

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.4.127>

IIBC 2015-4-16

## SR-ARQ를 적용한 VLC 시스템의 성능 분석

### Performance Analysis of the VLC System applying SR-ARQ

최병곤\*, 이민정\*\*, 김경석\*\*\*

Byeong-Gon Choi\*, Min-Jung Lee\*\*, Kyung-Seok Kim\*\*\*

**요약** 가시광 무선통신(Visible Light Communication)은 발광다이오드(LED)가 방출하는 가시광 파장을 이용해 데이터를 주고 받는 기술로써 짧은 시간에 전기에서 빛으로 바꾸는 LED의 깜박임(ON/OFF)을 이용하여 통신을 수행한다. 최근 LED 기술이 발전함에 따라 가시광 무선통신 또한 많은 주목을 받고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 벽을 통과하지 못하는 가시광 특성을 고려한 실내 통신 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 실내 환경의 SISO 가시광 무선통신 시스템에 오류제어 기법인 SR-ARQ를 적용하여 통신 환경을 구축하였고, 4가지의 수신지점 및 NRZ-OOK와 VPPM 변조 방식을 이용하여 수신지점 및 변조 방식에 따른 BER, 전송횟수, Throughput을 통해 통신 성능을 비교 및 분석하였다.

**Abstract** VLC(Visible Light Communication) is the technology to send and receive data by using visible light that LED emits. The basic principle of VLC is the communication by using flashing(ON/OFF) of the light from the LED that changes electricity to light in short time. As the recent advances in LED technology, VLC is also received a lot of attention and the research about it is in progress actively. Especially, the interest about indoor VLC system is increasing because the visible light can't pass through the wall. In this paper, we compose the indoor SISO VLC system with NRZ-OOK and VPPM modulation schemes. Also, we apply SR-ARQ, a kind of re-transmission error control schemes, to the VLC system. And then, we compare and analyze the performance of communication according to the location of receiver and the type of modulation by using BER, the number of transmission and throughput.

**Key Words** : VLC, OFDM, SR-ARQ, NRZ-OOK, VPPM

## 1. 서 론

가시광 무선통신(Visible Light Communication)은 발광다이오드(LED)가 방출하는 780nm ~ 380nm의 가시광 파장을 이용해 데이터를 주고 받는 기술로써 짧은 시간에 전기에서 빛으로 바꾸는 LED의 깜박임(ON/OFF)을 이용하여 통신을 수행한다.<sup>[1][2]</sup> 가시광 무선통신 기술은

조명이 있는 곳이면 어디에서나 사용이 가능하며 인체에 무해하고 저렴하며, 육안으로 볼 수 없는 LED 조도에서도 통신이 가능한 장점이 있다. 또한, 초고속의 통신 서비스를 저렴한 비용으로 제공이 가능하여 공공 Wi-Fi 대체 및 인터넷 접근성을 크게 향상 시켜줄 수 있는 기술로 평가받고 있다. 이러한 가시광 통신 기술은 최근까지는 RF

\*준회원, 충북대학교 전자통신공학과

\*\*준회원, 충북대학교 전자통신공학과

\*\*\*정회원, 충북대학교 전자통신공학과(교신저자)

접수일자 : 2015년 5월 19일, 수정완료 : 2015년 6월 27일

게재확정일자 : 2015년 8월 7일

Received: 19 May, 2015 / Revised: 27 June, 2015 /

Accepted: 7 August, 2015

\*\*\*Corresponding Author: kseokkim@cbnu.ac.kr

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University

통신에 밀려 주목받지 못하였지만 LED 기술이 발전함에 따라 가시광 무선통신 또한 많은 주목을 받고 있으며 이에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.<sup>[1]</sup> 기본적으로 가시광은 벽을 통과하지 못하는 특성을 갖고 있어 국지적 네트워크 구축에 용이하며, 이러한 장점을 기반으로 실내 통신 시스템에 적용한 가시광 무선통신 시스템의 관심이 지속적으로 증가하고 있다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 실내 환경의 SISO VLC 시스템에 오류 제어 기법인 ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 적용하여 통신 환경을 구축하였고, 4가지의 수신지점을 설정하여 각각의 수신 지점에 따른 통신 성능을 비교 및 분석하였다. 또한, 두 종류의 변조 방식인 NRZ-OOK와 VPPM을 적용하여 변조 방식에 따른 통신 성능도 비교 및 분석하였다. ARQ란 데이터 전송의 신뢰성을 보장하기 위한 기법으로써 수신측에서 오류가 발생한 데이터에 대하여 송신측에 재전송을 요청하여 데이터 전송의 신뢰성을 높이는 오류 제어 프로토콜이다. 본 논문에서는 ARQ 기법 중 SR-ARQ(Selective Repeat-ARQ)를 적용시켰다. 통신 성능 분석 항목은 BER, Throughput, 전송횟수를 이용하였고, 이론값과 비교하여 시뮬레이션 결과의 유효성을 확인 후 수신지점 및 변조 방식에 따른 성능을 비교 및 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 실내 환경의 SISO VLC 시스템 구성, DC gain 값 도출방법 및 변조 방식에 대해 알아보고, 3장에서는 오류 제어 기법인 ARQ에 대한 소개와 본 논문에서 적용한 SR-ARQ 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 수신지점 및 변조 방법에 따른 시뮬레이션 결과를 비교 및 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 실내 환경의 SISO VLC 시스템

표 1은 본 논문에서 구성한 실내 환경의 SISO VLC 시스템 파라미터이다. 실내 환경을 고려하여 시스템 환경을 5m×5m×3m의 방으로 설정하였으며, 송신지점은 2.5m×2.5m×3m 지점에 고정시키고 수신지점에 따른 성능 비교를 위하여 방의 가장자리부터 중앙 부근에 걸쳐 4가지의 수신지점을 그림 1과 같이 설정하였으며 모든 수신지점의 높이는 0m이다. 각 수신지점의 DC gain 값인  $H(0)_{LOS}$ 는 수식 (1)~(3)을 이용하여 도출하였으며 이 값은 수신지점의 Channel 값을 의미한다.<sup>[3][4][5]</sup>

표 1. SISO VLC 시스템 파라미터

Table 1. SISO VLC system parameters

Room size	5×5×3(m)
$P_{LED}$	2w
Lamb. order (m)	1
PD area ( $A_{rx}$ )	0.01cm <sup>2</sup>
FOV	90°
Refractive index	1.5
Gain of the optical filter	1
FFT size	64
# of data subcarrier	56
# of bits per OFDM symbol	56
# of symbol	20
Modulation Type	NRZ-OOK, VPPM
Channel	AWGN

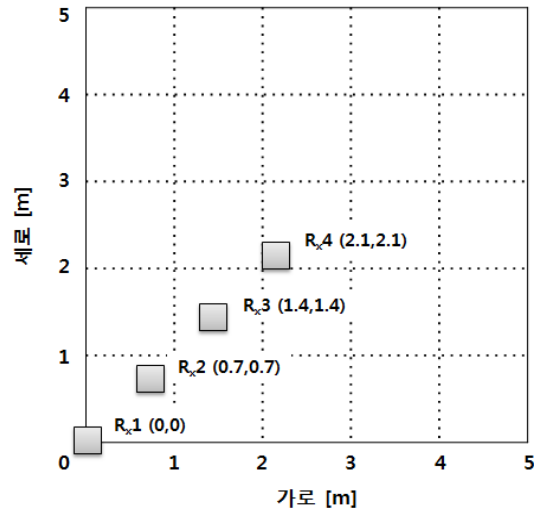


그림 1. 수신기 위치 설정

Fig. 1. Set the location of receiver

$$H(0)_{LOS} = \begin{cases} \frac{A_{rx}}{d^2} R_0(\phi) \cos(\psi), & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (1)$$

$$R_0(\phi) = \left[ \frac{m+1}{2\pi} \right] \cos^m(\phi) \quad (2)$$

$$m = -\frac{1}{\log_2(\cos(\phi_{\max}))} \quad (3)$$

수식 (1),(2),(3)에서  $A_{rx}$ 은 수신기의 감지가능 면적을 의미하며 각도  $\phi$ 와  $\psi$ 는 그림 2와 같이 가시광 파장의 방사각도와 수신각도를 의미한다. 또한  $\psi_c$ 는 수신기의 감지가능 각도이며 Lambertian order값인  $m$ 은 방사각도의 최대값( $\phi_{\max}$ )에 대한 변수로써  $m$ 값이 작을수록 넓은 영역으로 가시광 파장이 방사되고  $m$ 값이 클수록 수직축에 가시광 파장이 집중적으로 방사됨을 의미한다. 본 논문에서는 수신지점에 따른 성능을 비교하기 위해  $m$ 값을 1로 설정하여  $\phi_{\max}$ 가 60°의 값을 갖는 넓은 영역으로 고르게 가시광 파장이 방사되는 환경을 조성하였다.<sup>[4][5]</sup>

표 1과 같이 송신부에서 전송되는 하나의 OFDM Symbol은 1120bits의 길이를 갖으며 오류제어 기법인 SR-ARQ를 적용하여 오류가 발생한 데이터의 경우 재전송을 수행하도록 구성하였다. 또한, 변조 방식에 따른 성능 비교를 위하여 NRZ-OOK와 VPPM의 변조 방식을 이용하였다.

가시광 무선통신에서 변조란 신호를 전송하기 위해서 적절한 방법으로 전기 신호를 광 신호로, 광 신호를 전기 신호로 변환하는 기능을 수행한다.

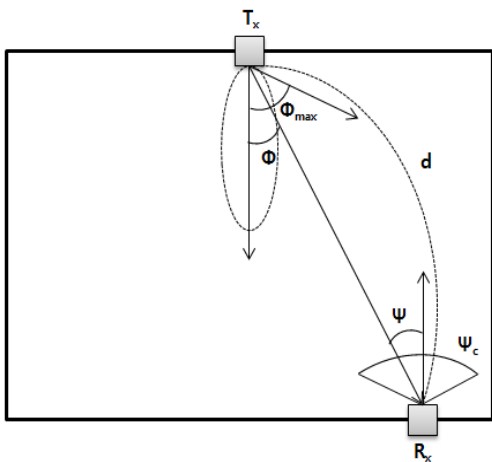


그림 2. VLC 시스템에서 송신기와 수신기의 형상  
 Fig. 2. The geometry of transmitter and receiver in VLC system

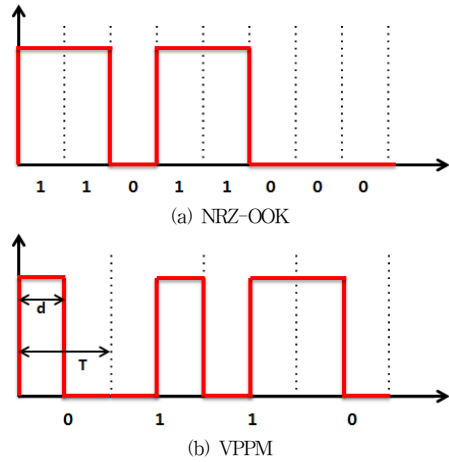


그림 3. 변조 방식의 원리  
 Fig. 3. The principles of modulation

NRZ-OOK(Non Return to Zero-On Off Keying)는 변조 방식 ASK(Amplitude-Shift Keying)의 일종으로 단순 변조 방식 중 하나이다. 그림 3의 (a)와 같이 한 주기 전체에서 '1'과 '0'의 2진 값 각각을 LED 발광의 'on'과 'off'로 표현한다.<sup>[6]</sup>

VPPM(Variable Pulse Positioning Modulation) 변조는 디밍값을 이용한 밝기 조절 기능의 PWM(Pulse Width Modulation)과 플리커 방지에 효과적인 2-PPM(Pulse Position Modulation)의 조합의 기본 개념을 갖고 있다. 그림 3의 (b)와 같이 VPPM 변조에서는 한 주기( $T$ )에서 광 펄스 폭( $d$ )의 조절을 통해 디밍값을 조절할 수 있으며 이를 통해 밝기 조절이 가능하다. 본 논문에서는 0.5의 디밍값을 갖는 VPPM 변조 방식을 이용하였다.<sup>[2][6]</sup>

### III. SR-ARQ(Selective Repeat Automatic Repeat reQuest)

ARQ(Automatic Repeat reQuest)란 통신회선 상에서 신뢰성 있는 데이터 전달을 위해 재전송을 기반으로 한 오류제어 기법으로써 수신측에서 수신된 데이터의 오류 발생 유무를 점검하고 긍정 확인 시 ACK 신호를, 부정 확인 시 NACK 신호를 송신측에 전송하여 오류가 발생한 데이터에 대해 송신측에 재전송을 요구하는 방식이다. ARQ 기법은 오류정정 기능을 갖추지 못하였지만, 오류 검출 기능만으로도 통신회선의 신뢰성 확보에 많은 이점

을 가져다주며 특히 낮은 오류 발생률에서 효과적인 기법이다. 대표적인 ARQ 기법으로는 표 2와 같이 Stop and Wait, Go Back N, Selective Repeat가 있으며, 본 논문에서는 전송 효율을 고려하여 SR-ARQ (Selective Repeat ARQ)를 적용하였다.

표 2. ARQ 기법의 종류 및 특징  
Table 2. The type and characteristic of the ARQ schemes

종류	작동원리	특징
Stop and Wait	1. 하나의 데이터를 전송 2. 확인응답에 따라 다음 패킷을 전송	- 구현이 용이 - 낮은 전송 효율
Go back N	1. 연속적으로 데이터를 전송 2. 확인응답에 따라 오류가 발생한 데이터 이후의 모든 데이터를 재전송	- 전송 대역폭 낭비 - 불필요한 재전송이 발생
Selective Repeat	1. 연속적으로 데이터를 전송 2. 확인응답에 따라 오류가 발생한 데이터만 선택적으로 재전송	- 링크의 효율적 사용 - 구현이 복잡 - 수신 데이터의 재순서화 기능 필요

SR-ARQ의 동작 과정은 그림 4와 같다. 우선 송신측에서 확인 응답을 기다리지 않고 전송할 수 있는 데이터의 크기를 의미하는 Window Size만큼 연속적으로 데이터 전송을 한다. 그 후 수신측에서 수신된 데이터의 오류 발생 유무를 점검하고 이에 대한 확인 응답 신호를 송신측에 전송을 한다. 수신측에서 전송한 확인 응답 신호에 따라 송신측은 긍정 확인인 ACK 신호를 수신하였을 경우 다음 순번의 데이터를 전송하고, 부정 확인인 NACK 신호를 수신하였을 경우 해당 데이터를 재전송하게 된다. ARQ 기법을 시스템에 적용할 시에는 높은 오류 발생률에서 지속적으로 재전송이 요구되는 것을 방지하기 위해 최대 재전송 횟수를 미리 설정하여 부정 확인을 수신했을 경우에도 최대 재전송 횟수를 초과하게 되면 다음 순번의 데이터를 전송하게 된다. 본 논문에서 SR-ARQ 적용 시 Window Size는 3으로, 최대 재전송 횟수는 6으로 제한하였고, 전송 데이터 개수는 100개로 설정하였다. SR-ARQ를 적용시킨 시스템 환경에서 통신 성능 분석에는 BER, 전송횟수(T), Throughput 의 세 가지 항목을 이용하였으며, 측정되는 BER값을 이용하여 전송횟수(T)와 Throughput의 값을 수식 (4)~(10)을 이용하여 도출하였다.<sup>[7][8][9]</sup>

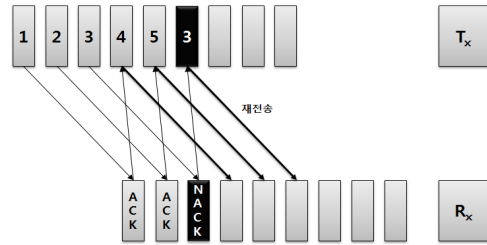


그림 4. SR-ARQ의 작동 원리  
Fig. 4. The operation principle of SR-ARQ

수식 (4)~(10)에서 전송횟수(T)는 하나의 데이터 패킷이 정상적으로 수신되기까지 전송되는 횟수를 의미하며  $P_{ACK}$ 는 데이터 패킷이 오류 발생 없이 정상적으로 수신되는 확률을 의미한다.<sup>[8]</sup> 또한, Throughput은 전송횟수(T)의 역수로써 0과 1 사이의 값을 갖으며 1에 가까울수록 좋은 성능을 의미한다.<sup>[7][9]</sup>

$$T = 1 \times P_{ACK} + 2 \times P_{ACK} \times (1 - P_{ACK}) + 3 \times P_{ACK} \times (1 - P_{ACK})^2 + 4 \times P_{ACK} \times (1 - P_{ACK})^3 + \dots \quad (4)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} n \times P_{ACK} \times (1 - P_{ACK})^{n-1} = \frac{1}{P_{ACK}}$$

$$P_{ACK} = 1 - PER \quad (5)$$

$$PER = 1 - (1 - BER)^n \quad (6)$$

$$P_{ACK} = (1 - BER)^n \quad (7)$$

$$T = \frac{1}{(1 - BER)^n} \quad (8)$$

$$Throughput = \frac{1}{T} \quad (9)$$

$$Throughput = (1 - BER)^n \quad (10)$$

## IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

### 1. NRZ-OOK 변조를 적용한 시뮬레이션 결과

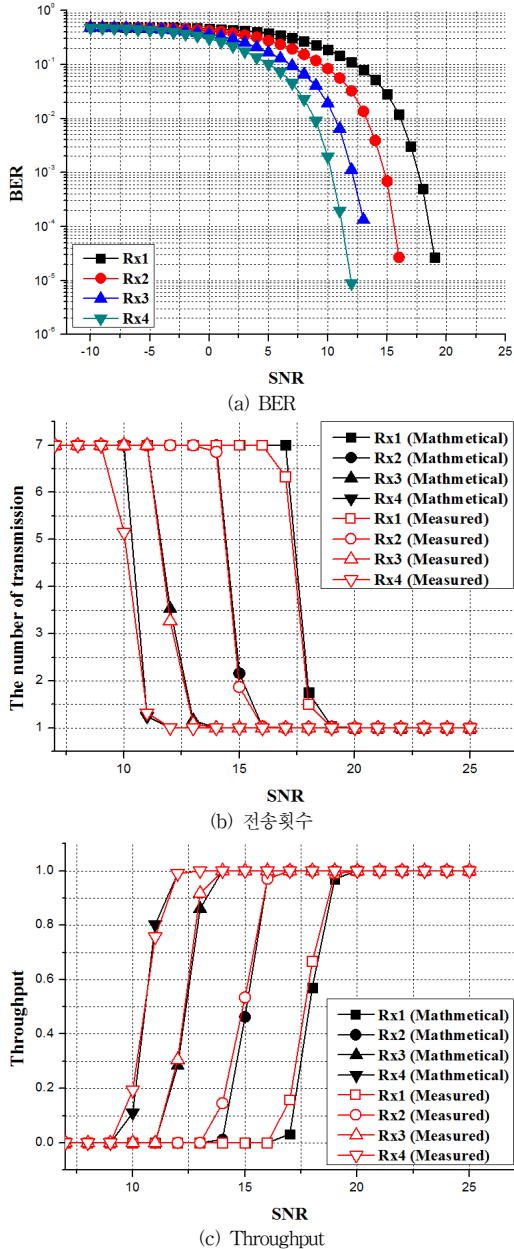


그림 5. NRZ-OOK를 이용한 시스템 시뮬레이션 결과  
 Fig. 5. The simulation results using NRZ-OOK

그림 5는 NRZ-OOK 변조를 적용한 VLC 시스템의 수신지점 별 시뮬레이션 결과로써 전송된 100개의 데이터

의 평균값을 계산하였다. 그림 5의 (a)와 같이 BER 그래프에서는 수신지점 별 약 2~3dB정도의 성능 차이를 보였다. 가장 낮은 성능을 보인 방의 가장자리 수신지점인 Rx1의 경우 SNR이 19dB인 환경에서 약  $2 \times 10^{-5}$ 의 BER값이 측정되었으며, SNR이 20dB이상의 환경에서는 오류가 발생하지 않았다. 가장 높은 성능의 Rx4의 경우 SNR이 12dB인 환경에서 약  $2 \times 10^{-5}$ 의 BER값이 측정되었으며, SNR이 13dB이상의 환경에서는 오류가 발생하지 않았다.

그림 5의 (b)는 측정된 BER을 이용하여 계산한 전송횟수의 이론값과 실제 측정값의 결과를 보여준다. 수신지점 별 이론값과 실제 측정값의 전송횟수를 비교해보면 실제 측정값이 이론값보다 낮게 측정되었지만 값의 큰 차이가 없는 대부분 유사한 값이었다. 최대 재전송 횟수를 6으로 설정하였기 때문에 그래프 상의 전송횟수 7은 최대 재전송 횟수만큼 재전송을 수행했음을 의미하며, 7 이상의 값은 갖지 않는다. 또한, 전송횟수 1은 1개의 데이터가 정상 수신하기까지 1회 전송만을 수행했음을 의미하므로 별도의 재전송이 수행되지 않은 좋은 성능의 환경임을 보여준다. ARQ는 오류 정정 기능을 갖추지 않은 오류 검출 및 재전송 기법이므로 높은 오류 발생률 환경에서는 전송횟수 그래프의 변화가 없었으며, 시뮬레이션에 이용한 데이터 길이인 1120bits를 고려했을 때 수신지점 별 약  $10^{-3}$ 의 BER값을 갖는 낮은 오류 발생률 환경 부근에서 재전송을 통해 데이터 전송의 신뢰성을 높이는 것을 확인하였다. 그림 5의 (c)와 같이 Throughput 그래프에서도 BER을 이용하여 계산한 Throughput의 이론값과 실제 측정값이 대부분 유사함을 보였다. 그림 5의 (c)와 같이 Rx4의 SNR 10dB환경에서 Throughput 측정값은 0.2의 값을 갖는데 이는 2개의 데이터가 오류 발생 없이 수신하기까지 10번의 전송이 필요함을 의미하며, 1개의 데이터의 정상 수신에 5번의 전송이 필요함을 뜻한다. 또한, Rx4의 SNR 11dB환경에서 Throughput 측정값인 약 0.75는 75개의 데이터가 오류 발생 없이 수신하기까지 100번의 전송이 필요함을 의미하며, 1개의 데이터 정상 수신에 약 1.3번의 전송이 필요함을 의미한다. 이처럼 Throughput 값이 1에 가까울수록 좋은 성능을 의미하는데 전송횟수 그래프와 동일하게 높은 오류 발생률에서는 Throughput값의 변화가 없었으며 수신지점 별 낮은 오류 발생률 환경에서 값의 변화가 발생하여 재전송을 통해 통신 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

## 2. VPPM 변조를 적용한 시뮬레이션 결과

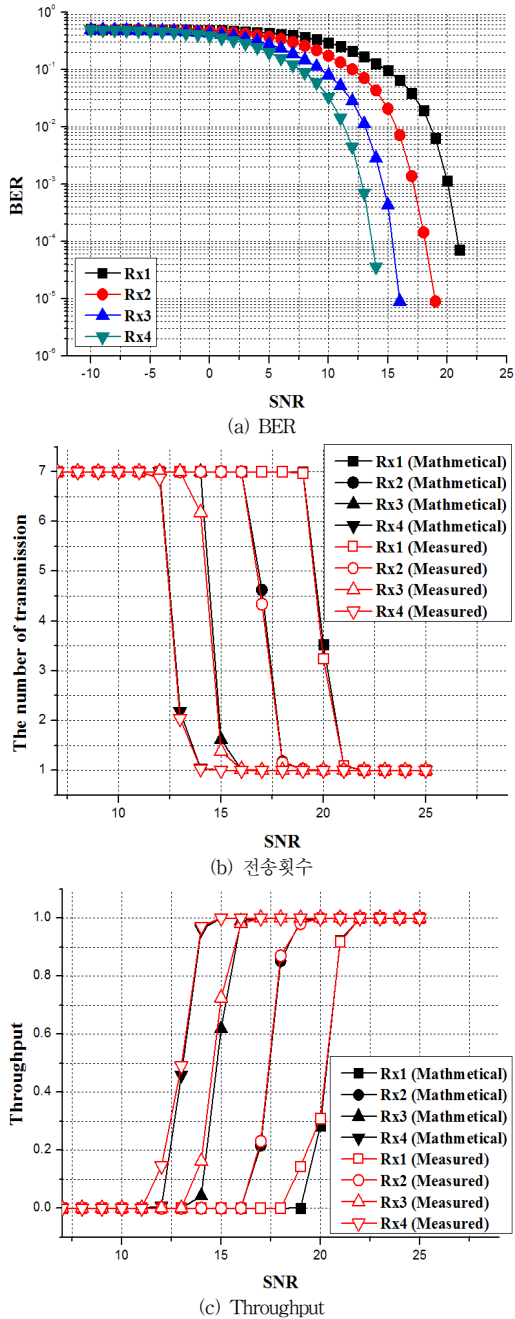


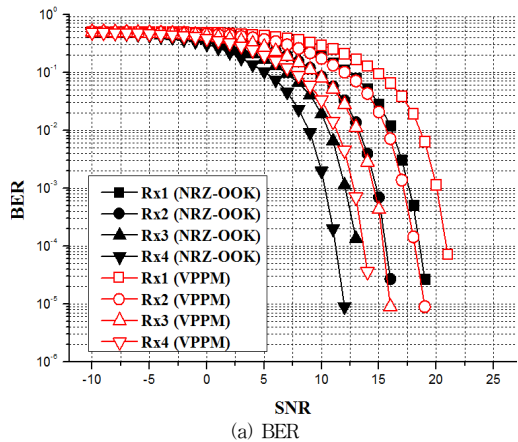
그림 6. VPPM를 이용한 시스템 시뮬레이션 결과  
Fig. 6. The simulation results using VPPM

그림 6은 VPPM 변조를 적용한 VLC 시스템의 수신지점 별 시뮬레이션 결과로써 전송된 100개의 데이터의 평균값을 계산하였다. NRZ-OOK 변조를 적용한 시스템의

성능과 유사하게 그림 6의 (a)와 같이 BER 그래프에서 수신지점 별 약 2~3dB정도의 성능 차이를 보였다. 가장 낮은 성능을 보인 방의 가장자리 수신지점인 Rx1의 경우 SNR이 21dB인 환경에서 약  $7 \times 10^{-5}$ 의 BER값이 측정되었으며, SNR이 22dB이상의 환경에서는 오류가 발생하지 않았다. 가장 높은 성능의 Rx4의 경우 SNR이 14dB인 환경에서 약  $3 \times 10^{-5}$ 의 BER값이 측정되었으며, SNR이 15dB이상의 환경에서는 오류가 발생하지 않았다.

그림 6의 (b)는 측정된 BER을 이용하여 계산한 전송횟수의 이론값과 실제 측정값의 결과를 보여준다. 수신지점 별 전송횟수 값이 이론값보다 실제 측정값에서 낮게 측정되었지만 값의 큰 차이는 보이지 않았다. NRZ-OOK 변조를 적용한 VLC 시스템과 동일한 1120bits길이의 데이터를 사용했으므로 수신지점 별 약  $10^{-3}$ 의 BER값을 갖는 낮은 오류 발생률 환경 부근에서 전송횟수 값의 변화가 발생하였고, 재전송을 통해 데이터 전송의 신뢰성을 높이는 것을 확인하였다. 그림 6의 (c)와 같이 Throughput 그래프에서도 BER을 이용하여 계산한 Throughput의 이론값과 실제 측정값이 대부분 유사함을 보였다. 전송횟수 그래프와 동일하게 높은 오류 발생률에서는 Throughput값의 변화가 없었으며 수신지점 별 낮은 오류 발생률 환경에서 값의 변화가 발생하여 재전송을 통해 통신 성능이 향상됨을 보였다.

## 3. 수신지점 및 변조 방식에 따른 시뮬레이션 결과



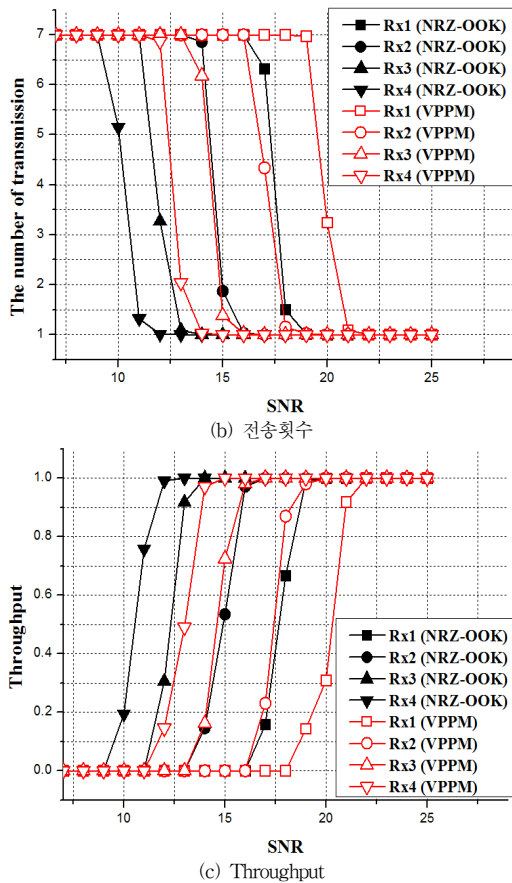


그림 7. 수신지점 및 변조 방식에 따른 시뮬레이션 결과  
 Fig. 7. The simulation results according to the location of receiver and the type of modulation

그림 7은 수신지점 및 변조 방식에 따른 시뮬레이션 결과를 보여준다. 본 논문의 SISO VLC 시스템에 적용했을 경우 NRZ-OOK 변조 방식이 VPPM 변조 방식보다 수신지점 별 약 2~3dB정도의 높은 성능을 보였고, 이에 따라 전송률과 Throughput에서도 2~3dB정도 우수한 통신 성능을 확인하였다. 그림 7의 (a)와 같이 전체적으로 낮은 오류 발생률 환경에서 BER값이 SNR의 값에 따라 급격히 변화했기 때문에 낮은 오류 발생률 환경에서 효과적인 신뢰성 향상을 보이는 SR-ARQ를 시스템에 적용했을 경우 그림 7의 (b),(c)와 같이 전송률이나 Throughput의 값도 SNR의 값에 따라 급격히 변화하는 경향을 보였다.

## V. 결론

본 논문에서는 LED 기술이 발전함에 따라 많은 주목을 받고 있는 가시광 무선통신에 대한 통신 성능을 분석하였다. 통신 시스템은 실내 환경의 SISO VLC 시스템에 오류제어 방식인 SR-ARQ를 적용하여 구성하였고, 4가지의 수신지점 및 NRZ-OOK와 VPPM 변조 방식을 적용하여 수신지점 및 변조 방법에 따른 통신 성능을 BER, 전송률, Throughput을 이용하여 분석하였다.

분석 결과 NRZ-OOK와 VPPM의 각 변조 방식이 이용한 시스템에서 수신지점에 따라 약 2~3dB정도의 성능차이를 보였다. 변조 방식에 따른 통신 성능을 비교하였을 경우 NRZ-OOK 변조 방식이 VPPM 변조 방식에 비해 각 수신지점에서 약 2~3dB정도의 높은 성능을 보임을 확인하여 본 논문에서 구성한 VLC 시스템 환경에서는 NRZ-OOK 변조 방식이 VPPM 변조 방식보다 효과적임을 확인하였다. 또한, SR-ARQ의 적용으로 인해 높은 오류 발생률 환경에서는 성능향상을 보이지 않았지만, 통신 성능 분석에 사용된 데이터의 크기를 고려하였을 경우  $10^{-3}$ 의 BER 값을 갖는 낮은 오류 발생률 환경 부근에서 재전송을 통해 데이터 전송의 신뢰성이 높아짐을 확인하였다.

본 논문에서 연구한 SR-ARQ를 적용한 실내 환경의 SISO VLC 시스템 성능 분석 외에 VLC 시스템 파라미터 및 ARQ 기법을 변경한 다양한 연구가 효율적인 가시광 무선통신 시스템 구축과 통신 성능 향상 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

## References

- [1] Hyun-Dong Moon et al., "Technical Trends of Visible Light Communication Systems Based on LED", Journal of Photonic Science and Technology, 2011
- [2] Min-Jung Lee et al., "Performance Comparison of Modulation Schemes according to the Dimming Control in MIMO-VLC System", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, 2014
- [3] Jae Hyuck Choi et al., "Influence of Optical Path

Difference on Visible Light Communication Systems”, 9th International Symposium on Communications and Information Technology, 2009

- [4] J.M. Khan et al., “Wireless infrared communications”, proceedings of the IEEE, 1997
- [5] Mai, V.V et al., “Throughput analysis of TCP over visible light communication indoor networks”, 2013 Fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 2013
- [6] Yu Min Hwang et al., “Performance of Novel Line Coding Scheme for Flicker-Free and Dimming Control in Visible Light Communication Systems”, The Korea Society of Space Technology, 2012
- [7] Talla, M et al., “Optimal protocol parameters for ARQ schemes over frame relay GEO and LEO satellite networks”, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 1995
- [8] Chunlong Bai et al., “SR-ARQ for MIMO OFDM Systems with Channel State Information Only at the Receiver”, IEEE 64th Vehicular Technology Conference, 2006
- [9] Alebae, A et al., “The throughput benefits of network coding for SR ARQ communication”, 2013 5th Computer Science and Electronic Engineering Conference, 2013

**이 민 정(준회원)**



- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2014년 3월~현재 : 충북대학교 전파공학과 석사 과정
- <주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

**김 경 석(정회원)**



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
- 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
- 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선통신, 가시광통신, 디지털라디오, 전파채널분석, 전파감시/관리시스템, 위성망분석>

**저자 소개**

**최 병 곤(준회원)**



- 2014년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2014년 3월~현재 : 충북대학교 전파공학과 석사 과정
- <주관심분야 : 가시광 통신, 전력선 통신, 위성통신, 전파신호처리>