

## 블루투스 와 연동하는 수중 가시광 통신 시스템의 구현

김민수<sup>1</sup> · 손경락<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2014년 6월 16일, 원고수정일 : 2014년 8월 22일, 심사완료일 : 2014년 9월 12일)

### Implementation of underwater visible light communication system interlinked with bluetooth

Min-Soo Kim<sup>1</sup> · Kyung-Rak Sohn<sup>†</sup>

**요약:** 수중통신은 통신채널로서의 물이 가시광 영역을 제외한 전자파 영역에는 본질적으로 전도성이 매우 떨어지므로 공기 중 통신에 비하여 성능이 심각하게 제한된다. 음파통신은 장거리 전송이 가능하지만 전자파에 비하여 음속이 수중에서 매우 느리므로 통신 속도에 제한이 있다. 한편 광무선 통신은 수중 관측이나 해중 모니터링을 위한 요구조건을 충족시킬 수 있는 대안 중의 하나로 제안되었다. 본 연구에서는 블루투스를 이용하여 모선의 통신시스템과 결합할 수 있는 수중 가시광 통신 시스템을 개발하였다. LED 조명통신 시스템과 블루투스의 인터페이스로 수중-수상 통신시스템을 연동할 수 있으며, 수중 3 m 거리에서 230.4 kbps 전송속도로 이미지와 문자를 에러 없이 전송할 수 있음을 보였다. 이러한 노력은 수중 무선 시스템과 수상에서 모니터링을 위한 모선과의 통신을 효과적으로 상호 연결하는 인프라를 강화하는데 기여할 것이다.

**주제어:** 발광다이오드, 광 무선통신, 가시광 통신, 수중 무선 통신, 블루투스

**Abstract:** Communication underwater is severely limited when compared to communications in air because water is essentially opaque to electromagnetic radiation except in visible range. Acoustic systems are capable of long range communication, but offer limited data rates and significant latency due to the speed of sound in water. On the other hand, optical wireless communication has been proposed as one of the best alternatives to meet the requirements of the underwater observation and subsea monitoring systems. It will help In this study, we are developing an underwater optical communication system that integrates with a depot ship floating on the water. An interface between LED lighting communication system and Bluetooth module is presented to support the underwater-to-air communications. Error free image and text transmission at 3 m of water were achieved at bit rates of 230.4 kbps. This development effort will enhance infrastructure to efficiently interconnect between underwater wireless systems and command ship networks for underwater monitoring.

**Keywords:** Light-emitting diode, Optical wireless communication, Visible light communication, Underwater wireless communication, Bluetooth

## 1. 서 론

최근 수중 환경 모니터링 및 탐사, 자원개발 등

<sup>†</sup> Corresponding Author: Department of Electronics and Communications Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, 606-791, Korea, E-mail: krsohn@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4312

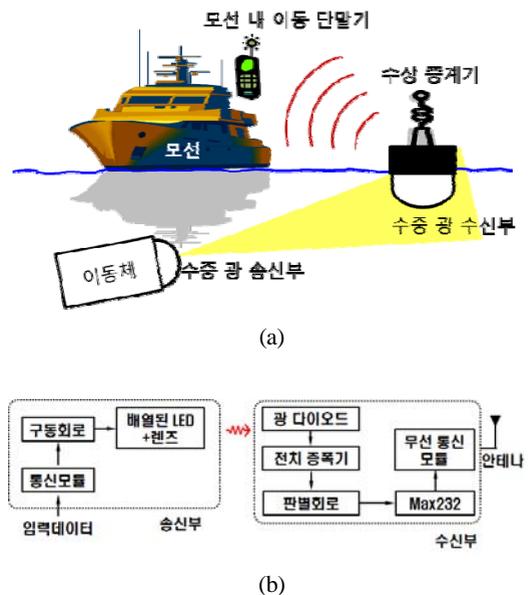
<sup>1</sup> Department of Electronics and Communications Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: mskim@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4908

을 위한 다양한 연구가 진행되고 있으며 수중센서 네트워크의 구축으로 인한 시스템 간 수중 통신 인프라를 요구하고 있다. 수중 무선통신을 위한 방법으로는 음파, 전자파, 광파가 가능하다 [1]. 음파를 이용하게 되면 신호의 감쇄가 적고 열적 안정성이 우수하여 장거리 전송으로는 우수하나 좁은 신호 대역폭으로 인해 고속 통신이 어렵고, 수면 가까이에서는 주위잡음과 다중경로에 대한 간섭으로 원활한 통신이 되지 않는 한계가 있다. 전자파는 음파보다 높은 주파수 대역을 가지고 있어 주목되었지만 물에서의 감쇄가 매우 심하여 수중통신으로 적용되기에는 성능대비 비용이 문제가 된다[2]. 따라서 가시광 영역의 광파를 이용한 수중 무선통신이 하나의 대안이 될 수 있다. 가시광 파장영역은 전자파에 비하여 수중에서의 흡수율이 낮고 비교적 넓은 대역폭을 사용하여 이미지와 영상과 같은 대용량 데이터 전송도 가능하여 근거리 수중통신으로 활용하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다[3]-[5]. 2006년 미국의 우즈 홀 해양연구소에서는 부분적으로 유선화된 해저 관측소를 기반으로 근거리 광대역 인터넷 서비스를 수중에서 제공하는 것을 목표로 광무선 모뎀 네트워크를 위한 시작품 형태의 시스템을 개발하고 성능실험을 수행하였다[6]. 2010년 미국 MIT에서는 수중로봇을 제어하기 위한 광무선 수중 모뎀을 개발하고 있음을 발표하였다[7]. 일본의 경우 게이오대학, 나카가와 연구소 등이 공동으로 수중 다이버 간 양방향 음성 통신을 할 수 있는 시제품을 개발하였음을 발표하였다[8].

그러나 궁극적으로는 수중과 수상간의 끊김 없는 양방향 무선통신 서비스를 위해서는 수면에 중계기가 필요하다. 수중에서 수집된 데이터는 수상에 있는 모선으로 전송되어 모니터링 될 수 있어야 하며 수상의 모선에서는 수중 시스템을 제어할 수 있어야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 가시광 통신 시스템으로 근거리 수중 데이터통신을 수행하고 이를 지상의 무선 통신망과 결합하는 방법으로 스마트폰의 블루투스 사용을 처음으로 제안하고 시스템을 구현하였다. 스마트폰은 성능이 우수하고 활용성이 다양한 개인용 휴대 단말기이지

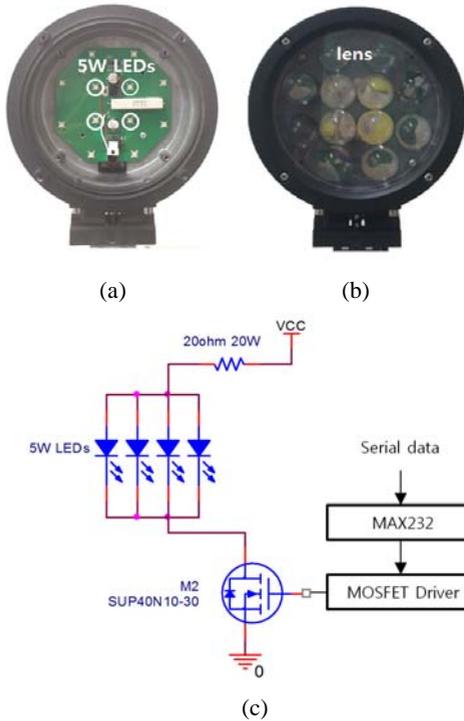
만 블루투스를 이용할 경우 기존의 무선통신망이 취약한 해상에서도 비용 지불 없이 독립적인 통신 채널을 확보하는 수단으로 사용할 수 있다. 블루투스는 1 dBi 기본안테나로 장애물이 없을 경우 100 m 까지 통신이 지원되지만 실내에서는 30 m 정도 통신거리를 확보할 수 있으므로 블루투스 수상 중계기와 모선간의 통신은 한정된 근접거리에서 수행되어야한다. 본 연구에서는 가시광과 블루투스로 구성된 통신채널을 이용하여 수중-수상간 이미지 전송과 데이터 전송을 성공적으로 수행하였다.

## 2. 시스템 설계 및 제작



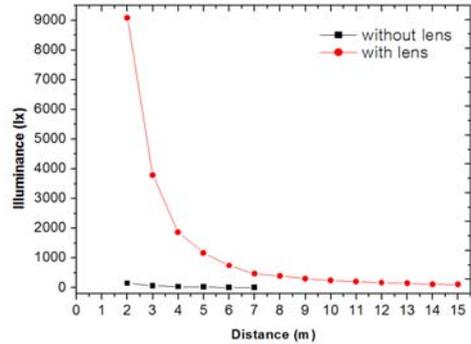
**Figure 1:** Proposed VLC system. (a) Basic concept and (b) functional block diagram

**Figure 1**은 수중-수상 가시광 통신의 개념도와 제안된 시스템의 구성도를 보여준다. **Figure 1** (a)에서 송신기가 장착된 운동체는 수중에서 자유롭게 움직이며 해저에서 수집한 데이터를 수상에 위치한 중계기로 가시광을 이용하여 통신하게 되며 수상에 위치한 모선과의 통신은 블루투스를 이용한다. 기능별 블록 다이어그램과 시스템의 상세 구성도는 **Figure 1** (b)와 같다.



**Figure 2:** Waterproof transmitter (a) without lens, (b) assembled with lens and (c) schematic.

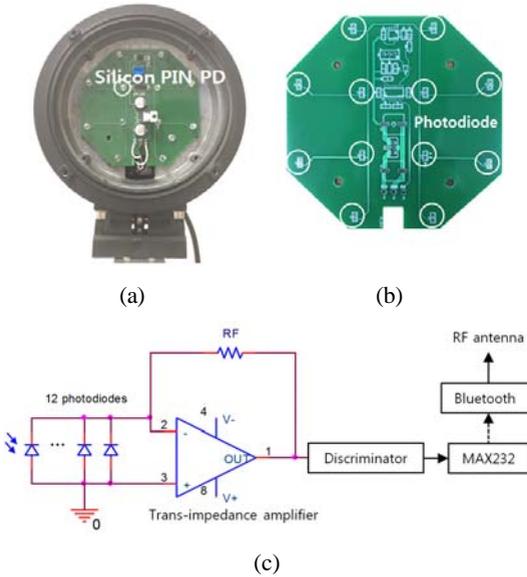
Figure 2는 수중 통신을 위해 제작한 송신부이다. Figure 2 (a)에서 송신부는 5 W급 LED (색상은 5500 k, 광속 227 lm @ 1.2 A, 제조사 LED Engin) 4 개가 전기적으로 병렬 연결되어 수중조명을 위한 충분한 광량을 제공할 수 있게 하였다 [9]. 그러나 LED의 방사각은 85° 이므로 대기 중에서 광세기는 거리의 제곱에 반비례함을 고려할 때 충분한 통신거리를 확보하기 위해서는 Figure 2 (b)와 같이 렌즈를 장착하여 빛을 집광해야 한다. 본 연구에서는 각각의 LED에 개별적 렌즈가 배열되도록 하였으며 이로 인한 조명등의 방사각은 20° 이다. Figure 2 (c)는 LED 구동회로이다. 고효율 LED의 고속 스위칭을 위하여 SUP40N10 n-MOSFET (스위칭 특성: 상승시간 12 ns, 하강시간: 12 ns)과 TC4427 MOSFET Driver (스위칭 특성: 상승시간 19 ns, 하강시간: 19 ns)를 사용하였다. LED의 스위칭 시간은 TC4427에 의해 제한되므로 구동회로의 이상적인 대역폭은 25 MHz 정도이다.



**Figure 3:** Illuminance vs. distance

Figure 3은 제작된 송신기의 렌즈 장착유무에 따라 거리에 대한 광원의 조도를 측정된 결과이다. 렌즈를 장착하면 발산각이 작아져 단위 면적당 광속은 올라가지만 조도는 거리의 제곱에 반비례하며 감쇄하는 것은 동일하다[10]. Figure 2 (a)와 같이 렌즈가 없을 경우 2 m 떨어진 거리에서 조도는 150 lx로 실내 형광등 아래 2 m에서 측정된 수준과 비슷하다. 그러나 Figure 2 (b)와 같이 렌즈를 장착한 경우 집광 효과에 의하여 12 m까지 150 lx 이상의 조도가 유지된다. 수중조명을 겸함 통신용으로 사용할 LED 광원이라면 지상의 실내조명과 달리 충분히 먼 거리까지 일정한 광속이 유지될 수 있어야 한다.

Figure 4는 수신부이다. Figure 4 (a)와 같이 방수를 위한 구조물에 장착되는 형태로 제작하였다. 단순하면서 저가형의 광 전력 검출기를 위해 실리콘 PIN 광 다이오드 (SFH213, Osram)를 12개 병렬 연결한 구조로 설계하였으며, Figure 4 (b)와 같이 원형으로 배치함으로써 수광 범위를 넓히고 수신감도를 높이려고 하였다. Figure 4 (c)는 트랜스 임피던스 전치증폭기를 이용한 수신단의 회로도와 블루투스 인터페이스 부분을 보여준다. 수신단의 이득은 되먹임 저항  $R_f$ 에 의해 조절될 수 있다. 본 실험에서  $R_f$ 는 5.6k $\Omega$ 으로 설정하였다. 블루투스는 직렬통신을 위한 RS232 어댑터를 지원하는 BlueM-232B (블루투스 V 2.0 지원, 칩센)을 사용하여 수신회로의 MAX-232와 연결할 수 있게 하였다.



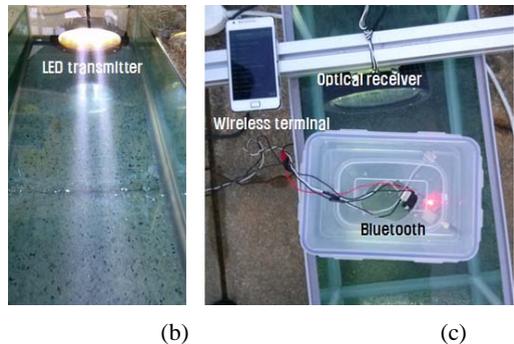
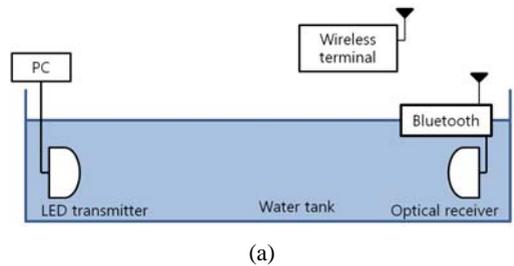
**Figure 4:** (a) Waterproof receiver, (b) printed circuit board for 12 photo-diodes and (c) schematic.

광 다이오드인 SFH213의 스펙트럼 민감도는 가시광 파장영역에서 높게 나타나며 최대 피크인 870 nm 파장에서는 0.62 A/W이다[11]. 스위칭 시간은 5 ns로 매우 짧아 200MHz의 대역폭을 제공하므로 고속 데이터 통신에도 대응이 가능하다. 수중 통신 적용 시 조명용 LED 파장 영역에 잘 반응하고 고속 데이터 통신에 적합하지만 반 전력 수광 각이  $\pm 10^\circ$ 로 매우 좁아서 송-수신기간 정렬에 민감하여 통신 성능을 저하시킬 수 있는 단점이 있다. 이를 보완하기 위하여 12 개의 광 다이오드를 Figure 4 (b)와 같이 배열하였다. 제작된 송수신기의 지상 통신성능 시험에서는 230.4 kbps에서 19 m 까지 통신이 가능하였다. 일정한 거리 내에서는 복수개의 광 다이오드로 수신 감도를 높일 수 있지만 그 범위를 벗어나 신호 전력이 미약할 경우에는 수신단의 누적 열잡음으로 신호대 잡음비 개선을 기대하기 어렵다. 본 실험에서도 20 m 이상에서는 데이터 비트 율을 낮춘 9.6 kbps에서도 통신이 이루어지지 않았다.

### 3. 실험결과 및 고찰

Figure 5는 수중 LED 통신과 수상 연동 무선 통

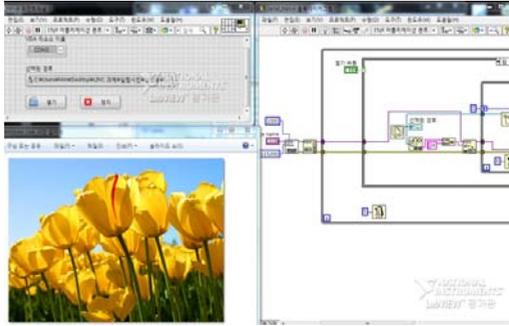
신 실험을 수행하기 위한 구성도이다. Figure 5 (a)에서 LED 송신기와 광 다이오드 수신기는 수돗물로 채워진 수조에 잠겨 있으며 3 m 떨어진 거리에 위치해 있다. Figure 5 (b)는 각각 송신부와 수신부의 실물사진을 보여준다. 수중 수신부와 연결된 블루투스는 수조의 물 표면에 뜰 수 있게 설치하여 수면 중계기 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 수신 무선 단말기로 블루투스 모듈이 장착된 PC와 스마트폰을 이용하였다. PC 간 통신에서는 이미지 전송을 스마트폰 통신에는 텍스트 전송을 시도하였다.



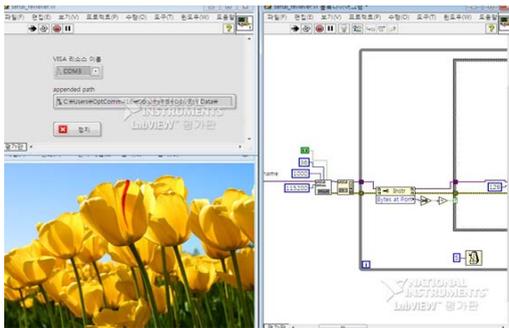
**Figure 5:** (a) Experimental setup, (b) LED transmitter, and (c) optical receiver connected to the bluetooth.

#### 3.1 PC-PC 간 수중 경유 무선통신 실험

송수신 PC 간 이미지 전송을 위한 프로그램은 LabVIEW를 이용하여 개발하였다. Figure 6 (a)는 이미지 송신 프로그램 화면이다. 먼저 시리얼 통신을 구성하기 위해 VISA함수를 이용하여 통신에 필요한 초기 설정을 해준다. 보낼 이미지 파일을 선택하면 전송이 시작되고 파일전송이 끝난 후 종료



(a)



(b)

**Figure 6:** LabVIEW-based communication program. Captured screen of (a) transmitter and (b) receiver.

메시지를 보낸다. 본 실험에서는 606 kbyte 크기의 노란색 튜립 사진을 전송하였다. 전송속도는 230.4 kbps이며 변조 방법은 진폭 편이 변조 방법 중 가장 단순한 방식인 온-오프 변조 (On-off keying)를 사용하였다. 수중 통신 거리는 수조의 길이 제한으로 3 m 까지만 가능하였지만 수상에서 블루투스에 의한 스마트폰까지의 통신 거리는 1 dBi 기반 안테나를 사용하여 약 30 m 이었다.

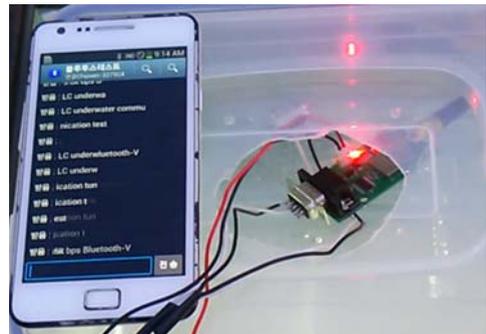
Figure 6 (b)의 수신 프로그램에서는 데이터 수신 여부를 모니터링하고 있다가 버퍼에 값이 들어오면 종료 메시지가 수신될 때까지 수신된 이진 정보를 지정된 폴더에 파일로 저장한다. 전송에 의해 저장된 파일을 확인한 결과 동일한 파일크기의 이미지가 수신되었다. 또한 수신 프로그램에서는 수신된 이미지의 16진 코드를 확인할 수 있게 구현이 되어 있으므로 전송 데이터와 비트 단위 비교가 가능하다. 이를 통해서도 가시광 통신과 블루투스 무선 통신의 연동으로 인한 데이터 손실은 발

생하지 않았으므로 동일한 품질의 이미지가 수신 되었음을 확인할 수 있었다.

### 3.2 스마트폰 연동 수중 경유 무선통신 실험

수중에서 획득한 정보를 지상의 이동 단말기에서 즉시 확인할 수 있는 기능은 매우 유용한 서비스를 제공할 수 있다. 스마트폰이 대중화된 시대에 맞추어 본 실험에서는 일련의 문자열을 수중 가시광 통신을 통해 수신한 수상 중계기는 블루투스를 이용하여 지상의 스마트폰으로 전송하였다. 블루투스를 이용한 스마트폰과의 통신은 안드로이드 기반 응용 프로그램을 개발하여 사용하였다.

Figure 7은 수중에 설치된 광 다이오드 수신기와 연결된 블루투스와 전송된 문자열을 받고 있는 스마트폰의 사진이다. 스마트폰을 이용한 가시광 수중통신 실험에서 10분간 연속적인 데이터 전송에도 에러가 발생하지 않았으며 최대 전송 가능한 보오율은 230.4 Kbps 이었다. 더 높은 비트 율에서는 간헐적 오류 데이터가 발생하였다. 수신단의 직렬통신 포트와 블루투스간의 연결 케이블을 방수에 강하고 전기적 간섭으로부터 차폐될 수 있는 것으로 보완한다면 더 높은 비트 율로 통신이 가능할 것이다.



**Figure 7:** Bluetooth application program and text transmission to the smart-phone.

## 4. 결 론

본 논문에서는 수중에서 가시광 파장영역을 이용하여 근거리 통신이 가능한 LED 통신 시스템을 구현하였으며, 수중에서 취득한 데이터를 블루투

스를 이용하여 수상으로 송신할 수 있는 중계 시스템을 제안하고 실험하였다. 수중에서 LED 조명 등으로 사용할 수 있을 정도의 광 전력을 방출하기 위하여 5 W급 고휘도 LED 4 개로 광 송신기를 제작하였고 고속 변조가 가능하게 MOSFET으로 LED를 구동하였다. 수중에서 획득된 정보는 블루투스 와 연동되며 최종적으로 수상에 있는 단말기 또는 스마트 폰으로 전송될 수 있게 하였다. 제한된 수조실험을 통해 3 m 거리의 수중에서 230.4 Kbps의 속도로 이미지 및 문자열 전송이 완벽하게 수행됨을 보였다.

해양 및 해저에 대한 관심이 높아지고 바다 속의 풍부한 자원 개발의 필요성이 부각되고 있는 점을 고려한다면 지상 통신망과 유사한 형태의 수중 통신 네트워크는 필수적이라고 할 수 있다. 이러한 관점에서 본 연구는 수중에서의 근거리 고속 통신 및 수중-수상 간 연결통신을 가시광을 적용한 무선통신 시스템으로 가능성을 보여주려고 하였다.

## 참고문헌

[1] N. Farr, A. Bowen, J. Ware, C. Pontbriand, and M. Tivey, "An integrated, underwater optical/acoustic communications system," Proceedings of IEEE Conference on Oceans, pp. 1-6, 2010.

[2] S. Arnon, "Underwater optical wireless communication network," Optical Engineering, vol. 49, no. 1, pp. 1-6, 2010.

[3] K. R. Sohn, "Performance analysis of the visible light communication in seawater channel", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 5, pp. 527-532, 2013 (in Korean). [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.5.527>

[4] K. R. Sohn, "A study on the short-range underwater communication using visible LEDs", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 37, no. 4, pp. 425-430, 2013 (in Korean). [Online]. Available:

<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2013.37.4.425>

[5] Y. J. Kim and K. R. Sohn, "A study on the frequency modulation-based audio transmission system for short-range underwater optical wireless communications," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 36, no. 1, pp. 166-171, 2012 (in Korean). [Online]. <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2012.36.1.166>

[6] N. Farr, A. D. Chave, L. Freitag, S. N. White, D. Yoerger, and F. Sonnichsen, "Optical modem technology for seafloor observatories," Proceedings of IEEE Conference on Oceans, pp. 1-6, 2006.

[7] <http://www.naka-lab.jp/>, Accessed June 09, 2014.

[8] M. Doniec, C. Detweiler, I. Vasilescu, and D. Rus, "Using optical communication for remote underwater robot operation," Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4017-4022, 2010.

[9] <http://www.ledengin.com/>, Accessed June 09, 2014.

[10] K. R. Sohn and M. S. Kim, "LED Transceivers with beehive-shaped reflector for Visible Light Communication," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 38, no. 2, pp. 169-174, 2014 (in Korean). [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2014.38.2.169>

[11] <http://www.osram-os.com/>, Accessed August 25, 2014.