역을 사용하지 않기 때문에 기기 간 통신 간섭 없이 항공기 내부와 의료기관 등에서도 사용자에게 편리한 인터넷 서비스 제공을 가능하게 한다. 이러한 장점들로 인해 가시광 무선통신에 대한 물리계층(Physical Layer)와 MAC (Medium Access Control Layer)에 관한 표준화[2]가 마련되었고 향후 차세대 근거리 통신 기술로서 광범위한 기술시장이 형성될 것으로 분석된다. 하지만 지금까지의 LED 가시광통신에 관한 연구는 전송속도 증가, 전송거리 증가, 변조기법을 통한 성능향상 등에 주로 주안점을 두고 있으며 설치된 시스템의 성능에 영향을 끼치는 요인들에 관한 연구는 많지 않다. 그리고 주로 시뮬레이션을 통해 성능을 예측하였기 때문에 실제 가시광통신 시스템을 구축해서 규정된 BER 조건에 적합한 통신허용범위를 찾을 필요성이 있다.

2. 가시광 무선통신의 성능변수

2.1 BER(Bit Error Rate)대 조도와와의 관계

가시광 무선 통신 시스템의 통신 채널 품질을 나타내는 BER(Bit Error Rate)은 일정한 시간 내에 수신측에서 수신한 데이터가 송신한 데이터에 비해 어느 정도 잘못되었는가를 나타내는 정량적인 단위로 PD(Photo Diode)가 수신하는 빛의 광량에 따라 결정된다. 수신되는 빛의 세기는 조도(Illuminance)로 표현하는데, 조도란 어떤 면이 받는 빛의 세기를 그 면적에 비치는 광속으로 나타낸 양을 말하고 단위는 룩스(lux, 기호는 lx)이다. 조도는 거리 역자승의 법칙을 가지므로 광원으로부터 수신기까지의 거리가 증가하면 광원의 조도는 그 거리의 제곱에 반비례하여 감소한다.

$$\text{조도}(lx) = \frac{\text{광도}(cd)}{(\text{거리}(m))^2} \quad (1)$$

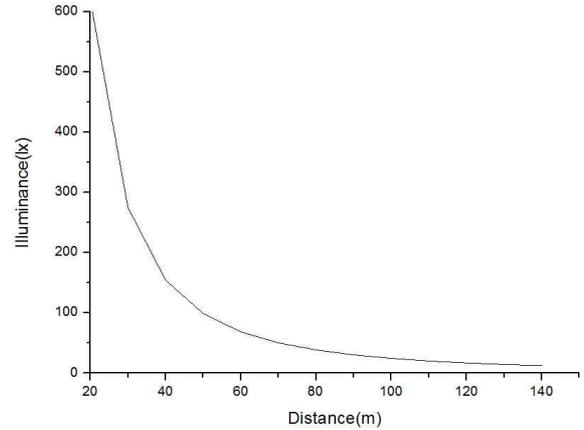


그림 1. 조도와 거리의 관계

Fig. 1. Relation between Illumination and Distance

가시광 무선통신은 광원의 세기에 따라 통신하므로 그림 2와 같이 광원과 수신기의 거리가 가까우면 낮은 BER을 제공하여 오류 없는 통신이 가능하지만, 반대로 거리가 멀어지면 광원의 조도가 낮아져 높은 BER이 측정된다.

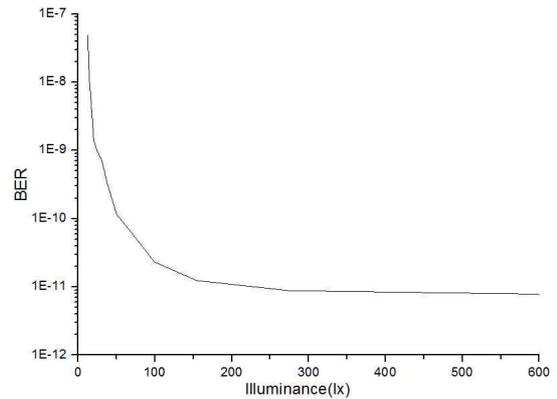


그림 2. 조도와 BER의 관계

Fig. 2. Relation between Illumination and BER

조도와 BER의 관계는 조명기기로써의 역할뿐 아니라 무선 통신 장치로써의 역할을 수행해야 하는 가시광 무선 통신 시스템에서 채널 품질 영향 분석에 반드시 고려해야 할 지표이다.

2.2 성능에 영향을 주는 요인

기존에 연구된 가시광 무선 통신 시스템의 성능에 영향을 주는 요인은 크게 3가지로 요약된다. 첫째, 외부 광잡음에 의한 영향이다. 실제 가시광통신 환경에서는 태양광, 형광등 같은 다른 광원이 존재하며, 광의 세기를 검출하는 가시광 통신에서는 외부 광을 고려해야 한다[3]. 이는 수신부에 필터를 부착하여 외부광 DC성분을 분리할 수 있다. 둘째, 장애물에 의한 영향이다. 통신이 원활한 시스템일지라도 LED 조명 앞에 장애물이 있을 경우 성능이 저하된다[4]. 장애물의 위치와 종류에 따라 LED 조명의 배치는 고려해야 할 중요한 요소이다. 셋째, LED 패널의 위치 및 발광각도의 변화이다[5]. LED 패널의 위치가 방의 중심에 있다면 방의 가장자리 부분에는 빛의 전달이 어려워 최소조도가 형성되고, 방의 중심부분에 4개의 LED 패널의 조도가 집중되면서 최대 조도는 증가하기 때문에 조도균제도가 가장 높은 패널의 위치와 발광각도를 발견하여 최적의 통신환경 구축해야 한다. 하지만 기존 연구는 시뮬레이션을 통해서만 예측이 되었기 때문에 실제 시스템을 구축하여 통신성능을 분석할 필요가 있다. 그리고 최근 조명은 발열효율이 좋고 무게가 가벼운 COB type이나 PowerLED의 사용이 증가됐지만 기존연구에서 사용된 조명의 광원은 SMD LED로 한정되어 있기 때문에 최근 실내조명의 추세에 적합하지 않다. 이에 본 논문에서는 최근 사용이 급등하고 있는 POWER LED를 사용한 조명을 이용하여 기존연구와 동일한 실내 환경에서 균제도가 가장 높은 위치를 찾기 위해 광원의 위치를 변경하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그리고 실제 가시광통신 시스템을 구축하여 조도의 세기와 BER의 상관관계를 확인하였고 사용된 조명의 최대 전송속도를 측정했으며 측정 위치 변경에 따른 BER을 분석하였다.

3. 최적 조명설계

가시광통신은 LED조명의 빛의 세기를 이용하여 통신을 하는 기술이기 때문에 실내 환경에서 원활한 통신을 하기 위해서는 조도의 균제도(min/avg)가 가장

높은 조명의 위치를 찾아야 한다. 그리고 설치된 조명의 조도분포는 한국산업규격 KS-A-3011 사무실의 조도기준[6]에 만족하는 최소 150lx에서 최대 600lx 사이, 조도균제도는 0.5이상을 만족해야 한다.

3.1 조도균제도 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 광원은 현재 조명시장에서 사용이 급등하고 있는 PowerLED를 사용한 조명이고 크기는 0.5m*0.5m*0.05m(가로*세로*높이)이며 패널 당 LED PKG의 개수는 24개이다. 사용된 LED PKG는 삼성LED의 LH351A이다. KS-A-3011에 적합한 조도 균제도(min/avg)를 알아보기 위해 표 1과 같이 기존연구에서와 동일한 모의실험환경을 구축하였고 조명을 사무실의 정중앙에 배치한 후 Relux 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그리고 조도 균제도가 가장 높은 조명을 찾기 위해 그림 3과 같이 렌즈를 사용하여 방위각이 다르게 제작된 패널을 시뮬레이션에 사용하였다.

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation Parameter

파라미터		등기구 타입		
		A	B	C
통신 환경	사무실 크기 (가로*세로*높이) [m]	5*5*3		
	LED 패널 위치(바닥면 기준) [m]	3.0		
	수신기 위치(바닥면 기준) [m]	0.85		
	LED 패널의 개수	4		
	LED 패널 당 LED 개수	24		
	LED 배치 간격 [cm]	2.5		
	LED 패널 이동 간격 [m]	0.1		
송신 기	송신 광 전력 [W]	1.8		
	중심부의 조명 광도 [cd]	1507	1364	5897
	방위각 [deg]	120	150	45
	전광선속 [lm]	4377	4370	4430
수신 기	PD FOV [deg]	60		
	수신 면적 [cm ²]	1.0		
	광 필터 이득	1.0		
	O/E 변환 효율	0.53		

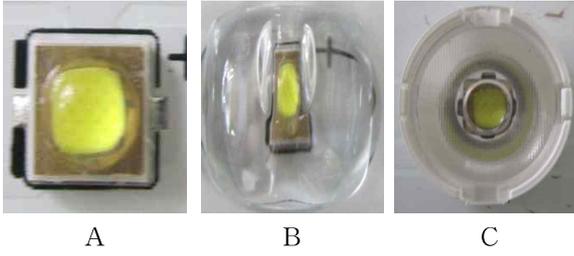


그림 3. 사용된 LED광원
Fig. 3. Used LED Source

시뮬레이션 결과 조도균제도는 각각 0.79, 0.55, 0.53으로 측정되었고 KS-A-3011 기준에 모두 만족되었다. 하지만 설치된 조명의 위치는 조도의 균제도에 영향을 줄 수 있기 때문에 위치를 변경해가면서 균제도가 가장 높은 조명을 찾을 필요가 있다.

3.2 패널 위치별 조도 균제도 변화

조도 균제도가 가장 높은 패널의 위치를 찾기 위해 그림 4와 같이 사무실의 가장자리부터 중심부분까지 대각선 방향으로 0.1m 씩 패널의 위치를 표 2의 좌표와 같이 총 11번 변경시키면서 각 광원별 시뮬레이션을 진행하였다.

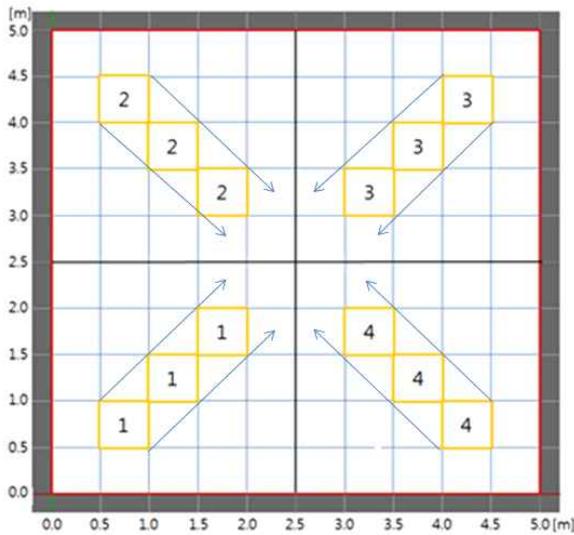


그림 4. LED 패널 위치 변화 모델
Fig. 4. Change Model of LED Panel Position

표 2. LED 패널위치 좌표
Table 2. Coordinate of LED Panel Position

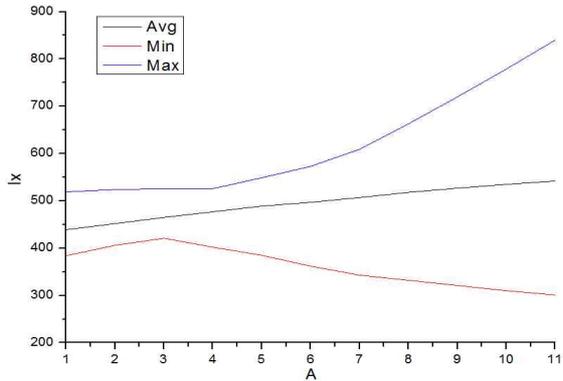
좌표	1번		2번		3번		4번	
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	0.75	0.75	0.75	4.25	4.25	4.25	4.25	0.75
2	0.85	0.85	0.85	4.15	4.15	4.15	4.15	0.85
3	0.95	0.95	0.95	4.05	4.05	4.05	4.05	0.95
4	1.05	1.05	1.05	3.95	3.95	3.95	3.95	1.05
5	1.15	1.15	1.15	3.85	3.85	3.85	3.85	1.15
6	1.25	1.25	1.25	3.75	3.75	3.75	3.75	1.25
7	1.35	1.35	1.35	3.65	3.65	3.65	3.65	1.35
8	1.45	1.45	1.45	3.55	3.55	3.55	3.55	1.45
9	1.55	1.55	1.55	3.45	3.45	3.45	3.45	1.55
10	1.65	1.65	1.65	3.35	3.35	3.35	3.35	1.65
11	1.75	1.75	1.75	3.25	3.25	3.25	3.25	1.75

시뮬레이션 결과 A와 B 타입의 경우 4개의 패널이 사무실의 중심으로 이동할수록 최대와 평균 조도값은 높아지지만 최소값은 낮아져 균제도가 낮게 측정된다. C 타입의 경우 최대조도는 다른 타입보다 2배 이상인 1200lx가 측정되지만 최소조도는 100lx 미만으로 전체적으로 조도균제도가 낮게 형성된다. 시뮬레이션 결과를 종합해보면 A타입 광원의 3번 조건이 평균 465lx, 최소 421lx, 최대 526lx로 측정되어 사무실 조명기준에 적합하고 조도 균제도는 0.91로 가장 높았다.

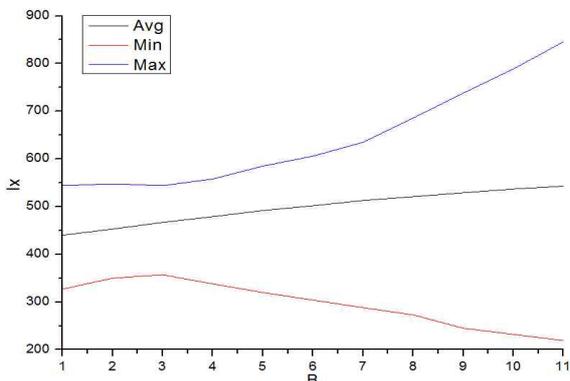
조도 시뮬레이션을 통해 방위각이 120° 인 A광원을 사용한 조명이 1번 조명 좌표(0.95,0.95)에서 조도 균제도가 가장 높았지만 실제 가시광통신에서도 A타입의 광원을 사용한 실내환경의 통신이 가장 원활한지 실험을 통해 검증할 필요가 있다.

4. 가시광통신 시스템구현

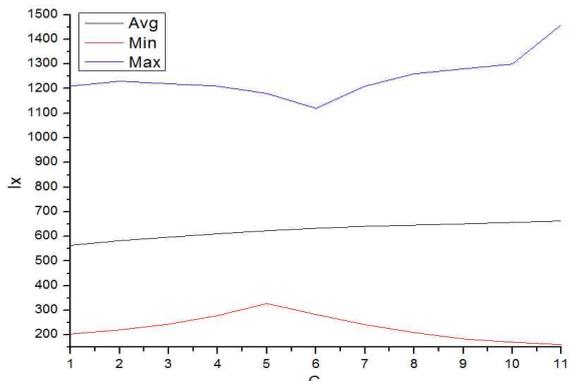
실험을 위한 장치의 구성은 그림 6과 같다. 실험실 환경은 외부 광잡음에 영향을 받지 않는 평균 조도분포가 5lx 미만인 암실을 사용하였고 송신부와 수신부의 측정거리는 실내 시뮬레이션 조건과 동일한 2.15m로 설정하였다.



(a) A 타입 광원



(b) B 타입 광원



(c) C 타입 광원

그림 5. 위치별 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation result per position

실험에 사용된 장비는 표 3과 같으며 장비의 연간교정 및 교정된 장비를 기준장비로 하여 출력값을 확인하는 자체중간점검을 통해 장비성능에 이상이 없음을 확인하였다.

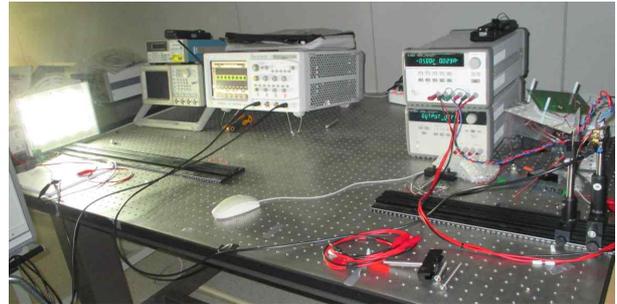
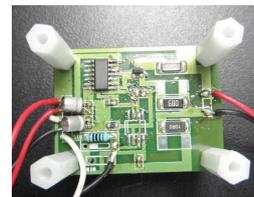


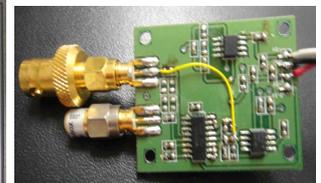
그림 6. 가시광통신 시스템 구현
Fig. 6. Realization of VLC System

표 3. 실험에 사용된 장비
Table 3. Equipment used for experiment

장비명	제조사 및 형식	기기번호	교정유효일자	교정기관
Function Generator	Tektronix, AFG310	24030154PH	-	-
DC Power Supply	Aglient, E36131A	MY40048040	2014. 03. 25	KOPTI
DC Power Supply	Aglient, E36131A	MY40048041	2014. 03. 25	KOPTI
오실로스코프	Aglient, DSO5032A	MY47260001	-	-
BER Analyzer	Aglient, E4832A	-	-	-



(a) 송신부



(b) 수신부

그림 7. 송신부와 수신부
Fig. 7. Transmitter and Receiver

실내 가시광 통신 시스템에서 성능에 영향을 주는 요인에 관한 연구

실험에 사용된 가시광통신 송·수신부 모듈은 그림 7과 같다. 송신단의 LED에는 24V를 인가하여 발광시켰고 LED의 변조역할을 하는 송신단의 Controller에는 5V를 인가하여 동작시켰다. 실험에서 사용된 변조 기법은 OOK(On-Off Keying)이다. 광신호를 복조하고 재생시키는 수신단의 Controller부도 5V를 인가하여 동작시켰고 PD의 신호를 검출하기 위해 BNC 케이블을 오실로스코프와 연결하여 수신된 신호를 재생하였다.

오실로스코프의 1번 채널에 Function Generator의 전송속도 2Mbps 구형파 신호를 동기신호로 하여 전송하였고 가시광통신의 채널에 신호가 이상 없이 전송됨을 확인하기 위해 실험의 동기신호와 똑같이 LED 구동회로에 채널당 전송속도 2Mbps 구형파 신호를 전송하였다. 기준신호와 수신된 측정신호를 비교하기 위해 오실로스코프의 2번 채널에 수신기의 신호를 재생하였고 1번 채널과 상호 비교하여 그림 8과 같이 이상 없이 전송됨을 확인하였다.

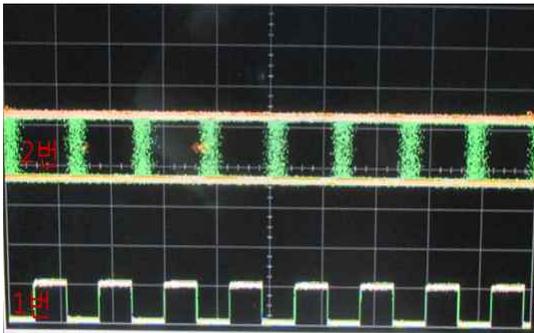


그림 8. 1번 채널과 2번 채널의 정상동작
Fig. 8. Nominal Operation of 1 and 2 channel

Bit Error Rate - Port 2: Data						
Time Since Start: 00:01:01						
Port 2: Data	Actual Number of Bits	Actual Number of Errors	Actual Bit Error Rate	Accum. Number of Bits	Accum. Number of Errors	Accum. Bit Error Rate
1: Data0	1.470098e+006	0.000000e+000	0.000000e+000	1.209501e+006	0.000000e+000	0.000000e+000
Summary	1.470098e+006	0.000000e+000	0.000000e+000	1.209501e+006	0.000000e+000	0.000000e+000

그림 9. 정상동작 BER
Fig. 9. BER of nominal operation

또한 데이터의 송수신 상태를 정량적으로 표현하기 위해 수신부의 BER(Bit Error Rate)를 측정하였고 누

적된 BER은 0으로 측정되어 통신에 이상이 없음을 확인하였다.

4.1 전송속도별 BER

가시광통신 시스템에서 원활한 통신이 이루어지기 위해서는 일정수준 이하의 BER이 측정되어야 한다. 기존연구[7]에 따르면 변조방식을 OOK로 했을 경우 BER을 1×10^{-6} 이하로 규정하고 있다. 이 규정을 통신이 허용되는 범위로 보고 어느 속도까지 원활한 통신이 유지되는지 알아보기 위해 각 광원별 전송속도를 변경해 가면서 BER을 측정하였다.

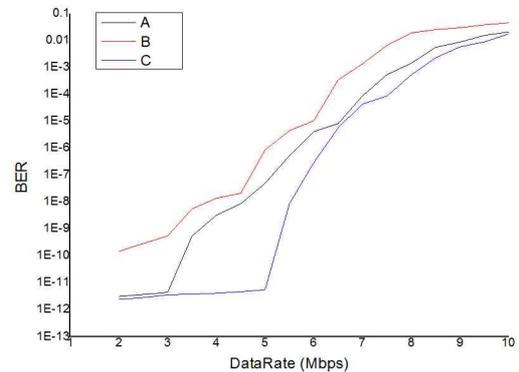


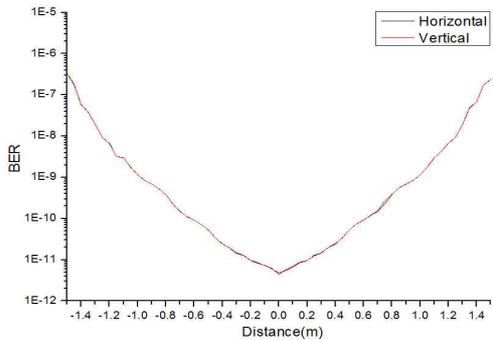
그림 10. 전송속도별 BER
Fig. 10. BER per transmission speed

측정결과 방위각이 45도인 C타입의 조명이 최대 6.5Mbps까지 통신이 가능하였다. 이는 수신부에서 받는 광량이 가장 크기 때문이고 그 이상 통신이 되지 않는 이유는 송신부의 변조속도가 증가함에 따라 조명의 광량도 줄어들고 광원의 스위칭 속도가 따라가지 못하기 때문이다. B타입의 경우 수신부에서 받는 광량이 상대적으로 적기 때문에 4.5Mbps까지 허용되었다. A타입은 5.5Mbps까지 허용되었다. 수신부에서 받는 광량에 따라 전송속도가 달라진다는 것을 확인하였다.

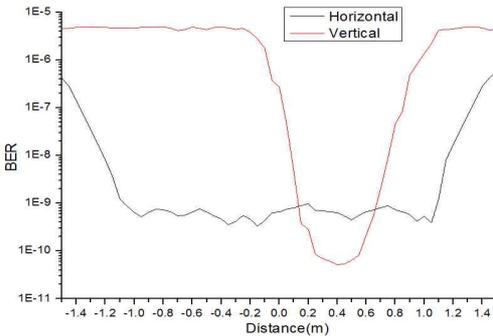
4.2 측정위치별 BER

실내에 설치된 LED조명이 어느 지점까지 기준에

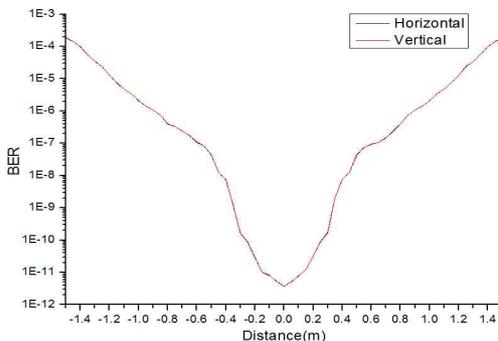
적합한 통신이 유지되는지 확인하기 위해 송·수신부의 거리는 2.15m로 고정한 채 수신부의 위치를 좌·우·상·하 1.5m까지 0.1m 간격으로 변경하면서 BER을 측정하였다. 통신 속도는 3Mbps 이고 이는 사용된 광원 모두 BER이 1×10^{-10} 이하 안정된 통신환경 때문이다. 각 광원별 측정결과는 그림 11과 같다.



(a) A 타입 광원



(b) B 타입 광원



(c) C 타입 광원

그림 11. 위치별 BER 측정결과
Fig. 11. Measurement BER result per position

실험결과 A광원의 BER 허용범위는 수평수직 모두 1.5m로 측정되어 사무실 전체가 통신기준에 적합하다. B광원의 경우 수평면의 BER은 1.0m까지 균일하게 유지되었으나 수직면의 경우 0.5m의 구간을 제외하고 수신부에 전달되는 광량이 적기 때문에 통신이 이루어지지 않았다. C광원의 경우 수평, 수직 모두 0.6m로 측정되었다. C광원은 방사각이 좁기 때문에 일정구간에서만 원활한 통신을 유지할 수 있다.

5. 결 론

지금까지의 LED 가시광통신에 관한 연구는 전송속도 증가, 전송거리 증가, 변조기법, 전송환경을 통한 성능향상 등에 주로 주안점을 두고 있고 기존에 설치된 시스템의 성능에 영향을 끼치는 요인들에 관한 연구는 많지 않으며 주로 시뮬레이션을 통해 성능을 예측하였다. 이에 본 논문에서는 먼저 실제 가시광통신 시스템을 구축하여 조도의 세기와 BER의 상관관계를 확인하였다. 기존연구와 동일한 환경에서 방사각이 다른 조명의 위치를 바꾸어가며 조도 시뮬레이션 진행한 결과 사무실의 정중앙에 설치된 조명이 0.79의 균제도를 나타냈지만 120°의 방사각을 가진 LED광원을 사용한 후 좌표(0.95,0.95)에서 평균 465lx, 최소 421lx, 최대 526lx로 측정되어 KS-A-3011 사무실 조명기준에 적합하고 0.91의 조도 균제도를 도출하였다. 실제 가시광통신시스템을 구축하여 사용된 조명의 전송속도별 BER을 측정했으며 통신허용범위를 알아보기 위해 사무실 크기에 맞춰 측정 위치를 변경하여 BER을 측정하였다. 측정결과 조도균제도가 가장 높은 광원이 실제 가시광 시스템의 성능도 양호했고 3Mbps의 속도로 사무실전체에 해당하는 범위가 통신이 허용되었다. 가시광통신시스템은 조도의 세기에 따라 BER이 달라지므로 최적의 조명설계를 통해 통신성능을 예측할 필요가 있다. 향후에는 LED 변조방식을 변경하여 통신성능을 향상시킨 후 최적의 조명설계를 통해 조명과 통신 둘 다 성능을 향상시킬 가치가 있다.

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2013-H0301-13-3005)

References

- [1] Taekyu Kang, "Technique trend Analysis of LED Illumination and Visible Light Communication", Electronic communication Trend Anlysis Vol.23 No5, p.34, 2008.10.
- [2] IEEE Standard Association, "IEEE Std. for Local and metropolitan are networks-Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light," IEEE computer Society, Sept. 2011.
- [3] Se-Hoon Yang, Deok-Rae Kim, Hyun-Seung Kim, Yong-Hwan Son, Sang-Kook Han, "Performance Analysis of Indoor/Outdoor Visible Light Communication System Influenced by External Noise Light", KICS Journal 11-12 Vol.36 No12, pp1595-1600, 2011.12.
- [4] Su-il Choi, "Quality Analysis of Wireless Communication Channel Based on the Shapes of LED-Based Interior Lighting", KICS Journal Vol.37B No.07, pp606-612, 2012.7.
- [5] Tronghop Do, Junho Hwang, Myungsik Yoo, "The Analysis of Effects of LED Panel Position and Lighting Angle on Communication Channel Quality in Indoor Visible Light Communication Systems" KICS Journal 11-09 Vol.36 No.9 pp1108-1116, 2011.9.
- [6] KS A 3011 "RECOMMENDED LEVELS OF ILLUMINATION", p.27, July. 1998.
- [7] T.Komine and MNakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Light", IEEE Transaction on Cunsumer Electronics, Vol. 50, No. 1, February, 2004.

◆ 저자소개 ◆



이창우 (李昌雨)

1983년 1월 22일생. 2008년 호남대학교 인터넷소프트웨어학 졸업. 2010년 전남대 전자컴퓨터공학부 졸업(석사). 2010년~현재 한국광기술원 시험인증센터 연구원.



최덕재 (崔德載)

1959년 8월 22일생. 1982년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업. 1984년 KAIST 전산학과 졸업(석사). 1995년 University of Missouri-Kansas City Computer Science and Telecommunication Program(박사) 1996년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부(교수).



김한필 (金漢必)

1975년 1월 2일생. 2002년 전남대학교 물리학과 졸업. 2004년 전남대학교 물리학과 졸업(석사). 2004~2006년 LG화학 기술원 산업재연구소 선임연구원. 2006~2011년 충남테크노파크 디스플레이산업지원센터 선임연구원. 2011년~현재 한국광기술원 시험인증센터 선임연구원.