

# 해양 환경에서 가시광 무선통신 시스템의 성능에 관한 연구

유성엽\*, 장세봉\*\*, 차재상\*\*\* 정회원, 김석찬\* 정회원

## A Study on Performance of Visible Light Wireless Communication System in Marine Environment

Sung Yub Yu\*, Se Bong Jang\*\*, Jae Sang Cha\*\*\* and Suk Chan Kim\*

### 요 약

본 논문에서는 해양 환경에서 기후에 따른 가시광 무선통신 시스템에 대해 연구한다. 해양 환경에 적합한 대기 채널 모델인 Kim 모델을 이용하여 가시광 선명도에 따른 기후 조건을 맑음, 비, 폭풍, 안개로 구분하였고, OOK-NRZ 변조기법을 적용한 모의실험을 통해 기후 조건에 따른 BER 성능을 비교하였다. 또한 현장실험을 통해 실제로 가시광 통신에서 에러 비트를 측정하고 모의실험과 비교 분석을 통하여 해양 환경에서의 가시광 통신 유효성을 입증하였다.

**Key Words** : Visible Light Communication; Kim's model; Visibility; Bit Error Rate;

### ABSTRACT

In this paper, visible light wireless communication system according to the climate is studied in the marine environment. The light visibility can be determined by the different weather conditions (clear air, rain, storm, fog) in Kim's atmospheric channel model. By simulating the OOK-NRZ modulation technique, the BER performances are compared in the different weather conditions. In the field test, the error bit is measured in the visible-light communication. The effectiveness of visible light communication in the marine environment is confirmed by comparing the analysis of simulations and field experiments.

## I. 서 론

가시광 무선통신 기술은 백열전구와 형광등과 같은 조명이 LED(Light Emitting Diode)로 교체되는 인프라를 이용하여 통신을 가능하게 하는 기술이다. LED는 수명이 길고 전력소모가 작으며 제어가 쉽다는 장점을 가지고 있다. 따라서 LED 소자를 이용한 조명이 많이 사용되고 있다. 최근 LED 기술은 조명 및 통신 기술의 혁신을 가져올 것으로 보이며, 이를 이용한 가시광 무선통신 기술 응용이 확대되고 있다[1].

국내의 연근해역의 인프라에는 등대, 부표, 선박, 조업인력 및 дай버 등 다양한 수중 인프라와 이를 기반으로 조명 및 통신의 상호작용을 행하는 객체들로 구성되어 있다. 최근에 연근해에서는 해양 관광 및 스포츠 연계활동의 증가로 인하여, 활용객체 간에 사고가 급격히 증대되고 있다. 또한 해양의 경우 기후변화에 민감하기 때문에 다양한 물적, 인적 피해가 빈번히 발생한다는 고질적인 문제점을 가진다. 따라

서 이러한 문제들을 해결하기 위하여 통신이 중요하다고 볼 수 있다. 해양 환경에서는 야간에 기본적으로 조명이 많이 쓰인다. 조명과 통신을 동시에 활용할 수 있다면, 해양 통신에서 하나의 좋은 솔루션이 될 수 있을 것이다.

해양은 내륙에 비해 바람이 잦고 습기가 많은 환경이다. 하지만 이에 대한 가시광 통신 성능 분석은 미미한 실정이다. 따라서 본 논문은 해양 환경의 채널 특성을 해석하고 모의실험 및 현장실험을 통하여 가시광 통신 성능을 비교 분석하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 Kim 채널 모델(Kim's model)에 대해서 설명하고 모의실험을 통하여 여러 기후 환경에서의 가시광 무선통신 성능을 BER(Bit Error Rate)을 통하여 평가한다. 3장에서는 현장실험을 통해 BER을 측정하여 성능을 평가하고 4장에서는 결론을 기술한다.

\* 본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2175838, 실시간 수중 이동체 조명통신 시스템 개발]  
\*부산대학교 전기전자컴퓨터공학과, \*\*기민전자, \*\*\*서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과, \*부산대학교 전기전자컴퓨터공학과  
(sckim@pusan.ac.kr), 교신저자

접수일자 : 2016년 06월 20일, 수정완료일자 : 2016년 06월 22일, 최종 게재확정일자 : 2016년 06월 24일

## II. 채널 모델 및 모의실험

일반적으로 통신시스템에서 성능을 측정하는데 BER을 사용한다. 가시광 무선통신에서 BER은 수신기의 PD(Photo Diode)가 수신하는 빛의 광량에 의하여 결정되며, 수신되는 빛의 세기는 조도로 표현한다. 조도란 일정한 면이 받는 빛의 세기를 그 면적에 비치는 광속으로 나타낸 양을 의미한다. 송신기와 수신기 사이의 가시광 채널은 LOS(Line of Sight)와 Non-LOS(None Line of Sight) 채널, 그리고 배경 잡음인 AWGN(Addictive White Gaussian Noise)으로 구성된다[2].

실외 환경의 경우 대기 채널을 고려해야한다. 대기 채널은 매우 복잡하고 동적인 환경이기에 가시광의 전파에 있어서 막대한 영향을 미친다. 먼저 송신기와 수신기 사이의 전력을 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$P_r = P_t e^{-\tau} \quad (1)$$

$P_r$ 은 수신 전력이고  $P_t$ 는 송신 전력이다. 그리고  $\tau$ 는 광학도(optical depth)를 의미한다. 광학도와 대기 채널에서의 가시광 전송은 BLL 법칙(Beer-Lambert Law)에 의하여 대기 감쇄 계수와 가시광 전송거리와 연관되어 있다.

$$\frac{P_r}{P_t} = \exp[-\gamma(\lambda)L] \quad (2)$$

$\gamma(\lambda)$ 는 감쇄 계수,  $L$ 은 가시광 전송거리를 의미한다. 대기 채널에 의한 가시광 신호의 감쇄는 일반적으로 흡수와 산란에 의하여 결정된다. 흡수와 산란은 광자와 대기에 존재하는 분자 그리고 가스 또는 에어로졸(aerosol) 사이에서 발생한다.

본 논문의 모의실험에서는 Kim 채널 모델을 사용하였다. Kim 모델은 여러 가지 습한 기후 조건에서 가시광의 선명도(Visibility)를 통하여 대기 감쇄 계수를 표현한 것이다. 해양 환경은 바람이 잦고 수증기가 많기 때문에 습기나 안개의 정도를 대기 감쇄 계수로 표현한 Kim 모델이 해양 환경에 적합하다고 볼 수 있다. Kim 모델의 감쇄 계수를 나타낸 수식은 아래와 같다.

$$V(km) = \frac{10 \log_{10} T_{th}}{\beta_\lambda} \left( \frac{\lambda}{\lambda_o} \right)^{-q} \quad (3)$$

$V$ 는 가시광의 선명도,  $T_{th}$ 는 전송 한계,  $\beta_\lambda$ 는 대기 감쇄 계수,  $\lambda_o$ 는 태양 밴드의 최대 스펙트럼,  $\lambda$ 는 가시광 파장(wavelength)을 의미한다. 여기서  $\lambda_o$ 는 550nm로 설정하였다. Kim 모델에서  $q$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다[3][4].

$$q = \begin{cases} 1.6 & \text{for } V > 50km \\ 1.3 & \text{for } 6km < V < 50km \\ 0.16V + 0.34 & \text{for } 1km < V < 6km \\ V - 0.5 & \text{for } 0.5km < V < 1km \\ 0 & \text{for } V < 0.5km \end{cases} \quad (4)$$

여기서 모의실험 가시광 파장을 550nm로 설정하면 Kim 모델은 그림 1과 같다.

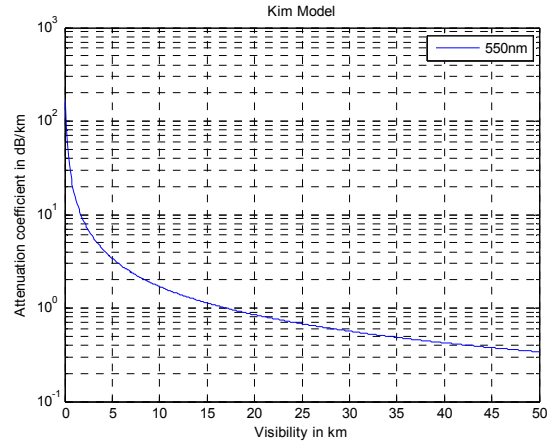


그림 1. 가시광 통신 파장이 550nm일 때, Kim 모델

여기서 가시광의 선명도 범위에 따라 기후 조건이 결정됨과 동시에 대기 감쇄 계수를 구할 수 있다. 아래의 표 1은 기후 조건에 따른 가시광 선명도 범위를 나타낸 것이다.

표 1. 기후 조건과 가시광 선명도 범위[5]

Weather Condition	Visibility Range (m)
Fog	770 - 1,000
Storm	1,900 - 2,000
Rain	2,800 - 40,000
Clear Air	23,000 - 50,000

맑은 기후 조건의 경우 가시광 선명도 범위가 매우 넓기 때문에 대기 감쇄 계수가 작은 반면에, 안개의 경우는 선명도 범위가 좁기 때문에 대기 감쇄 계수가 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

표 2는 해양 환경에서 가시광 통신 성능 모의실험을 위한 시뮬레이션 파라미터이다. 가시광 통신에서 일반적으로 많이 사용되는 OOK-NRZ(On Off Keying-Non Return to Zero)를 이용하였고, LOS라고 가정하였다. 송신광원은 550nm 중심파장을 가지는 LED이다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Modulation	IM-DD
Data rate	1 Mbps
Noise Model	AWGN
Channel Model	Kim's Model
Pulse modulation	OOK-NRZ
Wavelength	550nm
Angle	Line of Sight

그림 2는 표 2의 파라미터를 적용한 해양 환경에서 기후 변화에 따른 가시광 통신 성능을 BER로 표현한 것이다. 식 (1), (2)에서 대기 감쇄 계수가 클수록 수신 전력은 지수 함수적으로 감소하여 통신 성능을 감소시키는 것을 알 수 있다. 따라서 표 1에서 안개의 기후 조건이 대기 감쇄 계수가 매우 크기 때문에 그림 2에서 BER 성능이 가장 나쁘다는 것을 확인할 수 있다.

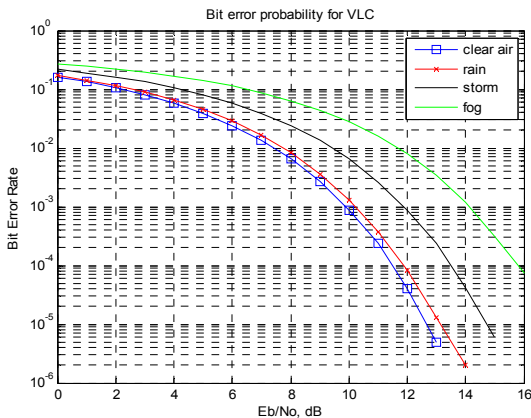


그림 2. 해양 환경에서 기후에 따른 가시광 통신 성능

### III. 현장실험

현장실험에서는 LED 모듈을 이용한 가시광 통신 모듈에서 이루어지는 에러율을 측정하였다. 그림 3은 가시광 통신 실험 장비이다. 원형 장비와 멀리서 빛나는 것은 각각 수광부와 송광부이다. PC에서 데이터를 전광 변환하여 송광부를 통해 송신한 뒤, 수광부에서는 받은 신호를 다시 광전 변환하여 PC의 시리얼 포트를 통해 해당 데이터가 수신이 제대로 되었는지의 여부를 확인한다. 약 20m 거리에서 시리얼 링크를 구현하였고, 통신 에뮬레이터 프로그램의 BERT 시험 기능을 통해 송수신 할 수 있도록 구성하였다. 다음으로 랜덤(Random)한 데이터를 일정하게 반복하여 송신한 뒤, 수신 데이터를 확인하여 전송상의 에러를 확인한다. 통신 에뮬레이터 프로그램은 WinSSD를 사용하였다.

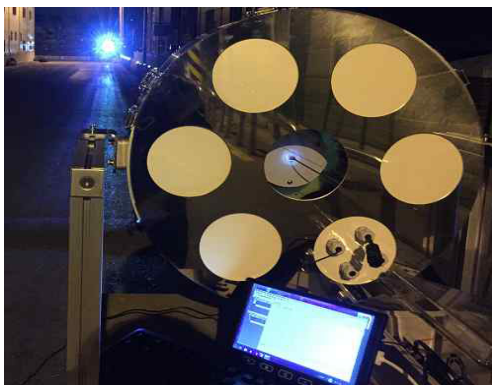


그림 3. 가시광 통신 실험 장비

WinSSD를 사용한 결과는 그림 4와 같다. Bit 항목에서 7,250비트가 에러가 났다는 것을 확인할 수 있고, 총 48,520,348바이트이므로 비트로 환산하여 BER을 계산하면 약  $10^{-5}$ 가 나오는 것을 확인할 수 있다.

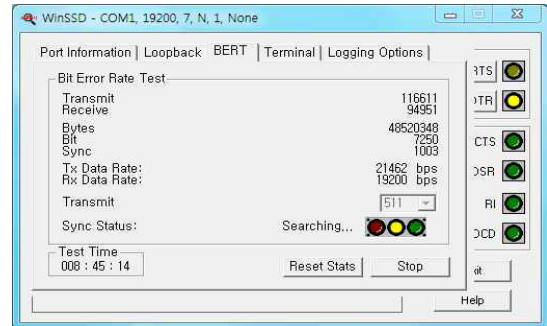


그림 4. WinSSD에서 Bit Error 측정

### IV. 결론

이 논문에서는 해양 환경에서 기후에 따른 가시광 무선통신 시스템에 대해 연구하였다. 모의실험에서 Kim 모델을 이용하여 가시광 선명도에 따른 기후 조건을 구분할 수 있었고, 시뮬레이션을 통해 기후 조건에 따른 BER 성능을 확인할 수 있었다. 그리고 현장실험에서 BER이 약  $10^{-5}$  정도 나오는 것을 확인하였다. 이 수치는 그림 2에서 SNR(Signal to Noise Ratio)이 약 13dB임을 알 수 있고, 폭풍의 기후 조건에서도 13dB일 경우 BER이  $10^{-3}$ 보다 작기 때문에 충분히 활용 가능하다. 따라서 송신 전력을 조절하여 SNR을 높인다면 안개의 기후 상황에서도 충분히 가시광 무선통신을 이용할 수 있고, 조명이 많이 사용되는 해양 환경에서도 유용하게 사용될 수 있을 것이라 기대한다.

### 참고 문헌

- [1] “이동통신분야 VLC”, 정보통신 중점기술 표준화 로드맵 Ver 2010, pp. 341-399, 2010.
- [2] 김균탁, 한두희, 이계산, 이규진 “전송 거리 및 입사각에 따른 가시광 통신 시스템 성능 분석에 관한 고찰, 중소기업융합학회 논문지, 제4권 4호, pp. 37-42, 2014.
- [3] J.C. Ricklin, S.M. Hammel, F.D. Eaton and S.L. Lachinova, “Atmospheric channel effects on free space laser communication”, Journal of Optical and Fiber Communications Research, 3, pp. 111 - 158, 2006.
- [4] I.I.Kim, B. McArthur and E. Korevaar, “Comparison of laser beam propagation at 785nm and 1550 nm in fog and haze for optical wireless communications”, SPIE Proceedings: Optical Wireless Communications III, 4214, pp. 26 - 37, 2001
- [5] Adapted from M S Awan et al , International Workshop on Satellite and Space Communications, pp. 274 - 278, 2009.

## 저자

### 유 성 엽(Sung Yub Yu)



- 2015년 2월 : 부경대학교 전자공학과 학사졸업
- 2015년 3월 ~ 현재 : 부산대학교 전기 전자컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> : 가시광통신, 사물인터넷, 센서네트워크

### 장 세 봉(Se Bong Jang)



- 2005년 ~ 현재 : 기민전자(주) 부설 연구소 부장

<관심분야> : 전기제어, 전력전자, 조명통신, 광학응용, 디스플레이응용

### 차 재 상(Jae Sang Cha)

### 정회원



- 2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 공학박사
- 2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송 기술연구소 선임 연구원
- 2008년 : 미국 플로리다 대학교 방문교수

· 2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 교수

<관심분야> : LED-ID, 조명 IT융합신기술, LBS, ITS, UWB, 무선 홈 네트워크, DMB 및 디지털 방송 등

### 김 석 찬(Suk Chan Kim)

### 정회원



- 1993년 2월 : 부산대학교 전자공학 학사졸업
- 1995년 2월 : 한국 과학기술원 전기 및 전자공학 석사졸업
- 2000년 2월 : 한국 과학기술원 전기 및 전자공학 박사졸업

· 2002년 2월 : 한국전자통신연구(ETRI), Princeton 대학교, Lehigh 대학교 연구원

· 2002년 3월 ~ 현재 : 부산 대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 이동통신, 통신신호처리, 위성통신, 수중통신