

# 물의 탁도에 따른 수중 무선 레이저 통신 성능 분석

김 세 림\*, 김 기 만°,  
 강 태 웅\*, 이 동 훈\*\*

## Performance Evaluation of Underwater Wireless Laser Communication by Water Turbidity

Se-rim Kim\*, Ki-man Kim°,  
 Tae-wong Kang\*, Dong-hun Lee\*\*

### 요 약

이 논문에서는 실험적으로 물의 탁도에 따라 온-오프 키잉과 펄스 위치 변조 방식을 사용하는 수중 무선 레이저 통신을 다루었다. 통신 링크에는 광 송신기로써 520 nm 녹색 레이저 다이오드와 수신기로써 광 다이오드 모듈을 사용하였다. 15 ppm의 탁도에서 1 kbps 전송으로 수신된 데이터의 측정된 비트 오류율은 순방향 오류 정정 한계 아래를 나타내었다.

**Key Words** : Underwater Wireless Laser Communication, Turbidity, On-Off Keying, Pulse Position Modulation

### ABSTRACT

In this letter, we experimentally demonstrate an underwater wireless laser communication using on-off keying non-return-to-zero (OOK-NRZ) and pulse position modulation (PPM) scheme according to the water turbidity. The communication link uses a commercial 520 nm green laser diode as the optical transmitter and a photodiode module as the receiver. At 1 kbps transmission, the measured bit error rate of the received data in 15 ppm turbid water is

below the forward error correction limit.

### I. 서 론

해양학 연구, 해저 조사와 같은 응용분야에서 높은 데이터 전송률과 낮은 오류율을 갖는 수중 무선 통신 시스템에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>[1]</sup> 주로 수중에서는 음향 신호를 이용한다. 하지만 수중음향통신 시스템은 도청에 대한 보안성의 문제와 천해에서 다중 경로 전달, 느린 음속 등 여러 가지 단점을 가지고 있다. 이에 새로운 수중통신 방법으로 최근 비록 전달 거리가 짧은 단점을 갖지만 고속 데이터 전송이 가능한 무선 광통신 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 전자기 스펙트럼의 청록색 부분에 대하여 낮은 흡수율을 활용하면, 효율적인 데이터 통신을 수행할 수 있다. 특히, 직진성이 강한 레이저를 사용하면 점대점 방식의 전달로 도청에 따른 보안성의 문제와 다중 경로 페이딩의 문제를 야기하지 않는다. 수중에서의 감쇄현상은 수중 무선 레이저 통신에서 고려해야 되는 가장 중요한 요소이다. 레이저와 같은 저 발산의 평행 광에 대해서 감쇄는 물 자체보다는 그 속에 포함된 여러 가지 입자 및 용해물질에 의한 흡수 및 산란에 의해 일어난다.<sup>[2]</sup> 산란에 영향을 미치는 중요한 요소는 물의 탁도이다. 그동안 대부분의 연구에서는 깨끗한 물에서 전송률 향상에 초점이 맞추어져 왔으나 실제 환경은 탁도가 있는 경우가 대부분이므로 이러한 환경에 대한 전송 성능 분석이 필요하다. 이 논문에서는 새로운 기법의 개발보다는 실제 환경에서의 성능을 분석하기 위해 수조실험을 통해 물의 탁도에 따른 온-오프 키잉과 펄스 위치 변조 방식에 대해 통신 성능을 분석하였다.

### II. 실험 설계

#### 2.1 수중 무선 레이저 통신 방법

최근 레이저를 이용한 수중 무선통신에서도 QAM이나 OFDM 방식이 연구되고 있으나 일반적으로는 온-오프 키잉이나 펄스 위치 변조 전송 방식을 사용한다. 온-오프 키잉 방식은 구현이 쉽고 저비용의 변조

\* 본 연구는 국방과학연구소의 연구비 지원(과제번호 : UD170020DD)으로 수행되었습니다.

• First Author : Korea Maritime and Ocean University, serim8544@kmou.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Korea Maritime and Ocean University, kimkim@kmou.ac.k, 정회원

\* Korea Maritime and Ocean University, taewong@kmou.ac.kr

\*\* Agency for Defense Development, leedhun@add.re.kr

논문번호 : KICS2018-01-025, Received January 22, 2018; Revised February 8, 2018; Accepted February 10, 2018

기술이며, 펄스 위치 변조는 온-오프 키잉 방식보다 낮은 송신전력과 잡음방지에 좋은 성능을 보인다. 탁도가 높은 혼탁한 항구 및 연안 해역에서는 다중 산란 효과로 인해 온-오프 키잉 변조를 사용하는 경우 오류 성능을 크게 저하시킨다.

### 2.2 실험 구성

그림 1과 같이 송신기와 수신기를 포함한 블록도를 구현하였다. 송신부에서 이진 데이터 전송을 위해 아두이노 R3 호환 보드를 사용하였는데 컴퓨터에서 아두이노 프로그램을 이용하여 통신 신호를 생성하여 레이저의 출력을 제어한다. 이 때 레이저를 구동하기 위해 드라이버 회로를 설계 제작하였다. 레이저는 LS Korea사의 BLSB8510D 모델을 사용하였는데 이의 파장은 녹색에 해당하는 520 nm, 동작 전압은 3 V, 동작 전류는 120 mA, 광 출력은 10 mW이다. 수신부에서는 포토다이오드에서 신호를 입력받아 NI사의 데이터 수집 장치를 사용하여 저장하였다. 포토다이오드는 Vishay사의 Silicon PN Photodiode 모델을 사용하였으며, 이는 수신각도 50°, 수신넓이 7.5 mm<sup>2</sup>인 특성을 갖는다. 수조에서 전송 길이는 0.5 m이고, 수조에 부은 물의 양은 100 L이다. 수조의 벽면은 특수한 코팅을 하지 않았기 때문에 이로 인한 감쇄가 발생되었으나 이는 무시하였다. 물의 탁도 조절을 위해 표준 ppm 단위 기준 물질인 Kaolin 정제를 사용하였다.<sup>[3]</sup> Kaolin의 양은 0 g, 0.5 g, 0.8 g, 1.0 g, 1.5 g, 2.0 g, 3.0 g을 사용하였다. 이 수치를 ppm으로 환산하면 0 ppm, 5 ppm, 8 ppm, 10 ppm, 15 ppm, 20 ppm, 30 ppm에 해당한다. 통신을 위한 전송률은 1 kbps와 5 kbps로 하였다. 실제 수중 레이저 무선통신에서는 이보다 높은 전송률을 가지나 이 실험에 사용된 데이터 수집 장비의 성능 제한으로 인하여 전송률에 제한이 있었다.

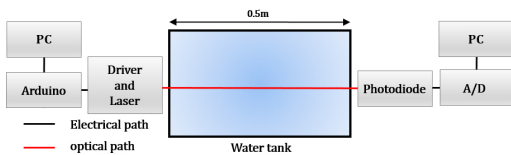


그림 1. 송신기와 수신기 블록도  
Fig. 1. Block diagram for transmitter and receiver

### III. 실험결과

앞 절과 같은 실험구성에 따라 탁도를 조절하면서 수조실험을 수행하였다. 그림 2는 혼탁한 물에서 실험을 실행한 사진으로 육안으로도 빛 퍼짐 현상을 확인할 수 있다. 그림 3은 탁도의 변화에 따른 수신 신호의 전압을 나타낸 것으로 탁도의 증가에 따라 전압 값이 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 전압이 감소하는 현상은 탁도가 높아지면서 수중의 부유물에 의한 다중 산란의 영향이 커져서 발생하기 때문이다. 탁도가 일정 수준 이상으로 높아지면 신호와 잡음의 레벨이 거의 같은 수준으로 되어 통신 신호를 구분할 수 없게 된다. 이 처럼 탁도가 레이저 기반의 수중통신 시스템에 많은 영향을 미치고 있다는 점을 알 수 있다. 그림 4(a)와 그림 4(b)는 각각 0 ppm과 10 ppm의 탁도 조건에서 1 kbps의 전송률로 같은 거리에서 펄스 위치 변조 신호로 송신하였을 때 수신된 신호를 보여준다. 이 경우 비록 10 ppm의 탁도에서도 비트 오류는 나타나지 않았지만 전반적인 신호 레벨이 크게 낮아져 오류 발생 가능성이 증가한 것을 볼 수 있다.

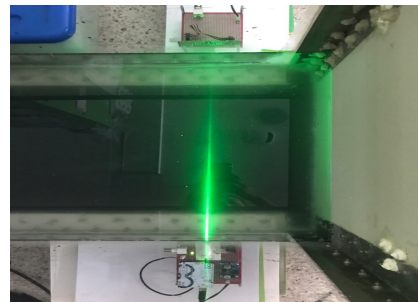


그림 2. 혼탁한 물에서의 수조실험  
Fig. 2. Experiment in turbid water tank

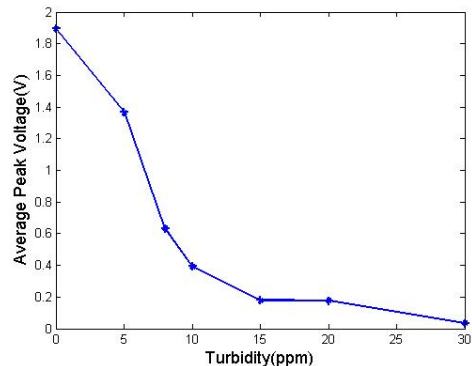


그림 3. 탁도에 따른 수신 신호 전압 레벨의 변화  
Fig. 3. Variation of voltage level at the received signal according to the turbidity

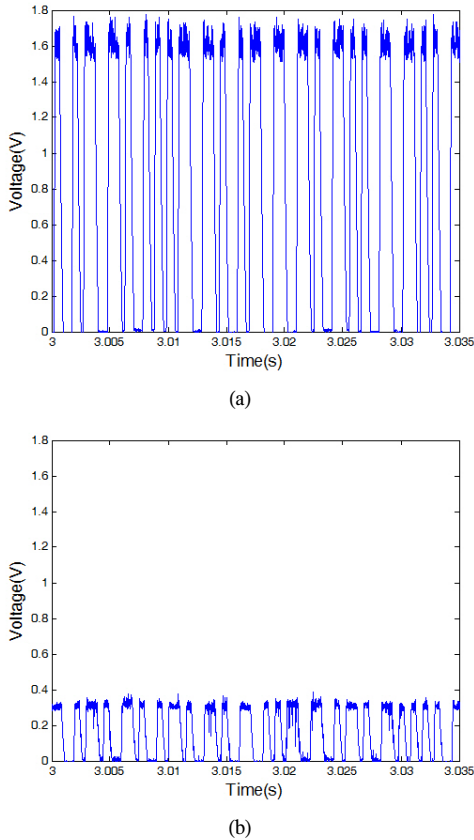


그림 4. 1 kbps로 전송되어 수신된 펄스 위치 변조 신호, (a) 0 ppm, (b) 10 ppm  
 Fig. 4. Received pulse position modulated signal at 1 kbps, (a) 0 ppm, (b) 10 ppm

표 1은 전송 기법과 탁도에 따른 비트 오류율을 보여준다. 온-오프 키잉 방법은 20 ppm에서 성능이 급격히 변화하였으며, 30 ppm에서 미묘하게 성능이 증가하였으나 이미 0.5에 가까운 값을 나타낸 수치가기에 큰 의미를 갖지는 않는다. 펄스 위치 변조 방식은 30 ppm에서 성능이 급격히 변화하는 것을 볼 수 있다. 또한 온-오프 키잉 방법은 데이터 복구에 있어서 문턱치 설정 값의 영향을 많이 받는다. 본 실험에

표 1. 전송 기법과 탁도에 따른 비트 오류율  
 Table 1. Bit error rate by transmission technique and turbidity

kbps	ppm							
	0	5	8	10	15	20	30	
OOK	1	0	0	0	0	0.51	0.50	
	5	0.05	0.05	0.07	0.05	0.08	0.50	0.48
PPM	1	0	0	0	0	0	0.49	
	5	0	0	0	0	0	0.45	

서는 문턱치를 명확하여 설정하여서 그에 따른 오차도 포함하고 있다. 탁도가 점차 증가하면서 신호의 전압 레벨이 매우 낮아져 잡음의 전압 레벨과 거의 동일한 신호 전압 레벨을 보였다.

#### IV. 결 론

최근 새로운 수중통신 방법으로 레이저를 이용한 무선통신이 대두되고 있다. 이는 수중에서 레이저 고유의 특성으로 생기는 송수신단의 정확한 정렬 문제와 광의 산란 및 흡수로 인한 짧은 전달거리 등의 단점이 있지만 높은 지향성을 갖기 때문에 보안성이 높고 고속 대용량 전송이 가능하다는 장점을 갖는다. 산란현상은 물의 탁도와 관련이 깊다. 실제 환경에서는 탁도를 고려해야 하므로 이 논문에서는 물의 탁도에 따라 수중 무선 레이저 통신 기법의 성능을 수조실험을 통하여 비교하였다. 탁도가 높아질수록 수신 신호의 전압 레벨이 현저히 낮아짐을 알 수 있었다. 전체 실험결과 비트 오류율 관점에서 펄스 위치 변조 방식이 더 나은 성능을 보였다. 앞으로 국내 연안에서 실제 실험을 수행하고, 높은 탁도에서 통신을 할 경우 낮아지는 전압 레벨을 보상할 수 있는 방안을 연구하여야 한다. 또한, 이 논문에서는 수동으로 빔 초점을 정렬하였으나 이의 정확도를 안정시키는 방안도 연구가 진행되어야 한다.

#### References

- [1] H. M. Oubei, C. Li, K.-H. Park, T. K. Ng, M.-S. Alouini, and B. S. Ooi, "2.3 Gbit/s underwater wireless optical communications using directly modulated 520 nm laser diode," *Optics Express(OSA)*, vol. 23, no. 16, pp. 20743-20748, Aug. 2015.
- [2] Y. P. Kim and J. W. Choi, "Blue-Green lasers and their application to underwater communication," *J. KICS*, vol. 16, no. 12, pp. 1211-1218, Dec. 1991.
- [3] Spencer A. Peterson and Karen K. Randolph, Corvallis Environmental Research Laboratory, *Management of bottom sediments containing toxic substances*, pp. 288-289, 1976.