

# 수중 가시광 통신(UVLC)을 위한 해수와 담수의 실험적 성능 분석

이명우, 정연호\*

부경대학교

auddn0585@naver.com, \*yhchung@pknu.ac.kr

## Experimental Performance Analysis of Seawater and Freshwater for Underwater Visible Light Communication (UVLC)

Myeong Woo Lee, Yeon Ho Chung\*

Department of Information and Communication Engineering

Pukyong National University

### 요약

본 논문은 전형적인 수중 통신 방식 중 하나인 음향 통신의 문제점에 대한 해결방안으로 수중 가시광 통신(Underwater Visible Light Communication)을 제안한다. LED 모듈과 PD 모듈 사이에 수조를 설치하여 수중 상태를 가정하였으며 UVLC 시스템을 구성하여 광무선 통신 시스템을 설계하였다. 해수와 담수를 사용한 실험을 통해 수중 환경에서 송·수신부 사이의 데이터 전송을 확인하였고 현재 시스템에서 추후 필요한 개선사항을 제시하였다.

### I. 서론

가시광 통신(Visible Light Communication)은 가시광을 사용하여 데이터를 전송하는 통신 기술이다. LED(발광 다이오드)와 같은 가시광 요소를 통해 다양한 종류의 정보를 전송한다. 가시광 통신은 비교적 저렴한 LED와 포토다이오드(Photo Diode)를 사용하여 데이터를 전송을 하기 때문에 경제적인 장점이 있으며 가시광의 특성상 데이터를 중간에서 가로채기 힘들기 때문에 높은 보안성을 지닌다. 또한, LED의 깜빡임은 눈으로 구분하기 힘들며 빠른 속도로 통신을 주고받을 수 있고 RF(Radio Frequency)와의 간섭이 없다[1][2]. 이러한 특성을 지닌 가시광 통신은 다양한 무선 통신 분야에서 사용될 수 있다.

전형적인 수중 통신 시스템은 주로 음향 통신 기술을 사용한다. 하지만 음향 통신은 이미지 송신, 실시간 비디오 송신 등 고대역폭 해저 응용 분야에서는 낮은 데이터 전송률 보여준다. 이를 대체할 방안으로 부상한 것이 수중 가시광 통신(Underwater Visible Light Communication)이다 [3][4]. 이에 본 논문에선 수중 환경을 가정하기 위해 담수와 해수를 사용하여 UVLC 시스템을 설계하고 비교하였다.

### II. VLC 시스템 설계 및 실험

#### 2.1 UVLC 시스템 설계

그림 1은 하드웨어 설계를 나타내기 위한 구성도이다. 송신부의 PC에서 이동한 데이터가 LED로부터 수조를 통과한다. 수신부의 PD (Photo Diode)는 LED의 신호를 PC로 보내 데이터를 복구하는 과정을 거친다. 송신부 PC는 아스키 코드(ASCII CODE)상의 모든 문자를 입력으로 넣을 수 있으며 송신부를 제어하기 위한 MCU(Micro-Control Unit)로 Arduino Mega 2560을 사용하였다. UVLC 시스템의 통신 거리를 늘리기 위해서는 밝은 광원이 필요하기 때문에 송신부의 LED는 최대 밝기를 내기 위해 트랜지스터(2N3904)를 사용하여 12V의 외부전원을 공급해 주었다. 또한, 약 70cm 거리에서의 원활한 데이터 통신을 위해 빛 퍼짐 현상을

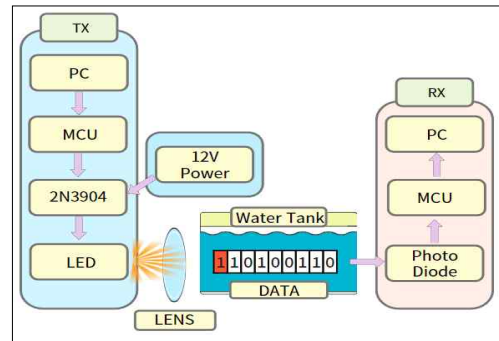


그림 1 UVLC 시스템 하드웨어 구성도

줄일 수 있도록 LED앞에 렌즈를 부착하였다. 송신부는 PC로부터 문자열을 받기 전까지 대기 상태를 유지하며 문자열을 받는 즉시 각각의 문자를 아스키코드(ASCII-CODE)를 사용하여 8bit 2진수로 데이터로 변환한다. 변환된 2진수 데이터는 Start-bit와 함께 패킷화를 거친다. 이후 총 9bit의 패킷이 OOK(On-Off Keying) 변조 방식을 사용하여 LED의 깜빡임을 제어한다. 송신부 문자열의 끝은 항상 줄바꿈 문자('\n')를 사용하여 수신부에 문자열의 끝을 알려줄 수 있도록 하였다.

수신부에는 Photo Diode(ICF0210) 모듈을 사용하여 LED의 깜빡임을 감지하여 데이터를 수신받을 수 있도록 구성하였다. 송신부로부터 Start-bit인 '1'이 넘어오기 전까지 대기 상태를 유지하기 위해 Flag bit를 사용하였다. 하나의 패킷으로 구성된 9bit 데이터가 정확히 동기를 맞춰 수신될 수 있도록 하기 위해 타이머/카운터를 사용하여 코드를 구현하였다. 송신부에서 보낸 줄바꿈 문자를 확인하면 수신부의 PC는 데이터 받기를 종료한다. 이후 수신받은 신호를 문자열 데이터로 디코딩하여 화면에 출력한다.

#### 2.2 UVLC 시스템 실험

그림 2와 같이 자연광이 있는 수중 상태를 가정하여 실내 조명을 끈 환경에서 UVLC 시스템을 구성하여 실험을 진행하였다. LED와 PD의 사이에

해수를 담은 약 70cm의 아크릴 수조를 설치한다. LED와 PD의 거리 또한 약 70m로 밝은 광원을 만들기 위해 LED에는 외부전원 12V를 넣어주었다. PC에서 데이터를 보내지 않을 때 송·수신부 모두 대기 상태를 유지하고 PD는 Start bit에 반응하여 데이터 읽기를 시작하며 줄바꿈 문자로 데이터 읽기를 종료한다. 통신 속도는 약 2Kbps로 초당 약 2000개의 비트를 보내도록 설정하였다. 담수와 해수에서의 데이터 전송률의 차이를 보기 위해 두 모델 모두 실험하였다.



그림 2 UVLC 시스템 실험 환경

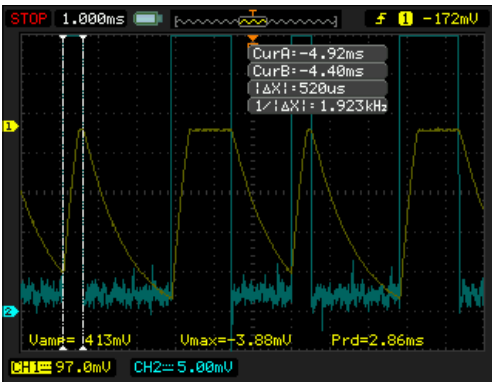


그림 3 해수 UVLC 오실로스코프 파형

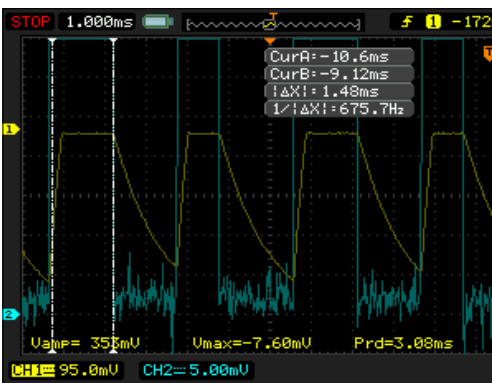


그림 4 담수 UVLC 오실로스코프 파형

### 2.3 실험 결과

그림3은 수조에 해수를 담은 뒤 관찰한 송·수신부의 오실로스코프 파형이고 그림4는 수조에 담수를 담은 뒤 관찰한 송·수신부의 오실로스코프 파형이다. 실험 결과, 표1을 통해 해수와 담수 모두에서 데이터 전송에 대한 정확도는 거의 비슷한 것을 확인할 수 있었고 이는 해수의 탁도가 담수와 비슷하기 때문으로 보인다. 하지만 해수의 부유물질 농도가 높아져 탁도가 오르면 가시광을 사용한 데이터 전송의 정확도가 낮아질 것이다. 현재 추가적인 실험을 진행 중이며 데이터 변조 방식을 적용할 예정이다.

	담수	해수
통신 거리	70cm	70cm
통신 속도	2Kbps	2Kbps
탁도	약 0.04NTU	약 4NTU~6NTU
전송률(정확도)	100%	99.7%

표 1 담수와 해수 비교 표

### III. 결론

본 논문에서는 수중 환경을 가정하여 UVLC 시스템을 설계하고 실험을 진행하였다. 수중 환경을 가정하기 LED와 PD 사이에 수조를 두고 해수와 담수를 사용하여 실험하였다. 실험 결과 해수가 담긴 수조를 거친 UVLC 시스템과 담수가 담긴 수조를 거친 UVLC 시스템의 데이터 전송률에 차이가 크지 않았다. 하지만 해수의 탁도가 높아지고 통신 거리가 증가한다면 데이터 전송률을 높이기 위해 고휘도의 LED와 고감도의 PD가 필요할 것이다. 현재는 UVLC 시스템의 기본 실험 수준으로 이후 송신부의 데이터 변조 방식 개선과 수신부의 증폭기 회로 제작을 통해 UVLC 시스템을 개선할 예정이다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (2023RIA2C200680)

### 참 고 문 헌

- [1] Ashutosh Kumar Pathak, Harish Mittal, Rupam, Gurminder Kaur, Yatu Rani, "Li-Fi Technology: Bridging the Digital Divide through Light", 2023 International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies (ICACCTech), pp.539-544, 2023.
- [2] Prakriti Saxena and Yeon Ho Chung. (2023). Performance analysis of a NOMA-VLC system with random user location. ICT Express , 9(3), 439-445.
- [3] M. Elamassie, F. Miramirkhani and M. Uysal, "Performance Characterization of Underwater Visible Light Communication," in IEEE Transactions on Communications, vol. 67, no. 1, pp. 543-552, Jan. 2019.
- [4] M. F. Ali, D. N. K. Jayakody and Y. Li, "Recent Trends in Underwater Visible Light Communication (UVLC) Systems," in IEEE Access, vol. 10, pp. 22169-22225, 2022.