

# 가시광 카메라 통신시스템의 간섭분석방법에 관한 연구

고 호 정\*

## A Study on Interference Analysis Methodology of Optical Camera Communication System

Ho-jeong Ko\*

요 약

본 논문에서는 OCC(Optical Camera Communication)시스템에 대한 새로운 간섭 분석 방법론(Methodology)과 모의실험 방법을 제안 하였다. 기존 가시광 통신 채널 모델을 응용하여 OCC시스템을 위한 자유공간에서의 경로 손실 모델을 새롭게 해석 하였고, 링크설계 및 링크버짓에 대한 기준 모델을 정의 하였으며, 이를 기반으로 한 간섭 시나리오 모델 및 분석 프로세스를 제안 하였다. 또한 제안된 방법론을 적용하여 SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool)을 이용한 모의실험 방법을 제시 했으며, 모의실험을 통해 간섭량을 도출 하고 간섭을 완화시키기 위한 기법을 적용해 간섭이 완화됨을 확인 하였다.

**Key Words** : OCC, Interference Analysis Methodology, Path Loss Model, Link Budget, SEAMCAT

### ABSTRACT

In this paper, a new interference analysis methodology and simulation method was proposed for OCC(Optical Camera Communication). In OCC System interference analysis, free space path loss model for the OCC system was interpreted newly by using the visible-light communication channel model, defined a reference model for link design and link budget, and this based the interference scenario model and analysis method was proposed by this paper, and also we proposed simulation interference analysis method using a SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool) by applying the proposed methodology. Through simulation, we have dealt with the amount of interference level and interference mitigation techniques.

### I. 서 론

가시광 카메라통신인 OCC(Optical Camera Communication) 기술은 기존 가시광 통신 VLC(Visible Light Communication)과는 다르게 스마트 디바이스(스마트폰, 디지털 카메라)에 내장된 카메라의 이미지 센서를 사용하여 데이터를 수신 할 수 있는 시스템이며, 국내학계를 중심으로 2015년 IEEE802.15.7r1 OWC TG가 만들어 졌고 2019년 기술 표준화 완료 목표로 국제 표준을 주도하고 있다

[1-3]. 이미지 센서는 대중적으로 사용되고 있는 스마트폰 카메라에 장착 되어 있기 때문에 그 활용도는 매우 높다고 할 수 있다. 이러한 이유로 디지털 사이니지, 실내 위치 추적, 광고 및 마케팅, 차량 통신, 수중통신 등 다양한 응용 분야에서 최근 급부상 하고 있는 연구 주제이다. 하지만 많은 장점에도 불구하고 이제 기술 기반을 마련하고 있는 단계에서 OCC시스템 상용화를 위해서는 다른 조명으로 부터의 간섭, 다양한 요소 기술 연구 및 전송거리 확장, LOS(Line of Sight) 가시 영역 확보 등의 많은 제약 요건들을 극복해야 되는 과

\* First and Corresponding Author : Korea Polytechnics Department of Information and Communication, hjko@kopo.ac.kr, 정희원  
논문번호 : KICS2016-02-038, Received February 28, 2016; Revised May 8, 2016; Accepted March 15, 2019

제가 남아 있다. 본 논문에서는 OCC시스템에 대한 간섭 분석 연구를 수행하여, 향후 디지털 사이니지 뿐만 아니라 다양한 응용 서비스 적용시 간섭 분석을 위한 기준 및 참조 자료로 제시 하려고 한다.

본 논문의 순서는 다음과 같이 구성하였다. I 장의 서론에 이어 II장 OCC시스템 간섭 분석 방법 제안에서는 OCC시스템에 대한 송수신 거리 및 시스템 설계에 필요한 자유공간 전송 손실 모델, 링크설계 및 링크버짓을 새롭게 제안 하고, 이를 기반으로 한 간섭 시나리오 모델 및 분석 방법(Methodology)을 제시 하여, OCC시스템에 대한 체계적인 간섭 분석 방법을 위한 기준을 마련 하고자 한다. III장 OCC시스템 간섭 분석 틀인 SEAMCAT (Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool)을 이용해 모의실험을 수행 하고, 이를 통해 간섭량 추정 방법 및 간섭 완화 기법을 알아본다. 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

## II. OCC 시스템 간섭 분석 방법 제안

### 2.1 자유공간 경로 손실 모델링

OCC시스템 송수신 구조는 VLC 가지광 통신 구조와 비슷한 그림 1과 같은 구성을 가진다. 송신부에서는 LED를 통해서 가지광 신호를 보내고, 카메라 수신기에서는 카메라 조리개와 렌즈를 거쳐 포토다이오드의 배열로 구성된 이미지 센서에서 전기적 신호로 변환 된 후 프로세싱을 통해 신호가 복원되게 된다. 기존 포토다이오드 기반 가지광통신과 다른 점은 가지광을 수신하는 기능은 조리개, 렌즈, 이미지 센서가 대신하지만 포토다이오드의 배열로 구성된 이미지 센서의 전기적 기능은 같다고 볼 수 있다<sup>4,5</sup>.

그림 2는 자유공간 경로 손실 해석을 위한 OCC시스템 가지거리 링크모델을 나타내며, LED 송신기(광원)와 카메라 수신기로 구성되어 있다. 송신기와 수신기사이의 가지광 채널은 LOS인 가지거리와 다른 광

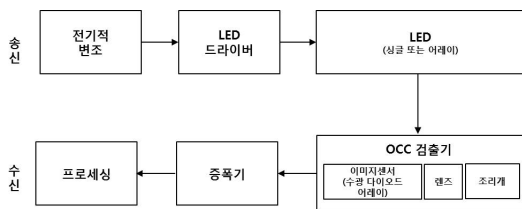


그림 1. OCC시스템 송수신기 구조  
Fig. 1. OCC system transceiver structure

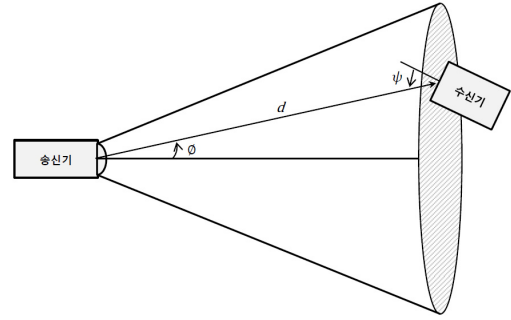


그림 2. OCC시스템 가지거리 링크모델  
Fig. 2. OCC system LOS link model

원으로 부터 들어오는 배경잡음(태양광, 주변조명등)으로 구성 된다. 본 연구에서 OCC시스템 가지거리 링크모델은 채널 잡음이 없는 가지거리 환경에서, 그림 2와 같은 구조를 갖는 송신기에서 φ각도로 송신된 광원은 거리 d에 위치한 수신기에 ψ각도로 수신하게 되는 구조를 가정하며, 각각의 특성은 다음과 같다.

#### 2.1.1 시스템 특성

송신기의 광원은 램버시안(Lambertian) 방사 특성을 갖는 LED로 가정하고, 램버시안 LED 방사 패턴은 그림 3에 표시 한 것과 같으며 식 (1)로 나타 낼 수 있다<sup>6</sup>.

$$R_0(\phi) = P_t \frac{m+1}{2\pi} \cos^m(\phi) \tag{1}$$

$$m = -\frac{\ln 2}{\ln(\cos \phi_{1/2})}$$

여기서  $R_0(\phi)$ 는 송신기의 전통적인 램버시안 LED 광원의 방사 세기를 나타내며, m은 램버시안 방사 차수,  $\phi$ 는 LED의 방사각도,  $\phi_{1/2}$ 는 LED 광원의

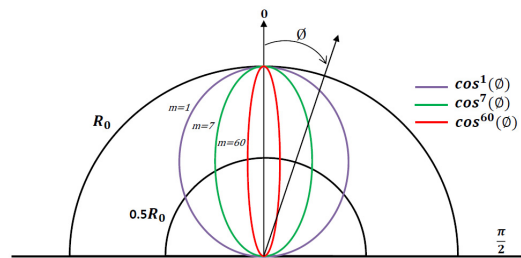


그림 3. 방사차수에 대한 램버시안 방사 패턴  
Fig. 3. Lambertian radiation pattern with respect to the radiation order

송신전력이 1/2이 되는 반치각이다. 램버시안의 방사 차수가 작을수록 방사패턴은 넓게 퍼지고 차수가 클수록 빛이 집중적으로 모여서 방사됨을 알 수 있다.

OCC시스템 채널 특성은 무선 가시광 통신에서의 채널 모델<sup>6)</sup>을 응용해서 해석 할 수 있다. 그림 2의 OCC시스템 가시거리 링크모델에서 수신 신호전력은 다음 식 (2)와 같이 정의 된다.

$$P_r = H(0)_{LOS} P_t \quad (2)$$

여기에서  $P_t$ 는 전송 신호의 전력,  $P_r$ 은 수신 신호의 전력,  $H(0)_{LOS}$ 은 LOS 환경에서의 채널 경로 손실을 의미하며, OCC시스템 채널 경로 손실  $H(0)_{LOS}$ 은 식 (3)과 같이 표시 할 수 있다.

$$H(0)_{LOS} = \begin{cases} \frac{A}{d^2} R_0(\phi) G_t G_a \cos \psi, & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0, & \theta > \psi_c \end{cases} \quad (3)$$

위 수식을 통해 LOS 채널의 경로 손실을 추정 할 수 있으며, 여기서  $d$ 는 LED 광원과 카메라 수신기 사이의 거리를 나타내며,  $A$ 는 카메라 수신기의 이미지 센서 면적,  $\phi$ 는 LED 방사각,  $\psi$ 는 카메라 수신기의 입사각,  $\psi_c$ 은 카메라수신 제한 각도(FOV),  $G_a$ 와  $G_t$ 는 각각 카메라 조리개 이득과 렌즈 이득을 의미하며,  $R_0(\phi)$ 는 송신기의 전통적인 램버시안 LED 광원의 방사 세기를 나타낸다. 이때 수신된 광원의 입사 각도 ( $\psi$ )는 FOV(Field of View)라는 수신 제한 각도( $\psi_c$ )보다 작은 값을 가져야 한다<sup>7)</sup>.

### 2.1.2 자유공간 경로 손실 모델

자유공간은 진공 중 또는 대기 중의 유전율이 균일한 매질 내에서 무선 신호의 진행을 방해하는 장애물이나 반사물이 전혀 없는 공간을 말한다. 자유공간 전송 손실은 송수신 양단에 구성된 통신 링크상의 가시거리에서 송수신 단에서 발생하는 이득과 손실이 포함 되지 않은, 단지 두 송수신간의 거리 만에 의해 발생하는 손실만을 고려한 전송 신호 세기의 감쇄를 의미 한다. OCC시스템에 대한 자유공간 경로 손실 모델은 이후에 설명 할 링크버짓(Link Budget)의 최대 허용 경로 손실(Maximum Allowable Path Loss : MAPL) 값과 함께 송수신간 최대 송수신 거리를 구하기 위해서 필요하다.

식 (1), (3)을 이용해 OCC시스템 채널 경로 손실은

식 (4)과 같이 나타 낼 수 있으며, 상황에 따라 주변 간섭 환경을 고려한 환경 변수 손실 값이 추가 될 수 있다.

$$L_{channel} = \frac{P_r}{P_t} = H(0)_{LOS} = \frac{(m+1)A}{2\pi d^2} \cos^m \phi \cos \psi G_t G_a + (Loss_{environment}) \quad (4)$$

식(4)의 양변에 로그(log)를 적용하여 정리해 보면, OCC시스템에 대한 채널 전송 손실은 식 (5)와 같이 거리에 의한 자유공간 전송 손실, 송신단 손실, 수신단 손실로 구분하여 표시 할 수 있다.

여기서  $L_{tx}$ 는 송신단 손실을 나타내며, LED 방사 이득  $\frac{(m+1)}{2\pi}$ 과 LED 방사 각도 손실  $\cos^m \phi$ 의 곱으로 표시 할 수 있다. 그리고  $L_{rx}$ 은 수신단의 손실을 나타내며, 수신기의 면적  $A$ , 입사각도 손실  $\cos \psi$ , 카메라 렌즈 이득  $G_t$ , 카메라 조리개 이득  $G_a$ 의 곱으로 나타 낼 수 있다.

$$L_{channel}(dB) = -\log_{10}(L_{channel}) = 20\log_{10}d - 10\log_{10}L_{tx} - 10\log_{10}L_{rx} + (Loss_{environment}) \quad (5)$$

$$\text{여기서, } L_{tx} = \frac{(m+1)}{2\pi} \cos^m \phi, L_{rx} = A \cos \psi G_t G_a$$

식 (5)로 부터 손실이 없는 LOS 환경에서, 송수신단에서 발생하는 이득과 손실이 포함 되지 않는 단지 두 송수신기간의 거리 만에 의해 발생하는 순수 자유공간에서의 전송 손실은, 송수신단의 손실인  $L_{tx}$ ,  $L_{rx}$ 의 항목을 다음과 같이 가정 하여 구할 수 있다.

$$\frac{(m+1)}{2\pi} = 1, A = 1\text{cm}^2, G_t = 1, G_a = 1, \phi = 0^\circ, \psi = 0^\circ$$

라 가정 하면, OCC시스템에 대한 자유 공간에서의 전송 손실은 최종적으로 다음 식 (6)과 같이 정의 할 수 있다.

$$L_{free}(dB) = -\log_{10}(L_{channel}) = 20\log_{10}d, d = \text{cm} \quad (6)$$

위에서 가정한  $L_{tx}$ ,  $L_{rx}$ 에 대한 항목 값들은 이후에 링크버짓 도출을 위한 기준 값이 되고, 자유 공간 경로 손실 식 (6)은 링크버짓의 MAPL값과 함께 송수신기간 최대 송수신 거리를 구하기 위한 간편하고 유

용한 수식으로 활용 될 수 있을 것이다.

## 2.2 링크설계 및 링크버짓 모델

### 2.2.1 링크 설계

링크설계는 송수신기간의 통신 경로상에 통신시스템 구성 및 채널 상태에 대한 변수를 정의하고, 이득 및 손실 요인에 대한 신호 전력의 증감을 간단하게 그림으로 표시하는 통신 링크에 대한 아키텍처(Architecture) 작업을 말한다. OCC시스템에 대한 링크 설계도를 그림 4에 나타내었다. 송신단에서 LED 전송 전력은 방사 이득과 방사 각도 손실을 거쳐 자유 공간으로 전파 되며, 자유 공간에서의 거리에 따른 손실 및 상황에 따라 주변 환경 간섭(햇빛, 주변 LED 조명, 형광등 등)이 추가 되어 수신단으로 입력된다. 수신단에서는 수신 각도 손실, 카메라 조리개 이득, 렌즈 이득이 고려되어 송신단의 LED 전송 전력은 최종적으로 이미지 센서의 포토다이오드에 전달되게 된다. 또한 수신단에서 수신전력( $P_r$ )은 원하는 신호 대 잡음비(Signal to Noise : SNR)의 송수신을 위해서는  $P_r \geq NEP + SNR$  을 만족 하여야 한다. 여기서 NEP(Noise Equivalent Power)는 이미지센서의 전체 노이즈 전력을 나타낸다. 이론적으로 전체 노이즈 전력 보다 큰 신호 강도가 이미지센서에 도달하면, 광에 의한 신호 검출이 가능하다.

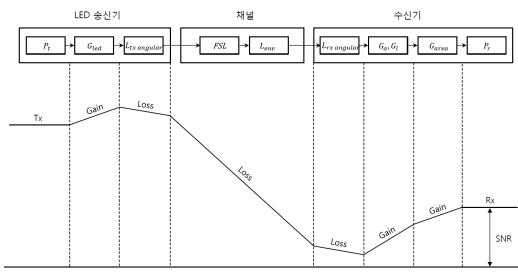


그림 4. OCC시스템 링크 설계  
Fig. 4. OCC system link design

### 2.2.2 링크 버짓

OCC시스템의 간섭 분석을 위한 송수신기간 최대 송수신 거리를 구하기 위해서는 앞에서 정의한 자유 공간 경로 손실 모델과 링크버짓이 필요하다. 링크버짓은 무선통신 시스템에서 중간의 신호전달 채널(공기)의 감쇄 등을 고려하여 송신기와 수신기가 성공적으로 통신이 이루어지도록 규격(이득, 손실, 송신전력, 수신감도, 마진등)을 정하거나 조정하는 작업 또는 계

산 결과를 의미하며, 송수신기 간의 최대 서비스 반경을 결정 하거나 통신 중계기 개수를 결정 할 때 사용되는 방법이다. OCC시스템에 대한 링크 버짓 방정식은 식 (7)을 이용해 양변에 로그(log)을 적용하여 정리 하면 아래 식 (7)과 같이 나타 낼 수 있다.

$$P_r = P_t + G_{led} - L_{tx angular} - L_{free space} - L_{rx angular} + G_a + G_r + G_{area} \quad (7)$$

여기서,

$P_r$ : PD 수신전력(dBm),  $P_t$ : LED 송신전력(dBm),  $G_{led}$ : LED 방사차수이득(dB),  $L_{tx angular}$ : LED 방사각도손실(dB),  $L_{free space}$ : 자유공간전송손실(dB),  $L_{rx angular}$ : 수신기입사각도손실(dB),  $G_a$ : 카메라조리개이득(dB),  $G_r$ : 카메라렌즈이득(dB),  $G_{area}$ : 이미지센서면적이득(dB)

최대 송신 방사 전력, 최소 수신 전력, 송수신단의 이득 및 손실, 경로 손실 마진(Margin)을 고려한 자유 공간에서의 최대 허용 경로 손실(Maximum Allowable Path Loss : MAPL)은 아래 식 (8)과 같다.

$$MAPL = P_{radiation} - Sensitivity + \sum (Loss + Gain + Margin) \quad (8)$$

그림1의 OCC시스템 송수신 구조에서 위의 MAPL 값을 포함하는 OCC시스템에 대한 링크버짓 모델 및 모의실험을 위해 가정한 항목 값을 표 1, 2에 나타내었다. 여기서, 수신단에서의 수신 전력  $P_r$ 이 원하는 신호 대 잡음비에서의 수신을 위해서는  $P_r > NEP + SNR$  조건을 만족하여야 한다. 전체 노이즈 전력(NEP)을  $7 \times 10^{-12} W$ 로 가정하고<sup>[8]</sup>, OnOff-Keying의 변조 방식에서 BER은  $erfc(\sqrt{SNR})/2$ 와 같으므로 데이터 통신을 위해  $10^{-6}$ 의 BER을 얻기 위해서는 15.6dB의 신호 대 잡음비(SNR)가 필요하며<sup>[8,9]</sup>, 마진을 고려 수신기에서 최소 신호 대 잡음비(SNR)을 19dB로 가정 한다면, 전체 노이즈 전력(NEP)가  $7 \times 10^{-12} W$  (-81dBm)인 상황에서 신호 대 잡음비 19dB를 얻기 위해서는 이미지센서에 수신되는 전력이 -62dBm 이상이 되면 가능하다. 또한 식(8)을 이용해서 구한 MAPL 값 62dB를

식(6)인 OCC 자유공간 전송 손실 모델에 적용해 보면, 다음과 같다.

$$L_{free} (dB) = 62dB = 20\log_{10}d, d = 1200cm$$

따라서, 표 1에 가정한 주요 항목 값에 대한 OCC 시스템의 최대 송수신 거리는 약 12m임을 알 수 있다.

표 1. OCC시스템 링크버짓 모델  
Table 1. OCC system link budget model

구분	주요 항목	값	단위
송신기	최대 송신 전력 ( $P_t$ )	10	dBm
	LED 방사 이득 ( $G_{led}$ )	-5	dB
	LED 방사 각도 손실( $L_{\text{angular}}$ )	-0.6	dB
	송신기 방사 전력 ( $P_{\text{radiation}}$ )	4.4	dBm
수신기	수신기 전체 잡음 전력 (NEP)	-81	dBm
	신호대 잡음비 (SNR)	19	dB
	이미지 센서 수신 감도 (Sensitivity)	-62	dBm
	수신 각도 손실 ( $L_{\text{angular}}$ )	-0.6	dB
	카메라 조리개 이득 ( $G_a$ )	3	dB
	카메라 렌즈 이득 ( $G_l$ )	3	dB
	이미지 센서 면적 이득( $G_{area}$ )	-1.4	dB
	환경 마진 (Margin) (햇빛, 주변 조명에 의한 간섭)	0	dB
	수신기 최소 요구치 (total)	-58	dB
최대 허용 경로 손실 (Maximum Allowable Path Loss : MAPL)		62	dB

### 2.3 간섭 시나리오 모델 및 분석 프로세스

#### 2.3.1 간섭 시나리오 모델

OCC시스템의 간섭 시나리오 모델은 그림 5와 같이 나타 낼 수 있다. 여기서 간섭원에 의해 간섭을 받는 희생원은 Victim Receiver(Vr), Vr에 간섭신호를 발생 시키는 간섭원을 Interfering Transmitter(It), 간섭의 영향이 없는 희망신호를 Vr로 송신하는 기기를 Wanted Transmitter(Wt), It로부터 원하는 신호를 수신하는 기기를 Wanted Receiver(Wr)로 정의 한다. 간섭 환경은 OCC 송신기인 Wt가 거리(d) 지점에 위치한 스마트 디바이스 Vr에  $\phi$  각도로 원하는 LED 정보 신호를 전송하고, Vr이 Wt로부터 전송된 신호를  $\psi$  각도로 수신하는 상황이며, 동시에 주위에 있는 OCC 간섭원 It가 Wr이 원하는 신호를 전송하고 있는 환경이다. 이때 It가 Wr에 전송하는 신호는 Vr 입장에서 간섭 신호가 된다.

간섭 시나리오는 앞 절에서 제안한 자유공간 전송 손실모델과 링크버짓을 이용하여, Wt로부터 방사 각도  $\phi$ (링크버짓에서 가정한 값) 에서 최대 송수신거리가 되는 지점에 Vr을 위치시키고, Vr과 It사이의 거리(d)를 변경하여 간섭이 발생하는 구간을 확인 한다. 이때 Vr의 입사각도  $\psi$ (링크버짓에서 가정한 값)는 수신 제한 각도 FOV(Field of View)인  $\frac{FOV}{2}$  보다 작아야 한다. 그림 5의 간섭 시나리오 모델을 기준으로 해서 크게 최악과 최적 두 가지 시나리오로 구분 할 수 있으며, 최악 케이스 시나리오는 Vr이 Wt로부터 최대 송수신 거리에서 방사 각도  $\phi$ , 입사각도  $\psi$ 가 수신 제한 각도 FOV와 같게 되는 위치인 서비스 경계 지역 끝에 존재하는 경우로 Wt 송신전력이 미약하기 때문에 간섭신호에 취약한 케이스가 된다. 반대로 최적 케이스는 Vr이 Wt로부터 방사 각도  $\phi$ , 입사각도

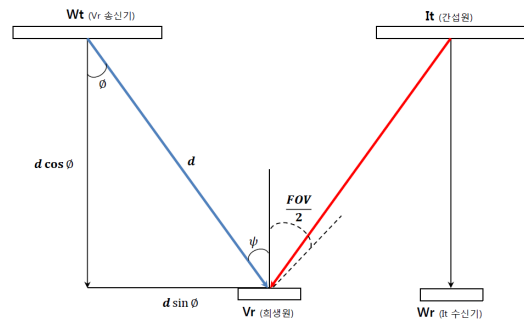


그림 5. OCC시스템 간섭 시나리오 모델  
Fig. 5. OCC system interference scenario model

$\psi$ 가 모두 0도가 되는 근접 거리 위치에 존재하는 경우로  $W_t$  송신전력이 강한 최적 케이스가 된다.

### 2.3.2 간섭 분석 프로세스

OCC시스템에 대한 체계적인 간섭 분석을 위해서는 분석 프로세스가 필요하며, 지금까지 새롭게 제안한 자유공간 전송 손실 모델, 링크설계, 링크버짓, 간섭 시나리오 모델과 관련한 내용을 정리하여 OCC시스템 간섭 분석을 위한 체계적인 프로세스를 그림 6과 같이 도식화 하여 정리 하였다. 간섭 분석은 ①~⑨ 단계에 거쳐 수행 되며, 빗금 친 상자가 본 논문에서 제안한 모델 들이다.

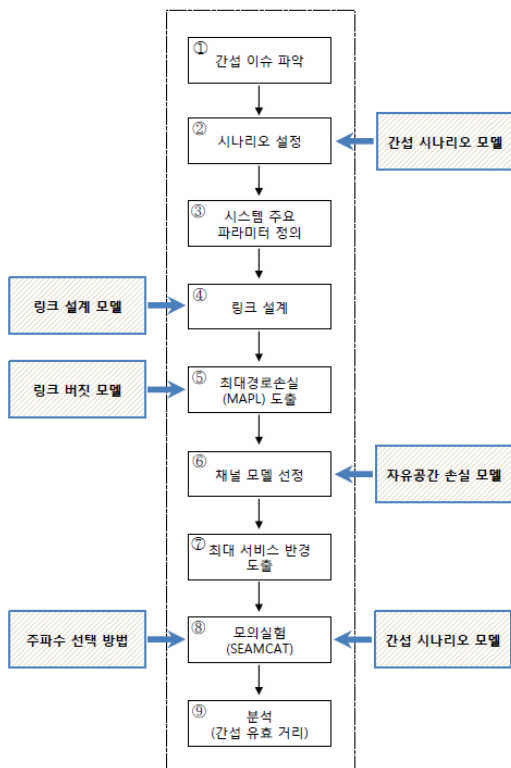


그림 6. OCC시스템 간섭 분석 절차  
Fig. 6. OCC system interference analysis process

## III. OCC시스템 간섭 분석

### 3.1 SEAMCAT 주파수 선택 방법

SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool)은 기본적으로 통계적 방법으로 간섭확률을 계산하는 몬테카를로 모의실험 방법에 기반을 두고 있으며, 인접 주파수 대역의 무선통

신 시스템 사이의 전파 간섭 시나리오를 통해 간섭을 분석하는 소프트웨어 툴이다. SEAMCAT은 RF 전파 간섭 분석 툴로서, 수백 THz를 다루는 가시광 통신시스템 간섭 분석에는 다소 익숙하지 않지만, 본 논문에서 제안한 분석 방법론과 아래에 설명하는 전파 모델 및 주파수 선택 방법을 통해 간섭 분석이 가능하다.

이를 위해 앞에서 제안한 OCC시스템의 자유공간 전송 손실 모델과 유사한 RF 전파모델인 후리스 자유공간 전송손실(Friis Free Space Transmission Loss) 모델을 이용하여 모의실험을 수행 할 수 있다. 후리스 자유공간 전송 손실은 1945년 벨연구소의 Friis가 발표 하였고, 자유공간을 통한 무선 링크의 송수신 전력 관계를 해석 하는데 현재에도 많이 사용되고 있다.

손실이 없는 LOS 가시거리 환경에서 OCC 자유공간 경로 손실은 앞장 식 (6)에서 정의한 아래식과 같다.

$$OCC\_L_{free} (dB) = 20\log_{10}d$$

한편, 손실이 없는 LOS 환경에서 RF 자유공간 경로 손실은 식 (9)과 같다<sup>[10]</sup>.

$$Radio\_L_{free} (dB) = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45, f : GHz, d : km \quad (9)$$

LOS 환경에서 OCC 자유공간 경로 손실은 주파수와 독립인 거리와 관련된 함수로 정의 되고, RF 자유공간 경로 손실은 주파수와 거리의 함수이다. 두 식을 비교해 보면 거리에 의한 감쇄부분은 동일한 특성을 갖고 나머지 항목은 상수로 처리 하면 되므로, 동일 전송 거리 일 때 RF 자유 공간 경로 손실 값이 OCC 자유 공간 경로 손실 값과 같게 나오는 주파수를 찾아 모의실험 하면 된다. 본 장에서는 위에서 설명한 방법을 통해, SEAMCAT에서 지원하는 후리스 자유공간 전송 손실 모델을 적용, 최대 송수신 거리 12m 거리에서 62dB의 자유공간 전송 손실을 갖는 2.6GHz 주파수에서 모의실험을 수행 하였다.

### 3.2 몬테카를로 기반 SEAMCAT 알고리즘

전파 간섭 시나리오에 대한 영향 분석은 SEAMCAT을 통해서 이루어지고 있는데, 다양한 통신 시스템 간에 발생할 수 있는 간섭 영향을 분석하는 도구로서 현재 널리 사용되고 있다<sup>[11]</sup>. 기본적으로 몬

테카를로 모의실험 방법에 기반을 두고 있으며, 인접 주파수 대역의 무선 통신 시스템들 사이의 실질적인 공유 및 호환성 연구에 대해 서로 다른 전파 간섭 시나리오의 통계적 모델에 대한 허용을 기준으로 하고 있다. SEAMCAT은 간섭 확률  $P_I$ 을 식 (10)과 같이 계산한다.

$$P_I = 1 - P_{NI} \quad (10)$$

$P_{NI}$ 는 간섭이 없는 확률이며, 희망신호세기과 간섭신호세기의 비 C/I(Carrier to Interference Ratio)를 고려시,  $P_{NI}$ 은 식 (11)과 같이 정의 할 수 있다.

$$P_{NI} = P\left(\frac{dRSS}{iRSS_{comp}} > \frac{C}{I} | dRSS > Sensitivity \right) \quad (11)$$

여기서, dRSS는 desired Received Signal Strength 이고, iRSS는 interfering Received Signal Strength 이다.

그리고,  $iRSS_{comp} = \sum_{j=1}^P iRSS_j$ 은 전체 간섭 수 P 에 대한 iRSS의 총합이다.  $W_t$ 로 부터의  $V_r$ 의 dRSS 은 식 (12)와 같이 정의 된다.

$$dRSS = Power_{W_t} + Ant Gain_{W_t} - Path loss_{W_t \rightarrow V_r} + Ant Gain_{V_r} \quad (12)$$

$Power_{W_t}$ :  $W_t$  송신전력,  $Ant Gain_{W_t}$ :  $W_t$  안테나이득

$Path loss_{W_t \rightarrow V_r}$ :  $W_t, V_r$  사이의 전송손실로 주파수, 안테나높이, 거리, 환경변수로 구성  
 $= f_{propag}(f_{vr}, h_{vr}, h_{wt}, d_{vr \rightarrow wt}, ew)$

$Ant Gain_{V_r}$ :  $V_r$  안테나이득

$I_t$ 로부터  $V_r$ 의 불요 간섭에 대한 iRSS은 식 (13)과 같다.

$$iRSS_{unwanted_i} = Power_{I_t} + Ant Gain_{I_t} - Path loss_{I_t \rightarrow V_r} + Ant Gain_{V_r} \quad (13)$$

또한  $I_t$ 로 부터  $V_r$ 의 불요파에 대한 불요파 전력  $Power_{I_t}$ 은 다음과 같이 계산 된다.

그림 7에서의  $V_r$  수신 대역에서의 불요 방사 마스크

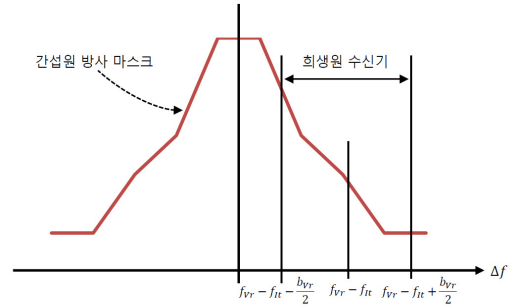


그림 7.  $V_r$  수신대역에서 불요 방사 마스크  
 Fig. 7. Spurious emission mask in Vr band

크 전력  $P_{m-It}(\Delta f)$ 에 대한 정규화된  $P_{n-It}$  식 (14) 이고,

$$P_{n-It} = P_{m-It}(\Delta f) - 10 \log_{10} \left( \frac{bw}{1Hz} \right) \quad (14)$$

a~b 구간에 대한 전체 불요 전력  $Power_{It}$ 은 식 (15)와 같이 정의 된다.

$$Power_{It} = 10 \log_{10} \left\{ \int_a^b 10^{(P_{n-It}(\Delta f)/10)} d\Delta f \right\}$$

$$a = f_{V_r} - f_{I_t} - b_{V_r}/2, \quad b = f_{V_r} - f_{I_t} + b_{V_r}/2$$

$$Power_{It} = 10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=a}^b 10^{P_{n-It}(\Delta f_i)/10} \right\} \quad (15)$$

희망신호의 세기와 간섭신호 세기의 비가 간섭 보호 비(C/I)로 설정되어 있는 값 보다 클 경우 간섭이 발생한 것으로 판단하게 되며, 간섭확률은 1에서 간섭 보호 비를 만족하는 신호의 수신 횟수와 전체 시뮬레이션 이벤트 발생 횟수의 비를 뺀 값, 즉  $P_I = 1 - (N_{good}/N_{all})$ 으로 계산 된다. 일반적으로 간섭분석에서 간섭확률이 2~5% 이내면 적합하다고 판단 한다<sup>[12]</sup>. 본 연구에서는 간섭 확률이 5% 이내일 때의 간섭 거리를 구하였다.

### 3.3 제안 방법론 기반 모의실험

#### 3.3.1 간섭 시나리오

그림 8, 9는 제안된 OCC시스템 간섭시나리오 모델을 이용하여 작성한, 주요 시나리오이며 두 개의 OCC 송신기와 하나의 스마트폰 수신 단말기가 존재하는 간섭 시나리오를 나타낸 것이다.

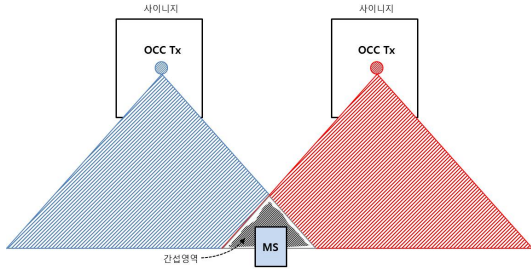


그림 8. 사이니지 간 수평 구조\_최악 케이스  
Fig. 8. Horizontal structure between signage\_worst case

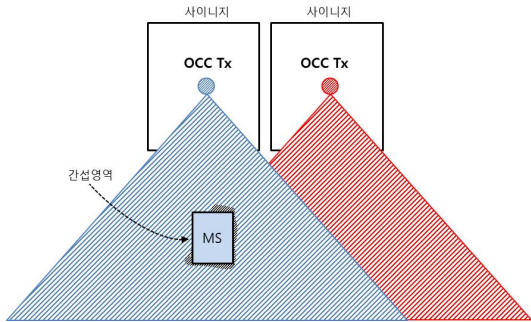


그림 9. 사이니지 간 수평 구조\_최적 케이스  
Fig. 9. Horizontal structure between signage\_best case

스마트폰 단말이 두 개의 OCC 송신기가 인접해 있는 곳에 위치할 경우 원하는 정보의 신호뿐만 아니라 인접한 간섭원의 원하지 않는 정보신호까지 함께 수신하게 된다. 그림 8은 경계지역 끝에 존재하여 송신 전력이 미약하기 때문에 간섭신호에 취약한 최악 케이스를 나타내고, 그림 9는 스마트폰 단말이 원하는 정보의 신호를 OCC 송신기 근처에서 수신할 때 인접 간섭원을 고려한 최적 케이스 시나리오를 나타낸다.

3.3.2 시스템 주요 파라미터 정의

모의실험에 필요한 송수신단 시스템에 대한 주요 파라미터를 아래 표 2와 같이 가정 하였다.

표 2. 모의실험을 위한 주요 파라미터  
Table 2. Main parameters for the simulations

주요 항목	값	단위
LED 최대 송신 전력	10	dBm
변조 대역폭	200	kHz
램버시안 방사 각도 (방사 차수 m=1)	60	degree
잡음 전력 (NEP)	-81	dBm
이미지센서 수신 감도	-62	dBm
간섭 보호비 (C/I)	19	dB

주요 항목	값	단위
이미지 센서 면적	0.85×0.85	cm <sup>2</sup>
수신 제한 각도 (FOV)	70	degree
방사 각도	30	degree
수신 각도	30	degree
조리개 이득	3	dB
렌즈 이득	3	dB

3.3.3 모의실험 및 분석

앞서 설명한 시나리오를 기준으로 보면, 피 간섭원인 희생원 Vr : 스마트폰 단말기, 간섭원인 It : 인접한 디지털 사이니지 OCC 간섭 송신기, Wt : Vr에 정보 신호를 송신하는 디지털 사이니지 OCC 송신기, Wr : It로부터 신호를 수신하는 디바이스로 정의하고, 모의 실험을 통해 간섭 거리를 분석 하였다. 모의실험은 SEAMCAT을 이용하여, 최악 케이스 및 최적 케이스에 대한 시나리오 아웃라인을 구성하였고, 앞 절에서 설명한 방법인 2.6GHz 중심주파수에서 후리스 자유 공간 전파모델, 표 2의 주요 항목 및 표 3의 링크 버짓 값을 적용하여 모의실험을 수행 하였다.

그림 10는 모의실험에 사용된 OCC LED 송신기 (램버시안 방사, m=1)의 각도 별 방사패턴을 나타 내 였고, 그림 11은 스마트폰 단말기의 수신제한 각도 FOV 70°를 갖는 수신패턴값을 나타내었다. 그림 12는 Vr이 Wt로부터 경계 지역 끝 12m 지점에 위치하는 시나리오 아웃라인을 나타내며, 해당 조건은 수신 신호 강도가 가장 낮아 간섭신호에 취약 한 최악 케이스가 된다. 그림 12의 최악 케이스에 대한 모의실험 결과, Vr에 대한 It 간의 간섭 거리는 약 13.5m가 되고, 이때의 디지털 사이니지내 OCC 송신기 간(Wt-It)의 이격 거리는 13.9m가 된다.그림 12의 간섭 상황에

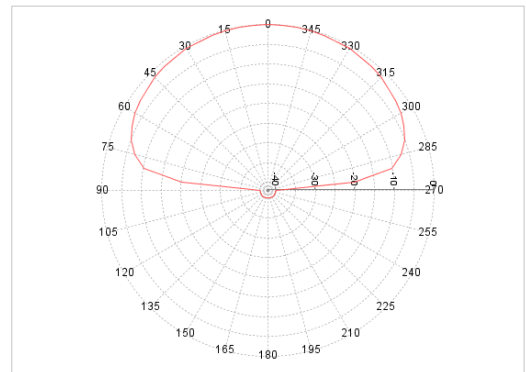


그림 10. 램버시안 방사패턴 (m=1)\_Polar  
Fig. 10. Lambertian radiation pattern (m=1)\_Polar



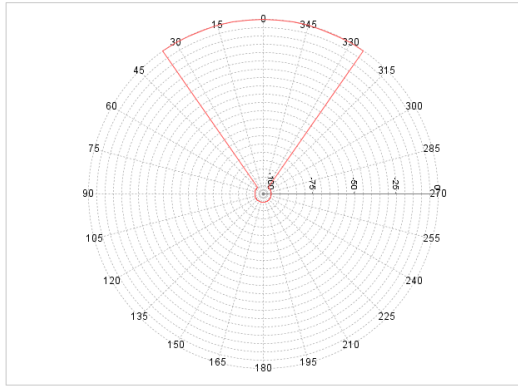


그림 11. FOV 수신패턴(70°)\_Polar  
Fig. 11. FOV reception pattern(70°)\_Polar

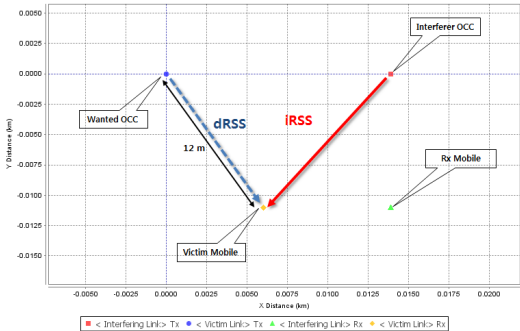


그림 12. 시나리오 아웃라인 (사이니지 간 수평구조\_최악 케이스)  
Fig. 12. Scenario outline (Horizontal structure between signage\_worst case)

서 이를 완화하기 위해 전력제어, 간섭원 LED 송신기 틸팅(Tilting), 간섭원 LED 송신기 방사 차수  $m$  값의 조절을 통해 지향성을 갖도록 하는 빔포밍(Beamforming) 기법을 적용 하였으며, 결과 값을 표 3에 정리하였다. 적용 결과, 간섭을 최소화 하기위해서는 간섭원 It에 대해서 5dBm 이하의 전송전력, 35° 이상의 각도 틸딩, 방사 차수  $m=20$ 의 지향성을 갖는 빔포밍 조절, 13.6m 이상의 물리적 이격거리가 필요함을 확인 하였다.

그림 13은 Vr이 Wt로부터 정면 중앙 근거리 1m 지점에 위치하는 조건으로 수신 신호 강도가 우수한 최적 케이스가 된다. 모의실험 결과, Vr에 대한 It 간의 간섭거리는 약 1.23m가 되고, 이때의 디지털 사이니지 OCC 송신기간(Wt-It)의 이격 거리는 0.72m가 된다. 최악 케이스와 같은 방법으로 간섭을 완화 하기 위해 간섭 완화 기법을 적용 하였으며, 간섭원 It에 대해서 8.4dBm 이하의 전송전력, 19° 이상의 각도 틸

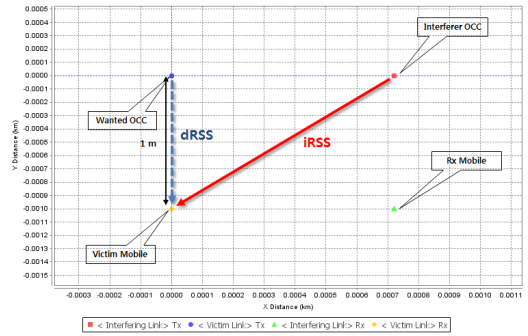


그림 13. 시나리오 아웃라인 (사이니지 간 수평구조\_최적 케이스)  
Fig. 13. Scenario outline (Horizontal structure between signage\_best case)

딩, 빔포밍, 1.3m 이상의 물리적 이격거리가 필요함을 알 수 있다. 이에 대한 결과도 표 4에 정리 하였다.

표 3. 수평구조\_최악 케이스 간섭 완화 방법 및 제어범위  
Table 3. Horizontal structure\_worst case interference mitigation method and control range

완화방법	제어범위
간섭광원 전력제어	5dBm 이하
간섭 LED 틸팅	35° 이상
간섭광원 빔포밍	$m = 20$ 이상
보호 이격 거리	13.6m 이상

표 4. 수평구조\_최적 케이스 간섭 완화 방법 및 제어범위  
Table 4. Horizontal structure\_best case interference mitigation method and control range

완화방법	제어범위
간섭광원 전력제어	8.4dBm 이하
간섭 LED 틸팅	19° 이상
간섭광원 빔포밍	$m = 11$ 이상
보호 이격 거리	1.3m 이상

#### IV. 결론

본 논문에서는 OCC 간섭 분석을 위한 분석 방법론을 제안 하였고, 제안된 방법론을 적용하여 모의실험을 통해 간섭량을 측정 하고, 간섭 완화 기법을 적용해 간섭이 완화됨을 확인 하였다. 이제 연구개발 및 표준화 되고 있는 OCC시스템은 서비스 상용화에 앞서 해결해야 될 기술적 과제가 남아 있으며, 본 논문에서 제안된 분석 방법론과 모의실험 방법은 향후 OCC시스템 뿐만 아니라 VLC 가시광 통신 시스템 구

현 시 실 테스트와 비교 검증을 통해서 더욱 완성도가 높아 질 것으로 판단 되며, LED 기반 다양한 응용 서비스에서 간섭 분석 및 무선 통신망 구축 시 기준 및 참조 자료로 유용하게 활용 될 것으로 기대 된다.

43, no. 1, pp. 9-19, 2006.

### References

- [1] J. S. Cha, "Technical Topics for LED based OCC," IEEE802.15-14-00055-00-007a, Jan. 2014.
- [2] J. S. Cha and Y. M. Jang, "Necessity Review of Channel Models for LED-ID LOS Applications," IEEE802.15-15-0716-00-007a, Sep. 2015.
- [3] Y. M. Jang, "Radiometric and Geometric Consideration for image sensor receiver," IEEE802.15-15-0526-007a, Jul. 2015.
- [4] R. Roberts [Intel], "LOS Link Budget," IEEE802.15-15-0500-02-007a, Jul. 2015.
- [5] TTA, "ICT Standard Weekly," available at [http://www.tta.or.kr/data/weekly\\_view.jsp?news\\_id=4195](http://www.tta.or.kr/data/weekly_view.jsp?news_id=4195)
- [6] J. M. Kahn and J. R. Barry, "Wireless infrared communications," in *Proc. IEEE*, vol. 85, no. 2, pp. 265-298, 1997.
- [7] J. R. Barry, J. M. Kahn, W. J. Krause, E. A. Lee, and D. G. Messerschmitt, "Simulation of multipath impulse response for indoor wireless optical channels," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol. 11, no. 3, pp. 367-379, 1993.
- [8] J. Lee, J. Kang, J. Cho, Y. Kim, J. Kim, and J. Cha, "A study of LED wireless communication channel characteristics considering latticed indoor circumstance," *IBC J.*, vol. 11, no. 4, 2011.
- [9] B. Sklar, *Digital Communications*, Prentice-Hall International, Inc., 1988.
- [10] M. D. Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC Press, 1995.
- [11] *SEAMCAT Handbook*, European Communications Office, Jan. 2010.
- [12] Y.-H. Kim, P.-S. Eo, H.-G. Yang, S.-K. Park, B. Kang, Y.-S. Kim, and J.-G. Yook, "Monte-carlo based interference analysis of 900MHz passive RFID systems," *J. IEIE*, vol.

### 고 호 정 (Ho-jeong Ko)



1999년 2월: 경희대학교 전파 공학과 학사

2001년 2월: 경희대학교 전파 공학과 석사

2016년 2월: 서울과기대 정보 통신융합공학과 박사

2016년 8월~현재: 한국폴리텍 대학 정보통신시스템과 조교수

2010년 10월~2016년 7월: 삼성SDS 수석연구원

2006년 11월~2010년 9월: 금호아시아나 선임연구원

2003년 2월~2006년 10월: SK텔레텍 전임연구원, 기술사(81회,정보통신)

<관심분야> 전파공학, 이동통신공학, ICT융복합

[ORCID:0000-0003-0776-5703]