

# UAV 활용을 위한 FSO 에서 거리에 따른 성능 변화 분석 및 구현

김민진, 황나영, 이태주, 박주연 \*정성운  
영남대학교 전자공학과

jina980717@yu.ac.kr, ghkd3998@yu.ac.kr, dlxown17@yu.ac.kr, kycjp3215@yu.ac.kr,  
\*syjung@ynu.ac.kr(\*:교신저자)

## Analysis and Implementation of Performance Variation with Distance in Free-Space Optical Communication for UAV

Min-Jin Kim, Na-Young Hwang, Tae-Ju Lee, Ju-Yeon Park, \*Sung-Yoon Jung  
(\*corresponding author)

Dept. of EE, Yeungnam University

### 요 약

최근 무인 항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)가 많은 분야에서 사용되고 있으며 이에 따라 무선 통신 기술의 중요성이 부각되고 있다. 따라서 본 논문에서는 무인 항공기(UAV)에 활용 가능한 Free-Space Optical communication(FSO)에서 거리 감쇠(Path loss)와 레이저의 방사 특성에 대한 실험을 수행하고, 분석한 결과를 토대로 무인 항공기(UAV)와 FSO 를 활용할 때 고려해야 할 점을 제안한다.

### I. 서론

최근 무인 항공기(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)는 초기 군사용 목적에서 통신, 물류, 배송, 농업 등 민간 분야로 다양하게 활용되고 있다[1]. 이와 같이 UAV 의 활용이 급증하면서 무선 통신의 역할이 중요시되고 있지만, RF 대역은 주파수 부족 문제에 직면하고 있다. 이로 인해 기기 간의 간섭과 통신 신호의 혼잡이 발생할 수 있어 무선 통신의 성능 및 안정성이 저하되는 문제가 발생할 수 있다. 이에 대한 대안으로 Free-Space Optical communication (FSO), Visible Light Communication (VLC) 등 무선 광 통신 기술이 대두되고 있다. FSO 는 적외선, 가시광선, 자외선 등의 광학 대역을 이용하고 송신단에는 레이저 다이오드, 수신단에는 포토 다이오드를 이용하여 통신한다.

UAV 에 FSO 를 접목시킨다면 FSO 에서 송신단으로 사용되는 레이저 특성 중 지향성과 직진성에 따른 장점을 얻을 수 있다. 이러한 특성은 먼 거리에서도 빛이 퍼지지 않고 일정한 방향으로 직진할 수 있다. 이에 따라 RF 통신의 전파와 달리 간섭이 일어나지 않고 성능 저하 없이 고속 통신이 가능하다[2,3]. 또한, 회절성이 낮아 다른 곳에 신호가 전파되지 않아 보안에 유리하다[4]. 레이저의 장점을 살려 수신단이 밀집되어 있는 상황에서 간섭과 성능 저하 없이 원활한 통신이 가능할 것이다. 이에 따라 [5]에서 해상 풍력 발전기와 UAV 를 FSO 로 활용한 예시가 제안되었다.

본 논문에서는 FSO 를 이용할 때 발생하는 거리 감쇠(Path loss)를 고려한 실험과, 레이저의 방사 특성을 분석하고 추후 FSO 상황에서 고려해야 할 점을 제안한다.

### II. 본론

#### 1) 실험 설계

유동적인 UAV 의 특성상 송수신단 사이의 거리 감쇠(Path loss)가 발생하기 때문에, 안정적인 FSO 를 위해서는 먼 거리에서 통신 거리 확보가 중요하다. 이에 따라 본 논문에서는 첫 번째로 송수신단의 거리 감쇠(Path loss)에 따른 실험을 진행하였으며, 두 번째로 실험 결과를 자세히 분석하기 위해 레이저의 방사 특성을 추가로 확인하였다.

첫 번째 실험에서는 송신단에 아두이노 레이저 모듈(SZH-EKAD-107), 수신단에 포토다이오드(BPV10), 렌즈(LA1708-A), 820K 저항을 사용하여 test bed 를 구현하였다. 실험 방법은 송수신단 사이 거리를 5m~45m 까지 5m 단위로 조절하고, 인가 전류를 7A~10mA 까지 1mA 단위로 변화시키며 전압 감쇠율을 측정하였다. 두 번째 실험에서는 레이저의 방사 특성을 확인하기 위해서 렌즈를 제거하여 진행하였다.

#### 2) 실험 결과 및 분석

그림 1. 은 거리에 따른 신호 감쇠를 나타낸다. 거리가 증가함에 따라 수신 신호가 감쇠하는 동향을 보인다. 인가한 전력의 비와 동일하게 적은 에너지를 인가한 레이저일수록 적은 세기의 신호를 수신한 것을 확인할 수 있다. 이는 이론적으로는 레이저는 빛이 퍼지지 않는 베셀 빔의 형태로 출력되어야 하지만, 물리적 한계에 의해 거리에 따라 선형적으로 확산되는 형태의 출력을 나타내기 때문이다.

추가적으로, 거리가 멀어질수록 각 수신 신호의 강도 차이가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이러한 동향에 영향을 주는 여러 요인 중 하나로, 회절에 의한 간섭무늬와 같은 신호 왜곡이 있을 수 있다.

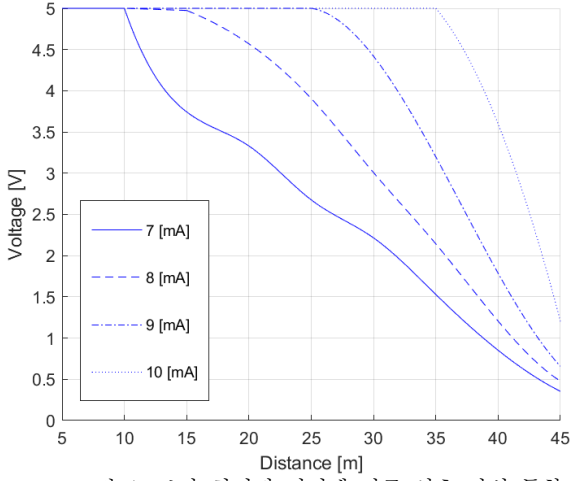


그림 1. 보간 처리된 거리에 따른 신호 감쇠 동향

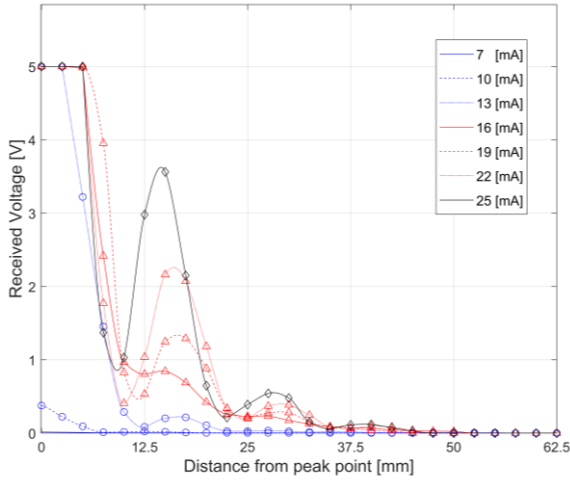


그림 2. 45 [m]에서 측정된 레이저 방사 특성

그림 2. 에는 실험에 사용한 레이저의 이러한 간섭무늬 특성을 알아보기 위해 렌즈를 제거 후 측정된 결과이다. 레이저는 구조적으로 광학 정렬을 맞추는 과정에서 좁은 통로를 지난다. 이 과정에서 출력되는 일부 빛에 회절이 발생할 수 있다. 이러한 회절은 결과적으로 주변의 회절 된 빛과 그렇지 않은 빛에 간섭을 일으킬 수 있다. 이로 인해 간섭무늬가 나타날 수 있다[6]. 이러한 간섭무늬는 앞서 언급한 거리에 따른 레이저 확산 동향의 영향으로 수신단의 렌즈 범위를 벗어나는 경우가 생길 수 있다. 이때 다른 전력을 인가한 신호 간의 수신 신호 크기 차이가 줄어들 수 있다.

해당 실험은 송수신단 거리가 45 [m]인 상황에서 측정했고, 이에 상응하는 레이저의 확산이 발생한 상태이다. 이러한 확산은 거리에 따라 선형적으로 증가함을 실험적으로 확인하였고 이는 식 (1)으로 나타낸다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{r_2 - r_1}{d_2 - d_1}\right) \quad (1)$$

$d_i$  ( $i \in \{1,2\}$ )는 송신단과 측정 지점 간의 거리,  $r_i$  ( $i \in \{1,2\}$ )는 측정 지점에서 레이저 빔의 너비를 나타낸다. 위 식을 이용하여 특정 거리에서 빔의 면적을 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$r_{rx} = \tan\theta \cdot d + r_{tx} \quad (2)$$

$r_{tx}$ 는 송신단에서 레이저 빔의 너비,  $r_{rx}$ 는 수신단에서 레이저 빔의 너비이다. 이 면적을 이용하여 간섭을 측정할 기준점에 대한 다른 거리에서의 간섭무늬 간의 거리의 변화에 대한 비를 구할 수 있다.

$$R = \frac{r_{tar}}{r_{std}} = \frac{\tan\theta \cdot d_{tar} + r_{rx}}{\tan\theta \cdot d_{std} + r_{rx}} \quad (3)$$

간섭무늬 간의 거리 비  $R$ 은 측정 위치에서의 빔 면적  $r_{std}$ 에 대한 목표 위치에서 면적  $r_{tar}$ 의 비로 나타낼 수 있다. 이러한 비  $R$ 을 이용해서 간섭무늬의 피크 지점이 위치하는 지점을 알 수 있고, 이를 통해 간섭무늬의 피크 지점이 렌즈의 반경 내에 있는지 여부를 알 수 있다.

따라서, 거리가 증가함에 따라 간섭무늬의 피크 지점이 렌즈 밖으로 벗어나게 되고, 결과적으로 신호 간의 크기 차이가 줄어들게 된다.

### III. 결론

본 논문에서는 FSO의 송신단으로 사용되는 레이저의 장점과 FSO 이용 시 발생하는 거리 감쇠(Path loss)를 고려한 실험과 이에 대한 상세 분석을 위해 레이저 방사 특성을 알아보았다. 레이저 특성에 의해 광 신호는 간섭이 발생할 수 있다. 이에 의해 발생하는 에너지 부분 집중 현상은 해당 부분이 수신단의 렌즈에서 벗어날 때 신호 간의 간격 축소를 유발할 수 있다. 따라서 레이저를 이용하는 FSO에서 거리 감쇠를 고려할 때 레이저의 특성을 잘 고려하여 통신에 이용하여야 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(P0017011, 2023년 산업혁신인재성장지원사업)이며 2023학년도 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

### 참고 문헌

- [1] 손성화, 강진혁, and 박경준, "드론 무선통신의 개요 및 이슈," The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, vol. 33, no. 2, pp. 93-99, 2016.
- [2] Kim, Gyeon Uk, Lee, Dong IL, Cho, Sung Hwan, Yang, Byung Hee. "Resolving Spectrum Shortage for Operating Future Military Systems" Journal of the Military Operations Research Society of Korea (MORS-K) 48, 1 (2022) : 103-130.
- [3] Kim, Gyeon Uk, Yang, Byung hee. "Exploring the possibility of solving the problem of lack of frequency in

the group through free space optical communication"  
Defense & Technology, 509 (2021) : 102-121

- [4] Garlinska M, Pregowska A, Masztalerz K, Osial M.  
"From Mirrors to Free-Space Optical Communication—  
Historical Aspects in Data Transmission". Future  
Internet. 2020; 12(11):179.  
(<https://doi.org/10.3390/fi12110179>)
- [5] 김민진, 김유정, 김수진, 김태민, and 정성윤, "해상 풍력  
발전기 안전관리를 위한 UAV 활용 방안," in 한국통신학회  
학술대회논문집, pp. 737-739, 2023.
- [6] Mana, Giovanni. "Diffraction effects in optical  
interferometers illuminated by laser sources." Metrologia  
26.2 (1989): 87.