

# 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 LED 패널 위치 및 발광 각도가 통신 채널 품질에 미치는 영향 분석

준회원 트렁홉도\*, 정회원 황 준 호\*, 종신회원 유 명 식\*<sup>o</sup>

## The Analysis of Effects of LED Panel Position and Lighting Angle on Communication Channel Quality in Indoor Visible Light Communication Systems

Tronghop Do\* *Associate Member*, Junho Hwang\* *Regular Member*,  
Myungsik Yoo\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

실내 가시광 무선 통신 기술은 반도체인 LED (Light Emitted Diode)의 발광 특성을 제어하여 디지털 신호를 송신하며, PD (Photo Diode)를 이용하여 광 신호를 송수신하는 차세대 무선 통신 기술이다. 이러한 가시광 무선 통신에서 LED는 실내 조명기기로써의 역할 뿐 아니라 무선 통신 시스템의 송신기의 역할도 수행한다. 가시광 무선 통신 시스템은 그 특성 상 통신 영역이 빛의 도달하는 범위로 한정되며, 빛의 광량에 따라 통신 채널 품질이 결정된다. 이에 본 논문에서의 복수의 LED로 구성된 LED 패널의 위치 변화와 LED 발광 각도 변화가 통신 채널 품질에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 이를 위한 모의실험을 수행하였고, 그 결과 LED 패널의 위치 및 LED 발광 각도가 조도 및 SNR 변화에 상당한 영향을 끼친다는 사실을 입증하였다.

**Key Words** : Visible light communication, Channel quality, LED panel, Lighting angle, SNR

### ABSTRACT

The visible light communication system that transmits data by controlling light emission of LED and receives data through photo detector is considered as one of the strong candidates of the next generation wireless communication systems. The visible light communication provides both lighting and wireless communication wherever the LED lamps are installed. Due to the feature of visible light communication system, the communication is possible within the area that LED light reaches, and the communication quality depends on the light intensity received at the receiver. In this paper, we analyze the effects of LED panel position and lighting angle on communication channel quality in visible light communication systems. Through computer simulations, we prove that position of LED panel and light angle have a great impact on illuminance and SNR of the visible light communication systems.

### I. 서 론

최근 조명 시장은 고효율 LED (Light Emitting

Diode) 기술의 발전으로 인한 LED 조명 제품의 급격한 발전을 예상하고 있다. 특히 IT 기술과의 융합 (Convergence)을 통한 다양한 산업 분야에 적용될 수

※ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0011275).

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실 (myoo@ssu.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-08-350, 접수일자 : 2011년 8월 15일, 최종논문접수일자 : 2011년 9월 19일

있는 가능성이 확인되면서 LED IT 융합기술에 대한 관심이 급증하고 있다. 이러한 LED IT 융합 기술 시장에서 가시광 무선 통신 기술 (Visible Light Communication; VLC)은 새로운 무선 통신 기술이라는 점에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

가시광 무선 통신은 반도체 소자인 LED의 ON/OFF의 반복을 통해 빛을 발산하는 특징과 이를 제어할 수 있다는 점을 무선 통신 기술에 접목하여 디지털 신호를 전송하는 통신 기술이다<sup>1,2</sup>. 이와 같은 가시광 무선 통신 기술은 LED 조명기기의 빛의 도달하는 영역 내에서만 통신이 가능하며, 가시광 영역의 조명 기기를 사용하기 때문에 사용자가 통신 상황을 확인할 수 있어 다양한 응용 서비스 분야에 접목이 가능하다<sup>3</sup>.

하지만 과거 LED 기술은 고가의 기술로 인식되어 LED 조명 기기 사용의 대중화가 어려웠다. 그러나 최근 들어 LED 수요 증가와 가격 감소로 인해 LED 조명 기기의 활성화가 가능할 것으로 기대하고 있다. 따라서 향후 상용화를 위해 가시광 무선 통신 기술은 IEEE 802.15.7을 통해 국제 표준화가 진행되고 있다<sup>4</sup>.

이와 같이 가시광 무선 통신을 이용하여 다양한 응용 서비스를 제공하기 위해서는 서비스 영역에서의 통신 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 무선 통신 환경에서의 통신 신뢰성은 신호대잡음비 (Signal to Noise Ratio ; SNR)로 표현된다. 즉, SNR이 높은 경우 채널 상태가 우수하다고 판단하여, 고차 변조 기법을 통한 높은 데이터 전송 속도도 제공이 가능하다. 반면 SNR이 낮을 경우 데이터 전송 속도를 낮춰 안정성을 확보하게 된다.

가시광 무선 통신 시스템에서는 이러한 통신 채널 품질의 변화가 수신기의 역할을 담당하는 PD (Photo Diode)가 수광할 수 있는 광도 (Light Intensity)에 따라 결정된다. 하지만 PD는 단순히 송신기 사이의 거리와 빛의 유입 각도에 따라 빛의 광도가 결정되기 때문에 송신기의 역할을 하는 LED의 개수, 발광 전력, 발광 각도 등이 통신 영역의 SNR을 결정하는 가장 중요한 요소라 할 수 있다.

가시광 무선 통신 시스템의 통신 채널 환경 분석을 위한 기존 논문에서는 복수의 LED가 격자 또는 원형의 배열 형태를 가진 LED 패널을 고정하고, PD를 가진 단말기를 움직여 거리 변화에 따른 채널 품질 영향을 분석하였다. 그 결과 전송 거리가 멀어질수록 SNR이 감소되었으며, 수직적 (Vertical) 이동보다는 수평적 (Horizontal) 이동이 SNR 감소가 더 큰 영향을 끼침을 확인할 수 있었다<sup>5,6</sup>.

하지만 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 SNR을 결정하기 위한 가장 중요한 요소는 단말기의 움직임 뿐 아니라 조명기기의 역할뿐 아니라 송신기의 역할을 담당하는 LED 패널의 위치와 LED 패널을 구성하는 LED의 발광 각도이다. 이에 본 논문에서는 실내 환경에서 방이나 사무실에 배치된 LED 패널의 위치와 LED의 발광 각도의 변화가 통신 채널 품질 변화에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 가시광 무선 통신 환경에서 통신 영역 내 SNR 분석을 위한 가시광 무선 통신 시스템의 채널 모델을 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 고려한 LED 패널의 위치 변화 및 발광 각도 제어 모델에 대해 설명한다. 이어 4장에서는 모의실험 환경 및 성능 평가를 수행하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 가시광 무선 통신 시스템 구조 및 채널 모델

### 2.1 가시광 무선 통신 시스템 구조

가시광 무선 통신 시스템은 반도체인 LED의 ON/OFF 반복을 제어하여 디지털 신호를 송신하고, PD를 통해 빛의 감박임을 인지하여 디지털 신호를 수신하는 구조를 가지고 있다. 그림 1은 가시광 무선 통신 시스템의 송신기와 수신기가 수행하는 주요 기능에 대한 블록도를 도시한 것이다<sup>7</sup>.

송신기의 경우 LED 구동 회로에 전원을 인가하는 전원부, 외부에서 유입되는 디지털 신호를 가시광 무선 통신 신호로 변조하기 위한 데이터 신호부, 그리고 변조된 신호에 맞춰 LED 드라이버를 제어하는 제어부로 구성된다.

수신기의 경우 빛의 ON/OFF를 인지하는 PD를 통해 수신된 광 신호를 복조하기 위한 회로로 구성되는데 복조 회로는 증폭 블록, 클럭 복원 블록, 복조 블록, 라인 디코딩 블록, 데이터 복조 회로, 데이터 수신부

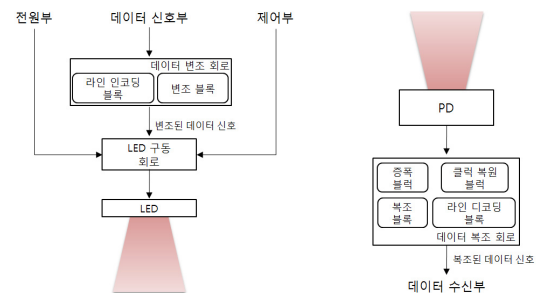


그림 1. 가시광 무선 통신 송신기와 수신기 구조

2.2 가시광 무선 통신 시스템의 채널 품질 모델

가시광 무선 통신 시스템은 LED를 이용하기 때문에 파장 대역을 고려하였을 때 가시광 영역에 분포해 있으나, 빛을 이용하여 무선 통신을 수행한다는 점에서 적외선 통신 시스템<sup>[8]</sup>과 매우 유사한 채널 모델을 가지고 있다.

본 논문에서는 채널 품질 모델을 분석하기 위해 수식 1과 같은 SNR 계산 모델을 사용하였다.

$$SNR = \frac{\gamma^2 P_{rsignal}^2}{\sigma_{shot}^2 + \sigma_{thermal}^2 + \gamma^2 P_{rISI}^2} \quad (1)$$

이때  $\gamma$ 은 PD 민감도를 나타내고,  $P_{rsignal}$ 과  $P_{rISI}$ 는 각각 수신 신호 세기와 수신 신호 세기의 심볼 간 간섭 (Inter-Symbol Interference; ISI)을 나타낸다. 이와 더불어  $\sigma_{shot}$ <sup>[9]</sup>과  $\sigma_{thermal}$ 은 각각 LED에서 발생하는 산탄 잡음 (Shot Noise)과 열잡음 (Thermal Noise)을 의미한다. 수식 1에 사용된 수신 신호 세기와 심볼 간 간섭 그리고 산탄 잡음과 열잡음 계산 수식은 각각 수식 (2)~(5)와 같다. 이때,  $P_t$ 와  $h_i(t)dt$ 는 각각 전송 전력과 임펄스 응답 (Impulse Response)이며, 산탄 간섭과 열잡음 간섭에 계산에 사용된 변수 정의 및 설정 값은 표 1과 같다<sup>[10]</sup>.

$$P_{rsignal} = \frac{\int_0^T (\sum_{i=1}^{LEDs} h_i(t) \otimes X(t)) dt}{\int_0^\infty (\sum_{i=1}^{LEDs} h_i(t) \otimes X(t)) dt} \times \int_0^\infty h(t) dt \cdot P_t \quad (2)$$

$$P_{rISI} = P_t \int_0^\infty h_i(t) dt - P_{rsignal} \quad (3)$$

표 1. 변수 정의 및 값

변수 정의	값
Detector Responsivity ( $\gamma$ ) [A/W]	0.54
Electronic charge ( $q$ )	1.602-19c
Boltzmann's constant ( $k$ )	1.38066-23
Absolute temperature ( $T_k$ ) [K]	295
Open-loop voltage gain ( $G$ )	10
FET transconductance ( $g_m$ ) [mS]	30
FET channel noise factor ( $\Gamma$ )	1.5
Fixed capacitance ( $\eta$ ) [pF/cm <sup>2</sup> ]	112
Background light current ( $I_{bg}$ ) [ $\mu$ A]	5110
Data rate ( $B$ ) [Mbps]	100
Noise bandwidth factors ( $I_2$ )	0.562
Noise bandwidth factors ( $I_3$ )	0.0868

$$\sigma_{shot}^2 = 2q\gamma(P_{rsignal} + P_{rISI})B + 2qI_{bg}J_2B \quad (4)$$

$$\sigma_{thermal}^2 = \frac{8\pi k T_k}{G} \eta A I_2 B^2 + \frac{16\pi^2 k T_k \Gamma}{g_m} \eta^2 A^2 I_3 B^3 \quad (5)$$

2.3 조도 (Illuminance)과 SNR의 관계

가시광 무선 통신 시스템의 통신 채널 품질을 나타내는 SNR은 PD가 수신하는 빛의 광량에 따라 결정된다. 즉, 수신 되는 빛의 세기가 강하면 높은 SNR을 제공하고, 반대로 빛의 세기가 약하면 낮은 SNR을 형성하게 된다. 이러한 조도와 SNR의 관계는 조명기기로써의 역할뿐 아니라 무선 통신 장치로써의 역할을 수행해야하는 가시광 무선 통신 시스템에서 채널 품질 영향 분석에 반드시 고려되어야 할 지표이다.

이를 위해 기존 연구에서는 4개의 LED 패널을 이용하여 그림 2와 같은 방 (Room)을 가정하고, 조도와 SNR의 관계를 분석하였다. 그 결과 조도의 분포는 최소 313.5 럭스 (Lux)에서 최대 1211.5 럭스 그리고 평균 865.7 럭스의 분포가 나타났으며, SNR의 경우 최소 SNR값은 -2.8dB, 최대 SNR값은 4.0dB을 나타내었고, 평균 2.0dB의 SNR의 분포를 형성하였다<sup>[10]</sup>.

이와 같은 기존 가시광 무선 통신 시스템의 채널 품질 분석 연구는 LED 패널의 위치를 고정하고, 단말의 움직임만을 고려하여 조도와 SNR 성능을 측정하였다. 하지만 가시광 무선 통신 기술을 이용하여 신뢰성 있는 무선 통신 시스템을 구축하기 위해서는 LED 패널의 위치 변화와 LED 발광 각도가 조도와 SNR 변화에 미치는 영향에 대한 보다 면밀한 분석이 요구된다.

이에 본 논문에서는 기존 연구와 동일한 환경에서

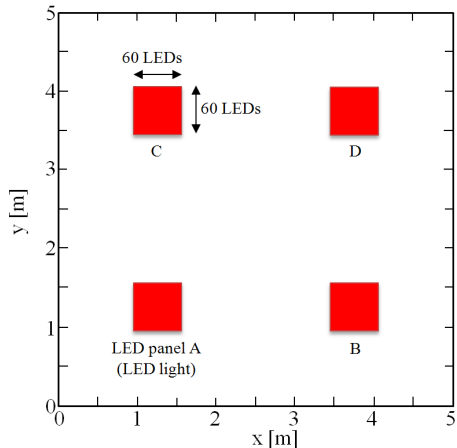


그림 2. 실험 방 구조 (5m \* 5m \* 3m)

LED 패널의 위치와 LED가 발광 각도가 가시광 무선 통신 시스템의 통신 채널 품질에 미치는 영향을 분석하기 위한 LED 패널 위치 및 발광 각도 변화 모델은 설정하고, 변화 모델에 따른 조도와 SNR의 영향을 분석하였다.

### III. LED 패널 위치 및 발광 각도 변화 모델

본 논문에서는 LED 패널의 위치 변화와 LED의 발광 각도 변화가 통신 영역 내 SNR 변화에 미치는 영향을 분석하기 위해 다음과 같이 LED 위치 변화 모델과 LED 발광 각도 변화 모델을 정의하였다. 먼저 LED 패널의 위치 변화 모델은 그림 3과 같이 LED 패널 좌표가 변화하는 환경이다. 그림에서 볼 수 있듯이 LED 패널의 좌표는 LED 패널의 모서리를 기준으로 설정되며, 패널 A의 경우  $(x, y) = 1.0, 1.0$ 에 위치한다. 이러한 기준 좌표를 기반으로 LED 패널의 위치 변화 모델은 각 LED 패널의 위치 좌표  $x, y$ 가 동일한 이동거리를 가질 수 있는 대각선 방향으로 이동하는, 즉 점차 방의 중심 좌표로 이동하는 방식이다.

이와 같은 LED 패널의 위치 변화 모델을 기반으로 각 위치에서 LED 패널을 구성하는 LED가 빛을 발광하는 각도를 조절하는 LED 발광 각도 변화 모델은 그림 4와 같이 설정하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 본 논문에서 고려한 LED 발광 각도 변화 모델은 천장과 LED의 발광 방향이 이루는 각인 양각 (Elevation Angle)과 LED가 발광하는 빛이 도달하는 지면과 평행한 각이 이루는 방위각 (Azimuth Angle)을 변화를 통해 구성될 수 있다. 하지만 본 논문에서는 방위각은 고정하고, 양각의 변화만을 고려하였으며, 양각의 변

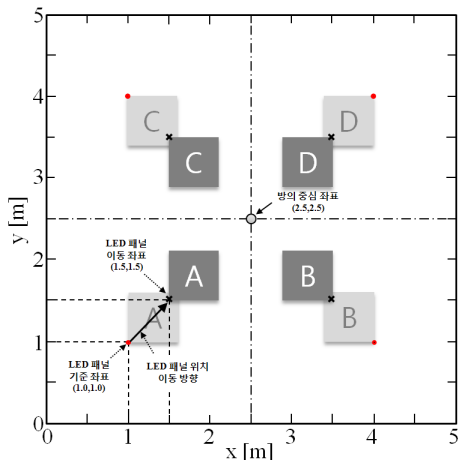


그림 3. LED 패널 위치 변화 모델

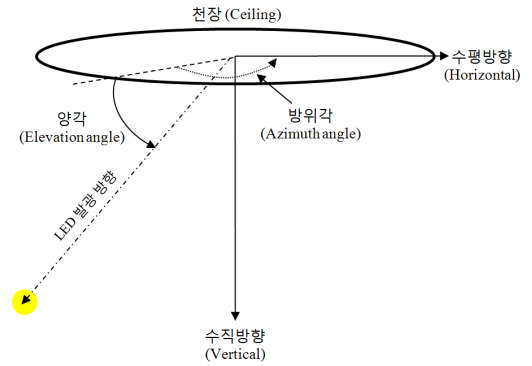
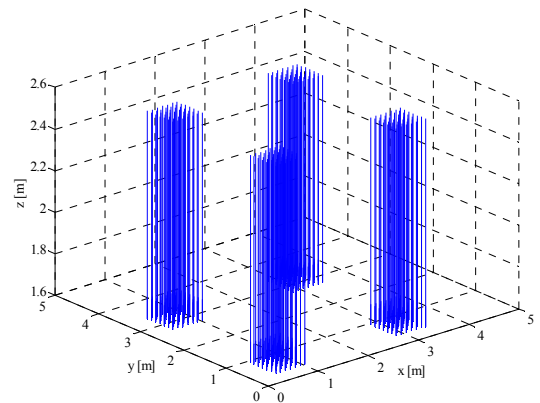
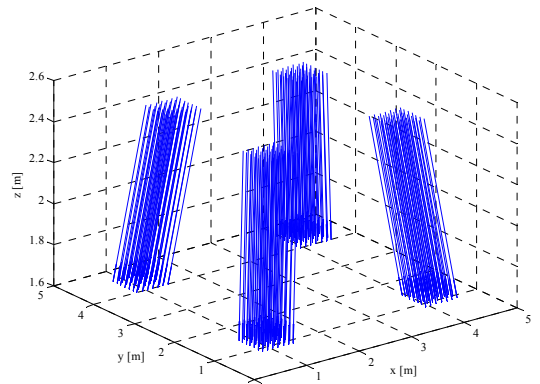


그림 4. LED 발광 각도 변화 모델

화는 각 LED 패널의 위치에서 해당 LED 패널과 가장 가까운 모서리 방향으로 이동한다. 그림 5는 LED 발광 각도 변화 모델의 예로써 (a)는 기준 모델로서 LED의 양각이 90도를 이루었을 경우, (b)는 양각을 60도로 변화시킨 경우이다.



(a) LED 각도 변화, 양각 = 90일 경우 (기준 모델)



(b) LED 각도 변화, 양각 = 60일 경우 (변화 모델)

그림 5. LED 발광 각도 변화 모델의 예

IV. 모의실험 및 결과 분석

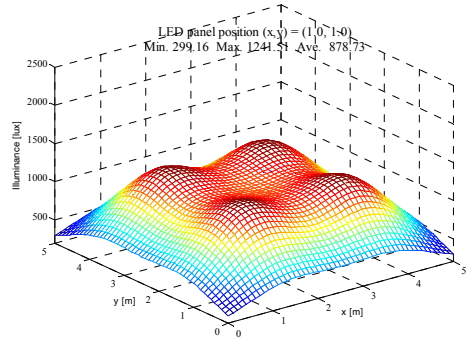
본 논문에서는 실내 가시광 무선 통신 시스템에서 LED 패널의 위치와 발광 각도가 실내 통신 채널 품질에 미치는 영향을 분석하기 위해 MATLAB을 이용한 가시광 무선 통신 시스템의 채널 품질 평가 시뮬레이터를 구현하였다. 이에 모의실험 환경은 그림 2의 방 구조를 기초로 LED 패널의 이동 시 조명과 단말의 위치에 따른 SNR 성능의 변화를 살펴보았으며, 이 중 수식 6을 통해 계산된 SNR 분산 (Variance; Var)이 가장 낮은 특정 LED 패널 위치에서 발광 각도 변화에 따른 조도와 SNR 성능의 변화를 측정하였다. 이와 같은 모의실험 환경에 사용된 파라미터는 표 2와 같다.

$$Var = \sum_{i=1}^n (SNR_i - Ave\_SNR)^2 \quad (6)$$

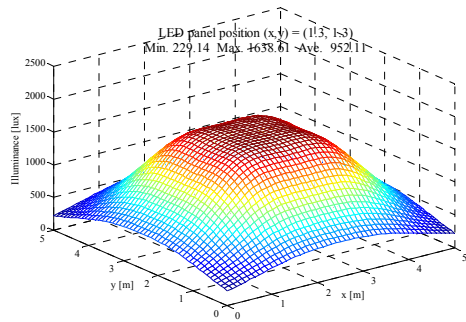
먼저 그림 6은 LED 패널의 위치 변화에 따른 조도의 변화를 측정할 결과이다. 이때 LED 변화 위치별 이동 좌표에 따라 기준 모델인 Case 0에서 0.1m단위로 좌표 (x, y) = (1.5, 1.5)에 위치하는 Case 5까지 5 단계로 설정하였다. 이에 (a), (b), (c)는 각각 LED 패널의 좌표 (x, y)가 1.0, 1.3, 1.5에 위치하고, 단말기가

표 2. 모의실험 파라미터

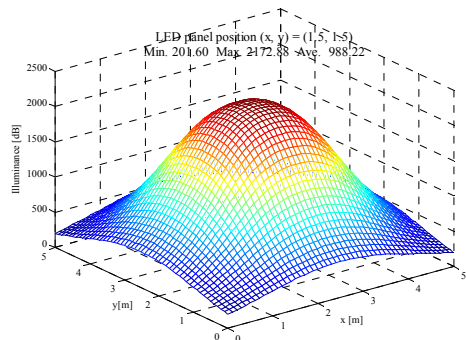
파라미터		값
통신 환경	방 크기 (가로*세로*높이) [m]	5*5*3
	LED 패널 위치(바닥면 기준) [m]	2.5
	수신기 위치(바닥면 기준) [m]	0.85
	LED 패널의 개수	4
	LED 패널 당 LED 개수	3600 (60*60)
	LED 배치 간격 [m]	0.01
	LED 패널 이동 간격 [m]	0.1
	LED 발광 각도 변화 간격 [deg]	5
송신기	송신 광 전력 [mW]	20
	LED FOV [deg]	70
	중심부의 조명 광도 [cd]	0.73
	방위각 [deg]	135
수신기	PD FOV [deg]	60
	수신 면적 [cm <sup>2</sup> ]	1.0
	광 필터 이득	1.0
	O/E 변환 효율	0.53



(a) LED 패널 위치 (x,y) = 1.0, 1.0 (기준 모델 case 0)



(b) LED 패널 위치 (x,y) = 1.3, 1.3 (변화 모델 case 3)



(c) LED 패널 위치 (x,y) = 1.5, 1.5 (변화 모델 case 5)

그림 6. LED 패널 위치 변화에 따른 조도 측정 결과

10cm 단위로 움직일 경우 조도를 측정할 것이다. 그림에서 볼 수 듯이 LED 패널의 위치가 방의 중심부에서 이동할수록 최소 조도 (Min)는 점차 감소하였으며, 최대 조도 (Max)와 평균 조도 (Avg)는 증가하는 것을 볼 수 있다.

이를 보다 자세히 살펴보면, 그림 7과 같이 LED 패널 위치 변화에 따른 조도 변화가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 LED 패널의 위치가 점차 방의 중심으로 이동하면서 방의 가장자리 부분에는 빛의 전달이 어려워 최소 조도가 형성되고, 방의 중심부분에 4개의 LED 패널이 광도가 집중되면서 최대 조도는 증가하



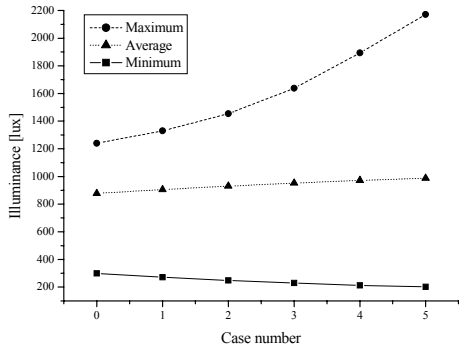


그림 7. LED 패널 위치 변화에 따른 조도 변화 추이

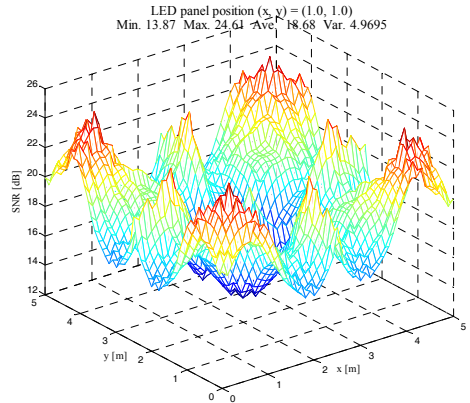
게 된다. 평균 조도의 경우 LED 패널 이동에 따라 최소 조도의 변화보다 최대 조도의 변화량이 더 크게 나타나 평균 조도의 증가가 발생하게 된다.

그림 8은 그림 6과 동일한 환경에서 SNR 성능을 측정된 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 SNR값은 조도와 달리 매우 불규칙하게 분포되어 있는데, 이는 ISI 간섭과 PD와의 거리에 따른 경로 손실의 영향을 인해 발생하는 것이다. 특히 (a)와 (b)의 경우 방의 가장자리 부분이 방의 중심부보다도 높은 SNR 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 가장자리 부분의 PD의 거리가 중심부의 PD보다 짧아 경로 손실이 작으며, 패널간의 ISI가 작기 때문에 높은 SNR을 형성하게 된다. 반면, 하지만 (c) 환경의 경우 LED 패널이 방의 중심부로 이동함에 따라 중심부의 PD는 LED 패널과의 거리가 줄어들어 경로 손실이 적어 높은 SNR 제공이 가능하나, 방의 가장자리 부분은 거리 증가와 ISI가 증가로 인해 SNR이 감소된다.

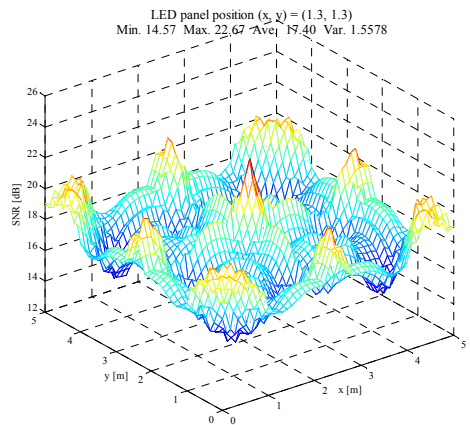
보다 자세한 위치별 SNR의 변화 추이를 살펴보면, 그림 9와 같이 LED 패널의 위치가 1.0에서 1.2로 이동함에 따라 최대 SNR은 감소, 최소 SNR은 증가했으며, 다시 1.2에서 1.5로 이동함에 따라 최대 SNR은 증가하고, 최소 SNR은 감소하는 추이를 나타내었다. 따라서 1.2 위치에서는 각 위치별 SNR의 분산이 가장 낮게 나타났다.

이와 같은 LED 패널의 위치 변화에 따른 SNR 변화 특성을 고려하여 방 전체에서 신뢰적인 통신 채널 품질을 제공하기 위해서는 최소 SNR이 보장되면서, 동시에 각 위치별 SNR의 분산을 최소화하는 것이 중요하다.

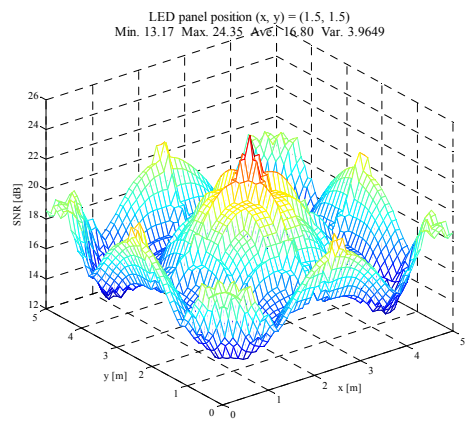
이에 본 논문에서 패널의 위치를 좀 더 세밀하게 (0.01m 단위)로 움직여 각 위치의 SNR 분산을 측정된 결과 LED 패널의 위치가 (x, y)=(1.26, 1.26)일 때 최소 분산값인 약 1.29를 나타내었다. 이에 LED 패널



(a) LED 패널 위치 (x, y) = 1.0, 1.0 (기준 모델 case 0)



(b) LED 패널 위치 (x, y) = 1.3, 1.3 (변화 모델 case 3)



(c) LED 패널 위치 (x, y) = 1.5, 1.5 (변화 모델 case 5)

그림 8. LED 패널 위치 변화에 따른 SNR 측정 결과

의 위치를 1.26 좌표에 고정하고, 발광 각도를 변화시켜 성능을 측정하였다.

먼저, 그림 10은 LED의 발광 각도 변화에 따른 조도 변화 추이를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와

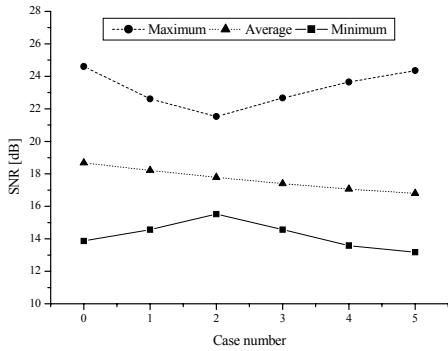


그림 9. LED 패널 위치 변화에 따른 SNR 변화 추이

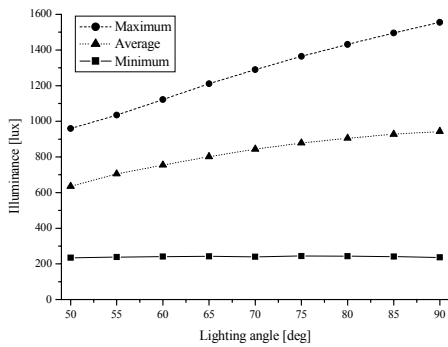
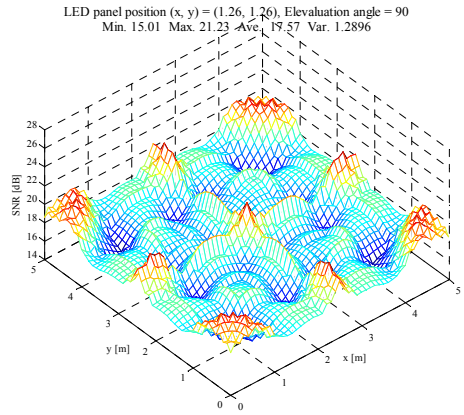


그림 10. LED 발광 각도 변화에 따른 조도 변화 추이

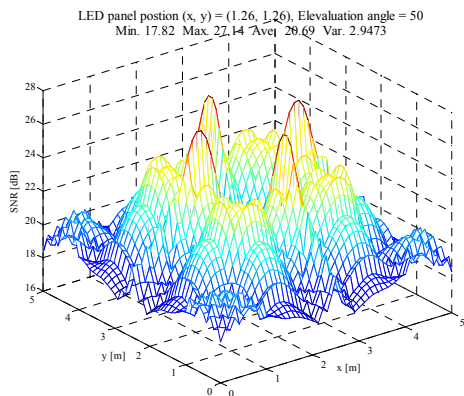
같이 발광 각도는 최소 조도 보다는 최대 조도에 더 큰 영향을 끼치는 것을 볼 수 있다. 이는 양각이 작아짐에 따라 4개의 LED 패널로부터 모두 빛을 받아 조도가 높아지는 영역이 줄어들기 때문이며, 90도에서 50도로 변화될 경우 최대 조도가 약 45% 감소하였다.

그림 11은 LED의 발광 각도 변화에 따른 SNR 성능 변화 추이를 나타내고 있다. 먼저 (a)와 (b)는 각각 발광 각도를 90, 50으로 설정하고 SNR을 측정된 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 LED 발광 각도를 90도에서 50도로 변화시킬 경우 최대 SNR이 약 6dB 정도 증가하는데, 이러한 SNR의 증가는 방의 중심 부분에 집중되어 있으며, 이는 발광 각도가 방의 가장자리에 초점이 맞춰지면서 중심부의 ISI 간섭이 최소화되어 SNR이 증가되는 것이다. 하지만 최대 SNR의 증가와 최소 SNR의 증가에 따라 분산이 2배 이상 증가하여 위치별 통신 채널 품질의 차이가 커지는 문제가 발생한다. 발광 각도 변화에 따른 SNR 추이를 살펴보기 5도 단위로 발광 각도를 감소시켜 SNR 변화 추이를 살펴보았다.

그림 12는 LED 발광 각도 변화에 따른 SNR 변화 추이를 도시하고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 발광



(a) LED 발광 각도 = 90 (기준 모델)



(b) LED 발광 각도 = 50 (변화 모델)

그림 11. LED 발광 각도 변화에 따른 SNR 측정 결과

각도가 90도에서 65도까지는 최소 SNR에 더 큰 영향을 끼쳤으며, 65도부터 50도로 감소시켰을 경우 최대 SNR에 더 큰 영향을 끼쳤다. 그 결과 발광 각도가 65도일 때 각 위치별 SNR의 분산이 0.65로 최소화 될 수 있음을 확인하였다.

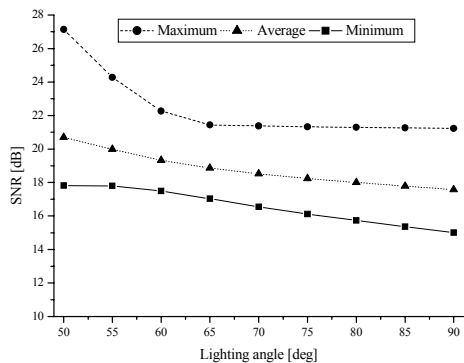


그림 12. LED 발광 각도 변화에 따른 SNR 변화 추이

이와 같은 LED 패널의 위치 및 발광 각도의 변화를 통해 가시광 무선 통신 시스템의 통신 영역의 조도와 SNR을 변화시킬 수 있으며, 신뢰적인 통신 시스템 구축을 위해서는 최소 SNR은 보장하면서 각 위치의 SNR 분산을 최소화하는 것이 중요함을 확인할 수 있었다.

### V. 결 론

가시광 무선 통신 시스템은 반도체인 LED 발광 제어 특성과 빛의 ON/OFF를 인지할 수 있는 PD를 이용한 새로운 무선 통신 기술이다. 이와 같은 가시광 무선 통신 시스템의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 LED 조명과 단말기 간의 통신 채널 품질의 변화를 정확히 분석하는 것이 중요하다. 이에 본 논문에서는 LED 패널의 위치와 발광 각도가 가시광 무선 통신 시스템의 조도 및 SNR 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

그 결과 LED 패널의 위치 변화가 조도뿐만 아니라 SNR에 많은 영향을 끼칠 수 있음을 입증하였고, 통신 영역 내에서 각 위치별 SNR값의 분산을 최소화할 수 있는 LED 패널의 위치를 확인하였다. 이와 더불어 SNR 분산값이 최소인 위치에서 LED 패널의 위치는 고정하고, LED의 발광 각도를 변화시켰다. 그 결과 LED의 발광 각도는 최대 조도의 영향과 최대 SNR의 영향을 기침을 확인하였다.

이와 같은 연구 결과는 가시광 무선 통신 시스템의 상용화 구축 단계에서 통신 영역의 규모에 따라 신뢰적인 통신 채널 제공을 위한 LED 패널의 위치와 발광 각도를 결정할 수 있는 기술로 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 이와 더불어 통신 영역에 규모 따라 최적화된 LED 패널 및 발광 각도를 결정할 수 있는 연구를 향후 연구로 진행할 예정이다.

### 참 고 문 헌

[1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M. Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," *IEICE Trans. Communication*, E86-B, pp.2440-2454, 2003

[2] T. Komine and M. Nakagawa, "Integrated System of White LED Visible-Light Communication and Power-Line Communication," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 49(1), pp.71-79,

February 2003.

[3] 김대호, 임상규, 강태규, "LED 조명 통신 융합 가시광 무선통신 응용 서비스 모델," *한국통신학회지 정보와 통신*, 25(5), pp.3-9, April 2009.

[4] <http://www.ieee802.org/15>

[5] H. Elgala, R. Mesleh and H. Haas, "Indoor Broadcasting via White LEDs and OFDM," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 55(3), pp.1127-1133, August 2009.

[6] K. Cui, G. Chen, Z. Xu and R. D. Roberts, "Line-of-sight Visible Light Communication System Design and Demonstration," In proc. of CSNDSP, pp.621-625, July 2010.

[7] TTA, "가시광 무선 통신 송신 물리계층 기본 구조," TTA.KO-10.0286, 2008.

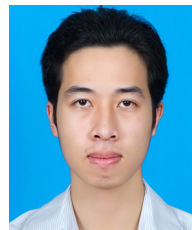
[8] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," in proc. of IEEE, 85, pp. 265-298, February 1997.

[9] J. R. Barry, "Wireless Infrared Communications," Kluwer Academic Press, Boston, MA, 1994.

[10] T. Komine and M. Nakagawa, "Fundamental Analysis for Visible-Light Communication System using LED Lights," *IEEE Transaction on Consumer Electronics*, 50(1), pp.100-107, February 2004.

트 링 홉 도 (Tronghop Do)

준회원



2009년 9월 University of science at HoChiMinh city Dept. of Math and Com. Science 졸업  
 2011년 3월~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정 <관심분야> Visible Light Communication



황 준 호 (Junho Hwang)

정회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사  
2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 박사과정  
<관심분야> Optical Access Network, Wireless MAC Protocol, RFID, USN, Visible Light Communication

유 명 식 (Myungsik Yoo)

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자공학과 학사  
1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사  
2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수  
<관심분야> Optical Network, OBS, EPON, QoS, Wireless MAC Protocol, MANET, RFID, USN, CR, Visible Light Communication